

الجمهورية العربية السورية  
وزارة التربية  
المركز الوطني لتطوير المناهج التربوية

# الفيزياء

الصف الثالث الثانوي العلمي

م 2022 - 2021

تأليف  
فَوْهَةُ مِنَ الْمُخْتَصِّينَ

حقوق الطباعة والنشر محفوظة للمؤسسة العامة للطباعة  
حقوق التأليف والنشر محفوظة للمركز الوطني لتطوير المناهج التربوية  
وزارة التربية - الجمهورية العربية السورية

طبع أول مرة للعام الدراسي 2020 - 2021 م

# المقدمة

نقدم للمتعلمين الأعزاء كتاب الفيزياء المبني وفق الإطار العام للمنهاج الوطني ووثيقة المعايير الوطنية المطورة، والتي تهدف إلى مواكبة التطورات الحالية، وتقديم منهاج قائم على البحث العلمي والتجريب يلبي آمال المتعلمين من جهة، ومتطلبات سوق العمل والمجتمع المحلي من جهة أخرى.

يشهد العالم ثورةً معرفيةً يرافقها تسارعُ في إنتاج المعرفة وانتشارها وتطور التقانات المستخدمة إضافةً إلى سرعة التغيرات في مجالات الحياة كلها.

لذلك وجب ربط منهاج بالحياة اليومية للمتعلم وب بيته، ومواكبة المستجدات العلمية والتكنولوجية التي سيكون لها الأثر الفعال في تنمية شخصية المتعلم من الناحيتين الفكرية والجسدية، وهذا ما يسمح له بالتكامل مع متطلبات الحياة المعاصرة، والمساهمة في التنمية الوطنية المستدامة.

يخاطب المحتوى العلمي المتعلم بوصفه محور العملية التربوية، ويشجّعه على التعلم الذاتي، حيث صيغت موضوعات الكتاب بأسلوب علمي مبسط واضح لتناسب النمو العقلي والعمري للمتعلم وتشير دافعيته. كما يرتكز المحتوى على المعارف والمهارات بعيداً عن الحشو والتكرار، ويمكن للمتعلم من مواجهة المشكلات التي يتعرض لها في حياته اليومية، وإيجاد الأساليب المناسبة لحلّها، وكذلك يحفز المتعلم على اكتساب مهارات التواصل والتفكير والبحث والاستنتاج بدلاً من تلقّي المعلومات وحفظها واستظهارها، كما يؤكّد المحتوى على دور المعلم بوصفه موجهاً للمناقشة، وميسراً للعلم والعمل. وكلنا أملٌ وثقة أن يحقق زملاؤنا المعلّمون ما نصبو إليه.

فريق التأليف

# الفهرس

## الوحدة الأولى: الحركة والتحريك

6 .....	الحركة التوافقية البسيطة.....	1
20 .....	الاهتزازات الجيبية الدورانية نواس الفتل غير المتخامد.....	2
28 .....	الاهتزازات غير التوافقية النواس الشقلي غير المتخامد.....	3
42 .....	ميكانيك الموائع .....	4
54 .....	النسبية الخاصة.....	5

## الوحدة الثانية: الكهرباء والمغناطيسية

68 .....	المغناطيسية.....	1
88 .....	فعل الحقل المغناطيسي في التيار الكهربائي.....	2
104 .....	التحرير الكهرومغناطيسي.....	3
126 .....	الدارات المهززة والتيرات عالية التواتر.....	4
138 .....	التيار المتناوب الجيبى .....	5
160 .....	المحولات الكهربائية.....	6

## الوحدة الثالثة: الأمواج المستقرة

168 .....	الأمواج المستقرة العرضية .....	1
182 .....	الأمواج المستقرة الطولية .....	2

## الوحدة الرابعة: الإلكترونيات والجسم الصلب

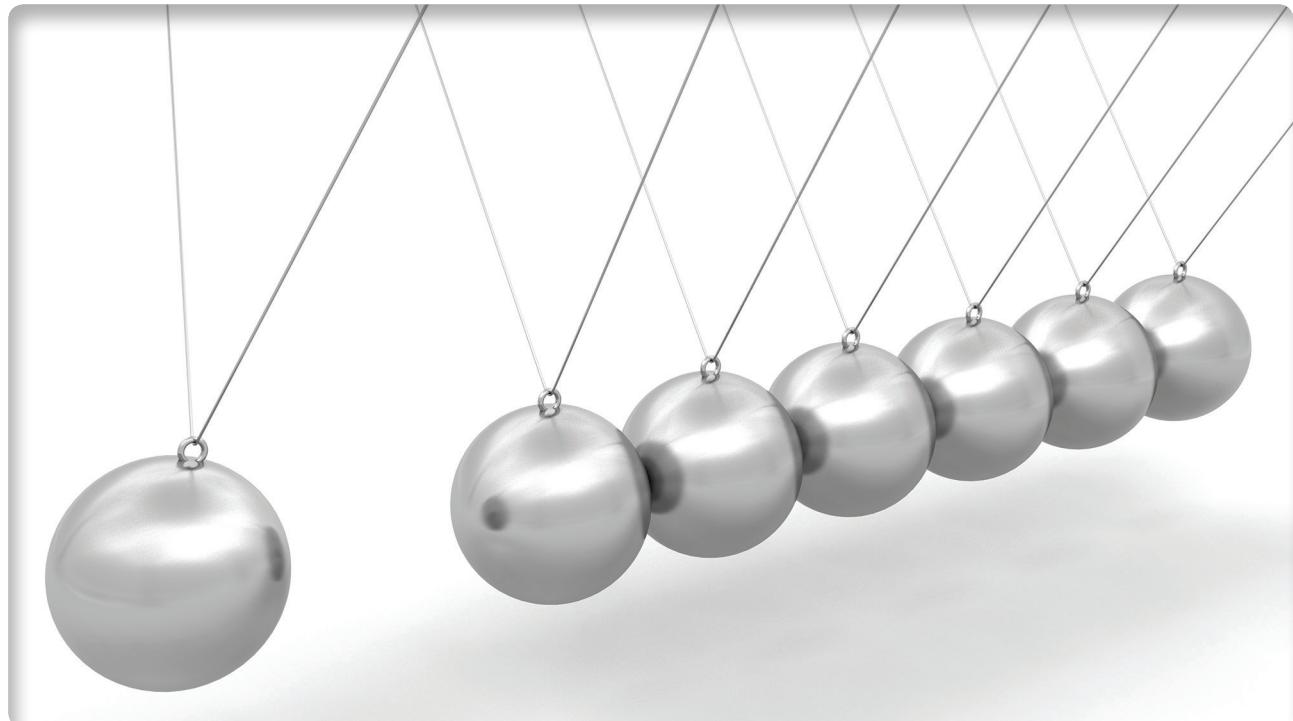
198 .....	النماذج النرية والطيف.....	1
210 .....	انتزاع الإلكترونات وتسريعها .....	2
218 .....	الأشعة المهبطية.....	3
224 .....	الفعل الكهحراري .....	4
230 .....	نظريّة الكم والفعل الكهحراري.....	5
240 .....	الأشعة السينية X-Ray .....	6
246 .....	أشعة الليزر.....	7

## الوحدة الخامسة: الفيزياء الفلكية

254 .....	الفيزياء الفلكية .....	1
-----------	------------------------	---

# الوحدة الأولى

## الحركة والتحريك



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

١

# الحركة التوافقية البسيطة



تعتمدُ الكثيُرُ منِ الالات الصناعيَّة في عملها على تطبيق بعضِ المبادئ الفيزيائِيَّة كالحركة التوافقية البسيطة.

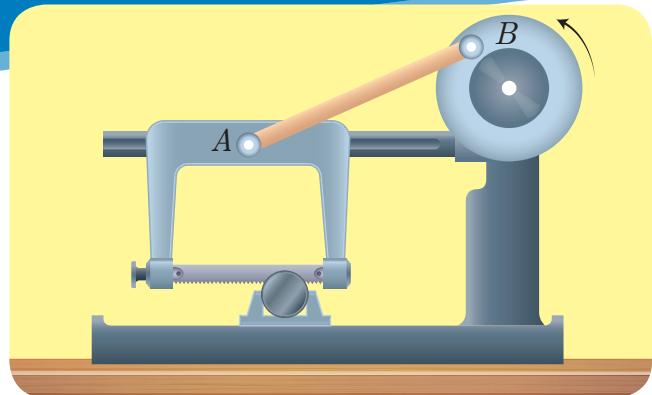
## الأهداف:

- \* يتعرَّفُ الحركة التوافقية البسيطة.
- \* يربطُ بينَ الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة.
- \* يتعرَّفُ توابعَ الحركة التوافقية البسيطة.
- \* يوضحُ بيانياً توابعَ الحركة التوافقية البسيطة.
- \* يستنتجُ علاقة الطاقة الميكانيكية في الحركة التوافقية البسيطة.
- \* يتعرَّفُ التطبيقاتِ الحيائية للحركة التوافقية البسيطة.
- \* يعطي أمثلةً من حياته اليومية للحركة التوافقية البسيطة.

## الكلمات المفتاحية:

- \* نابض
- \* قوَّة الإرجاع
- \* المطال
- \* السُّعة
- \* الدُّور
- \* التواتر
- \* الطاقة الكامنة المرونية
- \* الطاقة الحركية
- \* الطاقة الميكانيكية

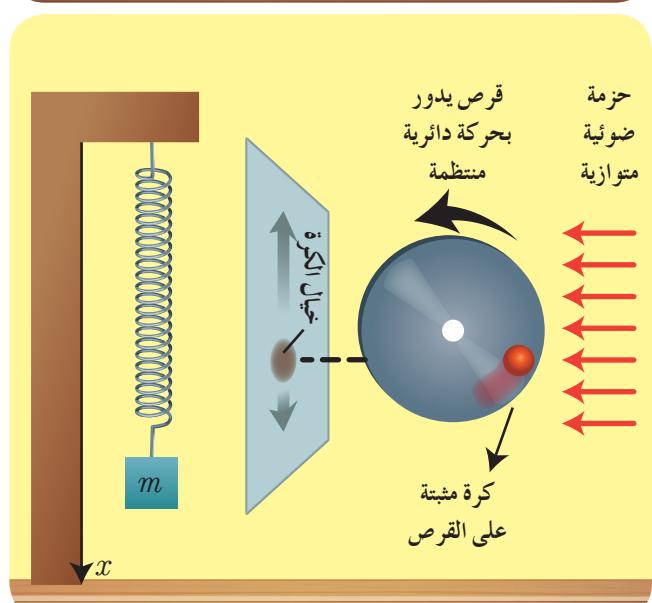
### نشاط (1):



يوضح الشكل المجاور منشاراً لقطع المعادن يعمل آلياً بوساطة وصله بمحرك كهربائي يدور بسرعة زاوية ثابتة.

- ما شكل مسار حركة النقطة B من البكرة؟
- ما شكل مسار حركة النقطة A من المنشار؟
- باتجاه واحد حركة النقطة A أم باتجاهين متعاكسين؟

### نشاط (2):

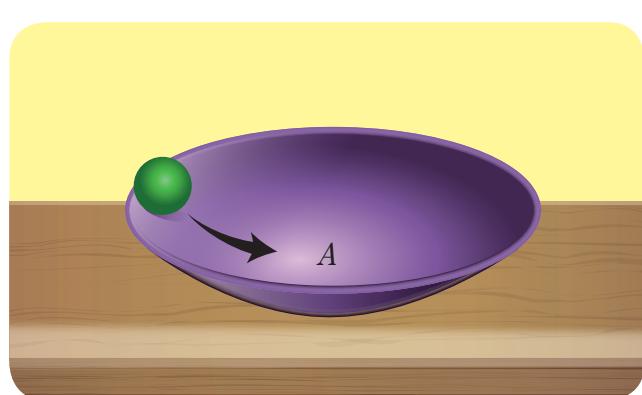


- أثبتت كرة صغيرة بالقرب من محيط قرص قابل للدوران حول محور كما في الشكل.
- سلط حزمه ضوئية أفقياً ليتشكل خيال للكرة في مستوى شاقولي.
- أدبر القرص بسرعة زاوية ثابتة بوساطة محرك كهربائي.
- أصف حركة خيال الكرة على المستوى الشاقولي.
- أقارن حركة الخيال بحركة جسم معلق بنابض شاقولي.

### استنتاج

حركة الخيال هي حركة اهتزازية إلى جانبى نقطة ثابتة تسمى مركز الاهتزاز.

### نشاط (3):



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

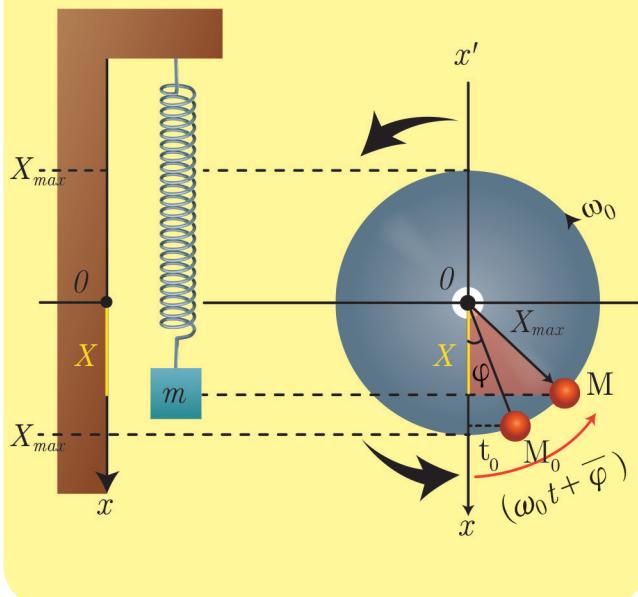
- هل تتحرك الكرة باتجاه واحد مقارنة بالنقطة A؟
- ماذا تمثل النقطة A مقارنة بحركة الكرة؟
- هل سرعة الكرة ثابتة وهي تتحرك؟
- في أيّ موضع تendum سرعة الكرة؟

### نتيجة:

**الحركة الاهتزازية:** حركة جسم يهتز إلى جانبى نقطة ثابتة تسمى مركز الاهتزاز.  
إن حركة اهتزاز جسم صلب معلق بنابض مرن حلقة متباينة هي أوضح مثال على الحركة التوافقية البسيطة، ويدعى هذا النواس المرن.

## العلاقة بين الحركة الدائرية المنتظمة والحركة التوافقية البسيطة (تمثيل فريل) :

### نشاط (4):



في الشكل المجاور تدور نقطة مادية كتلتها  $m$  بحركة دائريةٍ منتظمٍ سرعتها الزاوية  $\omega_0$  وشعاع الموضع (شعاع نصف القطر)  $\overrightarrow{OM}$  طولته  $X_{\max}$  في اللحظة  $t = 0$ .

1. أسمى الزاوية التي يصنعها  $\overrightarrow{OM}_0$  مع المحور  $\overrightarrow{x'x}$  في اللحظة  $t$ ؟

2. أسمى الزاوية التي يصنعها  $\overrightarrow{OM}$  مع المحور  $\overrightarrow{x'x}$  في اللحظة  $t$ ؟

3. أبين أن طول الشعاع  $\overrightarrow{OM}$  ثابتٌ هي أم متغيرة عند الدوران؟

4. أوضح هل مسقط الشعاع  $\overrightarrow{OM}$  على المحور  $\overrightarrow{x'x}$  يتغير عند الدوران؟

5. أكتب علاقة  $(\omega_0 t + \varphi)$  بدلالة  $x$ ، و  $X_{\max}$ .

### استنتاج



- الطور الابتدائي للحركة  $\varphi$  هو الزاوية بين الشعاع  $\overrightarrow{OM}$  والمحور  $\overrightarrow{x'x}$  في اللحظة  $t = 0$ .

- طور الحركة  $(\omega_0 t + \varphi)$  هو الزاوية بين الشعاع  $\overrightarrow{OM}$  والمحور  $\overrightarrow{x'x}$  في اللحظة  $t$ .

- سعة الحركة  $X_{\max}$  هي طول الشعاع  $\overrightarrow{OM}$  الثابتة عند الدوران.

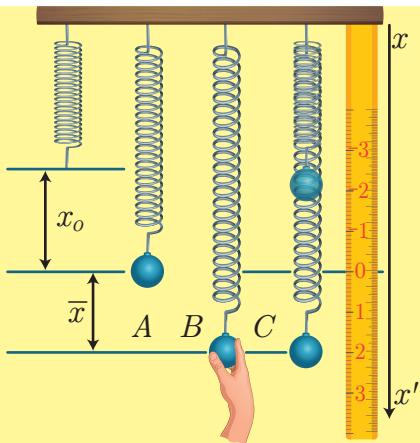
- النبض الخاص للحركة  $\omega_0$  يقابل السرعة الزاوية الثابتة التي تدور بها النقطة M.

- مطال الحركة  $\bar{x}$  هو مسقط الشعاع  $\overrightarrow{OM}$  على المحور  $\overrightarrow{x'x}$  وهو متغير بتغير الزمن.

- النسبة:  $\cos(\omega_0 t + \varphi) = \frac{\bar{x}}{X_{\max}}$ .

- التابع الزمني لحركة المسقط تابع جيبي من الشكل:  $\bar{x} = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi)$  لذلك تسمى الحركة جيبيّةً انسحابيّةً (تواافقية بسيطة).

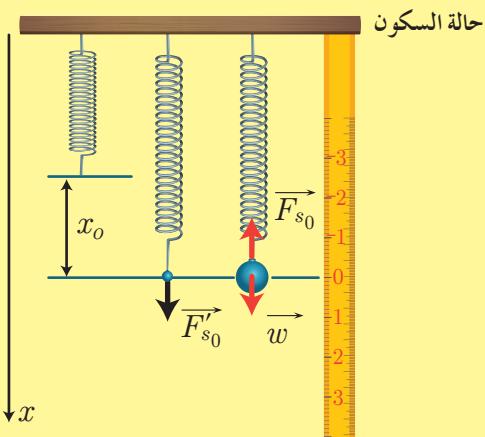
## النوايس المطرد: نشاط (5)



1. أعلق كرّة كتلتها  $m$  بنايبض مرن مهمّل الكتلة حلقاًه متباًعده، ثابت صلابته  $k$ ، ماذا لاحظ؟
2. أحدد القوى المؤثرة في الكرّة بعد توازنها؟
3. أشدّ الكرّة نحو الأسفل مسافةً مناسبةً (ضمن حدود مرؤنة النايبض) دون أن تتركها، وأحدّد القوى المؤثرة في الكرّة عندئذ.
4. أقارن بين قوّة توّر النايبض في الحالة A، وقوّة توّر النايبض في الحالة B؟
5. أترك الكرّة لتتحرّك (الحالة C)، وألاحظ شكل مسار حرّكتها.
6. ما طبيعة حرّكة الكرّة عند اقترابها من مرکز الاهتزاز؟ وعند ابعادها عنه؟
7. أحدد المواقع التي تنعدم فيها السرعة.

## قوّة الإرجاع:

### 1. حالة السكون:



يستطيُل النايبض مسافة  $x_0$  بعد تعليق الجسم فيه، ويتوّازن الجسم بتأثير قوتين: قوّة ثقله  $\vec{w}$  وقوّة توّر النايبض  $\vec{F}_{s0}$  وبما أنّ الجسم ساكن:

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

$$\vec{w} + \vec{F}_{s0} = \vec{0}$$

بالإسقاط على محور شاقوليّ موجّه نحو الأسفل

$$w - F_{s0} = 0$$

$$w = F_{s0}$$

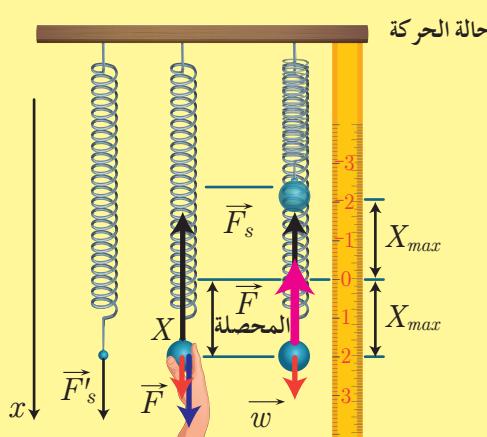
تؤثّر في النايبض القوّة  $\vec{F}_{s0}$  التي تسبّب له الاستطالة  $x_0$  إذ:

$$F'_{s0} = F_{s0} = k x_0$$

بالتعويض نجد:

$w = k x_0$  يُسمى المقدار  $x_0$  الاستطالة السكونية.

### 2. حالة الحركة:



القوى الخارجيّة المؤثرة في مرکز عطاله الجسم:

قوّة توّر النايبض:  $\vec{F}_s$  وقوّة الثقل:  $\vec{w}$

بتطبيق قانون نيوتن الثاني:

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

$$\vec{W} + \vec{F}_s = ma$$

بالإسقاط على محور شاقوليٍّ موجِّه نحو الأسفل:

$$w - F_s = m \, a$$

تؤثر في النابض القوة  $\vec{F}_s$  التي تسبب له الاستطالة  $(\bar{x} + x_0)$  إذ:  $F'_s = F_s = k(\bar{x} + x_0)$  بالتعويض نجد:

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

$$w - k\bar{x} - kx_0 = m \bar{a}$$

$$w = F_{s_0} = k x_0$$

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

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

لکن

**نتيجة:**

إنَّ محصلةَ القوىُّ الخارجيةِ المؤثرة في مركزِ عطالةِ الجسمِ في كلِّ لحظةٍ هي قوَّةُ إرجاعٍ لأنَّها تُعيَّدُ الجسمَ إلى مركزِ الاهتزازِ دوماً، وهي تتناسبُ طرداً مع المطال  $\bar{x}$ ، وتعاكُسُه بالإشارة.

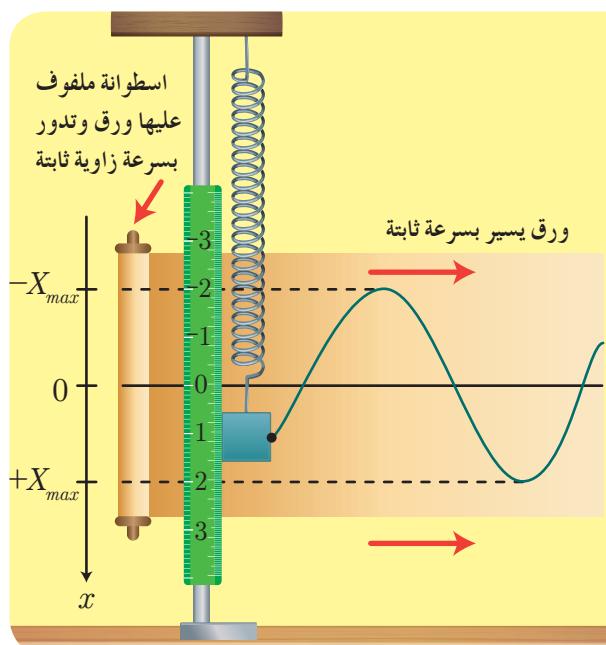
## ١. استنتاج طبيعة حركة النواس المدن:

يتعين مطالع الجسم (زيادةً ونقصاناً) بمرور الزمن إذ يتحرّكُ الجسمُ بين موضعين متتَّجَرين بالنسبة إلى مركز الاهتزاز، فما طبيعةُ هذه الحركة؟ إنَّ محصلةَ القوى الخارجيَّةِ التي يخضعُ لها مركزُ عطالةِ الجسم تُعطى بالعلاقة:

$$\overline{F} \equiv m \overline{a} \equiv -k \overline{x}$$

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

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



وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تقبل حلّاً  
جيئاً من الشكاكا:

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

للتتحقق من صحة الحل نستقِّر على المطالِ مرتين

بالنسبة للزمن نجد:

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

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

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

بالمقارنة بين (1) و (3) نجد أنّ:

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

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

وهذا محقق لأن  $k, m$  موجبان.

نتيجة:

إن حركة النوّاس المرن هي حركة جيبية انسحابية (هرازه توافقية بسيطة) الشكل العام للتابع الزمني للمطال

$$(\text{الموضع}) \text{ يعطى بالعلاقة: } (\bar{x} = X_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi}))$$

$\bar{x}$  المطال أو (موضع الجسم) في اللحظة  $t$  ويقدر بالметр m.

$X_{\max}$  سعة الحركة وتقدير بالметр m.

$$\omega_0 \text{ النسب الخاص للحركة ويقدر rad.s}^{-1}$$

$(\omega_0 t + \bar{\varphi})$  طور الحركة في اللحظة t.

$\bar{\varphi}$  الطور الابتدائي في اللحظة 0  $t = 0$  ويقدر بالراديان rad.

ندعوه كلاً من  $X_{\max}$  ،  $\omega_0$  ،  $\bar{\varphi}$  ثوابت الحركة.

## 2. استنتاج علاقة الدور الخاص للنوّاس المرن:

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

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

$$\frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{بالمساواة نجد:}$$

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

وهي علاقة الدور الخاص للنوّاس المرن غير المُتَخَامِدِ.

من العلاقة السابقة أستنتج أن الدور الخاص:

— لا يتعلّق بسعة الاهتزاز  $X_{\max}$

— يتَنَاسَبُ طرداً مع الجذر التربيعي لكتلة الجسم المهتز m.

— يتَنَاسَبُ عكساً مع الجذر التربيعي لثابت صلابة النابض k.

## ثوابت حركة النوّاس المرن:

### 1. تابع المطال:

الشكل العام للتابع الزمني للمطال:

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

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

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

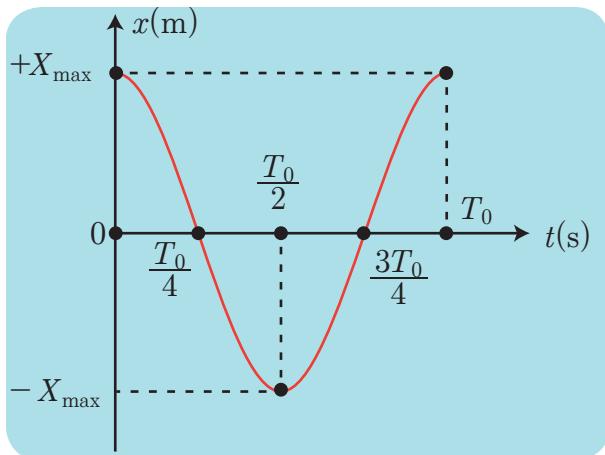
أعوّض في الشكل العام لتابع المطال:

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

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

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

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



فيأخذ التابع شكلاً مختلفاً  
 $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$   
 لدينا:  
 $\bar{x} = X_{\max} \cos \frac{2\pi}{T_0} t$  في التابع فأجد:  
 أكمل الجدول الآتي:

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

1. أرسم المنحني البياني لغيرات المطال بدلالة الزمن  
 خلال دور.

2. أحدد المواقع التي يأخذ فيها المطال:

a. قيمة عظمى (طويلة).

b. قيمة معدومة.

3. أحدد مطال الجسم في اللحظة



المطال أعظمى (طويلة) في الموضعين الطرفيين  
 .  $x = |\pm X_{\max}|$ .  
 المطال معدوم في مركز الاهتزاز  $x = 0$ .

## 2.تابع السرعة:

إن تابع السرعة هو المشتق الأول لتابع المطال بالنسبة للزمن.

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

$$\bar{v} = -\omega_0 X_{\max} \sin w_0 t$$

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

أكمل الجدول الآتي:

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

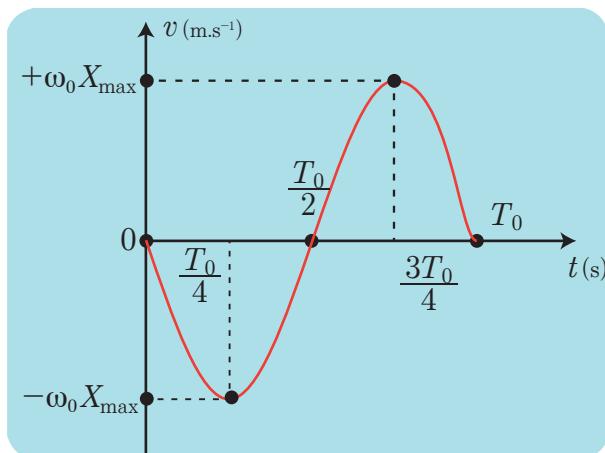
1. أرسم المنحني البياني لغيرات السرعة بدلالة الزمن  
 خلال دور.

2. أحدد المواقع التي تأخذ فيها السرعة:

a. قيمة عظمى (طويلة).

b. قيمة معدومة.

3. أحدد قيمة سرعة الجسم، وجهاً حركته في اللحظة



## استنتاج

السرعةُ أعظميةُ (طويلة)  $v_{\max} = |\pm \omega_0 X_{\max}|$  لحظة المرور في مركز الاهتزاز.  
السرعةُ معدومة  $v = 0$  لحظة الوجود في المطالين الأعظميين (الموضعين الطرفيين).

## 3.تابع التسارع:

إنَّ تابع التسارع هو المشتقُ الأولُ لتابع السرعةِ بالنسبة للزمن، وهو المشتقُ الثاني لتابع المطال بالنسبة للزمن.

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

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

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

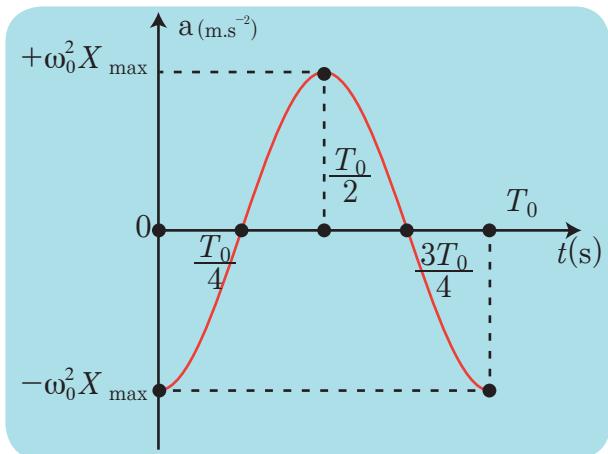
$$\bar{a} = -\omega_0^2 \bar{x}$$

وهو تابع التسارع بدلالة المطال.

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

انظر الشكل وأكمل الجدول الآتي:

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



1. أرسم المنحني البياني لتغيرات التسارع بدلالة الزمن خلال دور.

2. أحدد الموضع التي يأخذ فيها التسارع:  
a. قيمةً عظمى (طويلة).

b. قيمةً معدومة.

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

أتساءلُ:

أثبتة قيمةُ التسارع أم متغيره أثناء حركة الجسم؟

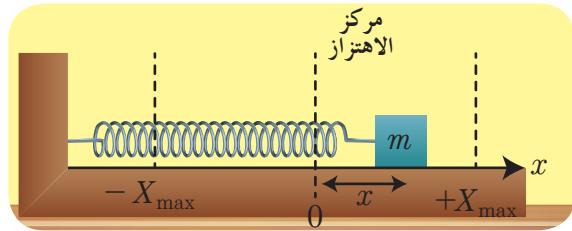
## استنتاج

التسارعُ أعظميٌّ (طويلة)  $a_{\max} = |\pm \omega_0^2 X_{\max}|$  لحظة الوجود في المطالين الأعظميين (الموضعين الطرفيين).

التسارعُ معدومٌ  $a = 0$  عند المرور في مركز الاهتزاز.

التسارعُ غير ثابتٍ تتغير قيمته بتغيير قيمة المطال.

## الطاقة في الحركة التوافقية البسيطة:



نشّت إلى بداية ساق أفقية ملساء طرف نابض مرن مهمّل الكتلة ونّشّت إلى نهاية الثانية جسماً صلباً كتلته  $m$  ونعدّ مركز عطالة الجسم وهو ساكن مبدأ للفوائل  $O$ ، نزيح الجسم عن وضع توازنه ونتركه يهتزّ إلى جانبيّيّ موضع توازنه على طول قطعة مستقيمة لتشكّل بذلك نوساً مرنّاً غير متّهامد إن الطاقة الميكانيكيّة للنوسا المرن هي مجموع الطاقتين: الكامنة والحركيّة.

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

- الطاقة الكامنة المرونيّة للنابض هي  $E_p = \frac{1}{2} k x^2$  نعوض تابع المطال:

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

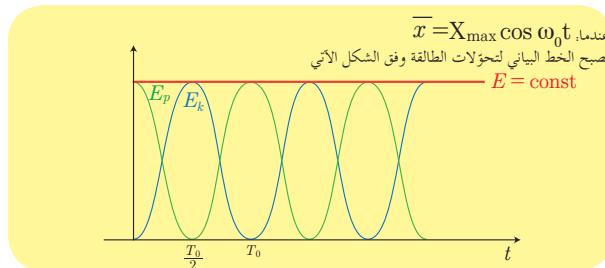
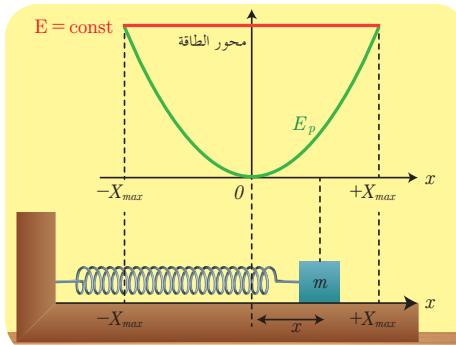
- الطاقة الحركيّة للجسم هي  $E_k = \frac{1}{2} m v^2$  نعوض تابع السرعة:

$$: (1) \quad \text{نعوض في } E_k = \frac{1}{2} m \omega_0^2 X_{max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi)$$

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

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

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



## نشاط (6)

أحد المواقع التي تكون فيها كل من الطاقتين الحركية والكامنة المرونية:

1. عظمى

2. معدومة

**تطبيق:**

نواس مرن أفقى مؤلف من جسمٍ ونابضٍ مرنٍ تابعه الزمني  $x = 0.1 \cos(\pi t + \pi)$ . المطلوب:

1. حدد ثوابت الحركة لهذا النواس.

2. احسب دورة  $T_0$ .

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

**الحل:**

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

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

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

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

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

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

$$t = 0 \implies x = 0.1 \cos \pi = -0.1 \text{ m}$$

أي المتحرك في مطاله الأعظمي السالب في لحظة بدء الزمن.

## تعلمتُ

- النواس المرن: جسم صلب معلق بناطض مرن مهملا الكتلة حلقة متبااعدة يهتز بحركة اهتزازية حول مركز الاهتزاز.

$$x_0 = \frac{m g}{k}$$

قوّة الإرجاع:  $\bar{F} = -k \bar{x}$  تتناسب طرداً مع المطال وتعاكسه بالإشارة.

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

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

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} \quad \text{أو} \quad \omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

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

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

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



## أختبر نفسك

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

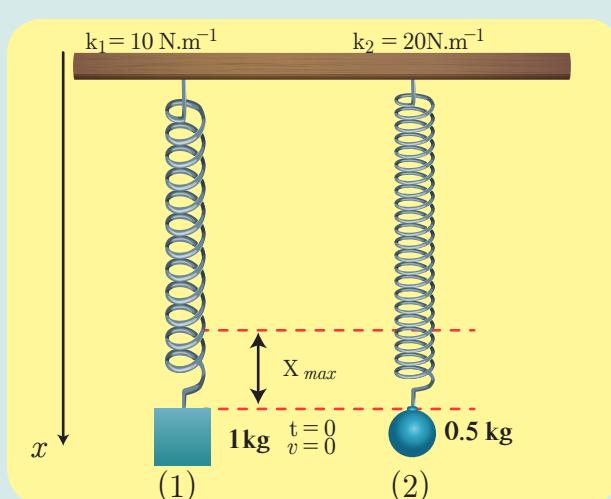
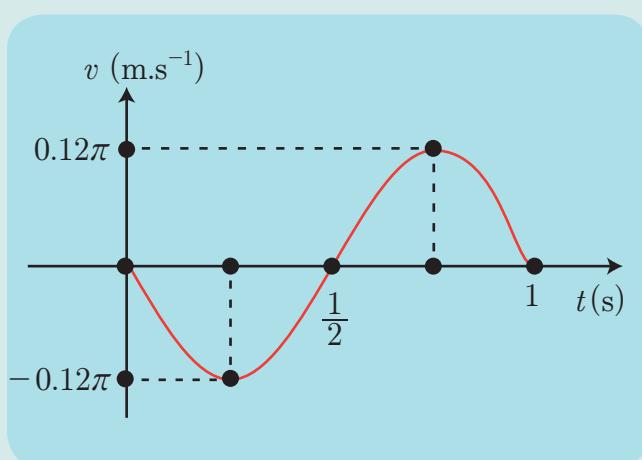
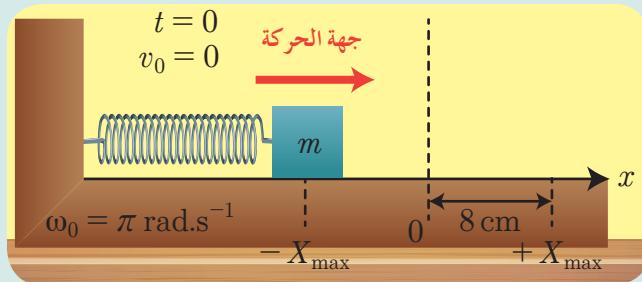
1. تابع المطال الذي يصف حركة الاهتزاز الجيبية في الشكل المجاور هو:

a.  $\bar{x} = 0.08 \cos(\pi t + \pi)$

b.  $\bar{x} = 8 \cos(\pi t - \pi)$

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

d.  $\bar{x} = 0.8 \cos \pi t$



2. الرسم البياني جانباً يمثل تغيرات السرعة مع

الزمن لجسم مرتبط بناطئ مرن يتحرّك بحركة توافقية بسيطة، فيكون التابع الزماني للسرعة هو:

a.  $\bar{v} = 0.06\pi \cos \pi t$

b.  $\bar{v} = -0.06\pi \cos 2\pi t$

c.  $\bar{v} = -0.12\pi \sin 2\pi t$

d.  $\bar{v} = 0.12\pi \sin \pi t$

3. يمثل الشكل المجاور هزازتان توافقيتان

(1) و (2) تطلقا من الموضع نفسه، وفي اللحظة نفسها، فإنّهما بعد مضي 3 s من بدء حركتهما:

- a. تلتقيان في مرکز الاهتزاز.

- b. تلتقيان في الموضع  $+X_{max}$

- c. لا تلتقيان لأنّ مطال الأولى  $+X_{max}$  ومطال الثانية  $-X_{max}$ .

- d. لا تلتقيان لأنّ مطال الأولى  $-X_{max}$  ومطال الثانية  $+X_{max}$ .

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:

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

2. نابض مرن مهمل الكتلة حلقاته متباينة ثابت

صلاته  $k$ ، مثبت من أحد طرفيه، ويربط بطرفه الآخر جسم صلب كتلته  $m$  يمكنه أن يتحرك على سطح أفقي أملس، كما في الشكل المجاور، نشد الجسم مسافةً أفقيةً مناسبةً، ونتركه دون سرعة ابتدائية. المطلوب:

a. ادرس حركة الجسم، واستنتج التابع الزمني للمطال.

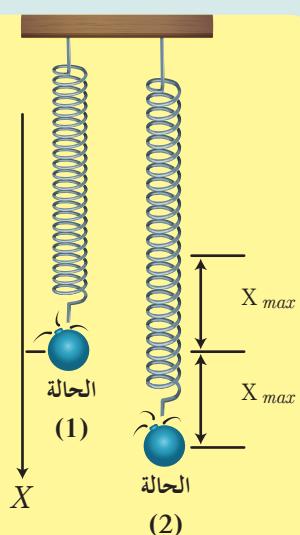
b. استنتاج علاقة الطاقة الحرارية للجسم بدلالة  $X_{\max}$  في كل من الموضعين: A و B و

$$x_B = +\frac{X_{\max}}{\sqrt{2}}$$

3. جسم معلق بنابض مرن شاقولي مهمل الكتلة حلقاته متباينة يهتز بدوره الخاص، ما نوع حركة الجسم بعد انفصاله عن النابض في كل من الموضعين الآتيين، ولماذا؟

a. مركز الاهتزاز، وهو يتحرك بالاتجاه السالب؟

b. المطال الأعظمي الموجب؟



ثالثاً: حل المسائل الآتية:

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

المسألة الأولى:

تألف هزازة جيبيّة انسحابية من نابض مرن شاقولي مهمل الكتلة حلقاته متباينة، ثابت صلاته  $k = 10 \text{ N.m}^{-1}$  ، مثبت من أحد طرفيه، ويحمل في طرفه الآخر جسمًا كتلته  $m$  ، ويعطى التابع الزمني لمطال حركتها بال العلاقة:  $\bar{x} = 0.1 \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$

المطلوب:

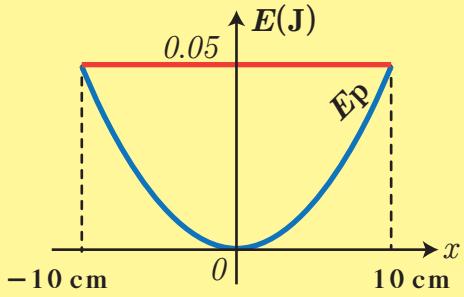
1. أوجد قيمة ثوابت الحركة ودورها الخاص.

2. احسب كتلة الجسم  $m$ .

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

4. حدد موضع الجسم وجهاً حرّكه لحظة بدء الزّمن.

### المسألة الثانية:



يوضح الرسم البياني المجاور تغيرات الطاقة الكامنة المرونية بتغيير الموضع لهزازة توافقية بسيطة مؤلفة من نابض مرن مهملاً الكتلة حلقاته متباينة ثابت صلابته  $k$  معلق به جسم كتلته  $0.4 \text{ kg}$ .

**المطلوب:**

1. استنتج قيمة ثابت صلابة النابض  $k$ .
2. احسب الدور الخاص للحركة.
3. احسب قيمة السرعة عند المرور في مركز الاهتزاز.

### المسألة الثالثة:

نشكل هزازةً توافقيةً بسيطة من جسم كتلته  $m = 1 \text{ kg}$  معلق بطرف نابض مرن شاقولي مهملاً الكتلة حلقاته متباينةً فينجز  $10$  هزازات في  $10 \text{ s}$ ، ويرسم في أثناء حركة قطعة مستقيمة طولها  $16 \text{ cm}$ .

**المطلوب:**

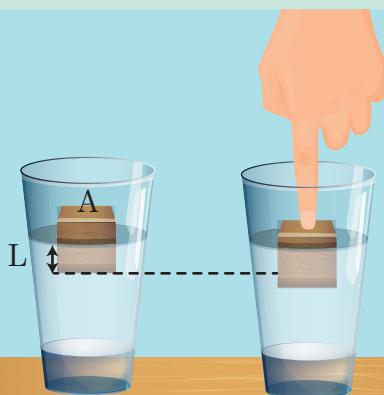
1. استنتاج علاقة الاستطالة السكونية لهذا النابض، ثم احسب قيمتها.
2. احسب قيمة السرعة العظمى (طويلة).
3. احسب قيمة التسارع في مطال  $x = 6 \text{ cm}$ .
4. احسب الطاقة الكامنة المرونية في موضع مطاله  $x = -4 \text{ cm}$ ، واحسب الطاقة الحرارية عندئذٍ.

### المسألة الرابعة:

تهتئ كرّة معدنية كتلتها  $m$  بمرونة نابض شاقولي مهملاً الكتلة، حلقاته متباينة، ثابت صلابته  $k = 16 \text{ N.m}^{-1}$  بحركة توافقية بسيطة دورها الخاص  $1 \text{ s}$ ، وبسعة اهتزاز  $m = 0.1 \text{ m}$ ، وبفرض مبدأ الزمن لحظة مرور الكرة بنقطة مطالها  $\frac{X_{\max}}{2}$  وهي تحرك بالاتجاه السالب.

**المطلوب:**

1. استنتاج التابع الزمني لمطال حركة الكرّة انطلاقاً من شكله العام.
2. عين لحظتي المرور الأول والثالث للكرّة في موضع التوازن.
3. احسب شدة قوة الإرجاع في نقطة مطالها  $x = +0.1 \text{ m}$ .
4. احسب كتلة الكرّة.

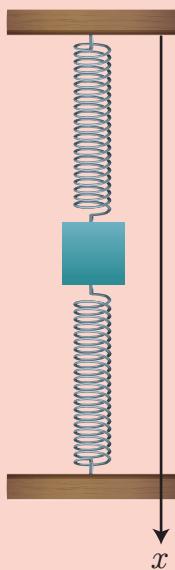


يحتوي كأس ماء كتلته الحجمية  $\rho_{H_2O}$ ، يُوضع فيه مكعب خشبي كتلته  $m_{wood}$  وكتلته الحجمية  $\rho_{wood}$  حيث  $\rho_{wood} < \rho_{H_2O}$  ومساحة سطحه A فيطفو وهو بحالة توازن وقد برز جزء منه فوق سطح الماء.  
عند التأثير بقوة شاقولية على المكعب الخشبي ليغمر كلياً بالماء ثم يترك فجأة.  
ما نوع حركة المكعب الخشبي؟

### أبحث أكثر



لديك الجملة الموضحة بالشكل المجاور والمؤلفة من نابضين متماثلين ثابت صلابة كل منهما  $k$ :  
**1.** قمنا بإجراء تجربتين على الجملة إحداهما على الأرض والأخرى في المحطة الفضائية:  
**2.** هل يختلف دور الاهتزاز للجملة أم لا؟ ولماذا؟



# 2

## الاهتزازات الجيبية الدورانية نوّاس الفتيل غير المُتَخَامِد



### الأهداف:

- \* يتعرّفُ نوّاس الفتيل.
- \* يبيّنُ تأثيرَ عزوم القوى في الحركة الدورانية.
- \* يوضّحُ طبيعةَ حركة نوّاس الفتيل.
- \* يستنتجُ علاقةَ دور نوّاس الفتيل تجريبياً.
- \* يبيّنُ تحولَ الطاقة في نوّاس الفتيل.
- \* يتعرّفُ التطبيقاتِ الحياتية لنوّاس الفتيل غير المُتَخَامِد.
- \* يعطي أمثلةً من حياته اليومية لنوّاس الفتيل غير المُتَخَامِد

### الكلمات المفتاحية:

- \* نوّاس الفتيل
- \* سلك الفتيل
- \* ثابت فتل السلك
- \* مزدوجة الفتيل
- \* المطال الزاوي
- \* السعة الزاوية

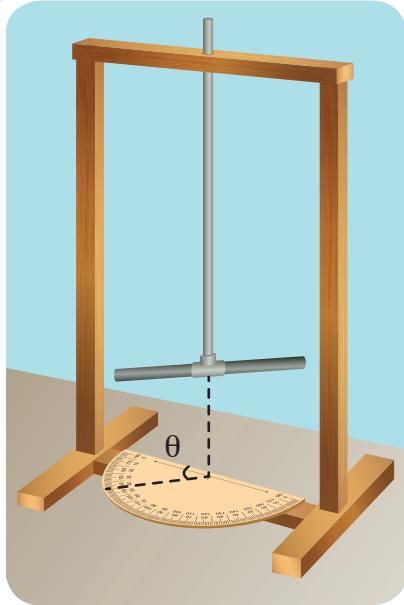
تعتمدُ بعضُ الساعاتِ في عملها على حركة نابضٍ لوليبيٍ كما في الشكل. إذ تتأرجحُ كتلةً بحركةٍ دورانيةٍ بين موضعين زاوين متاظرين. وأقربُ مثالٍ على تلك الحركة الدورانية هو تعليقٌ ساقٍ متجانسةٍ من مركزها إلى سلكٍ فتلٍ فولاذيٍ ثابتٍ فتلِه  $k$  وُيسمى نوّاس الفتيل.

أجرب وأستنتج:

المواد الازمة: حقيقة نواس الفتل المخبرية.

تجربة (1)

خطوات التجربة:

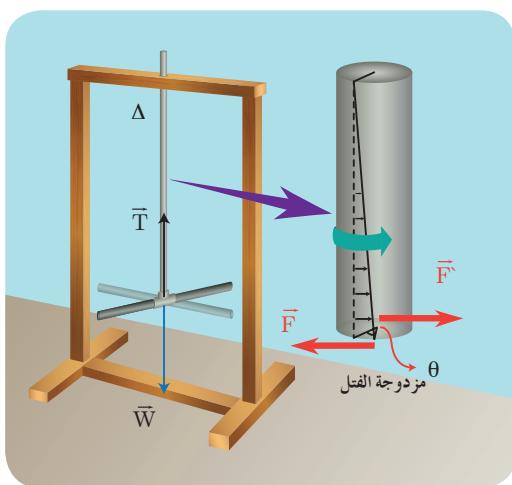


1. أركب جهاز نواس الفتل المخبري الموضح جانباً.
2. أحدد القوى الخارجية المؤثرة في الساق المتوازنة في مستوىً أفقى.
3. أدير الساق عن وضع توازنهما الأفقي بزاوية  $\theta$  و أتركها دون سرعة ابتدائية.
4. أحدد القوى الخارجية المؤثرة في الساق أثناء الحركة.
5. أحدد محصلة العزم للقوى المؤثرة في الساق.

### استنتاج

- إن الساق المعلقة بسلك الفتل تهتز في مستوىً أفقى حول سلك الشاقولي بتأثير عزم مزدوجة الفتل.

## 1. دراسة حركة نواس الفتل:



- القوى الخارجية المؤثرة في الساق: قوة الثقل  $\vec{w}$ ، قوة التوتر  $\vec{T}$
- عندما تُدبر الساق زاوية  $\theta$  عن وضع توازنهما في مستوىً أفقىٌ تنشأ في السلك مزدوجة فتل  $\vec{\Gamma}$  تقاوم عملية الفتل تعمل على إعادة الساق إلى وضع توازنهما عزمها هو عزم إرجاع يتاسب طرداً مع زاوية الفتل  $\theta$  ويعاكسها بالإشارة  $\vec{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} = -k \vec{\theta}$

- بتطبيق العلاقة الأساسية في التحرير الدوراني (نظرية التسارع الزاوي) حول محور  $\Delta$  منطبق على سلك الفتل الشاقولي:

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

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

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

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

$$\begin{aligned}
 0 + 0 - k\bar{\theta} &= I_{\Delta}\bar{\alpha} \\
 -k\bar{\theta} &= I_{\Delta}(\bar{\theta})_t'' \\
 (\bar{\theta})_t'' &= -\frac{k}{I_{\Delta}}\bar{\theta} \quad \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

المعادلة (2) هي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تقبل حلًا جيبيًا من الشكل:  $\bar{\theta} = \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})$  وللحقيقة من صحة الحل نستقر مرتين بالنسبة بالزمن:

$$\begin{aligned}
 \bar{\omega} &= (\bar{\theta})'_t = -\omega_0 \theta_{\max} \sin(\omega_0 t + \bar{\varphi}) \\
 \bar{\alpha} &= (\bar{\theta})_t'' = -\omega_0^2 \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \bar{\varphi})
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \omega_0^2 &= \frac{k}{I_{\Delta}} \quad \dots\dots\dots (4) \\
 \omega_0 &= \sqrt{\frac{k}{I_{\Delta}}} > 0
 \end{aligned}$$

بموازنة العلاقات (2) و (3) نجد:

وهذا ممكّن لأنّ  $k / I_{\Delta}$  موجّبان أي أنّ حركة نوّاس الفتل جيبيّة دورانية تابعها الزمني من الشكل:

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

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

$\theta_{\max}$ : المطال الزاوي الأعظمي (السعة الزاوية) واحدته rad

$\omega_0$ : النسب الخاص بالحركة واحدته  $\text{rad.s}^{-1}$

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

**أجرب وأستنتج:**

المواد اللازمة: حقيبة نوّاس الفتل المخبرية.

### تجربة (1)

#### خطوات التجربة:

1. أعلق ساقاً معدنيّة متجانسة طولها  $l$ ، كتيلتها  $m$  من منتصفها إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتله  $k$ .

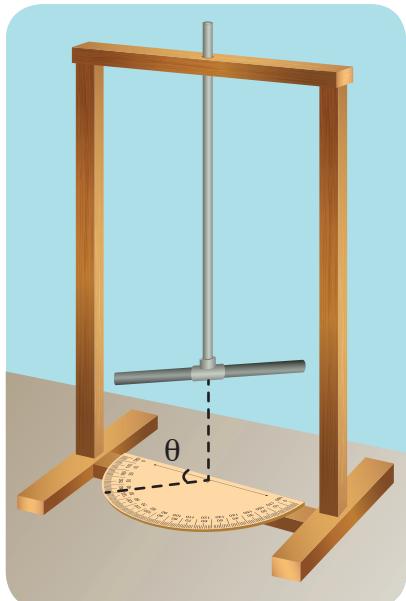
2. أديّر الساق زاوية  $\theta_1$  عن وضع توازنها في مستويٍّ أفقيٍّ وأنركُها لتهتز دون سرعة ابتدائية.

3. أقيس زمن 10 نوّسات.

4. أحسب زمن نوّسة واحدة، وليكن  $T_{01} = \frac{t}{N}$

5. أعيد التجربة السابقة مع زاوية  $\theta_2 > \theta_1$ .

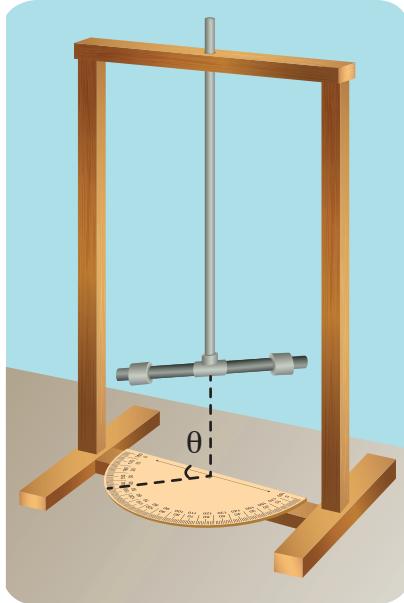
6. أحسب زمن النوّسة الواحدة.



- لا تتغيّر قيمة الدور الخاص لنوّاس الفتل بتغيير السعة الزاوية للحركة.

## تجربة (2)

### خطوات التجربة:



1. أثبت على الساق كتلتين نقطيتين متساويتين، وعلى بعدين متساوين من سلك التعليق وأديرها زاوية  $\theta$ .

2. أحسب زمن النوسنة الواحدة، وليكن  $T_{02}$ .

3. أقارن  $T_{02}$  مع  $T_{01}$  ، ماذا أستنتج؟

### استنتاج

- يزداد الدور الخاص لنواص الفتل بزيادة عزم عطالة الجملة.

## تجربة (3)

### خطوات التجربة:

1. أجعل طول سلك الفتل نصف ما كان عليه وأديرها زاوية  $\theta$  وأحسب زمن النوسنة الواحدة  $T_{03}$ .

2. أقارن  $T_{03}$  مع  $T_{01}$ .

### استنتاج

- ينقص الدور الخاص لنواص الفتل بنقصان طول سلك الفتل.

## 2. دور نواص الفتل:

• وجدنا أن:

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

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

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

## استنتاج

أن الدور الخاص لنواص الفتل:

- لا يتعلّق بالسعة الزاويّة للحركة  $\theta_{\max}$ .
- يتاسب طرداً مع الجذر التربيعي لعزم عطالة جملة النواص حول محور الدوران (سلك الفتل).
- يتاسب عكساً مع الجذر التربيعي لثابت فتل السلك.

**ملاحظة:** يعطي ثابت فتل السلك بالعلاقة:  $k' = k \frac{(2r)^4}{l}$   
إذ:  $k'$  ثابت يتعلّق بنوع مادة السلك،  $2r$  قطر السلك،  $l$  طول السلك.

### 3. التشابه الشكلي بين النواص المرن ونواص الفتل:

كتلة $m$	التسارع $\bar{a} = (\bar{x})''_t$	السرعة $\bar{v} = (\bar{x})'_t$	المطال $\bar{x}$	حركة جيبيّة انسحابية	النواص المرن
عزم عطالة $I_{\Delta}$	التسارع الزاوي $\bar{\alpha} = (\bar{\theta})''_t$	السرعة الزاويّة $w = (\bar{\theta})'_t$	حركة جيبيّة دورانّية مطال زاوي $\bar{\theta}$	نواص الفتل	
طاقة الميكانيكية $E = \frac{1}{2}k X_{\max}^2$	طاقة الحركية $E_k = \frac{1}{2}m v^2$	طاقة الكامنة المرونية $E_p = \frac{1}{2}k x^2$	قوة الإرجاع $\bar{F}$	ثابت الصلابة $k$	نواص المرن
طاقة الميكانيكية $E = \frac{1}{2}k \theta_{\max}^2$	طاقة الحركية $E_k = \frac{1}{2}I_{\Delta} w^2$	طاقة الكامنة المرونية $E_p = \frac{1}{2}k \theta^2$	عزم الإرجاع $\bar{F}$	ثابت الفتل $k$	نواص الفتل

## تعلّمت

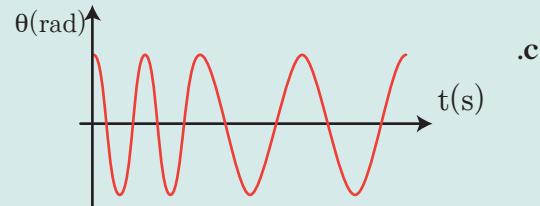
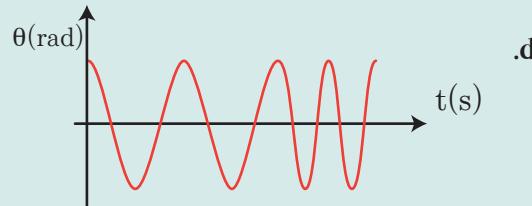
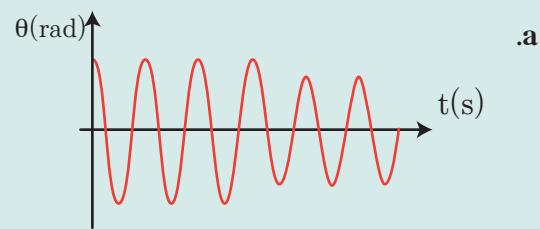
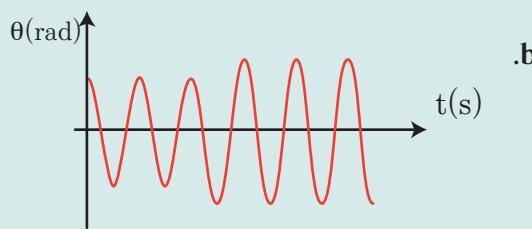
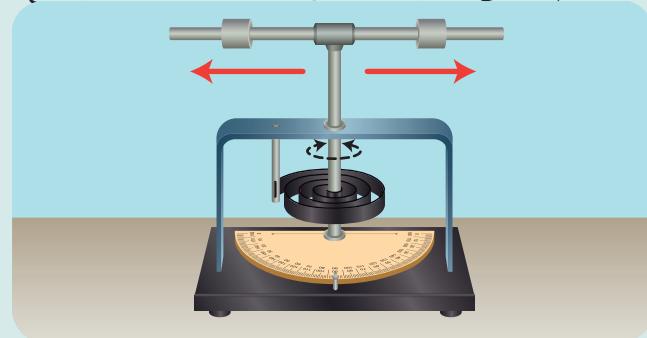
- نواص الفتل: جسم صلب متجلّس معلق من مرتكّبه إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتلته  $k$ .
- عزم الإرجاع:  $\bar{F} = -k \bar{\theta}$  يتاسب طرداً مع المطال الزاوي ويعاكّسه بالإشارة.
- طبيعة حركة نواص الفتل: جيبيّة دورانّية من الشكل  $(\bar{\theta} = \theta_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi))$
- دور نواص الفتل:  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_{\Delta}}{k}}$
- نبض الحركة:  $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$  أو  $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{I_{\Delta}}}$



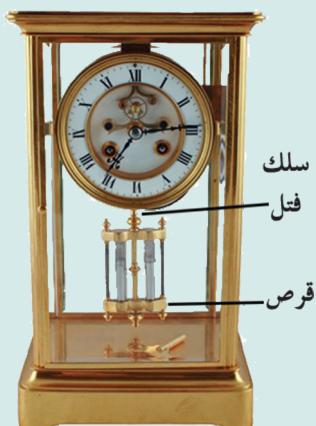
## أختبر نفسك

أولاً: اختار الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

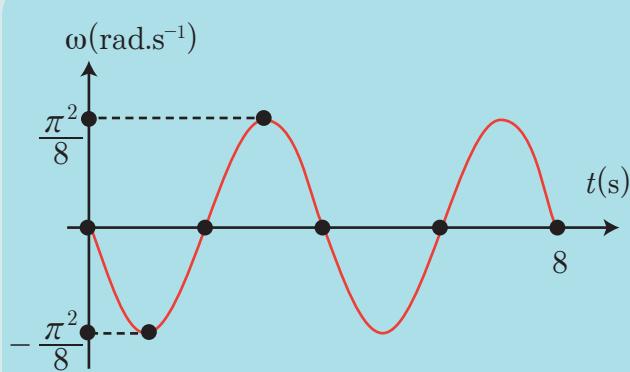
1. يهتر نوّاس فتل بدور خاص  $T_0$ ، في لحظة ما أثناء حركته ابتعدت الكتلتان عن محور الدوران بمقدار نفسه كما هو موضح بالشكل، فالرسم البياني الذي يعبر عن تغيير المطال الزاوي مع الزمن في هذه الحالة هو:



2. ميكانيكيّة تعتمد في عملها على نوّاس فتل كما في الشكل المجاور، ولتصحيح التأخير الحاصل بالوقت فيها، قدم الطالب مقتراحاتهم، فإنّ الاقتراح الصحيح هو:



- a. زيادة طول سلك الفتل بمقدار ضئيل.
- b. زيادة كتلة القرص مع المحافظة على قطره.
- c. إنcrease طول سلك الفتل بمقدار ضئيل.
- d. زيادة قطر القرص مع المحافظة على كتلته.



3. يمثل الرسم البياني المجاور تغيرات السرعة الزاوية لنواس فتل بتغيير الزمن، فإن تابع السرعة الزاوية الذي يمثله هذا المنحني هو:

$$\bar{\omega} = \frac{\pi^2}{8} \sin 3\pi t . a$$

$$\bar{\omega} = -\frac{\pi^2}{8} \sin 2\pi t . b$$

$$\bar{\omega} = +\frac{\pi^2}{8} \sin \frac{\pi}{2} t . c$$

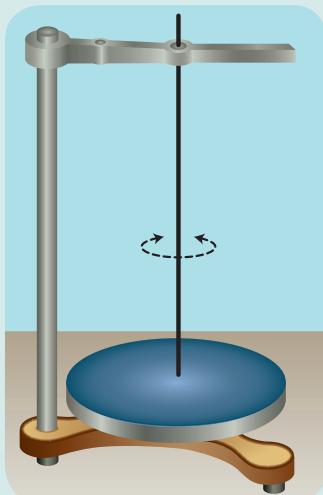
$$\bar{\omega} = -\frac{\pi^2}{8} \sin \frac{\pi}{2} t . d$$

ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية

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

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

**المسألة الأولى:**



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

**المطلوب:**

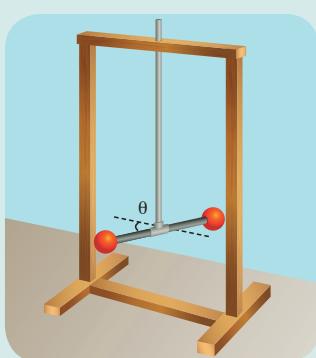
1. احسب الدور الخاص للنواس.

2. استنتج التابع الزمني للمطال الزاوي انطلاقاً من شكله العام.

3. احسب الطاقة الكامنة في وضع مطاله الزاوي  $\theta = \frac{\pi}{8} \text{ rad}$  ، ثم احسب الطاقة الحركية عندئذ. (عزم عطالة قرص حول محور عمودي على مستويه ومدار من مركزه

$$(I_{\Delta/c} = \frac{1}{2} mr^2)$$

**المسألة الثانية:**



ساق مهملاً الكتلة طولها  $l$  ، ثبّت في كل من طرفيها كتلة نقطية  $g = 125 \text{ g}$  ، ونعلق الجملة من متصفها إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتلته  $16 \times 10^{-3} \text{ N.rad}^{-1}$  لتألف الجملة نواس فتل، نزيح الساق عن وضع توازنه في مستوى أفقي بزاوية  $\theta = \frac{\pi}{3} \text{ rad}$  وترك دون سرعة ابتدائية لحظة بدء الزمن، فتهتز بحركة جيبيّة دورانية، دورها الخاص  $2.5 \text{ s}$ .

**المطلوب:**

1. استنتاج التابع الزمني للمطال الزاوي انطلاقاً من شكله العام.

2. احسب قيمة السرعة الزاوية للساق لحظة مرورها الأولى بوضع التوازن.

3. احسب طول الساق.

### المُسَأَلَةُ التَّالِثَةُ:

ساقٌ أَفْقيٌ مُتَجَانِسٌ طُولُهَا  $l = ab = 40 \text{ cm}$  معلقة بسلك فتل شاقولي يمُرُ من منتصفها.

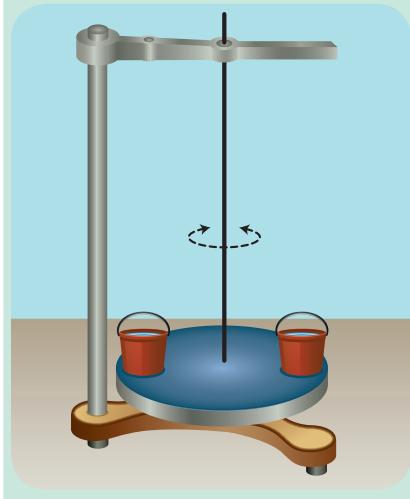
- a. نديِّر الساق في مستوىً أَفْقيًّا بزاوية  $\theta = 60^\circ$  انطلاقاً من وضع توازنهما، ونترُكُها دون سرعة ابتدائية في اللحظة  $t = 0$  فتهتَّ بحركة جيئية دورانية دورها الخاص  $T_0 = 1 \text{ s}$  فإذا علمتَ أنَّ عزم عطالة الساق بالنسبة لسلك

$$\text{الفتل } I_{\Delta/c} = 2 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^2$$

المطلوب:

1. استنتج التابع الزمني للمطال الزاوي انطلاقاً من شكله العام.
  2. احسب قيمة السرعة الزاوية للساق لحظة مرورها الثاني بوضع التوازن.
  3. احسب قيمة التسارع الزاوي للساق عندما تصنَّع زاوية  $(-30^\circ)$  مع وضع توازنهما.
- b. ثبِّت بالطرفين  $a, b$  كتلتين نقطيتين  $m_1 = m_2 = 75 \text{ g}$  استنتاج قيمة الدور الخاص الجديد للجملة المهترزة، ثم احسب قيمة ثابت فتل السلك.
- c. نقسِّم سلك فتل قسمين متساوين، ونلْعِنَ الساق بعدئذ بنصفَي السلك معاً، أحدهما من الأعلى، والآخر من الأسفل ومن منتصفها، وثبت طرف هذا السلك من الأسفل بحيث يكون شاقوليًّا. استنتاج قيمة الدور الخاص الجديد للساق (دون وجود كتل نقطية). افترض  $\pi^2 = 10$

### تفكيير ناقد



نواس فتل مؤلف من سلك فتل ثابت فله  $k$  وقد معدني عزم عطالته  $I_{\Delta/c} = \frac{1}{2} m r^2$  وقد ثبِّت على محيطه كأسان متباينات يحويان نفس الكمية من الماء وقد جُهز كلُّ منها بصمام يتجه نحو مركز القرص.

ثُزِّاح الجملة عن موضع توازنهما زاوية  $\theta_{\max} = \pi \text{ rad}$  وترك دون سرعة ابتدائية في اللحظة  $t = 0$ ، وفي إحدى النوسات تم فتح الصمامين هل تزداد السرعة الزاوية أم تنقص ولماذا؟

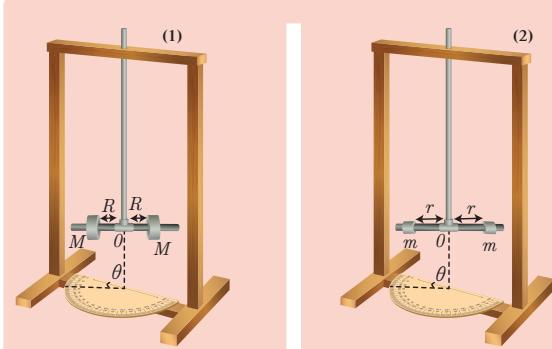
### ابحث أكثر



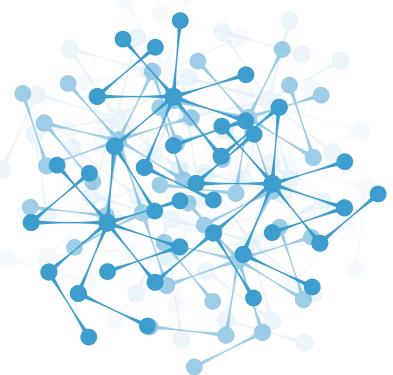
يبين الشكلان المجاوران نواسي فتل لهما السلك ذاته وكتلة الساق مهملة

$$M = 2m, r = 2R$$

أيُّ النواسين دوره أكبر؟



## الاهتزازاتُ غيرُ التوافقية النواس الثقلِيّ غيرُ المترافق



تنشر لعبه الأرجوحة في معظم المتنزهات، هل لاحظت حركتها؟ عند إزاحتها عن موضع توازنها تهتز إلى جانبٍ وضع توازنها وتتخاصم الحركة لتقف بعد مدة، فهي بحاجة لإعطائها دفعه كي تهتز مجدداً والأمر مشابه لما يحدث في رفاص الساعة الجدارية إذ يتارجح بين وضعين متناقضين، وهو يحتاج إلى تغذية حركته بتعويض الطاقة المبذلة. ولعل الدراسة التجريبية والنظرية للنؤاس التقلي غير المتخاصم تعطي فكرة عن طبيعة الحركة وطبعها والفائدة المرجوّة منها.

## الأهداف:

- \* يُعْرَفُ النَّوَاسُ الشَّقْلِيُّ.
  - \* يُسْتَنْجُ عَلَاقَةً دُورَ النَّوَاسِ الشَّقْلِيِّ مِنْ أَجْلِ السَّاعَاتِ الرَّأْوِيَّةِ الصَّغِيرَةِ.
  - \* يُعْرَفُ النَّوَاسُ الشَّقْلِيُّ البَسيطُ.
  - \* يُسْتَنْجُ عَلَاقَةً دُورَ النَّوَاسِ البَسيطِ.
  - \* يُسْتَنْجُ عَلَاقَةً سُرْعَةَ كَرْهَةِ النَّوَاسِ البَسيطِ فِي وَضْعِ مَا.
  - \* يُسْتَنْجُ عَلَاقَةً تَوْتَرَ خَيْطَ النَّوَاسِ البَسيطِ فِي وَضْعِ مَا.
  - \* يَبْيَّنُ تَحْوِلَاتِ الطَّافِقَةِ فِي النَّوَاسِ البَسيطِ بَيْنَ الْكَامِنَةِ وَالْحَرْكَيَّةِ.

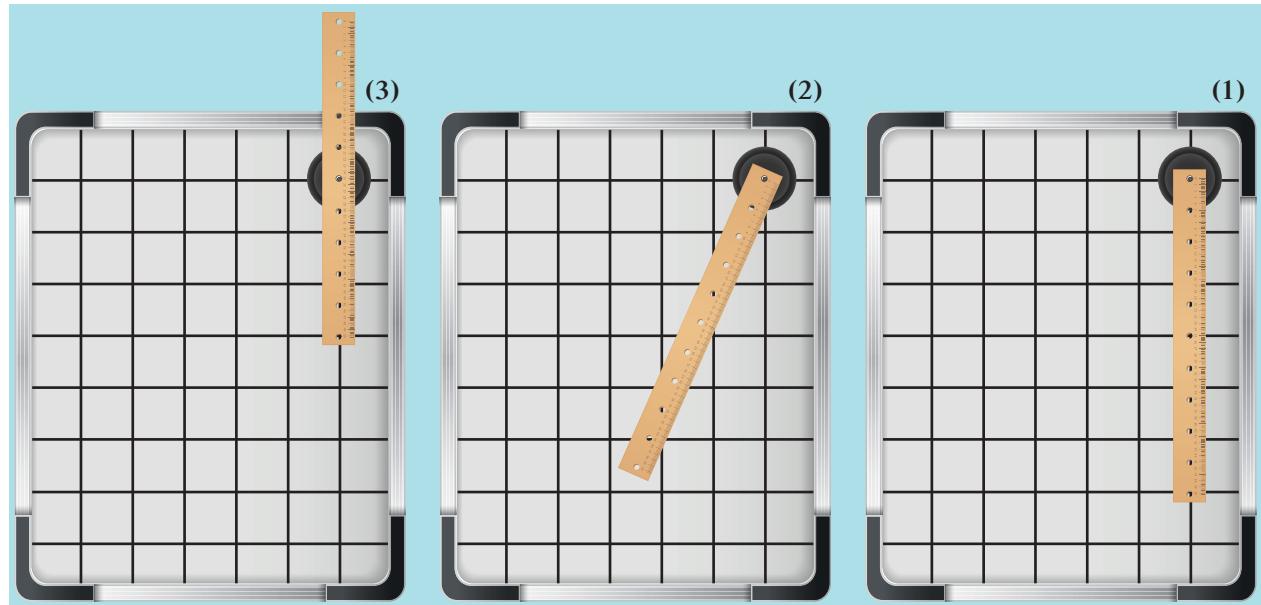
الكلمات المفتاحية: 

- \* النواس الشقلي المركب
  - \* النواس الشقلي البسيط

## النواس الثقلٍ: نشاط (1):

### الأدوات المستعملة: حقيقة النواس الثقلٍ

1. أعلق المسطرة من طرفها العلوي في النقطة  $O$  بحامل مثبت على اللوح، عمودياً على مستوىها الشاقولي، ليكون محور الدوران أفقياً، وأتركها تتوزن شاقولياً.
  - ما القوى الخارجية المؤثرة في الساق في هذه الحالة؟
  - أحدد عزوم القوى المؤثرة.
2. أزيح المسطرة عن موضع توازنها بزاوية  $\theta_1$  وأتركها دون سرعة ابتدائية.
  - ما نوع حركة المسطرة؟
  - أحدد عزوم القوى المؤثرة في هذه الحالة.
3. أعلق المسطرة من ثقب في منتصفها.
  - هل تحرّك المسطرة؟
  - ما نوع توازن المسطرة؟
  - ما قيمة عزوم القوى المؤثرة في هذه الحالة؟
4. أزيح المسطرة عن موضع توازنها الشاقولي بزاوية  $\theta_2$  وأتركها دون سرعة ابتدائية.
  - إن كل جسم صلب يهتز بتأثير عزم قوّة نقله حول محور دوران عمودي على مستوىه، ولا يمُر من مركز عطالته، يُسمى: بالنواس الثقلٍ.



استنتاج

- إن كل جسم صلب يهتز بتأثير عزم قوّة نقله حول محور دوران عمودي على مستوىه، ولا يمُر من مركز عطالته، يُسمى: بالنواس الثقلٍ.

## الدراسة التحريلية للنواس الثقل

نعلم جسمًا صلبةً كتلته  $m$  ، مرکز عطالته  $C$  إلى محور دوران أفقى  $\Delta$  مارّ من النقطة  $O$  من الجسم حيث  $OC = d$ .

نزيح الجسم عن موضع توازنه الشاقولي زاوية  $\theta$  ونتركه دون سرعة ابتدائية ليهتز في مستوي شاقولي. تؤثر في الجسم قوتان هما:

- قوة ثقله  $\vec{W}$ .

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

بتطبيق العلاقة الأساسية في التحرير الدوراني (نظرية التسارع الزاوي):

$$\begin{aligned}\sum \bar{\Gamma}_{\Delta} &= I_{\Delta} \bar{\alpha} \\ \bar{\Gamma}_{\vec{W}/\Delta} + \bar{\Gamma}_{\vec{R}/\Delta} &= I_{\Delta} \bar{\alpha}\end{aligned}$$

وباختيار الجهة الموجبة للدوران عكس جهة دوران عقارب الساعة نجد:

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

$$\bar{\Gamma}_{\vec{W}/\Delta} = -(d \sin \theta) W \text{ بالتعويض نجد:}$$

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

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

لكن:

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

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تحتوي  $\sin \theta$  بدلاً من  $\theta$  فحلها ليس جيبياً، ومن ذلك فإن حركة النواس الثقل هي حركة اهتزازية غير توافقية.

كيف تصبح حركة النواس الثقل من أجل الساعات الزاوية الصغيرة ( $\theta \leq 0.24 \text{ rad}$ )؟ في هذه الحالة يكون  $\sin \theta \simeq \theta$ . نعوض في العلاقة (1) فنجد:

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

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

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

للحقيق من صحة الحل نشتغل تابع المطال الزاوي مررتين بالنسبة للزمن نجد:

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

بالمطابقة بين (2) و (3) نجد:

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

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

وهذا محقّق لأنّ المقادير  $I_\Delta, d, g, m$  موجبة، فحركةُ النواس الثقلّي من أجل السّعات الزاويّة الصغيرة هي حركةٌ جيبيّة دورانّية نبضُها الخاصُّ  $\omega_0$ .

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

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

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

استنتاجُ علاقـة الدورـ الخاص للاهـتزـاز:

وهي العلاقة العامـة للدورـ الخاص لـلنـواس الثـقلـي في حالـة الـاهـتزـازـات صـغـيرـة السـعـةـ.

- دورـ النـواس الثـقلـيـ الخاص بـسـعـة زـاوـيـة صـغـيرـة، واحدـتهـ  $s$ .

- عـزـم عـطـالـةـ الجـسـمـ الـصـلـبـ، واحدـتهـ  $kg \cdot m^2$

- $d$  بـعـدـ محـورـ الدـورـانـ عنـ مرـكـزـ عـطـالـةـ الجـسـمـ الـصـلـبـ  $C$  واحدـتهـ  $m$  ويـمـكـنـ حـاسـبـهاـ:

ـ إـمـاـ بـتـطـيـقـ عـلـاقـةـ التـواـزنـ الدـورـانـيـ  $\sum \Gamma_{\Delta \setminus c} = 0$  حولـ محـورـ دـورـانـ مـارـ منـ  $C$  مرـكـزـ عـطـالـةـ الجـسـمـ الـصـلـبـ.

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

ـ أوـ بـتـطـيـقـ العـلـاقـةـ:

إـذـ يـمـكـنـ عـدـ الجـسـمـ مـكـوـنـاـ مـنـ عـدـّةـ أـجـزـاءـ نـفـتـرـضـهاـ نقاطـاـ مـادـيـةـ كـتـلـهاـ  $(m_1, m_2, \dots, m_i)$  وهـيـ تـبـعـدـ عنـ محـورـ الدـورـانـ الأـبعـادـ  $(r_1, r_2, \dots, r_i)$ .

ـ رـ مـقـدـارـ جـبـريـ نـعـدـهـ مـوـجـبـاـ إـذـاـ كـانـ مـرـكـزـ عـطـالـةـ الـكـتـلـةـ الـمـهـتـزـةـ تـحـتـ محـورـ الدـورـانـ، وـسـالـبـاـ إـذـاـ كـانـ مـرـكـزـ عـطـالـةـ الـكـتـلـةـ الـمـهـتـزـةـ فـوقـ محـورـ الدـورـانـ.

## تطـبـيقـ:

نوـاسـ ثـقـليـ مـؤـلـفـ مـنـ سـاقـ مـتـجـانـسـ طـولـهاـ  $L = 0.375\text{ m}$  وـكتـلـتهاـ  $M$  مـعـلـقةـ مـنـ طـرفـهاـ العـلـويـ بـمحـورـ أـفـقيـ عمـودـيـ عـلـىـ مـسـتـوـيـهاـ الشـاقـوليـ، نـزيـحـ السـاقـ عـنـ مـوـضـعـ تـواـزنـهاـ الشـاقـوليـ زـاوـيـةـ صـغـيرـةـ  $(\theta \leq 14^\circ)$  وـنـتـرـكـهاـ دونـ سـرـعـةـ اـبـتـائـيـةـ. استـنـجـ بالـرـمـوزـ العـلـاقـةـ المـحـدـدـةـ للـدورـ الخاصـ انـطـلـقاـ مـنـ العـلـاقـةـ العامـةـ للـدورـ الخاصـ لـلنـواسـ الثـقلـيـ المرـكـبـ، ثـمـ اـحـسـبـ قـيـمـتهاـ، عـلـمـاـ أـنـ عـزـمـ عـطـالـةـ السـاقـ حولـ مـحـورـ عمـودـيـ عـلـىـ مـسـتـوـيـهاـ وـمـارـ منـ مـرـكـزـ عـطـالـتهاـ  $(I_{\Delta \setminus c} = \frac{1}{12} M L^2)$

## الـحـلـ:

يـعـطـيـ دورـ النـواسـ الثـقلـيـ بـالـعـلـاقـةـ:  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_\Delta}{m g d}}$

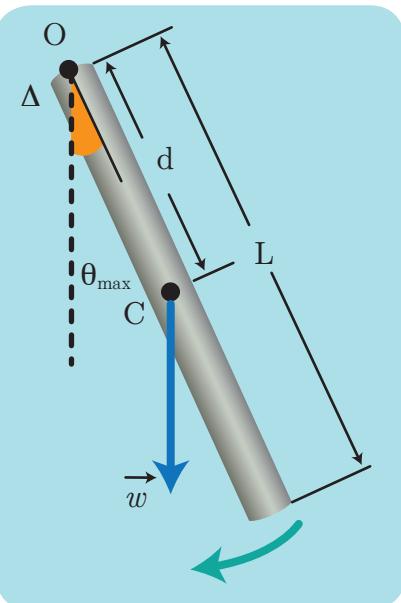
- لـإـيجـادـ عـزـمـ عـطـالـةـ السـاقـ حـولـ المـحـورـ المـارـ منـ  $O$ :

$$I_\Delta = I_{\Delta \setminus c} + M d^2$$

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

$$I_\Delta = \frac{1}{12} M L^2 + M \left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{1}{3} M L^2$$

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



## 1. النوّاس الثقلّي البسيط:

**نظريّاً:** نقطة مادّية تهتز بتأثير ثقلها على بعد ثابت  $l$  من محور أفقّي ثابت.

**عمليّاً:** كرة صغيرّة كتلتها  $m$  كثافتها النسبية كبيرة معلقة بخيط مهمل الكتلة لا يمتد طوله  $l$  كبير بالنسبة لنصف قطر الكرة.

\* الدراسة التحرّيكية:

القوى الخارجّية المؤثرة في الكرة:

$$\vec{w} = m \vec{g}$$

•  $\vec{T}$  توّرّ الخيط.

طبق العلاقة الأساسيّة في التحرّيك الدوارّي:

$$\sum \vec{F} = I_{\Delta} \ddot{\alpha}$$

$$\bar{F}_t + \bar{F}_w = I_{\Delta} \ddot{\alpha}$$

$$0 - mg l \sin \theta = m l^2 (\ddot{\theta})_t$$

$$-g \sin \theta = l (\ddot{\theta})_t$$

$$(\ddot{\theta})_t = -\frac{g}{l} \sin \theta \quad \text{نوع في العلاقة السابقة مع الاختصار}$$

$$\theta \leq 0.24 \text{ rad}$$

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

$$(\ddot{\theta})_t = -\frac{g}{l} \theta \dots\dots\dots (1)$$

وفي حالة الساعات الزاويّة الصغيرة

معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تقبل حالاً جيّداً من الشكل:

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

للتحقق من صحة الحل نشتّقتابع المطال مرّتين بالنسبة للزمن نجد:

$$\omega_0^2 = \frac{g}{l} \quad \text{بالمطابقة بين (1) و (2) نجد:}$$

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

وهذا محقّق لأنّ  $g$ ،  $l$  مقداران موجبان، فحركة النوّاس الثقلّي البسيط من أجل الساعات الزاويّة الصغيرة هي حرّكة جيّدة دورانية نسبتها الخاصّ  $\omega_0$ .

استنتاج علاقه الدور الخاص للاهتزاز:

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

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

$$\frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{g}{l}} \Rightarrow T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

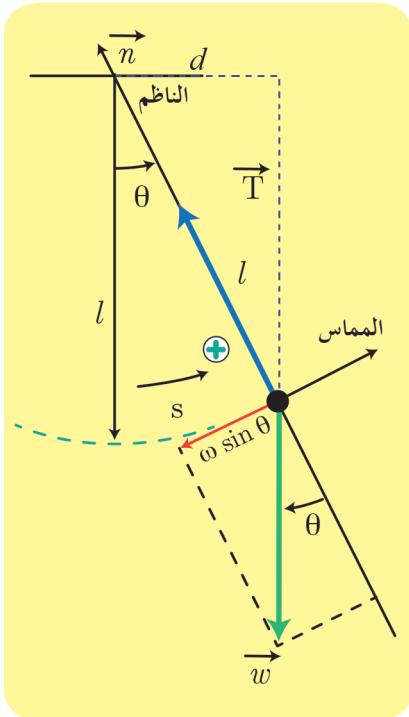
وهي علاقه الدور الخاص للنوّاس الثقلّي البسيط في الساعات الزاويّة الصغيرة.

**ملاحظة:** يمكن الوصول لعلاقة الدور الخاص للنوّاس البسيط انطلاقاً من العلاقة العامة للدور الخاص للنوّاس الثقلّي المركب في حالة الساعات الزاويّة الصغيرة، وذلك بتعويض كلّ من:

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

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{m l^2}{m g l}} \quad \text{في علاقه الدور:}$$

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



طريقة ثانية:

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

بالإسقاط على المماس الموجّه بجهة إزاحة الكرة:

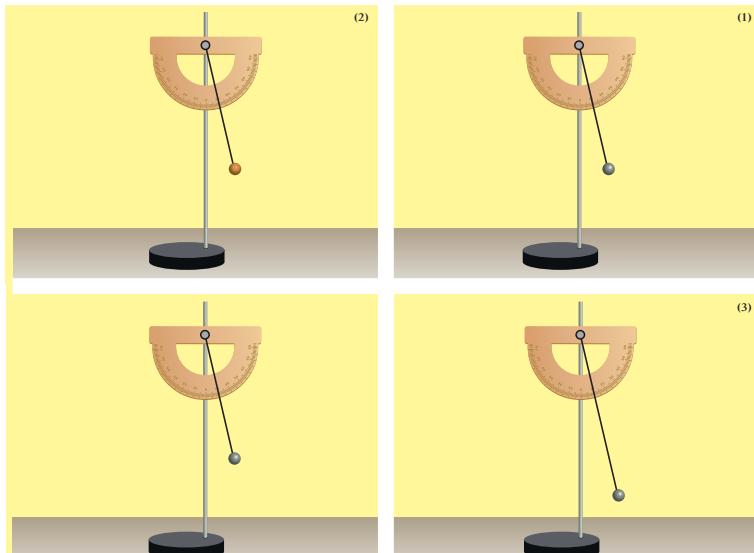
$$-m g \sin \theta + 0 = m a_t$$

$$\overline{a}_t = l \overline{\alpha} = l (\overline{\theta})_t''$$

## نشاط (1)

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

1. أعلق كرّةً معدنية بخيطٍ عديم الامتداد طوله  $30\text{ cm}$ .
2. أزيح كرّة النواس عن الشاقول بزاوية صغيرة  $10^\circ$  وأتركها دون سرعة ابتدائية.
3. أحسب زمن  $10$  نوّسات وليكن  $t_1$ .
4. أحسب زمن النوسنة الواحدة من العلاقة  $T_{01} = \frac{t_1}{10}$ .
5. أكرر التجربة السابقة باستبدال كرّة أخرى من الخشب بالكرّة المعدنية، وأقيس زمن  $10$  نوّسات وليكن  $t_2$ .
6. أحسب زمن النوسنة الواحدة  $T_{02} = \frac{t_2}{10}$
7. أقارن بين  $T_{01}$  و  $T_{02}$ ، ماذا تستنتج؟
8. أكرر التجربة في الشكل (1) من أجل زوايا مختلفة  $14^\circ, 30^\circ, 45^\circ$  أحسب زمن النوسنة الواحدة. ماذا تستنتج؟
9. أكرر التجربة الأولى باستبدال الخيط بخيط آخر طوله مختلف.
10. أحسب زمن  $10$  نوّسات وليكن  $t_3$
11. أحسب زمن النوسنة الواحدة  $T_{03} = \frac{t_3}{10}$
12. أقارن  $T_{01}$  و  $T_{03}$ ، ماذا تستنتج؟
13. أبين كيف يتغيّر الدور بتغيير قيمة تسارع الجاذبية الأرضية مع ثبات طول الخيط (ثبات درجة الحرارة)؟





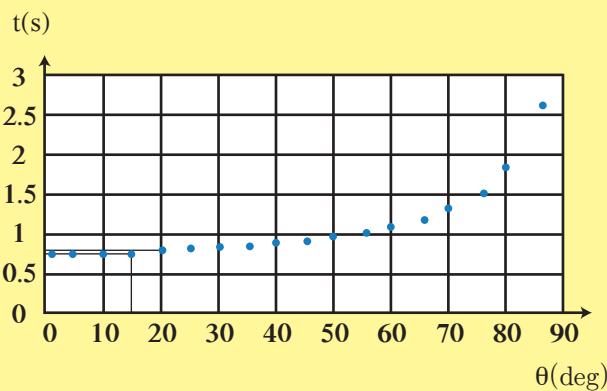
1. لا يتعلّق دور النواس البسيط بكتلته، ولا بنوع مادة كرتنه.
2. النواسات صغيرة السعة لها الدور نفسه (متواقة فيما بينها).
3. يتناسب دور النواس البسيط من أجل الساعات الزاويّة الصغيرة:
  - طرداً مع الجذر التربيعي لطول الخيط  $l$ .
  - عكساً مع الجذر التربيعي لتسارع الجاذبية الأرضية  $g$ .

**ملاحظة:** إن مستوى النواس ثابت طيلة مدة إجراء التجربة.

## 2. الدراسة التجريبية للنواس التقليدي:

إن الدراسة السابقة للنواس التقليدي (المركب أو البسيط) كانت من أجل الساعات الزاويّة الصغيرة ( $\theta_{\max} \leq 14^\circ$ ) ولكن كيف نحسب دور النواس إذا كانت السعة الزاويّة كبيرة؟

: نشاط (1)



الرسم البياني المجاور يوضح عدداً من التجارب لقياس قيمة الدور عند سعات زاويّة مختلفة.

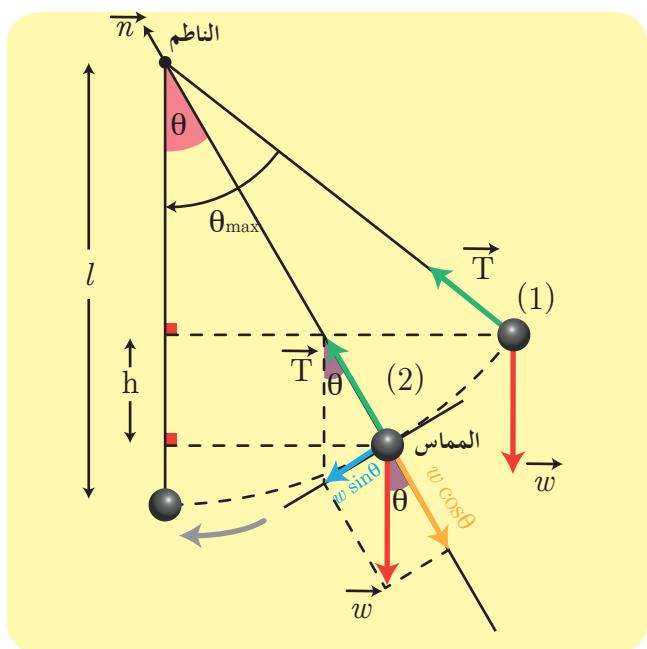
- في المجال ( $\theta_{\max} \leq 14^\circ$ ) على محور الساعات هل قيمة الدور ثابتة؟
- في المجال ( $\theta_{\max} > 14^\circ$ ) هل قيمة الدور ثابتة عند ازدياد السعة الزاويّة؟

يُعطى دور النواس التقليدي في حال الساعات الزاويّة الكبيرة بالعلاقة:

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

حيث:  $T_0$  دور النواس في حالة الساعات الزاويّة الصغيرة  
 $\theta_{\max}$  السعة الزاويّة مقدّرة بالراديان

### 3. استنتاج العلاقة المحددة لسرعة كرة النوّاس وعلاقة توتر خيط التعليق في نقطة من مسارها:



نزيح كرة النوّاس عن موضع توازنه الشاقولي بزاوية  $\theta_{\max}$  وترتها دون سرعة ابتدائية:

**1.** لإيجاد العلاقة المحددة لسرعة الكرة في الوضع

(2) القوى الخارجية المؤثرة:

ثقل الكرة  $\bar{W}$ , توتر الخيط  $\bar{T}$

نطبق نظرية الطاقة الحركية بين وضعين:

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

الثاني: حيث يصنع الخيط مع الشاقول الزاوية  $\theta$

$$\Delta \bar{E}_{k(1 \rightarrow 2)} = \sum \bar{W}_F$$

$$E_{k2} - E_{k1} = \bar{W}_{\bar{W}} + \bar{W}_{\bar{T}}$$

$$\bar{W}_{\bar{W}} = m g h$$

لأن حامل  $\bar{T}$  يامد الانتقال في كل لحظة

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

وباللحظة الشكل نجد:

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

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

نفرض:

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

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

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

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

تصبح العلاقة بالشكل:  $v = \sqrt{2 g l(1 - \cos \theta_{\max})}$

**2.** لإيجاد العلاقة المحددة لقوة توتر الخيط في الوضع (2): نطبق العلاقة الأساسية في التحرير:

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

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

بالإسقاط على محور ينطبق على حامل  $\bar{T}$  وبجهته (الناظم):

$$-W \cos \theta + T = m a_c$$

$$a_c = \frac{v^2}{l} \text{ التسارع الناظمي}$$

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

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

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

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

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

## ٤. الطاقة الميكانيكية للنّوّاس الثقلِي البسيط :

- إنَّ الطاقة الميكانيكية للنّوّاس الثقلِي البسيط ثابتةٌ بإهمال القوى المبددة للطاقة، إذ يهتزُ بسعة زاوية ثابتة  $\theta_{\max}$  إلى جانبي موضع توازنه الشاقولي.
- إنَّ الطاقة الميكانيكية هي مجموع الطاقتين الكامنة الثقالية، والحركية  $E = E_k + E_p$ . حيث أنَّ مبدأ قياس الطاقة الكامنة الثقالية هو المستوى الأفقي المأثر من مركز عطالة الكرة عند مرور النّوّاس في وضع توازنه الشاقولي.

### إثراء:



برج تايبه في تايوان ... يبلغ ارتفاعه 509 m مؤلف من طبقة يقع على خط صد عزلالي ويعرض لرياح عاتية

وهذا يجعله يتَّأرجح، فعمدَ المهندس المسؤولُ عن تصميمه إلى بنائه بشكل يشبه نبات الخيزران، وثبتت بداخله بين الطبقة 87 والطبقة 92 كرة عملاقةً من الفولاذ مربوطةً إلى أسلاك من الفولاذ القوي كأنَّها نوّاساً عملاقاً لعمل على إخماد تأرجحِه عند الاهتزازات الناتجة عن الزلازل أو الرياح والأعاصير .... بفعل ما يُسمى القصور الذاتي (أو العطالة).



## تعلمتُ

- النواش الثقلّي المركب: كل جسم صلب يهتزّ بتأثير تقلّه في مستوى شاقولي حول محور دوران أفقي لا يمثّل من مركز عطالته، وعمودي على مستوىه.
- حركة النواش الثقلّي المركب في حالة الساعات الصغيرة جيّدة دوراتيّة تابع مطالها الزاوي من الشكل:  $\overline{\theta} = \overline{\theta}_{\max} \cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$
- يعطى دور النواش الثقلّي المركب في حالة الساعات الصغيرة  $\theta_{\max} \leq 0.24 \text{ rad}$  بالعلاقة:

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

- النواش الثقلّي البسيط: نقطة ماديّة تهتزّ بتأثير تقلّها على بعد ثابت  $l$  من محور أفقي ثابت
- يعطى دور النواش الثقلّي البسيط في حالة الساعات الصغيرة  $\theta_{\max} \leq 0.24 \text{ rad}$  بالعلاقة:

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

- يعطى دور النواش الثقلّي في حال الساعات الزاوية الكبيرة  $\theta_{\max} > 0.24 \text{ rad}$  بالعلاقة:

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

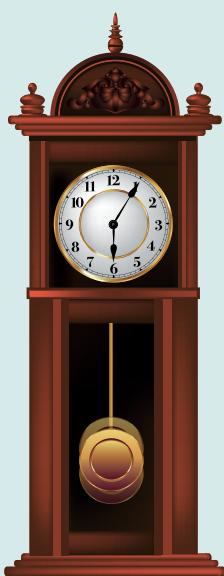
- إن الطاقة الميكانيكيّة للنواش الثقلّي هي مجموع الطاقتين الكامنة الثقالية والحركيّة

$$E = E_k + E_p$$

## أختبر نفسك



أولاً: اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:



- قمت بزيارة بيت جدك، وطلبت إليك جدّك تصحيح الميقاتيّة المعلقة على الجدار، وهي مؤلّفة من ساق متّهية بقرص قابل للحركة صعوداً أو هبوطاً، فاتّصلت بالساعة الناطقة فأشارت إلى السادسة تماماً عندما كانت الميقاتيّة تشير إلى السادسة وخمس دقائق، ولتصحيح قياس الوقت يجب:
  - إيقاف الميقاتيّة، وخفض القرص بمقدار ضئيل ثم إعادة تشغيلها.
  - إيقاف الميقاتيّة، ورفع القرص بمقدار ضئيل ثم إعادة تشغيلها.
  - تصحيح عقرب الدقائق، وإعادته ليشير الوقت إلى السادسة تماماً.
  - إيقاف الميقاتيّة مدة خمس دقائق، ثم إعادة تشغيلها مرة أخرى.

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

a. تشيران إلى التوقيت نفسه.

b. تقدم الثانية، ويجب تعديلها.

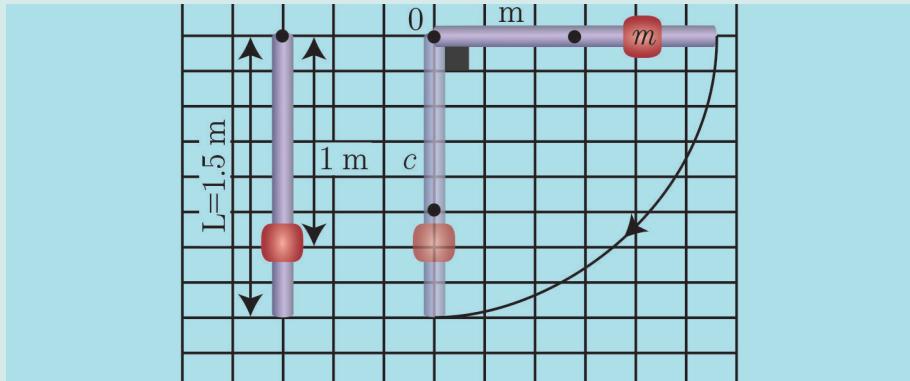
c. تؤخر الثانية، ويجب تعديلها.

d. تؤخر الأولى، ويجب تعديلها



**ثانياً: حل المسائل الآتية:** (في جميع المسائل  $4\pi = 12.5$  ،  $\pi^2 = 10$  ،  $g = 10 \text{ m.s}^{-1}$ )  
**المسألة الأولى:**

يتكون نوّاس ثقلي مركب من ساق شاقولي متجانسة، كتلتها  $m = 0.5 \text{ kg}$ ، طولها  $1.5 \text{ m}$ ، يمكنها أن تنسوّس حول محور أفقي مارّ من طرفها العلوي، ومشبت عليها كتلة نقطية  $m' = 0.5 \text{ kg}$  على بعد  $1 \text{ m}$  من هذا الطرف، كما في الشكل المجاور



**المطلوب:**

- احسب دور النوّاس في حالة السعات الزاوية الصغيرة.
- نزيح جملة النوّاس عن موضع توازنه الشاقولي بزاوية  $\frac{\pi}{2}$  rad، وتركتها دون سرعة ابتدائية. احسب الطاقة الحرارية للنوّاس لحظة مروره بالشاقول، ثم احسب السرعة الخطية للكتلة نقطية  $m'$  عندئذ.  
 (عزم عطالة ساق حول محور عمودي على مستوىها ومار من مركز عطالتها)  $I_{\Delta/c} = \frac{1}{12} m L^2$

**المسألة الثانية:**

خيط مهمّل الكتلة لا يمتط طوله  $l = 40 \text{ cm}$  نعلق في نهايته كرة صغيرة نعدها نقطة مادية كتلتها  $g = 100 \text{ g}$   
**المطلوب:**

- يرجف الخيط عن وضع التوازن بزاوية  $\theta_{\max}$  وترک الكرة بدون سرعة ابتدائية فتكون سرعتها لحظة مرورها بالشاقول  $v = 2 \text{ m.s}^{-1}$  استنتج قيمة الزاوية  $\theta_{\max}$ .
- استنتاج بالرموز علاقـة توتر خيط النوّاس لحظة مروره بوضع الشاقول ثم احسب قيمـتها.

**المسألة الثالثة:**

نعلق كرة صغيرة نعدها نقطة ماديّة، كتلتها  $m = 0.5 \text{ kg}$  بخيط مهمّل الكتلة، لا يمتط، طوله  $l = 1.6 \text{ m}$ ، لتؤلّف نوّاساً ثقلياً بسيطاً، ثم نزيح الكرة إلى مستوى أفقي يرتفع  $h = 0.8 \text{ m}$  عن المستوى الأفقي المار منها وهي في موضع توازنه الشاقولي، ليصنع خيط النوّاس مع الشاقول زاوية  $\theta_{\max}$ ، وتركتها دون سرعة ابتدائية،  
**المطلوب:**

- استنتاج بالرموز العلاقة المحددة لسرعة الكرة عند مرورها بالشاقول، ثم احسب قيمتها، موضحاً بالرسم.
- استنتاج قيمة الزاوية  $\theta_{\max}$  ، ثم احسب قيمتها.
- احسب دور هذا النوّاس.
- استنتاج بالرموز العلاقة المحددة لشدة قوة توتر الخيط عند المرور بالشاقول، ثم احسب قيمتها.

#### المسألة الرابعة:

ساقٌ شاقوليٌّ، مهملة الكتلة، طولها  $L = 1\text{ m}$ ، ثبّت في منتصفها كتلة نقطية  $m_1 = 0.4\text{ kg}$ ، وثبت في طرفها السفلي كتلة نقطية  $m_2 = 0.2\text{ kg}$ ، لتألّف الجملة نوّاساً ثقلياً مرّكباً يمكنه أنْ ينوس في مستوى شاقوليٍّ حول محورٍ أفقىٍّ مارٍّ من الطرف العلوي للساق.

**المطلوب:**

1. احسب دور نوساتها صغيرة السعة.

2. نزيح الجملة عن موضع توازنها بزاوية  $\theta_{\max} > 0.24\text{ rad}$ ، ونتركها دون سرعة ابتدائية، فتكون السرعة الخطية لمركز عطالة جملة النواس لحظة مرورها بالشاقول،

$$v = \frac{4\pi}{3\sqrt{3}}\text{ m.s}^{-1} \quad \text{المطلوب:}$$

a. احسب السرعة الخطية للكتلة النقطية  $m_2$  لحظة المرور بالشاقول.

b. استنتج قيمة الزاوية  $\theta_{\max}$ .

#### المسألة الخامسة:

يتألفُ نوّاسٌ ثقليٌّ من ساقٍ شاقوليٍّ، مهملة الكتلة طولها  $L$ ، تحملُ في كلٍّ من طرفيها كتلة نقطية  $m'$ ، يعلقُ الجملة بمحور دوران أفقىٍّ يبعد  $\frac{L}{4}$  عن طرف الساق العلوي، نزيحُ الجملة عن وضع توازنها الشاقولي بزاوية  $\frac{1}{2\pi}\text{ rad}$ ، ونتركها دون سرعة ابتدائية في اللحظة  $t = 0$ ، فتهتزّ بدور خاص  $T_0 = 2.5\text{ s}$ .

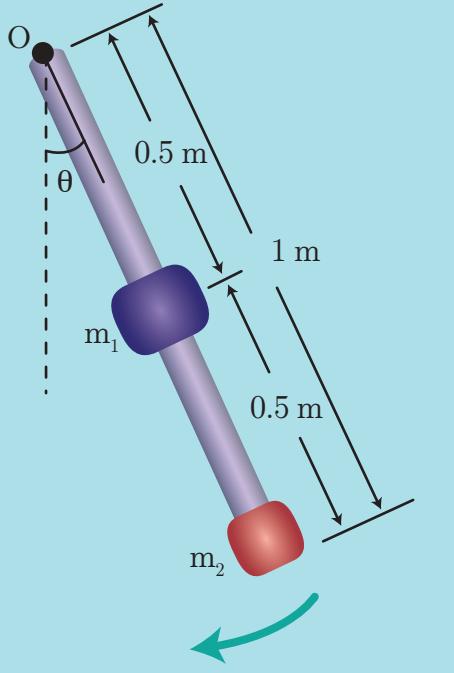
**المطلوب:**

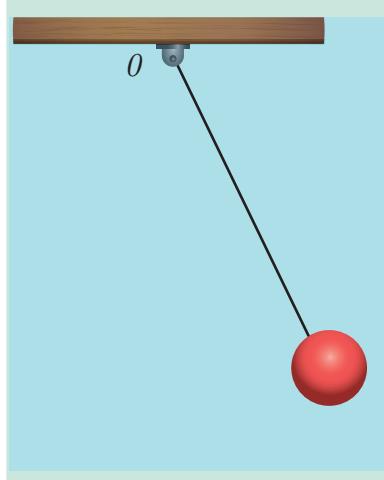
1. استنتاج التابع الرمزي للمطال الزاوي لحركة هذا النواس انطلاقاً من شكله العام.

2. استنتاج بالرموز العلاقة المحددة لطول الساق، ثم احسب قيمته.

3. احسب قيمة السرعة الزاوية العظمى للحركة (طويلة).

4. لنفرض أنه في إحدى التؤسات انفصلت الكتلة السفلية عن الساق، استنتاج الدور الخاص الجديد للجملة في حالة السعات الزاوية الصغيرة.





من المعلوم أنه في حالة انعدام التقل الظاهري ضمن المحطة الفضائية:

1. لدينا كرة كتلتها  $m$  معلقة بخيط مهمل الكتلة طوله  $l$  كما هو موضح بالشكل جانباً لتشكل نوازاً بسيطاً عند سطح الأرض ما قيمة الدور على متن المحطة الفضائية مع التعليل.

2. كيف يمكن جعله يهتز بحركة جيبيّة توافقية بسيطة؟

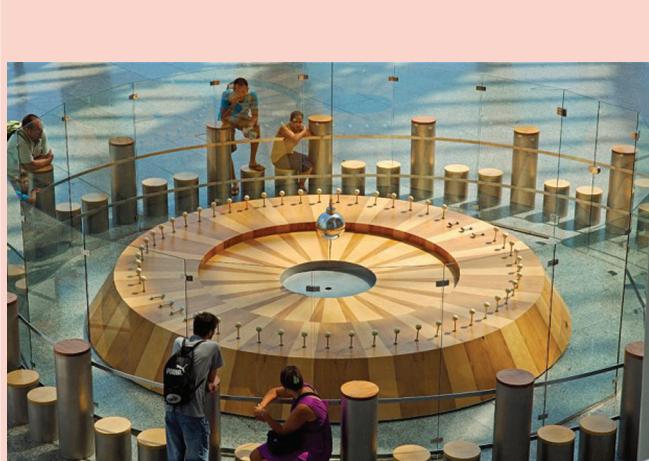
### أبحث أكثر



#### نواس فوكو

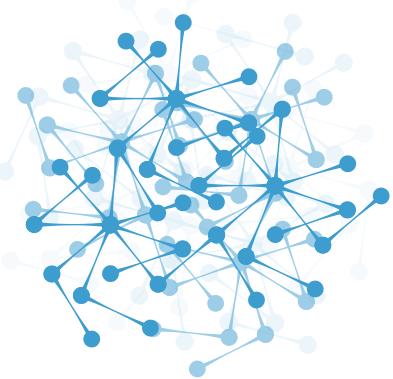
صمم الفيزيائي الفرنسي ليون فوكو تجربة لتقديم إثبات علمي بسيط لحقيقة دوران الأرض حول محورها.

ابحث عبر الشبكة حول ذلك.



4

## ميكانيك السوائل المتحركة



للسوائل دورٌ حيويٌّ في حياتنا، فتدوّرُ في أجسامنا عبر الأوردة والشرايين، وتطفو السفنُ على سطحها، وتحرّكُ في محركات السيارات وأجهزة التكيف.

ما المقصود بالسوائل؟ وما القوانينُ التي تحكمُ حركتها؟

### الأهداف:

- \* يعرّفُ السوائل المثاليّ.
- \* يعرّفُ خطَّ الانسياب.
- \* يعرّفُ أنبوبَ التدفق.
- \* يميّز بينَ الجريان المنتظم والجريان غير المنتظم.
- \* يرسم خطوطَ الانسياب في الجريان المنتظم، وفي الجريان غير المنتظم.
- \* يوضح خصائصَ السائل المثاليّ.
- \* يعرّفُ معدلَ التدفق.
- \* يستنتجُ معادلةَ الاستمرارية.
- \* يستنتجُ معادلةَ برنولي.
- \* يعرّفُ تطبيقاتِ ميكانيك السوائل في حياته اليومية.

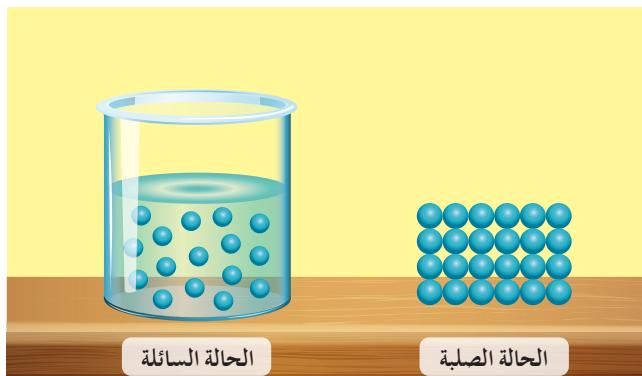
### الكلمات المفتاحية:

- \* السوائل المثاليّ
- \* خطَّ الانسياب
- \* الجريان المنتظم
- \* الجريان غير المنتظم
- \* معدل التدفق
- \* معادلة الاستمرارية
- \* معادلة برنولي
- \* نظرية تور ييشيلي
- \* قوة الرفع

## السائل:

### نشاط (1):

الاحظُ الشكل جانباً:



1. أميّز بين قوى الترابط بين الجزيئات في الحالة السائلة والصلبة؟

2. أفسّر قدرة السوائل على حرية الحركة والجريان.

3. أفسّر قدرة الغازات على إشغال كامل حجم الوعاء الذي يحتويها.

### استنتاج

- تميّز السوائل بقوى تماسك ضعيفة نسبياً بين جزيئاتها، فهي لا تحافظ على شكل معين، وتتحرّك جزيئاتها بحيث تأخذ شكل الوعاء الذي توضع فيه، وهي تستجيب بسهولة للقوى الخارجية التي تحاول تغيير شكلها.

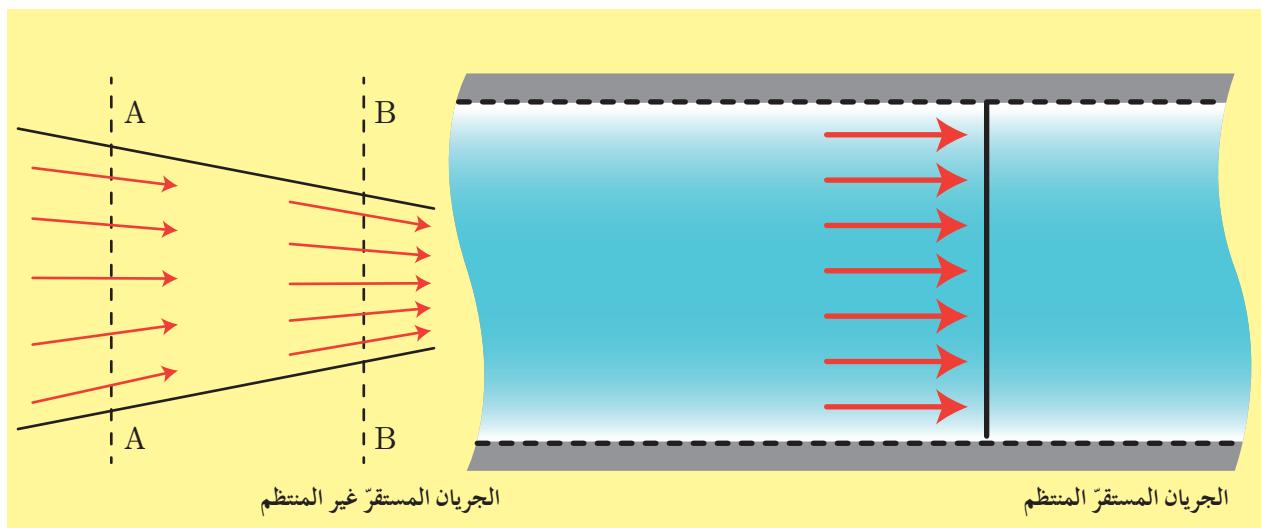
## الخصائص الميكانيكية للسوائل المتحركة:

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

### تعريف أساسية

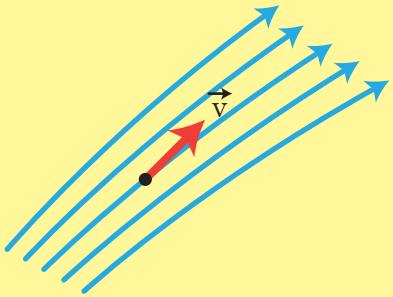
#### 1. الجريان المستقر

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 بممرور الزمن كان الجريان المستقر غير منتظم، أما إذا كانت السرعة ثابتة في جميع نقاط السائل بممرور الزمن فإن الجريان المستقر يكون منتظم.



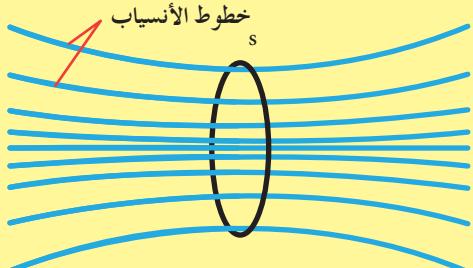
## 2. خط الانسياب (خط الجريان)

خطٌ وهميٌ يبيّن المسار الذي يسلكه جسيم السائل في أثناء جريانه ويمسُّ في كلّ نقطة من نقاطه شعاعَ السرعة في تلك النقطة.



## 3. أنبوب التدفق

إذا أخذنا مساحةً صغيرةً عموديةً على اتجاه جريان سائل جريانه مستقر، ورسمنا على محيط هذه المساحة خطوطاً لانسياب نحصل على أنبوبٍ وهميٍ يحتوي السائل يُدعى أنبوب التدفق.



## 4. ميزات السائل المثالي:

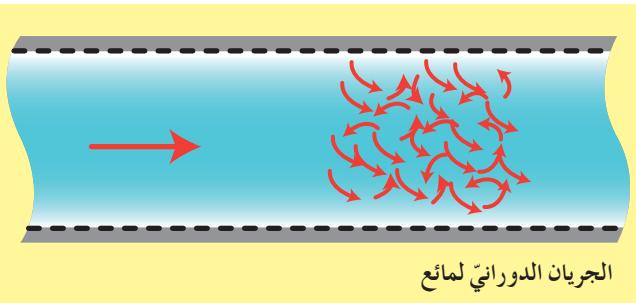
يتمتّع السائل المثالي بالميزات الآتية:

1. غير قابل للانضغاط: كتلته الحجمية ثابتة مع مرور الزمن.

2. عديم اللزوجة: قوى الاحتكاك الداخلي بين مكوناته مهملة عندما تحرّك بالنسبة لبعضها بعضاً، وبالتالي لا يوجد ضياع للطاقة.

3. جريانه مستقر: أي أنّ حركة جسيماته لها خطوط انسياب محدّدة وسرعة جسيماته عند نقطة معينة تكون ثابتةً بمرور الزمن.

4. جريانه غير دوراني: لا تتحرّك جسيمات السائل حركة دورانية حول أيّ نقطة في مجرى الجريان.



## معادلة الاستمرارية

### أجبِ وأستنتج:

لإجراء التجربة احتاج إلى: محقن بلاستيكي ذي مكبس قابل للحركة، إبرة معدنية قابلة للتشبيب بطرف المحقن، ماء، كوب زجاجي.

### خطوات التجربة:

- أثبتِ الإبرة المعدنية بالمحقن البلاستيكي.
- أضعُ قليلاً من الماء في الكوب الزجاجي.
- أضعُ رأس الإبرة في كوب الماء وأسحب المكبس، ماذا ألاحظ؟



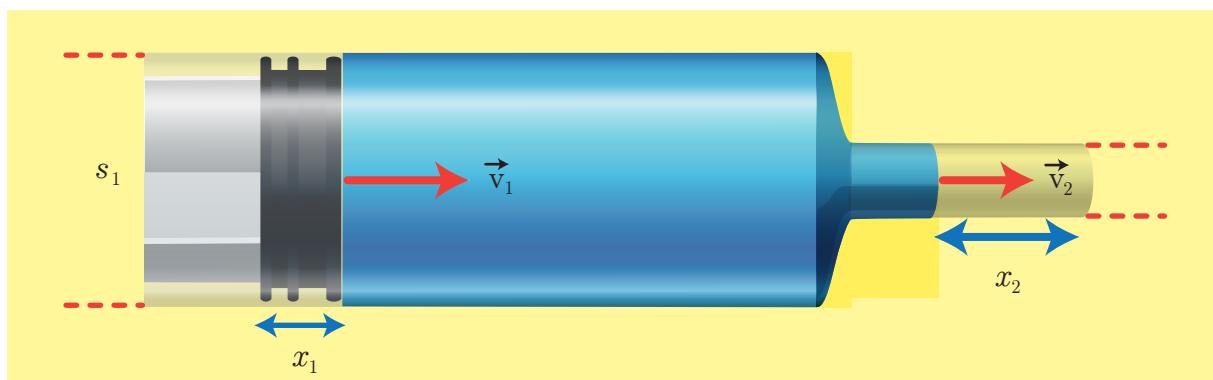
4. أسحب الإبرة من كوب الماء، وأدفع المكبس ببطء، وأراقب سرعة تدفق الماء من رأس الإبرة، ماذا ألاحظ؟
5. أعيد سحب الماء من الكوب بعد نزع الإبرة المعدنية من مكانها، وأدفع المكبس بالقوة السابقة نفسها، ماذا ألاحظ؟

## استنتاج

- تردد سرعة تدفق السائل في أنبوب بنقصان مساحة مقطع الأنابيب.
- معدل التدفق الكتلي  $Q$  لسائل هو كتلة كمية السائل التي تعبر مقطع الأنابيب في واحدة الزمن، ونعتبر عنه بالعلاقة  $kg.s^{-1} = \frac{m}{\Delta t} = Q$ ، وتقدّر في الجملة الدولية بواحدة  $m^3.s^{-1}$ .
- معدل التدفق الحجمي  $Q'$  لسائل هو حجم كمية السائل التي تعبر مقطع الأنابيب في واحدة الزمن، ونعتبر عنه بالعلاقة  $m^3.s^{-1} = \frac{V}{\Delta t} = Q'$ ، وتقدّر في الجملة الدولية بواحدة  $m^3.s^{-1}$ .

## الاستنتاج الرياضي لمعادلة الاستمرارية

بافتراض سائل يتحرّك داخل أنبوب مساحة كلّ من مقطعي طرفيه مختلف عن الأخرى  $s_1$  ،  $s_2$  ، وكمية السائل التي تدخل الأنابيب عند المقطع  $s_1$  في مدة زمنية معينة تساوي كمية السائل التي تخرج من المقطع  $s_2$  لأنابيب في المدة الزمنية نفسها (السائل لا يتجمّع داخل الأنابيب ويملؤه تماماً، وجريانه مستمر):



بفرض أن  $v_1$  سرعة السائل عبر المقطع  $s_1$  ، و  $v_2$  سرعة السائل عبر المقطع  $s_2$  فإن حجم كمية السائل التي تعبر المقطع  $s_1$  لمسافة  $x_1$  في الزمن  $\Delta t$  يكون:

$$V_1 = s_1 x_1$$

لكن:

$$x_1 = v_1 \Delta t$$

$$V_1 = s_1 v_1 \Delta t$$

وحجم كمية السائل التي تعبر المقطع  $s_2$  لمسافة  $x_2$  في الزمن  $\Delta t$  يكون:

$$V_2 = s_2 x_2$$

لكن:

$$x_2 = v_2 \Delta t$$

$$V_2 = s_2 v_2 \Delta t$$

وبما أن حجم كمية السائل التي عبرت المقطع  $s_1$  تساوي حجم كمية السائل التي عبرت المقطع  $s_2$  في المدة الزمنية نفسها فإن:

$$\begin{aligned} Q'_1 &= Q'_2 \\ \frac{V_1}{\Delta t} &= \frac{V_2}{\Delta t} \\ \frac{s_1 v_1 \Delta t}{\Delta t} &= \frac{s_2 v_2 \Delta t}{\Delta t} \\ s_1 v_1 &= s_2 v_2 \end{aligned}$$

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



أي أن سرعة تدفق السائل تتناسب عكساً مع مساحة مقطع الأنابيب الذي يتدفق منه السائل.  
وعموماً يمكننا أن نكتب:  $Q' = s_1 v_1 = s_2 v_2 = \text{const}$

## معادلة برنولي في الجريان المستقر نشاط (1):

لإجراء النشاط أحتج إلى: خيوط، أنبوب بلاستيكي مقطعي صغير طوله حوالي 10 cm، وورقتين.

**خطوات تفزيذ النشاط:**

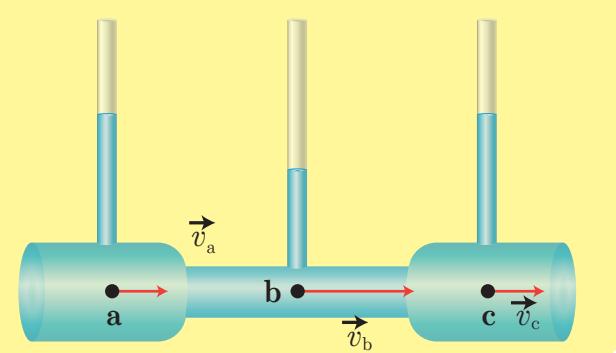
1. أعلق كلاً من الورقتين بخيط شاقولي، وأجعلهما متقابلين.
2. أنفخ بينهما بقوّة بواسطة الأنابيب، ماذا لاحظ؟

### • أستنتج

- ينقص ضغط السائل كلما ازدادت سرعته.

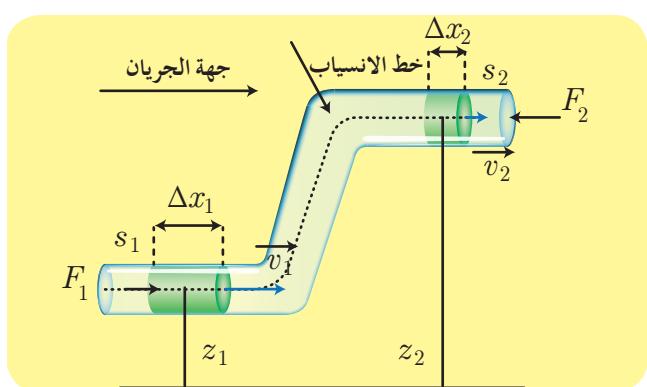
## نشاط (2):

في الشكل المجاور سائل جريانه مستقر عبر أنبوب أفقى ذي مقاطع مختلفة،  
أتتساءل، وأجيب:



- أفسر سبب اختلاف ارتفاع سوية السائل في الأنابيب الشاقولية عند النقاط  $a, b, c$ .
- عند أيِّ النقاط تكون سرعة جسيم السائل أكبر؟
- من أين تأتي الزيادة في الطاقة الحركية لجسيم السائل عند المرور بالنقطة  $b$ ؟ وأين تذهب تلك الطاقة عند النقاطين  $c, a$  علمًا أنَّ النقاط  $a, b, c$  تقع في المستوى الأفقي نفسه؟
- تجيئ عن هذه التساؤلات نظرية برنولي التي تربط بين الضغط وسرعة الجريان والارتفاع عند أيِّ نقطة من مجرى سائلٍ مثاليٍّ، وتنصُّ على:

- أنّ مجموعَ الضغطِ والطاقةِ الحركيَّةِ لواحدةِ الحجومِ، والطاقةِ الكامنةِ الشفاليَّةِ لواحدةِ الحجومِ تساوي مقداراً ثابتاً عند أيّ نقطةٍ من نقاط خط الانسياب لسائل جريانه مستقرٌ.



## الاستنتاج الرياضي لمعادلة برنولي

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 مستوى مرجعي  $z_1$  ومساحة المقطع الثاني  $s_2$ ، والضغط عند  $p_2$ ، وسرعة الجريان فيه  $v_2$ ، والارتفاع عن المستوى المرجعي  $z_2$ .

إن العمل الكلّي المبذول لتحريك كتلة السائل من المقطع الأوّل إلى المقطع الثاني يساوي مجموع عمل قوّة الثقل، وعمل قوّة ضغط السائل.

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

يتأثر سطح المقطع  $s_1$  بقوة  $F_1$  لها جهة الجريان، وتنقل نقطة تأثيرها مسافة قدرها  $\Delta x_1$  في مدة زمانية  $\Delta t$  فتقوم بعمل محرك (موجب)

$$W_1 = F_1 \Delta x_1$$

$$s_1 \Delta x_1 = \Delta V \implies W_1 = P_1 \Delta V$$

حيث  $\Delta V$  حجم كمية السائل التي تعبّر المقطع  $s_1$  في المدة الزمنية  $\Delta t$ .

يتأثر سطح المقطع  $s_2$  بقوة  $F_2$  معيبة لجريان السائل، لها جهة تعاكس جهة الجريان، وتنقل نقطة تأثيرها مسافة قدرها  $\Delta x_2$  في المدة الزمنية  $\Delta t$  فتقوم بعمل مقاوم (سالب).

$$W_2 = -F_2 \Delta x_2$$

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

حيث  $\Delta V$  حجم كمية السائل التي تعبّر المقطع  $s_2$  في المدة الزمنية  $\Delta t$  نفسها، وهي تساوي حجم كمية السائل التي تعبّر المقطع  $s_1$  في المدة الزمنية  $\Delta t$ ، وذلك لأنّ السائل غير قابل للانضغاط.

$$W_2 = -P_2 \Delta V$$

ويصبح العمل الكلّي:

$$W_{\text{total}} = W_w + W_1 + W_2$$

$$W_{\text{total}} = -m g (z_2 - z_1) + P_1 T V - P_2 T V$$

وبحسب مصوّنية الطاقة فإنّ:

$$W_{\text{total}} = E_{k_2} - E_{k_1} = \frac{1}{2}m v_2^2 - \frac{1}{2}m v_1^2$$

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

$$m = \rho \Delta V$$

لکن:

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

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

وهي معادلة برنولي التي تعبر عن نظرية برنولي، وهي أحد أشكال حفظ الطاقة.  
ومن الجدير بالذكر أن المقدار  $\rho g z$  يمثل الطاقة الكامنة الثقالية (طاقة الوضع) لواحدة الحجوم من السائل، بينما يمثل المقدار  $\frac{1}{2} \rho v^2$  الطاقة الحركية لوحدة الحجوم من السائل، وبالتالي يجب أن يكون الضغط  $P$  طاقة واحدة الحجوم أيضاً وبذلك حتى تتناسب وحدات الكميات الواردة في المعادلة، ويمكن أن تتحقق من ذلك لو كتبنا وحدات الضغط إذ نجد:

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

حالة خاصة: إذا كان الأنبوب أفقياً

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

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

## تطبيقات على معادلة برنولي:

## ١. سُكُونُ التَّسْوِيلِ، وَمِعَادِلَةُ الْمَانُومِترِ:

يمكن أن نحصل على معادلة المانومتر من معادلة برنولي بفرض أن السائل ساكن في الأنابيب أي أن:

$$v_1 = v_2 = 0$$

$$P_1 - P_2 = \rho g z_2 - \rho g z_1 = \rho g(z_2 - z_1) = \rho g h \quad \text{نوعٌ في معادلة برنولي فنجذب.}$$

وهذه معادلة المانومتر (قانون الضغط في الموائع الساكنة).

## 2. نظریہ تورشپلی:

يحتوي خزانٌ على سائل كثافة الحجمية  $\rho$ ، مساحة سطح مقطوعه  $s_1$  كبيرة بالنسبة إلى فتحةٍ جانبيةٍ مساحةً مقطوعها  $s_2$  صغيرةً تقعُ قربَ قعره وعلى عمق  $h = Z_1 - Z_2$  من السطح الحرّ للسائل. ما السرعةُ التي يخرجُ بها السائلُ من الفتحةِ الجانبية؟

نطبقُ معادلة برنولي على جزءٍ صغيرٍ من السائل انتقل من سطح الخزان بسرعة  $v_1$  ليخرج من الفتحة  $s_2$  إلى الوسط الخارجي بسرعة  $v_2$ :

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

إن السطح المفتوح، والفتحة معروضتان للضغط الجوي النظامي، ولذلك

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

وَبِمَا أَنَّ السُّرْعَةَ  $v_1$  مُهْمَلَةٌ بِالنِّسْبَةِ لِالسُّرْعَةِ  $v_2$ ، نَأْخُذُ 0

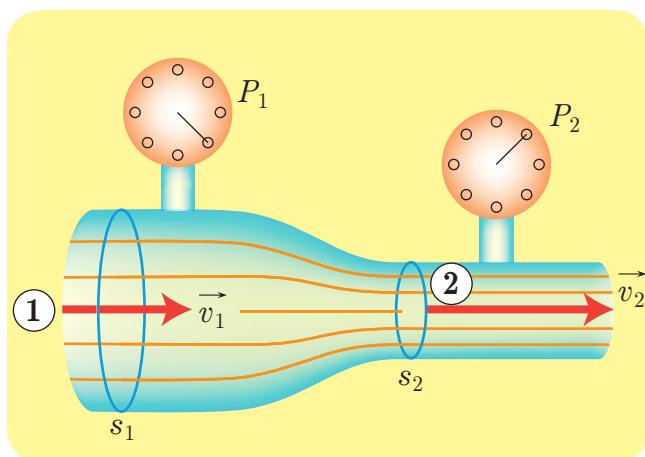
$$g z_1 = \frac{1}{2} v_2^2 + g z_2$$

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

$$v_2^2 = 2 \mathbf{g} (z_1 - z_2) \implies v_2 = \sqrt{2 \mathbf{g} h}$$

إن سرعة خروج السائل تساوي السرعة التي يسقط بها جسم سائل سقوطاً حرّاً من ارتفاع  $h$ . تُدعى العلاقة السابقة بنظرية تورشيللي، وتنطبق على أي فتحة في الوعاء، سواءً في قعره كانت أم في جداره الجانبي.

### 3. أنبوب فنتوري:



يتَّلَفُ أنبوب فنتوري من أنبوب مساحةً مقطعيه  $s_1$  يجري فيه سائل بسرعة  $v_1$  في منطقةٍ ضغطها  $P_1$  فيصلُ لاختناق مساحته  $s_2$ ، ولمعرفة فرق الضغط بين الجزء الرئيسي والاختناق نستعملُ أنبوب فنتوري.

نطبقُ معادلة برنولي بين النقطتين 1 و 2 اللتين تقعان في المستوى الأفقي نفسه.

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

ولكن:

$$\begin{aligned} s_1 v_1 &= s_2 v_2 \\ P_1 - P_2 &= \frac{1}{2} \rho \left[ \left( \frac{s_1}{s_2} \right)^2 - 1 \right] v_1^2 \end{aligned}$$

ويُقاسُ فرقُ الضغط بين نقطتين باستخدام جهاز قياس الضغط.

لدينا  $s_1 > s_2$

إذن  $P_1 > P_2$

أيُّ أنَّ الضغطَ في الاختناق أقلُّ من الضغطِ في الجزء الرئيسي لأنبوب. يُستفادُ من هذه الخاصية في الطب، فقد تناقصُ مساحةً مقطع الشريان في منطقةٍ ما نتيجةً تراكم الدهون والشحوم، وهذا يعيقُ جريان الدم في هذه الشرايين، ويتناقصُ ضغطُ الدم في المقاطع المتضيّقة عن قيمته الطبيعية الالزامية لمقاومة الضغوط الخارجية.

## تعلّمت

- الجريان المستقر: هو الجريان الذي تكون فيه سرعة جسيم السائل وضغطه وكثافته ودرجة حرارته مقادير ثابتةً مع مرور الزمن في أي نقطة ثابتة نختارها في السائل.
- خط الانسياب: هو خطٌ وهميٌ يوضح المسار الذي يسلكه جسيم المائع أثناء الجريان عندما ينتقل من نقطة إلى أخرى في أثناء الجريان.
- أنبوب التدفق: أنبوبٌ وهميٌ ينتج من اجتماع خطوط الانسياب المارة من منحنٍ مغلق داخل السائل.
- ميزات السائل المثالى:
  - غير قابل للانضغاط: كتلته الحجمية ثابتة مع مرور الزمن.
  - عديم اللزوجة: قوى الاحتكاك الداخلي بين مكوناته مهملة عندما تتحرّك بالنسبة لبعضها البعض، وبالتالي لا يوجد ضياع للطاقة.
- جريانه مستقر: أي أن حركة جسيماته لها خطوط انسياب محددة وسرعة جسيماته عند نقطة معينة تكون ثابتةً بمرور الزمن أي نسبة سرعات جسيمات السائل متساوية في نفس النقطة.
- جريانه غير دوارى: لا تتحرّك جسيمات السائل حركة دورانية حول أي نقطة في مجرى الجريان.
- معادلة الاستمرارية: تزداد سرعة السائل كلما نقصت مساحة مقطع الأنبوب.
$$Q' = s_1 v_1 = s_2 v_2 = \text{const}$$
- معادلة برنولي: إن مجموع الضغط والطاقة الحركية لواحدة الحجوم، والطاقة الكامنة الثقالية لواحدة الحجوم تساوى مقداراً ثابتاً عند أي نقطة من نقاط خط الانسياب لسائلٍ جريانه مستقر.

$$\begin{aligned}P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g z_1 &= P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g z_2 \\P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g z &= \text{const}\end{aligned}$$

## أختبر نفسي



أولاً: اختر الإجابة الصحيحة مما يأتي:

1. عندما تهب رياح أفقية عند فوهة مدخنة شاقولية فإن:

a. سرعة خروج الدخان من فوهة المدخنة:

a. تزداد

b. تنقص

c. تبقى دون تغيير

d. تزداد

b. ويمكن تفسير النتيجة وفقاً:

a. مبدأ باسكال

b. مبدأ برنولي

c. قاعدة أرخميدس

d. معادلة الاستمرارية

2. يتصرف السائل المثالي بأنه:

a. قابل للانضغاط وعديم الزوجة.

c. غير قابل للانضغاط وعديم الزوجة.

b. غير قابل للانضغاط ولزوجته غير مهملة.

d. قابل للانضغاط ولزوجته غير مهملة.

3. خرطوم مساحة مقطعيه عند فوهة دخول الماء فيه  $s_1$  وسرعة جريان الماء عند تلك الفوهة  $v_1$  ، فتكون سرعة خروج الماء  $v_2$  من نهاية الخرطوم حيث أن مساحة المقطع  $\frac{1}{4}s_1 = s_2$  متساوية:

16  $v_1$

4  $v_1$

$\frac{1}{4} v_1$

$v_1$

ثانياً: أعط تفسيراً علمياً باستخدام العلاقات الرياضية المناسبة لكل مما يأتي:

1. اختلاف سرعة جريان الماء عبر مقاطع مختلفة المساحة في مجرى نهر جريانه أفقى.

2. عدم تقاطع خطوط الانسياب لسائل.

3. ينقص مقطع عمود الماء المتذبذب من الخرطوم عندما توجه فوهته للأعلى، ويزداد مقطعاً عندما توجه فوهته رأسياً للأعلى.

4. يندفع الماء بسرعة كبيرة من ثقب صغير حدث في جدار خرطوم ينقل الماء.

5. تستطيع خراطيم سيارات الإطفاء إيصال الماء لارتفاعات ومسافات كبيرة.

6. تكون مساحة فتحات الغاز في موقد الغاز صغيرة؟

7. لجعل الماء المتذبذب من فتحة خرطوم يصل إلى مسافات أبعد تغلق جزءاً من فتحة الخرطوم.

**ثالثاً: حل المسائل الآتية:**  
**المسألة الأولى:**

لملء خزانٍ حجمه  $600 \text{ L}$  بالماء استعملَ خرطومٌ مساحةً مقطعيه  $5 \text{ cm}^2$  فاستغرقت العملية  $300 \text{ s}$ .  
**المطلوب:**

1. احسبْ معدلَ التدفقِ الحجميّ  $Q'$ .
2. احسبْ سرعة تدفق الماء من فتحة الخرطوم.
3. كم تصبحُ سرعة تدفق الماء من فتحة الخرطوم إذا نقصَ مقطعيها ليصبحَ ربعَ ما كان عليه؟

**المسألة الثانية:**

ترفع مضخة الماء من خزانٍ أرضيٍّ عبرَ أنبوبٍ مساحةً مقطعيه  $s_1 = 10 \text{ cm}^2$  إلى خزانٍ يقعُ على سطح بناء، فإذا علمتَ أنَّ مساحةً مقطعيَّ الأنبوب الذي يصبُّ في الخزان العلوي  $s_2 = 5 \text{ cm}^2$ ، وأنَّ معدلَ الضخ  $Q' = 0.005 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

**المطلوب:**

1. احسب سرعةَ الماء عند دخولِه الأنبوب وعند فتحةِ خروجه من الأنبوب.
2. احسب قيمةَ ضغطِ الماء عند دخولِه الأنبوب علماً بأنَّ الضغط الجوي  $10^5 \text{ Pa}$ ، والارتفاع بين الفوهةتين  $20 \text{ m}$ .
3. احسب العمل الميكانيكي اللازم لضخ  $100 \text{ L}$  من الماء إلى الخزان العلوي.  
 $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ،  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

**المسألة الثالثة:**

يتيني أنبوبٌ ماءً مساحةً مقطعيه  $10 \text{ cm}^2$  إلى رشاش الاستحمام، وفيه  $25$  ثقباً متماثلاً، مساحةً مقطعيَّ كلٌّ ثقب  $0.1 \text{ cm}^2$ ، فإذا علمتَ أنَّ سرعةَ تدفق الماء عبرَ الأنبوب  $50 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**المطلوب:**

1. احسبْ معدلَ التدفقِ الحجميّ للماء
2. احسب سرعةَ تدفق الماء من كلٍّ ثقب.

**المسألة الرابعة:**

محققٌ أسطوانيٌّ الشكلٌ مساحةً مقطعيه  $1.25 \text{ cm}^2$  مرَّكبٌ عليه إبرةٌ معدنيةٌ مساحةً مقطعيها  $4 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$ .

**المطلوب:**

1. احسب سرعةَ تدفقِ محلولٍ عبرَ مقطعِ المحقق عندما يكونُ معدلُ التدفق  $5 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .
2. احسب سرعةَ تدفقِ محلولٍ لحظةَ خروجه من فوهةِ الإبرة.

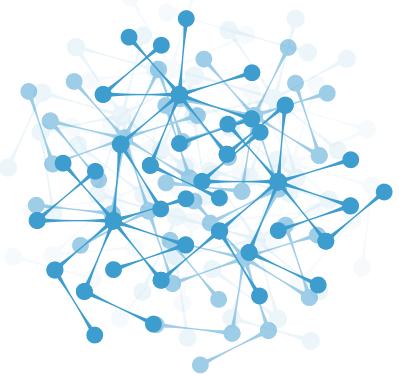
أيهما أكثر تقوساً السطح العلوي أم السطح السفلي لجناح الطائرة؟

أبحث أكثر 

يزداد استهلاك السيارة للوقود عندما تسير بسرعة عالية علماً أنها تقطع المسافة نفسها بزمن أقل.

# 5

## النسبةُ الخاصةُ



الكثيرٌ من المقادير الفيزيائية هي مقاديرٌ نسبية، أيٌ تختلفُ قيمتها باختلافِ جملةِ المقارنة، لكنْ هل ينطبقُ ذلك على الزمنِ مثلاً؟ فهل يختلفُ زمانٌ ظاهرةٌ ما باختلافِ جملةِ المقارنة؟ وماذا عن الطولِ، والكتلة؟

### الأهداف:

- \* يذكرُ فرضيتي أينشتاين.
- \* يتعرّفُ تمدّدَ الزمن نتيجةً لفرضيتي أينشتاين.
- \* يتعرّفُ تقلصَ الأطوالِ نتيجةً لفرضيتي أينشتاين.
- \* يتعرّفُ تكافؤَ الكتلة - طاقة.
- \* يستنتجُ توافقَ الميكانيكِ النسبيِّ مع الميكانيكِ الكلاسيكيِّ عندَ السرعاتِ الصغيرة جداً أمامَ سرعة الضوء في الخلاء.
- \* يتعرّفُ بعضَ تطبيقاتِ النسبةِ الخاصةِ في الحياةِ اليومية.

### الكلمات المفتاحية:

- \* جملة المقارنة
- \* نسبيٌّ
- \* سرعة الضوء في الخلاء
- \* تباطؤ الزمن، تقلص الأطوال
- \* ميكانيك نسبيٌّ
- \* طاقة سكونية.

## فرهنگنا لائینشتاین :

أتساعٌ، وأجيٌ:

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

### استنتاج

- السرعة مفهومٌ نسبيٌ يختلف باختلاف جملة المقارنة.
- سرعة انتشار الضوء ثابتة في الوسط نفسه، مما اختلفت سرعة المنشع الضوئي، أو سرعة المراقب.

لقد حاول العالمان مايكلسون ومورلي دراسة الفرق بين سرعة شعاع ضوئيٍ يُطلق بجهة دوران الأرض حول الشمس، وسرعة شعاع ضوئيٍ معادٍ 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 وسطٍ محددٍ، مما اختلفت سرعة المنشع الضوئي أو سرعة المراقب.

النتيجة:

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

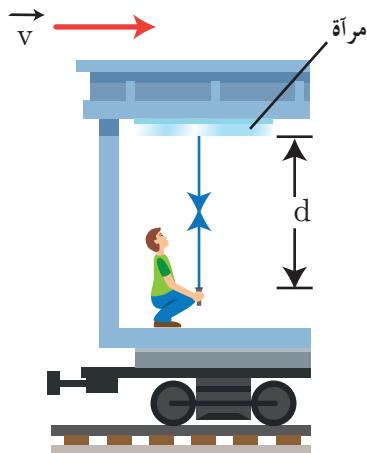
أفکر:

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

- هل ستحتَّلُّ نتائج التجاربتين؟
- هل ينطبق ذلك على جميع القوانين الفيزيائية؟

### استنتاج

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



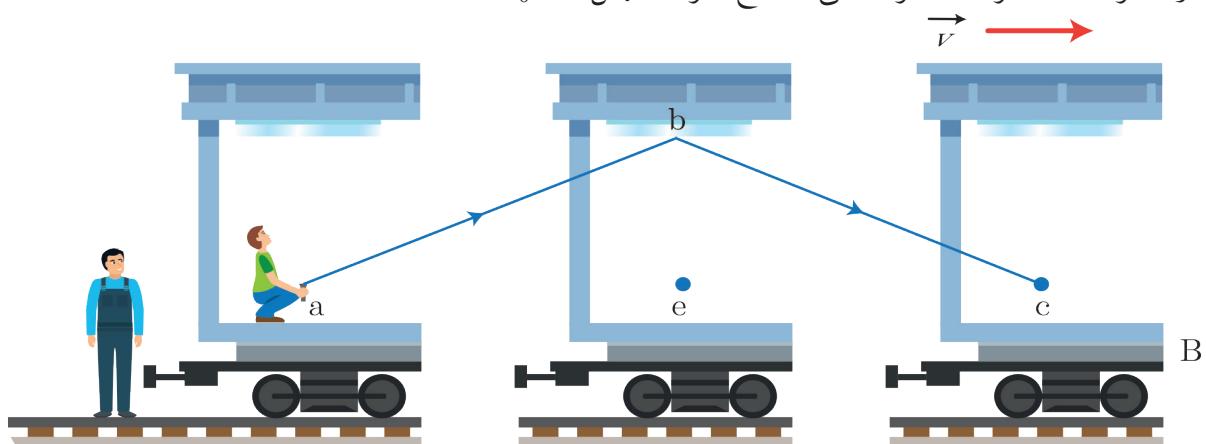
بفرض أن قطاراً يسيراً بسرعةٍ ثابتة  $v$ ، مثبتٌ على سقفٍ إحدى عرباتهِ مرآةٌ مستويةٌ ترتفعُ مسافة  $d$  عن منبع ضوئيٍّ بيدهِ مراقبٌ يقفُ ساكناً في العربة ذاتها، يرسلُ المرآبُ مضـمةً ضـوئـيةً باتجـاهـ المرأةـةـ، ويسـجـلـ الزـمـنـ  $t_0$  الـذـي تـسـتـغـرـقـهـ الـوـمـضـةـ الضـوـئـيـةـ لـلـعـودـةـ إـلـىـ المـنـبـعـ.

بعد سـرـعـةـ الشـعـاعـ الضـوـئـيـ  $c$  يـكـونـ:

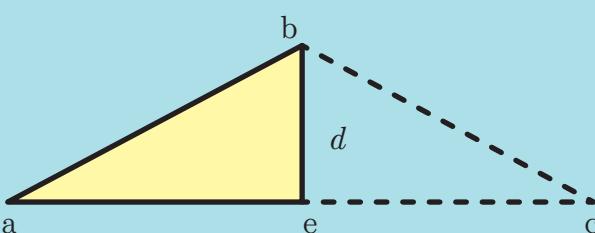
$$c = \frac{2d}{t_0}$$

$$d = \frac{ct_0}{2} \dots\dots\dots(1)$$

أمـاـ بـالـنـسـبـةـ لـمـرـاقـبـ خـارـجـيـ يـقـفـ سـاكـنـاـ خـارـجـ القـطـارـ عـلـىـ اـسـتـقـامـةـ وـاحـدـةـ مـعـ الـمـنـبـعـ الضـوـئـيـ لـحـظـةـ إـصـدـارـ الـوـمـضـةـ الضـوـئـيـةـ فـإـنـ الـزـمـنـ الـذـي تـسـتـغـرـقـهـ الـوـمـضـةـ الضـوـئـيـةـ لـلـعـودـةـ إـلـىـ المـنـبـعـ هـوـ  $t$ . فـهـلـ  $t_0 = t$ ؟



إن المسافة التي تقطعها الومضة الضوئية للعودة إلى المنشئ بالنسبة للمراقب الخارجي هي  $(ab + bc)$ .  
لو طبقنا هنا الميكانيك الكلاسيكي لأضفنا سرعة القطار  $v$  إلى سرعة الضوء، لكن وفق النظرية النسبية الخاصة فإن سرعة الضوء لا تتغير بتغير المراقب. فكيف قطع الضوء مسافة أكبر بالسرعة نفسها؟



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

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

$$ab = \frac{ct}{2} \dots\dots\dots(2)$$

المنبع انتقلَ من النقطة  $a$  إلى النقطة  $c$ :

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

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

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

بتطبيق نظرية فيثاغورث في المثلث القائم  $abe$  نجد:

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

ومن العلاقة (1) :

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

بقسمة العلاقة (4) إلى (5) نجد:

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

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

ندعو النسبة:  $\gamma = \frac{t}{t_0}$  معامل لورينتس.

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

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

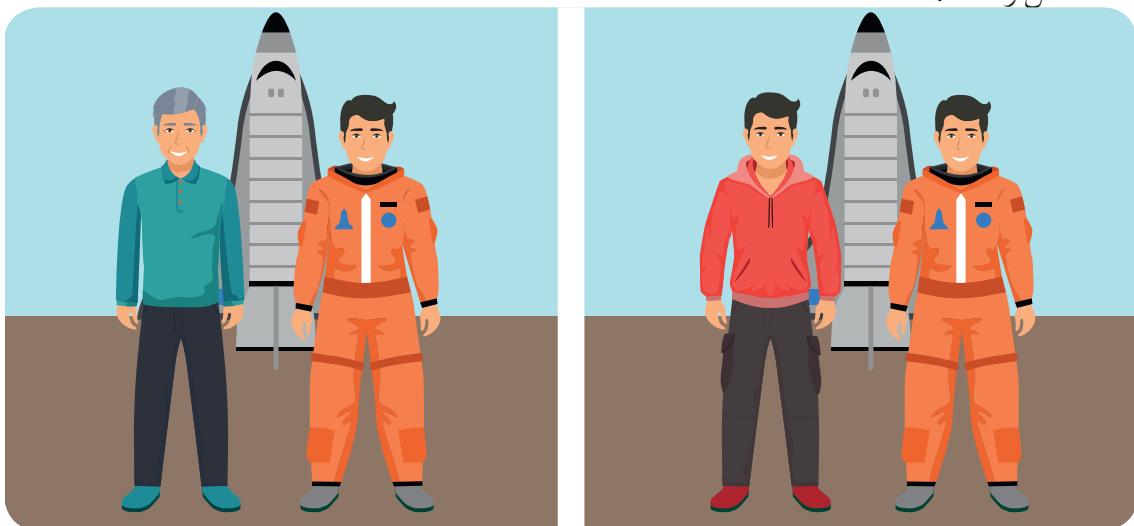
$$t = \gamma t_0$$



- يتمددُ (يتباطن) الزمنُ عند الحركة نسبياً.

### تطبيق (مفارة التوْءَمان):

بفرض أنّ آخرين توءمين أحدهما رائدٌ فضاء طار بسرعةٍ قريبةٍ من سرعة الضوء في الخلاء  $c = v = \frac{\sqrt{899}}{30}$ ، وبقي رائدُ الفضاء في رحلته سنةً واحدةً وفق ميقاتيةٍ يحملها، فما الزمنُ الذي انتظره أخيه التوأم على الأرض ليعود رائدُ الفضاء من رحلته؟



الحل:

الزمنُ الذي سجلته الميقاتيةُ التي يحملُها رائدُ الفضاء:  $t_0 = 1 \text{ year}$   
الزمنُ الذي سجله المراقبُ الخارجيُ للرحلة (الأخ التوأم الذي بقي على الأرض):  $t$

$$t = c t_0$$

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

$$c = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\left[\frac{\sqrt{899}}{30} c\right]^2}{c^2}}}$$

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

$$t = 30 \# 1 = 30 \text{ year}$$

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

## تقلص الأطوال:

تخيل مراقبين؛ الأول في محطة إطلاق على الأرض، والثاني هو روبوت في مركبة فضاء انطلقت من محطة الفضاء نحو الشمس بسرعة ثابتة بالنسبة للمراقب الأول. تسجل العدادات في المحطة على الأرض الآتي: المسافة بين الأرض والشمس  $L_0$ ، الزمن الذي استغرقتة مركبة الفضاء في رحلتها  $t$ :

$$L_0 = vt$$

وتسجل عدادات مركبة الفضاء المعطيات الآتية: المسافة المقطوعة بين الأرض والشمس  $L$ ، وזמן الرحلة  $t_0$  فيكون:  $L = vt_0$  بقسمة العددين بعضهما على بعض نجد:

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

لكن الزمن الذي استغرقتة رحلة المركبة الفضائية يتمدد بالنسبة للمراقب الأول، أي:

$$t = \gamma t_0$$

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

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

أما بالنسبة لطول المركبة الفضائية (وفق منحى سرعتها) فيعد  $L$  بالنسبة للمراقب الأرضي في المحطة لأن المركبة الفضائية متحركة بالنسبة له، ويعتبر  $L_0$  بالنسبة للمراقب في المركبة الفضائية فيكون طول المركبة بالنسبة للمراقب الأرضي أقصر مما هو عليه بالنسبة لمراقب في المركبة.

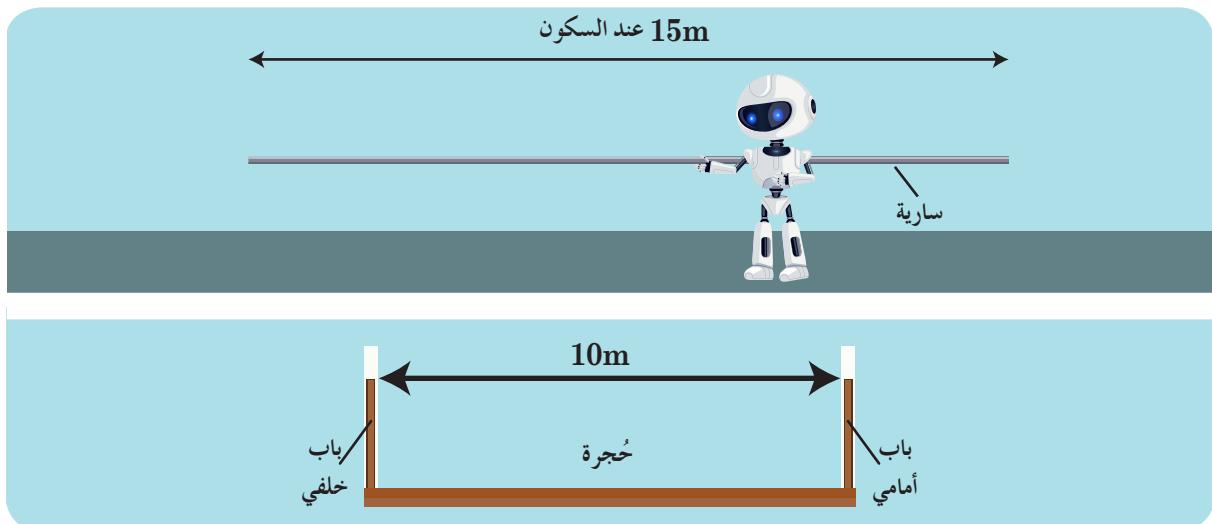


- يتقلص (ينكمش) الطول عند الحركة نسبياً.

## تطبيق (السارية والحجرة):

بفرض أن روبوتاً رياضياً يحمل ساريةً أفقيةً طولها وهي ساكنة  $15\text{ m}$ ، يتحرّك بسرعةً أفقيةً  $0.75c$  وأمامه حجرة لها بابان أمامي وخلفي، البعد بينهما  $10\text{ m}$ ، يمكن التحكم بفتحهما، وإغلاقهما آنياً بالنسبة لمراقبٍ ساكن، هل يمكن أن تعبّر السارية الحجرة بأمانٍ إذا أغلق المراقب الساكن البابين وفتحهما آنياً (بالنسبة له) عند عبور الروبوت مع السارية للحجرة؟ (نعد  $\sqrt{0.4375} \approx 0.66$ ).

الحل:



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

$$\begin{aligned} L &= \frac{L_0}{\gamma} \\ \gamma &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \\ \gamma &= \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0.75c)^2}{c^2}}} \\ \gamma &= \frac{1}{\sqrt{0.4375}} = \frac{1}{0.66} \end{aligned}$$

نَعَّوْضُ فنجد:

$$\begin{aligned} L &= \frac{15}{\frac{1}{0.66}} \\ L &= 9.9\text{ m} < 10\text{ m} \end{aligned}$$

لذلك يمكن أن تعبّر السارية بأمان.

## الطاقة الكلية في الميكانيك النسبي

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

$$E = E_0 + E_k \quad \text{إذ:}$$

$$E_0 = m_0 \cdot c^2 \quad \text{الطاقة السكونية:}$$

$$E_k = E - E_0 \quad \text{الطاقة الحركية:}$$

$$E = m c^2 \quad \text{الطاقة الكلية:}$$

## لِكَافُؤُ الْكَتْلَةِ - الطَّاقَةُ :

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

$$m = \gamma m_0$$

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

أتساءلُ:

- من أين أتت هذه الزيادة في الكتلة؟

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

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

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



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

## تطبيق (6):

يتحرّك إلكترون في أنبوبٍ تلفاز بطاقة حركيّة  $J = 27 \times 10^{-16}$

1. أحسب النسبة المئوية للزيادة في كتلة إلكترون نتيجة طاقته الحركيّة

2. أحسب طاقته السكونية

$$m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}, c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

الحل:

.1

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

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

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

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

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

2. طاقة إلكترون السكونية:

$$E_0 = m_0.c^2$$

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

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

## متى أطبق قوانين النسبية؟



إنَّ أسرع وسيلة نقل للإنسان حالياً هي مكوكُ الفضاء الذي تبلغ سرعته تقريباً  $27870 \text{ km.h}^{-1}$ ، أقارنُ هذه السرعة بسرعة الضوء في الخلياء، هل تعدُّ قريبةً منها؟ فهل من المفيد تطبيق قوانين النسبية لدراسة حركة مكوك الفضاء؟



استنتاج

- إنَّ أثرَ النظريَّة النسبيَّة الخاصَّة يُهمِّلُ من أجل السرعات الصغيرة بالنسبة إلى سرعة انتشار الضوء في الخلياء، وتؤوَّل عندها العلاقات الفيزيائِيَّة إلى شكلها الكلاسيكي.

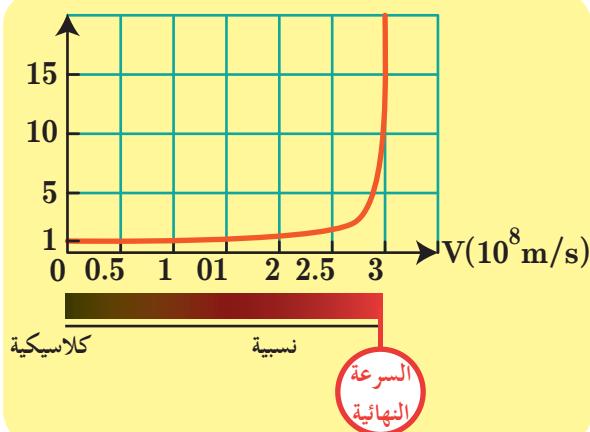
### أتساءلُ:

انطلاقاً من علاقات الميكانيك النسبي هل يمكن التوصل إلى العلاقات المطبقة في الميكانيك الكلاسيكي؟  
من أجل السرعات الصغيرة أمام سرعة الضوء في الخلاء أي  $v \ll c$  فإن  $1 \ll \frac{v^2}{c^2}$  ومنه:

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

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

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



لتأخذ على سبيل المثال علاقة الطاقة الحرارية في الميكانيك النسبي:

$$E_k = E - E_0$$

$$E_k = (\gamma - 1)m_0c^2$$

ن忧وض عن  $\gamma$  فنجد:  $E_k = \frac{1}{2}m_0v^2$  وهي علاقة الطاقة الحرارية في الميكانيك الكلاسيكي.

### سؤال:

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

### إثراء:

#### النسبية في حياتنا اليومية

تحتاج بعض الدراسات والتطبيقات إلى النظرية النسبية الخاصة مثل:

- **الساعات الذرية الدقيقة جداً المستعملة في مراكز الأبحاث مثلاً**

مهما كانت سرعة وسائل النقل عند الإنسان صغيراً أمام سرعة الضوء في الخلاء فإن ساعات السizer يوم الذرية من الدقة بحيث تلحظ التغير الزمني عند الحركة.



- **نظام تحديد المواقع GPS (Global Position system)**:

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

- **لون الذهب:**

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



- قارن العالماً هافل، وَكَيْتَجَ بَيْنَ قِيَاسَاتِ أَرْبَعِ سَاعَاتٍ ذُرِّيَّةً فِي رَحْلَةٍ عَلَى مَتنِ طَائِرَةٍ نَفَاثَةٍ، وَقِيَاسَاتِ سَاعَاتٍ ذُرِّيَّةٍ عَلَى الْأَرْضِ مَعَ مَرَاعَاةِ جَمِيعِ الظَّرُوفِ، فَتَأَكَّدَ تَمَدُّدُ الزَّمْنِ، وَتَأَكَّدَتْ تجربَيًّا الْحَسَابَاتُ النَّظَرِيَّةُ لِلنَّسَبَيَّةِ.

### إثراء:

- إنَّ مَا تَبَيَّنَتْ بِهِ النَّظَرِيَّةُ النَّسَبَيَّةُ الْخَاصَّةُ مِنْ تَكَافُؤٍ لِكَتْلَةِ وَالطاقةِ هُوَ الَّذِي أَوْصَلَنَا إِلَى اسْتِعْمَالِ الطَّاقَةِ النَّوَوِيَّةِ وَتَفْسِيرِ نَقْصِ الطَّاقَةِ فِي التَّفَاعُلَاتِ النَّوَوِيَّةِ وَتَفْسِيرِ إِشْعَاعِ الشَّمْسِ وَالنَّجُومِ



- تَحْرِكُ أَغْلُبُ الْجَسِيمَاتِ الصَّغِيرَةِ بِسُرْعَةٍ قَرِيبَةٍ مِنْ سُرْعَةِ انتشارِ الضَّوءِ فِي الْخَلَاءِ، أَوْ تُسَرِّعُ بِالْمَسَرِّعَاتِ لِدِرَاسَةِ خَصَائِصِهَا، وَلَوْلَا النَّسَبَيَّةُ الْخَاصَّةُ مَا أُمْكِنَ تَحْدِيدُ خَصَائِصِهَا بِدِقَّةٍ.



## تعلّمتُ

- ينتشر الضوء في الخلاء بالسرعة نفسها  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  في جميع جمل المقارنة، وهذه هي الفرضية الأولى لأينشتاين.
- القوانين الفيزيائية تبقى نفسها في جميع جمل المقارنة العطالية، وهي الفرضية الثانية لأينشتاين.
- عندما يكون جسم متتحرّكاً بالنسبة لجملة مقارنة فإنّ زمنه يتمدّد وفق قياس جملة المقارنة تلك

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

- عندما يكون جسم متتحرّكاً بالنسبة لجملة مقارنة فإنّ طوله يتقلّص وفق قياس جملة المقارنة تلك

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

- عندما يكون جسم متتحرّكاً بالنسبة لجملة مقارنة فإنّ كتلتته تزداد وفق قياس جملة المقارنة تلك

$$m = \gamma m_0$$

- إن الطاقة الكليّة في الميكانيك النسبي هي مجموع الطاقة السكونيّة والطاقة الحركيّة.
- إذ: الطاقة السكونيّة:  $E_0 = m_0.c^2$       الطاقة الحركيّة:  $E_k = E - E_0$       الطاقة الكليّة:  $E = m.c^2$
- تؤلّم العلاقات في الميكانيك النسبي إلى العلاقات في الميكانيك الكلاسيكي من أجل السرعات الصغيرة جداً أمام سرعة الضوء في الخلاء.

## أختبر نفسك



أولاً: اختار الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

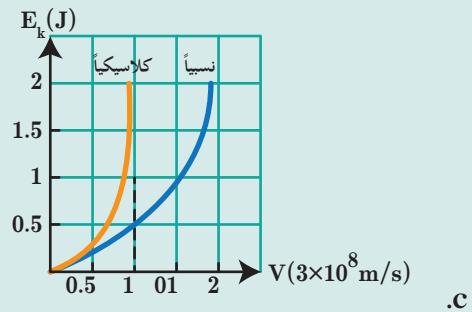
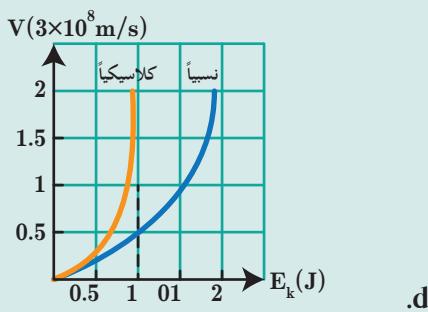
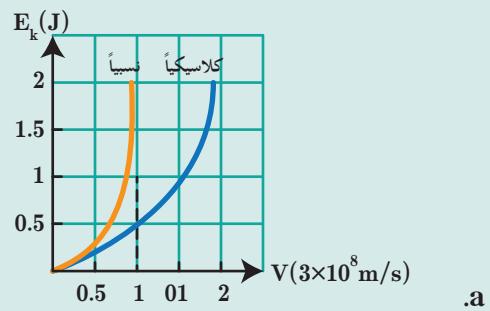
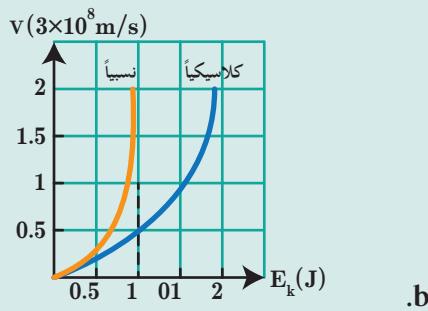
1. أفترض أنّ صاروخين في الخلاء يتحرّكُ كلُّ منهما نحو الآخر بسرعةٍ قريبةٍ من سرعة انتشار الضوء في الخلاء، وفي لحظةٍ ما أضاء الصاروخ الأول مصابيحه، إنّ سرعة ضوء الصاروخ الأول بالنسبة للصاروخ الثاني هي:

a. معدومة      b. أكبر من  $c$       c. أصغر من  $c$       d. معدومة

2. أفترض أنّ طاقم سفينةٍ فضائيةٍ تطير بسرعةٍ قريبةٍ من سرعة انتشار الضوء في الخلاء يشاهدون تسجيلاً لمباراة كرة قدم مدتها ساعةٌ ونصف، ويتبعهم مراقبٌ أرضيٌّ بتلسكوبٍ دقيقٍ جداً، فيرى مدة المباراة:

a. هي نفسها.      b. أكبر.      c. أصغر.      d. معدومة

3. المنحني البياني الذي يمثل العلاقة بين الطاقة الحر كية لجسم ما، وسرعته هو:



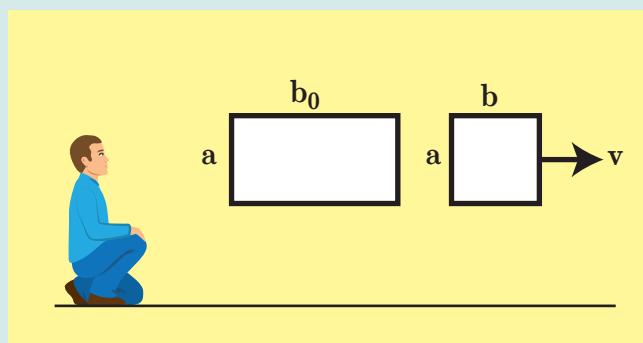
ثانيةً: أجب عن السؤالين الآتيين:

1. يحاولُ العلماء عند دراستهم خصائص الجسيمات تحريرَكها بسرعاتٍ كبيرةٍ جدًا باستخدام المسرعات، هل يمكنُ أن تصل سرعة هذه الجسيمات إلى سرعة انتشار الضوء في الخلاء تماماً؟ لماذا؟
2. يقفُ جسمٌ ساكنٌ عند مستوى مرجعي (سطح الأرض مثلاً)، ما قيمة طاقته الحر كية عندئذ؟ وما قيمة طاقته الكامنة النقالية بالنسبة للمستوى المرجعي؟ هل طاقته الكلية النسبية معروفة؟ ولماذا؟

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

**المسالة الأولى:**

جسمٌ مستطيلٌ الشكل طوله وهو ساكن  $b_0$  يساوي ضعفي عرضه  $a$ ، يتحرّك هذا الجسم بحيث يكون طوله موازيًا لشعاع سرعته  $v$  بالنسبة لمراقبٍ في الجملة الساكنة، فيبدو له مربعاً، احسب قيمة سرعة الجسم.



### المسألة الثانية:

$$\frac{2\sqrt{2}}{3} C$$

يتحرّك إلكترون بسرعة، المطلوب: احسب كمية حركة إلكترون وفق قوانين الميكانيك الكلاسيكي، ثم وفق الميكانيك النسبي، أيهما الأصحُّ برأيك؟

### المسألة الثالثة:

تبلغ الكتلة السكونية لبروتون  $M_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$  ، وطاقته الكلية تساوي ثلاثة أضعاف طاقته السكونية.

المطلوب: احسب كلًّ من طاقته السكونية، وطاقته الحركية في الميكانيك النسبي، وكتلته في الميكانيك النسبي.

## تفكير ناقد



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

## أبحث أكثر



تطبّق النسبية الخاصة (المقيّدة) في حالة انعدام التسارع، أبحث في النسبية العامة وما قدّمه من تفسير للجاذبية الكتيلية.

## الوحدة الثانية

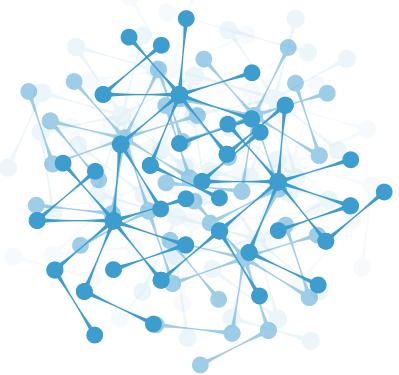
# الكهرباء والمغناطيسية



القطار المغناطيسي قطار يعمل بقوة الرفع المغناطيسية، أي أنه يعتمد في عمله بشكل أساسٍ على المغناطيس، ويتميز هذا القطار بأنه لا يحتوي على محركاتٍ ميكانيكية ولا يستطيع السير على القضبان الحديدية، لذلك فهو يطفو في الهواء بالاعتماد على الوسادة المغناطيسية التي تعمل على تشكيل حقول كهرومغناطيسية قوية، وأكثر ما يميز هذا النوع من القطارات أن سرعته مرتفعةً جداً، ومن المعروف أنه عند تقريب مغناطيسين من بعضهما بعضاً، فإننا نلاحظ حدوث التجاذب بين الأقطاب المختلفة، حيث يعمل كل مغناطيس على توليد حقل مغناطيسي يؤثر به على المغناطيس الآخر، وبالتالي نستطيع تعليق الأشياء، وبناءً على ذلك تم تطوير وتصنيع هذا النوع من القطارات، ويتم تصميم القطار المغناطيسي وفقاً لاحدي التقنيتين، إما نظام التعليق الكهروдинاميكي أو نظام التعليق الكهرومغناطيسي.

# ١

## المغناطيسية



تأخذُ الظواهر المغناطيسية أهميةً متناميةً في حياتنا اليومية فنجد أنّ سمامات الهاتف، تحتوي مغناطيساً كما أنّ المولدات، الكهربائية والمحركات، الكهربائية البسيطة وأشرطة التسجيل ومشغلات الأقراص الصلبة داخل أجهزة الحاسوب جميعها تعتمدُ على الآثار المغناطيسية، ويُستعمل المغناطيسيُّ الكهربائي أيضًا لرفع الكتل الحديدية الكبيرة. فما المغناطيسيُّ؟ وما المواد المغناطيسية؟ وما المواد غير المغناطيسية؟ وما الحقل المغناطيسي؟ وما علاقته بالتيار الكهربائي؟

### الأهداف:

- \* يُتعرَّفُ عناصر شعاع الحقل المغناطيسي في نقطة من الحقل.
- \* يُحدَّدُ مفهوم الحقل المغناطيسي المنتظم.
- \* يُتعرَّفُ تجريبياً الحقل المغناطيسي في الحديد.
- \* يستنتجُ علاقة عامل النفاذية المغناطيسية.
- \* يُتعرَّفُ المغناطيسية الأرضية.
- \* يُحدَّدُ عناصر شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي.
- \* يُحدَّدُ عناصر شعاع الحقل المغناطيسي المتولد عن التيار الكهربائي.
- \* يفسِّرُ مغناطيسية المواد.
- \* يُتعرَّفُ مفهوم تدفق الحقل المغناطيسي.

### الكلمات المفتاحية:

- \* مغناطيسيٌّ نضويٌّ
- \* حقلٌ مغناطيسيٌّ
- \* شدَّةُ الحقل المغناطيسي
- \* نواةُ حديدٍ
- \* عاملُ النفاذية المغناطيسية
- \* الحقل المغناطيسي الأرضي
- \* الآثر المغناطيسي للتيار الكهربائي
- \* شعاعُ السطح
- \* تدفقٌ مغناطيسيٌّ.

## مفهوم الحقل المغناطيسي

أجرب وأستنتج:

المواد الازمة: حقيقة المغناطيسية.

خطوات التجربة:

- أضع علبة الأبر المغناطيسية بعيداً عن تأثير أي مغناطيس، وألاحظ كيف تستقر كل إبرة منها.
- أرسم منحي استقرار كل منها.
- أضع المغناطيس المستقيم فوق علبة الأبر المغناطيسية، وألاحظ استقرار كل إبرة.
- أرسم منحي الاستقرار الجديد للأبر المغناطيسية، وأحدد الشكل الذي أحصل عليه.
- أغير موضع المغناطيس فوق علبة الأبر بحيث يتوجه اتجاهات مختلفة، ماذا ألاحظ؟ ماذا أستنتج؟
- أبعد المغناطيس تدريجياً عن علبة الأبر المغناطيسية، وأفسر عودة الأبر إلى منحاتها قبل وضع المغناطيس.
- أكرر التجربة باستخدام مغناطيس نصفي، وأقارن النتائج، ماذا أستنتج؟

### استنتاج

- نقول: إن منطقة يسودها حقل مغناطيسي إذا وضعت فيها إبرة مغناطيسية حرّة الحركة، فإنّها تخضع ل действ المغناطيسية.
- تأخذ الإبرة المغناطيسية منحي واتجاهًا معينين بتأثير الحقل المغناطيسي.
- تشكل الخطوط التي ترسمها الأبر المغناطيسية ما يسمى بخطوط الحقل المغناطيسي.
- خط الحقل المغناطيسي هو خط وهمي يمتد في كل نقطة من نقاط شعاع الحقل المغناطيسي في تلك النقطة.
- تتجه خطوط الحقل المغناطيسي خارج المغناطيس من قطب الشمالي إلى قطب الجنوبي، وتُكمل دورتها داخل المغناطيس من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي.
- تأخذ خطوط الحقل المغناطيسي بين قطبي المغناطيس النصفي شكل خطوط مستقيمة متوازية، ولها الجهة نفسها، ثم تحنّى خارج قطبي المغناطيس.
- يكون الحقل المغناطيسي منتظمًا إذا كانت أشعة الحقل متوازية، ولها الشدة نفسها، والجهة ذاتها (متسيرة فيما بينها).

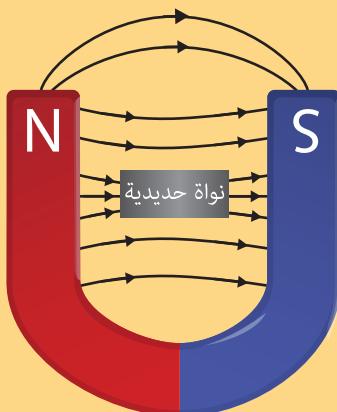
## كيف يمكن تحديد عناصر شعاع الحقل المغناطيسي $\vec{B}$ في نقطة من الحقل؟

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

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

## الحقل المغناطيسي بوجود الحديد

تحتاج بعض الأجهزة الكهربائية كمكثف الصوت مثلاً إلى حقول مغناطيسية شديدة، كيف يتم تأمينها؟  
أجرِب وأستنتج:



المواد الازمة: مغناطيس نضوي - برادة حديد  
- نواة حديدية - لوح زجاجي.

### خطوات التجربة:

- أضع المغناطيس النضوي على طاولة أفقية.
- أضع اللوح الزجاجي فوق المغناطيس.
- أنثر برادة الحديد بطفق فوق اللوح الزجاجي، وأنقر على اللوح الزجاجي نقراتٍ خفيفة، ماذالاحظ؟ أعلل ذلك.
- أكرر التجربة بعد أن أضع بين قطبي المغناطيس النواة الحديدية، ماذالاحظ؟

### استنتاج

- تقرب برادة الحديد عند طرقه على النواة الحديدية، أي تتكاثف خطوط الحقل المغناطيسي ضمن النواة الحديدية.
- تمغناطيس نواة الحديد، ويتوارد منها حقل مغناطيسي  $\vec{B}$  إضافي يضاف إلى الحقل المغناطيسي الأصلي المagnet  $\vec{B}$  فيشكل حقلًا مغناطيسيًا كليًا  $\vec{B}_t$ .
- يُستفاد من وضع النواة الحديدية بين قطبي المغناطيس النضوي في زيادة شدة الحقل المغناطيسي.

## عامل النفاذية المعنوية



## الحقل المغناطيسي الأرضي

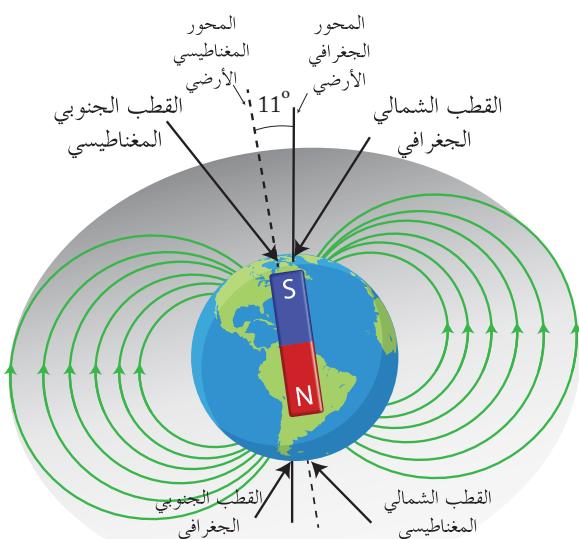
أَتَسْمَعُ

كيفَ نفسُ توجّهِ إبرةِ مغناطيسيةٍ في نقطةٍ ما من سطح الأرض إلى الشمالِ الجغرافيِّ؟  
إنَّ منشأً المغناطيسية الأرضية مُعقدٌ وغيرٌ معروفةٌ بدقةٍ حتى الآن.

اعتقد العلماء بدايةً أنَّ المواد المغناطيسية في الأرض مسؤولةٌ عن مغناطيسية الأرض، لكنَّ درجات الحرارة العالية جداً في جوف الأرض تجعلُ من الصعب الحفاظ على مغناطيسية دائمةٍ للمواد الحديدية في باطن الأرض.

ويعزّو العلماء مغناطيسية الأرض إلى الشحنة المتحرّكة في سوائل جوف الأرض (أيونات موجبة، وإلكترونات سالبة) التي تولّد بحرّكتها تياراتٍ كهربائيةً داخل الأرض ينشأ عنها حقولٌ مغناطيسيةً.

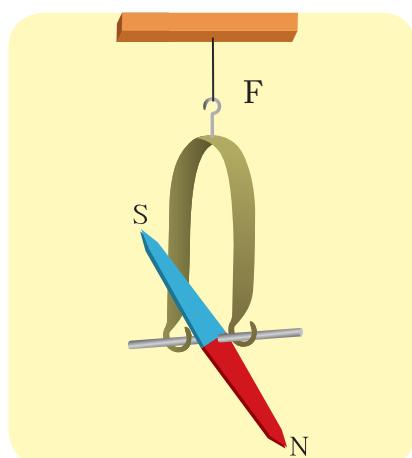
## عناصر شعاع الحقل المغناطيسي الأرضي في نقطة:



تسلُكُ الأرض سلوكَ مغناطيسٍ مستقيمٍ كبيرٍ، منتصفةٌ في مركزها، يميلُ محورهُ قُرابةً ( $11^\circ$ ) عن محورِ دورانِ الأرض المنطبقِ على (الشمال - الجنوب) الجغرافيِّ، قطباها المغناطيسييَّان لا يُطابقانِ قطبيها الجغرافييَّن؛ أي أنَّ القطب المغناطيسي الجنوبي للأرض يقعُ بالقربِ من القطب الشماليِّ الجغرافيِّ، والقطب المغناطيسي الشمالي للأرض يقعُ قربَ القطب الجنوبيِّ الجغرافيِّ للأرض، والمسافةُ بينَ القطبيين تقريرًا  $1920\text{ km}$ .

عندَ وضع إبرةٍ مغناطيسيةٍ محورُ دورانها أفقٌ عندَ أحدِ القطبيين المغناطيسييَّين فإنَّها تستقرُ بوضعٍ شاقوليٍّ، أي تصنَعُ مع خطٍّ الأفقِ زاويةً قياسُها تقريرًا  $90^\circ$ ، وعندَ نقلِ الإبرة إلى خطِّ الاستواء فإنَّها تنطبقُ على الأفق، أي أنَّ قياس زاوية الإبرة مع الأفق يساوي الصفرَ.

تُسمى الزاوية بينَ مستوىِ الإبرةِ وخطِّ الأفقِ زاويةَ الميل  $\hat{\theta}$ .  
وعندَ وضع إبرةٍ مغناطيسيةٍ محورُ دورانها شاقوليٌّ بعيدةً عن أيِّ تأثيرٍ مغناطيسيٍّ يمكنُها الدورانُ بحرىٍّ في مستوىِ أفقٍ فإنَّها تستقرُ موازيةً لخطِّ الأفقِ يُسمى خطِّ الزوالِ المغناطيسيِّ.  
تُسمى الزاوية المحسورةُ بينَ مستوىِ الزوالِ المغناطيسيِّ ومستوىِ الزوالِ الجغرافيِّ للأرضِ زاويةَ الانحرافِ المغناطيسيِّ.  
ويتغيَّرُ مقدارُها بينَ ( $0^\circ - 180^\circ$ ).  
أجرب وأستنتج:



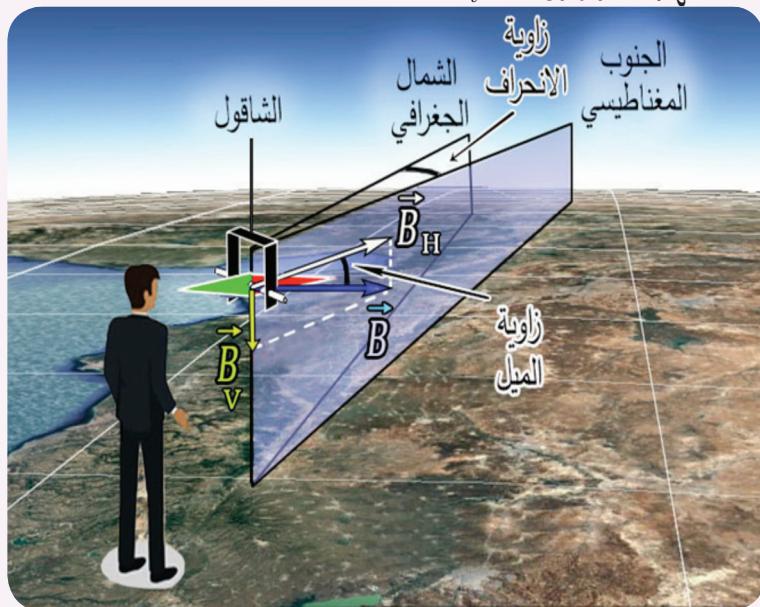
المواد الازمة: إبرةٌ مغناطيسيةٌ صغيرةٌ صغيرٌ محورُ دورانها أفقٌ.

### خطوات التجربة:

1. أضعُ الإبرةَ داخلَ الغرفةِ بعيدةً عن أيِّ تأثيرٍ مغناطيسيٍّ، وألا حظُ منحى استقرارِها، بمُعَلَّ ذلك؟
2. أزيحُ الإبرةَ عن منحى استقرارِها، هل تعودُ إلى منحاها السابقِ قبلَ إزاحتها؟ مُعَلَّ ذلك؟



- تغير شدة الحقل المغناطيسي الأرضي من منطقة إلى أخرى على سطح الأرض حسب موقعها الجغرافي، ويقع شاعر الحقل المغناطيسي الأرضي في مستوى الزوال المغناطيسي (وهو المستوى المعروف بخط الزوال المغناطيسي ومركز الأرض).
  - يعين شاعر الحقل المغناطيسي الأرضي بواسطة زاويتي الميل والانحراف.
  - يمكن تحليل شاعر الحقل المغناطيسي إلى مركبتين:
- مركبة أفقية  $\vec{B}_H$  شدتها:  $B_H = B \cos i$
- مركبة شاقولية  $\vec{B}_v$  شدتها:  $B_v = B \sin i$



**ملاحظة:** تأخذ الإبرة المغناطيسية لبوصلة محور دورانها شاقولي منحى المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي  $\vec{B}_H$  في مستوى الزوال المغناطيسي، في حين تأخذ الإبرة الحرة الحركة منحى الحقل المغناطيسي الكلي  $\vec{B}$ .

### إثراء:

#### الطيور المهاجرة تتحسس الحقل المغناطيسي للأرض

يبدو أنَّ الطيور المهاجرة يمكنها أنْ تدرك الحقل المغناطيسي للأرض الذي تستعمله بوصلة لإرشادها حول العالم، وقال باحثون ألمان: إنَّ خلايا عصبية متخصصة في العين حساسة لاتجاه المغناطيسي اتضحت للمرة الأولى أنها متصلة عبر ممرٍ معين بالمخ بمنطقة في مقدمة دماغ الطيور مسؤولة عن الرؤية.

## الحقول المغناطيسية للتيارات الكهربائية:

### نشاط:

يُبيّن الجدول الآتي النتائج التجريبية لقياس شدّة الحقل المغناطيسييّ المتولّد عن مرور تيارٍ كهربائيٍّ متواصلٍ في سلكٍ مستقيم في نقطةٍ تقع على بُعدٍ معين من السلك:

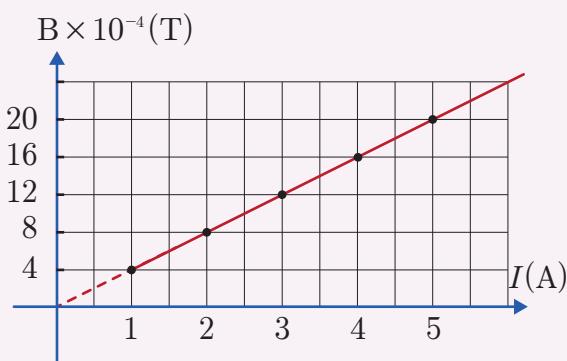
$I$ (A)	1	2	3	4	5
$B$ (T)	$4 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	$12 \times 10^{-4}$	$16 \times 10^{-4}$	$20 \times 10^{-4}$

1. أرسم الخط البياني لتغييرات  $B$  بدلالة  $I$ .

2. أحسب ميل الخط البياني، ماذا تستنتج؟

3. أحسب قيمة  $B$  من أجل تيارٍ شدّته  $8 A$ .

### استنتاج



- إن شدّة الحقل المغناطيسييّ المتولّد عن تيار كهربائيٍّ تتناسب طرداً وشدّة التيار المار في الدارة.

- الخط البياني الممثل لتغييرات شدّة الحقل المغناطيسييّ بدلالة شدّة التيار مستقيم يمرُّ من المبدأ، ميله:

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

$$B = k I$$

- إذ  $k$ : ثابت يمثل ميل المستقيم.

- بيّنت الدراسات أنَّ قيمة  $k$  تتعلق بعاملين:

الأول: الطبيعة الهندسية للدارة: شكل الدارة، وموضع النقطة المعتبرة بالنسبة للدارة، أي  $k$ .

الثاني: عامل الفاذاية المغناطيسيي  $\mu_0$ ، وقيمة في الخلاء في جملة الوحدات الدوليّة

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m.A}^{-1}$$

- بناءً على ما سبق يمكن أن نكتب علاقة شدّة الحقل المغناطيسييّ المتولّد عن تيارٍ كهربائيٍّ بالشكل:

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

$B$  : شدّة الحقل المغناطيسيي (T).

$I$  : شدّة التيار (A).

$k'$  : ثابت يتعلّق بالطبيعة الهندسية للدارة.

## الحقل المغناطيسي لتيار مستقيم طويل:

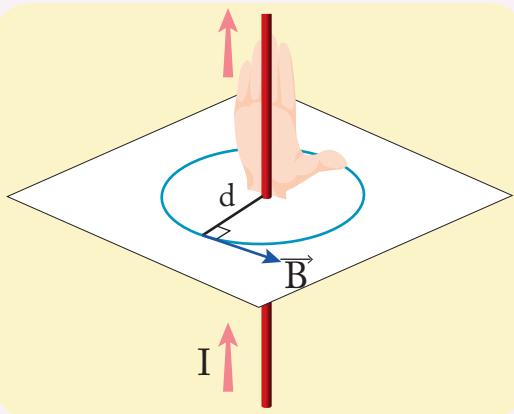
في إحدى التجارب مُرّر تياراً كهربائياً متواصلاً شدّة  $A = 20$  في سلكٍ مستقيمٍ وطويل، وقيسَتْ شدّةُ الحقل المغناطيسي بوساطةِ مقياسٍ تسلٍّ في مجموعةِ نقاطٍ تقعُ على أبعادٍ مختلفةٍ من محورِ السلك، وكانت النتائج وفقَ الجدول الآتي:



$B\text{ (T)}$	$2 \times 10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$	$0.8 \times 10^{-4}$	$0.4 \times 10^{-4}$
$d\text{ (m)}$	$2 \times 10^{-2}$	$4 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$	$10 \times 10^{-2}$
$k' = \frac{1}{2\pi d}$	.....	.....	.....	.....
$\frac{B}{k' I}$	.....	.....	.....	.....

1. أحسب قيمة الجداء  $Bd$  ، ماذا أستنتج؟
2. أكمل الفراغات في الجدول السابق، ماذا أستنتج؟

## أستننـة



عناصرُ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّي في نقطة  $n$  تبعدُ مسافة  $d$  عن محورِ السلك:

- الحامـل: عمودـيٌّ على المـستـوي المـعـيـن بالـسلـك والنـقطـة المـعـتـبرـة.

- الـجـهـة: تحـدـد عـمـلـيـاً بـوـسـاطـة إـبـرـة مـغـناـطـيـسـيـة صـغـيرـة نـصـعـها فـي النـقطـة المـعـتـبرـة، وـتـكـوـن جـهـة شـعـاعـ الحـقـل  $\vec{B}$  من جـهـة محـورـ الإـبـرـة  $\vec{SN}$  بعدـ أـن تـسـتـقـرـ.

أمـا نـظـريـاً فـإـنـها تـحـدـد بـقـاعـة الـيـدـ الـيـمنـى:

- الـسـاعـدـ يـواـزـيـ السـلـكـ.

- يـدـخـلـ التـيـارـ منـ السـاعـدـ، وـيـخـرـجـ منـ نـهـاـيـاتـ الـأـصـابـعـ.

- نـوـجـهـ باـطـنـ الـكـفـ نحوـ النـقطـةـ المـعـتـبرـةـ.

- يـشـيرـ إـبـاهـمـ الـيـدـ الـيـمنـىـ إـلـىـ جـهـةـ شـعـاعـ الحـقـلـ المـغـناـطـيـسـيـ.

- الـشـدـةـ: إـنـ شـدـةـ الـحـقـلـ المـغـناـطـيـسـيـ لـتـيـارـ مـسـتـقـيمـ طـوـيلـ تـنـتـنـاسـ بـ طـرـدـاًـ مـعـ شـدـةـ الـتـيـارـ الـكـهـرـبـائـيـ الـمـارـ  $B = 4\pi \times 10^{-7} k' I$ ، وـعـكـسـاًـ مـعـ بـعـدـ النـقطـةـ المـعـتـبرـةـ عنـ محـورـ السـلـكـ  $d$ ، وـيـعـطـىـ بـالـعـلـاقـةـ لـكـنـ:  $k' = \frac{1}{2\pi d}$

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

- $I$ : شـدـةـ الـتـيـارـ الـكـهـرـبـائـيـ (A).

- $B$ : شـدـةـ الـحـقـلـ المـغـناـطـيـسـيـ (T) (تسـلاـ).

- $d$ : بـعـدـ النـقطـةـ المـعـتـبرـةـ عنـ محـورـ السـلـكـ (m).

## تطـبـيقـ (1):

نـمـرـرـ تـيـارـ 10 A كـهـرـبـائـيـاًـ متـواـصـلاًـ شـدـتهـ 10 A فيـ سـلـكـ طـوـيلـ مـسـتـقـيمـ مـوـضـوـعـ أـفـقيـاًـ فـيـ مـسـتـوـيـ الزـوـالـ المـغـناـطـيـسـيـ الأـرـضـيـ الـمـارـ منـ مـرـكـزـ إـبـرـةـ مـغـناـطـيـسـيـةـ صـغـيرـةـ يـمـكـنـهاـ أـنـ تـدـوـرـ حـوـلـ مـحـورـ شـاقـولـيـ مـوـضـوـعـةـ تـحـتـ السـلـكـ علىـ بـعـدـ 50 cm منـ مـحـورـهـ. المـطـلـوبـ حـسـابـ:

- شـدـةـ الـحـقـلـ المـغـناـطـيـسـيـ عندـ مـرـكـزـ إـبـرـةـ المـغـناـطـيـسـيـةـ النـاتـجـ عنـ مـرـورـ التـيـارـ.
- قيـمةـ زـاوـيـةـ انـحرـافـ إـبـرـةـ المـغـناـطـيـسـيـةـ باـعـتـبارـ أـنـ قـيـمةـ الـمـركـبةـ الـأـفـقيـةـ لـلـحـقـلـ المـغـناـطـيـسـيـ الـأـرـضـيـ  $2 \times 10^{-5} T$ .

الـحـلـ:

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

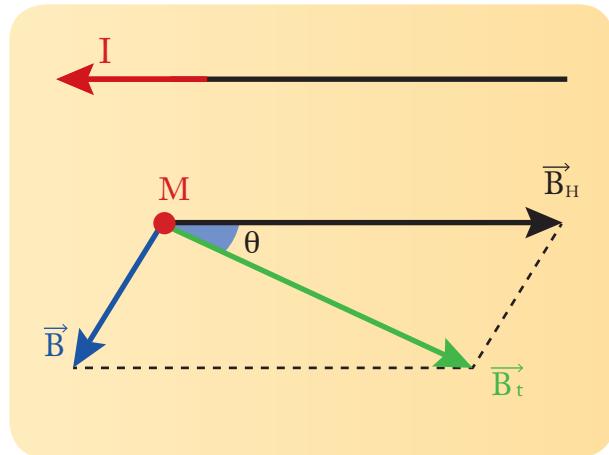
1. الحقل المغناطيسي المترافق مع التيار المار في السلك:

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

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

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

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  $\vec{B}_H$  حقلًا محسّلاً  $\vec{B}_T$ ، تدور الإبرة المغناطيسية بزاوية  $\theta$ ، وتستقر وفق منحاه.



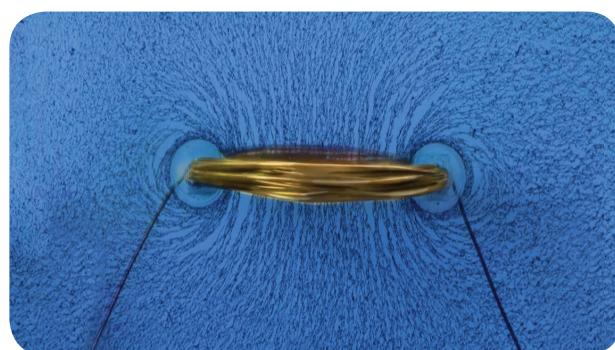
$$\tan i = \frac{B}{B_H}$$

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

$$\tan i = 0.2 < 0.24$$

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

**الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل في ملف دائري :**  
نشاط:



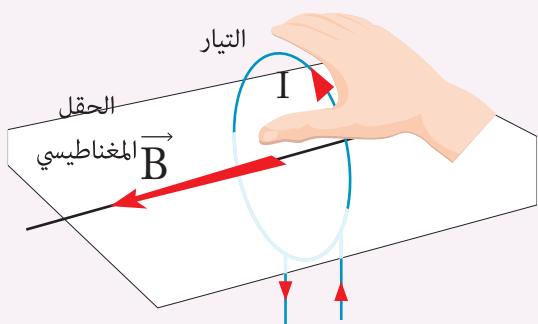
في إحدى التجارب مرر تيار كهربائي متواصل شدّته 10 A في ملف دائري نصف قطره 10 cm، وقيس شدّة الحقل المغناطيسي بوساطة مقياس تسلا في مركز الملف، وكررت التجربة السابقة من أجل ملفات متماثلة في نصف قطرها الوسطي و مختلفة في عدد لفاتها، وكانت النتائج وفق الجدول الآتي

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

1. أُحدّد علاقَة شَدَّةِ الحَقلِ المَغَناطِيسِيِّ بعَدِ لَفَاتِ الْمَلْفِ.
2. أكْمَلُ الفَرَاغَاتِ فِي الجَدُولِ السَّابِقِ، مَاذَا أَسْتَنْجُ؟

### استنتاج

عناصر شَعَاعِ الْحَقلِ المَغَناطِيسِيِّ لِتِيَارِ دَائِرِيٍّ:



- **العاملُ:** العمودُ على مُستويِيِ المَلْفِ.
- **الجهةُ:** عملياً من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية نضعها عند مركز الملف الدائريّ بعد استقرارها.
- حسب قاعدة اليد اليمنى: نضعها فوق الملف حيث يدخل التيار من الساعد، ويخرج من أطراف الأصابع، ويتجه باطن الكف نحو مركز الملف، فيشير الإبهام إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسي.
- **الشدةُ:** وُجِدَ تجربياً أن شدَّةَ الْحَقلِ المَغَناطِيسِيِّ لِتِيَارِ دَائِرِيٍّ تتناسبُ طرداً مع شدَّةِ التِيَارِ الْكَهْرَبَائِيِّ الْمَارِ فِيَهُ  $I$ .
- طرداً مع عدد لفات الملف  $N$ .
- عكساً مع نصف قطر الملف الوسطي  $r$ .

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

لكن:  $k' = \frac{N}{2r}$

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

## تطبيق

نمرٌ تياراً كهربائياً شدّته  $6\text{ A}$  في سلك مستقيم طوبل معزول، ثم نلف جزءاً منه على شكل حلقة دائريّة بلقّة واحدة نصف قطرها  $3\text{ cm}$ ، كما في الشّكل. احسب شدّة الحقل المغناطيسي المحصل في مركز الحلقة، ثم حدد بقيّة عناصره.

**الحل:**

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

نَعْدُ السلك جزأين:  
الأول: حلقة.

الثاني: مستقيم، فينشأ في مركز الحلقة الدائريّة حقلان يمكن تحديدهما كل منهما حسب قاعدة اليد اليمنى.  
**1.** الحقل المغناطيسي المترافق عن التيار المار في الحلقة الدائريّة:

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

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

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

**2.** الحقل المغناطيسي المترافق عن التيار المار في السلك المستقيم:

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

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

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

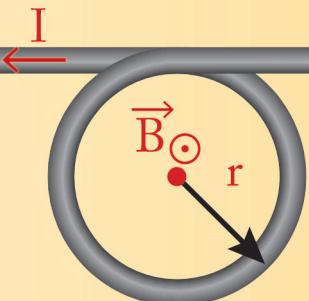
الحقلان على حامل واحد، وبالجهة نفسها، فتكون شدّة الحقل المحصل:

$$B = B_1 + B_2$$

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

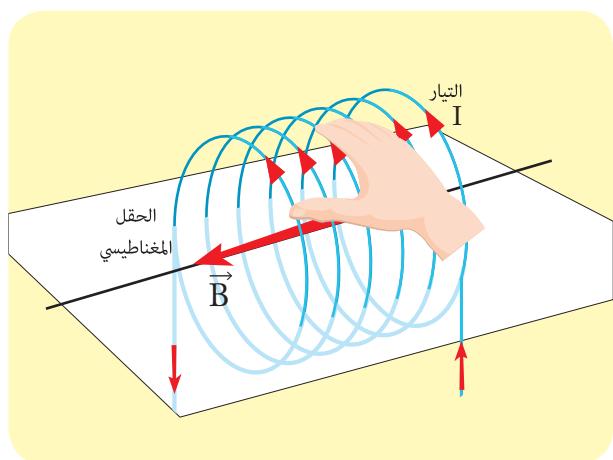
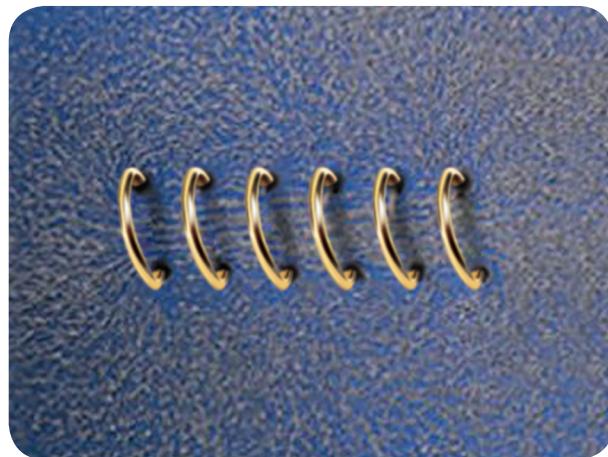
$$B = 16.5 \times 10^{-5} \text{ T}$$

الحامل: العمود على مستوى الحلقة الدائريّة.  
الجهة: أمام مستوى الحلقة.



## الحقل المغناطيسي لتيار كهربائي متواصل يمتد في ملف حلزوني (وشيعة):

عناصر شعاع الحقل المغناطيسي المتولدة عن تيار حلزوني:



- **العامل:** محور الوشيعة.
- **الجهة:** عملياً من القطب الجنوبي إلى القطب الشمالي لإبرة مغناطيسية نضعها عند مركز الوشيعة بعد استقرارها. نظرياً تحدد بقاعدة اليد اليمنى نضعها فوق الوشيعة بحيث توازي أصابعها إحدى الحلقات ونتصور أن التيار يدخل من الساعد، ويخرج من رأس الأصابع، فيشير الإبهام الذي يعامد الأصابع إلى جهة شعاع الحقل المغناطيسي.
- **الشدّة:** وجد تجريبياً أن شدّة الحقل المغناطيسي لتيار حلزوني داخل الوشيعة تتناسب طرداً مع:
  - شدّة التيار الكهربائي المتواصل المار فيها  $I$
  - النسبة  $\frac{N}{l} = n_1$  أي عدد اللفات في واحدة الأطوال، وتعطى الشدّة بالعلاقة:

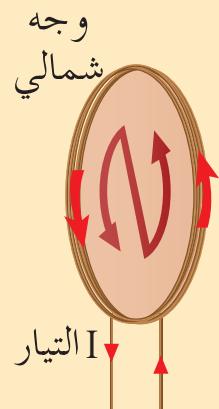
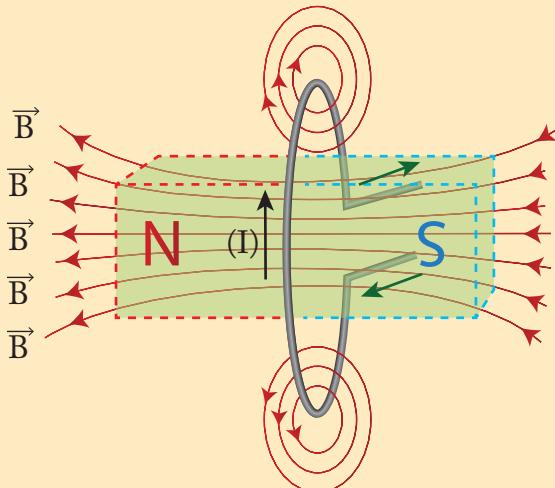
$$B = \mu_0 k' I$$

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

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

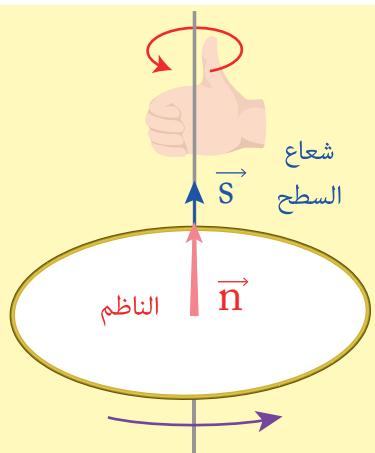
لكن:  
نعرض:  
نتيجة:

إن الملفات والوشائع الكهربائية تكافئ مغناطيس، 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.



## التدفق المغناطيسي:

يُعبر التدفق المغناطيسي  $\vec{\Phi}$  عن عدد خطوط الحقل المغناطيسي التي تجتاز سطح دائرة كهربائية مُستوية مغلقة.



- نرسم الناظم  $\vec{n}$  على مستوى سطح الدارة، وهو العمود على مستوى سطح الدارة الذي يدخل من وجهها الجنوبي، ويخرج من وجهها الشمالي.

نعرف شاعر السطح  $\vec{s}$  بالعلاقة:  

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



عناصر شاعر السطح:

- الحامل: الناظم.
- الجهة: بجهة الناظم دوماً
- الشدة:  $s$  مساحة سطح الدارة، ووحدة قياسها  $m^2$ .

## تعريف التدفق المغناطيسي:

نعرف التدفق المغناطيسي  $\Phi$  الذي يجتاز دارة كهربائية مُستوية في الخلاء بالعلاقة:

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

$$\Phi = Bs \cos \alpha$$

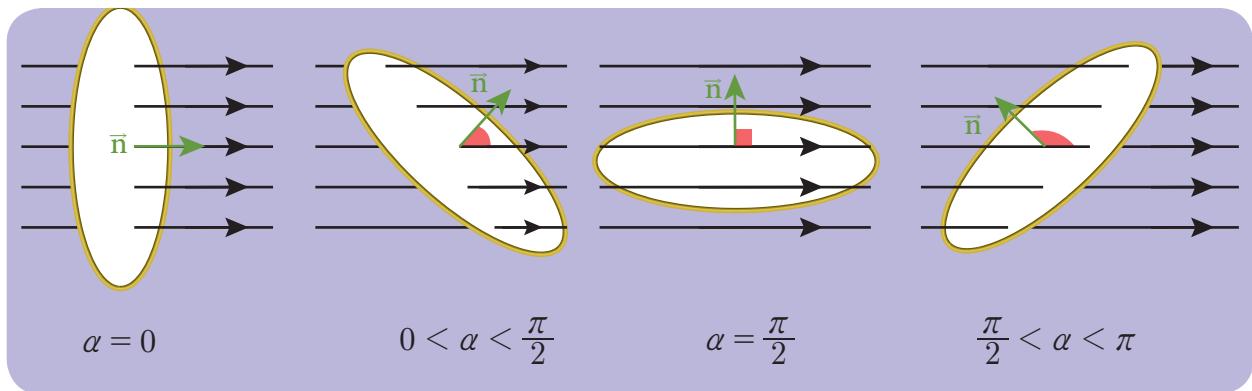
ومن أجل دارة تحوي  $N$  لفة تصبح العلاقة:

$$\Phi = NBs \cos \alpha$$

$\Phi$  التدفق المغناطيسي، يقدر بواحدة Weber

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

$\alpha$ : هي الزاوية الكائنة بين شعاع الحقل المغناطيسي  $\vec{B}$  والنظام على السطح.



## تحليل المغناطيسية:

نشاط:

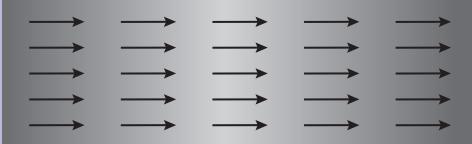
إذا علمت أن ذرة الحديد  $^{26}_{Fe}$  المطلوب:

1. اكتب التوزع الإلكتروني في ذرة الحديد.
2. ارسم التمثيل الإلكتروني في المدار الثنائي  $3d$  بطريقة السهم والمربيات.
3. ما عدد الإلكترونات الفردية (العازية) فيه؟
4. هل هي ساكنة؟ هل تدور بجهة واحدة أو بجهتين متراكبتين؟
5. هل يدور الإلكترون حول نفسه؟ وماذا يكفي هذا الدوران؟



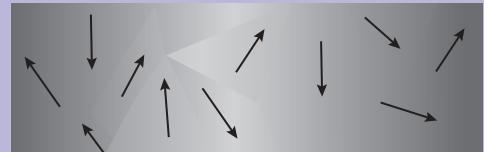
- يشبه دوران الإلكترونات حول النواة مرور تيار كهربائي في حلقة مغلقة، فيولد حقولاً مغناطيسياً، إذ تتغير جهة هذا الحقل بتغيير جهة دوران الإلكترون، فإذا دار الإلكترونات حول النواة في الذرة بسرعتين زاويتين متساوietين طولية وباتجاهين متعاكسين وبنصف قطر مدار واحد تولد عن أحدهما خاصية مغناطيسية تلغى خاصية المغناطيسية المتولدة عن الآخر، أما إذا انفرد أحد الإلكترونات الذرة بدورانه حول النواة أكسبها صفة مغناطيسية جاعلاً من الذرة مغناطيساً صغيراً ثانئياً القطب.
- إن دوران الإلكترون حول محوره يُعد تياراً متناهياً في الصغر يولّد حقولاً مغناطيسياً كما لو كان مغناطيساً صغيراً، فإذا دار الإلكترونات حول محوريهما باتجاهين متعاكسين يلغى أحدهما الخصائص المغناطيسية للأخر،
- أما إذا انفرد الإلكترون بدورانه حول نفسه أكسب الذرة صفة مغناطيسية.
- إن حركة بعض الشحنات داخل النواة تولد خصيصة مغناطيسية صغيرة جداً مقارنة بالخصيصة المتولدة عن الدورانيين السابقين للإلكترونات.
- لقد أظهرت الدراسة للمواد الحديدية العاديّة أنها تتكون من ثانويات أقطاب مغناطيسية موزعة عشوائياً في غياب الحقل المغناطيسي الخارجي بحيث تكون محصلة هذه الخصائص المغناطيسية معدومة، ولكن إذا وجدت قطعة الحديد في الحقل المغناطيسيي خارجي توجّه ثانويات الأقطاب المغناطيسية داخل القطعة باتجاه الحقل المغناطيسيي الخارجي أي تكون أقطابها الشماليّة المغناطيسية باتجاه الحقل المغناطيسيي الخارجي، وتصبح محصلتها غير معدومة، لذا تصبح قطعة الحديد ممنظمة.

S



مغناطيس

N



المناطق المغناطيسية

## تعلمتُ

- مفهومُ الحقلِ المغناطيسي: نقولُ عن منطقةٍ من الفراغ أنه يسودُها حقلٌ مغناطيسيٌ عندما نضعُ في نقطةٍ منها إبرةً مغناطيسية، فتسوّجُه باتجاهٍ ومنحىً معينين.
- يكونُ الحقلُ المغناطيسيُ منتظمًا إذا كانت خطوطُ الحقلِ مستقيماتٍ متsequiras و في الجهة نفسها.
- خطُ الحقلِ المغناطيسيُ هو خطٌ وهميٌ يمثُّل نقطَةً من نقاطه شعاعُ الحقلِ المغناطيسيُ في تلك النقطة.
- شدةُ الحقلِ المغناطيسيٌ لتيارٍ مستقيمٍ طويلاً تُعطى بالعلاقة:
- $B = 2\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{r}$  شدةُ الحقلِ المغناطيسيٌ لتيارٍ دائريٍ دائرِيًّا تُعطى بالعلاقة:
- $B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{l}$  شدةُ الحقلِ المغناطيسيٌ لتيارٍ حلزونيٍ حلزونيًّا تُعطى بالعلاقة:
- التدفقُ المغناطيسيُ: هو الجداءُ السلميُ لشعاعِ الحقلِ المغناطيسيٌ في شعاعِ السطحِ.

$$\overline{\Phi} = \vec{B} \cdot \vec{S}$$

$$\overline{\Phi} = BS \cos \alpha$$

- حيث  $\alpha$ : هي الزاوية بين شعاعِ الحقلِ المغناطيسيٌ وشعاعِ الناظم على السطح.

### أختبر نفسك



أولاً: اختار الإجابة الصحيحة لكلٍ مما يأتي:

1. نمررُ تياراً كهربائياً متواصلاً في ملفٍ دائريٍ، فيتولّد عندَ مركزِه حقلٌ مغناطيسيٌ شدّته  $B$ ، نضعُ عددَ لفاته، ونجعلُ نصفَ قطرِ الملفِ الوسطيٍ نصفَ ما كانَ عليه فتصبحُ شدةُ الحقلِ المغناطيسيٌ عندَ مركزِه:

0.5B .d

4B .c

2B .b

$B$  .a

2. إنَ التدفقُ المغناطيسيُ الذي يجتاز دارةً مُستويةً في الخلاء يكونُ مساوياً نصفَ قيمته العظمى عندما:

$\alpha = \frac{\pi}{3}$  rad .d

$\alpha = \frac{\pi}{6}$  rad .c

$\alpha = \pi$  rad .b

$\alpha = \frac{\pi}{2}$  rad .a

3. إنَ شدةَ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيٌ في مركزِ وشيعةٍ يتاسبُ طرداً مع:

b. طولِ الوشيعة

a. مقاومة سلكِ الوشيعة

d. مساحة سطحِ مقطعِ الوشيعة

c. التوتر الكهربائي المطبق بين طرفَي الوشيعة

4. نمرّر تياراً كهربائياً متواصلاً في سلكٍ مستقيمٍ فيتوّلد حقلٌ مغناطيسيٌ شدّته  $B$  في نقطةٍ تبعد  $d$  عن محور السلك، وفي نقطةٍ ثانيةٍ تبعد  $2d$  عن محور السلك، وبعد أن نجعل شدة التيار ربع ما كانت عليه تصبح شدة الحقل المغناطيسي:

$$\frac{1}{8}B \cdot d$$

$$8B \cdot c$$

$$4B \cdot b$$

$$2B \cdot a$$

5. نمرّر تياراً كهربائياً متواصلاً في وشيعةٍ عدد طبقاتها طبقةٌ واحدةٌ في مركزها حقلٌ مغناطيسيٌ شدّته  $B$ ، نقسم الوشيعة إلى قسمين متساوين، فتصبح شدة الحقل المغناطيسي عند مركز كل قسم مع ثبات التوتر المطبق:

$$\frac{B}{4} \cdot d$$

$$\frac{B}{2} \cdot c$$

$$2B \cdot b$$

$$B \cdot a$$

ثانياً: أعطِ تفسيراً علمياً لكلٍ مما يلي:

1. تقارب خطوط الحقل المغناطيسي عند قطبي المغناطيس.

2. لا يمكن لخطوط الحقل المغناطيسي أنْ تتقاطع.

3. لا تولّد الأجسام المشحونة الساكنة أيَّ حقلٍ مغناطيسيٍ.

ثالثاً: ضع كلمة "صح" أمام العبارة الصحيحة، وكلمة "خطأ" أمام العبارة الخاطئة، ثم صحيّحها فيما يأتي:

1. لكل مغناطيسٍ قطبان مغناطيسيان مختلفان في شدّتها.

2. خطوط الحقل المغناطيسي لا تُرى بالعين المجردة.

3. تزداد شدة الحقل المغناطيسي لتيارٍ كهربائيٍ متواصل في سلكٍ مستقيمٍ كلما ابتعدنا عن السلك.

4. تنقص شدة الحقل المغناطيسي في مركزٍ وشيعةٍ لفاتها متلاصقة عدد طبقاتها طبقةٌ واحدةٌ إلى نصف شدّتها في حالة إنفاس طول الوشيعة إلى النصف معبقاء شدة التيار ثابتة.

رابعاً: أجب عما يأتي:

أضع إبرةً مغناطيسيةً محورها شاقوليًّا على طاولةً أفقيةً لتسقّر، أبين كيف يجب وضع سلكٍ مستقيمٍ أفقياً فوق البوصلة بحيث لا تنحرفُ الأبرةُ عند إمرارِ تيارٍ كهربائيٍ في السلك؟

خامساً: حل المسائل الآتية:

**المسألة الأولى:**

نضع في مستوى الزوال المغناطيسي الأرضي سلكين طويلين متوازيين بحيث يبعدُ متصفاًهما ( $c_1, c_2$ ) عن بعضهما البعض مسافةً  $d = 40\text{ cm}$ ، ونضع إبرةً بوصلةً صغيرةً في النقطة  $c$  منتصف المسافة ( $c_1, c_2$ ). نمرّر في السلك الأول تياراً كهربائياً شدّته  $I_1 = 3A$ ، وفي السلك الثاني تياراً كهربائياً شدّته  $I_2 = 1A$ ، وبجهة واحدةٍ.

**المطلوب:**

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

2. حساب الزاوية التي تنحرف فيها إبرةً بوصلةً عن منحاها الأصلي بفرض أنَّ قيمة المركبة الأفقية للحقل المغناطيسي الأرضي  $B_H = 2 \times 10^{-5} T$

3. حدد النقطة الواقعة بين السلكين التي تنعدم فيها شدة محصلة الحقلين.
4. هل يمكن أن تنعدم شدة محصلة الحقلين في نقطة قطع خارج المنطقة الواقعة بين السلكين؟ وضح أجابتك.

#### المسألة الثانية:

a. ملف دائري في مكبس صوت، عدد لفاته 400 لفة، ونصف قطره  $2\text{ cm}$ ، نطبق بين طرفيه فرقاً في الكمون  $U = 10V$ ، فإذا علمت أن مقاومته  $20\Omega$ ، احسب شدة الحقل المغناطيسي المتولد عند مركز الملف.

b. قطع التيار السابق عن الملف، احسب التغير الحاصل في قيمة التدفق المغناطيسي الذي يختار الملف ذاته (باهمال تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي).

#### المسألة الثالثة:

نضع سلكين شاقولييين متوازيين بحيث يبعد متصفاهما  $M_2, M_1$  أحدهما عن الآخر  $4\text{ cm}$  نمرر في السلك الأول تياراً كهربائياً شدته  $I_1$  ونمرر في السلك الثاني تياراً كهربائياً شدته  $I_2$  وباتجاهين متراكبين، فتكون شدة الحقل المغناطيسي المحصل لحقلتي التيارين  $T \times 10^{-7}\text{ T}$  عند النقطة  $M$  متصف المسافة بين  $M_2, M_1$  وعندما يكون التياران بجهة واحدة تكون شدة الحقل المغناطيسي المحصل عند  $M$  هي  $2 \times 10^{-7}\text{ T}$  فإذا كان  $I_2 > I_1$  احسب كلاً من  $I_2, I_1$ .

#### المسألة الرابعة:

نضع ملفين دائريين لهما المركز ذاته في مستوى شاقولي واحد، عدد لفات كلّ منها 200 لفة، نصف قطر الأول  $10\text{ cm}$ ، والثاني نصف قطره  $4\text{ cm}$ ، نمرر في الملف الأول تياراً كهربائياً شدته  $8\text{ A}$  بعكس جهة دوران عقارب الساعة؟، المطلوب: حدد جهة التيار الواجب إمراهه في الملف الثاني وشدة؛ لتكون شدة الحقل المغناطيسي المحصل عند المركز المشترك للملفين:

1.  $5 \times 10^{-2}\text{ T}$  أمام مستوى الرسم

2.  $3 \times 10^{-2}\text{ T}$  خلف مستوى الرسم،

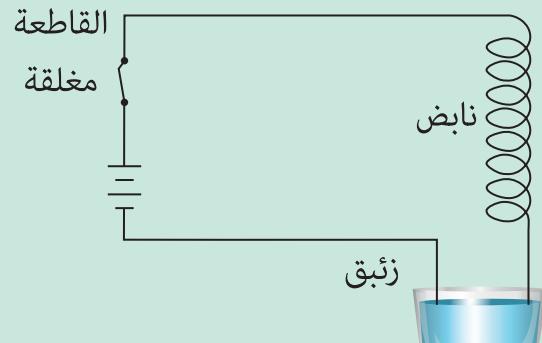
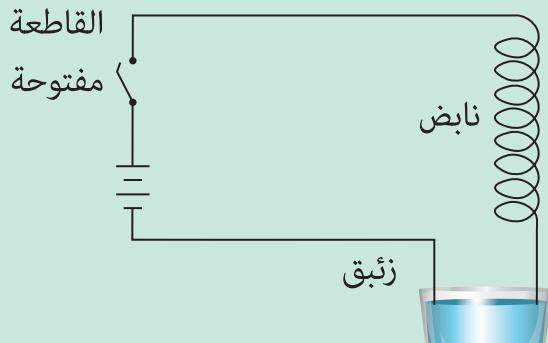
3. معدومة.

#### المسألة الخامسة:

ملف دائري نصف قطره الوسطي  $5\text{ cm}$  يولّد عند مركزه حقلًا مغناطيسيًا، قيمته تساوي قيمة الحقل المغناطيسي الذي تولّده وشيعة عند مركزها عندما يمرّ بهما التيار نفسه، فإذا علمت أن عدد لفات الوشيعة 100 لفة وطولها  $20\text{ cm}$ ، احسب عدد لفات الملف الدائري.



نابض معدنيٌّ مرنٌّ مهمَّلُ الكتلةِ حلقاته مُتباعدة، يُعلقُ من إحدى طرفيه ويُتركُ ليتدلى شاقولياً، نمرُّ فيه تياراً كهربائياً شدّته كبيرةً نسبياً. أتقاربُ حلقات النابض، أم تبعادُ عن بعضها بعضاً؟ مُعللاً أحاجيتك.



### أبحث أكثر



يتم تخزين المعلومات وأوامر البرمجة من أجهزة الحاسوب رقمياً في صورة وحداتٍ صغيرةٍ وكلٌّ وحدةٍ حددت برقمٍ صفرٍ أو واحد. أبحث في طريقة تخزين هذه الوحدات على سطح قرص التخزين cd أو DVD.

# 2

## فعل الحقل المغناطيسي في التيار الكهربائي



يعد الرنين المغناطيسي من أحدث تقنيات التصوير الطبي، وتستخدم فيه حقولٌ مغناطيسية في تصوير الأنسجة الداخلية للجسم بصورةٍ مفصلة.

### الأهداف:

- \* يتعرفُ القوة المؤثرة على شحنة كهربائية متحركة في منطقة يسودها حقلٌ مغناطيسيٌّ.
- \* يحددُ عناصر القوة المغناطيسية المؤثرة في شحنة كهربائية متحركة.
- \* يشرحُ بتجربةِ تأثيرِ الحقلِ المغناطيسيِّ في التيارِ الكهربائيِّ.
- \* يستتّجِعُ العبارة الشعاعية للفوَّة الكهروطيسية.
- \* يحددُ عناصر القوة الكهروطيسية.
- \* يستتّجِعُ علاقةِ عملِ القوَّة الكهروطيسية.
- \* يتعرّفُ بتطبيقاتِ القوَّة الكهروطيسية في حياته اليومية.
- \* يتعرّفُ بجهازِ منتقمِ السُّرعات.

### الكلمات المفتاحية:

- \* نظرية مكسوبل
- \* مقياس غلفاني
- \* دولاب بارلو

## القوّة المغناطيسية:

أَجْرَبْ وَأَسْتَنْجَ:

المُوادِ الْلَّازِمَةُ: دَارَةٌ أَنْبُوبٌ تُولِيدُ الْأَشْعَةِ الْمَهْبِطِيَّةِ – مَغَناطِيسٌ مُسْتَقِيمٌ.

خُطُواتُ التَّجْرِيْبِ:

شكل 1



شكل 2



النَّاتِجُ:

- يؤثّرُ الْحَقْلُ الْمَغَناطِيسِيُّ فِي الْجُسُمِيَّاتِ الْمَشْحُونَةِ الْمُتَحْرِكَةِ ضَمِّنَ الْمَنْطَقَةِ الَّتِي يَسُودُهَا الْحَقْلُ بِقُوَّةً مَغَناطِيسِيَّةً، حِيثُ تُغَيِّرُ هَذِهِ الْقُوَّةُ مِنْ مَسَارِ حَرْكَةِ هَذِهِ الْجُسُمِيَّاتِ.
- تُغَيِّرُ جَهَةُ انْحِرَافِ مَسَارِ الْجُسُمِيَّاتِ الْمَشْحُونَةِ بِتَغْيِيرِ جَهَةِ الْحَقْلِ الْمَغَناطِيسِيِّ الْمُؤَثِّرِ.

## العوامل المؤثرة في شدة القوة المغناطيسية

أَثَبَتَتِ التَّجَارِبُ أَنَّ شَدَّةَ الْقُوَّةِ تَنْتَسِبُ طَرَداً مَعَ:

- مَقْدَارِ الشُّحْنَةِ الْمُتَحْرِكَةِ  $q$ .
- شَدَّةِ الْحَقْلِ الْمَغَناطِيسِيِّ الْمُؤَثِّرِ  $B$
- سُرْعَةِ الشُّحْنَةِ  $v$
- $\sin \theta$  حيث  $\theta$  هي الزاوية بين شعاع سرعة الشحنة، وشعاع الحقل المغناطيسي ( $\vec{v}, \vec{B}$ ) بناءً على ما تقدّم يمكن أن نكتب:

$$F = qvB \sin \theta$$

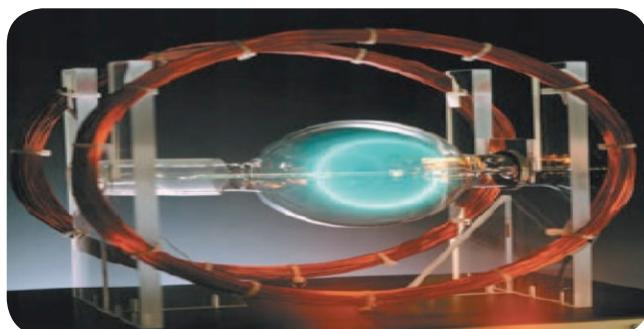
وَتَكُونُ الْعَبَارَةُ الشُّعاعِيَّةُ لِلْقُوَّةِ الْمَغَناطِيسِيَّةِ:

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

## عناصر شعاع القوة المغناطيسية:

1. نقطة التأثير: الشحنة المتحركة.
  2. الحامل: عمودي على المستوى المحدد بشعاع السرعة وشعاع الحقل المغناطيسي.
  3. الجهة: تحدد بقاعدة اليد اليمنى وفق الآتي:
    - نجعل الساعد يوازي شعاع سرعة الشحنة المتحركة.
    - الأصابع يعكس جهة شعاع السرعة للشحنات السالبة، وبجهة شعاع السرعة للشحنات الموجبة.
    - يخرج شعاع الحقل المغناطيسي من راحة الكف.
    - يشير الإبهام إلى جهة القوة المغناطيسية.
4. الشدة:  $F = qvB \sin \theta$

دراسة حركة جسيم مشحون (اللتوه) في حقل مغناطيسي منتظم:



### تجربة ملفي هلمهولتز:

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

### النتائج:

- يتولد حقل مغناطيسي منتظم بين ملفين دائريين متوازيين يمر فيهما التيار ذاته.
- يؤثر الحقل المغناطيسي المنتظم في الحزمة الإلكترونية بقوة مغناطيسية، تكون دائماً عمودية على شعاع سرعتها، أي أنها تكتسب تسارعاً ثابتاً يعتمد على سرعة الحركة وبالتالي تكون حركتها دائيرية منتظمة، حيث  $\vec{B} \perp \vec{v}$  (لأنها خضعت لتسارع جاذب مركري) أي يحدث تغيير في حامل وجهة شعاع السرعة لا في قيمتها.

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

يخضع الإلكترون لتأثير القوة المغناطيسية فقط بإهمال قوة ثقله:

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

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

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

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

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

$$F = F_c$$

$$ev B = m_e a_c$$

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

$$r = \frac{m_e v}{eB}$$

حيث  $m_e$  كتلة الإلكترون، و  $v$  سرعة الإلكترون، و  $e$  القيمة المطلقة لشحنة الإلكترون. و  $B$  شدّة شعاع الحقل المغناطيسي. ويكون دور حركة الإلكترون

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

$$T = \frac{2\pi m_e}{eB}$$

## القوّة الكهرومغناطيسية:



تجربة

خطوات التجربة:

1. أركب دارة تجربة السلك الموضحة بالشكل.
- 2.أغلق الدارة وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول، وجهاً للانحراف.
3. أعكس جهة التيار، وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول، وجهاً للانحراف.
4. أعكس جهة الحقل المغناطيسي، وألاحظ زاوية انحراف السلك عن الشاقول، وجهاً للانحراف.
5. أزيد شدة التيار، وألاحظ زاوية الانحراف.
6. أزيد شدة الحقل المغناطيسي، وألاحظ زاوية الانحراف.

النتائج:

- يؤثّر الحقل المغناطيسي في السلك الناقل بقوّة ثابتة تُسمى القوّة الكهرومغناطيسية.
- تعلّق جهة القوّة الكهرومغناطيسية بجهة التيار، وجهاً شعاع الحقل المغناطيسي المؤثّرة.

- تزداد شدة القوة الكهرومغناطيسية بزيادة كل من: شدة التيار المار بالسلك، وشدة الحقل المغناطيسي المؤثرة، وطول الجزء من الناقل المستقيم الخاضع للحقل المغناطيسي، وتعلق بـ  $\sin \theta$  حيث  $\theta$  الزاوية الكائنة بين الناقل المستقيم، وشعاع الحقل المغناطيسي المؤثر.

### استنتاج عبارة القوة الكهرومغناطيسية

إن الحقل المغناطيسي يؤثر في السلك الذي يمر فيه تيار كهربائي بقوة كهرومغناطيسية تساوي مُحصلة القوى المغناطيسية المؤثرة في الشحنات المتحرّكة داخل السلك (الإلكترونات الحرة).

بفرض أن طول السلك  $L$ ، ومساحة مقطعه  $s$ ، والكثافة الحجمية للإلكترونات الحرة فيه  $n$ ، يكون عدد الإلكترونات الحرة  $N = nsL$ .

وعند تطبيق فرق كمون بين طرفين في السلك فإن الإلكترونات الحرة تحرّك بسرعة ثابتة  $v$ ، وتخضع هذه الإلكترونات إلى تأثير القوة المغناطيسية، فتكون القوة الكهرومغناطيسية متساوية جدًا عدد الإلكترونات في القوة المغناطيسية، أي:

$$F = NevB \sin \theta$$

لأن:  $v = \frac{L}{\Delta t}$

$$F = \frac{Ne}{\Delta t} (LB \sin \theta)$$

ولدينا:  $q = Ne$

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

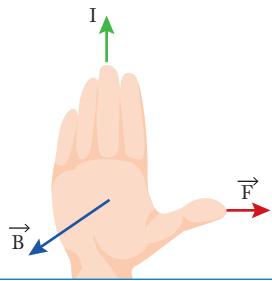
ولكن:  $I = \frac{q}{\Delta t}$   
وبالتالي:

$$F = ILB \sin \theta$$

حيث  $\theta$  هي الزاوية المحصورة بين  $\vec{B}$  و  $\vec{IL}$  ويسمى الشعاع  $\vec{IL}$  بشعاع التيار، الذي حامله السلك، وجهته بجهة التيار. وهي العلاقة المعتبرة عن شدة القوة الكهرومغناطيسية.  
وتنكتب العبارة الشعاعية للقوة الكهرومغناطيسية بالشكل

$$\vec{F} = \vec{IL} \wedge \vec{B}$$

## عناصر شعاع القوة الكهرومغناطيسية:

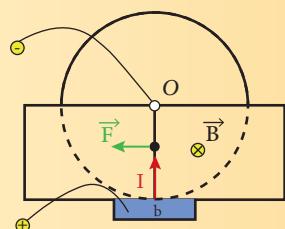


1. نقطة التأثير: مُنتصف الجزء من الناقل المستقيم الخاضع للحقل المغناطيسي المُنْظَم.
2. الحامل: عمودي على المستوى المُحدَّد بالناقل المستقيم وشعاع الحقل المغناطيسي.
3. الجهة: تحقق الأشعة ( $I\vec{L}$ ,  $\vec{B}$ ,  $\vec{F}$ ) ثلاثة مُباشِرةً وفق قاعدة اليد اليمنى: نجعل اليد اليمنى مُنبسطةً على الناقل بحيث يدخل التيار من الساعد، ويخرج من رؤوس الأصابع، ويخرج شعاع الحقل  $\vec{B}$ ، من راحة الكف، فيشير الإبهام إلى جهة القوة الكهرومغناطيسية  $\vec{F}$ .
4. الشدة: تُعطى بالعلاقة  $F = ILB \sin \theta$

## تجربة دولاب بارلو:

تجربة

### خطوات التجربة:



1. أركب دارة دولاب بارلو المبينة بالشكل المجاور، حيث يخضع نصف الدولاب السفلي لحقل مغناطيسي مُنْظَم.
2. أغلق الدارة، وألاحظ جهة دوران الدولاب.
3. أعكس جهة التيار، وألاحظ جهة دوران الدولاب.
4. أعكس جهة الحقل المغناطيسي، وألاحظ جهة الدوران.
5. أزيد شدة التيار، وألاحظ سرعة دوران الدولاب.
6. أزيد شدة الحقل المغناطيسي، وألاحظ سرعة دوران الدولاب.
7. أحدد عناصر القوة التي سببت دوران الدولاب.

## أستننچ



- عند إغلاق دارة الدّولاب فإنه يدور بتأثير عزم القوّة الكهرومغناطيسية.
- عندما تعكس جهة التيار أو جهة الحقل المغناطيسي فإن جهة الدوران تعكس أيضاً.
- عناصر القوّة الكهرومغناطيسية التي يخضع لها الدّولاب :

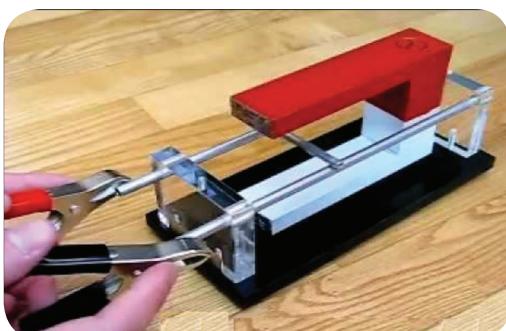
$$\vec{F} = I\vec{r} \wedge \vec{B}$$

- نقطة التأثير:** مُتصف نصف قطر الشاقولي السفلي الخاضع للحقل المغناطيسي المنتظم.
- العامل:** عمودي على المستوى المحدد بنصف قطر الشاقولي السفلي وشعاع الحقل المغناطيسي المنتظم.
- الجهة:** تحقق الأشعة  $\vec{F}, \vec{B}, \vec{r}, I$ . ثالثية مُباشرة وفق قاعدة اليد اليمنى:
  - نجعل اليد اليمنى مُنسطة على نصف قطر الشاقولي السفلي.
  - يدخل التيار من الساعد، ويخرج من رأس الأصابع.
  - يخرج شعاع الحقل المغناطيسي  $\vec{B}$  من راحة الكف.
  - يشير الإبهام إلى جهة القوّة الكهرومغناطيسية  $\vec{F}$
- الشدّة:** تُعطى بالعلاقة :  $F = IrB$

حيث :  $\theta = (I\vec{r}, \vec{B}) = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$   
 $\sin \theta = 1$

## عمل القوّة الكهرومغناطيسية (نظرية ملسويل) :

تجربة السكين الكهرومغناطيسية  
خطوات التجربة :



- أركب الدارة المبينة بالشكل.
- أغلق الدارة، وألاحظ ماذا يحدث للساقي.
- أفسر سبب تدرج الساق.
- أحدّد نوع العمل الذي تنجذبه القوّة الكهرومغناطيسية.

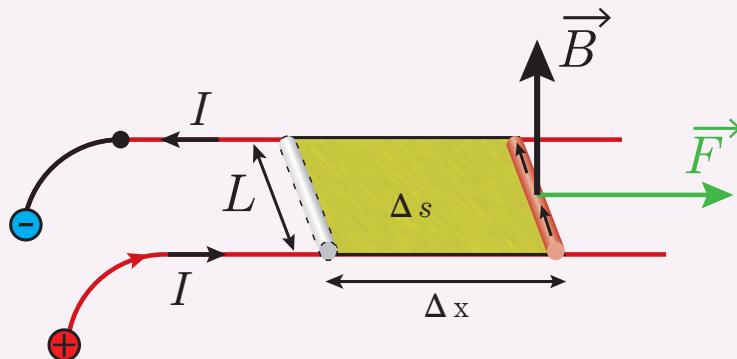


- تنتقل الدارسة الأفقية موازية لنفسها مسافة  $\Delta x$ ، فتمسح سطحاً  $\Delta s = L\Delta x$ ، حيث تنتقل نقطة تأثير القوة الكهرومغناطيسية على حاملها وبجهتها مسافة  $\Delta x$ ، فتتجزء عملاً محرّكاً (موجباً)  $W > 0$ .

$$W = F\Delta x$$

$$W = IBL\Delta x$$

$$W = IB\Delta s$$



- لكن  $0 < \Delta\Phi = B\Delta s < B\Delta s > 0$  يمثل تزايد التدفق المغناطيسي نعوض فنجذب

$$W = I\Delta\Phi > 0$$

### نص نظرية مكسوبل:

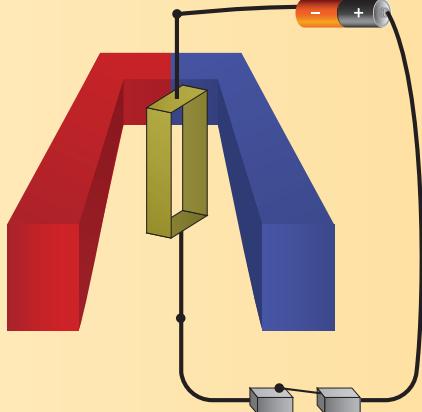
عندما تنتقل دارة كهربائية أو جزء من دارة كهربائية في منطقة يسودها حقل مغناطيسي، فإنَّ عملَ القوة الكهرومغناطيسية المُسْبِبة لذلك الانتقال يساوي جداء شدة التيار المار في الدارة في تزايد التدفق المغناطيسي الذي يختارها.

**تألّيُّ الحقل المغناطيسي على إطارٍ مستطيلٍ يمْهُ فيه تيارٌ كهربائيٌّ.**

**أُجْرِبْ وَأُسْتَنْجِ:**

**المواد الازمة: دارة الإطار المستطيل**

**خطوات التجربة:**



1. أرْكِبْ الدَّارَةَ المُبَيَّنَةَ بِالشَّكْلِ الْمُجَاوِرِ حِيثُ خَطْوَاتُ الْحَقْلِ الْمَغَناطِيسِيِّ تَوَازِي مُسْتَوِيِّ الإِطَارِ.

2. أَمْرُرْ تِيَارًا مُتَوَاصِلًا شَدْتُهُ مُنَاسِبَةً فِي الإِطَارِ، مَاذَا أَلَاحِظُ؟

3. أَسْتَبَدِلُ بِسَلْكِ التَّعْلِيقِ سَلْكًا قَابِلًا لِلفَتْلِ، ثَابِثُ فَتْلِهِ  $k$ ، مَاذَا أَلَاحِظُ؟

**النتيجة:**

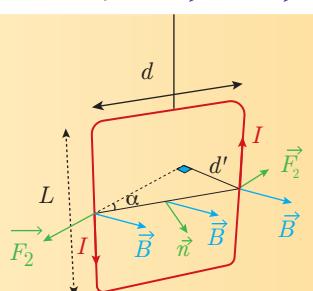
عند إمرار التيار الكهربائي في الإطار المعلق بسلك عديم الفتل يدور ويستقر عندما تصبح خطوط الحقل المغناطيسي عمودية على مستوى الإطار (تدفق أعظمي).

**أَفْسَرُ سَبَبُ دورانِ الإِطَارِ:**

يؤثّرُ الحقل المغناطيسي المنتظم في الإطار بمذوجة كهرومغناطيسية تنشأ عن القوتين الكهرومغناطيسيتين المؤثّرتين في الصّلعين الشاقوليتيين، وتعمل على تدوير الإطار حول محور دورانه من وضعه الأصلي حيث التدفق المغناطيسي معدوم إلى وضع توازنه المستقر حيث يكون التدفق المغناطيسي الذي يختاره أعظمياً.

وبهذا نصل لما يسمى قاعدة التدفق الأعظمي والتي تنص على ما يأتي:  
إذا أثّرَ حقل مغناطيسي في دارة كهربائية مغلقة حرّة الحركة، تحرّكَت بحيث يزداد التدفق المغناطيسي الذي يختارها من وجهاً الجنوبي وتستقر في وضع يكون التدفق المغناطيسي أعظمياً.

**استنتاج عزم المذوجة الكهرومغناطيسية المؤثرة في إطار طول ضلعه الأفقي  $L$  ، والشاقولي  $d$**



$$\Gamma_{\Delta} = d'F$$

$d'$  : طول ذراع المذوجة الكهرومغناطيسية

$$d' = d \sin \alpha$$

$\alpha$  : الزاوية الكائنة بين شعاع الحقل المغناطيسي  $\vec{B}$  والنظام  $\vec{n}$   
على سطح الإطار

إن شدة القوة الكهرومغناطيسية من أجل  $N$  لفة معزولة ومتماثلة.

$$F = NILB \sin \frac{\pi}{2}$$

نوعٌ فنجُدُ  $\Gamma_\Delta = NILBd \sin \alpha$   
لـ  $s = Ld$  مساحة سطح الإطار.

$$\Gamma_\Delta = NIsB \sin \alpha$$

وهي عبارة عن المُزدوجة الكهرطيسية  
**ملاحظة:** يُسمى الجداء  $NIs$  بالعزم المغناطيسيي  $M$ .

$$\vec{M} = N\vec{s}$$

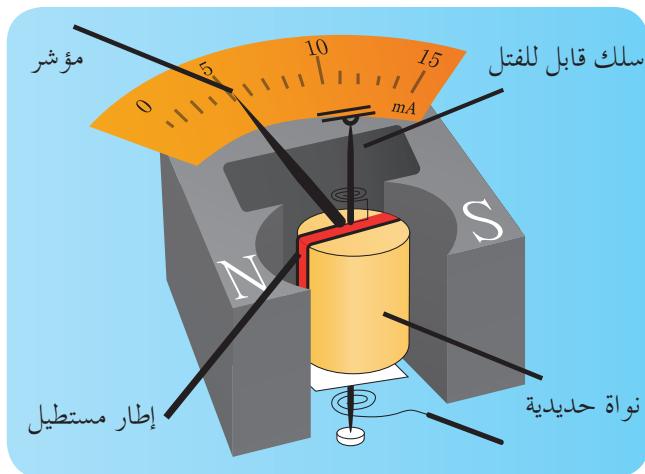
وبذلك يمكننا أن نكتب علاقة عزم المُزدوجة الكهرطيسيةشعاعياً بالشكل:

$$\vec{\Gamma}_\Delta = \vec{M} \wedge \vec{B}$$

$\vec{M}$  شعاع العزم المغناطيسيي ناظمي على مستوى الإطار، وجهته بجهة إبهام يدي يمنى تلتقي أصابعها بجهة التيار (أي يخرج شعاع العزم المغناطيسيي من الوجه الشمالي للدارة).

## المقياس الغلفاني ذو الإطار المُتحرك.

هو جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربائية صغيرة الشدة، وقياسها.  
**ممّ يتكون المقياس الغلفاني؟**



يتَّأْلِفُ من مَلْفٍ على شكل إطار مُسْتَطِيل يحتوي  $N$  لفة معزولة متماثلة، يتصل أحده طرفيه بسلك قابل للفتل، أمّا الطرف الآخر من سلك الملف فيَّتَصلُ بسلك آخر شاقوليّ ليَّنِ عديم الفتل، ويمكن لإطار أن يدور حول محوره الشاقولي المار بمر كره بين قطبين مغناطيسيين نصفيين محيطاً بنواة أسطوانية من الحديد اللّين، بحيث يكون مستوى الإطار يوازي الخطوط الأفقية للحقل المغناطيسيي للمغناطيسي قبل إمداده.

### مبدأ عمله

عندما يمر تيار كهربائي في الإطار فإنه يدور بزاوية صغيرة  $\theta'$  فيشير مؤشر المقياس إلى قراءة معيّنة عندما يتوازن الإطار دالاً على قيمة شدة التيار المار.

### استنتاج العلاقة بين زاوية دوران الإطار $\theta'$ والتيار المار فيه $I$

عند إمداد التيار الكهربائي المُراد قياس شدته  $I$  في إطار المقياس، فإن الحقل المغناطيسيي المُ المنتظم يؤثّر في الإطار بمُزدوّجة كهرطيسية تسبّب دوران الإطار حول محوره دورانه، فينشأ في سلك الفتل مُزدوّجة فتل تُمانع استمرار الدوران، ويتوافق الإطار بعد أن يدور بزاوية صغيرة  $\theta'$  عندما يتحقق شرط التوازن الدوراني:

$$\begin{aligned}\sum \bar{\Gamma}_\Delta &= 0 \\ \bar{\Gamma}_\Delta + \bar{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} &= 0 \\ NIsB \sin \alpha - k\theta' &= 0 \\ \alpha + \theta' &= \frac{\pi}{2} \text{ rad} \\ \sin \alpha &= \cos \theta'\end{aligned}$$

$$NIsB \cos \theta' - k\theta' = 0$$

وباعتبار  $\theta'$  زاوية صغيرة فإن:  $1 \approx \cos \theta'$  وبالتالي تصبح العلاقة كما يأتي:

$$\begin{aligned}NIsB - k\theta' &= 0 \\ \theta' &= \frac{NIsB}{k} I \\ \theta' &= GI\end{aligned}$$

حيث  $G$  ثابت المقياس الغلفاني يعبر عن حساسية المقياس الغلفاني، حيث تزداد حساسية المقياس الغلفاني كلما زادت  $G$ ، ويتم ذلك عملياً باستبدال سلك الفتل بسلك أرفع منه من المادة نفسها (لتغيير ثابت الفتل  $k$ ).

## جهاز المقياس متعدد الأغراض (آفومتر)

يُستخدم هذا الجهاز لاستخدامات عدّة مثل قياس:

1. التوتّر المستمر  $DC$
2. التوتّر المتناوب  $AC$
3. شدة التيار المستمر والمتناوب.
4. المقاومات

## إثراء:

جهاز آفو متر له نوعان:

- المقاييس التماضية: تبيّن القيمة المراد قياسها عن طريق إبرة مؤشر (شكل 1)، حيث يجب وصل أطراف المقياس بشكلٍ صحيح، فالطرف الأحمر (+) والطرف الأسود (-).
- المقاييس الرقمية: تبيّن القيمة المراد قياسها عن طريق شاشةٌ تُظهر القيمة على شكل أرقامٍ محددةٍ (شكل 2). لذلك هي أدق من المقاييس التماضية، حيث لا يُشكّل وضع طرف المقياس بشكلٍ صحيحٍ مهمّة حيث يظهر الرقم بإشارةٍ سالبةٍ إذا تم عكس طرف المقياس.



(شكل 2)



(شكل 1)

## تعلّمت

- إن الجسيمات المشحونة المتحرّكة في حقلٍ مغناطيسيٍ تخضع لقوىٍ مغناطيسيةٍ، تغيّر من مسار حركة هذه الجسيمات؛ أي تحدّث تغيّراً في حاملٍ شعاعٍ سرعاً عنها.
- عناصرٌ شعاعٌ القوى المغناطيسية:
  - 1. نقطةُ التأثير: الشحنة المتحرّكة.
  - 2. الحامل: عموديٌّ على المستوى المحدّد بشعاع السرعة وشعاع الحقل المغناطيسي.
  - 3. الجهة: تحققُ الأشعة ( $\vec{F}, qv, \vec{B}$ ) ثلاثةً مباشرةً وفق قاعدة اليد اليمنى: نجعل اليد اليمنى مُبسطةً على الناقل بحيث يدخلُ التيارُ من الساعد ويخرجُ من رؤوس الأصابع، ويخرج شعاعُ الحقل  $\vec{B}$  من راحةِ الكف، فيشير الإبهام إلى جهةِ القوى المغناطيسية  $\vec{F}$ .
- الشّدّة:  $F = qvB \sin \theta$

- عندما تخضع الحزمة الإلكترونية لحقلٍ مغناطيسيٍ منتظمٍ متولّد بين ملفين دائريين متوازيين ومارً بهما نفس التيار، فإنّها تتأثّر بقوىٍ مغناطيسيةٍ تكون دائمًا عموديًّا على شعاع سرعاً عنها، أي أنها تتكتّب تسارعاً ثابتاً يعادل شعاع السرعة، وبالتالي تكون حركتها دائريّةً منتظمةً ( لأنّها خضعت لتسارع جاذبٍ مرکزيٍّ) أي يحدث تغييرٌ في حامل وجهاه شعاع السرعة لا في قيمتها.

### عناصر شعاع القوة الكهرومغناطيسية:

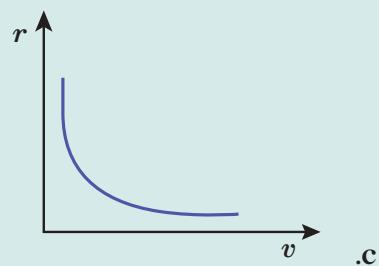
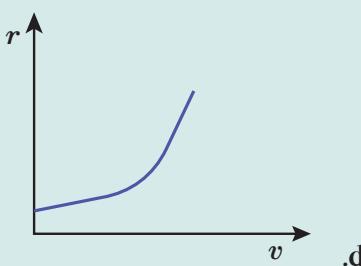
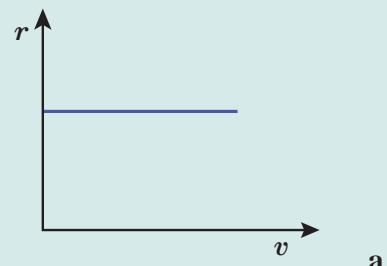
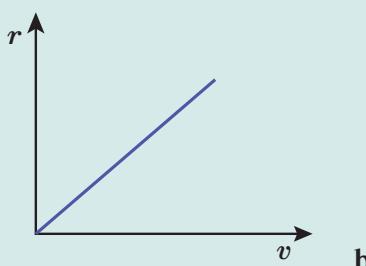
1. نقطة التأثير: منتصف الجزء من الناقل المستقيم الخالص للحقل المغناطيسي المنتظم.
  2. الحامل: عمودي على المستوى المحدد بالناقل المستقيم وشعاع الحقل المغناطيسي.
  3. الجهة: تحقق الأشعة ( $\vec{F}, \vec{IL}, \vec{B}$ ) ثلاثة مُباشرة وفق قاعدة اليد اليمنى: نجعل اليد اليمنى مُبسطة على الناقل. يدخل التيار من السايم، ويخرج من رؤوس الأصابع. يخرج شعاع الحقل المغناطيسي  $\vec{B}$  من راحة الكف. يشير الإبهام إلى جهة القوة الكهرومغناطيسية  $\vec{F}$ .
  4. الشدة: تعطى بالعلاقة:  $F = ILB \sin \theta$
- نص نظرية مكسوبل: عندما تنتقل دارة كهربائية - أو جزء من دارة كهربائية - في منطقة يسودها حقل مغناطيسي، فإن عمل القوة الكهرومغناطيسية المسببة لذلك الانتقال يساوي جداء شدة التيار المار في الدارة في تزايد التدفق.
- عزم المذروجة الكهرومغناطيسية المؤثرة في ملف يعطى بالعلاقة:  $\Gamma = ISB \sin \alpha$  و إذا احتوى الملف على  $N$  لفة يعطى بالعلاقة  $\Gamma = NISB \sin \alpha$
- المقياس الغلفاني ذو الإطار المتحرّك: هو جهاز يستخدم للاستدلال على وجود تيار كهربائي صغير جداً، وقياس شدّاتها.

### أختبر نفسك



أولاً: اختار الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. جسيمات مشحونة لها الكتلة نفسها والشحنة نفسها، أدخلت في منطقة يسودها حقل مغناطيسي منتظم بسرعة تعادل خطوط الحقل. فإن الشكل الذي يمثل العلاقة بين نصف قطر المسار الدائري  $r$  وسرعة الجسيمات المشحونة  $v$ :



2. إنَّ واحِدَةَ قِيَاسِ النِّسْبَةِ بَيْنَ شَدَّةِ الْحَقْلِ الْكَهْرَبَائِيِّ وَالْحَقْلِ الْمَغَناطِيسِيِّ  $\frac{E}{B}$  هِي :

$$s \cdot d \quad m \cdot c \quad m \cdot s^{-2} \cdot b \quad m \cdot s^{-1} \cdot a$$

3. عِنْدَمَا يَدْخُلُ الْإِلْكْتْرُونُ فِي مَنْطَقَةٍ يَسُودُهَا حَقْلٌ مَغَناطِيسِيٌّ مُنْتَظَمٌ بِسَرْعَةٍ  $v$ ، تَعَامِدُ خَطَوَاتُ الْحَقْلِ الْمَغَناطِيسِيِّ (بِإِهْمَالِ ثَقْلِ الْإِلْكْتْرُون) فَإِنَّ حَرْكَةَ الْإِلْكْتْرُونِ دَاخِلَ الْحَقْلِ هِي :

a. دَائِرِيَّةٌ مُتَغَيِّرَةٌ      b. دَائِرِيَّةٌ مُنْتَظَمَةٌ      c. مُسْتَقِيمَةٌ مُنْتَظَمَةٌ      d. مُسْتَقِيمَةٌ مُتَغَيِّرَةٌ  
بِانْتِظام

4. عِنْدَمَا يَدْخُلُ جَسْمٌ مَشْحُونٌ فِي مَنْطَقَةٍ يَسُودُهَا حَقْلٌ مَغَناطِيسِيٌّ مُنْتَظَمٌ، فَإِنَّ شُعاعًا سَرْعَتُه  $v$  الْمَعَامِدُ لِلْحَقْلِ الْمَغَناطِيسِيِّ الْمُنْتَظَمِ :

a. يَتَغَيِّرُ حَامِلُهُ وَشَدَّدُهُ ثَابِتَةً.      b. يَتَغَيِّرُ حَامِلُهُ فَقَطَّ.      c. تَغَيِّرُ شَدَّدُهُ فَقَطَّ.      d. تَبْقَى شَدَّدُهُ ثَابِتَةً.

5. عِنْدَمَا تَدْهِرُجُ السَّاقِ فِي تَجْرِيَةِ السَّكِّيْنِ الْكَهْرَبَيْسِيَّةِ تَأْثِيرُ القُوَّةِ الْكَهْرَبَيْسِيَّةِ، فَإِنَّ التَّدْفُقَ الْمَغَناطِيسِيِّ :

a. يَبْقَى ثَابِتًا.      b. يَزِدَادُ.      c. يَتَنَاقصُ.      d. يَنْدَعُمُ.

ثَانِيًّاً: أَجْبُ عنَ الْأَسْئَلَةِ الْأَتِيَّةِ

1. ادْرِسِ التَّأْثِيرِ الْمُتَبَادِلِ بَيْنَ سَلَكَيْنِ نَحَاسِيْنِ شَاقُولَيْنِ يَمْرُّ بِهِمَا تَيَارًا مُنْتَوَاصِلَانِ لِهُمَا الْجَهَةُ نَفْسُهَا، وَاسْتَنْتَجْ عَبَارَةُ الْقُوَّةِ الْكَهْرَبَيْسِيَّةِ الْمُؤْثِرَةِ فِي أَحَدِ السَّلَكَيْنِ نَتِيَّجَةً وَجُودِ السَّلَكِ الْآخِرِ.
2. اسْتَنْتَجْ عَبَارَةُ شَدَّةِ الْحَقْلِ الْمَغَناطِيسِيِّ الْمُؤْثِرَةِ فِي شَحْنَةِ كَهْرَبَائِيَّةٍ تَحْرَكُ فِي حَقْلٍ مَغَناطِيسِيٍّ مُنْتَظَمٍ بِسَرْعَةٍ  $v$  تَعَامِدُ شُعاعُ الْحَقْلِ الْمَغَناطِيسِيِّ ثُمَّ عَرَفَ التَّسْلَا.
3. بِيَّنْ كِيفَ يَتَمُّ قِيَاسُ شَدَّةِ التَّيَارِ فِي الْمَقِيَاسِ الْغَلْفَانِيِّ، ثُمَّ اسْتَنْتَجْ الْعَلَاقَةُ بَيْنَ شَدَّةِ التَّيَارِ I وَزاوِيَّةِ دَوْرَانِ الإِطَّارِ ( $\theta'$ )، وَكِيفَ تَتَمُّ زِيَادَةُ حَسَاسِيَّةِ الْمَقِيَاسِ الْغَلْفَانِيِّ عَمَلِيًّا مِنْ أَجْلِ التَّيَارِ نَفِيْسِهِ.

**ثالثاً: حل المسائل الآتية:**  
**المسألة الأولى:**

في تجربة السكّتين الكهروطيسية، تستند ساقٌ نحاسية كتلتها  $16g$  إلى سكّتين أفقين متّبعين حيث يؤثّر على  $4\text{ cm}$  من الجزء المتوسط منها حقلٌ مغناطيسيٌّ منتظمٌ شاقوليٌّ شدّته  $T = 0.1$  ويمُرُ بها تيارٌ شدّته  $A = 40\text{ A}$ ، المطلوب:

1. حدد بالكتابه والرسم عناصر شعاع القوة الكهروطيسية، ثم احسب شدّتها.
2. احسب قيمة العمل الذي تنجزه القوة الكهروطيسية عندما تنتقل الساق مسافة  $15\text{ cm}$ .
3. احسب قيمة الزاوية التي يجب إمالة السكّتين بها عن الأفق حتى تتواءز الساق والدائرة مغلقة (بإهمال قوى الاحتكاك).

**المسألة الثانية:**

نعلق سلكاً نحاسياً ثخيناً طوله  $60\text{ cm}$  وكتلته  $50g$  من طرفه العلوي شاقوليًّا، ونغمس طرفه السفلي في حوض يحتوي الزئبق. ثم نمرّر تياراً كهربائياً متواصلاً شدّته  $10A$  فينحرف السلك عن الشاقول زاوية  $\alpha$  ثابتة ثم يتوازن، حيث يؤثّر حقلٌ مغناطيسيٌّ منتظمٌ أفقىٌ شدّته  $T = 3 \times 10^{-2}\text{ N}$  على قطعة منه، طولها  $4\text{ cm}$  يبعد مُنتصفها عن نقطة التعليق  $50\text{ cm}$ .  
استنتج العلاقة المحددة لزاوية انحراف السلك عن الشاقول  $\alpha$  بدلالة أحد نسبها المثلثية، ثم احسبها.

**المسألة الثالثة:**

إطارٌ مستطيل الشكل يحتوي  $100$  لفٍ من سلكٍ نحاسيٍ معزولٍ مساحته  $4\pi\text{ cm}^2$ .  
a. نعلق الإطار بسلكٍ عديم الفتل شاقوليًّا، ونخضعه لحقلٌ مغناطيسيٌّ منتظمٌ أفقىٌ شدّته  $T = 4 \times 10^{-2}\text{ N}$ ، خطوطه تُوازي مستوى الإطار الشاقولي، نمرّر في الإطار تياراً شدّته  $A = \frac{1}{10\pi}\text{ A}$ .  
1. عزم المذوقة الكهروطيسية التي يخضع لها الإطار لحظة إمرار التيار.  
2. عمل المذوقة الكهروطيسية عندما يدور الإطار من وضعه السابق إلى وضع التوازن المستقر.

b. نقطع التيار ونستبدل سلك التعليق بسلكٍ فتل شاقوليٌ ثابتٌ فتلـه  $K$ ، بحيث يكون مستوى الإطار يوازي خطوط الحقل المغناطيسي السابق، ونمرّر تياراً شدّته  $2mA$ ، فيدور الإطار زاوية  $30^\circ$ ، ثم يتوازن.

**المطلوب:**

1. احسب التدفق المغناطيسي في الإطار عندما يتوازن.
2. استنتاج العلاقة المحددة لثابت فتل سلك التعليق انطلاقاً من شرط التوازن الدوراني، ثم احسب قيمته. (يُهمّ تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي).

#### المسألة الرابعة:

دولاب بارلو قطره  $20\text{ cm}$ ، يمرّر فيه تيار كهربائي متواصل  $I$ ، ويخضع نصف القرص السفلي لحقل مغناطيسيٌّ أفقٌ مُنتظم عمودي على مستوى الدولاب الشاقولي شدّته  $B = 10^{-2}\text{ T}$ ، فيتأثر الدولاب بقوة كهرطيسية شدّتها  $F = 4 \times 10^{-2}\text{ N}$

المطلوب:

1. بين بالرسم جهة كل من  $(\vec{I}, \vec{r}, \vec{B}, \vec{F})$ .
2. احسب شدة التيار المار في الدولاب.
3. احسب عزم القوة الكهرطيسية المؤثرة في الدولاب.
4. احسب قيمة الكتلة الواجب تعليقها على طرف نصف القطر الأفقي للدولاب لمنعه عن الدوران.

#### تفكير ناقد



جسم مشحون يتحرّك في منطقة يسودُها حقلٌ مغناطيسيٌّ مُنتظم يعادل حقلًا كهربائياً مُنتظماً بسرعةٍ ثُعامد كلاًّ منها، بين متى يصبح مساره مستقيماً، ومتى يكون دائرياً.

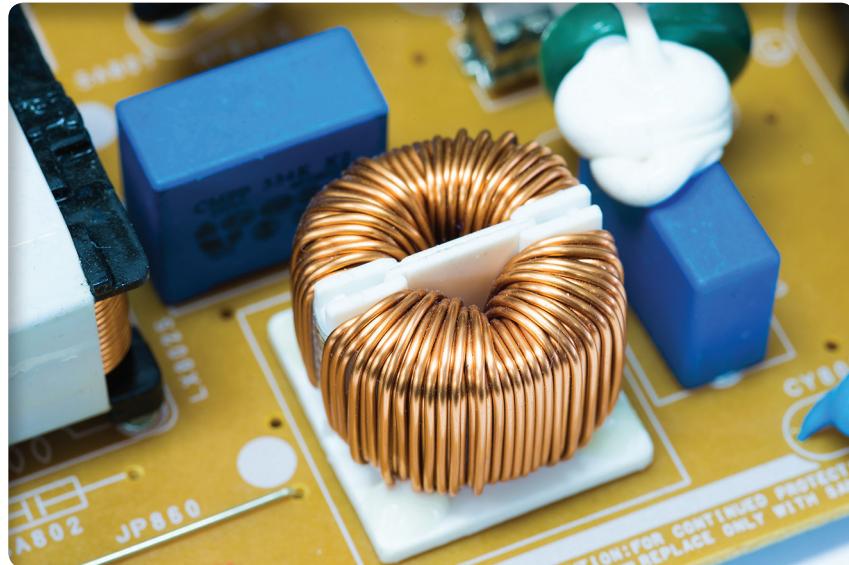
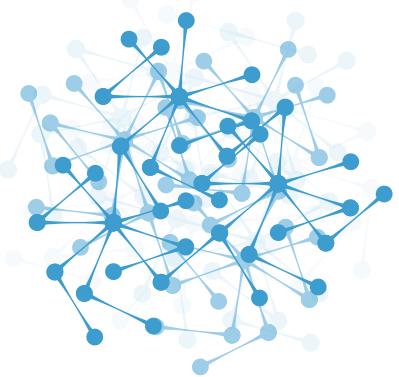
#### أبحث أكثر



ابحث في استخدام البروتونات المتسارعة في علاج الأمراض السرطانية.

# 3

## التحريض الكهربائي



في ظل الطلب المتزايد على الطاقة ولاسيما الطاقة الكهربائية تزداد الحاجة للبحث عن مصادر جديدة لها، وقد تم استئثار 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.

### الأهداف:

- \* يفسّر تجريبياً توليد التيار المتحرّض.
- \* يذكر قانوني التّحريض الكهربائي.
- \* يفسّر علاقات التّحريض الكهربائي.
- \* يتعرّفُ بتطبيقات التّحريض الكهربائي في حياته اليومية.
- \* يوضح التّحريض الذّاتي.
- \* يستنتج علاقة ذاتية وشيعة.
- \* يستنتج عبارة الطاقة الكهربائية المختبرة في الوشيعة.
- \* يشنّن تطبيقات التّحريض الكهربائي.

### الكلمات المفتاحية:

- \* تحريض كهربائي
- \* تيار كهربائي متحرّض
- \* حقل مغناطيسي متحرّض
- \* قوة محرّكة كهربائية متحرّضة
- \* مولد
- \* تيار متناوب جيبي
- \* محرّك
- \* تيارات فوكو
- \* تحرّض ذاتي
- \* ذاتية الوشيعة
- \* طاقة كهربائية.

## قانون فارادي:

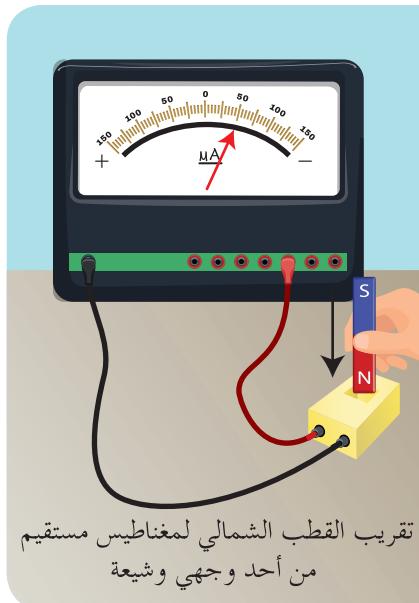
أجري وأستنتج:

(1) تجربة

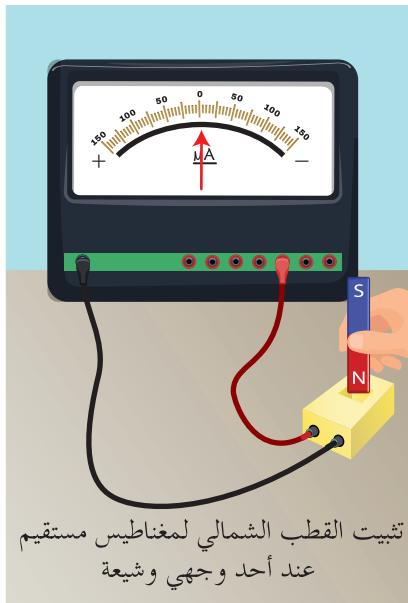
المواد الازمة: حقيقة المغناطيسية.

خطوات التجربة:

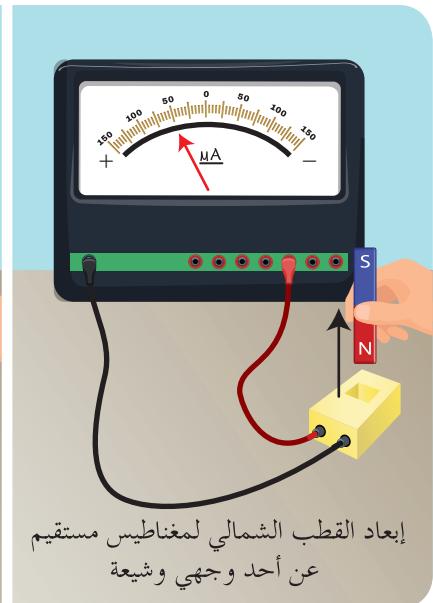
1. أركب الدارة الموضحة بالشكل.
2. أقرب أحد قطبي المغناطيس من أحد وجهي الوشيعة وفق محورها، وأراقب مؤشر مقياس الميكرو أمير، ماذالاحظ؟
3. أثبت المغناطيس عند أحد الوجهين، وأراقب مؤشر المقياس، ماذالاحظ؟
4. أبعد المغناطيس عن وجه الوشيعة، وأراقب مؤشر المقياس، ماذالاحظ؟
5. أكرر التجربة السابقة بتقريب وإبعاد المغناطيس خلال زمن أقل (زيادة سرعة تفريغ وإبعاد المغناطيس)، ما الذي يحدث لمؤشر المقياس؟



تقريب القطب الشمالي لمغناطيس مستقيم من أحد وجهي وشيعة



تبين القطب الشمالي لمغناطيس مستقيم عند أحد وجهي وشيعة



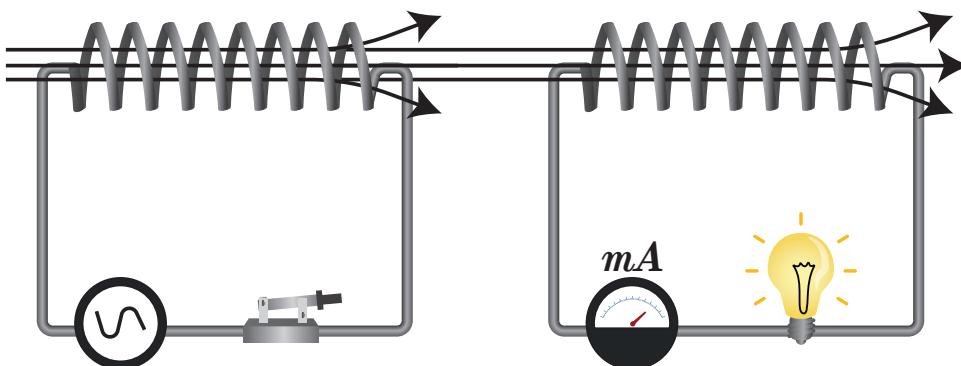
إبعاد القطب الشمالي لمغناطيس مستقيم عن أحد وجهي وشيعة

## تجربة (2)

المواد اللازمة: وشيعتان - مولّدٌ تيارٌ مُتناوبٌ جيبيٌ - مولّدٌ تيارٌ مُتواصلٌ - مصباحٌ كهربائيٌ - أسلاكٌ توصيلٌ - مقياسٌ ميلي أمبيرٌ.

### خطوات التجربة:

- أصلٌ طرفي الوشيعة الأولى بـمأخذٍ لمولّدٌ تيارٌ كهربائيٌ مُتناوبٌ جيبيٌ.
- أضعُ الوشيعة الثانية ليكونَ محورُها مُطْبِقاً على محورِ الوشيعة الأولى، وأصلٌ طرفيها بـوساطةِ أسلاكٍ التوصيل إلى المصباح الكهربائيٍ ومقياسٍ ميكروٍ أمبيرٍ.
- أغلقُ دارَةَ الوشيعة الأولى، وأراقبُ المصباح الكهربائيٍ، ومقياس الميلي أمبير في الدارَةِ الثانية، ماذا ألاحظُ؟
- أكررُ التجربة السابقة بعدَ استبدالِ مولّدٍ التيارِ المُتواصلِ بمولّدٍ التيارِ المُتناوبِ، ماذا ألاحظُ؟



### النتيجة:

• تولّدٌ تيارٌ كهربائيٌ في الدارَةِ الثانيةِ الحاويةِ على مصباحٍ ومقياسٍ ميليٍ أمبيرٍ على الرَّغمِ من عدمِ وجودِ مولّدٍ فيها، لذا نقولُ أنَّ التيارَ المُتولّدَ في الدارَةِ الثانيةَ ناتجٌ عن التّحريضِ الكهربائيِّيِّ، ويُدعى بالتيارِ الكهربائيِّيِّ المُتحرّضِ.

كيفَ أفسّرُ هذه الظاهرة؟

- إنَّ تقريبَ المغناطيسِ أو إبعادَه يؤدّي إلى تغييرِ التدفقِ المغناطيسيِّ (بالزيادةِ أو بالنقصانِ) وبالتالي تنشئُ قوَّةً محرّكةً كهربائيةً مُتحرّضةً تسبّبُ مرورَ التيارِ الكهربائيِّيِّ المُتحرّضِ.
- إنَّ إضافةَ المصباحِ الموصلِ بينَ طرفيِّ الوشيعةِ الثانيةِ وانحرافِ مؤشرِ مقياسِ الميكروِيِّ أمبيرِ، فيها يدلُّ على نشوءِ تيارِ مُتحرّضٍ على الرَّغمِ من عدمِ تحريكِ أيِّ من الوشيعتينِ، ويعلّلُ ذلكَ أنَّ الوشيعةَ الأولى تولّد حقلًا مغناطيسيًا مُتناوبًا جيبيًا فيتغيّرُ التدفقُ المغناطيسيُّ الذي يختارُ الوشيعةَ الثانيةَ، وتتولّد قوَّةً محرّكةً كهربائيةً مُتحرّضةً تسبّبُ مرورَ التيارِ الكهربائيِّيِّ المُتحرّضِ.

### قانونُ فارادي

• يتولّدُ تيارٌ كهربائيٌّ مُتحرّضٌ في دارَةٍ مغلقةٍ إذا تغيّرَ التدفقُ المغناطيسيُّ الذي يجتازُها ويذومُ هذا التيارُ بـدومٍ تغيّرِ التدفقِ لينعدم عند ثبات التدفقِ المغناطيسيِّيِّ المحرّضِ.

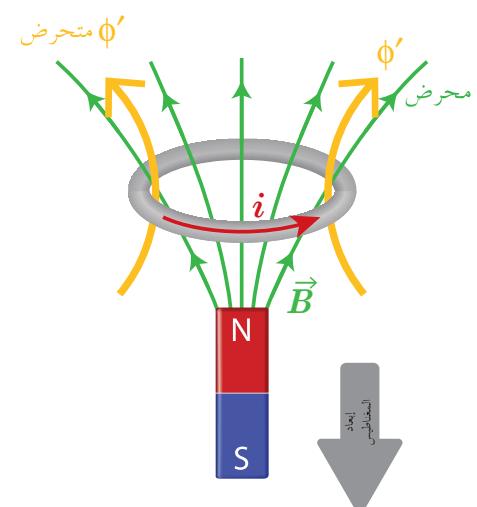
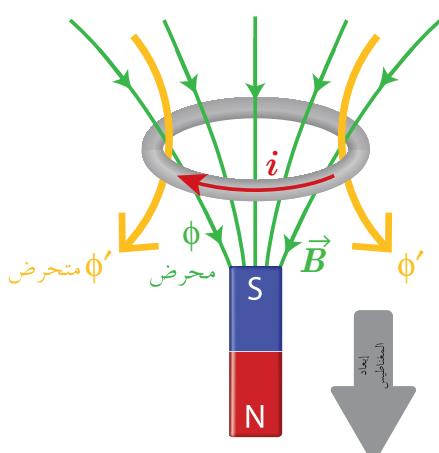
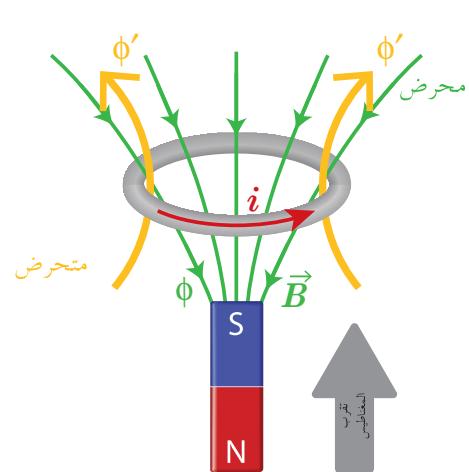
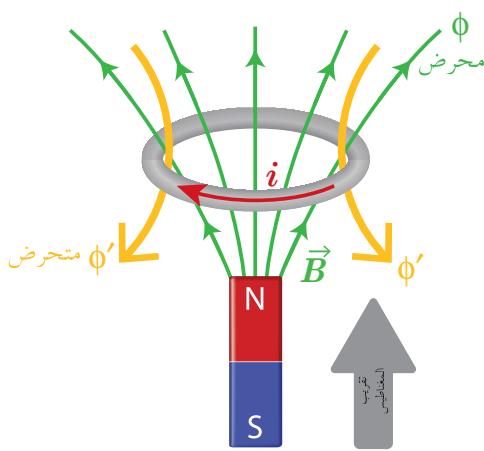
## قانون لenz:

**أجريب وأستنتج:**

المواد اللازمة: وشيعة - أسلاك توصيل - مقياس ميلي أمبير صفره في الوسط - مأخذ تيار كهربائي متواصل - إبرة مغناطيسية حاملها شاقولي.

**خطوات التجربة:**

1. أصل بين طرفي المولد على التسلسل وشيعة، مقياس الميكرو أمبير، قاطعة.
2. أغلق الدارة، وأحدد الوجه الشمالي والوجه الجنوبي للوشيعة، وأراقب جهة انحراف مؤشر المقياس.
3. أرفع مأخذ التيار المتواصل، وأعيد إغلاق الدارة من جديد.
4. أقرب من الوشيعة وفق محورها قطباً شمالياً لمغناطيس مستقيم، وأراقب جهة انحراف مؤشر المقياس الغلفاني، وأحدد الوجه الشمالي والوجه الجنوبي للوشيعة، عندئذٍ ماذالاحظ؟
5. أبعد القطب الشمالي للمغناطيس عن وجه الوشيعة، ماذا يطرأ على جهة انحراف مؤشر المقياس؟ وأحدد الوجه الشمالي والوجه الجنوبي للوشيعة، عندئذٍ ماذالاحظ؟



- إن تقريب القطب الشمالي من أحد وجهي الوضيعة يولد فيها تياراً كهربائياً متحرياً فيولد بدوره حقاً مغناطيسياً متحرياً، جهته يعكس جهة الحقل الناجم عن المغناطيس المحرض الذي قربناه من وجه الوضيعة، وكذلك الأمر بالنسبة إلى تقريب القطب الجنوبي.
- إن إبعاد القطب الشمالي للمغناطيس المحرض عن أحد وجهي الوضيعة يؤدي إلى تولد تيار متحرياً في الوضيعة يولد بدوره حقاً مغناطيسياً متحرياً تتفق جهته مع جهة الحقل الناجم عن المغناطيس المحرض، وكذلك الأمر بالنسبة إلى إبعاد القطب الجنوبي.
- إن التيار المتحرّض يظهر أفعالاً تعاكس سبب حدوثه، فالوضيعة تسعى لإنفاس التدفق المغناطيسي الذي يجتازها في حال تزايد التدفق المغناطيسي المحرّض الناجم عن تقريب المغناطيس، وتسعى لزيادة التدفق المغناطيسي الذي يجتازها في حالة إنفاس التدفق المغناطيسي المحرّض الناجم عن إبعاد المغناطيس.

## قانون لenz

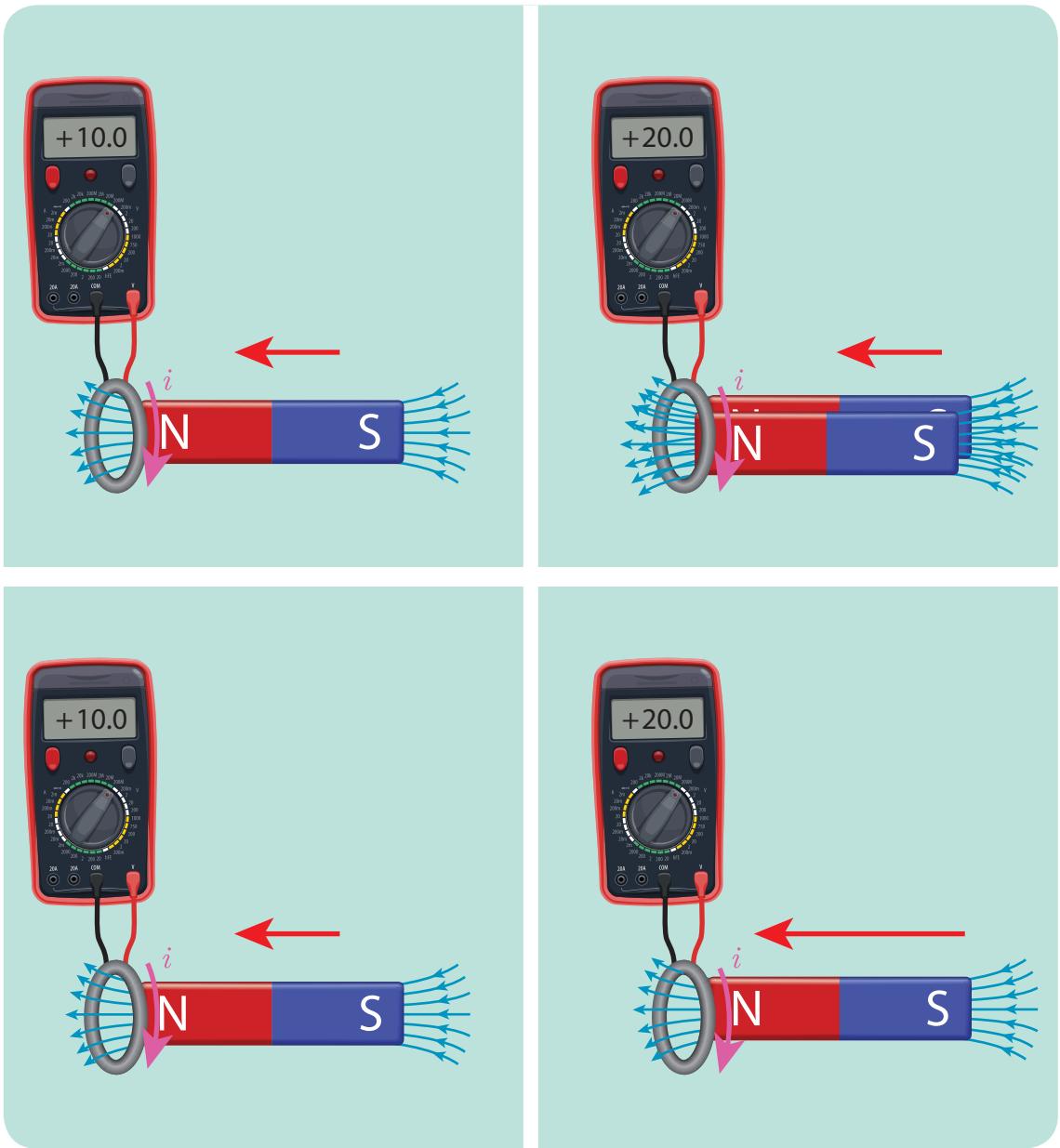
- إن جهة التيار المتحرّض في دائرة مغلقة تكون بحيث ينتج أفعالاً تعاكس السبب الذي أدى إلى حدوثه.

### القوّة المُحرّكة الكهربائية المتحرّضة:

- إن مرور تيار كهربائي في أي دائرة مغلقة يكافئ وضع مولده فيها بقوة محرّكة كهربائية متحرّضة <sup>٤</sup>. فما العوامل التي تتوقف عليها القوّة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة؟

نشاط (1):

- أستبدل بمقاييس الميكرو أمبير في التجربة (1) مقياس ملي فولت.
- أقرب المغناطيس وفق محور الوضيعة، وأسجل القيمة العظمى للقوّة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة المتألدة <sup>٤</sup> التي نقرؤها على مقياس الميلي فولت.
- أعيد التجربة حيث أقصى بالمغناطيس مغناطيسياً آخر مماثلاً له بشكل تنطبق فيه الأقطاب المتماثلة على بعضها، وأقرب جملة المغناطيسين وفق محور الوضيعة خلال الزمن نفسه تقريرياً، وأسجل القيمة العظمى للقوّة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة بقراءتها على مقياس الميلي فولت ولتكن <sup>٤</sup>.
- أعيد التجربة السابقة بمغناطيس واحد، وأقربه من الوضيعة وفق محورها بزمن أقل بحيث يصبح نصف ما كان عليه تقريراً، وأسجل القيمة العظمى للقوّة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة <sup>٤</sup>. ماذالاحظ؟ وماذا أستنتج؟



**النتائج:**

- تتناسبُ القوَّة المُحرِّكة الكهربائية المُتَحَرِّضة  $\bar{\epsilon}$  :

  1. طرداً معَ تغيير التدفق المغناطيسي المُحرَّض  $d\Phi/dt$ .
  2. عكساً معَ زمان تغيير التدفق المغناطيسي المُحرَّض  $.dt$ .

• بناءً على ما سبق يمكننا أن نعبر رياضياً عن قانون فارادي بالعلاقة الآتية:

$$\bar{\epsilon} = - \frac{d\Phi}{dt}$$

• حيثُ تنسجم الإشارة السالبة معَ قانون لenz.

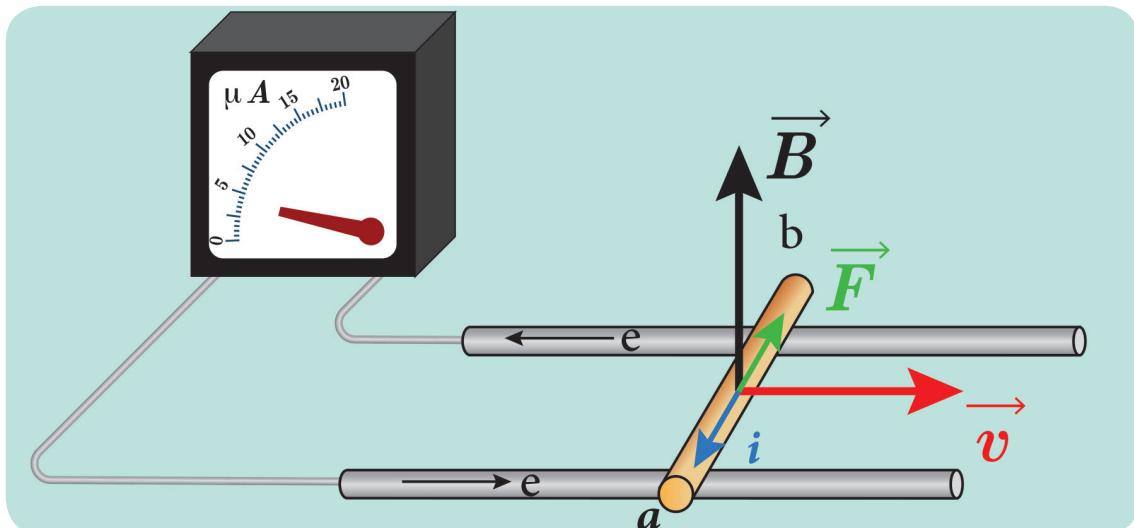
# التعليق الإلكتروني لنشوء التيار المُتحَرّض والقوّة المُحرّكة الكهربائيّة المُتحَرّضة

## تجربة السكّتين التّجريبية

المواد الازمة: مغناطيسٌ نصويٌّ - سكّتان معدنيّتان أفقيتان متوازيتان - ساقٌ ناقدٌ - مقياسٌ ميكرو أمبير.

### خطوات التجربة:

- أُستبدل بالمولّد في تجربة السكّتين الكهرومغناطيسية مقياس الميكرو أمبير، كما في الدّارة الموضحة بالشكل المجاور



- أُدْرِج الساق الناقد على السكّتين، وأُرْاقِب انحرافَ مؤشّرِ مقياس الميكرو أمبير، ماذا ألاَحِظُ؟ أفسّر ذلك.

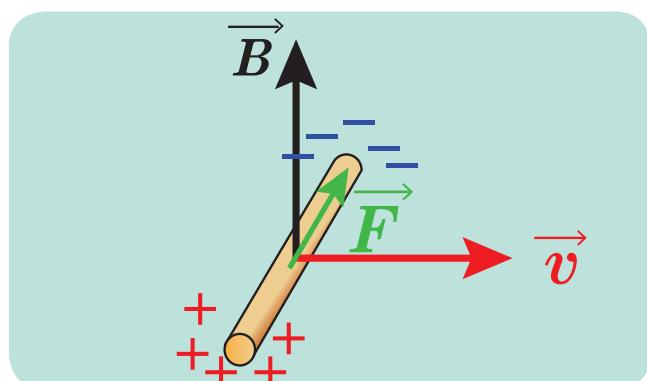
### النتائج:

- ينحرفُ مؤشّرِ مقياس الميكرو أمبير دليلاً مورور تيار كهربائيٍّ مُتحَرّض.
- عند تحرير الساق بسرعةٍ ثابتةٍ عمودياً على خطوطِ الحقل المغناطيسي، فإنَّ الإلكترونات الحرّة في الساق ستتحرّك بهذه السرعة وسطيًّا، ومع خضوعها لتأثيرِ الحقل المغناطيسيِّ المنتظم فإنّها تخضعُ لتأثيرِ القوّة المغناطيسية:  $\vec{F} = e\vec{v} \wedge \vec{B}$

وبتأثيرِ هذه القوّة تحرّكُ الإلكترونات الحرّة في الساق وتتوالُدُ قوّةُ محرّكةُ كهربائيّةٍ تجريبيةٍ تسبّبُ مرورَ تيارٍ كهربائيٍّ مُتحَرّض عبر الدّارة المغلقة، جهةُ الاصطلاحِ يعكسُ جهةَ حركةِ الإلكترونات الحرّة؛ أيَّ بعكسِ جهةِ القوّة المغناطيسية.

### عند فتح الدّارة:

عند تحرير الساق بسرعةٍ  $v$  على سكّتين معزولتين في منطقةٍ يسودُها حقلٌ مغناطيسيٌّ تنشأُ القوّة المغناطيسية وبتأثيرِ هذه القوّة تنتقلُ الإلكترونات الحرّة من أحد طرفي الساق الذي يكتسبُ شحنةً موجبةً، وتترافقُ في الطرف الآخر الذي يكتسبُ شحنةً سالبةً فينشأُ بين طرفي الساق فرقاً في الكمون يمثلُ القوّة المحرّكة الكهربائيّة المُتحَرّضة:  $U_{ab} = \epsilon$



## تطبيقات التدريج المغناطيسي:

### 1. مبدأ المولد:

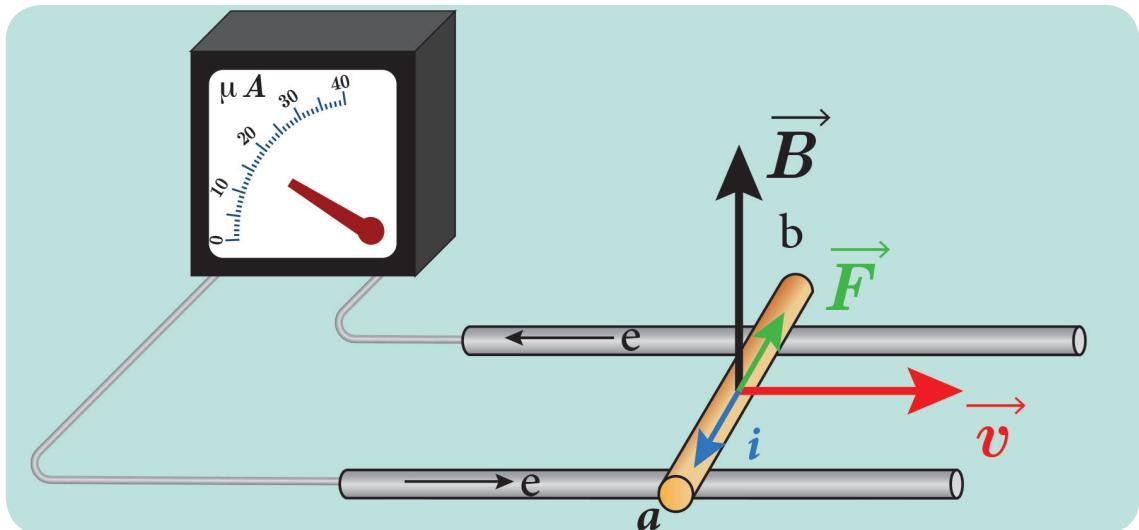
**تجربة:**

أعيد تجربة السكين التحريضية حيث الدارة مغلقة.

أحرك الساق بسرعة ثابتة  $v$  تقريباً عمودية على شعاع الحقل المغناطيسي، وألاحظ انحراف مؤشر مقياس الميلي فولت.

1. ما الطاقة التي قدمت للساق؟

2. هل ازداد السطح الذي تمسحه الساق في أثناء حركتها على السكين أو تناقض؟



### لندرس نظرياً تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية:

عند تحريك الساق بسرعة ثابتة  $v$  عمودية على شعاع الحقل المغناطيسي المنتظم  $\vec{B}$  خلال فاصل زمني  $\Delta t$  ، تنتقل الساق مسافة:

$$\Delta x = v\Delta t$$

يتغير السطح بمقدار:

$$\Delta s = L\Delta x$$

$$\Delta s = Lv\Delta t$$

يتغير التدفق بمقدار:

$$\Delta \Phi = B\Delta s = BLv\Delta t$$

فتسوّل قوة محرّكة كهربائية متحرّضة، قيمتها المطلقة:

$$\epsilon = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$$

$$\epsilon = \frac{BLv\Delta t}{\Delta t}$$

$$\epsilon = BLv$$

وبما أن الدارة مغلقة يمُر تيار كهربائي متحرّض شدّته:

$$i = \frac{\epsilon}{R}$$

$$i = \frac{BLv}{R}$$

فتكون الاستطاعة الكهربائية الناتجة:

$$P = f_i$$

$$P = (BLv) \# \left( \frac{BLv}{R} \right)$$

$$P = \frac{B^2 L^2 v^2}{R} \quad \dots (1)$$

ولكن عند تحريك الساق بسرعة تنشأ قوّة كهربائية، جهّها يعكس جهة حركة الساق المُسبيبة لنشوء التيار المُتحرّض، واستمرار تولّد التيار يجب التغلب على هذه القوّة الكهربائية بصرف استطاعة ميكانيكية .  $P'$

$$P' = Fv$$

لدينا:

$$F = iLB \sin \frac{\pi}{2}$$

$$F = iLB$$

لأن:

$$i = \frac{BLv}{R}$$

نعُرض:

$$F = \frac{BLv}{R} (LB)$$

$$F = \frac{B^2 L^2 v}{R}$$

$$P' = Fv = \frac{B^2 L^2 v}{R} v$$

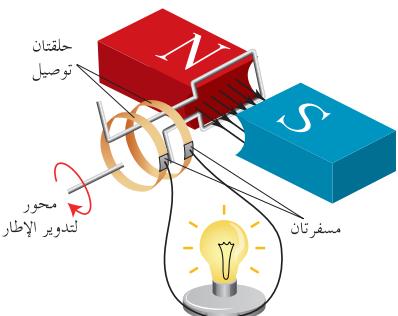
$$P' = \frac{B^2 L^2 v^2}{R} \quad \dots (2)$$

وبموازنة العلاقات (1) و(2) نجد أن:

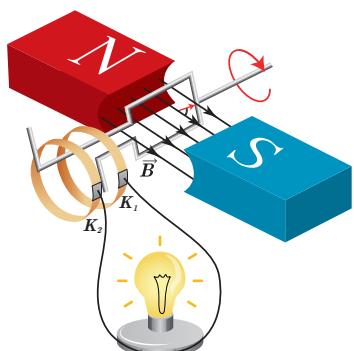
$$P' = P$$

وبهذا تكون قد تحولت الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، وهو المبدأ الذي يعتمد عليه الكثير من المولدات الكهربائية.

## 2. مولُّ التيارِ المُتناوبِ الجيبيِّ (AC) أحدى الطور



**وصفه:** يتكونُ من إطارٍ مؤلفٍ من  $N$  لفة متماثلة، مساحةً كلٌ منها  $s$ ، أسلامٌ ناقلةً ومعزولةً وملفوفةً بالاتجاه ذاتيه، يدورُ حولَ محورٍ في منطقةٍ يسودُها حقلٌ مغناطيسيٌّ منتظمٌ  $\vec{B}$ ، ويصلُ طرفاً الملفَ بحلقتيْن  $R_1, R_2$ ، بحيثٍ يمرُّ محورُ الدورانِ بمركز هاتين الحلقتين، وتدورُ الحلقتانِ بدورانِ الملفِ ويسمُّ كل حلقةٍ مسيرةً معدنيةً (ناقلةً)  $(K_1, K_2)$ ، وتصلُ هاتانِ المسيرتانِ الملفَ بالدَّارةِ الخارجيةَ كما في الشَّكلِ المجاور.



### نشاط (1): عندما يدورُ الملفُ:

- ماذا يحدثُ للزاوية بين الناظم على مستوى الملف وشعاع الحقل المغناطيسي  $\vec{B}$ .
- هل يتغيّر التدفق المغناطيسي عندئذٍ؟
- إذا كانت السرعة الزاوية التي يدورُ بها الإطار ثابتةً، أكتب العلاقة التي تربطُ بين  $\alpha$  والزمن.

### لنسننَّ العلاقَةَ المُحدَّدةَ للقوَّةِ المُحرِّكَةِ الكهربائيَّةِ المُتحرِّضةِ:

- بفرض أنه في لحظةٍ ما في أثناء الدوران كان الناظم على مستوى الإطار يصنع مع شعاع الحقل المغناطيسي  $\vec{B}$  زاويةً قدرُها  $\alpha$ ، فيكون التدفق المغناطيسي  $\Phi$  الذي يحثّ سطح الإطار:

$$\bar{\Phi} = NBs \cos \alpha$$

- إذا كانت السرعة الزاوية لدوران الإطار  $\omega$  ثابتةً، فإنَّ الزاوية  $\alpha$  التي يدورُها الملفُ في زمنٍ قدرُه  $t$  :

$$\alpha = \omega t$$

نَعَّضُ فنجدُ:

$$\bar{\Phi} = NBs \cos \omega t$$

و تكونُ القوَّةُ المُحرِّكَةُ الكهربائيَّةُ المُتحرِّضةُ :

$$\bar{\varepsilon} = -\frac{d\bar{\Phi}}{dt}$$

$$\bar{\varepsilon} = NsB\omega \sin \omega t$$

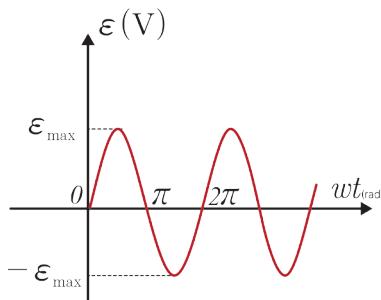
$$\sin \omega t = 1$$

$$\varepsilon_{\max} = NsB\omega$$

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

تكونُ  $\bar{\varepsilon}$  عَظِيمٌ عندما:

نَعَّضُ:



وبذلك نحصل على التيار المتناوب الجيبي نظراً لأن القوة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة مُتناوبة جيبيّة. عند رسم تغيرات  $\epsilon$  بدالة  $wt$  نحصل على المُتحنّي البياني الآتي:

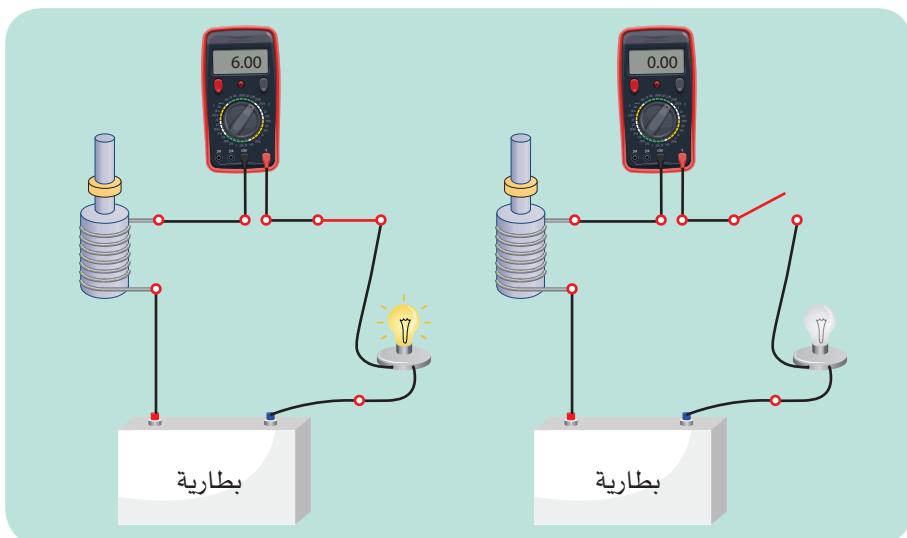
### 3. مبدأ المُحرّك

**تجربة:**

المواد الازمة: مولّد - مصباح كهربائي - مقياس أمبير - مُحرّك كهربائي صغير - أسلاك توصيل - قاطعة.

**خطوات التجربة:**

1. أصل الدارة الموضحة بالشكل على التسلسل.
- 2.أغلق الدارة وأمنع المحرّك من الدوران بمسك محوره باليدي، ماذالاحظ؟
3. أسمح للمحرّك بالدوران، ماذالاحظ؟ وماذا تستنتج؟



**النتائج:**

- عند إغلاق القاطعه ومنع المحرّك من الدوران يتوجه المصباح ويدلّ المقياس على مرور تيار كهربائي له شدة معينة.
- عند السماح للمحرّك بالدوران تبدأ سرعته بالازدياد فيقلّ توجه المصباح وتنقض دالة المقياس مما يدلّ على مرور تيار كهربائي شدته أصغر.
- تتولّد في المحرّك قوّة محرّكة كهربائية تحریضيةٌ عكسيّةٌ مضادةٌ للقوّة المحرّكة الكهربائية المطبقة بينقطبي المولّد، وتزيد بازدياد سرعة دوران المحرّك.
- يوجد في المحرّك وشيعة، يمرُ فيها تيار كهربائي، تدورُ بتأثير حقل مغناطيسيّ، وبسبب هذا الدوران يتغيّر التدفق المغناطيسيّ من خلال الوشيعة مما يسبّبُ تولّد قوّة محرّكة تحریضيةٌ عكسيّةٌ توقفُ على سرعة دوران المحرّك.

## لندرس نظريّاً تحول الطاقة الكهربائيّة إلى طاقة ميكانيكيّة في المُحرّك.

عند مرور التيار الكهربائي في الساق الخاضعة لتأثير الحقل المغناطيسي المُنظَّم  $\vec{B}$ ، فإنّها تتأثّر بقوّة كهربائيّة شدّتها:

$$F = ILB$$

تعمل القوّة الكهربائيّة على تحريك الساق بسرعة ثابتة  $v$ ، وتكون الاستطاعة الميكانيكيّة الناتجة:

$$\begin{aligned} P^1 &= FV \\ P^1 &= ILBV \quad \dots (1) \end{aligned}$$

لكنّ عند انتقال الساق مسافة  $\Delta x$ ، فإن التدفق المغناطيسي يتغيّر بمقدار:

$$\Delta\Phi = BLv\Delta t$$

فستولّد في الساق قوّة مُحرّكة كهربائيّة مُتّجّهة عكسيّة تعاكس مرور تيار المولّد فيها بحسب قانون لنز<sup>1</sup> تعطى قيمتها المطلقة بالعلاقة:

$$\epsilon' = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right| = BLv$$

ولا استمرار مرور تيار المولّد يجب تقديم استطاعة كهربائيّة:

$$\begin{aligned} P &= \epsilon'I \\ P &= BLvI \quad \dots (2) \end{aligned}$$

بالموازنة بين العلاقات (1) و (2) نجد:

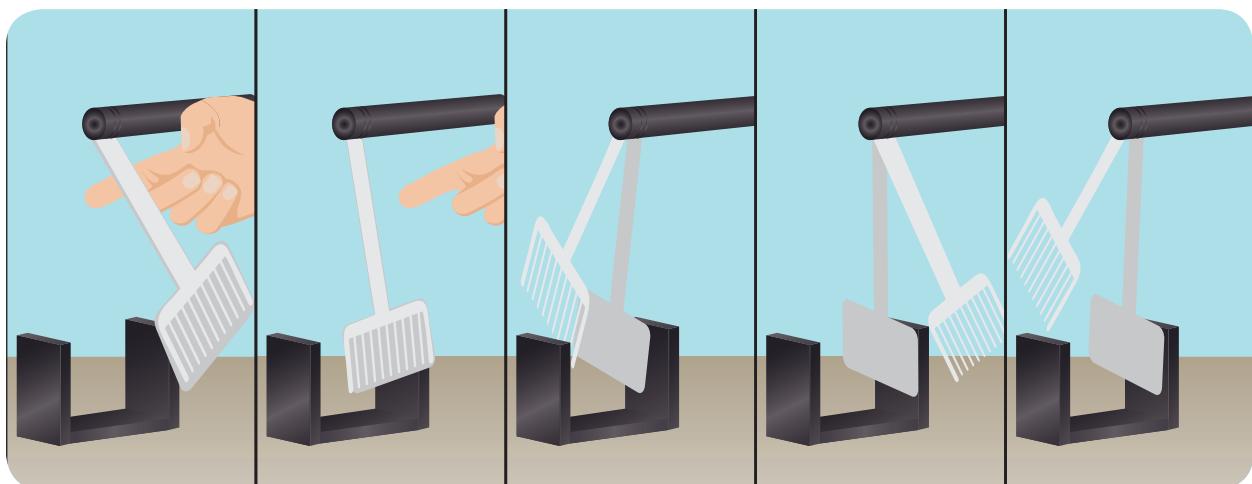
$$P' = P$$

وبهذا الشّكل تحول الطاقة الكهربائيّة إلى طاقة ميكانيكيّة.

## 4. تيّار فوكو (إثراء)

### نشاط:

صفيحةتانِ معدنيّتان من الثّحاس إحداهما مقطّعة بشكّل شرائحة معزولة عن بعضها بعضًا مثل أسنان المشط والأخرى كاملةٌ غير مقطّعة، ثبّت كلّ من الصّفيحتين بطرف ساقٍ خفيفٍ من الثّحاس، ثم ثبّت كلاً من الساقين في الأعلى لتساوزن الصّفيحةتان في مُستويٍ شاقوليٍ بين قطبيِّي مغناطيسٍ نصوّي.



## خطوات التجربة:

- أزيح الصفيحتين بالسعة الزاوية ذاتها إلى أحد جانبي موضع استقرارهما الشاقولي.
- أترك الصفيحتين في أن واحد لتهتز كل منهما بحرية بين قطبي المغناطيس النضوي. ماذالاحظ؟ أهتز الصفيحتان بالسعة نفسها، أم تختلفان بسعة اهتزازهما؟ كيف أفسر ذلك؟

### اللاحظ:

توقف الصفيحة الكاملة عن الاهتزاز فجأة عن الاهتزاز في أثناء مرورها بين قطبي المغناطيس النضوي، بينما تستمر الصفيحة المقطعة باهتزازها ذهاباً وإياباً إلى جانبى موضع توازنه الشاقولي بين قطبي المغناطيس النضوي ولكن ببطء.

### أفسر

عند اقتراب الصفيحة الكاملة من منطقة الحقل المغناطيسي بين قطبي المغناطيس النضوي يحدث ترايداً في التدفق المغناطيسي الذي يخترقها، وفي أثناء خروجها يحدث تناقص في التدفق المغناطيسي الذي يجتازها، فتسوّل في الحالتين تيارات تحربيّة تنتج أفعالاً تعكس السبب الذي أدى إلى حدوثها (اهتزاز الصفيحة)، وتكون جهتها بحيث تعكس جهة حركة الصفيحة، فتوقف وتنشر فيها كمية من الحرارة بفعل جولٍ كاثرٍ حراريٍ لتلك التيارات.

- أما التيارات التحربيّة المولدة في الصفيحة المقطعة تكون صغيرةً جداً، فيكون تأثيرها في اهتزاز الصفيحة ضعيفاً جداً.
- نسمي تلك التيارات التحربيّة المولدة في الكتل المعدنية التي تخضع لتدفقٍ مغناطيسيٍ متغيرٍ بتغيراتٍ فوكو.
- لتيارات فوكو أثرٌ ضارٌ في الأجهزة الكهربائية، لذلك نستبدل الكتل المعدنية المصممة المعرضة لمثل هذه التيارات بكتل معدنية معزلة بعضها عن بعض، تقطع فيها تلك التيارات مما يخفف من أثرها، وهذا ما يحصل في نوى المحرّكات والمولدات والممحولات الكهربائية، حيث تكون صفات هذه القوى معزلة وتوضع لتواري سطوحها خطوط الحقل المغناطيسي.
- تُشتمر تيارات فوكو في مكابح القطارات الحديثة إما لإيقافها أو لإبطاء حركتها وتسمى بالکوابح الكهرطيسية، كما تُشتمر في أجهزة الكشف عن المعادن المستعملة في نقاط التفتيش الأمنية ولاسيما في المطارات، وكذلك الطباخ الإلكتروني المستخدم في المنازل.

## التجربة الذاتيّة:

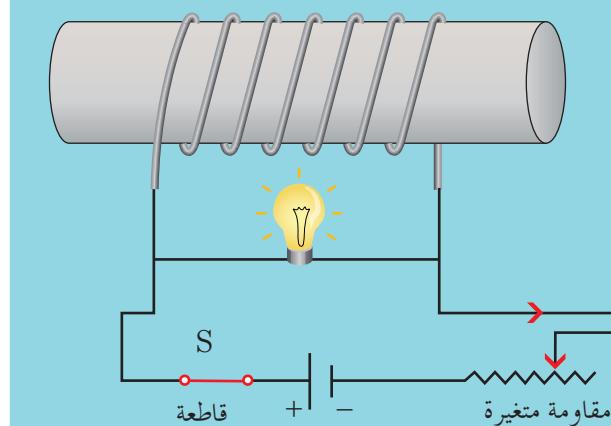
أجرِب وأستنتج:

المواد الازمة: وشيعةٌ - مصباحٌ - أ Bipole كهربائيّة  
- مقاومةً متغيرةً مع زلقه (مُعَدَّلةً) -  
قاطعةٌ - أسلاكٌ توصيل.

خطوات التجربة:

- أركِب الدارة الموضحة بالشكل المجاور.
- أغلِق القاطعة، وأحرِّك الزلاقة حتى تصبح إضاءة المصباح خافتةً.
- افتح القاطعة، ماذا لاحظت؟
- أغلِق القاطعة من جديدٍ! ماذا لاحظت؟

النتائج:



- عند فتح القاطعة يتوجه المصباح بشدة قبل أن ينطفئ، مما يدل على حصول المصباح على الطاقة من مصدر آخر غير المولّد؛ لأن دارته مفتوحة ولا يوجد في الدارة إلا الوشيعة، ويحدث هذا نتيجة التحرّض الذاتي في الوشيعة، حيث أن فتح القاطعة يؤدي إلى تناقص شدة التيار المار في الوشيعة، فيتناقص تدفق الحقل المغناطيسي المترافق في الوشيعة خلال الوشيعة ذاتها، الأمر الذي يولّد قوة كهربائية مُحرّكة مترافقه في الوشيعة أكبر من القوة المُحرّكة الكهربائية للمولّد، لأن زمان تناقص الشدة متناهي الصغر، حيث تكون قيمة  $\frac{di}{dt}$  أعلى ما يمكن لحظة فتح القاطعة.
- عند إغلاق القاطعة من جديد يتوجه المصباح ثم يعود إلى ضوئه الخافت، حيث تزداد شدة التيار وبالتالي يتزايد تدفق الحقل المغناطيسي المترافق عن الوشيعة عبر الوشيعة ذاتها، فيتولد فيها قوة مُحرّكة كهربائية مترافقه تماًن مروّر التيار فيها، ويمر التيار في المصباح فقط مسبباً توهجه قبل أن تخبو إضاءته بسبب تناقص قيمة  $\frac{di}{dt}$ ، وازدياد مروّر التيار تدريجياً في الوشيعة حتى ثبات الشدة فتعدم القوة المُحرّكة الكهربائية المترافقه في الوشيعة.
- إن الوشيعة قامت بدور مُحرّضٍ ومترافقٍ في آن واحد، لذلك ندعى الدارة بالدائرة المترافقه الذاتية وندعو الحادثة تحريراً ذاتياً.

## ذاتيَّةُ الوشيعةِ :

تُعطى شدَّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ المتولِّد عن مرورِ تيارٍ في الوشيعةِ بالعلاقةِ:

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

ويكونُ تدفقُ هذا الحقلٍ من خلالِ الوشيعةِ ذاتها:

$$\bar{\Phi} = NsB$$

$$\bar{\Phi} = Ns(4\pi \times 10^{-7} \frac{Ni}{l})$$

$$\bar{\Phi} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{l} i$$

نلاحظُ أنَّ أمثلَ شدَّةَ التيارِ مقدارٌ ثابتٌ يميِّزُ الوشيعة، يدعى ذاتيَّةَ الوشيعةِ  $L$ ، واحدهُ قياسها في الجملة الدوليَّة هي الهنريِّ  $H$ ، وهو ذاتيَّةُ دارِيٍّ مُغلقةٍ يجتازُها تدفقٌ مغناطيسيٌّ قدرُهُ ويسير واحدٌ عندما يمرُّ فيها تيارٌ قدرُهُ أمبيرٌ واحدٌ.

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{l}$$

نَوْضُ فنجُدُ:

$$\bar{\Phi} = L \bar{i}$$

فتصبحُ علاقَةُ القوَّةِ المُحرِّكة الكهربائيَّة المُتحَرِّضة الذاتيَّة بدلالةِ شدَّةِ التيارِ المُتغيِّرِ الذي يجتازُها:

$$\begin{aligned}\bar{\varepsilon} &= -\frac{d\bar{\Phi}}{dt} \\ \bar{\varepsilon} &= -L \frac{di}{dt}\end{aligned}$$

## الطاقةُ الكهربائيَّة المختزنةُ في وشيعةِ

في التجربةِ السابقةِ نلاحظُ أنَّ المصباحَ أضاءَ على الرَّغمِ من فصلِ المولَّدِ، وهذا يدلُّ كمَا ذكرنا على أنَّ الوشيعةِ قدَّمت طاقةً إلى المصباحِ، أيَّ أنَّ الوشيعةَ تخزنُ طاقةً عندَ إغلاقِ القاطِعَة، وعندَ فصلِ المولَّدِ (فتحِ القاطِعَة)، فإنَّها تعيدُ الطاقةَ المختزنةَ إلى المصباحِ.

لِنستتَّجَّ عبارةُ الطاقةِ الكهربائيَّة  $E_L$  المختزنةُ في وشيعةِ.

نربطُ وشيعةَ ذاتيَّتها  $L$ ، على التسلُّسلِ معَ مقاومَةً أوَميةً  $R$ ، وموَّلِّدَ قوَّتهُ المُحرِّكة الكهربائيَّة  $E$  كما في الدَّارةِ الموضَّحةِ بالشكلِ:

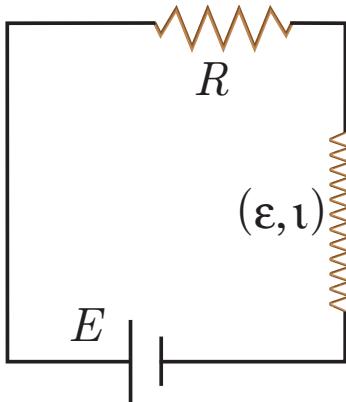
بحسبِ قانونِ كيرشوفِ الثانيِ:

$$\sum \bar{E} = R \bar{i}$$

$$\bar{E} + \bar{\varepsilon} = R \bar{i}$$

$$\bar{E} - L \frac{di}{dt} = R \bar{i}$$

$$\bar{E} = R \bar{i} + L \frac{di}{dt}$$



نضرب طرفي العلاقة بـ  $idt$  ، فنجد:

$$Eidt = Ri^2 dt + Lidi$$

إن المقدار  $Eidt$  يمثل الطاقة التي يقدمها المولّد خلال الزّمن  $dt$  ، وهذه الطاقة تنقسم إلى قسمين:  
القسم الأول:  $Ri^2 dt$  يمثل الطاقة الضائعة حراريًا بفعل جولٍ في المقاومة خلال الزّمن  $dt$ .

القسم الثاني:  $Lidi$  : يمثل الطاقة الكهربائية المختزنة في الوشيعة خلال الزّمن  $dt$ .

وتحتزن الوشيعة طاقة كهربائية  $E_L$  في لحظة  $t$  عندما تزداد شدّة التيار المارة في الدّارة من الصفر إلى قيمتها النهائية:  $I$

$$E_L = \int_0^I Lidi$$

$$E_L = \frac{1}{2} LI^2$$

وهي العلاقة المحددة للطاقة الكهربائية المختزنة في الوشيعة، ويمكن أن تكتب بالشكل:

$$\Phi = LI$$

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

$$E_L = \frac{1}{2} \Phi I$$

### تطبيق:

وشيعة طولها  $20\text{ cm}$  ، وطول سلكها  $40\text{ m}$  ، بطبقٍ واحدة، مقاومتها الأومية مُهمَلة. المطلوب:

1. احسب ذاتية الوشيعة.

2. إذا كان نصف قطر اللّفة الواحدة  $4\text{ cm}$  فاحسب عدد لفات الوشيعة.

3. نمُرّر في الوشيعة تياراً كهربائيًا تزداد شدّته بانتظام من الصفر إلى  $10\text{ A}$  خلال  $0.5\text{ s}$  ، احسب القوة المحرّكة الكهربائية المولّدة داخل الوشيعة محدّدًا جهة التيار المتحرّض.

4. احسب الطاقة الكهربائية المختزنة في الوشيعة.

الحل:

$$\ell' = 40\text{ m} \quad \ell = 20 \times 10^{-2} = 0.2\text{ m}$$

1. حساب ذاتية الوشيعة:

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{\ell}$$

لكن: عدد اللّفات يعطى بالعلاقة:

وسطح الوشيعة يعطى بالعلاقة:

$$s = \pi r^2$$

نوعٌ :

$$L = 10^{-7} \frac{\ell'^2}{\ell} = 10^{-7} \times \frac{1600}{0.2}$$

$$L = 8 \times 10^{-4} H$$

2. حسابُ عددِ لفاتِ الوشيعة:

$$N = \frac{\ell'}{2\pi r} = \frac{40}{2\pi \times 4 \times 10^{-2}} = \frac{4000}{25} = 160 \text{ لفة}$$

3. حسابُ القوَّة المُحرَّكة الكهربائية المُتحرَّضة المُتولَّدة داخلَ الوشيعة:

$$\overline{\varepsilon} = -\frac{\Delta \overline{\Phi}}{\Delta t}$$

$$\Delta \overline{\Phi} = N(\Delta \overline{B}) S \cos \alpha$$

$$\alpha = 0$$

$$\Delta \overline{B} = B_2 - B_1 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{NI}{\ell} - 0$$

$$\Delta \overline{B} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{160 \times 10}{0.2} = 32\pi \times 10^{-4} = 10^{-2} T$$

$$S = \pi r^2 = 16\pi \times 10^{-4} m^2$$

$$\Delta \Phi = 160 \times 10^{-2} \times 16\pi \times 10^{-4} \times 1$$

$$\Delta \Phi = 8 \times 10^{-3} \text{ weber}$$

$$\varepsilon = -\frac{8 \times 10^{-3}}{0.5} = -16 \times 10^{-3} V < 0$$

$\vec{B}$  مُحرَّض،  $\vec{B}$  مُتحرَّض على حاملٍ واحدٍ وبجهَيْنِ مُتعاكِسَيْنِ.

$$E_L = \frac{1}{2} L I^2$$

$$E_L = \frac{1}{2} \times 8 \times 10^{-4} \times 100$$

$$E_L = 4 \times 10^{-2} J$$

.4

## بعض التطبيقات العملية لظاهرة التحرير الكهرطيسي



- بطاقة الائتمان:

عند تحريك بطاقة الائتمان (بطاقة خزن المعلومات) الممagnetة أمام ملف يتولد تيار كهربائي متحرج، شدته صغيرة جداً، ثم يتضخم ويتحول إلى نبضات تحتوي المعلومات.

- الطبخ الإلكتروني:

تُشتمر حادثة التحرير الكهرطيسي في عمل الطباخات الإلكترونية إذ يوضع تحت السطح العلوى للطباخ ملف يمر فيه تيار متساوب جيئ فيولد هذا التيار حقلًا مغناطيسيًا متساوباً ينتشر نحو الخارج وتمرور التيار المتساوب خلال قاعدة الإناء المصنوع من المعدن تتولد تيارات فوكو في قاعدة الإناء المعدني فتسخن قاعدته، ويفلي الماء داخل الإناء، ومن الملاحظ أنه إذا لمسنا السطح العلوى للطباخ لا نشعر بسخونة السطح.

## تعلمتُ

- **قانون فارداي:** يتولد تيار متحرج في دارة مغلقة إذا تغير التدفق المغناطيسي الذي يجتازها ويدوم هذا التيار بدوام تغيير التدفق ليعدم عند ثبات التدفق المغناطيسي المحرّض.

- **قانون لنز:** إن جهة التيار المتحرّض في دارة مغلقة تكون بحيث ينتج أفعالاً تعاكس السبب الذي أدى إلى حدوثه.

تناسب القوة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة  $\propto$ :

a. طرداً مع تغيير التدفق المغناطيسي المحرّض  $d\Phi/dt$ .

b. عكساً مع زمن تغيير التدفق المغناطيسي المحرّض  $dt$ .

نعتبر رياضياً عن قانون فارداي بالعلاقة الآتية:  $\frac{d\Phi}{dt} = -\epsilon$  حيث تعبر إشارة (-) عن قانون لنز.

- في تجربة السكين التحريرية يتولد التيار الكهربائي المتحرّض نتيجة حركة الإلكترونات الحرة بتأثير القوة المغناطيسية عبر الدارة المغلقة مما يسبب مرور تيار كهربائي متحرج، جهته الاصطلاحية بعكس جهة حركة الإلكترونات الحرة؛ أي بعكس جهة القوة المغناطيسية، وهذا ما يتفق مع قانون لنز.

إذا كانت الدارة مفتوحة: تنتقل الإلكترونات الحرة بتأثير القوة المغناطيسية من أحد طرفي الساق الذي يكتسب شحنة موجبة وتتراكم في الطرف الآخر الذي يكتسب شحنة سالبة فتشكل بين طرفي الساق فرقاً في الكمون يمثل القوة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة  $U_{ab} = \epsilon$

- **مبدأ المولد:** يحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائية، وتكون الاستطاعة الميكانيكية متساوية للاستطاعة الكهربائية.
- **مبدأ المحرك:** يحول الطاقة الكهربائية إلى الطاقة الميكانيكية.
- **مولد التيار المتساوب الجيبي:** يعتمد على دوران دارة كهربائية مغلقة ضمن حقل مغناطيسي.
- **نسمى تلك التيارات التحريرية المترولة في الكتل المعدنية التي تخضع لتذبذب مغناطيسي متغير بتقنيات فوكو.**

$$\bar{\varepsilon} = -L \frac{di}{dt}$$

حيث  $L$  : ذاتية الوشيعة وحدة قياسها (هنري) وتعطى بالعلاقة:

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{\ell}$$

الطاقة الكهربائية المختزنة في الوشيعة:

$$E_L = \frac{1}{2} L I^2 = \frac{1}{2} \Phi I$$

### أختبر نفسك



أولاً: اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. وشيعة طولها  $l = 10\text{cm}$  ، وطول سلكها  $l' = 10\text{m}$  ، فقيمة ذاتيتها:

$10^{-7}\text{H . d}$        $10^{-3}\text{H . c}$        $10^{-5}\text{H . b}$        $10^{-4}\text{H . a}$

2. في تجربة السكتين التحريرية حيث الدارة مغلقة تكون القيمة المطلقة لشدة التيار المترجل:

$-\frac{BLv}{R} . d$        $0 . c$        $\frac{BLv}{R} . b$        $BLv . a$

ثانياً: ماذا تتوقع أن يحدث في كل من الحالات الآتية معللاً إجابتك:

1. في تجربة السكتين التحريرية حيث الدارة مغلقة، نزيد سرعة تدحرج الساق على السكتين.
2. تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من أحد وجهي وشيعة يتصل طرفاها ببعضهما بعضاً.
3. تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من أحد وجهي حلقة نحاسية دارتها مفتوحة.

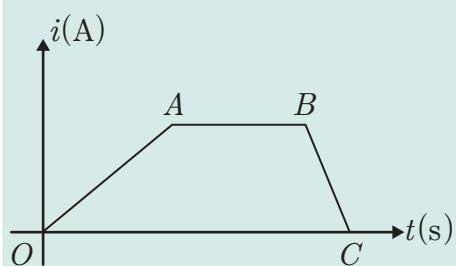
### ثالثاً: أجب عن الأسئلة الآتية:

1. ملْفانِ مُتقابلانِ الأوَّلُ موصولٌ إلى بيلٍ كهربائيٍّ والثاني إلى مصباحٍ، هل يضيء المصباحُ إذا كان الملفانِ ساكنَين؟ في حال النفي ماذا نفعلُ لضيئه المصباحُ؟ ولماذا؟

2. في تجربة الساق المتحرّكة بوجود الحقل المغناطيسي المُتوسّط في دائرة مفتوحة، تراكم الشحنات الموجبة في طرفِ الشحنات السالبة في طرفٍ آخر، ويستمر التراكم إلى أن يصل إلى قيمةٍ حدّيَّةٍ يتوقفُ عندها فسْرُ ذلك.

3. يبيَّن الخطُّ البيانيُّ المرسومُ جانباً تغييراتِ تيارِ المولَدِ المازِّ في الوشيعة في حادثة التحرير الذاتي.

- ما زالت كلُّ من المراحل  $(BC, AB, OA)$ .



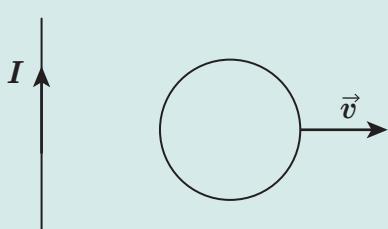
- أيهما أكبر، القوَّةُ المُحرِّكةُ الكهربائيةُ المتحرّضةُ عند إغلاق الدارة أم عند فتحها.
- في أيِّ المراحل ترداد الطاقةُ الكهرومغناطيسيةُ المختزنةُ في الوشيعة؟ وفي أيِّ المراحل تتناقصُ الطاقةُ الكهرومغناطيسيةُ المختزنةُ في الوشيعة.

4. وشيعةٌ يمرُّ فيها تيارٌ كهربائيٌّ متغيرٌ شدتهُ :

- اكتُب عبارةً شدَّةَ الحقلِ المغناطيسيِّ المُتوسَّطِ داخلاً لها نتيجةً مرورِ التيار.
- اكتُب عبارةً التدفقُ المغناطيسيِّ للحقلِ المغناطيسيِّ.

c. استنتِج العلاقةُ المُحدَّدةُ لقيمة الجريمة للقوَّةِ المُحرِّكةِ الكهربائيةِ المتحرّضةِ الآتيةِ المتحرّضةُ فيها موضحاً متى تنعدمُ قيمةُ هذهِ القوَّة.

5. في الشكلِ المجاورِ ملْفٌ دائريٌّ نحرَّكُه بسرعةٍ ثابتةٍ  $\vec{v}$  عموديَّةً على السُّلكِ المستقيمِ المطلوبِ:



- حدُّد على الرسمِ جهةَ الحقلِ المغناطيسيِّ المُتوسَّطِ عن مرورِ التيار الكهربائيِّ في السُّلكِ المستقيمِ عندِ مركزِ الملفِ الدائريِّ.

- حدُّد على الرسمِ جهةَ الحقلِ المغناطيسيِّ المتحرّضِ المُتوسَّطِ في الملفِ، وجهةَ التيارِ الكهربائيِّ المتحرّضِ.

c. صِفْ ما يحدثُ إذا أوقفنا الملفَ عن الحركةِ، معللاً إجابتك؟

### رابعاً: حل المسائل الآتية:

#### المُسألة الأولى:

ملفٌ دائريٌّ، يتَّلَّفُ من 100 لفةٍ مُتماثلة، نصفُ قطره الوسطيّ  $4\text{ cm}$ ، نصلُ طرفيه بمقاييسِ مليٍّ أمبير موصولاً على التسلسل مع مقاومةً أومية قيمتها  $20\Omega$ ، نقربُ من أحدِ وجهي الملفِ القطبَ الشمالي لمغناطيسِ مستقيمٍ وفق محوره، فتردادُ شدَّةَ الحقلِ المغناطيسيِّ الذي يخترقُ لفَّاتِ الملفِ الدائريِّ بانتظامٍ من الصفر إلى  $0.08\text{ T}$  خلالَ  $2\text{ s}$ .

### المطلوب:

1. احسب قيمة القوة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة المُتولّدة في الملف الدائري محدّداً جهة التيار الكهربائي المتحرّض.
2. ما نوع الوجه المقابل للقطب الشمالي؟
3. احسب شدّة التيار المارة في الملف.
4. احسب الاستطاعة الكهربائية المُتولّدة عن الملف الدائري، ثم الاستطاعة الحرارية المصروفة في المقاومة الأوّمية، ماذا تستنتج. (نهمّل تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)

### المسألة الثانية:

1. لدينا وشيعة، طولها 30cm، قطرها 4cm، تحوي 1200 لفة، نمرّر فيها تياراً شدّته 4A. احسب شدّة الحقل المغناطيسي في مركز الوشيعة.
2. نلف حوال القسم المتوسط من الوشيعة ملفاً يحوي 100 لفة معزولة، ونصل طرفيه بمقاييس غلفاني، بحيث تكون المقاومة الكلية للدارة الجديدة  $\Omega = 16$ . ما دلالة المقياس عند قطع التيار عن الوشيعة خلال 0.5s تتناقض فيها الشدّة بانتظام؟ (نهمّل تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)

### المسألة الثالثة:

- في تجربة السكّتين الكهروطيسية يبلغ طول الساق التّحاسية المستندة عمودياً عليهما 30cm وكتلتها 60g.
- ### المطلوب:

1. احسب شدّة الحقل المغناطيسي المنتظم المؤثرة عمودياً في السكّتين لتكون شدّة القوة الكهروطيسية متساويةٍ مثليٍ تقل الساق، وذلك عند إمرار تيار كهربائي شدّته 20 A.
2. احسب عمل القوة الكهروطيسية المؤثرة في الساق إذا تدرّجت بسرعة ثابتة قدرها  $0.4 \text{ ms}^{-1}$  لمدة ثانية.
3. نرفع المولّد من الدارة السابقة، ونستبدلُه بمقاييس غلفاني، وندحرج الساق بسرعة وسطية ثابتة  $5 \text{ ms}^{-1}$  ضمن الحقل السابق. استنتاج عباره القوة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة، ثم احسب قيمتها، واحسب شدّة التيار المتحرّض بافتراض أن المقاومة الكلية للدارة ثابتة وتساوي  $5\Omega$ ، ثم ارسم شكلاً توضيحيّاً بيّن جهة كلٌ من  $(\vec{v}, \vec{B})$  وجهاً التيار المتحرّض.
4. احسب الاستطاعة الكهربائية الناتجة، ثم احسب شدّة القوة الكهروطيسية المؤثرة في الساق في أثناء تدرّجها. (نهمّل تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)  $(g = 10 \text{ m.s}^{-2})$

### المسألة الرابعة:

- سكتانٌ نحاسيٌ متوازيٌتان، تميل كلٌ منها على الأفق بزاوية  $45^\circ$ ، تستندُ إليهما ساقٌ نحاسي طولها  $l = 40\text{cm}$ ، تخضع بكميلها لتأثير حقل مغناطيسيٍ منتظمٍ شاقوليٍ شدّته  $0.8\text{T}$ ، تغلق الدارة ثم تترك لتنزلق دون احتكاكٍ بسرعةٍ ثابتة، قيمتها  $2\text{ms}^{-1}$ .

المطلوب:

1. بين أنه تنشأ قوة كهرومغناطيسية تعيق حركة الساق.
2. استنتج العلاقة المحددة للمقاومة الكلية للدارة، ثم احسب قيمتها إذا كانت شدة التيار المتحرّض المُولّد فيها  $\sqrt{2}A$ .
3. استنتاج العلاقة المحددة لكتلة الساق، ثم احسب قيمتها.

المسألة الخامسة:

إطار مربع الشكل طول ضلعه  $4\text{ cm}$ ، مؤلف من 100 لفة متماثلة من سلكٍ نحاسي معزول، ندير الإطار حول محور شاقولي مارً من مرکزه ومن ضلعين أفقين متقابلين بحركة دائريّة منتظمّة تقابل  $\frac{10}{\pi}\text{ Hz}$  ضمن حقل مغناطيسي منتظمٌ أفقى شدته  $T = 10^{-2} \times 5$ ، خطوطه نظاميّة على سطح الإطار قبل الدوران حيث الدارة معلقة ومقاومة متها  $R = 4\Omega$ .

المطلوب:

1. اكتب التابع الزمني للقوة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة الآنية الناشئة في الإطار.
2. عين اللحظتين الأولى والثانية التي تكون فيها قيمة القوة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة الآنية الناشئة معدومةً.
3. اكتب التابع الزمني للتيار الكهربائي المتحرّض اللحظي المار في الإطار. (نهمّل تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)

## تفكير ناقد

تعطى القوة المحرّكة الكهربائية المتحرّضة الذاتية بالعلاقة:  $\epsilon = -L \frac{di}{dt}$  ناقش علاقة  $\epsilon$  في كلٍ من الحالتين الآتتين موضحاً جهة التيار المتحرّض:

1. عندما تزداد شدة التيار المحرّض المار في الوشيعة.
2. عندما تتناقص شدة التيار المحرّض المار في الوشيعة.

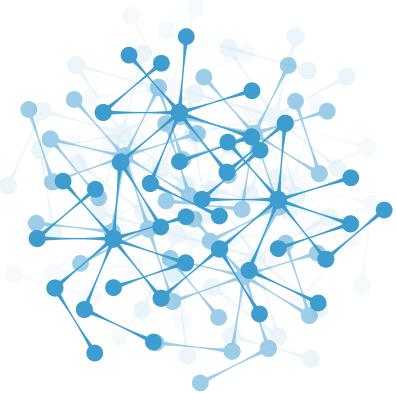
## أبحث أكثر



- تستثمر تيارات فوكو في تطبيقاتٍ حياتيةٍ كثيرةٍ ومتعددةٍ، ابحث في طريقة استخدام تيارات فوكو في مكافحة بعض القطارات الحديثة، وفي الأجهزة المستخدمة للكشف عن المعادن في نقاط التفتيش الأمنية ولا سيما في المطارات.
- تستثمر بعض الطائرات التيارات الكهربائية المتحرّضة في دارتها الكهربائية على إبقاء محرّكها في حالة عملٍ حتى لو حدث عطلٍ في أي نظامٍ كهربائيٍ فيها، كيف يتم ذلك؟

# 4

## الاهتزازات الكهربائية الحرّة الدّارات المُهتزّة والتيارات عاليّة التّوافر



هل تسائلت يوماً لماذا لا تتأثّر أجسامنا بأمواج الإذاعة والتّلفزيون؟  
كيف يصلُ هذا الإرسال إلى الأماكن البعيدة؟

### الأهداف:

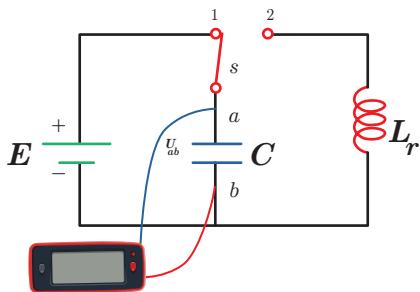
- \* يتعرّفُ الدّارة المُهتزّة.
- \* يقومُ بتجارب على الدّارات المُهتزّة.
- \* يستنتجُ علاقات التّقريغ المُهتزّ.
- \* يتعرّفُ على التّيارات عاليّة التّوافر: توليدتها و خواصها وتطبيقاتها.

### الكلمات المفتاحية:

- \* الدّارة المُهتزّة.
- \* التقريغ المُهتزّ.
- \* دور التقريغ.
- \* التّيارات العاليّة التّوافر.
- \* التّيارات المنخفضة التّوافر.

## دَارَةُ الْاهْتِرَازِ الْكَهْرَبَائِيِّ:

### نِشَاطٌ:



نَشَكَّلُ دَارَةً مِنْ مُولَّدٍ قُوَّتُهُ الْمُحْرِكَةُ الْكَهْرَبَائِيَّةُ  $E$ ، وَمُكْتَفَّةً سُعُّتُهَا  $C$ ، وَوَشِيعَةً ذَاتِيَّتُهَا  $r$  صَغِيرَةً، وَقَاطِعَةً دَوَّارَةً  $S$ ، كَمَا فِي الشَّكْلِ، وَنَصَلُ لِبُوسَيِّ الْمُكْتَفَّةِ بِرَاسِمِ اهْتِرَازٍ مَهْبِطِيٍّ.

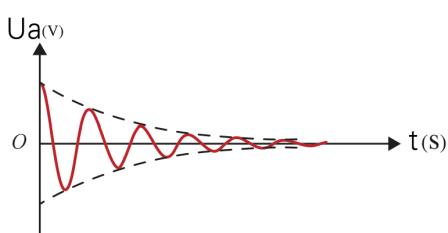
1. أَفْسُرُ مَاذَا يَحْدُثُ لِلْمُكْتَفَّةِ عِنْدَمَا نَصَلُ الْقَاطِعَةَ الدَّوَارَةَ إِلَى الْوَضْعِ (1)؟

2. أَفْسُرُ مَاذَا يَحْدُثُ لِلْمُكْتَفَّةِ عِنْدَمَا نَصَلُ الْقَاطِعَةَ الدَّوَارَةَ إِلَى الْوَضْعِ (2)؟

3. نَصَلُ مَعَ الْوَشِيعَةِ وَعَلَى التَّسْلِسُلِ مُقاومَةً مُتَغَيِّرَةً، وَنَزِيدُ تدريجيًّا قِيمَةَ الْمُقاومَةِ، مَاذَا يَظْهُرُ عَلَى الشَّاشَةِ؟ وَلِمَاذَا؟

4. هَلْ يَمْكُنُ أَنْ يَظْهُرَ عَلَى الرَّاسِمِ مُنْحَنٍ جِيَّبيٍّ، اقتُرَخْ طَرِيقَةً لِتَحْقِيقِ ذَلِكَ؟

### النَّتَائِجُ:

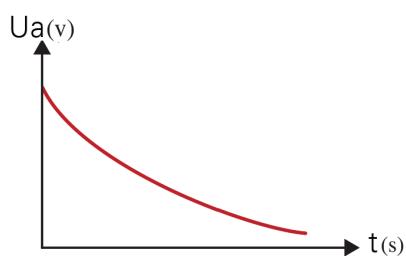


- ثَشَحَنُ الْمُكْتَفَّةُ عِنْدَمَا تَلَامَسَ الْقَاطِعَةُ الدَّوَارَةُ الْوَضْعَ (1) فَتَخَتَّزَنُ طَاقَةُ كَهْرَبَائِيَّةً.

- تَفَرَّغَ شَحْنَةُ الْمُكْتَفَّةِ عَبَرَ الْوَشِيعَةَ، عِنْدَمَا تَلَامَسَ الْقَاطِعَةُ الْوَضْعَ (2).

• يَظْهُرُ عَلَى شَاشَةِ رَاسِمِ الْاهْتِرَازِ الْمُنْحَنِيِّ الْبَيَانِيِّ لِلتَّوْتُرِ بَيْنَ طَرَفِيِّ الْمُكْتَفَّةِ بِدَلَالَةِ الزَّمْنِ فِي أَثْنَاءِ تَفَرِّيغِ شَحْنِهَا عَلَى شَكْلِ تَفَرِّيغِ دُورِيِّ مُتَنَاوِبٍ مُتَخَامِدٍ تَنَاقُصُ فِيهِ سَعَةُ الْاهْتِرَازِ حَتَّى تَبْلُغُ الصَّفَرَ، لَذَا نَقُولُ إِنَّ الْاهْتِرَازَاتِ الْحَاصِلَةَ هِيَ اهْتِرَازَاتٍ حَرَّةٍ مُتَخَامِدَةٍ؛ لَاَنَّهَا لَا تَتَلَقَّى طَاقَةً مِنَ الْمُولَّدِ.

• نَسَمِيُّ الدَّارَةِ الْمُؤَلَّفَةِ مِنْ مُكْتَفَّةً، وَوَشِيعَةً ذاتِيَّةً مُتَغَيِّرَةً، وَمُقاومَةً الصَّغِيرَةَ بِالدَّارَةِ الْمُهَتَّزَةِ الْحَرَّةِ الْمُتَخَامِدَةِ، وَيَكُونُ زَمْنُ الْاهْتِرَازِ  $T_0$  ثَابِتاً، وَبِمَا أَنَّ سَعَةَ الْاهْتِرَازِ مُتَنَاقِصَةٌ نَسَمِيُّ هَذَا الزَّمْنِ بِشَبَهِ الدَّورِ.



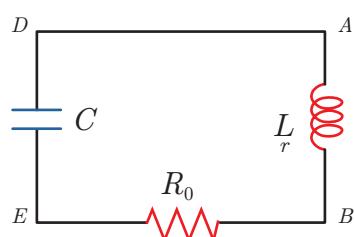
- عِنْدَمَا نَصَلُ مَعَ الْوَشِيعَةِ فِي دَارَةِ الْاهْتِرَازِ الْكَهْرَبَائِيِّ عَلَى التَّسْلِسُلِ مُقاومَةً مُتَغَيِّرَةً، نَجُدُ أَنَّهُ كَلَمَا زَدَنَا قِيمَةَ الْمُقاومَةِ أَصْبَحَ تَخَامِدُ الْاهْتِرَازِ أَشَدَّ، وَإِذَا بَلَغَتِ الْمُقاومَةُ قِيمَةً كَبِيرَةً يَظْهُرُ عَلَى شَاشَةِ الرَّاسِمِ الْمُنْحَنِيِّ الْبَيَانِيِّ الْمُوَضَّحِ فِي الشَّكْلِ جَانِبًاً، حِيثُ التَّفَرِّيغُ لَا دُورِيًّا بِاتِّجَاهٍ وَاحِدٍ

إِذَا فِي الدَّارَةِ  $C, L, R$ :

1. الْمُقاومَةُ كَبِيرَةٌ بِشَكْلِ كَافِيٍّ يَكُونُ التَّفَرِّيغُ لَا دُورِيًّا بِاتِّجَاهٍ وَاحِدٍ.
2. الْمُقاومَةُ صَغِيرَةٌ يَكُونُ التَّفَرِّيغُ دُورِيًّا مُتَخَامِدًا بِاتِّجَاهَيْنِ شَبَهِ الدَّورِ  $T_0$ .
3. إِذَا أَهْمَلْنَا الْمُقاومَاتِ يَصْبُحُ التَّفَرِّيغُ جِيَّبيًّا، سَعَةُ الْاهْتِرَازِ فِيهِ ثَابِتاً، وَدُورُهُ الْخَاصُّ  $T_0$  وَهَذِهِ حَالَةٌ مُثَالَّةٌ لَا تَتَحَقَّقُ عَمَلِيًّا إِلَّا إِذَا عَوْضَنَا الطَّاقَاتِ الضَّائِعَةِ.

## الدراسة التحليلية للدارة : $C, L, R$

المعادلة التفاضلية للدارة:



نشكل دارة كهربائية تحتوي على التسلسل وشيعة  $(L, r)$ ، ومكثفة مشحونة سعتها  $C$ ، ومقاومة  $R_0$  كما في الشكل، اكتب عبارات التوتر بين طرفي كل جزء في الدارة، ثم استنتج المعادلة التي تصف اهتزاز الشحنة فيها؟  
نختار اتجاهًا موجباً للتيار الكهربائي فيكون:

$$\bar{u}_{AB} + \bar{u}_{BE} + \bar{u}_{ED} + \bar{u}_{DA} = 0$$

ولكن:  $u_{DA} = 0$  لإهمال مقاومة أسلك التوصيل.

$$\text{التوتر بين طرفي المكثفة: } \bar{u}_{ED} = \frac{q}{C}$$

$$\text{التوتر بين طرفي المقاومة: } \bar{u}_{BE} = R_0 \bar{i}$$

$$\text{التوتر بين طرفي الوشيعة: } \bar{u}_{AB} = L(\bar{i})'_t + r\bar{i}$$

نعرض:

$$L(\bar{i})'_t + r\bar{i} + R_0 \bar{i} + \frac{q}{C} = 0$$

باعتبار:

$$R = R_0 + r, \bar{i} = (\bar{q})'_t$$

نجد:

$$L(\bar{q})''_t + R(\bar{q})'_t + \frac{1}{C}\bar{q} = 0$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية تصف اهتزاز الشحنة الكهربائية في دارة كهربائية تحتوي على  $C, L, R$ .

## الاهتزاز الحرّ في الدارة الكهربائية ( $L, C$ ):

يمكن إيجاد المعادلة التفاضلية في دارة مهتررة  $(L, C)$  بتعويض  $R = 0$  نجد:

$$L(\bar{q})''_t + \frac{1}{C}\bar{q} = 0$$

$$(\bar{q})''_t = -\frac{1}{LC}\bar{q}$$

وهي معادلة تفاضلية من المرتبة الثانية بالنسبة لـ  $\bar{q}$  تقبل حلاً جيئاً من الشكل:

$$\bar{q} = q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

حيث:  $q_{\max}$ : الشحنة العظمى للمكثفة.

$\omega_0$ : التبضُّعُ المُخَاصِّ.

$\varphi$ : الطور الابتدائي في اللحظة  $t = 0$ .

$(\omega_0 t + \varphi)$ : طور الحركة في اللحظة  $t$ .

## عبارة الدور الداخلي للاهتزازات الحرية غير المُتداخلة :

نشتق تابع الشحنة مررتين بالنسبة لـ  $\omega_0 t$  من نجد:

$$(\bar{q})' = -\omega_0 q_{\max} \sin(\omega_0 t + \varphi)$$

$$(\bar{q})'' = -\omega_0^2 q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

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

بالموازنة مع المعادلة:

نجد:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

ولكن:  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$

ن忧رض فنجد:  $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$

وهي عباره الدور الخاص للاهتزازات الكهربائية الحرية غير المُتداخلة وتسماى علاقه طومسون.

حيث:

$T_0$  دور الاهتزازات الكهربائية ويقدر بالثانية s في الجملة الدولية.

$L$  ذاتية الوشيعة وتقدر بوحدة الهنري H في الجملة الدولية.

$C$  سعة المكثفة وحدتها في الجملة الدولية الفاراد F.

## عبارة شدة التيار الكهربائي في الدارة المفتوحة :

تتألف داره اهتزاز كهربائي من مكثف مشحونة، ووشيعة مهممه المقاومة، نغلق الدارة. المطلوب:

1. اكتب تابع الشحنة بشكله العام، وكيف يصبح تابع الشحنة، وتتابع شدة التيار المار في الدارة باعتبار مبدأ الزمان لحظة إغلاق الدارة.

2. ارسم المحننات البيانية لكل من الشحنة والشدة بدلاً من الزمان، ماذا تستنتج؟

1. يعطى تابع الشحنة بالعلاقة:

$$\bar{q} = q_{\max} \cos(\omega_0 t + \varphi)$$

بما أن مبدأ الزمان لحظة إغلاق الدارة فإن  $\varphi = 0$  وبالتالي:

$$\bar{q} = q_{\max} \cos \omega_0 t$$

وهو تابع الشحنة بشكله المختزل.

إن تابع الشدة هو مشتق تابع الشحنة بالنسبة للزمان، أي:

$$\bar{i} = (\bar{q})'$$

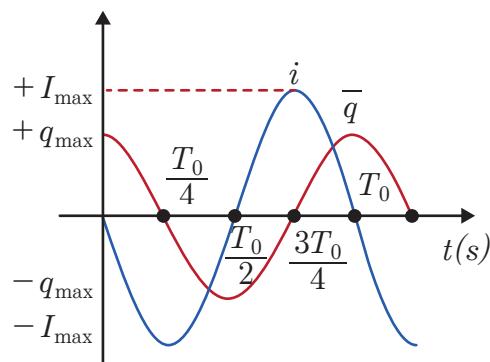
$$\bar{i} = -\omega_0 q_{\max} \sin \omega_0 t$$

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

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

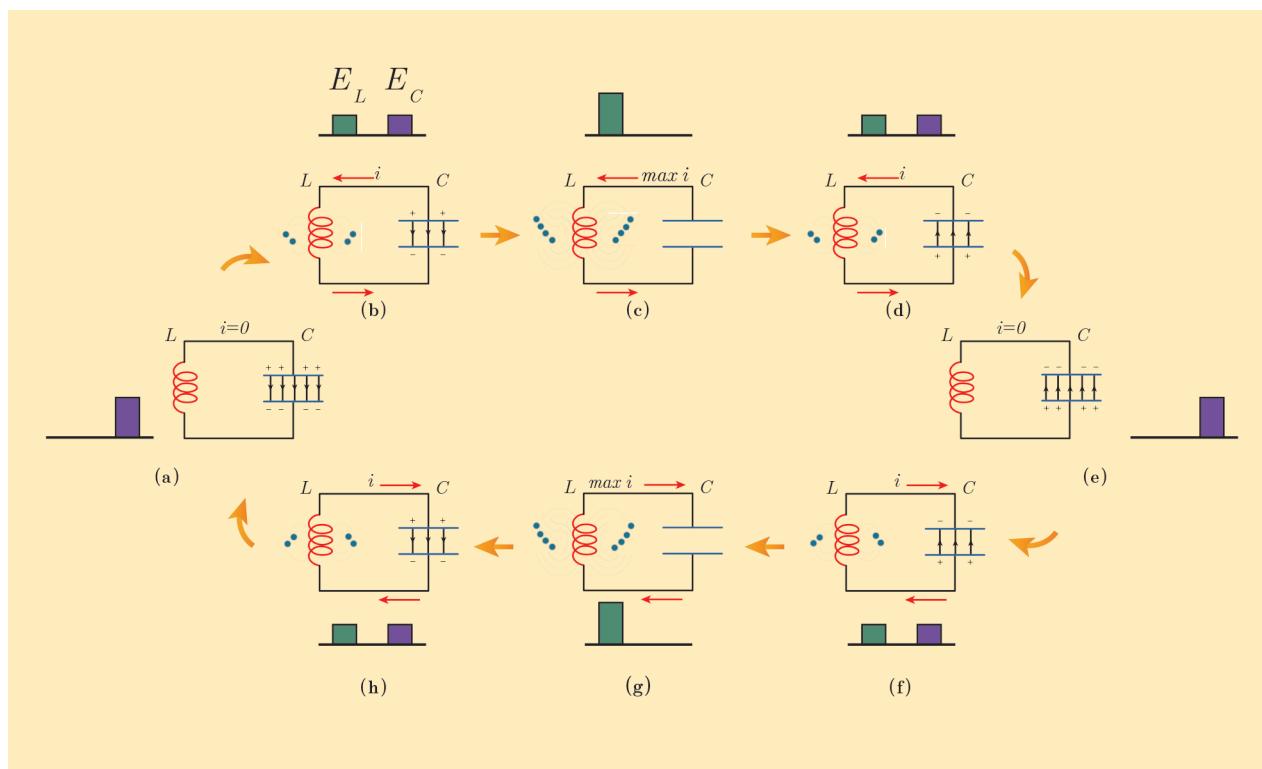
وهو تابع شدة التيار.

2. بِمُقَارَنَةِ تَابِعِ الشَّدَّةِ مَعَ تَابِعِ الشَّحْنَةِ نَلَاحِظُ أَنَّهُ عَلَى تَرَابِعِ مُتَقَدِّمٍ بِالطَّورِ عَلَى تَابِعِ الشَّحْنَةِ.  
انْظُرْ إِلَى الرَّسَمِ الْبَيَانِيِّ لِلتَّابِعَيْنِ (الشَّحْنَةِ وَالشَّدَّةِ بِدَلَالَةِ الزَّمْنِ) وَاسْتَنْتَجْ:



- عَنْدَمَا تَكُونُ شَحْنَةُ الْمُكْتَفَةِ عَظِيمًا تَنْدَمُ شَدَّةُ التَّيَارِ فِي الْوَشِيعَةِ.
- عَنْدَمَا تَكُونُ الشَّدَّةُ عَظِيمًا فِي الْوَشِيعَةِ تَنْدَمُ شَحْنَةُ الْمُكْتَفَةِ.
- تَابِعُ الشَّدَّةِ عَلَى تَرَابِعِ مُتَقَدِّمٍ بِالطَّورِ مَعَ تَابِعِ الشَّحْنَةِ.

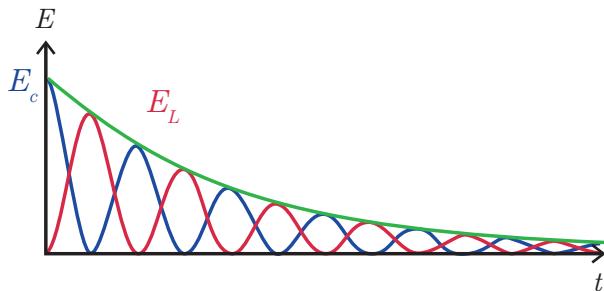
## الطاقة في الدارة الكهربائية المفتوحة: تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيعة



## كيف يتم تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيعة في الدارة المهتزة؟

تبدأ المكثفة بتغريغ شحتها في الوشيعة فيزداد تيار الوشيعة ببطء حتى يصل إلى قيمة عظمى نهاية ربع الدور الأول من التغريغ عندما تفقد المكثفة كامل شحتها فتحزن طاقة كهرطيسية عظمى  $E_L = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$ . ثم يقوم تيار الوشيعة بشحن المكثفة حتى يصبح تيارها معديماً، وتتصبح شحنة المكثفة عظمى، فتحزن المكثفة طاقة كهربائية عظمى  $E_c = \frac{1}{2} \frac{q_{\max}^2}{C}$ ، وهذا يتحقق في نهاية نصف الدور الأول.

- أمّا في نصف الدور الثاني: تكسر عمليات الشحن والتغريغ في الاتجاه المعاكس نظراً للتغيير شحنة البوسين، وهكذا يتم تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيعة.
- عندما تكون مقاومة الوشيعة صغيرة فإن الطاقة تتبدل تدريجياً على شكل طاقة حرارية بفعل جول مما يؤدي إلى تخاذل الاهتزاز.



- عند وجود مقاومة كبيرة في الدارة فإن الطاقة التي تعطيها المكثفة إلى الوشيعة والمقاومة تحول إلى حرارة بفعل جول في المقاومة، ونسمى عند التغريغ لا دورياً حيث تتبدل طاقة المكثفة بالكامل دفعاً واحدة في أثناء تغريغ شحتها الأولى عبر الوشيعة ومقاومة الدارة.

## الطاقة الكلية في الدارة المهتزة ( $L, C$ ) :

الطاقة الكلية في دارة مهتزة هي مجموع طاقة المكثفة وطاقة الوشيعة.  
الطاقة الكهربائية المختزنة في المكثفة  $E_c = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$

$$E_L = \frac{1}{2} L i^2 \quad \text{الطاقة الكهرطيسية المختزنة في الوشيعة.}$$

الطاقة الكلية في الدارة المهتزة تساوي مجموع هاتين الطارقتين أي:  $E = E_c + E_L$

$$E = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + \frac{1}{2} L i^2 \quad \text{نفرض}$$

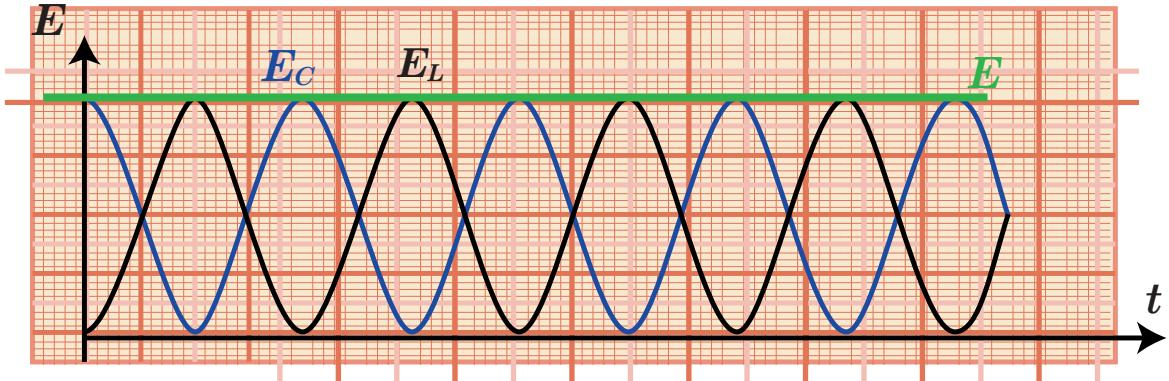
$$\begin{aligned} q &= q_{\max} \cos(\omega_0 t) \\ i &= -\omega_0 q_{\max} \sin(\omega_0 t) \end{aligned} \quad \text{ولكن}$$

$$E = \frac{1}{2} \frac{q_{\max}^2}{C} \cos^2(\omega_0 t) + \frac{1}{2} L \omega_0^2 q_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t) \quad \text{نفرض نجد.}$$

$$\begin{aligned} \omega_0^2 &= \frac{1}{LC} \quad \text{ولكن:} \\ E &= \frac{1}{2} \frac{q_{\max}^2}{C} = \text{const} \quad \text{بالتعويض والاختصار نجد:} \end{aligned}$$

$$E = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$$

وبالطريقة نفسها نصل إلى العلاقة:



إن الطاقة الكلية لدارة تحتوي مكثفة ذاتية صرفة (ليس لها مقاومة) ثابتة وتساوي الطاقة العظمى للمكثفة المشحونة أو تساوى الطاقة العظمى للوشيعة؛ أي أنه في دارة مهتررة في أثناء الفريغ تحول الطاقة بشكل دوري من طاقة كهربائية في المكثفة إلى طاقة كهرطيسية في الوشيعة وبالعكس، ولكن المجموع يبقى ثابتاً.

**النتيجة:**

- الطاقة الكلية للدارة المهتررة ( $L, C$ ) مقدار ثابت في كل لحظة وتمثل بخط مستقيم يوازي محور الزمان.

### مسألة محلولة:

نشحن مكثفة سعتها  $C = 1 \mu F$  تحت توتر كهربائي  $U_{ab} = 100 V$ ، 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:

$$\begin{aligned} q_{\max} &= C U_{\max} \\ q_{\max} &= 1 \times 10^{-6} \times 100 \\ q_{\max} &= 1 \times 10^{-4} C \end{aligned}$$

2. حساب الطاقة الكهربائية المختزنة:

$$\begin{aligned} E &= \frac{1}{2} C U_{\max}^2 \\ E &= \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-6} \times (100)^2 \\ E &= 5 \times 10^{-3} J \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_0 &= 2\pi\sqrt{LC} \\T_0 &= 2\pi\sqrt{10^{-3} \times 1 \times 10^{-6}} \\T_0 &\simeq 2 \times 10^{-4} \text{ s} \\f_0 &= \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2 \times 10^{-4}} = 5000 \text{ Hz}\end{aligned}$$

4. حساب شدة التيار الأعظمي: من التابع الزمني للشدة اللحظية:

$$\begin{aligned}\bar{i} &= \omega_0 q_{\max} \cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2}) \\I_{\max} &= \omega_0 q_{\max} \\I_{\max} &= 2\pi f_0 q_{\max} \\I_{\max} &= 2\pi \times 5000 \times 10^{-4} \\I_{\max} &= \pi A\end{aligned}$$

## التيار عالي التواتر: نشاط:

تتألف دارة اهتزاز كهربائي عالي التواتر من مكثفة صغيرة من رتبة  $F^{-8}$ ، موصولة مع وشيعة مهملة المقاومة ذاتها صغيرة من رتبة  $H^{-4}$ :  
احسب دور التفريغ وتواتره، ماذا نسمى التيار الموافق لهذا التواتر؟

$$\begin{aligned}T_0 &= 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{10^{-8} \times 10^{-6}} \\T_0 &= 2\pi \times 10^{-6} \text{ s} \\f_0 &= \frac{1}{T_0} \\f_0 &= \frac{1}{2\pi \times 10^{-6}} \\f_0 &= \frac{1}{2\pi} \times 10^6 \text{ Hz}\end{aligned}$$

نحصل على تيار عالي التواتر.

## خواص التيار عالي التواتر:

### 1. تُبدي الوشيعة ممانعة كبيرة للتيارات عالي التواتر:

عند تمرير تيار عالي التواتر في دائرة وشيعة، فإن الوشيعة تُبدي ممانعة كبيرة لهذا التيار. تعطى العلاقة التي تمثل ممانعة الوشيعة بالشكل:

$$Z_L = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$$

إذا كانت  $r$  مهملاً تؤول الممانعة إلى ردية الوشيعة:

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

إن الممانعة تتناسب طرداً مع تواتر التيار، وفي حالة التيار عالي التواتر فإن ممانعة الوشيعة تكون كبيرة جداً.

النتيجة:

- تُبدي الوشيعة ممانعة كبيرة جداً للتيارات عالي التواتر فيمُر فيها تيار شدته المُنتجة ضعيفة جداً.

### 2. تُبدي المكثفة ممانعة صغيرة للتيارات عالي التواتر:

تعطى 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 جداً في التيار عالي التواتر لذلك تُبدي المكثفة سهولة لمرور هذه التيارات.

النتيجة:

- تُبدي المكثفة ممانعة صغيرة جداً للتيارات عالي التواتر فيمُر فيها تيار شدته المُنتجة كبيرة.

## تعلّمتُ

- نسمى الدارة المُؤلَّفة من مكثفه وشيعة ذات المقاومة الصغيرة بالدارة المُهتَزَّة الحرة المُتَخَامِدَه، والاهتزاز هنا للإلكترونات الحرة في الدارة والذي ينتج عن تغيرات دورية في التوتر والتيار، ويكون زمن الاهتزاز  $T_0$  ثابتاً، وبما أن سعة الاهتزاز مُتَاقِصَه لذلِك نسمى هذا الزَّمْنُ بشِبَهِ الدَّور.
- في الدارة  $C, L, R$ :
  - المقاومة كبيرة بشكل كافٍ يكون التفريغ لا دورياً باتجاه واحد.
  - المقاومة صغيرة يكون التفريغ دورياً مُتَخَامِداً باتجاهين شبه الدور  $T_0$ .
  - إذا أهملنا المقاومات، أو عَوْضَنَا عن العلاقات الضائعة يصبح التفريغ جيئاً، سعة الاهتزاز فيه ثابتة ودوره الخاص  $T_0$ ، وهذه حالة مثالية.
- عبارة الدور الخاص للاهتزازات الكهربائية الحرة غير مُتَخَامِدَه وُتُسَمَّى علاقه طومسون.

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$

- الطاقة الكلية في الدارة المُهتَزَّة  $(L, C)$ :

$$E = \frac{1}{2} \frac{q_{\max}^2}{C}$$
$$E = \frac{1}{2} L I_{\max}^2$$

- تُبدي الوشيعة ممانعة كبيرة جداً للتغيرات عالية التواتر فيمُر فيها تيار شدته المُنْتَجَة ضعيفة جداً.
- تُبدي المكثفه ممانعة صغيرة جداً للتغيرات عالية التواتر فيمُر فيها تيار شدته المُنْتَجَة كبيرة.

## أختبر نفسِي



أولاً: اختر الإجابة الصحيحة:

1. تتألف دارة مُهتَزَّة من مكثفه سعتها  $C$ ، وشيعة ذاتها  $L$ ، دورها الخاص  $T_0$ ، استبدل المكثفه  $C$  بمكثفه أخرى سعتها  $C'$ ،  $C' = 2C$ ، يصبح دورها الخاص  $T'_0$ ، فتكون العلاقة بين الدورين:

$$T'_0 = 2T_0 \cdot d \quad T_0 = 2T'_0 \cdot c \quad T_0 = \sqrt{2} T'_0 \cdot b \quad T'_0 = \sqrt{2} T_0 \cdot a$$

2. تتألف دارة مُهتَزَّة من مكثفه، سعتها  $C$ ، ذاتية  $L$ ، ودورها الخاص  $f_0$ ، نستبدل الذاتية بذاتية أخرى بحيث  $L' = 2L$ ، والمكثفه بمكثفه أخرى سعتها  $C' = \frac{C}{2}$ ، فيصبح دورها الخاص:

$$f'_0 = \frac{1}{4} f_0 \cdot d \quad f'_0 = \frac{1}{2} f_0 \cdot c \quad f'_0 = 2 f_0 \cdot b \quad f'_0 = f_0 \cdot a$$

**ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية:**

1. تتألف دارة من مقاومة أومية ومكثفة فهل يمكن اعتبارها دارة مهترئة؟ ولماذا؟
2. متى يكون تفريغ المكثفة في وشيعة لا دورياً؟ ولماذا؟
3. استنتج أن طاقة دارة  $(L, C)$  مقدار ثابت في كل لحظة مع رسم الخطوط البيانية.
4. كيف يتم تبادل الطاقة بين المكثفة والوشيعة في دارة مهترئة خلال دور واحد؟
5. لماذا تنقص الطاقة الكلية في دارة مهترئة تحوي (مقاومة ذاتية، مكثفة) في أثناء التفريغ؟
6. اكتب التابع الرمزي للشحنة اللحظية معتبراً مبدأ الرّمن عندما تكون  $\varphi = 0$ ، ثم استنتاج عبارة الشدة اللحظية ووازن بينهما من حيث الطور.

**ثالثاً: أعط تفسيراً علمياً مع كتابة العلاقات المناسبة عند النزول:**

1. يُبدي المكثفة ممانعة كبيرة للتيارات منخفضة التواتر.
2. يُبدي الوشيعة ممانعة كبيرة للتيارات عالية التواتر.

**رابعاً: حل المسائل الآتية:**

**المسألة الأولى:**

تتألف دارة مهترئة من:

1. مكثفة إذا طبق بين لبوسيها فرق كمون  $50\text{ V}$  شحن كل من لبوسيها  $0.5\text{ }\mu\text{C}$ .
2. وشيعة طولها  $10\text{ cm}$  وطول سلكها  $16\text{ m}$  بطبقة واحدة مقاومتها مهملة.

**المطلوب:**

1. احسب تواتر الاهتزازات الكهربائية المار فيها.
2. احسب شدة التيار الأعظمي المار في الدارة.

**المسألة الثانية:**

نريد أن نحقق دارة مهترئة مفتوحة، طول موجة الاهتزاز الذي تشعه  $200\text{ m}$ ، فنؤلفها من ذاتية قيمتها  $H = 0.1\text{ }\mu\text{H}$ ، ومن مكثفة متغيرة السعة.

**المطلوب:**

احسب سعة المكثفة اللازمة لذلك علماً أن سرعة انتشار الاهتزاز:

**المسألة الثالثة:**

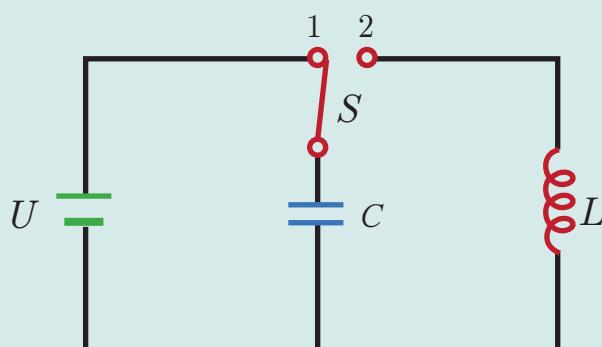
نكون دارة كما في الشكل المجاور والمُؤلفة من:

$$\text{a. مكثفة سعتها } C = 2 \times 10^{-5}\text{ F.}$$

$$\text{b. وشيعة مقاومتها } r \text{ وذاتها } L.$$

$$\text{c. مولد يعطي توتراً ثابتاً قيمته } U_{\max} = 6\text{ V.}$$

d. قاطعة.



- نغلق القاطعه في الوضع (1) لنشحن المكثفه. احسب الشحنة المختزنه في المكثفه عند نهاية الشحن.
- نغلق القاطعه في الوضع (2). فسر ما يحدث في الداره.

**المسئله الرابعة:**

مكثفه سعتها  $C = 10^{-12} \text{ F}$  ، شحن بوساطه مولد تيار متواصل، فرق الكمون بين طرفيه  $V = 10^{+3} \text{ V}$  . و مقاومته مهمله.

**المطلوب:**

1. احسب شحنة المكثفه والطاقة المختزنه فيها.

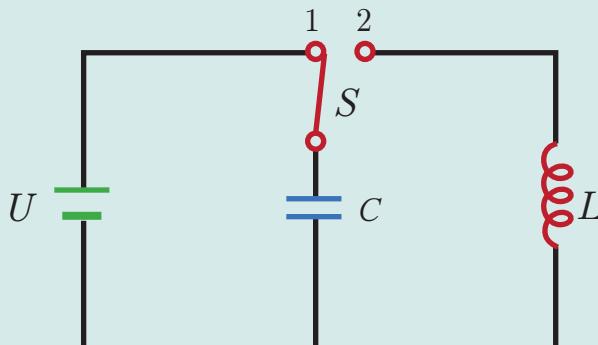
2. بعد شحن المكثفه توصل بوشيعه ذاتيها  $L = 16 \text{ mH}$  ، مقاومتها الأوليه مهمله. **المطلوب:**

a. صف ما يحدث.

b. احسب تواتر الاهتزازات الكهربائيه.

c. اكتب التابع الزمني لكل من الشحنة وشدة التيار بدءاً من الشكل العام معتبراً مبدأ الزمن لحظه وصل المشحونه بالوشيعه.

**المسئله الخامسه:**



1. نركب الداره الموضحة بالشكل حيث  $U_{\max} = 10^3 \text{ V}$  ،  $C = 10^{-12} \text{ F}$  ،  $L = 10^{-3} \text{ H}$  نصل القاطعه إلى الوضع (1)، احسب القيمه العظمى لشحنة المكثفه.

2. نحوال القاطعه إلى الوضع (2)، احسب تواتر التيار المهزز المار من الوشيعه ونبضه، و اكتب التابع الزمني للشدة اللحظيه معتبراً مبدأ الزمن لحظه وصل القاطعه إلى النقطه (2).

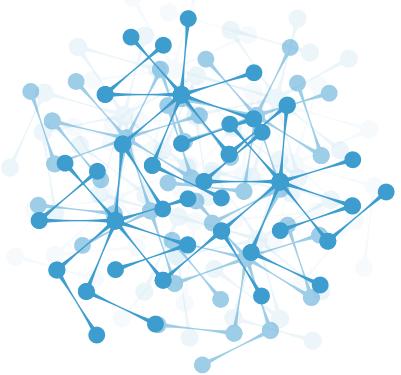
**تفكيير ناقد**

كيف تفصل التيارات عاليه التواتر عن التيارات منخفضه التواتر.

**أبحث أكثر**

في داره مهتزه نحصل على الحاله المثاليه عملياً بإضافه ثنائي قطب يعوض في كل لحظه الطاقة المبدده. أبحث في مكونات ثنائي القطب اللازم موضحاً مفهوم الحاله الحرجه.

# الاهتزازات الكهربائية القسرية التيار المتناوب الجيبي



تُوجَدُ طريقتان لتغذية الأجهزة بالطاقة الكهربائية، تعتمدُ إحداهما على أجهزة الشحن والبطاريات (تيار مُتوافق DC)، والأخرى شبكة تيار المدينة (تيار مُتناوب AC) التي تغذي المنازل والمعامل، وغيرها. نستخدمُ التيار المتناوب في كثير من جوانب حياتنا، حيثُ يُستخدمُ في إضاءة المنازل، وتشغيل الأجهزة الحديثة، والمصانع، وغير ذلك. **فما التيار المتناوب؟ وما أنواعه؟**

## الأهداف:

- \* يعرّف التيار المتناوب.
- \* يفسّر التيار المتناوب إلكترونياً.
- \* يشرح مبدأ توليد التيار المتناوب.
- \* يصف بتجربة بسيطة آثار التيار المتناوب.
- \* يعرّف الاستطاعة في التيار المتناوب.
- \* يستخرج عامل الاستطاعة في التيار المتناوب.
- \* يشرح قوانين أوام.
- \* يطبق إنشاء فريندل.
- \* يصمّم داراتٍ كهربائية.
- \* يتعرّف إلى الرّنين الكهربائي.

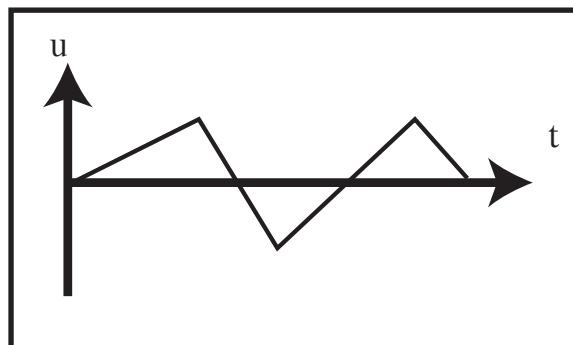
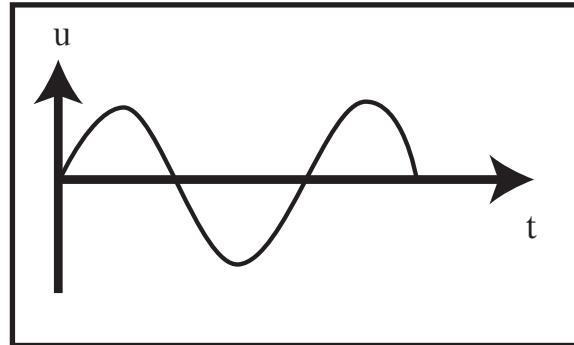
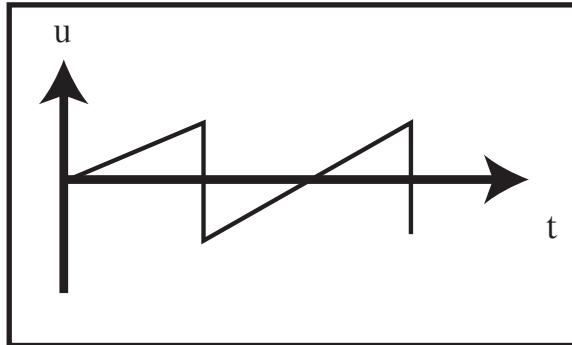
## الكلمات المفتاحية:

- \* التوتُّر اللحظيّ.
- \* التوتُّر الأعظميّ.
- \* التوتُّر المنتج.
- \* الشدّة اللحظيّة.
- \* الشدّة العظمى.
- \* الشدّة المُنتجة.
- \* الاستطاعة المُتوسّطة.
- \* الطّنين الكهربائيّ.

### الألاحظ وأستنتج:

تمثّل الأشكال البيانية المرسومة جانباً تغييرات توتّر التيار مع الزّمن:

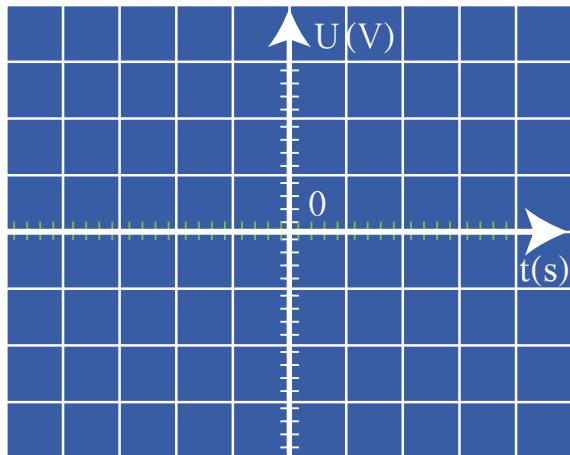
- أنتغيّر قيمة توتّر التيار، أم تبقى ثابتة؟
- أنتغيّر جهة التيار، أم تبقى ثابتة؟
- ما شكل تغيير التوتّر في كل منها؟



### النتيجة:

- التيار المُتساوب هو التيار الذي تتغيّر شدّته وجهاهه مع الزّمن بشكل دوري.
- للتيار المُتساوب أنواع عدّة، منها التيار المُتساوب الجيبي، والتيار المُتساوب المنشاري، والتيار المُتساوب المثلثي، والتيار المُتساوب الرباعي.

## مُقارنةٌ بينَ التيارِ المستمرِ والتيارِ المتناوبِ الجيبيِّ بوساطةِ راسمِ الاهتزازِ الإلكترونيِّ:



أَجْرَبْ وَأَسْتَنْجَ:

المواد الالزامـة: وحدة تغذية، جهاز راسم الاهتزاز المهبـطي (oscilloscope)، وشـيعة، مغناطـيس مستـقيم.

تجربة (1):

- أصل راسم الاهتزاز إلى منبع كهربائي، وألاحظ الإشارة على الشاشة، وأضبطها على الخط الأفقي المنصف للشاشة لاختيار مبدأ لقياس التوترات.
- أضبط حساسية المدخل في الوضع  $2V/div$  (سلم التوترات لكل تدريجة على الشاشة).
- أضبط قاعدة الزمن في الوضع  $1ms/div$  (سلم الأزمان لكل تدريجة).
- أضبط وحدة التغذية على وضعية  $DC$ ، وعلى القيمة  $6V$ ، وأصلها في المدخل لراسم الاهتزاز، وألاحظ شكل الإشارة على الشاشة، وأقرأ قيمة التوتر.
- أصل مقياس فولط بين طرفٍ في وحدة التغذية، وأقرأ قيمة التوتر.
- أقارن بين قيمتي التوتر المقروءتين، ماذا ألاحظ؟

تجربة (2):

- أضبط وحدة التغذية على وضعية  $AC$ ، وعلى القيمة  $6V$ ، وأصلها في المدخل (1) لراسم الاهتزاز، وألاحظ شكل الإشارة على الشاشة، وأقرأ قيمة التوتر.
- أصل مقياس فولط بين طرفٍ في وحدة التغذية، وأقرأ قيمة التوتر.
- أقارن بين قيمتي التوتر المقروءتين، ماذا ألاحظ؟

تجربة (3):

- أشغل راسم الاهتزاز وأضبط الإشارة على الخط الأفقي المنصف للشاشة.
- أخـتـار إشـارة التـيـار المـتـاـبـوـب  $AC$  فـي مـوـلـد الإـشـارـة.
- أـضـبـط زـرـ التـواـثـر عـنـد  $100\text{ Hz}$  مـثـلاً، ثـمـ أـصـلـه بـرـاسـم الـاهـتزـازـ المـهـبـطـيـ.
- أـغـيـرـ قـيـمـةـ التـوـتـرـ حـتـىـ أـحـصـلـ عـلـىـ أـكـبـرـ سـعـةـ مـمـكـنـةـ عـلـىـ الشـاشـةـ، وـأـسـجـلـ قـيـمـةـ  $V$ .
- أـضـبـطـ زـرـ الزـمـنـ لـأـحـصـلـ عـلـىـ إـشـارـةـ تـكـرـرـ عـدـدـ مـرـاتـ، وـأـسـجـلـ قـيـمـةـ الزـمـنـ.
- أـحـدـدـ الـقـيـمـيـنـ الـحـدـيـيـنـ لـلـتـوـتـرـ، هـلـ لـهـمـاـ الـقـيـمـةـ نـفـسـهـاـ، مـاـذـاـ أـسـمـيـ هـذـهـ الـقـيـمـةـ؟
- أـحـدـدـ قـيـمـةـ دـورـ التـيـارـ، وـأـحـسـبـ التـوـثـرـ وـالـبـنـبـضـ؟

النتائج:



- التـيـارـ الـمـسـتـمـرـ تـيـارـ ثـابـثـ الشـدـدـةـ وـالـجـهـةـ معـ الزـمـنـ.

- التـيـارـ المـتـاـبـوـبـ الجـيـيـ تـيـارـ تـغـيـرـ فـيـهـ الشـدـدـةـ، وـالـتـوـتـرـ جـيـيـاـ معـ الزـمـنـ.

## تابع الشدة اللحظية، وتابع التوتر اللحظي:

مرّ معنا أنَّ القوَّة المُحرِّكة الكهربائيَّة المُتحَرِّضة المُتناوبَة الجيبيَّة تُعطى بالعلاقة:

$$\bar{\epsilon} = \epsilon_{\max} \sin \omega t \dots\dots\dots (1)$$

التَّوتُّر المُتَنَاوِبُ الجيبيُّ يُسَاوِي تقريباً القوَّة المُحرِّكة الكهربائيَّة في كُلِّ لحظة، لذا سُنُتَّخَدُ التَّوتُّر بدلاً من القوَّة المُحرِّكة الكهربائيَّة. ويمكنُ أن نكتَبَ:

- تابع الشدة اللحظية:

$$\bar{i} = I_{\max} \cos(\omega t + \varphi_1) \dots\dots\dots (2)$$

تمثِّل  $\varphi_1$  الطور الابتدائي لشدة التيار.

- تابع التوتر اللحظي:

$$\bar{u} = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi_2) \dots\dots\dots (3)$$

تمثِّل  $\varphi_2$  الطور الابتدائي للتَّوتُّر.

- تمثِّل فرق الطور بين الشدة والتَّوتُّر، ويُغيَّر بغيير مكوِّنات الدَّارَة.

## القيم المُنْجَدَة (الفعالة):

أَجْرِبْ وأَسْتَنْجِ:

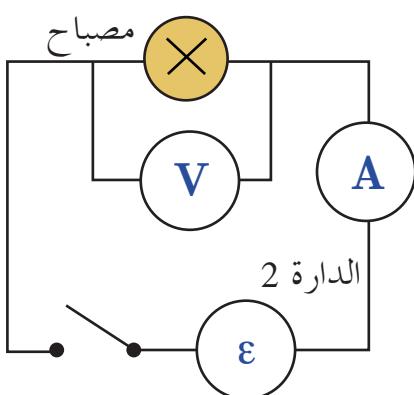
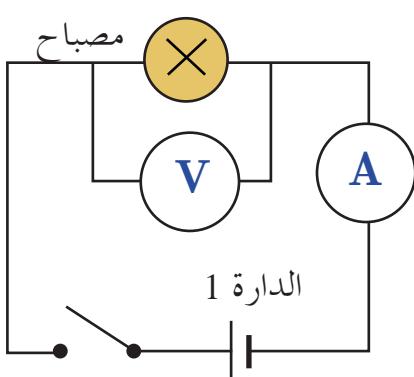
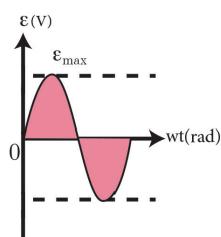
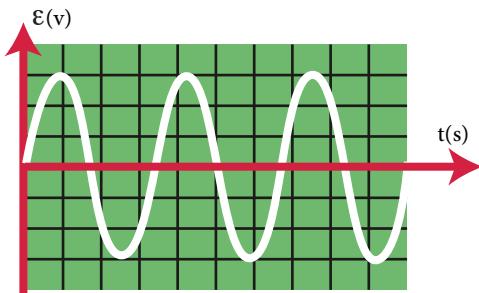
1. أَحْقِقُ الدَّارَتَيْنِ الكهربائِيَّيْنِ المُمثَّلَيْنِ في الشَّكْلِ، حيثُ الدَّارَاتَانِ مُتَمَاثِلَتَانِ، الدَّارَةُ الأولى مُغذَّاةً بِمُولَدِ تِيَارٍ مُسْتَمِّرٍ، والثَّانِيَةُ بِمُولَدِ تِيَارٍ مُتَنَاوِبٍ جيبيًّا.

2. أَغِيرْ قيمَةَ توتُّرِ المُولَدِ المُتَنَاوِبِ حتَّى ألاَ حَظَ تماًلاً في توهُّجِ المُصْبَاحَيْنِ، حيثُ يُشَيرُ مُقَيَّسُ الأمْبِيرِ لِلقيمةِ ذاتِهَا.

3. أَقْارِنْ قيمَةَ التوتُّرِ التي يُعْطِيهَا مُقَيَّسُ الفُولَطِ في كلا الدَّارَتَيْنِ، ماذا ألاَ حَظَ؟

4. أَصْلُ طَرَفِيِّ مُصْبَاحِ الدَّارَةِ (2) في مدخلِ راسمِ الاهتزازِ المهبطيِّ، وأَضْبَطُ الجَهازَ للحصولِ على إشارةٍ واضحةٍ على الشاشة.

5. أَعْيَنْ القيمةَ العُظُمَى لإشارةِ التوتُّر  $U_{\max}$ ، وأَقْارِنْها معَ القيمةَ المُقرَّوَةَ على مُقَيَّسِ الفُولَطِ. وأَحْسَبْ النِّسبةَ بَيْنَهُما.

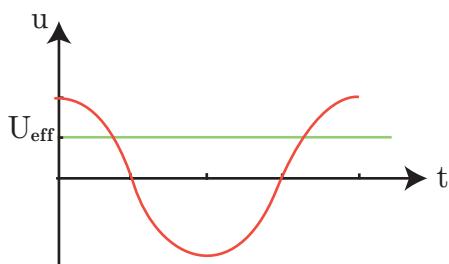


## النتائج:

- تُسمى قيمة شدة التيار المتناوب الجيبى التي يقيسها مقياس الأمبير الحراري في دارة التيار المتناوب بالشدة المُنتَجَة أو الفعالة ويرمز لها  $I_{eff}$ .
- الشدة المُنتَجَة لـ التيار المتناوب الجيبى هي شدة تيار متوافق يعطي الطاقة الحرارية نفسها التي يعطيها التيار المتناوب الجيبى عند مرورهما في الناقل الأولي نفسه خلال الزمن نفسه:

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

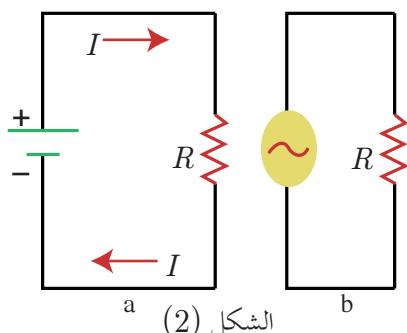
- تُسمى قيمة التوتر المتناوب الجيبى التي يقيسها مقياس الفولط في دارة التيار المتناوب بالتوتر المُنتَج، أو الفعال ويرمز لها  $U_{eff}$ .



- التوتر المُنتَج لـ التيار المتناوب الجيبى يكافى التوتر المستمر الذي يقدم الطاقة نفسها التي يقدمها التوتر المتناوب الجيبى في الناقل الأولي نفسه خلال الزمن نفسه والتي تصرف بشكل حراري.
- يرتبط التوتر الأعظمي لـ التيار المتناوب جيبى بالتوتر المُنتَج (الفعال) بالعلاقة:

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

## التفسير الإلكتروني للتيار الكهربائي وإمكانية تطبيق قوانين أوم على دارات التيار المتناوب:



يمثل الشكلان (2,a), (2,b) رسمًا تخطيطيًّا لـ دارٌ تيـار مـتوافقـاـ وآخر مـتناوبـ. ينشأـ التـيـارـ المـتوـاـقـدـاـ من حـرـكـةـ إـلـكـتـرـوـنـاتـ الـحـرـةـ بـحـيـثـ تـكـوـنـ الـحـرـكـةـ إـلـجـمـالـيـةـ وـفـقـ اـتـجـاهـ وـاحـدـ، منـ الـكـمـونـ المـنـخـفـضـ إـلـىـ الـكـمـونـ الـمـرـتفـعـ بـسـبـبـ وـجـودـ حـقـلـ كـهـرـبـائـيـ نـاتـجـ عـنـ التـوـثـرـ الـمـطـبـقـ. ينشأـ التـيـارـ المـتـاـنـوـبـ مـنـ الـحـرـكـةـ الـأـهـتـزـازـيـةـ لـإـلـكـتـرـوـنـاتـ الـحـرـةـ حـوـلـ موـاضـعـ وـسـطـيـةـ بـسـعـةـ صـغـيرـةـ مـنـ مـرـتـبـةـ الـمـيـكـرـوـ مـتـرـ، وـيـكـوـنـ توـاـثـرـ هـذـهـ حـرـكـةـ مـسـاوـ لـتوـاثـرـ التـيـارـ، وـتـنـتـجـ الـحـرـكـةـ الـأـهـتـزـازـيـةـ لـإـلـكـتـرـوـنـاتـ

عنـ الحـقـلـ الـكـهـرـبـائـيـ الـمـتـغـيـرـ بـالـقـيـمةـ وـالـاتـجـاهـ وـالـذـيـ يـنـتـشـرـ بـسـرـعـةـ الصـوـءـ بـجـوـارـ النـاقـلـ، وـيـنـتـجـ هـذـاـ التـغـيـرـ فـيـ الحـقـلـ الـكـهـرـبـائـيـ، مـنـ تـغـيـرـ قـيـمةـ وـإـشـارـةـ التـوـثـرـ (فـرقـ الـكـمـونـ) بـيـنـ قـطـبـيـ الـمـنـبعـ الـكـهـرـبـائـيـ. يـعـطـيـ طـوـلـ مـوـجـةـ الـأـهـتـزـازـ  $\lambda$  لـإـلـكـتـرـوـنـاتـ فـيـ التـيـارـ المـتـاـنـوـبـ بـالـعـلـاقـةـ  $\lambda = \frac{c}{f}$  حيثـ  $c$  : سـرـعـةـ اـنـتـشـارـ الصـوـءـ فـيـ الـخـلـاءـ،  $f$  : توـاـثـرـ (ترـددـ) التـيـارـ.

فمن أجل تيار المدينة الذي توأّره في معظم دول العالم هو  $f = 50 \text{ Hz}$  ، نجد أن  $\lambda = \frac{3 \times 10^8}{50} = 6 \times 10^6 \text{ m}$  وهذا طول موجة كبير مقارنة مع أبعاد الدارات المستخدمة في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية، فإذا أخذنا دائرةً أبعادها من رتبة عددة أمتار نجد أن الإلكترونات تتحرّك بالاتجاه نفسه في كامل الدارة في لحظة ما، ويتجاوز مقطع السلك العدد نفسه من الإلكترونات في كل نقاط الدارة، وهذا ما يسمح بتطبيقات قوانين أوم في التيار المتناوب على دارة التيار المتناوب في كل لحظة عندما يتحقق الشرطان الآتيان:

1. الدارةُ قصيرةٌ بالنسبة لطول الموجة.

2. تواتر التيار المتناوب الجيبي صغير.

تهتز الإلكترونات الحرة في الدارة بالنسبة الذي يفرضه المولد، والذي يختلف عن البعض الخاص، لذلك تسمى الاهتزازات الكهربائية الحاصلة بالاهتزازات القسرية، ويشكل المولد فيها جملةً محرّضةً وبقية الدارة جملةً مجاوبة.

## مُصطلحات التيار المتناوب

التيار المتناوب	القيمة
$u$	التوتر اللحظي
$U_{eff}$	التوتر المنتج
$U_{max}$	التوتر الأعظمي
$i$	الشدة اللحظية
$I_{eff}$	الشدة المنتجة
$I_{max}$	الشدة الأعظمية

## الاستطاعات في التيار المتناوب الجيبي

وجدنا أن للتيار المتناوب شدّات، وتوترات لحظية، وأعظمية، ومُنتجة، فما أنواع الاستطاعة في التيار المتناوب؟

### 1. الاستطاعة اللحظية:

تعرف الاستطاعة اللحظية  $P$  للتيار المتناوب الجيبي بأنّها جداء التوتر اللحظي  $u$  ، في الشدة اللحظية للتيار  $i$  ويعطى بالعلاقة:

$$P = u i$$

- تكون الاستطاعة اللحظية ثابتةً أم مُتغيّرةً؟ ولماذا؟

- تتغيّر هذه الاستطاعة من لحظة إلى أخرى تبعاً لتغيّرات كل من  $i$  و  $u$  مع الزّمن.

## 2. الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في دارة

تعرّف الاستطاعة المتوسطة بأنّها الاستطاعة الثابتة التي تقدّم في الزّمن  $t$  الطّاقة الكهربائية  $E$  نفسها التي يقدّمها التيار المتناوب الجيبي للدارة، وهي مُعَدّلُ الطّاقة الكهربائية المقدمة نتيجة مرور التيار المتناوب خلال الزّمن  $t$ ، وتعطى بالعلاقة:  $P_{\text{avg}} = I_{\text{eff}} U_{\text{eff}} \cos \varphi$  حيث:  $\varphi$  هو فرق الطور بين الشدة اللحظية والتواتر اللحظي للتيار.

## 3. الاستطاعة الظاهريّة (المؤثرة)، وعامل الاستطاعة

اصطلح على تسمية جداء التواتر المُنتِج  $U_{\text{eff}}$  في الشدة المُنتَجة  $I_{\text{eff}}$  للتيار المتناوب الجيبي بالاستطاعة الظاهريّة (المؤثرة)  $P_A$ ، وهي تمثّل أكبر قيمة للاستطاعة المتوسطة. عندما:

$$\varphi = 0 \implies \cos \varphi = 1 \implies P_A = I_{\text{eff}} U_{\text{eff}}$$

## أستنتم العلاقـة بين الاستطاعـة المتوسطـة، والاستطاعـة الظـاهـريـة؟

نسمّي المعامل  $\cos \varphi$  بعامل الاستطاعة، وهو النسبة بين الاستطاعة المتوسطة  $P_{\text{avg}}$  والاستطاعة الظاهريّة  $P_A$ .

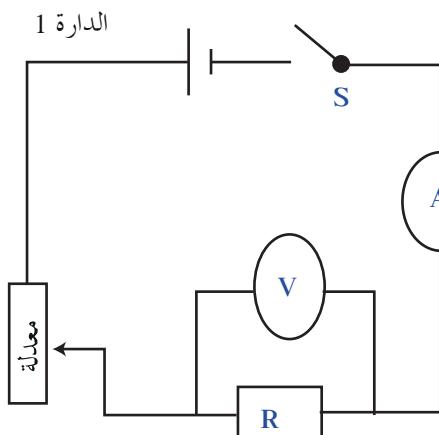
$$\text{عامل الاستطاعة} = \frac{P_{\text{avg}}}{P_A} = \frac{I_{\text{eff}} U_{\text{eff}} \cos \varphi}{I_{\text{eff}} U_{\text{eff}}} = \cos \varphi$$

**تذكّر:**

إنّ الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في جملة ثانئي قطب موصولين على التسلسل أو على التفرع تساوي مجموع الاستطاعتين المستهلكتين في ثانئي القطب؛ أي:  $P_{\text{avg}} = P_{\text{avg1}} + P_{\text{avg2}}$

## قانون أوم

### تطبيقات قانون أوم في دارة تيار متناوب:



#### أجرّب وأستنتم:

المواد الازمة: منبع تغذية كهربائية، ناقل أوّمي مقاومته  $R$ ، معدّلة، وشيعة ذاتيّتها  $r$  و مقاومتها  $r$ ، مكثفة سعتها  $C$ ، مقياس فولط، مقياس أمبير حراري، أسلاك توصيل، قاطعة، راسم اهتزاز مهبطي.

#### تجربة (1):

- أصل الدارة (1) كما في الشّكل المجاور.
- أغلق القاطعة، وأغيّر قيمة التواتر المطبق، وأسجّل قيمة شدة التيار الموافق لكل تواتر في جدولٍ وفق الآتي:

$I$	
$U$	
$\frac{U}{I}$	

## استنتاج

- نسبة التوتر المطبق بين طرفي ناقل أولمي إلى شدة التيار المتوافق المار فيه تساوي مقدار ثابت،

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

أكرر التجربة باستخدام مأخذ التيار المتناوب، وأسجل النتائج في جدول وفق الآتي :

$I_{eff}$			
$U_{eff}$			
$\frac{U_{eff}}{I_{eff}}$			

## استنتاج

- نسبة التوتر المنتج المطبق بين طرفي ناقل أولمي إلى الشدة المنتج للتيار المتناوب المار فيه تساوي مقدار ثابت،

$$\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = R$$

النتيجة:

- يسلك الناقل الأولمي السلوك نفسه في التيارين المتوافق والمتساوب.

تجربة (2):

أستبدل بالمقاومة في الدارة السابقة وشيعة، وأكرر التجربة السابقة باستخدام تيار متوافق، ثم تيار متناوب، وأسجل النتائج في جدول مماثل، ماذالاحظ، وماذا استنتج؟

النتيجة:

- تقوم الوشيعة بدور مقاومة أولمية في التيار المتوافق وتقوم بدور مقاومة وذاتية في التيار المتساوب.

تجربة (3):

أستبدل بالوشيعة في الدارة السابقة مكثفة، وأنظم جدولًا مماثلاً، ماذالاحظ، وماذا استنتج؟

النتيجة:

- لا تسمح المكثفة بمرور التيار المتوافق في حين أنها تممر التيار المتساوب.

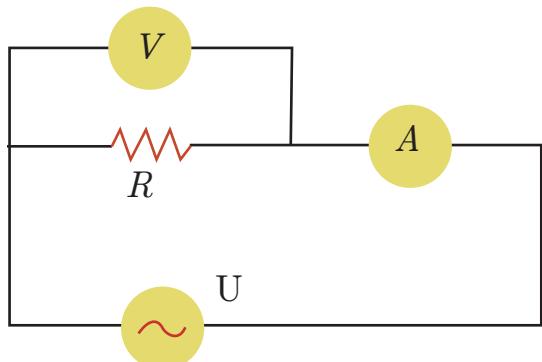
## المكثفة ودور التيار المتناوب:

- لا تسمح المكثفة بمرور التيار المتناوب بسبب وجود العازل بين لبوسيها.
- تسمح المكثفة بمرور التيار المتناوب لأنّه، عند وصل لبوسي مكثفة بamax تيار متناوب، فإنّ مجموعة الالكترونات الحرّة التي يسبّبها amax تيار المتناوب اهتزّ لها تشنّب لبوسي المكثفة خلال ربع دور بشحتين متساوين ومن نوعين مختلفين دون أن تخترق عازلها ثم تترافقان في ربع الدور الثاني، وفي النوبة الثانية (الربعين الثالث والرابع) تتكرّر عمليتا الشحن والتفریغ مع تغيير شحنة كلّ من البوسین.
- تبدي المكثفة ممانعة للتيار المتناوب بسبب الحقل الكهربائي الناتج عن شحتها.

## استنتاج قوانينه أولاً:

### 1. مقاومة أومية في دارة تيار متناوب جيبي:

نطبق توثر الحظلي  $\bar{u}$  على مقاومة أومية صرفة  $R$  في دارة تيار متناوب جيبي مغلقة، فيمثل تيار تابع شدّته اللحظية  $\bar{i} = I_{\max} \cos \omega t$  تابع التوتر اللحظي بين طرفي المقاومة:



$$\bar{u} = R \bar{i}$$

نعرض فجداً:

$$\bar{u} = R I_{\max} \cos \omega t$$

لكن:  $X_R = R$  تدعى بممانعة المقاومة

$$U_{\max} = R I_{\max}$$

$$U_{\max} = X_R I_{\max} \dots \dots (1)$$

نجد: إذا يكون تابع التوتر بين طرفي المقاومة الصرف:

$$\bar{u} = U_{\max} \cos \omega t$$

بالمقارنة بين تابعي الشدة والتوتر نجد أن  $\varphi = 0$

أي أن المقاومة تجعل التوتر المطبّق بين طرفيها على توافق بالتطور مع الشدة.  
للحصول على القيم المنتجة نقسم طرفي العلاقة (1) على  $\sqrt{2}$ :

$$\frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = X_R \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \Rightarrow \\ U_{\text{eff}} = X_R I_{\text{eff}}$$

يسمى هذا التمثيل بتمثيل فريتيل

تعطى الاستطاعة المتوسطة المستهلكة بالعلاقة:



$$P_{\text{avg}} = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} \cos \varphi$$

لـكـن في حـالـة المـقاـوـمـة الصـرـفـ:  $\varphi = 0$

$$\cos \varphi = 1$$

$$P_{avg} = U_{eff} I_{eff}$$

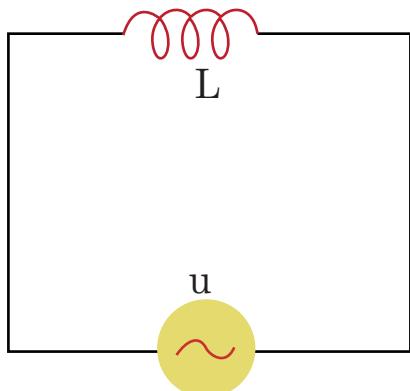
لـكـن:  $U_{eff} = R I_{eff}$  نـعـوـضـ فـنـجـدـ:

$$P_{avg} = R I_{eff}^2$$

وـهـذـا يـدـلـ عـلـى أـنـ الطـاـقة تـصـرـفـ فـي المـقاـوـمـة حرـارـيـاـ بـفـعـلـ جـوـلـ.

## 2. وـشـيـعـة مـهـمـلـة المـقاـوـمـة (ذـاتـيـة صـرـفـ) فـي دـارـة تـيـارـ مـتـنـاوـبـ جـيـبـيـ:

نـطـبـقـ توـتـرـاـ لـحـظـيـاـ  $\bar{u}$  عـلـى وـشـيـعـة ذـاتـيـتها  $L$  وـمـقاـوـمـتها الـأـوـمـيـة مـهـمـلـةـ فـي دـارـة تـيـارـ مـتـنـاوـبـ جـيـبـيـ مـغـلـقـةـ، فـيمـرـ تـيـارـ تـابـعـ شـدـدـةـ الـلـحـظـيـةـ:



$$\bar{i} = I_{max} \cos \omega t$$

تابعـ التـوـتـرـ الـلـحـظـيـ بـيـنـ طـرـفـيـ الـوـشـيـعـةـ:

$$\bar{u} = L \frac{d \bar{i}}{dt}$$

$$\begin{aligned} \frac{d \bar{i}}{dt} &= -I_{max} \omega \sin \omega t \\ \frac{d \bar{i}}{dt} &= I_{max} \omega \cos(\omega t + \frac{\pi}{2}) \end{aligned} \quad \text{لـكـنـ: أـيـ:}$$

نـعـوـضـ فـي العـلـاقـةـ نـجـدـ:

$$\bar{u} = L \omega I_{max} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

نـسـمـيـ المـقـدـارـ  $X_L = L \omega$  بـمـمـائـةـ الـوـشـيـعـةـ مـهـمـلـةـ المـقاـوـمـةـ وـتـسـمـيـ رـدـيـةـ الـوـشـيـعـةـ. تـصـبـحـ الـعـلـاقـةـ بـالـشـكـلـ:

$$\bar{u}_L = X_L I_{max} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

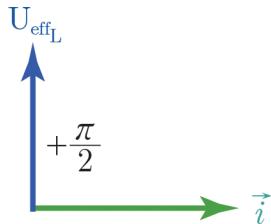
لـكـنـ:

$$U_{max_L} = X_L I_{max} \dots \dots \dots \quad (2)$$

يـصـبـحـ تـابـعـ التـوـتـرـ بـيـنـ طـرـفـيـ الـوـشـيـعـةـ:

$$\bar{u}_L = U_{max_L} \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

بـالـمـقـارـنـةـ بـيـنـ تـابـعـ الشـدـدـةـ وـالـتـوـتـرـ نـجـدـ أـنـ الـوـشـيـعـةـ مـهـمـلـةـ المـقاـوـمـةـ تـجـعـلـ التـوـتـرـ الـلـحـظـيـ يـتـقـدـمـ بـالـطـوـرـ عـلـىـ الشـدـدـةـ الـلـحـظـيـةـ بـمـقـدـارـ  $\frac{\pi}{2}$  rad (ـتـرـابـعـ مـتـقـدـمـ)



للحصول على القيم المُتّيجة نقسّم طرفي العلاقة (2) على  $\sqrt{2}$ :

$$\frac{U_{\max L}}{\sqrt{2}} = X_L \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \implies U_{eff L} = X_L I_{eff}$$

تعطى الاستطاعة المُتوسّطة المستهلكة:

$$P_{avg} = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi$$

لكن في حالة الوشيعة مهمّلة المقاومة تكون

$$\begin{aligned}\cos \varphi_L &= 0 \\ P_{avg L} &= 0\end{aligned}$$

أي أن الاستطاعة المُتوسّطة في الوشيعة مهمّلة المقاومة معدومة، فالوشيعة مهمّلة المقاومة تختزن طاقةً كهرطيسية خلال ربع دور لتعيدها كهربائياً إلى الدارة الخارجية خلال ربع الدور الذي يليه، أي أن الوشيعة لا تستهلك طاقة.

**ملاحظة:** إذا كان للوشيعة مقاومة أومية  $r$ ، فإن ممانعتها تعطى بالعلاقة:

$$Z_L = \sqrt{r^2 + X_L^2}$$

ويكون عامل استطاعة الوشيعة في هذه الحالة:

$$\cos \overline{\varphi}_L = \frac{r}{Z_L}$$

وتابع التوتر اللحظي يصبح:

$$\overline{u}_L = U_{\max} \cos(\omega t + \varphi_L)$$

وبالتالي فإن الوشيعة التي مقاومتها الأومية  $r$  تجعل التوتر يتقدّم بمقدار  $\varphi_L$  على الشدة.

### 3. مكثفة في دارة تيار متناوب جيب:

نطبق توترًا لحظيًّا  $\overline{u}$  على مكثفة غير مشحونة  $C$  فيمُر تيارًا تابع شدته اللحظية :

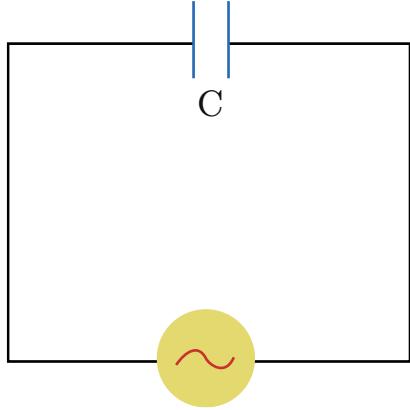
$$\overline{i} = I_{\max} \cos \omega t$$

التوتر اللحظي بين لبوسي المكثفة يعطى بالعلاقة:

$$\overline{u} = \overline{\frac{q}{C}}$$

باعتبار أن  $C$  سعة المكثفة ثابتة،  $\overline{q}$  شحنتها المُتغيّرة مع الزّمن. فإنه خلال فاصل زماني  $dt$  تتغيّر شحنة المكثفة بمقدار  $dq$ ، ولدينا:

$$d\overline{q} = \overline{i} dt$$



ولحساب شحنة المكثفة في اللحظة  $t$  نكامل فنجد:

$$\bar{q} = \int \bar{i} dt = \int I_{\max} \cos(\omega t) dt$$

$$\bar{q} = \frac{1}{\omega} I_{\max} \sin \omega t$$

نعرض فنجد:

$$\bar{u} = \frac{1}{\omega C} I_{\max} \sin \omega t$$

$$\bar{u} = \frac{1}{\omega C} I_{\max} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

ندعو المقدار  $X_C = \frac{1}{\omega C}$  بـممانعة المكثفة (الممانعة السعوية للمكثفة)

وتشتت اتساعية المكثفة) وتقدير بوحدة الأوم في الجملة الدولية.  
 $\bar{u} = X_C I_{\max} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$   
 $U_{\max} = X_C I_{\max} \dots \dots \dots (3)$

إذ:

$$\bar{u}_C = U_{\max C} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

بمقارنة تابع التوتر مع تابع الشدة نجد أن التوتر يتأخر عن التيار بمقدار  $\frac{\pi}{2}$  rad (رابع متأخر). للحصول على القيم المُنتَجَة (الفعالة) نقسم طرفي العلاقة على  $\sqrt{2}$  نجد:

$$\frac{U_{\max c}}{\sqrt{2}} = X_C \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \implies U_{eff_c} = X_C I_{eff}$$

وهذا هو قانون أوم في دارة المكثفة.  
 تعطى الاستطاعة المصرفية بالعلاقة:

$$P_{avg} = U_{eff} I_{eff} \cos \varphi$$

ولكن من أجل المكثفة:

$$\cos \varphi_c = 0$$

$$P_{avg_c} = 0$$

الاستطاعة المتوسطة في المكثفة معروفة، فالمكثفة لا تستهلك أيّة طاقة، لأنّها تخزن الطاقة كهربائياً خلال ربع دور، وتعيدها كهربائياً في ربع الدور الذي يليه.

## الحالَةُ الْعَامَّةُ: دَارَةٌ تِيَّارٌ مُتَنَاوِبٌ تَحْوِي عَلَى التَّسْلِسُلِ مُقاَمَةً وَذَاتِيَّةً صَرْفًا وَمُكْثِفَةً

نُؤَلِّفُ دَارَةً تَحْوِي عَلَى التَّسْلِسُلِ الْأَجْهِزَةِ الْأَتِيَّةِ: مُقاَمَةً أُوْمِيَّةً  $R$ ، وَشَيْعَةً ذَاتِيَّةً  $L$  مُقاَوِمَتُهَا الْأُوْمِيَّةُ مُهَمَّلَةً، وَمُكْثِفَةً سُعْتُهَا  $C$ ، وَيَمْرُّ فِي هَذِهِ الدَّارَةِ تِيَّارٌ مُتَنَاوِبٌ جَيْبِيٌّ تَابِعٌ، شَدَّدْتُهُ الْلَّحْظِيَّةُ تُعْطِي بِالعَلَاقَةِ

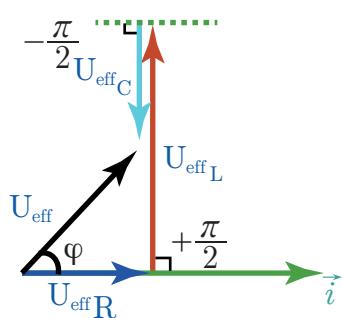
$$\bar{i} = I_{\max} \cos \omega t$$

عِنْدَمَا نَطَبِقُ بَيْنَ طَرَفَيِ الدَّارَةِ تَوْتُرًا مُتَنَاوِبًا جَيْبِيًّا، تَابِعُهُ الْلَّحْظِيَّ: إِنَّ تَوَابَعَ التَّوْتُرَاتِ الْلَّحْظِيَّةِ الْجَزِئِيَّةِ مُخْتَلِفٌ فِي الطُّورِ، أَيْ:

$$\bar{u} = \bar{u}_R + \bar{u}_L + \bar{u}_C$$

بَيْنَمَا التَّوْتُرَاتُ الْمُتَنَجِّحةُ تُجْمِعُ هَنْدِسِيًّا:

$$\overrightarrow{U_{eff}} = \overrightarrow{U_{effR}} + \overrightarrow{U_{effL}} + \overrightarrow{U_{effC}}$$



وَنَعْلَمُ أَنَّ:

$$\bar{\varphi}_c = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}, \quad \bar{\varphi}_L = +\frac{\pi}{2} \text{ rad}, \quad \bar{\varphi}_R = 0 \text{ rad}$$

بِاسْتِخْدَامِ إِنْشَاءِ فَرِينِيلِ يُمْكِنُنَا حَسَابَ  $\bar{\varphi}$ ,  $U_{eff}$  مِنَ الرَّسْمِ بِحَسْبِ فِيَثَاوُرَتِ بِفَرْضِ  $U_{effL} > U_{effC}$  نَجُدُ:

$$U_{eff}^2 = U_{effR}^2 + (U_{effL} - U_{effC})^2$$

$$U_{eff}^2 = R^2 I_{eff}^2 + (X_L - X_C)^2 I_{eff}^2$$

$$U_{eff} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} I_{eff}$$

$$U_{eff} = Z I_{eff}$$

وَهُوَ قَانُونُ أُومٍ فِي الْحَالَةِ الْعَامَّةِ.  
وَمِنْهُ تَكُونُ مُمَانَعَةُ الدَّارَةِ

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

وَلَحَسَابِ  $\bar{\varphi}$  مِنَ الشَّكْلِ نَجُدُ:

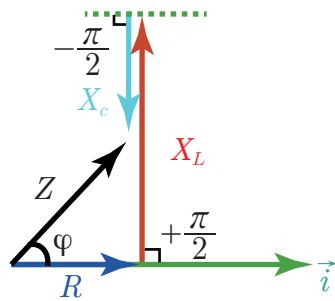
$$\cos \bar{\varphi} = \frac{U_{effR}}{U_{eff}}$$

$$\cos \bar{\varphi} = \frac{R I_{eff}}{Z I_{eff}}$$

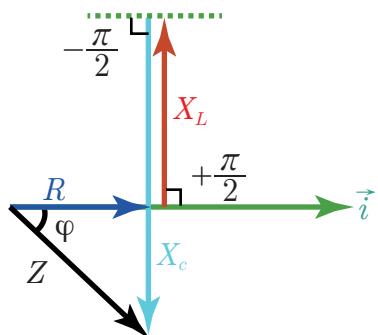
$$\cos \bar{\varphi} = \frac{R}{Z}$$

يُمْكِنُنَا أَنْ نَمَثِّلَ الْمُمَانَعَاتِ بِتَمْثِيلِ كَمَا فِي الشَّكْلِ.

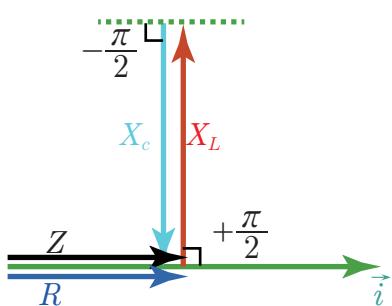
## مناقشة:



1. عندما تكون ردية الوشيعة  $X_L$  أكبر من اتساعية المكثفة  $X_C$  يكون التوتر متقدماً بالتطور على الشدة، وتكون الدارة ذات ممانعة ذاتية.



2. عندما تكون ردية الوشيعة  $X_L$  أصغر من اتساعية المكثفة  $X_C$  يكون التوتر متأخرًا بالتطور عن الشدة، وتكون الدارة ذات ممانعة سعوية.



3. عندما تكون ردية الوشيعة  $X_L$  تساوي اتساعية المكثفة  $X_C$ ، يكون التوتر متفقاً بالتطور مع الشدة، وتسمى هذه الحالة الطنين الكهربائي أو التجاوب الكهربائي.

## ظاهرة الطنين:

في إحدى التجارب على ظاهرة الطنين في دارة مولدة توافر مُنخفض، يعطي توتراً متناوباً جيبياً قيمته المُنتجة (الفعالة)  $U_{eff}$ ، توافره  $f$  قابلان للتغير، نصل بين طرفيه على التسلسل وشيعة ذاتها  $L = 1.95 \text{ H}$  ومقاومة الأومية  $r$ ، مع مكثفة سعتها  $C = 0.5 \mu\text{F}$ ، وقاد سجل التائج من أجل قيمتين للمقاومة الكلية ( $R = r + r'$ ) في الدارة:  $R_2 = 100 \Omega$  ،  $R_1 = 40 \Omega$  في الجدول الآتي:

$f(\text{Hz})$	100	130	140	150	155	160	165	170	180
$I_{eff_1}(\text{mA})$	2	4.37	6.25	11.25	16.6	25	23	16	9.37
$I_{eff_2}(\text{mA})$	2	4.37	6.25	10	12.5	25	14.5	12.5	8.25

**المطلوب:**

1. أرسم المُنحنيين البيانيين لـ **تغّيرات الشدّة المُنتجة بدلالة تغّيرات التّوازُر** بالنسبة للمقاومتين.
2. أحدد قيمة التّوازُر  $f$  الذي تكون من أجله الشدّة المُنتجة  $I_{eff}$  بأكْبَر قيمة لها في كُلٌّ من المُنحنيين **البيانيين**.
3. أحسب المُمانعة الكلية للدّارة من أجل التّوازُر ( $160 \text{ Hz}$ )، ماذا ألا حظ؟

**النتائج:**

- تحدث حالة التّجاوب الكهربائي (الطّين الكهربائي) في دارٍ تحوي على التسلسل مقاومة  $R$ ، وشيعة ذاتيّتها  $L$ ، ومكثفة سعتها  $C$ ، إذا كان النّبض الخاص لاهتزاز الإلكترونات الحرة  $w_0$  يساوي النّبض القسري  $w$  الذي يفرضه المولّد، ويُسمى نبض الطّين  $w_r$ .
- يتحقق في حالة الطّينين:
  1. رديّة الوشيعة تساوي اتساعيّة المكثفة  $X_L = X_C$ .
  2. مُمانعة الدّارة أصغر ما يمكن  $Z = R$ .
  3. شدّة التّيار المُنتجة أكبر ما يمكن  $\cdot I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R}$ .
- 4. التّوّر المُطبّق على توافق بالطّور مع الشدّة ( $\varphi = 0 \text{ rad}$ )، وبالتالي عامل استطاعة الدّارة يساوي الواحد.
- 5. الاستطاعة المُتوسّطة المستهلكة في الدّارة أكبر ما يمكن.
- 6. التّوّر المُتّجّع بين طرفي المنبع يساوي التّوّر المُتّجّع بين طرفي المقاومة  $U_{eff_R} = U_{eff} = U_{eff_L}$  لأنّ التّوّر المُتّجّع بين طرفي الوشيعة يساوي بالقيمة التّوّر المُتّجّع بين طرفي المكثفة  $U_{eff_C} = U_{eff_L}$  ويعاكُسها بالجهة، وقد تكون قيمة كلّ منها كبيرة جدًا بالنسبة لتوّر المنبع، وتُستخدم هذه الخاصيّة في دارات الراديو للحصول على توّرات كبيرة بين أطراف الوشائع والمكثفات باستخدام منابع ذات توّرات محدودة القيمة.

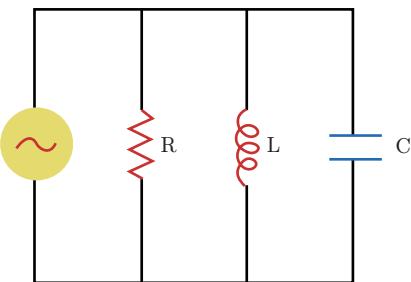
## أستنتج دور وتوّر الطّينين:

في حالة الطّين الكهربائي:

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ \omega_r L &= \frac{1}{\omega_r C} \\ \omega_r^2 &= \frac{1}{LC} \\ \omega_r &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\ \frac{2\pi}{T_r} &= \frac{1}{\sqrt{LC}} \\ T_r &= 2\pi\sqrt{LC} \end{aligned}$$

وهي العلاقة المحددة لدور التّيار في حالة الطّينين.  
تُستخدم خاصيّة الطّينين في عملية التوليف في أجهزة الاستقبال.

## التيار الفرعية:

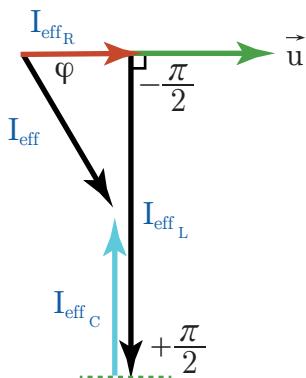


1. الشدة المُنتجة الكلية، والشدة المُنتجة الفرعية:

نطبق توڑاً متساوياً جيبياً يعطى بالتابع:  $\bar{u} = U_{\max} \cos \omega t$  بين طرفي دارة تحوي على التفرع مقاومة  $R$ ، وشيعة مهملة المقاومة ذاتها  $L$ ، ومكثفة سعتها  $C$ ، فيمر في الدارة تيار متساوباً جيبياً، المطلوب: أكتب تابع الشدة اللحظية في الدارة، وأستنتج العلاقات اللازمة لحساب  $I_{\text{eff}}$ ،  $\bar{\varphi}$  باستخدام إنشاء فريندل.

$$\begin{aligned}\bar{i} &= I_{\max} \cos(\omega t + \bar{\varphi}) \quad \text{إن تابع الشدة اللحظية للتيار في الدارة الكلية:} \\ \bar{i} &= \bar{i}_1 + \bar{i}_2 + \bar{i}_3 \quad \text{الشدة اللحظية تجمع جبرياً:}\end{aligned}$$

- في فرع المقاومة، الشدة على توافق بالتطور مع التوڑ المطبق:  $\bar{\varphi}_R = 0 \text{ rad}$
- في فرع الوشيعة مهملة المقاومة، الشدة على تراجع متأخر بالتطور عن التوڑ المطبق:  $\bar{\varphi}_L = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$
- في فرع المكثفة الشدة على تراجع متقدم بالتطور على التوڑ المطبق، أي:  $\bar{\varphi}_C = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$



الشدة المُنتجة تجمع هندسياً:  $\vec{I}_{\text{eff}} = \vec{I}_{\text{eff}_R} + \vec{I}_{\text{eff}_L} + \vec{I}_{\text{eff}_C}$   
بإنشاء فريندل بافتراض  $I_{\text{eff}_L} > I_{\text{eff}_C}$  نجد:

$$I_{\text{eff}}^2 = I_{\text{eff}_R}^2 + (I_{\text{eff}_L} - I_{\text{eff}_C})^2$$

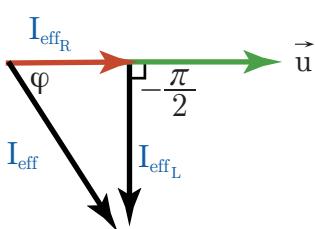
لحساب  $\bar{\varphi}$  من إنشاء فريندل نجد:

$$\cos \bar{\varphi} = \frac{I_{\text{eff}_R}}{I_{\text{eff}}}$$

## حالات خاصة:

1. فرعان يحوي أحدهما مقاومة، والآخر وشيعة مهملة المقاومة:

$$\vec{I}_{\text{eff}} = \vec{I}_{\text{eff}_R} + \vec{I}_{\text{eff}_L}$$



- في فرع المقاومة، الشدة على توافق بالتطور مع التوڑ المطبق

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

- في فرع الذاتية، الشدة على تراجع متأخر بالتطور عن التوڑ المطبق

$$\bar{\varphi}_L = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

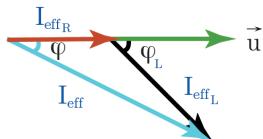
بالتربيع نجد:

$$I_{\text{eff}}^2 = I_{\text{eff}_R}^2 + I_{\text{eff}_L}^2$$

## 2. فرعان يحوي أحدهما مقاومة، والآخر وشيعة ذات مقاومة:

- في فرع المقاومة، الشدة على توافق بالتطور مع التوتر المطبق

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



- في فرع الوشيعة، الشدة متأخرة بالطور عن التوتر المطبق بمقدار

$$\overline{\varphi}_L = \overline{\varphi}_{eff_C} + \overline{\varphi}_{eff_L}$$

- بالتربيع نجد:

$$I_{eff}^2 = I_{eff_R}^2 + I_{eff_L}^2 + 2I_{eff_R}I_{eff_L} \cos(\overline{\varphi}_L - \overline{\varphi}_R)$$

## 3. فرعان يحوي أحدهما مكثفة، والآخر وشيعة مهملة المقاومة:

$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_C}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

- في فرع المكثفة، الشدة متقدمة بالطور عن التوتر المطبق

$$\overline{\varphi}_C = +\frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

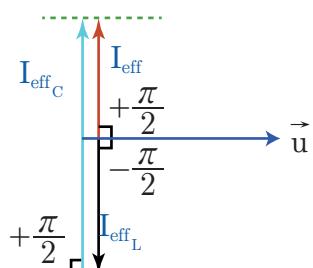
- في فرع الوشيعة مهملة المقاومة الشدة على تراجع متأخر بالطور عن التوتر المطبق

$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_C}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

نميز الحالات الآتية:

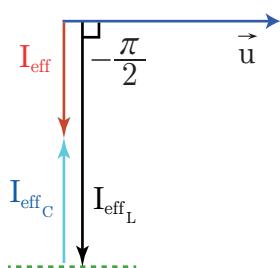
1. إذا كان  $I_{eff_C} > I_{eff_L}$  فإن  $X_C < X_L$  وبالتالي:

$$I_{eff} = I_{eff_C} - I_{eff_L}$$



2. إذا كان  $I_{eff_L} > I_{eff_C}$  فإن  $X_L < X_C$  وبالتالي:

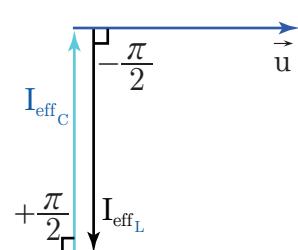
$$I_{eff} = I_{eff_L} - I_{eff_C}$$



3. إذا كان  $I_{eff_L} = I_{eff_C}$  فإن  $X_L = X_C$  وبالتالي:

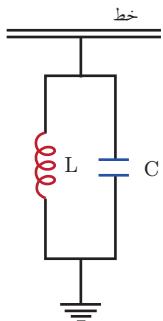
$$I_{eff} = I_{eff_L} - I_{eff_C}$$

$$I_{eff} = 0$$



وتنعدم الشدة في الدارة الخارجية، وتسمى الدارة في هذه الحالة بالدارة الخانقة للتيار، ويكون عندها  $w_r = w$

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ \omega_r L &= \frac{1}{\omega_r C} \\ \omega_r^2 &= \frac{1}{LC} \\ \omega_r &= \sqrt{LC} \\ f_r &= \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \end{aligned}$$



حيث  $f_r$  هو تواتر الدارة والذي يكون التيار الممحض عنده معديداً، أي لا يمر بالدارة الأصلية التيار الذي دوّره يحقق العلاقة:

$$T_r = 2\pi\sqrt{LC}$$

تستخدم الدارة الخانقة في وصل خطوط نقل الطاقة الكهربائية مع الأرض بهدف ترشيح التّوايرات التي يلتقطها الخط من الجو وذلك بجعل تواتر تجاوب الدارة المهزّة مساوياً لـ تواتر تيار خط النقل، فتكون ممانعتها لا نهاية بالنسبة لهذا التواتر بينما تمر بقية التّوايرات الملقطة من الجو عبر الدارة المهزّة إلى الأرض.

## تعلمتُ

- التيار المتساوب الجيبي تيارٌ تتغير فيه الشدة، والتواتر جيبياً مع الزمان.
- الشدة المُنْتَجَة للتيار المتساوب الجيبي: هي شدة تيار متساصلٍ يعطي الطاقة الحرارية نفسها التي يعطيها التيار المتساوب الجيبي عند مرورهما في الناقل الأولي نفسه خلال الزمن نفسه.

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

- التواتر المُنْتَجَ للتيار المتساوب الجيبي يكافئ التواتر المستمر الذي يقدم الطاقة نفسها التي يقدمها التواتر المتساوب الجيبي في الناقل الأولي نفسه خلال الزمن نفسه والتي تصرف بشكل حراري.
- تعرّف الاستطاعة الموسّطة بأنّها الاستطاعة الثابتة التي تقدم في الزمن  $t$  الطاقة الكهربائية  $E$  نفسها التي يقدمها التيار المتساوب الجيبي للدارة، وهي معدل الطاقة الكهربائية المقدمة نتيجة مرور التيار المتساوب خلال الزمن  $t$  وتعطى بالعلاقة:

$$P_{avg} = I_{eff} U_{eff} \cos \varphi$$

- عامل الاستطاعة وهو النسبة بين الاستطاعة المُتوسّطة  $P_{avg}$  والاستطاعة الظاهريّة  $P_A$ .

$$\text{عامل الاستطاعة} = \frac{P_{avg}}{P_A} = \frac{I_{eff} U_{eff} \cos \varphi}{I_{eff} U_{eff}} = \cos \varphi$$

- $U_{eff} = Z I_{eff}$  قانونُ أوم في الحالة العامة.

$$\cos\varphi = \frac{R}{Z} \quad \text{عامل استطاعة الدارة}$$

- تحدث حالة التجاوب الكهربائي (الطين الكهربائي) في دارة تحوي على التسلسل مقاومة  $R$  ، وشيعة ذاتيتها  $L$  ، ومكثفة سعتها  $C$  إذا كان النبض الخاص لاهتزاز الإلكترونات الحرّة  $\omega_0$  يساوي النبض القسري  $\omega$  الذي يفرضه المولد، ويسمى نبض الطين  $\omega$ .



أختبر نفسك

أولاً: أعطِ تفسيراً علمياً موضحاً بالعلاقات المناسبة :

1. لا تستهلكُ الوشيعةُ مُهملةً المُقاومةً طاقةً كهربائيةً.
  2. لا تستهلكُ المكثفةً طاقةً كهربائيةً.

- 3.** لا تمّرُ المُكثّفةُ تيّاراً مُتوّاصلاً عندَ وصلِ لبوسيّها بـمَا خذلَ تيّارَ مُتوّاصلٍ.

٤. تسمح المكففة بمرور تيار متناوب جيبي عند وصل لبوسيها بأخذ هذا التيار المتناوب ولكنها تعرقل هذا المرور.

٥. تكون الشدة المُنْتَجَةُ واحِدَةٌ في عدَّةِ أجهزةٍ موصولةٍ على التسلسلِ مهما اختلفَتْ قيمُ مُمَانعِها.

- ٦. تُستعمل الوشيعة ذات النواة الحديدية كمعدلة في التيار المتناوب.**

7. توصف الاهتزازات الكهربائية في التيار المتناوب بالقسرية.

**ثانياً:** أهمية عامل الاستطاعة في نقل الطاقة الكهربائية من مولد التيار إلى الجهاز الكهربائي:

يُطلب من أصحاب التجهيزات الكهربائية الصناعية ألا ينقص عامل الاستطاعة في تجهيزاتهم عن 0.86 ، كيلاً تخسر مؤسسة الكهرباء طاقة إضافية كبيرة نسبياً بفعل جول في خطوط نقلها، وهي طاقة لا يسجّلها العداد ولا يدفع المستهلك ثمنها.

المطلوب:

استنتج العلاقة التي تربط الاستطاعة الضائعة في خطوط النقل، والتي مقاومتها  $R$  بدلالة عامل الاستطاعة بفرض ثبات التوتر المُنتج والاستطاعة المتوسطة للدارة.

٣٨

دارهٔ تیار مُتناوبِ جیسیٰ تابع، شدّنه  $i = I_{\max} \cos \omega t$ ، ارسم المُنحني البياني المُمثّل لکلٌ من الشّدة اللّحظيّة والتوّتر اللّحظي بدلالة  $\omega t$  (مُخطّط ضابط الطّور) في کلٌ من الحالات الآتية:

- ## ١. مقاومة أو مية فقط.

٢. و شيعة مُهمَلة المُقاومة فقط.

- ٣ مُكثّفة فقط

رابعاً:

يعطى رسم الاهتزاز إشارة التوتر المطبق في مدخل مع حساسية المدخل عند  $500 \text{ mV}$  لكل تدريج ( $500 \text{ mV/div}$ ) وقاعدة الزمن عند  $0.2 \text{ ms/div}$ .

المطلوب:

- أحد التوتّر المشاهد، فهو مستمر أم متغير أم متداوب جيبي؟
- عِين دور وتوافر هذه الإشارة.
- احسب القيمة المُتّسقة للتوتّر.

خامساً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

يعطى تابع التوتّر اللحظي بين نقطتين  $a$  و  $b$  بالعلاقة:  $\bar{u} = 130\sqrt{2} \cos 100\pi t$  (Volt)

المطلوب:

- احسب التوتّر المنتج للتيار وتوافره.

2. نصل بين النقطتين  $a$  و  $b$  وشيعة مقاومتها  $r = 25\Omega$ ، ذاتيّتها  $L = \frac{3}{5\pi} \text{ H}$ . احسب الشدة المُتّسقة، وعامل استطاعة الدارة، والاستطاعة المتوسطة المستهلكة فيها.

3. نرفع الوشيعة ثم نصل النقطتين  $a$  و  $b$  بمقاومة  $R = 30\Omega$  موصولة على التسلسل مع مكثفة سعتها  $C = \frac{1}{4000\pi} \text{ F}$  وشيعة ذاتيّتها  $L$  مقاومتها مهمّلة، فتصبح الشدة المُتّسقة للتيار بأكبر قيمة ممكّنة لها، احسب قيمة ذاتيّة الوشيعة، والشدة المُتّسقة للتيار في هذه الحالـة.

المسألة الثانية:

نطبق توتراً موصلاً  $6 \text{ V}$  على طرفٍ وشيعة، فيمر فيها تيار شدته  $0.5 \text{ A}$ ، وعندما نطبق توتراً متداوباً جيبياً بين طرفٍ وشيعة نفسها، قيمته المُتّسقة  $130 \text{ V}$ ، توازنه  $50 \text{ Hz}$ ، يمر فيها تيار شدته المُتّسقة  $10 \text{ A}$ .

المطلوب:

- احسب مقاومة الوشيعة وذاتها.

2. احسب عدد لفّات الوشيعة إذا علمت أن مساحة مقطعها  $\frac{1}{80} \text{ m}^2$  وطولها  $1 \text{ m}$ .

3. احسب سعة المكثفة التي يجب ضمّها على التسلسل مع الوشيعة السابقة حتى يصبح عامل استطاعة الدارة يساوي الواحد ثم حساب الشدة المُتّسقة للتيار، والاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الدارة عندئذ.

المسألة الثالثة:

مأخذٌ لتيار متداوب جيبي بين طرفيه توتّر لحظي يعطى بالعلاقة:  $\bar{u} = 200\sqrt{2} \cos 100\pi t$  (V) نصلهما للدارة تحوي فرعين يحوي الأول مقاومة صرفة يمر فيها تيار شدته المُتّسقة  $4 \text{ A}$ ، ويحوي الفرع الثاني وشيعة يمر فيها تيار شدته المُتّسقة  $5 \text{ A}$ ، فيمر في الدارة الخارجية تيار شدته المُتّسقة  $7 \text{ A}$ .

المطلوب:

- احسب التوتّر المنتج بين طرفي المأخذ، وتوافر التيار.
- احسب قيمة المقاومة الصرفة، وممانعة الوشيعة.
- احسب عامل استطاعة الوشيعة. ثم احسب مقاومتها.
- احسب الاستطاعة الكلية المستهلكة في الدارة، وعامل استطاعة الدارة.

#### المسألة الرابعة:

يُعطى تابع التوتر اللحظي بين طرفي مأخذ بال العلاقة:  $u = 120\sqrt{2} \cos 120\pi t$  (V)

**المطلوب:**

1. احسب التوتر المُنتج بين طرفي المأخذ وتوافر التيار.
2. نضع بين طرفي المأخذ مصباحاً ذاتيه مهملة، فيمُر فيها تيار شدته المُنتجة 6 A، احسب قيمة المقاومة أومية للمصباح، واكتب تابع الشدة اللحظية المارة فيها.
3. نصل بين طرفي المصباح في الدارة السابقة وشيعة عامل استطاعتها  $\frac{1}{2}$ ، فيمُر في الوشيعة تيار شدته المُنتجة 10 A. احسب ممانعة المستهلكة فيها، ثم اكتب تابع الشدة اللحظية المارة فيها.
4. احسب قيمة الشدة المُنتجة في الدارة الأصلية باستخدام إنشاء فريندل.
5. احسب الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في جملة الفرعين، وعامل استطاعة الدارة.
6. احسب سعة المكثفة الواجب ربطها على التفرع بين طرفي المأخذ لتصبح شدّة التيار الأصلية الجديدة على وافق بالتطور مع التوتر المطبق عندما تعمل الفروع الثلاثة معاً.

#### المسألة الخامسة:

مأخذ تيار متساوب جيبي، تواتره 50 Hz، نربط بين طرفيه الأجهزة الآتية على التسلسل: مقاومة أومية  $R$ ، وشيعة مقاومتها أومية مهملة ذاتيه  $L$ ، مكثفة سعتها  $C = \frac{1}{2000\pi} F$ ، فيكون التوتر المُنتج بين طرفي كل من أجزاء الدارة هو على الترتيب:  $U_{eff_1} = 30 V$ ,  $U_{eff_2} = 80 V$ ,  $U_{eff_3} = 40 V$ .

**المطلوب:**

1. استنجد قيمة التوتر المُنتج الكلي بين طرفي المأخذ باستخدام إنشاء فريندل.
  2. احسب قيمة الشدة المُنتجة المارة في الدارة، ثم اكتب التابع الزمني لتلك الشدة.
  3. احسب الممانعة الكلية للدارة.
  4. احسب ذاتية الوشيعة، واكتب التابع الزمني للتوتر بين طرفيها.
  5. احسب عامل استطاعة الدارة.
  6. نضيف إلى المكثفة في الدارة السابقة مكثفة  $C'$  مُناسبة، فتصبح الشدة المُنتجة للتيار بأكبر قيمة لها،
- المطلوب:**

- a. حدد الطريقة التي يتم بها ضم المكثفين.
- b. احسب سعة المكثفة المضومة  $C'$ .
- c. احسب الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الدارة في هذه الحالة.

#### المسألة السادسة:

نصل طرفي مأخذ تيار متساوب جيبي توتره المنتج  $U_{eff} = 100 V$  وتوافره 50 Hz إلى دارة تحوي على التسلسل مقاومة  $R$ ، ومكثفة سعتها  $C = \frac{1}{4000\pi} F$

**المطلوب:**

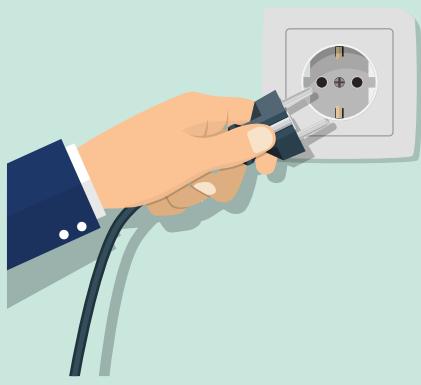
1. احسب قيمة المقاومة إذا كان فرق الكمون المُنتج بين طرفيها 60 V.
2. نضيف على التسلسل إلى الدارة السابقة وشيعة مُناسبة مقاومتها مهملة بحيث تبقى الشدة المُنتجة نفسها، احسب ذاتية هذه الوشيعة.

3. نغير توازن التيار في الدارة الأخيرة بحيث يحصل توافق بالطور بين شدة التيار والتوتر المطبق، احسب قيمة التوازن الجديد.
4. تحذف المقاومة الصرف من الدارة ويعاد ربط المكثفة على التفرع مع الوشيعة بين طرفٍ مأخذٍ للتيار، احسب قيمة الشدة المنتجة الأصلية للدارة في هذه الحالة باستخدام إنشاء فرينل.

## تفكير ناقد



مخاطر الكهرباء المنزلية والوقاية منها:



- ما هي مخاطر التيار الكهربائي المنزلي، وكيف نحمي أنفسنا والتجهيزات المنزلية منه.
- تزود المأخذ الخاصة بالبراد والغسالة وبعض الأجهزة الأخرى بמאخذ ثالث. (كما في الشكل جانباً)
- نشعر أحياناً بهزة خفيفة عند لمس هيكل بعض الأجهزة الكهربائية الموصلة بالتيار.
- يزود مأخذ التيار في الحمام بغطاء بلاستيكي.
- يُنصح بعدم لمس الأجهزة الكهربائية بيد مبللة.
- ما دور الفاصل، ولماذا تركب مباشرةً وراء العداد في بداية الشبكة المنزلية؟

## ابحث أكثر



تُستخدم حالة دار الطنين في عملية توليف أجهزة الاستقبال الإذاعية والتلفزيونية. اشرح آلية عملها في جهاز الاستقبال اللاسلكي لاختيار محطة إذاعة المراد سماعها؟

# ٦

# المُحَوّلَاتُ الكهربائِيَّةُ



يحتاجُ عملُ بعضِ الأجهزةِ الكهربائِيَّةِ لتوثُّرٍ مُنخَفِضٍ وبعضُها الآخرُ يحتاجُ لتوثُّرٍ مُرتفِقٍ نسبيًّا، فكيفَ يتمُّ تأمينُ التوثرِ المُناسبِ لعملِها؟

يعتبرُ مرْكُزُ توليدِ الطَّاقةِ الكهربائِيَّةِ في مدينةِ بانياس من المشاريع الحيوية التي تُساهِمُ في رفدِ الاقتصادِ الوطنيِّ، حيثُ يتمُّ رفعُ التوثرِ المتتَّجُ في محطةِ التوليدِ بوساطةِ مُحَوّلَاتٍ رافعةٍ للتوثُّرِ وذلكُ لتقليلِ ضياعِ جزءٍ من الطَّاقةِ الكهربائِيَّةِ بفعلِ جول، فما المُحَوّلةُ؟ وما عملُها؟

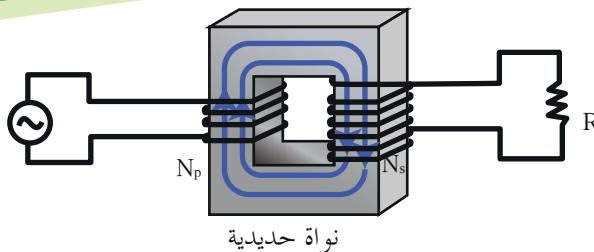
## الأهداف:

- \* يعرِفُ المُحَوّلةَ الكهربائِيَّةَ.
- \* يعرِفُ العلاقاتِ في المُحَوّلَاتِ.
- \* يعرِفُ عملَ المُحَوّلةَ.
- \* يميِّزُ بينَ المُحَوّلَاتِ الرافعَةِ والمُحَوّلَاتِ الخافِضةِ للتَّوثرِ.
- \* يعرِفُ كفاءَةَ المُحَوّلةِ.
- \* يستنتجُ مردودَ نقلِ الطَّاقةِ الكهربائِيَّةِ.

## الكلمات المفتاحية:

- \* المُحَوّلةُ.
- \* نسبةُ التَّحويلِ.
- \* مردودُ النَّقلِ.
- \* كفاءَةُ المُحَوّلةِ.

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 معلقة من الحديد اللين.

١٤. عند تطبيق توتر متساوب، قيمه المنتجه مختلفه بين طرفى الوشيعة الأولى، سجلت النتائج وفق الجدول الآتى:

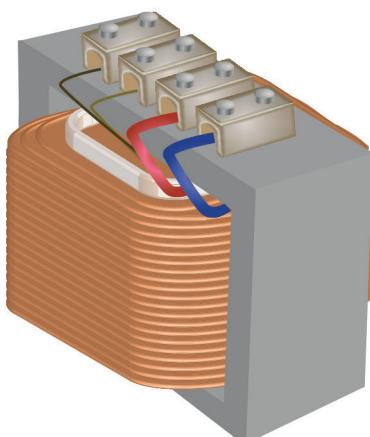
$\frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$	$\frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}}$	$\frac{N_s}{N_p}$	$I_{eff_s}(\text{A})$	$I_{eff_p}(\text{A})$	$U_{eff_s}(\text{V})$	$U_{eff_p}(\text{V})$
-----	-----		0.25	0.5	20	10
-----	-----		0.5	1	40	20
-----	-----		1	2	80	40

2. عند التبديل بين الوسيطتين سُجلت النتائج وفق الجدول الآتي:

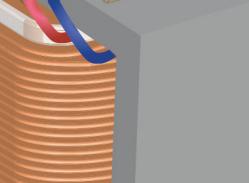
$\frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$	$\frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}}$	$\frac{N_s}{N_p}$	$I_{eff_s}(\text{A})$	$I_{eff_p}(\text{A})$	$U_{eff_s}(\text{V})$	$U_{eff_p}(\text{V})$
- - - -	- - - -		1	0.5	5	10
- - - -	- - - -		2	1	10	20
- - - -	- - - -		4	2	20	40

## المطلوب:

١. أكمل الفراغات في الجدولين السَّابقَيْنِ.
  ٢. ماذا تتوقعُ عندَ استبدالِ منبعِ تِيَارٍ مُسْتَمِّرًّ بِمنبعِ تِيَارٍ مُتَنَاوِبٍ؟



## النتائج:

- 

نسمى دائرة الوشيعة التي تتلقى التيار المتساوب بالوشيعة الأولية، ويرمز لعدد لفاتها  $N_P$  ، وللتواتر المنتج المطبق بين طرفيها  $U_{eff_p}$  وللشدة المنتجة المارة فيها  $I_{eff_p}$  .
  - نسمى دائرة الوشيعة التي يتلقى منها التيار المتساوب (التي تطبق عليها الحمولة) بالثانوية، ويرمز لعدد لفاتها  $N_s$  ، وللتواتر المنتج بين طرفيها  $U_{eff_s}$  ، وللشدة المنتجة المارة فيها  $I_{eff_s}$  .
  - يختلف دائماً عدد اللفات بين الوشيعتين الأولية والثانوية للمحول، حيث تصنع الوشيعة ذات عدد اللفات الأقل من سلك ذي مقطع أكبر من مقطع سلك الوشيعة الأخرى.
  - تسمى النسبة  $\frac{N_s}{N}$  نسبة التحويل ويرمز لها بالرمز  $e_r$  :

$$\mu = \frac{U_{eff_s}}{U_{eff_n}} = \frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}} = \frac{N_s}{N_n}$$

- تكون المُحَوَّلَة رافعةً للتوثُّر خاضعةً للشدة إذا كانت  $I > 0$ .
  - تكون المُحَوَّلَة خاضعةً للتوثُّر رافعةً للشدة إذا كانت  $I < 0$ .
  - المُحَوَّلَة جهاز كهربائي يعتمد على حادثة التحريرض الكهرطيسي، يعمل على تغيير التوثُّر المنتج، والشدة المُنتجة للتيار المتساُوب، دون أن يغير تقريباً من القدرة المنقوله، أو من تواُر التيار، أو شكل اهتزاز التيار.
  - يُرمز للمُحَوَّلَة في الدارات الكهربائية بالرمز:

## مِنْ أَعْمَلِ الظَّهُولَةِ :



كيف تفسّر عمل المُحوّلة عند تطبيق توتر مُتناوبٍ جيبي؟  
عند تطبيق توتر مُتناوبٍ جيبيٍ بين طرف في الدارة الأولية يمر فيها تيار مُتناوبٍ جيبيٍ، فيتولّد داخل الوسعة الأولية حقلٌ مغناطيسيٌّ مُتناوبٍ، تعمل التواهُة الحديدية على تمثيل كامل تدفقه إلى الدارة الثانوية تجرياً، فتتولّد فيها قوّةٌ مُحرّكة كهربائيّة تساوي التوّير المُتناوب الجيبيٍ بين طرفيها بإهمال مقاومة أسلال الوشائعا في المُحوّلة، فيمرُّ فيها تيارٌ كهربائيٌّ مُتناوبٍ له تواتُرٌ التيار الماز في الأولى.

## الاستطاعات المضائعة في المحوّلة اللهم بالله:

عند تمرير تيار كهربائي في ناقل أو مي يضيع قسم من الطاقة الكهربائية حرارياً بفعل جول. تصنف الاستطاعة الضاغطة في المحولة الكهربائية إلى:

## ١. استطاعة ضائعة حارياً

- استطاعة ضائعة حرارياً في الدارة الأولية:  $P'_p = R_p I_{eff_p}^2$
  - استطاعة ضائعة حرارياً في الدارة الثانوية:  $P'_s = R_s I_{eff_s}^2$
  - استطاعة كاّبة ضائعة  $P_{-} = P' + P'_s$

2. استطاعة كهربائية ضائعة مغناطيسياً نتيجة هروب جزء من خطوط الحقل المغناطيسي خارج النواة الحديدية .  $P_M$

## إثراء: تحسين كفاءة عمل المحوّلة:

عندما أستخدم شاحن الهاتف النقال أشعر بارتفاع درجة حرارته في أثناء عملية الشحن، ما سبب ذلك؟ وما أهم الحلول العملية لتحسين كفاءة عمل المحوّلة.

- يعود ارتفاع درجة حرارة الشاحن (المحوّلة) إلى:
  - ضياع جزء من الطاقة الكهربائية حراريًا بفعل جول.
  - تيارات فو كوك التحربيّة.
- ولتحسين كفاءة عمل المحوّلة تُصنَع أسلالك الوعية من التحاس ذي المقاومة النوعية الصغيرة لتقليل الطاقة الكهربائية الضائعة بفعل جول.
- النواة الحديدية من شرائح رقيقة من الحديد اللّين معزولةً عن بعضها البعض لتقليل أثر التيارات التحربيّة (تيارات فوكوك).

## مِرْدُودُ نَقْلِ الطَّاقَةِ الْهَيْبَلِيَّةِ :

يعطى مردود النقل بالعلاقة:

$$\eta = \frac{P - P'}{P}$$

حيث:  $P$  الاستطاعة المُتولدة من منبع التيار المتناوب (المنوبة).  
 $P'$  الاستطاعة الضائعة حراريًا في أسلاك النقل بفعل جول.

$$\eta = 1 - \frac{P'}{P}$$

وباعتبار عامل الاستطاعة قريباً جداً من الواحد فإن:

$$P = U_{eff} I_{eff}$$

$U_{eff}$  التوتر المنتج بين طرفي المنبع.

$$P' = R I_{eff}^2$$

حيث  $R$  مقاومة أسلاك النقل.  
 $\eta = 1 - \frac{R I_{eff}^2}{U_{eff} I_{eff}}$  نعوض في علاقة المردود:  
 نعوض فنجد:

$$\eta = 1 - R \frac{I_{eff}}{U_{eff}}$$

ماذا لالاحظ من هذه العلاقة؟

لكي يقترب المردود من الواحد ينبغي تصغير مقاومة أسلاك النقل  $R$  أو تكبير  $U_{eff}$ ، يتم ذلك باستعمال محوّلات رافعة للتوتر عند مرکز توليد التيار ثم خفضه على مراحل عند الاستخدام.

## المُحَوِّلَاتُ الْخَافِضَةُ لِلتَّوْتُرِ:

للمُحَوِّلَاتِ الْخَافِضَةِ لِلتَّوْتُرِ اسْتِخْدَامَاتٌ عَدِيدَةٌ نَذْكُرُ مِنْهَا:

- شحن بعض الأجهزة الكهربائية.
- ألعاب الأطفال، التي يخضع فيها التوتر للأمان من 220 إلى 12 V أو أقل.
- عمليات اللحام الكهربائي، حيث تحتاج لتيار شدّته من مرتبة مئات الأمبيرات.
- أفران الصهر.

## تعلمتُ

• المُحَوِّلَةُ جَهَازٌ كَهْرَبَائِيٌّ يَعْتَمِدُ عَلَى حادثَةِ التَّحْرِيقِ الْكَهْرَبَائِيِّ، يَعْمَلُ عَلَى تَغْيِيرِ التَّوْتُرِ الْمُنْتَجِ، وَالشَّدَّةِ الْمُنْتَجَةِ لِلتَّيَارِ الْمُتَنَاوِبِ، دُونَ أَنْ يَغْيِرْ تَقْرِيبًا مِنْ الْإِسْتِطَاعَةِ الْمُنْقُولَةِ، أَوْ مِنْ تَوَافُرِ التَّيَارِ، أَوْ شَكْلِ اهْتِزَازِ التَّيَارِ.

• نسمي دارة الوشيعة التي تتلقى التيار المتناوب بالوشيعة الأولى، 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 (التي تطبق عليها الحمولة) بالثانوية، ويرمز لعدد لفاتها  $N_s$  ، وللتوتر المنتج بين طرفيها  $U_{eff_s}$  ، وللشدة المنتجة المارة فيها  $I_{eff_s}$  .

• تسمى النسبة  $\frac{N_s}{N_p}$  نسبة التحويل ويرمز لها بالرمز  $\mu$  :

$$\mu = \frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}} = \frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}} = \frac{N_s}{N_p}$$

• تكون المحوّلة رافعة للتوتر خاضعة للشدة إذا كانت  $1 < \mu$  .

• تكون المحوّلة خاضعة للتوتر رافعة للشدة إذا كانت  $1 > \mu$  .

• مردود المحوّلة هو نسبة الاستطاعة الكهربائية المفقودة التي تحصل عليها من الدارة الثانوية إلى الاستطاعة الكهربائية الداخلة إلى الدارة الأولى:

• لتحسين كفاءة عمل المحوّلة:

• تُصْنَعُ أَسَلاكُ الْوَشِيعَةِ مِنَ التُّحَاسِ ذِي الْمُقاوَمَةِ الْنَّوْعِيَّةِ الصَّغِيرَةِ لِتَقْلِيلِ الطَّاقَةِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ الضَّائِعَةِ بِفَعْلِ جُولِ.

• تُصْنَعُ التَّوَأْمَةُ الْحَدِيدِيَّةُ مِنْ شَرَائِحِ رَقِيقَةٍ مِنَ الْحَدِيدِ الَّذِيْنَ مَعَزَّوَلَةً عَنْ بَعْضِهَا بَعْضًا لِتَقْلِيلِ أَثْرِ الْبَيَارَاتِ التَّحْرِيَضِيَّةِ (بيارات فوكو).

• يَتَمُّ رُفعُ التَّوَتُرِ الْمُنْتَجِ فِي مَحَطَّةِ التَّوْلِيدِ بِوْسَاطَةِ مُحَوِّلَاتٍ رَافِعَةٍ لِلتَّوَتُرِ لِلتَّقْلِيلِ مِنَ الطَّاقَةِ الْكَهْرَبَائِيَّةِ الضَّائِعَةِ بِفَعْلِ جُولِ، مَمَّا يَحْسَنُ مِنْ مَرْدُودِ التَّقْلِيلِ.

## أختبر نفسي



**أولاً: اختار الإجابة الصحيحة:**

1. مُحَوْلَةٌ كهربائيةٌ نسبةٌ تحويلها  $3 = \mu$  ، وقيمة الشدة المُنتجة في ثانويتها  $I_{eff_s} = 6\text{ A}$  ، فإن الشدة المُنتجة في أوليّتها :

$$I_{eff_p} = 3\text{ A .d} \quad I_{eff_p} = 9\text{ A .c} \quad I_{eff_p} = 2\text{ A .b} \quad I_{eff_p} = 18\text{ A .a}$$

2. مُحَوْلَةٌ كهربائيةٌ قيمة التوتر المُنتج بين طرفي أوليّتها  $U_{eff_p} = 20\text{ V}$  وقيمة التوتر المُنتج بين طرفي ثانويتها  $U_{eff_s} = 40\text{ V}$  فإن نسبة تحويلها  $\mu$  تساوي :

$$60 . d \quad 20 . c \quad 0.5 . b \quad 2 . a$$

**ثانياً: أعطِ تفسيراً علمياً لكلٍ مما يأني:**

1. لا تُنقل الطاقةُ الكهربائية عبر المسافات البعيدة بوساطة تيار متواصل؟
2. تُنقل الطاقةُ الكهربائية بتوتر عدّة آلافٍ من الفولتات ثم تُخفيض إلى  $220\text{ V}$  عند الاستهلاك؟
3. تُصنع التواه في المُحَوْلَة من صفائح أو قضبانٍ معزولةٍ من الحديد اللين؟

**ثالثاً: حل المسائل الآتية:**

**المسالة الأولى:**

- يلغى عدد لفات أولية مُحَوْلَة كهربائية  $N_p = 125$  لفة وعدّ لفات ثانويتها  $N_s = 375$  لفة، والتؤُر اللحظي بين طرفي الثانوية يُعطى بالمعادلة  $(V) = 120\sqrt{2} \cos 100\pi t$  :
- المطلوب:**

1. احسب نسبة التحويل، ثم بين إن كانت المُحَوْلَة رافعة للتوتر أم خافضة له.
2. احسب قيمة التوتر المُنتج بين طرفي كل من الدارة الثانوية والأولية.
3. نصل طرفي الدارة الثانوية بمقاومة صرف  $R = 30\Omega$  ، احسب قيمة الشدة المُنتجة للتيار المار في الدارة الثانوية.

4. نصل على التفرع مع المقاومة السابقة وشيعة مُهمّلة المقاومة، فيمُر في فرع الوشيعة تيار شدّته المُنتجة  $I_{eff} = 3\text{ A}$  ، احسب ردية الوشيعة، ثم اكتب التابع الزّمني لشدة التيار المار في الوشيعة.
5. احسب قيمة الشدة المُنتجة الكلية في الدارة الثانوية باستخدام إنشاء فريبلن.
6. احسب قيمة الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في الدارة، وعامل استطاعة الدارة.

**المسالة الثانية:**

- محولة كهربائية مثالياً عدد لفات ثانويتها  $480$  لفة يطبق بين طرفي أوليّتها توّراً منتجًا  $240\text{ V}$  ويوصل بين طرفي ثانويتها مصباح كهربائي استطاعته  $24\text{ Watt}$  ويعمل بتوتر منتج  $2\text{ V}$  المطلوب حساب :

- 1 - الشدة المنتجة المارة في الدارة الثانوية.
- 2 - الشدة المنتجة المارة في الدارة الأولية.
- 3 - عدد لفات الدارة الأولية ونسبة التحويل.
- 4 - المقاومة الأولية للمصباح الكهربائي.

### المسألة الثالثة:

يلغى عدد لفاتٍ أولية مُحولة 3750 لفة، وعدد لفات ثانويتها 125 لفة، نطبقُ بين طرفي الأولى توتراً مُنتجًا  $U_{effp} = 3000 \text{ V}$ ، ونربطُ بين طرفي الثانية دارةً تحوي على التفريع:

$$P_{avg_1} = 1000 \text{ W}$$

• مقاومةٌ صرفٌ، الاستطاعةُ المستهلكة فيها  $P_{avg_2} = 1000 \text{ W}$ ، يمرّ فيها تيارٌ يتأخّرُ بالتطور عن

$$\frac{\pi}{3} \text{ rad}$$

المطلوب حساب:

1. قيمة الشدّة المُنتجة للتيار المار في المقاومة.

2. قيمة الشدّة المُنتجة للتيار المار في الوشيعة.

3. قيمة الشدّة المُنتجة للتيار المار في ثانية المُحولة.

4. الشدّة المُنتجة للتيار المار في الدارة الأولى للمُحولة.

### المسألة الرابعة:

يلغى عدد لفاتٍ وشيعةٍ أولية مُحولة 125 لفة، وفي ثانويتها 375 لفة. نطبقُ بين طرفي الدارة الأولى توتراً كهربائياً جيبياً تواتره  $50 \text{ HZ}$  قيمته المنتجة  $V = 10$ ، ونصلُ طرفي الثانية بمقاومةٍ صرفٍ  $R$  مغموسةٍ في مساحة يحوي  $600 \text{ g}$  من الماء. معادله المائي مهملاً، فترتفع حرارته  $C = 2.14^\circ \text{C}$  خلال دقيقةٍ واحدة.

$$(C_{H_2O} = 4200 \text{ J.Kg}^{-1}.C^{-1})$$

المطلوب:

1. احسب قيمة المقاومة  $R$ .

2. احسب الشدتين المُنتجتين في داري المُحولة باعتبار مردودها يساوي الواحد.

3. نصلُ على التفريع بين طرفي المقاومة وشيعةً مهملاً المقاومة فتصبح الشدّة المُنتجة الكلية في الدارة الثانية

$$5 \text{ A}$$

المطلوب حساب:

a. الشدّة المُنتجة للتيار في فرع الوشيعة باستخدام إنشاء فريندل، ثم اكتب تابع الشدّة اللحظية.

b. ذاتية الوشيعة.

c. الاستطاعة المتوسطة في جملة الفرعين.

### تفكير ناقد



عملياً يوجد حد أعلى للتوترات التي يمكن نقلها عبر خطوط التوتر، فما العوامل التي تمنع من تجاوز هذا الحد في خطوط النقل البعيد للطاقة الكهربائية؟

### أبحث أكثر



يعتمد عمل العديد من الأجهزة الكهربائية على المحوّلات، أبحث في مكتبة المدرسة، وفي الشبكة عن أنواع المحوّلات واستخدامات كل منها.

## الوحدة الثالثة

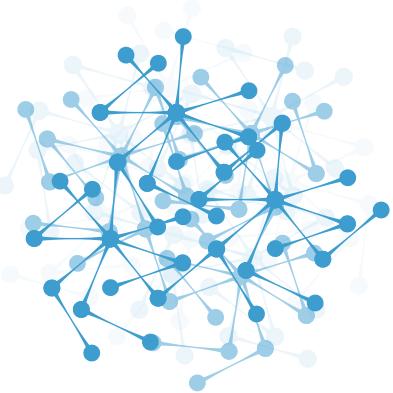
# الأمواج المستقرة



يُعتبر جهاز الأمواج فوق الصوتية التصادمية من أحدث ما تم التوصل إليه في الطب لعلاج الحصى الموجوحة في الكلى بدون جراحة عن طريق تفتيتها، وتحويلها إلى قطعٍ صغيرةٍ يسهل طرحها خارج الجسم.

١

# الأمواج المستقرة العرضية



## الأهداف:

- \* يتعرفُ الأمواج المستقرة العرضية تجريبياً.
- \* يستنتجُ مُعادلة مطالِنقطةٍ في موجةٍ مستقرةٍ عرضيةٍ.
- \* يفسّرُ تشكُّلَ عُقدٍ وبطونِ الاهتزازِ في موجةٍ مستقرةٍ عرضيةٍ.
- \* يستنتجُ العلاقة المُحدّدة لكلٌّ من أبعادِ مواضعِ عُقدٍ وبطونِ الاهتزازِ.
- \* يتعرّفُ بعضَ تطبيقاتِ الأمواج المستقرة العرضية.
- \* يتعرّفُ قانونَ الأوّتارِ المُهتزّةِ.



## الكلمات المفتاحية:

- \* بطن اهتزاز.
- \* عُقدَة اهتزاز.
- \* نهاية مُقيّدة.
- \* نهاية طليقة.
- \* وتر مُهتزّ.
- \* حبل مَرَن.
- \* تجاوُب.
- \* التّوافُر الأساسيّ.
- \* المدروجات.

يستطيُع عازفُ العود ضبطُ أوّتارِ عودِه باستخدامِ مفاتيحِ الضبطِ الثنائيِ عشرَ الموجودة في نهايةِ العود حيثُ يعمّلُ على شدّ هذه الأوّتار، فيحدّ درجةَ قوّةِ التّغمات الصادرة من العود، وفي أثناءِ العزف يستخدمُ الرّيشة للنّقير على الأوّتار بالتزامن مع الضّغطِ عليها، وكذلك الحالُ بالنسبة لجميعِ الآلاتِ الوترية (الغيتار والكمان والبزق والقانون).

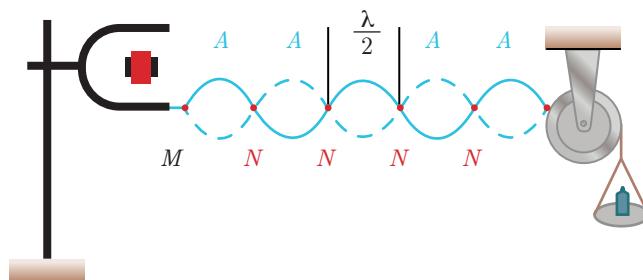
## الدّارسَة التجارِيَّة للأمواج المُستقرَّة العَرْضيَّة في وَرَق

**أجْرَبْ وأَسْتَنْج:**

المواد الازمة: رنانة كهربائية ذات قاعدةٍ توازُّها (100 Hz) - بكرة - حامل معدني - كفة (حاملة) أثقال - أوزان مُختلِفة - وتر مرن - وحدة تغذية - أسلاك توصيل - مسطرة.

**خطوات التجربة:**

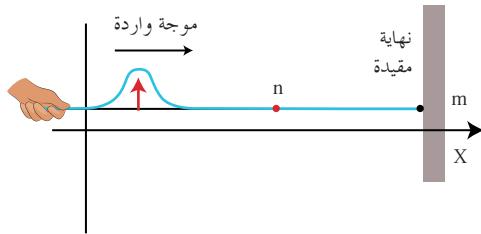
1. أثبَّتِ البكرة على الحامل.
2. أثبَّتِ طرف الورِت بِإحدى شعبيَّ الرَّنَانة.
3. أمرَّرِ الورِت على محرَّز البكرة، وأعلَقْ بطرفه المُتدلي كفَّةً الأنْتقال.
4. أضْعِ في الكفة ثقلًا مُناسبًا بحيث يُشدَّ الورِت بوضع أفقِي.
5. أصلِّ الرَّنَانة بوساطةِ أسلاكِ التَّوصيل بِمِربُطٍ وحدَّة التَّغذية الموصلَة بِمَا خَذَ تيارِ المدرسة (تيارِ المدينة).
6. أغلَقْ مفتاحَ تشغيلِ وحدَة التَّغذية لتعملِ الرَّنَانة، ماذا ألاَّحظ؟
7. أكْتُبْ مُعادَلَة مطالِ موجَةٍ واردةٍ مُتقدَّمةٍ جيَّبيةً بالاتِّجاه المُوجِب للمَحْوَر  $\vec{x}$  عندما تصلُ إلى النَّقطَة  $n$  من وسطِ الانتشار والتي فاصلُها  $\bar{x}$  عن النَّهايَة المُقيَّدة  $m$  في اللَّحظَة  $t$ .
8. أكْتُبْ مُعادَلَة مطالِ موجَةٍ منعكَسَةً مُتقدَّمةً جيَّبيةً بالاتِّجاه السَّالِب للمَحْوَر  $\vec{x}$  تصلُ إلى النَّقطَة  $n$  من وسطِ الانتشار والتي فاصلُها  $\bar{x}$  عن النَّهايَة المُقيَّدة  $m$  في اللَّحظَة  $t$ .
9. أحَدِّدُ أوجَة الاختلافِ والتَّشابُه بينَ الموجَة الواردة المُتقدَّمة والموجَة المُنعكَسَة المُتقدَّمة؟
10. أحَدِّدُ ماذا يتَشَكَّلُ نتِيجة التَّدَافُل بينَ الموجَة الجيَّبية الواردة مع الموجَة الجيَّبية المُنعكَسَة؟
11. أحَرِّكِ حاملَ البكرة وفقَ استقامَة الورِت بحيث يتغيَّرُ الطُّول المُهَبَّزُ منه، وأنْتَوْقُ عَندَما تَكُونُ المغازلُ بسعةٍ كبيرةٍ نسبيًّا.
12. أتساءُلُ ما الأَمْوَاجُ المُسْتَقِرَّة العَرْضيَّة؟



**النتائج:**

- عندما تَعْمَلُ الْهَزَازَة (الرَّنَانة) تَتَشكَّلُ عَلَى طَوْلِ الورِتِ أَمْوَاجٌ عَرْضيَّة جيَّبية مُتقدَّمة، وتَكُونُ مُعادَلَة مطالِ موجَةٍ واردةٍ مُتقدَّمةٍ جيَّبيةً بالاتِّجاه المُوجِب للمَحْوَر  $\vec{x}$  عندما تصلُ إلى النَّقطَة  $n$  من وسطِ الانتشار والتي فاصلُها  $\bar{x}$  عن النَّهايَة المُقيَّدة  $m$  في اللَّحظَة  $t$  مُعطَاةً بِالعَلَاقَة

$$\bar{y}_{1(t)} = Y_{\max} \cos(wt - 2\pi \frac{\bar{x}}{\lambda}) \dots \dots \dots (1)$$

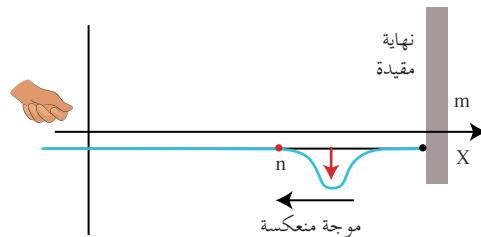


- عندما تصل الأمواج الجيبية إلى ال نهاية المقيدة  $m$  للوتر تعكس، فتولد الموجة المُنعكسَة المُتقدمة الجيبية بالاتجاه السالب للمحور  $\overrightarrow{x}$ ، في النقطة  $n$  في اللحظة  $t$  مطلاً يعطى بالعلاقة:

$$\bar{y}_{2(t)} = Y_{\max} \cos(wt + 2\pi \frac{x}{\lambda} + \varphi') \dots \dots \dots (2)$$

تعرّض لفرقٍ في الطور  $\varphi$  بسبب الانعكاس، وهو متأخرٌ في الطور عن الموجة الواردة إلى  $n$ .

- تعكس الإشارةُ عن النهاية المقيدة أو عن النهاية الطليقة بسرعة الانتشار نفسيها والتَّوَافُرُ نفسه وبالسعة نفسها – عند إهمال الضياع في الطاقة – وينشاً فرقٌ في الطور  $\overline{\phi}$  بين الموجة الواردة والموجة المُنْعِكِسة في الوسط (الوتر):



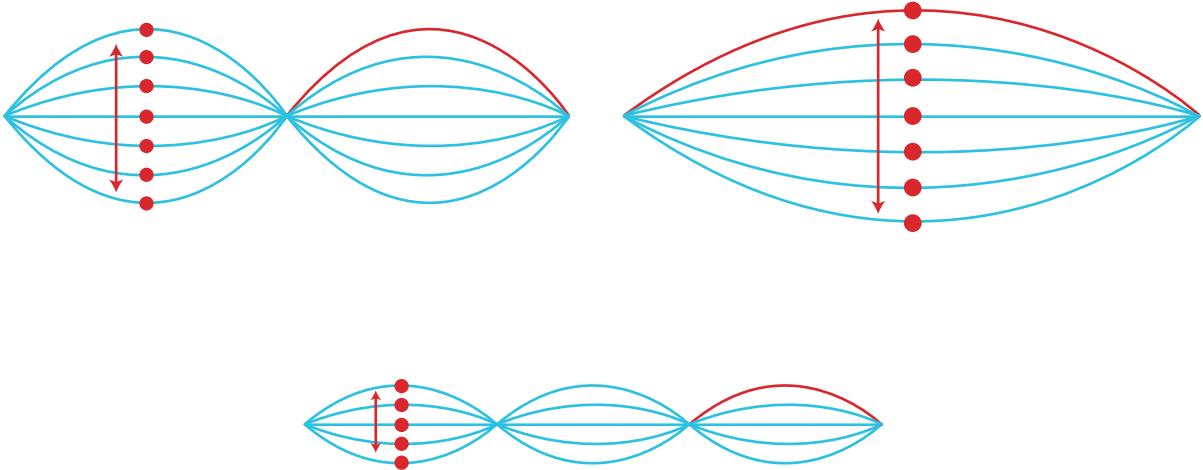
١. إذا كانت النهاية مقيدة فإن جهة الإشارة المُنْعَكِسَة تعاكس جهة الإشارة الواردة؛ أي يتولّد بالانعكاس فرق طور  $\pi \text{ rad} = \overline{\varphi}$  (تعاكس بالتطور).

2. إذا كانت النهاية طليقة، فإن جهة الإشارة المُنْعَكِسَة نفسها للإشارة الواردة، أي فرق الطور  $\phi' = 0 \text{ rad}$  (توافق بالطور)

- تتشكل الأمواج المستقرة العرضية نتيجة التداخل بين موجة جيئية واردة مع موجة جيئية منعكسة على نهاية مقيّدة تعاكسها بجهة الانتشار ولها التوافر نفسه والسعنة نفسها، وينتُج عن تداخلهما:

— نقاط تهتز بسرعة عظيم تسمى بطون الاهتزاز، يرمز لها بـ  $A$  ، حيث تلتقي فيها الأمواج الواردة والمنعكسة على توافق دائم.

— ونقاط تُعدُّ فيها سعة الاهتزاز تُسمى عقد الاهتزاز، يُرمز لها بـ  $N$ ، حيث تلتقي فيها الأمواج الواردة والمنعكسة على تعاكس دائم.



- تكون المسافة الفاصلية بين كل عقدتين متساليم  $\frac{\lambda}{2}$ ، 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، وتبدو الموجة وكأنها تهتز معاوحة في مكانها، فأخذ شكلاً ثابتاً، لذلك سميت بالأمواج المستقرة.
- الموجة المستقرة: هي نمط اهتزاز مستقر تحتوي على عقد بينها بطون تنشأ نتيجة التداخل بين موجتين متساوietين في التوافر والمساحة وتنشران في اتجاهين متعاكسيين.

### الدراسة النظرية للأمواج المستقرة العرضية:

يمكن استنتاج المطال المحصل لاهتزاز النقطة  $n$  التي تخضع لتأثير الموجتين الواردة والمنعكسة معاً بجمع المعادلتين (1) مع (2) فيصبح مطالها المحصل :

$$\begin{aligned}\bar{y}_{n(t)} &= \bar{y}_{1(t)} + \bar{y}_{2(t)} \\ \bar{y}_{n(t)} &= Y_{\max} [\cos(wt - \frac{2\pi}{\lambda} \bar{x}) + \cos(wt + \frac{2\pi}{\lambda} \bar{x} + \varphi')]\end{aligned}$$

وبما أنّ:

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha - \beta}{2} \cos \frac{\alpha + \beta}{2}$$

نجد:

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{\max} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} \bar{x} + \frac{\varphi'}{2}\right) \cos\left(wt + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

## الأمواج المستقرة العزفية المُنجلسة على نهاية مُقيدة:

في الانعكاس على نهاية مُقيدة يكون فرق الطور  $\varphi' = \pi \text{ rad}$  نُعْرض:

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{\max} \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\bar{x} + \frac{\pi}{2}\right) \cos\left(wt + \frac{\pi}{2}\right)$$

و بما أن:  $\cos(\theta + \frac{\pi}{2}) = -\sin\theta$  تصبح العلاقة:

$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{\max} \sin\frac{2\pi}{\lambda}\bar{x} \sin(wt)$$

$$\bar{y}_{n(t)} = Y_{\max/n} \sin(wt)$$

باعتبار  $Y_{\max/n}$  سعة الموجة المستقرة في النقطة  $n$ :

$$Y_{\max/n} = 2Y_{\max} \left| \sin\frac{2\pi}{\lambda}\bar{x} \right|$$

عقد الاهتزاز  $N$ : نقاط سعة اهتزازها معدومة دوماً، تُحدّدُ أبعادها  $\bar{x}$  عن النهاية المُقيدة بالعلاقة:

$$Y_{\max/n} = 0 \implies \sin\frac{2\pi}{\lambda}\bar{x} = 0$$

$$\frac{2\pi}{\lambda}\bar{x} = n\pi$$

$$\bar{x} = n\frac{\lambda}{2}$$

حيث:  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

أي أن النقاط التي تبعد عن النهاية المُقيدة - التي يحصل عندها انعكاسٌ وحيدٌ - أعدادٌ صحيحةٌ موجبةٌ من نصف طول الموجة، يصلُها اهتزازٌ واردٌ واهتزازٌ مُنعكسٌ على تعاكسٍ دائمٍ، فتكون ساكنةً دوماً، وتؤلِّف عقد اهتزاز  $N$ ، وتكون المسافة بين كل عقدتين مُتساليمتين  $\frac{\lambda}{2}$ .

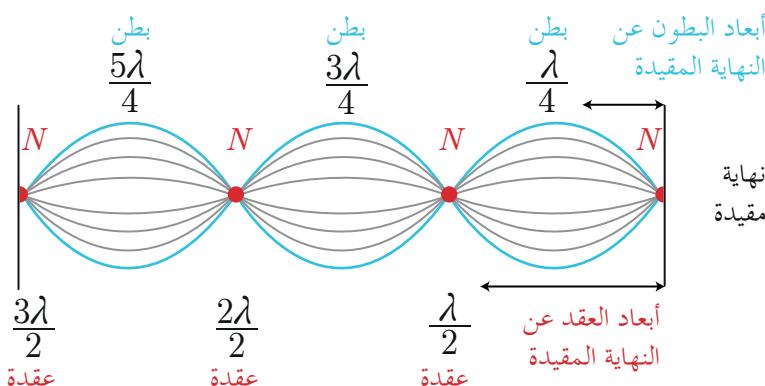
بطون الاهتزاز  $A$ : نقاط سعة اهتزازها عظمى دوماً، تُحدّدُ أبعادها  $\bar{x}$  عن النهاية المُقيدة بالعلاقة:

$$Y_{\max/n} = 2Y_{\max} \implies \left| \sin\frac{2\pi}{\lambda}\bar{x} \right| = 1$$

$$\frac{2\pi}{\lambda}\bar{x} = (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

$$\bar{x} = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$$

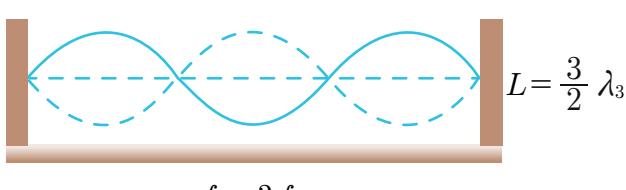
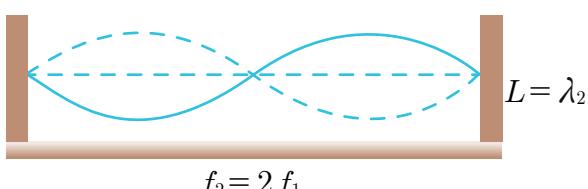
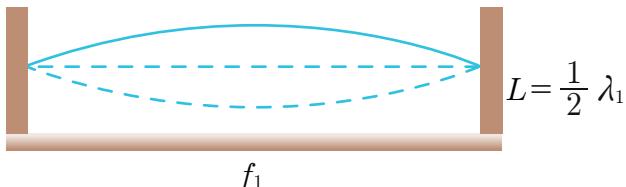
حيث:  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$



أي أن النقاط التي تبعد عن النهاية المقيدة – التي يحصل عندها انعكاسٌ وحيدٌ – أعدادٌ فردية من ربع طول الموجة، يصلُّها اهتزازٌ واردٌ واهتزازٌ مُنعكسٌ على توافقٍ دائم، فتكون سعة الاهتزاز فيها عظيمٌ دوماً، وتؤلف بطون اهتزاز  $A$ ، وتكون المسافة بين كل بطينين مُتاليتين  $\frac{\lambda}{2}$  والمسافة بين كل عقدة وبطنٍ إليها  $\frac{\lambda}{4}$ .

## الاهتزازات الحرة في وتر مرن:

### أجريب وأستنتج:



المواد اللازمة: وتر مرن (جبل مطاطي) – مسماران – قطعة خشبية – مطرقة – مسطرة.

### خطوات التجربة:

1. أثبت مسمارين بوساطة المطرقة على القطعة الخشبية بين نقطتين البعدين بينهما  $L$ .
2. أشد الوتر المرن بين نقطتين الثابتتين.
3. أزيل (أنقر) الوتر من منتصفه وأنزل كهيهته.
4. كم مغزلاً يتشكل في الوتر؟
5. ماذا أسمى الصوت الناتج؟
6. ما نوع الاهتزازات الناتجة في الوتر؟
7. أنقر على الوتر من ربعه وأمسح منتصفه برأس قلم، كم مغزلاً يتشكل في الوتر المهزّ؟
8. ماذا أفعل ليهتز الوتر بثلاثة مغازل أو أربعة؟
9. ماذا أسمى الأصوات الناتجة في الحالات السابقة؟

### النتائج:

- عندما نزيل الوتر المرن المشدود من منتصفه ونتركه، فإنه يهتز اهتزازات حرة بتأثيره الخاص  $f_1$  مولداً موجة مستقرة نتيجة انعكاسها بال نقطتين الثابتتين ويتشكل مغزل واحد، ونسمى الصوت الناتج بالصوت الأساسي  $f_1$ .
- عندما ننقر الوتر المرن المشدود من ربعه وأمسح منتصفه برأس قلم يهتز الوتر بمغزلين.
- عندما ننقر الوتر المرن المشدود من سدسه وأمسحه من ثلثه برأس قلم يهتز الوتر بثلاثة مغازل.
- يمكن أن يهتز الوتر المرن اهتزازات حرة بتأثيرات خاصة مختلفة عندما تغيير شرط التجربة فيتشكل فيه مغزلان أو أكثر، ونسمى الأصوات الناتجة بالمدروجات.
- الوتر المرن المثبت من طرفيه يمكن أن يؤلف هزازة ذات تأثيرات خاصة متعددة، تُعطى بالعلاقة:  $f = n f_1$  حيث: عدد صحيح موجب .....  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$ .

- نولُدُ الْاَهْتِرَازُ الْعَرْضِيُّ بِإِزَاحَةِ الْوَتَرِ عَنْ وَضْعِ تَوازُّنِهِ وَيَكُونُ ذَلِكُ: بالنقر بالريشة (العود)، أو بالإصبع (القانون)، أو بالضرب بمطرقةٍ (البليانو)، أو بالالتصاق بالقوس (الكمان).
  - يُمْكِنُ توليدُ الْاَهْتِرَازُ الْعَرْضِيُّ فِي زِيَادَيَاً بِاسْتِخْدَامِ سُلْكٍ نَحَاسِيٍّ مَشْدُودٍ بِقُوَّةٍ شَدٌّ مُنَاسِبَةٍ، بِأَنْ نَمْرَرَ فِيهِ تِيَارًا جَيِّبًا مُتَنَاوِبًا مُنَاسِبًا، وَنُحِيطُ الْوَتَرَ بِمَغْنَاطِيسٍ نَضْوِيٍّ خَطْوَطٌ حَقْلِهِ عَمُودِيَّةٌ عَلَى السُّلْكِ وَفِي وَضْعٍ مُنَاسِبٍ – فِي الْمُنْتَصَفِ مَثلاً – لِيَهْتَرَزَ بِالْتَّجَارُوبَ مُكْوَنًا مُغْزَلًا وَاحِدًا، وَيَكُونُ تَوَافُرُ الْوَتَرِ النَّحَاسِيِّ مُسَاوِيًّا لِتَوَافُرِ التِيَارِ الْمُتَنَاوِبِ.

## الاهتزازُ القسْرَةُ في وَهْرَنْ :

## ١. تجربة ملء على نهاية مُقيّدة:

أجّرب وأستنتاج:

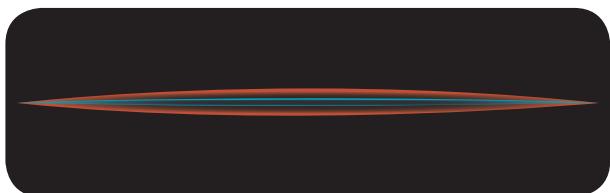
المواد الازمة: هزّازة جيبيّة مُغذّاة (رنانة) سعتها العظمى  $\bar{Y}_{\max}$  صغيرة، يُمكِّن تغيير توافرها  $f$  - بكرة - حاملٌ معدنيٌّ - كفة (حاملة) أثقال - أوزانٌ مختلفة - وترٌ مرنٌ طوله  $L$  - وحدة تغذية - أسلاكٌ توصيل - مسطرة.

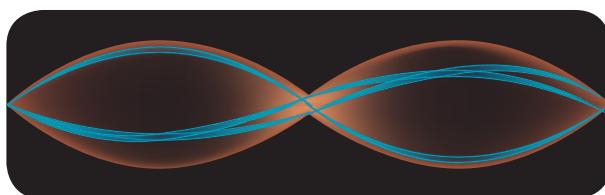
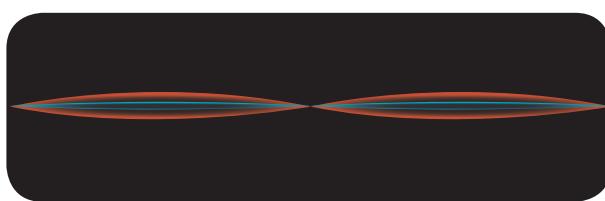
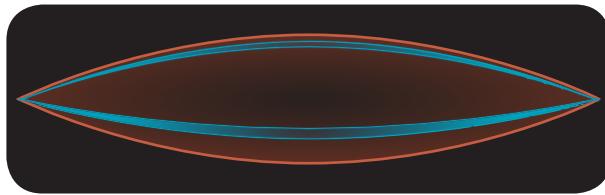
خطوات التجربة:

١. أثبتتِ البكرةَ علىِ الحامل..
  ٢. أثبتتِ أحدَ طرفيِ الوترِ بشعبةِ الهزّازةِ (النقطةِ  $a$ ).  
أمّرُ الوترَ علىِ محرّزِ البكرةِ (النقطةِ  $b$ ) لتشكّل عقدةً ثابتةً، وأعلقُ بطرفِه المُتدلي كفةً الاتّقال.
  ٣. أضعُ في الكفّةِ ثقلاً مناسباً يشدُّ الوترَ بوضعِ أفقىٍ ويجعلُ تواتُرَ صوته الأساسيٍ ثابتاً  $f_1 = 10\text{ Hz}$ .
  ٤. أزيدُ تواتُرَ الرّتّانةِ  $f$  بالتدرّيج بدءاً من القيمةِ صفر حتى القيمة  $10\text{ Hz} < f$  ، ماذا ألاحظ؟  
أجعلُ تواتُرَ الرّتّانةِ  $10\text{ Hz} = f$  ، هل يتشكّلُ موجةً مُستقرّةً واضحةً بسعةً عظميًّا  $Y > Y_{\max}$  ؟
  ٥. أجعلُ تواتُرَ الرّتّانةِ  $20\text{ Hz} < f$  ، ماذا ألاحظ؟  
أجعلُ تواتُرَ الرّتّانةِ  $20\text{ Hz} = f$  ، هل أشاهدُ مغزلين واضحين وبسعةً اهتزازاً عظيمى؟
  ٦. أتساءلُ كيفَ أحصلُ علىِ أربعةِ مغازلٍ فيِ الوترِ تهتزُّ بسعةً اهتزازاً عظيمى؟

## النتائج:

- تولد أمواج في الوتر مهما كانت قيمة تواتر الهزازة  $f$ .
  - إذا كان تواتر الهزازة لا يساوي مضاعفات صحة للتواثر الأساسي للوتر  $f_1 \neq f$  ، يحدث اهتزازات قسرية في الوتر بسعة اهتزاز صغيرة نسبياً من رتبة سعة اهتزاز الهزازة  $Y_{\max}$ .





• إذا كانَ تواتُرُ الهرّازة يساوي إلى مُضاعفاتٍ صحِيحةٍ للتوّاُر الأساسي لِلوتر  $f_1 = n f_1$  ، فإنَّ الوتر يكُونُ بحالَةِ تجاوبٍ (طين)، وتكونُ سعةُ الاهتزاز عندَ البطنِ أكبرَ بكثيرٍ من السعة العظمى للهرّازة، وفي هذه الحالة تكُونُ الأمواجُ المستقرّة.

• تتَكَوَّنُ أمواجٌ مستقرّةٌ عرضيّةٌ مُتَجاوِبةٌ في  $n$  مغزلٍ على طول الوتر، فيها عقدةٌ اهتزازٌ عندَ النقطة  $b$ ، وعقدةٌ اهتزازٌ عملياً بحوار الهرّازة في النقطة  $a$ ، وتكونُ سعةُ اهتزازِ البطنِ عظمىٌ مُحقَّقةٌ للتَّجاوبِ عملياً. ويكونُ طولُ الوتر عدداً صحيحاً من نصف طول الموجة  $L = n \frac{\lambda}{2}$ .

• يؤلّف الوتر (في التجربة السابقة) مجاوباً مُعَدّدَ التواتُر، فيحدثُ التَّجاوبُ من أجل سلسلةٍ مُحدَّدةٍ تماماً من تواترات الهرّازة  $f = 10, 20, 30, 40, \dots, \text{Hz}$  ، ويكونُ عندَها عددٌ من المغازل  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$  على الترتيب. إذَا يُحدِّثُ التَّجاوبُ عندما يكونُ تواتُرُ الهرّازة مُساوياً مُضاعفاتٍ صحِيحةٍ للتوّاُر الأساسي لِلوتر  $f_1 = n f_1$ .

### الدّراسةُ النّظريّة:

يتلقّى الوتر اهتزازاتٍ قسريةٍ فُرضَتْ عليه من الهرّازة، فتتَكَوَّنُ على طوله أمواجٌ مستقرّةٌ عرضيّةٌ مُتَجاوِبةٌ في مغزلٍ، ويحدثُ التَّجاوبُ بينَ الهرّازة كجملةٍ محرّضة، والوتر كجملةٍ مُجاوبةٍ إذَا تحققَ الشرط  $f = n f_1$  : وبدراسةٍ مُماثلةٍ لدراسةِ الأمواجِ المستقرّة العرضيّة المُنبعِكَسة على نهايةٍ مُقيِدةٍ نجدُ:

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

$$L = n \frac{v}{2f}$$

$$f = n \frac{v}{2L}$$

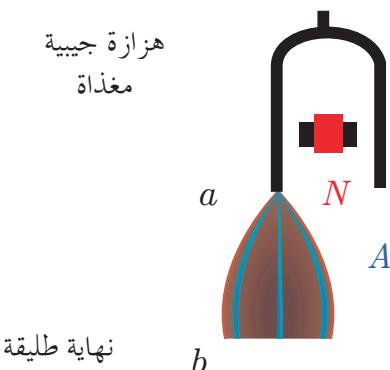
حيثُ:  $n$  عددٌ صحيحٌ موجِبٌ  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

– يُسمَى أَوَّل تواتر يوَلَّد مِغزلاً واحداً: التواتر الأساسي  $f_1 = \frac{v}{2L}$  المدروج الأوَّل (الأساسي).

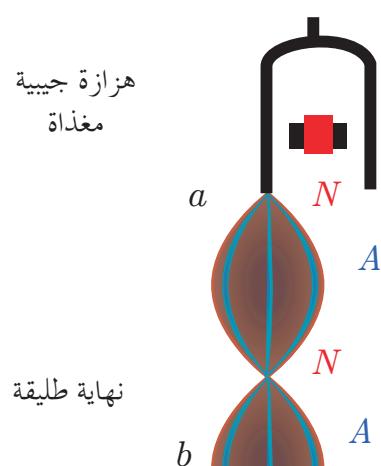
– وُسُمِّي بقية التواترات من أجل  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$  تواترات المدروجات

$$f = n \frac{v}{2L} = n f_1$$

## 2. تجربة ملد على نهاية طلقة



$$L = \frac{\lambda}{4}$$



$$L = 3 \frac{\lambda}{4}$$

**أجرٌب وأستنتج:**  
المواد الالزمه: هزازة جيبيه مغذاه توافرها  $f$  - وتر مطاطي (أو سلك فولاذي)  $ab$  طوله  $L$  - وحدة تغذيه - مسطرة.

**خطوات التجربة:**

1. أثبِّت أحد طرفي الوتر بشعبه الهزازة (النقطة  $a$ ).
2. أترك الوتر يتخلّى شاقوليًّا، ليكون طرفه السفلي  $b$  نهاية طلقة.
3. أغلق القاطعة لتعمل الهزازة، ماذا تلاحظ؟
4. ماذا يتشكّل في كل من النقطة  $a$ ، والنقطة  $b$  عند حدوث التجاوب؟

**النتائج:**

- عندما تعمل الهزازة تتولّد أمواج مستقرة في حالة التجاوب على طول الوتر.
  - يتكون في النقطة  $a$  عقدة اهتزاز، وفي النقطة  $b$  بطء اهتزاز.
  - عندما يكون طول الوتر  $L = \frac{\lambda}{4}$  فإنه يصدر صوتاً أساسياً توافره:  $f_1 = \frac{v}{4L}$ .
  - عندما يكون طول الوتر  $L = 3 \frac{\lambda}{4}$  فإنه يصدر مدروجه الثالث توافره:  $f_1 = 3 \frac{v}{4L}$ .
  - تحدّد المدروجات انطلاقاً من العلاقة المحددة لطول الوتر:  $L = (2n-1) \frac{\lambda}{4f} = (2n-1) \frac{v}{4f}$ .
  - تحدّد التوايرات الخاصة من العلاقة:  $f = (2n-1) \frac{v}{4L}$ .
- حيث:  $n$  عدد صحيح موجب .....  $n = 1, 2, 3, 4, \dots$  ويعتبر  $(1-2n)$  مدروج الصوت الصادر.

## تطبيقات الأمواج المتسقة

**قياس سرعة انتشار الاهتزاز العرضي في وتر مشدود:**

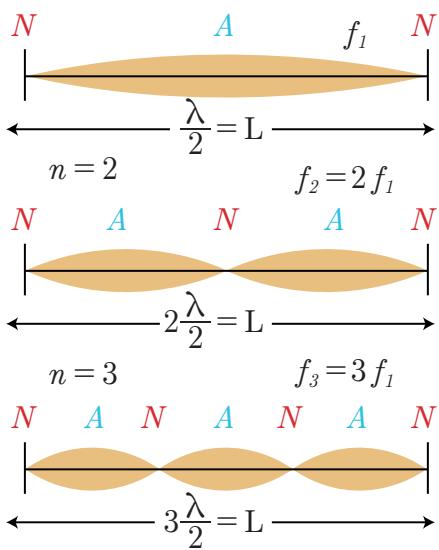
**أجرٌب وأستنتاج:**

المواد الالزمه: هزازة جيبيه مغذاه سعتها العظمى  $\bar{Y}_{\max}$  صغيرة، يمكن تغيير توافرها  $f$  - بكرة - حامل معدني - كفة (حاملة) أثقال - أوزان مختلفة - وتر من طوله  $L$  - وحدة تغذية - أسلاك توصيل - مسطرة.

## خطوات التجربة:

1. أثبتت البكرة على الحامل.
2. أثبتت أحد طرفي الوتر بشعبة الهزازة (النقطة  $a$ ).
3. أمرر الوتر على محرّز البكرة (النقطة  $b$ ) لتشكل عقدة ثابتة، وأعلق بطرفه المتدلي كفة الاتصال.
4. أضع في الكفة ثقلاً مناسباً يشد الوتر بوضع أفقى (قوّة شد الوتر  $F_T$ ) ويجعل توازير صوته الأساسية  $f_1 = 10 \text{ Hz}$ .
5. عندما تعمل الهزازة بتوازير  $f = f_1$  ، يتشكّل في الوتر مغزل واحد، أعلم ذلك؟
6. ماذا أسمى الصوت الناتج في هذه الحالة؟
7. أقيس المسافة بين عقدتين متاليتين، ماذا تمثل هذه القيمة؟
8. أحسب طول الموجة، وسرعة الانتشار؟
9. عندما تعمل الهزازة بتوازير  $2f_1$  ، يتشكّل في الوتر مغزان، ماذا أسمى الصوت الناتج؟
10. أشكّل ثلاثة مغازل في الوتر بتغيير توازير الرنانة ليُصبح  $3f_1 = f$  وأسمى الصوت الناتج.
11. أحافظ على التوازير السابق وأضيف أثقالاً جديدة إلى كفة الاتصال بحيث يكون الثقل الكلّي المعلق بطرف الوتر أربعَة أمثال ما كان عليه، هل يزداد عدد المغازل أو ينقص؟
12. أحافظ على التوازير السابق، وأحافظ على الأثقال السابقة (قوّة شد الوتر) وأنقص طول الوتر، هل يزداد عدد المغازل أو ينقص؟

## النتائج:



- 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.
- يحدث التجاوب عندما يكون توازير الهزازة المعلوم  $f$ :

  - مساوياً التوازير الأساسي للوتر المهتز  $f_1$  ويسمى الصوت الناتج بالصوت الأساسي ويكون طول الوتر المهتز مساوياً  $L = \frac{\lambda}{2}$ ، وتحسب سرعة الانتشار من العلاقة  $v = \lambda f$
  - أو مساوياً مضاعفات صحيحة منه  $f_1 = n f$  وتسمى الأصوات الناتجة بالمدروجات.

- يزداد عدد المغازل عندما يزداد طول الوتر أو عندما يزداد توازير الاهتزاز، وينقص بزيادة قوّة الشد.
- تدلّ نتائج التجارب المختلفة على أن سرعة انتشار الاهتزاز العرضي في الوتر المهتز تناسب:

  1. طرداً مع الجذر التربيعي لقوّة الشد  $F_T$ .

2. عكساً مع الجذر التربيعي لكتلة وحدة الطول من الوتر المُتجانس، وتسمى الكتلة الخطية  $\mu$ .  
أي:

$$v = \text{const} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

إنَّ هذا الثابت في الجملة الدولية يساوي الواحد ( $\text{const} = 1$ )

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

حيث إنَّ الكتلة الخطية للوتر:  $\mu = \frac{m(\text{kg})}{L(\text{m})}$  ووحدتها في الجملة

- نَوْصُ عن سرعة انتشار الاهتزاز في الوتر، وعن الكتلة الخطية للوتر في علاقة تواثر الوتر المشدود فنجد:

$$f = n \frac{v}{2L} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F_T L}{m}}$$

$f$  تواتُر الصوت البسيط الصادر عن الوتر، ويقدَّر بالهرتز Hz.

$F_T$  قوَّة شد الوتر، وتقدَّر باليون N.

$L$  طول الوتر، وتقدَّر بالمتر m.

$\mu$  الكتلة الخطية للوتر، وتقدَّر بـ  $\text{kg.m}^{-1}$ .

$n$  عدد صحيح يمثل عدد المغازل المُتكَوِّنة في الوتر أو رتبة الصوت الصادر عنه (المدرج).

- إذا فرضنا أنَّ وترًا طوله  $L$  ، كتلته  $m$  ، ومساحة مقطعه  $s$  وكتلته الحجمية  $\rho$ ؛ فتكون كتلته الخطية  $\mu$ :

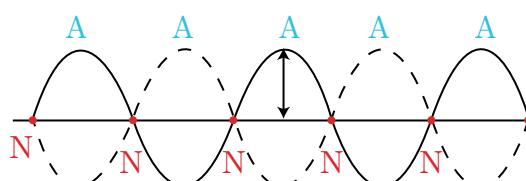
S

L

$$\mu = \rho \pi r^2$$

تطبيق:

وتر مشدود، طوله  $L = 1\text{ m}$  ، كتلته  $m = 6\text{ g} = 6 \times 10^{-3}\text{ kg}$  يهتز بالتجاوُب مع رنانة تواتُرها  $f = 50\text{ Hz}$  مُكوِّناً خمسة مغازل. المطلوب حساب:



- الكتلة الخطية للوتر.
- قوَّة شد الوتر  $F_T$  المطبَّقة على الوتر.
- سرعة انتشار الاهتزاز العرضي على طول الوتر.
- عدد أطوال الموجة المُتكَوِّنة.

الحل:

$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{6 \times 10^{-3}}{1} = 6 \times 10^{-3} \text{ kg m}^{-1}$$

2. عندما يهتز الوتر بالتجاوب يكون:

$$f = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$
$$F_T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{n^2} = \frac{4 \times (1)^2 \times (50)^2 \times 6 \times 10^{-3}}{(5)^2}$$
$$F_T = 2.4 \text{ N}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \sqrt{\frac{2.4}{6 \times 10^{-3}}} = 20 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\lambda = \frac{L}{f} = \frac{L}{v} = \frac{1 \times 50}{20} = 2.5$$

## الأمواج الكهرومغناطيسية المستقرة:



نستخدمُ في منازلنا هوائيٌّ مستقبل لالتقاطِ البثِ التلفزيوني، أو صحن الإشارة اللاقط للقنوات الفضائية.

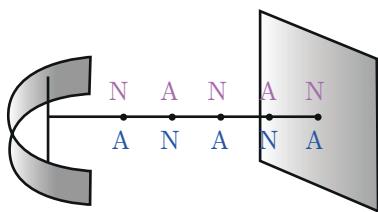
نشاط:

1. كيف تتواءُلُ الأمواج الكهرومغناطيسية المستقرة؟  
2. مما تتَّألفُ الموجة الكهرومغناطيسية المستقرة؟

3. ماذا يحدثُ عند وضع حاجزٍ معدنيٍّ يبعدُ عن الهوائي المُرسل بُعداً مُناسباً وعمودياً على منحى الانتشار.

4. ماذا يحدثُ للموجة الكهرومغناطيسية الواردة عندما تُلاقي الحاجز؟

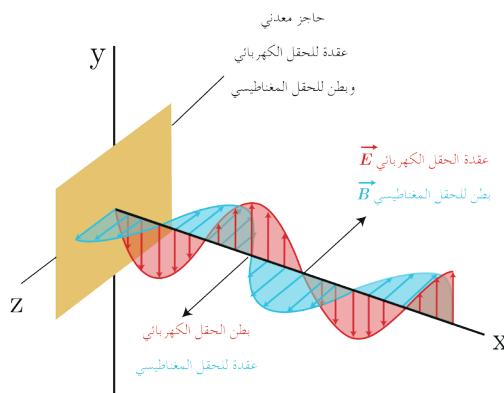
5. ماذا يتَّسُعُ عن تداخُلِ الموجة الكهرومغناطيسية الواردة مع الموجة الكهرومغناطيسية المُنعكسَة؟



شكل الأمواج المستقرة الكهرومغناطيسية

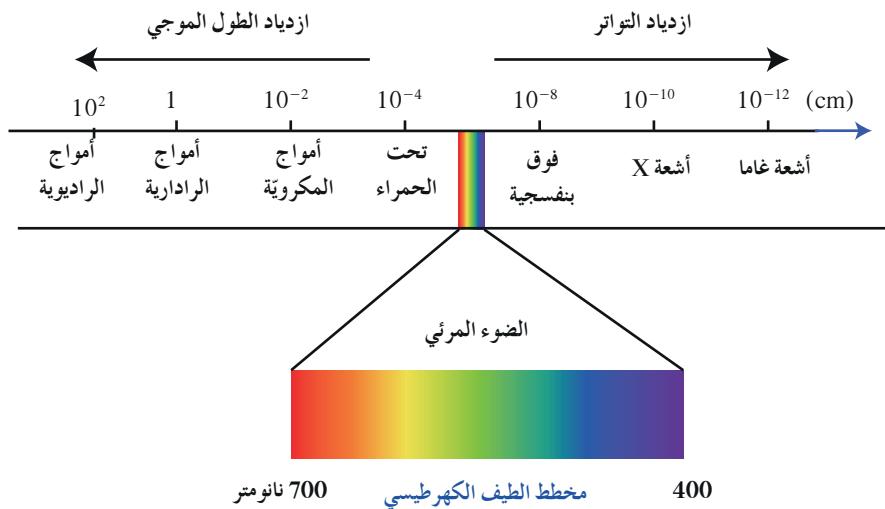
6. كيف نكشفُ عن الحقل الكهربائي؟  
7. كيف نكشفُ عن الحقل المغناطيسي؟

8. ماذا يحصلُ عند نقلِ كلا الكاشفين بين الهوائي المُرسل والجاجز؟



- تولد الأمواج الكهرومغناطيسية المستوية بواسطة هوائي مرسل يوضع في محرك عاكس بشكل قطعٍ مكافئ دوراني.
- تتألف الموجة الكهرومغناطيسية المستوية من حقلين متعامدين: حقل كهربائي  $\vec{E}$  و حقل مغناطيسي  $\vec{B}$ .
- عندما تلاقي الأمواج الكهرومغناطيسية الواردة حاجزاً معدنياً ناقلاً مسلياً عمودياً على مساحة الانتشار، ويبعُد عن الهوائي المُرسل بعدها مُناسباً، تعكس عنده وتدخل الأمواج الكهرومغناطيسية الواردة مع الأمواج الكهرومغناطيسية المُنعكسَة لِتُؤلِّفَ أمواجاً كهرومغناطيسية مُستقرة.
- نكشف عن الحقل الكهربائي  $\vec{E}$  بواسطة هوائي مُستقبل نضعه موازيًّا للهوائي المُرسل، يمكن تغيير طوله، وعند وصل طرفيه الهوائي المُستقبل بِراسم اهتزاز مهبطي، وتغيير طول الهوائي حتى يرسُم على شاشة راسم الاهتزاز خط بياني بُسعي عظيم فيكون أصغر طول للهوائي المُستقبل مُساوياً  $\frac{\lambda}{2}$ .
- نكشف عن الحقل المغناطيسي  $\vec{B}$  بواسطة حلقةٍ نحاسيةٍ عموديةٍ على  $\vec{B}$  فيولد فيها توثرًا نتيجة تغير التدفق المغناطيسي الذي يجتازها.
- عندما نقل كلاً من الكاشفين بين الهوائي المُرسل والجاجز نجد الآتي:
  1. توالي مسليات العقد  $N$  يدلُّ فيها الكاشف على دلالةٍ صغرى ومستوياتٍ للبطون  $A$  يدلُّ فيها الكاشف على دلالةٍ عظمى متساوية الأبعاد عن بعضها، قيمتها  $\frac{\lambda}{2}$  بين كل مسليتين لهما الحال الاهتزازية نفسها.
  2. مستويات عقد الحقل الكهربائي هي مستويات بطن للحقل المغناطيسي وبالعكس.
  3. الحاجز الناقل المستوى عقدة للحقل الكهربائي وبطن للحقل المغناطيسي.
- تتميّز هذه الأمواج بطيقٍ واسع من التأثيرات يشمل الأمواج الطويلة مثل الأمواج الراديوية والرادارية والمكروية إلى الأمواج القصيرة مثل الضوء المرئي والأشعة السينية وأشعة غاما والأشعة الكونية.

يُمثّل الشّكّل الآتي مُخطّطاً يُعرَف بالطّيف الكهروطيسي:



2

## الأمواج المستقرة الطولية



عند عبورك نفقاً طويلاً وضيقاً للسيارات فإنك تسمع ضوضاء وصخباً شديداً ينصدر عن عبور السيارات والمركبات لهذا التفق.

### الأهداف:

- \* يُعرف الأمواج المستقرة الطولية تجريبياً.
- \* يُجري تجارب توضح الأمواج المستقرة الطولية.
- \* يتعرف بعض تطبيقات الأمواج المستقرة الطولية.
- \* يُعرف المزامير (الأعمدة الهوائية) وأنواعها.
- \* يتعرف قانوني المزامير.

### الكلمات المفتاحية:

- \* انضغاط.
- \* تخلخل.
- \* نابض.
- \* المِزمار.
- \* مِزمار مُتشابه الطَّرْفَيْن.
- \* مِزمار مُخْتَلِف الطَّرْفَيْن.

## الأمواج المستقرة الطولية في نابض:

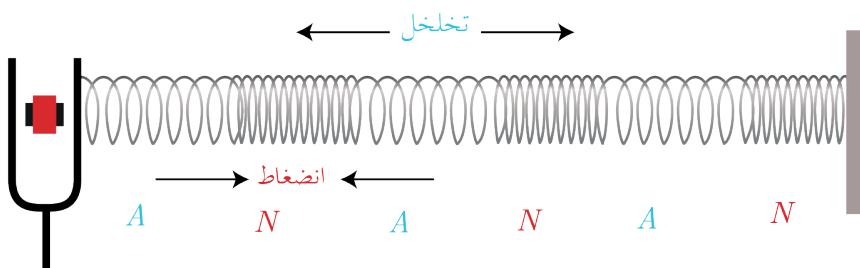
أجريب وأستنتاج:

المواد الازمة: رنانة كهربائية ذات قاعدة—نابض مرن مناسب (ثابت صلابته صغير)..

خطوات التجربة:

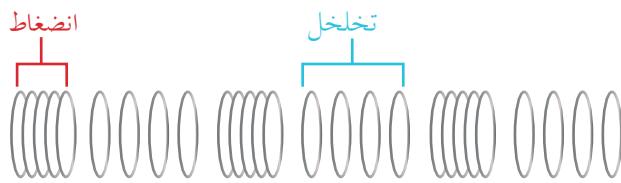
1. أثبت أحد طرفي النابض بنقطة ثابتة.
2. أثبت الطرف الآخر من النابض بشعبية هزازة جيبيّة مُذدَّة (رنانة كهربائية).
3. أشد النابض أفقياً بقوّة شدّ مناسبة.
4. أغلق القاطعة لتعمل الرنانة الكهربائية.
5. ما نوع الأمواج الواردة من المتبع (الرنانة) والمُنتشرة في النابض؟
6. ماذا يحدث للموجة الطولية الواردة عند وصولها إلى النقطة الثابتة؟
7. كيف تبدو لك حلقات النابض؟
8. ماذا أسمى حلقات النابض الساكنة؟ وكيف تتكون؟
9. وماذا أسمى حلقات النابض الأوسع اهتزازاً؟ وكيف تتكون؟
10. كيف تنشأ الأمواج المستقرة الطولية في النابض؟

النتائج:



- عندما تعمل الهزازة تنتشر الأمواج الطولية الواردة من المتابع (الرنانة) وفق استقامة النابض لتصل إلى النهاية الثابتة وتنعكس عنها، فتداخل الأمواج الطولية المُنعكسة مع الأمواج الطولية الواردة، ونشاهد على طول النابض حلقاتٍ تبدو ساكنةً وحلقاتٍ أخرى تهتزُ بساعاتٍ مُفاجئة فلا تتضح معالمها.
- نُسمى الحلقات الساكنة عقداً اهتزاز Nodes حيث تكون سعة الاهتزاز معدومة، وتصلها الموجة الطولية الواردة والموجة الطولية المُنعكسة على تعاكس دائم، بينما الحلقات الأوسع اهتزازاً تُسمى بطون الاهتزاز Antinodes حيث تكون سعة الاهتزاز عظيم، وتصلها الموجة الطولية الواردة والموجة الطولية المُنعكسة على توافق دائم.
- نُسمى الموجة الناتجة عن تداخل الأمواج الطولية الواردة والأمواج الطولية المُنعكسة: الأمواج المستقرة الطولية.

## الدراسة النظرية:



- إنّ بطْن الاهتزاز والحلقات المُجاورة له ترافق دوماً في الاهتزاز إلى إحدى الجهازين - تكاد تبدو المسافات بينها ثابتةً - فلا نلاحظ تضاغطاً بين حلقات التأيُض أو تخلخلًا فيها أي يقى الضغط ثابتاً، أي أنّ بطْن الاهتزاز هي عقد للضغط.

- إنّ عقد الاهتزاز تبقى في مكانها - تحرّكُ الحلقات المُجاورة على الجانبين في جهتين مُتعاكستين دوماً - فتتقاربُ خلال نصف دور ثم تبعادُ خلال نصف الدور الآخر، وبذلك نلاحظ تضاغطاً يليه تخلخل، أي أنّ عقد الاهتزاز التي عندها تغيير في الضغط هي بطون للضغط.

- المسافة بين عقدتي اهتزاز متاليتين أو بطني اهتزاز متاليتين يساوي نصف طول الموجة  $\frac{\lambda}{2}$ ، والمسافة بين عقدة اهتزاز وبطن اهتزاز تالي يساوي ربع طول الموجة  $\frac{\lambda}{4}$ .

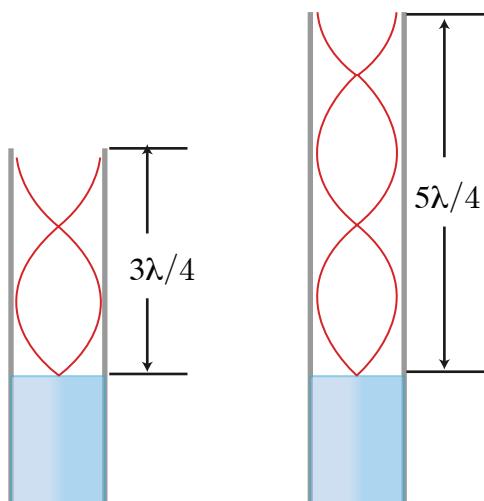
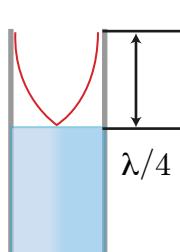
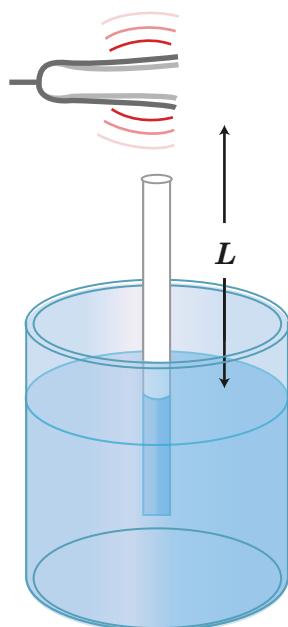
## الأعمدة الهوائية المفتوحة والمغلقة:

### الأعمدة الهوائية المفتوحة والمغلقة:

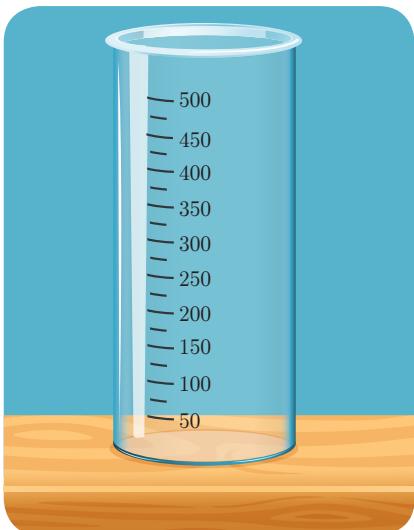
- إذا حاولت التحدث في علبة معدنية كبيرة وفارغة فإنه يصدر صوتاً عالياً وشديداً.
- النَّفخ بشكلٍ موازٍ بالقرب من فوهة قارورة زجاجية فارغة يصدر عنها صوتاً عالياً وشديداً.

#### أجريب وأستنتاج:

المواد اللازمة: رنانة تواثرها معلوم  $f = 512 \text{ Hz}$  - مطرقة مطاطية خاصة بالرمانة - أنبوب زجاجي (أو بلاستيكي) مفتوح الطرفين طوله  $40 \text{ cm}$  وقطره  $3.5 \text{ cm}$  -وعاء مملوء بماء ملون ساكن - أنبوب آخر زجاجي (أو بلاستيكي) مفتوح الطرفين طوله  $30 \text{ cm}$ ، وقطره  $2.5 \text{ cm}$  - مسطرة.



## خطوات التجربة:



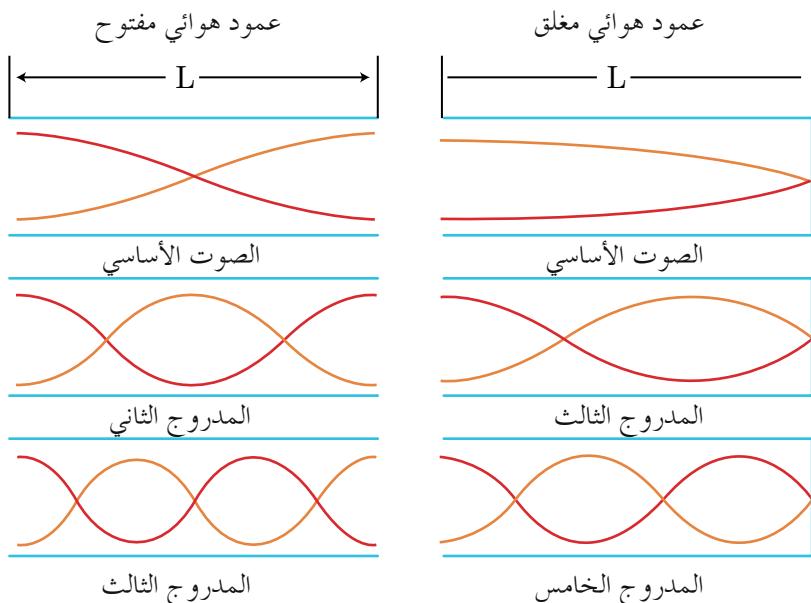
1. أضْعُ الأَنْبُوبِ الرِّجَاجِيِّ دَاخِلَ الْوَعَاءِ المَمْلُوءِ بِالْمَاءِ السَّاکِنِ.
2. أَمْسِكُ الرِّنَانَةَ مِنْ قَاعِدَتِهَا ثُمَّ أَضْرِبُ بِالْمَطْرَقَةِ عَلَى إِحْدَى شَعْبَيْهَا.
3. أَقْرِبُ الرِّنَانَةَ الْمُهَبَّثَةَ لِتَصْبِحَ فَوْقَ طَرْفِ الأَنْبُوبِ الرِّجَاجِيِّ الْمَفْتُوحِ مُبَاشِرَةً.
4. أَرْفَعُ الأَنْبُوبَ وَالرِّنَانَةَ بِبِطْءٍ نَحْوَ الْأَعْلَى حَتَّى أَسْمَعُ صَوْتاً شَدِيدًا عَالِيًّا.
5. أَحْرَكُ الأَنْبُوبَ الرِّجَاجِيَّ إِلَى الْأَعْلَى أَوِ الْأَسْفَلِ قَلِيلًاً لِتَحْدِيدِ نَقْطَةِ الرِّنَانِ الْأُولَى (الصَّوْتُ الشَّدِيدُ) بِدَقَّةٍ.
6. أَقْسِّ الْمَسَافَةَ مِنْ سَطْحِ الْمَاءِ (نَقْطَةِ الرِّنَانِ) إِلَى أَعْلَى الأَنْبُوبِ الرِّجَاجِيِّ.
7. مَاذَا تُمَثِّلُ هَذِهِ القيمة المقيسة.
8. أَضْرِبُ بِالْمَطْرَقَةِ عَلَى الرِّنَانَةِ مَرَّةً أُخْرَى وَأَقْرِبُهَا مِنْ طَرْفِ الأَنْبُوبِ الْمَفْتُوحِ، وَأَسْتَمِرُ فِي رَفْعِ الأَنْبُوبِ الرِّجَاجِيِّ نَحْوَ الْأَعْلَى بِبِطْءٍ حَتَّى أَسْمَعُ صَوْتاً شَدِيدًا عَالِيًّا مَرَّةً أُخْرَى.
9. أَحْدَدُ نَقْطَةَ الرِّنَانِ الثَّانِيَةَ عَلَى الأَنْبُوبِ بِدَقَّةٍ، وَأَقْسِّ الْمَسَافَةَ مِنْ هَذِهِ النَّقْطَةِ إِلَى أَعْلَى الأَنْبُوبِ الرِّجَاجِيِّ.
10. مَاذَا تُمَثِّلُ هَذِهِ القيمة المقيسة.
11. أَخْرُجُ الأَنْبُوبَ الرِّجَاجِيَّ (البَلاسْتِيكِيَّ) السَّابِقِ مِنْ الْحَوْضِ، وَأَدْخِلُ فِيهِ الأَنْبُوبَ الْبَلاسْتِيكِيَّ الْآخِرُ ذِي الْقَطْرِ الْأَقْلَى (لِيُشَكَّلَ أَنْبُوبَةً تَلْسُكُوبِيَّةً يُمْكِنُ تَغْيِيرُ طَولِهَا) فَأَحْصِلُ عَلَى عَمُودٍ هَوَائِيٍّ مَفْتُوحٍ الطَّرَفَيْنِ.
12. أَقْرِبُ الرِّنَانَةَ الْمُهَبَّثَةَ مِنْ أَحَدِ طَرَفَيِ الْعَمُودِ الْهَوَائِيِّ الْمَفْتُوحِ وَأَزِيدُ مِنْ طَولِهِ بِبِطْءٍ وَذَلِكَ بِإِخْرَاجِ الأَنْبُوبِ الْآخِرِ رَوِيدًا رَوِيدًا حَتَّى أَسْمَعُ صَوْتاً شَدِيدًا عَالِيًّا.
13. أَقْسِّ طَوْلَ الْعَمُودِ الْهَوَائِيِّ النَّاتِجِ، مَاذَا تُمَثِّلُ هَذِهِ القيمة المقيسة.
14. عِنْدَ اسْتِخْدَامِ رِنَانَةٍ أُخْرَى مُخْتَلِفَةٍ تَوَاثُرُهَا =  $f'$  Hz ، هَلْ تَعْبُرُ القيم المقيسة السابقة؟

**ملاحظة:** يُمْكِنُ إِجْرَاءِ التَّجْرِيبَ بِاسْتِخْدَامِ أَنْبُوبٍ أَسْطَوَانِيٍّ زَجَاجِيٍّ (أَوْ بَلاسْتِيكِيٍّ) مُعْلَقٍ مِنْ أَحَدِ طَرَفَيِهِ مَعَ رِنَانَةٍ مُهَبَّثَةٍ حَيْثُ يُمْكِنُ تَغْيِيرُ طَولِهِ بِإِضَافَةِ الْمَاءِ إِلَيْهِ تَدْرِيْجِيًّا حَتَّى يَصْدُرُ الصَّوْتُ الشَّدِيدُ.

## النتائج:

- يَحْدُثُ تَضْخِيمٌ وَتَقوِيَّةٌ لِلصَّوْتِ فِي أَثْنَاءِ اِنْتِقَالِهِ عَبَرَ الْأَنَابِيبِ نَتْيَاهَةً حَدُوثِ انْعَكَاسَاتٍ مُتَكَرِّرَةٍ دَاخِلَهُ، فَيَتَولَّدُ عَنْهَا أَمْوَاجٌ مُسْتَقِرَّةٌ ذَاتُ نَغْمَاتٍ صَوْتِيَّةٍ وَاضْحَاءٍ، وَتَزَدَادُ وَضْوَحًا فِي الْأَنَابِيبِ الضَّيقَةِ.
- تَولَّدُ أَمْوَاجٌ مُسْتَقِرَّةٌ طَوْلِيَّةٌ فِي هَوَاءِ الْأَنْبُوبِ وَنَسْمَعُ صَوْتاً شَدِيدًا عَالِيًّا عِنْدَمَا يَكُونُ تَوَاثُرُ الرِّنَانَةِ يَسَاوِي تَوَاثُرَ الْهَوَاءِ فِي عَمُودِ الْأَنْبُوبِ.
- تَنْكَوُنُ عَقْدَةً اهْتِزَازٌ عِنْدَ سَطْحِ الْمَاءِ السَّاکِنِ لِأَنَّهُ يَمْنَعُ الْحَرْكَةَ الطَّوْلِيَّةَ لِلْهَوَاءِ (حيثُ يُعْتَبَرُ نَهَايَةً مُغْلَقَةً)، وَبَطْنُ اهْتِزَازٍ تَقْرِيْبًا عِنْدَ فَوْهَةِ الْأَنْبُوبِ (نهَايَةً مُفْتَوَّحةً).
- طَوْلُ أَقْصَرِ عَمُودٍ هَوَائِيٍّ فَوْقَ سَطْحِ الْمَاءِ يَحْدُثُ عِنْدَهُ التَّجاَوِبُ (الرِّنَانِ الْأُولَى) يُسَاوِي  $L_1 = \frac{\lambda}{4}$ .

- طول العمود الهوائي فوق سطح الماء يحدث عند التجاوب (الرَّنين الثاني) يُساوي  $L_2 = \frac{3\lambda}{4}$ .



- المسافة بين مستوى الماء المُواافقين للصوتين الشَّدِيدَيْنِ المُسْتَالِيَّيْنِ  $\Delta L = \frac{\lambda}{2}$ .
- في العمود الهوائي مفتوح الطَّرفَيْنِ يتشَكَّلُ عند كُلِّ طرفٍ مفتوحٍ بطيءٌ للاهتزازِ فِيكونُ طولُ العمود الهوائي في هذهِ الحالة  $L = \frac{\lambda}{2}$ .
- عند استخدام رنانة تواترها كبيرٌ نحصل على عمودٍ هوائيٍ طولُه قصيري.
- يتَناسبُ تواتر الرنانة المستخدم عكساً مع طولِ العمود الهوائي.
- تتشابهُ الأعمدةُ الهوائية المفتوحة باتفاقِ عبورِ السيارات.
- تُعطى سرعةُ الصوت في هواء الأنابيب بالعلاقة:  $v = \lambda f$ .
- في العمود الهوائي المغلق لا يمكن الحصول على المدروجات ذات العدد الزوجي.
- تعملُ القناة السمعية في أذنِ الإنسان التي تنتهي بغشاءِ الطبل كأنَّها عمودٍ هوائيٍ مغلقٍ في حالةِ رنين (تجاوز). يؤدي إلى زيادة حساسية الأذن للتواترات من 2000 Hz إلى 5000 Hz في حين يمتدُ المدى الكامل لتواثرات الصوت التي تسمعُها الأذن البشرية من 20 Hz إلى 20000 Hz.

### تطبيق:

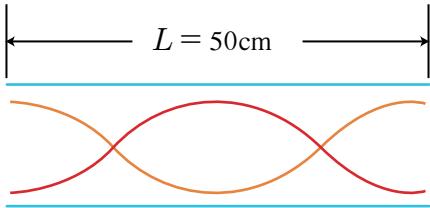
نستخدم رنانة تواترها  $f = 250 \text{ Hz}$  لقياس سرعة انتشار الصوت في الهواء داخل أنبوب هوائي مغلق، فسمع أعلى صوتٍ عندما كان طول أقصر عمودٍ هوائيٍ مُساوٍ  $35 \text{ cm}$ ، أحسب سرعة انتشار الصوت في هواء الأنابيب ضمن شروط التجربة.

### الحل:

$$L = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda = 4L = 4 \times 0.35 = 1.4 \text{ m}$$

$$v = \lambda f = 1.4 \times 250 = 350 \text{ m.s}^{-1}$$

## تطبيق:



أنبوبٌ هوائيٌّ مفتوحُ الطرفَيْن، طولُه  $L = 50 \text{ cm}$  يُصدِّر الرَّئِنِينُ الثَّانِي باسْتِخْدَامِ رَنَانَةِ تَوَافُرِهَا غَيْر مُعْلَمٍ.

فإِذَا كَانَت سُرْعَةُ انتشارِ الصَّوْتِ فِي شَرْوَطِ التَّجْرِيْبِ  $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$ . أَحْسَبْ تَوَافُرَ الرَّنَانَةِ.

## الحل:

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

$$L_2 = 2 \frac{\lambda}{2} = \lambda = 0.5 \text{ m}$$

$$v = \lambda f \implies f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0.5} = 680 \text{ Hz}$$

## تطبيق:

1. يَلْغُ طُولُ القناةِ السَّمْعِيَّةِ فِي الأَذْنِ البَشَرِيَّةِ  $L = 3 \text{ cm}$  وَالَّتِي تَؤْدِي إِلَى غَشَاءِ الْطَّبَلِ وَهِيَ عَبَارَةٌ عَنْ عَمَودٍ هوائيٍّ مُغْلَقٍ، فَإِذَا عِلِّمْتَ أَنَّ سُرْعَةَ انتشارِ الصَّوْتِ فِي القناةِ  $v = 348 \text{ m.s}^{-1}$ ، أَوْ جِدْ قِيمَةً أَصْغَرَ تَوَافُرٍ يَحْدُثُ عَنْهُ التَّجَاوِبِ (الرَّئِنِينِ الْأَوَّلِ).

2. إِذَا عِلِّمْتَ أَنَّ الضَّغْطَ النَّاتِجَ عَنْ مُحَادِثَةٍ عَادِيَّةٍ  $P = 0.02 \text{ Pa}$ ، وَمَسَاحَةُ غَشَاءِ الْطَّبَلِ  $S = 0.50 \text{ cm}^2$ . أَوْجِدْ الْقُوَّةَ الضَّاغِعَةَ الْمُؤَثِّرَةَ فِي غَشَاءِ الْطَّبَلِ.

## الحل:

$$L = \frac{\lambda}{4} \implies \lambda = 4L = 4 \times 0.03 = 0.12 \text{ m} \quad .1$$

$$v = \lambda f \implies f = \frac{v}{\lambda} = \frac{348}{0.12} = 2900 \text{ Hz}$$

وَهَذَا أَوَّلُ تَوَافُرٍ لِحَدُوثِ السَّمْعِ، وَيُسَمِّي التَّوَافُرَ الْأَسَاسِيَّ لِلنَّاقَةِ السَّمْعِيَّةِ.

$$F = P \cdot S = 0.02 \times 0.5 \times 10^{-4} = 10^{-6} \text{ N} \quad .2$$

## تعاريف:

### الأعمدة الهوائية المفتوحة والمغلقة:

**العمودُ الهوائيُّ المفتوحُ:** هو أنبوبٌ أسطوانيٌّ الشَّكْلِ، مفتوحُ الطرفَيْنِ وَالمَمْلُوءُ بِجُزِيَّاتِ الْهَوَاءِ السَّاکِنَةِ يُمْكِنُ تَغْيِيرُ طَولِهِ بِإِضَافَةِ أَنبوبٍ آخَرَ قَطْرُهُ أَقْلَى، وَطُولُ هَذَا الْأَنْبوبِ عَنْهُ التَّجَاوِبِ يَسَاوِي عَدْدًا صَحِيحًاً مِنْ نَصْفِ طَولِ الْمَوْجَةِ.

$$n = 1, 2, 3, \dots \quad L = n \frac{\lambda}{2} \quad \text{حيثُ:}$$

**العمودُ الهوائيُّ المغلقُ:** هو أنبوبٌ أسطوانيٌّ الشَّكْلِ، مفتوحٌ مِنْ طَرْفٍ وَمُغْلَقٌ مِنْ الطَّرْفِ الْآخَرِ وَالْمَمْلُوءُ بِجُزِيَّاتِ الْهَوَاءِ السَّاکِنَةِ يُمْكِنُ تَغْيِيرُ طَولِهِ بِإِضَافَةِ المَاءِ، وَطُولُ هَذَا الْأَنْبوبِ عَنْهُ التَّجَاوِبِ يَسَاوِي عَدْدًا فَرْدِيًّاً مِنْ رَبْعِ طَولِ الْمَوْجَةِ.

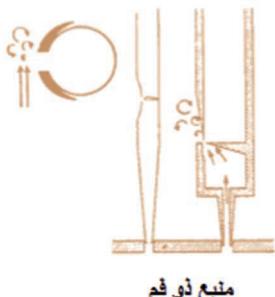
$$n = 1, 2, 3, \dots \quad L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} \quad \text{حيثُ:}$$

**المِزْمَارُ:** أَنْبُوبٌ أَسْطَوَانِيٌّ أو مُوشَوريٌّ، مَقْطُعُهُ ثَابِتٌ وَصَغِيرٌ بِالنِّسْبَةِ إِلَى طُولِهِ، جَدْرَانُهُ خَشْبِيَّةٌ أَوْ مَعْدِنِيَّةٌ ثَخِينَةٌ لِكِي لا تُشارِكَ فِي الْاهْتِزَازِ، يَحْتَوِي غَازًا (الْهَوَاءُ غَالِبًا) يَهَتِّرُ بِالتَّجَاوِبِ مَعَ المَنْبَعِ الصَّوْتِيِّ لِلِّمِزْمَارِ.

**تُصَنَّفُ الْمَنْبَعُ الصَّوْتِيُّ إِلَى نَوْعَيْنِ:**

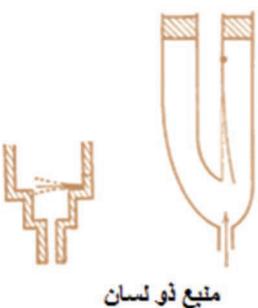
### 1. المَنْبَعُ ذُو الْفَمِ:

وَهُوَ نَهَايَةٌ غَرَفَةٌ صَغِيرَةٌ مَفْتُوحَةٌ يُدْفَعُ فِيهَا الْهَوَاءُ وَيَنْسَاقُ لِيَخْرُجَ مِنْ شَقٍّ ضَيِّقٍ، وَيَتَشَكَّلُ عِنْدَ الْفَمِ بَطْنُ اهْتِزَازٍ (عَقْدَةُ ضَغْطٍ).



### 2. المَنْبَعُ ذُو اللِّسَانِ:

يَتَأَلَّفُ مِنْ صَفِيفَةٍ مَرْنَةٍ تُدْعَى اللِّسَانُ قَابِلَةً لِلْاهْتِزَازِ، مُثَبَّتَةً مِنْ أَحَدِ طَرَفَيْهَا تَقْطُعُ جَرِيَانَ الْهَوَاءِ، لَهَا تَوَاتُرُ الْمَنْبَعِ، وَيَتَشَكَّلُ عِنْدَ اللِّسَانِ عَقْدَةُ اهْتِزَازٍ (بَطْنُ ضَغْطٍ).



## تَعْلِيلُ الْأَمْوَاجِ الْمُسْتَقْرَةِ الطَّوْلِيَّةِ فِي أَنْبُوبِ هَوَاءِ الْمِزْمَارِ:

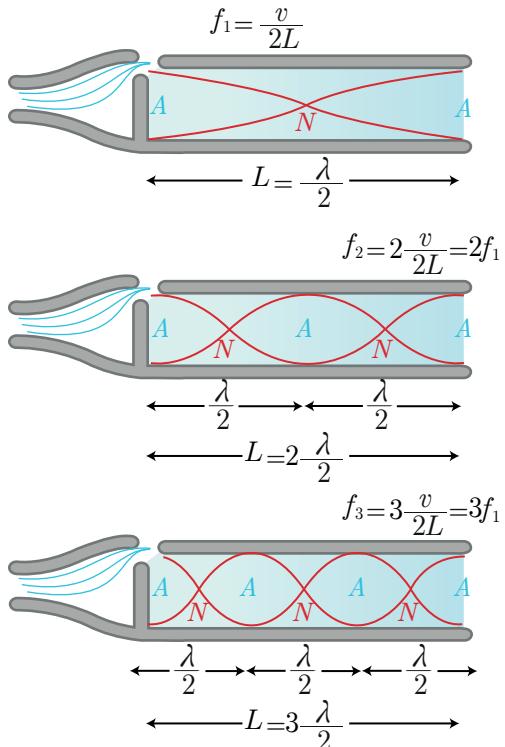
عِنْدَمَا تَهَتِّرُ طَبَقَةُ الْهَوَاءِ الْمُحَاوِرَةُ لِلْمَنْبَعِ يَتَشَرُّ هَذَا الْاهْتِزَازُ طَوْلِيًّا فِي هَوَاءِ الِّمِزْمَارِ كُلِّهِ لِيَنْعَكِسَ عَلَى النَّهَايَةِ. تَتَدَخَّلُ الْأَمْوَاجُ الْوَارِدَةُ مَعَ الْأَمْوَاجِ الْمُنْعَكِسَةِ دَاخِلِ الْأَنْبُوبِ لِتُؤَلِّفَ جَمْلَةً أَمْوَاجًا مُسْتَقْرَةً طَوْلِيَّةً، وَيَتَكَوَّنُ عِنْدَ النَّهَايَةِ الْمُغْلَقَةِ عَقْدَةً لِلْاهْتِزَازِ، أَمَّا عِنْدَ النَّهَايَةِ الْمُفْتَوِحةِ يَتَكَوَّنُ بَطْنُ لِلْاهْتِزَازِ، وَنَعْلُ ذَلِكَ: بِأَنَّ الْانْضِغَاطِ الْوَارِدِ إِلَى طَبَقَةِ الْهَوَاءِ الْأُخِيرَةِ يَرِيُّهَا إِلَى الْهَوَاءِ الْخَارِجِيِّ، فَتُسْبِّبُ اِنْضِغَاطًا فِيهِ، وَتَخْلُخًا وَرَاءَهَا يَسْتَدِعِي تَهَافُتُ هَوَاءِ الِّمِزْمَارِ لِيَمْلأَ الْفَرَاغَ، وَيَتَسْتَعِجُ عَنْ ذَلِكَ تَخْلُخٍ يَتَشَرُّ مِنْ نَهَايَةِ الِّمِزْمَارِ إِلَى بَدَائِتِهِ، وَهُوَ مُنْعَكِسُ الْانْضِغَاطِ الْوَارِدِ.

### قَوَاعِيدُ الِّمِزْمَارِ:

تُقْسِمُ الْمَزَامِيرُ مِنَ النَّاحِيَةِ الْاهْتِزَازِيَّةِ إِلَى نَوْعَيْنِ:

1. مُتَشَابِهُ الْطَّرَفَيْنِ: مَنْبَعٌ ذُو فَمٍ يَتَشَكَّلُ عِنْدَهُ بَطْنُ اهْتِزَازٍ وَنَهَايَتِهِ مَفْتُوحَةٌ يَتَشَكَّلُ عِنْدَهَا بَطْنُ اهْتِزَازٍ، أَوْ مَنْبَعٌ ذُو لِسَانٍ تَتَشَكَّلُ عِنْدَهُ عَقْدَةٌ اهْتِزَازٍ وَنَهَايَتِهِ مَغْلَقَةٌ يَتَشَكَّلُ عِنْدَهَا عَقْدَةٌ اهْتِزَازٍ.
2. مُخْتَلِفُهُ الْطَّرَفَيْنِ: مَنْبَعٌ ذُو فَمٍ يَتَشَكَّلُ عِنْدَهُ بَطْنُ اهْتِزَازٍ وَنَهَايَتِهِ مُغْلَقَةٌ تَتَشَكَّلُ عِنْدَهَا عَقْدَةٌ اهْتِزَازٍ، أَوْ مَنْبَعٌ ذُو لِسَانٍ تَتَشَكَّلُ عِنْدَهُ عَقْدَةٌ اهْتِزَازٍ وَنَهَايَتِهِ مَفْتُوحَةٌ يَتَشَكَّلُ عِنْدَهَا بَطْنُ اهْتِزَازٍ.

## أولاً: المِزْمَارُ مُتَشَابِهُ الطَّرْفَيْنَ:



يُبيّن الشّكّل عقداً وبطون الاهتزاز في مِزْمَارٍ مُتَشَابِهٍ للطَّرْفَيْنَ، وفيه يكُون طول المِزْمَار  $L$  يساوي عدداً صحيحاً من نصف طول الموجة. نلاحظ من الشّكل أن طول المِزْمَار  $L$  يساوي تقريرياً  $\frac{\lambda}{2}, 2\frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, \dots$

$$L = n \frac{\lambda}{2}$$

حيث:  $n = 1, 2, 3, \dots$  عدد صحيح موجب،  
ولكن  $\lambda = \frac{v}{f}$   
نعوّض فنجده:

$$L = n \frac{v}{2f}$$

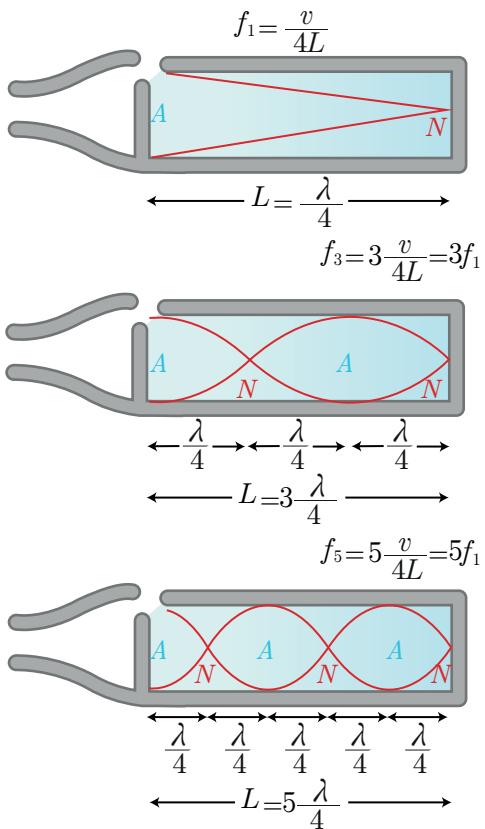
$$f = n \frac{v}{2L}$$

$f$  تواتر الصوت البسيط الصادر عن المِزْمَار (Hz).  
 $L$  طول المِزْمَار (m).

$v$  سرعة انتشار الصوت في غاز المِزْمَار ( $m.s^{-1}$ ).

$n$  عدد صحيح موجب يمثل رتبة صوت المِزْمَار (م درجات الصوت). ولكي يصدر المِزْمَار مدرجاته المختلفة نزيد نفع الهواء فيه تدريجياً، كما يمكن إصدار مدرجات المِزْمَار ذي اللسان بتغيير طول اللسان.

## ثانياً: المِزْمَارُ مُخْتَلِفُ الْطَّرْفَيْنَ:



يُبيّن الشّكّل عقداً وبطون الاهتزاز في مِزْمَارٍ مُخْتَلِفُ الْطَّرْفَيْنَ، وفيه يكُون طول المِزْمَار  $L$  يساوي عدداً فردياً من ربع طول الموجة. نلاحظ من الشّكل أن طول المِزْمَار  $L$  يساوي تقريرياً  $\frac{\lambda}{4}, 3\frac{\lambda}{4}, 5\frac{\lambda}{4}, \dots$

$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$$

حيث:  $n = 1, 2, 3, \dots$  عدد صحيح موجب، ولكن  $\lambda = \frac{v}{f}$   
نعوّض فنجده:

$$L = (2n - 1) \frac{v}{4f}$$

$$f = (2n - 1) \frac{v}{4L}$$

$f$  تواتر الصوت البسيط الصادر عن المِزمار (Hz).  
 $L$  طول المِزمار (m).

$v$  سرعة انتشار الصوت في غاز المِزمار ( $m.s^{-1}$ ).  
 $(2n-1)$  يمثل رتبة صوت المِزمار (مددوجات الصوت).

### ملاحظات:

- تواءُر الصوت الأساسي الذي يصدره مِزمار يتناسب طرداً مع سرعة انتشار الصوت في غاز المِزمار. ويمكن تغيير هذه السرعة بزيادة درجة حرارة الغاز أو تغيير طبيعته.
- تدل التجارب على أن سرعة انتشار صوت في الغازات:

a. تتناسب سرعة انتشار الصوت في غاز معين طرداً مع الجذر التربيعي لدرجة حرارته المطلقة  $T$  (كلفن)

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

حيث:  $T(K) = 273 + t(^{\circ}\text{C})$

b. تتناسب سرعة انتشار الصوت في غازين مختلفين عكساً مع الجذر التربيعي لكثافتيهما  $D_1, D_2$  بالنسبة للهواء، إذا كان الغازان في درجة حرارة واحدة، ولهمما رتبة ذرية واحدة (أي عدد الذرات التي تُلْف جُزيئاته هي نفسها). أي:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

$M$ : الكتلة المولية للغاز (الكتلة الجزيئية الغرامية)  
 تُعطى كثافة غاز بالنسبة للهواء بالعلاقة:  $D = \frac{M}{29}$

## تعلمتُ

- تشكل الأمواج المستقرة العرضية نتيجة التداخل بين موجة جيبية واردة مع موجة جيبية منعكسة على نهاية مقيدة – مرتقطة بالبكرة – تعاكسها بجهة الانتشار، ولها التأثير نفسه والسعة نفسها، وينتج عن تداخلهما:
  - نقط تهتز بسعة عظمى تسمى بطون الاهتزاز.
  - نقط تندم فيها سعة الاهتزاز تسمى عقد الاهتزاز.
 المسافة الفاصلة بين العقد متساوية وتساوي نصف طول الموجة  $\frac{\lambda}{2}$ .
- في الأمواج المستقرة العرضية المنعكسة على نهاية مقيدة:
 
$$L = n \frac{\lambda}{2}, \quad \lambda = \frac{v}{f}$$

$$f = n \frac{v}{2L}$$

حيث:  $n$  عدد صحيح موجب .....  $n = 1, 2, 3, 4$

  - يسمى أول تأثير يولد مغلاً واحداً: التأثير الأساسي.
  - $n = 1 \Rightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$  المدروج الأول (الأساسي).
  - وتنتمي بقية التأثيرات من أجل .....  $n = 1, 2, 3, 4$  بـ تأثيرات المدروجات.
- في الأمواج المستقرة العرضية المنعكسة على نهاية طلقة:
 
$$L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4} = (2n - 1) \frac{v}{4f}$$

$$f = (2n - 1) \frac{v}{4L}$$

حيث:  $n$  عدد صحيح موجب .....  $n = 1, 2, 3, 4$

  - ويتمثل  $(2n - 1)$  مدروج الصوت الصادر.
  - يهتز الوتر بالتجاوب عندما يكون  $f = n \frac{v}{2L} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{F_T L}{m}}$
  - طول أقصر عمود هوائي فوق سطح الماء يحدث عند التجاوب (الرنين الأول) يساوي  $L_1 = \frac{\lambda}{4}$ .
  - طول العمود الهوائي فوق سطح الماء يحدث عند التجاوب (الرنين الثاني) يساوي  $L_2 = \frac{3\lambda}{4}$ .
  - المسافة بين مستوى الماء الموافقين للصوتين الشديدين المتعاقبين  $\Delta L = \frac{\lambda}{2}$
  - في العمود الهوائي مفتوح الطرفين يتشكل عند كل طرف مفتوح بطون للاهتزاز، وفي منتصف العمود عقدة للاهتزاز فيكون طول العمود الهوائي في هذه الحالة  $L = \frac{\lambda}{2}$ .
  - في العمود الهوائي المغلق لا يمكن الحصول على المدروجات ذات العدد الزوجي.
  - في المزمار متشابه الطرفين:  $f = n \frac{v}{2L}, \quad L = n \frac{\lambda}{2}$
  - في المزمار مختلف الطرفين:  $f = (2n - 1) \frac{v}{4L}, \quad L = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$



## أختبر نفسك

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة في كلٍ مما يأتي:

1. في الأمواج المستقرة العرضية المسافة بين عقدتين متاليتين تساوي:

$$2\lambda \cdot d$$

$$\lambda \cdot c$$

$$\frac{\lambda}{2} \cdot b$$

$$\frac{\lambda}{4} \cdot a$$

2. فرق الطور  $\varphi$  بين الموجة الواردة والموجة المُنعكسَة على نهاية مُقيِّدة تساوي بالرadian:  $\varphi = \pi$

$$\varphi = \pi \cdot d$$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \cdot c$$

$$\varphi = \frac{\pi}{3} \cdot b$$

$$\varphi = 0 \cdot a$$

3. في تجربة ملد مع نهاية طلقة يصدر وترًا طوله  $L$  صوتاً أساسياً، طول موجته  $\lambda$  تساوي:

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

$$L \cdot c$$

$$2L \cdot b$$

$$4L \cdot a$$

4. وتر مهتز طوله  $L$ ، وسرعة انتشار الموجة العرضية على طوله  $v$ ، وقوّة شدّه  $F_T$ ، فإذا زدنا قوّة شدّه أربع

مراتٍ لتصبح سرعة انتشاره  $v'$  تساوي:

$$4v \cdot d$$

$$2v \cdot c$$

$$\frac{v}{2} \cdot b$$

$$\frac{v}{4} \cdot a$$

5. وتر مهتز طوله  $L$ ، وكتلته  $m$ ، وكتلته الخطية  $\mu$ ، نقسمه إلى قسمين متساوين، فإن الكتلة الخطية لكل

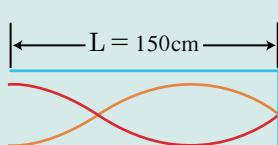
قسم تساوي:

$$4\mu \cdot d$$

$$\frac{\mu}{2} \cdot c$$

$$\mu \cdot b$$

$$2\mu \cdot a$$



6. يمثل الشكل أنبوباً هوائياً مغلقاً طوله  $L = 150 \text{ cm}$ ، فإن طول الموجة

الصوتية  $\lambda$  تساوي:

$$150 \text{ cm} \cdot d$$

$$200 \text{ cm} \cdot c$$

$$250 \text{ cm} \cdot b$$

$$50 \text{ cm} \cdot a$$

7. طول العمود الهوائي المفتوح الذي يصدر نغمة الأساسية يعطى بالعلاقة:

$$L = 2\lambda \cdot d$$

$$L = \lambda \cdot c$$

$$L = \frac{\lambda}{2} \cdot b$$

$$L = \frac{\lambda}{4} \cdot a$$

8. طول العمود الهوائي المغلق الذي يصدر نغمة الأساسية يعطى بالعلاقة:

$$L = 2\lambda \cdot d$$

$$L = \lambda \cdot c$$

$$L = \frac{\lambda}{2} \cdot b$$

$$L = \frac{\lambda}{4} \cdot a$$

9. وتران مُتجانسان من المعدن نفسه مشدودان بقوة الشد نفسها، قطر الوتر الأول  $1\text{ mm}$ ، وقطر الوتر الثاني  $2\text{ mm}$ ، فإذا كانت سرعة انتشار اهتزاز عرضي في الوترين  $v_1, v_2$  على الترتيب، فإنَّ

$$2v_1 = v_2 \quad .d \quad v_1 = 4v_2 \quad .c \quad v_1 = 2v_2 \quad .b \quad v_1 = v_2 \quad .a$$

10. مِزْمَارٌ مُتَشَابِهُ لِطَرْفَيْنِ طُولُهُ  $L$ ، وسرعة انتشار الصوت في هوائه  $v$ ، فتواتر صوته البسيط الأساسي الذي يصدره يعطى بالعلاقة:

$$f = \frac{2v}{L} \quad .d \quad f = \frac{4v}{L} \quad .c \quad f = \frac{v}{4L} \quad .b \quad f = \frac{v}{2L} \quad .a$$

11. مِزْمَارٌ ذو فمٍ، نهاية مفتوحة، عندما يهتز هواؤه بالتلاقي، يتكون عند نهايته المفتوحة:   
a. بطن ضغط      b. عقدة اهتزاز      c. بطن اهتزاز      d. جميع ما سبق صحيح

12. مِزْمَارٌ مُتَشَابِهُ لِطَرْفَيْنِ طُولُهُ  $L$ ، يصدر صوتاً أساسياً موافقاً للصوت الأساسي لمِزْمَارٌ آخر مُختلف الطرفين طوله'  $L'$  في الشروط نفسها. فإنَّ:

$$L = 4L' \quad .d \quad L = 3L' \quad .c \quad L = 2L' \quad .b \quad L = L' \quad .a$$

13. يصدر أنبوب صوتي مُختلف الطرفين صوتاً أساسياً، تواتره  $435\text{ Hz}$ ، فإنَّ تواتر الصوت التالي الذي يمكن أن يصدره يساوي:

$$1305\text{ Hz} \quad .d \quad 870\text{ Hz} \quad .c \quad 217.5\text{ Hz} \quad .b \quad 145\text{ Hz} \quad .a$$

14. في تجربة ملد مع نهاية مقيدة تتكون أربعة مغازل عند استخدامه طوله  $L = 2\text{ m}$ ، وهزازة تواترها  $f = 435\text{ Hz}$  فتكون سرعة انتشار الاهتزاز  $v$  مقدرة بـ  $\text{m.s}^{-1}$  تساوي:

$$870 \quad .d \quad 1742 \quad .c \quad 290 \quad .b \quad 435 \quad .a$$

15. إذا كانت  $v_1$  سرعة انتشار الصوت في غاز الهيدروجين ( $H = 1$ )، و  $v_2$  سرعة انتشار الصوت في غاز الأكسجين:

$$v_1 = 16v_2 \quad .d \quad v_1 = 8v_2 \quad .c \quad v_1 = 4v_2 \quad .b \quad v_1 = v_2 \quad .a$$

16. طول الموجة المستقرة هو:

a. المسافة بين بطينين متتاليين أو عقدتين متتاليتين  
b. مثلث المسافة بين بطينين متتاليين أو عقدتين متتاليتين

c. نصف المسافة بين بطينين متتاليين أو عقدتين متتاليتين  
d. نصف المسافة بين بطينين متتاليين أو عقدتين متتاليتين

### ثانياً: أجب عن الأسئلة الآتية

1. في تجربة أمواج مستقرة عرضية تُعطى معادلة اهتزاز نقطة  $n$  من وتر مرن بُعد  $\bar{x}$  عن نهايته المقيدة: 
$$\bar{y}_{n(t)} = 2Y_{\max} \sin \frac{2\pi}{\lambda} \bar{x} \sin (wt)$$

استنتج العلاقة المحددة لكل من مواضع بطون وعقد الاهتزاز، ما بعد البطن الثاني عن النهاية المقيدة؟

2. كيف نجعل مِزماراً ذا لسان مختلف الطرفين من الناحية الاهتزازية؟ استنتاج العلاقة المحددة لتوافر الصوت البسيط الذي يصدره هذا المِزمار بدلالة طوله.

3. ثبّت بإحدى شعبيّة رنانة كهربائيّة تواثرها  $f$  طرف وتر طوله مناسب ومشدود بشغل مناسب كتلته  $m$  لتكون أمواج مستقرة عرضية بثلاثة مغازل، ولكنّي نحصل على مغزلين تُجري التجربتين الآتيتين:

a. نستبدل الرنانة السابقة برنانة أخرى، تواثرها  $f'$  مع الكتلة السابقة نفسها  $m$ . استنتاج العلاقة بين التّواثرتين  $f$  ،  $f'$

b. نستبدل الكتلة السابقة  $m$  بكثلاة أخرى  $m'$  مع الرنانة السابقة نفسها  $f$ . استنتاج العلاقة بين الكتلتين  $m$  ،  $m'$

4. كيف يتم عملياً الكشف عن الحقل الكهربائي  $\vec{E}$  والحقن المغناطيسي  $\vec{B}$  في الأمواج المستقرة الكهرومغناطيسية المنتشرة في الهواء؟

5. إذا تكونت ثلاثة مغازل لأمواج مستقرة عرضية في وتر مشدود بقوّة مناسبة، وأردنا الحصول على خمسة مغازل بتغيير قوّة الشد فقط، فهل نزيد تلك القوّة أو نقصّها؟ ولماذا؟

6. علل ما يأتي:

a. لا يحدث للطّاقة في الأمواج المستقرة كما في الأمواج المُتّسّرة.

b. تسمى الأمواج المستقرة بهذا الاسم.

7. في الأمواج المستقرة العرضية، هل يهتز البطن الأول والبطن الثالث التالي على توافق أم على تعاكس فيما بينهما؟

### ثالثاً: حل المسائل الآتية: (في جميع المسائل $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ )

#### المسألة الأولى:

إذا كانت سرعة انتشار الصوت في الهواء  $v = 331 \text{ m.s}^{-1}$  بدرجة  $C = 0^\circ$ . احسب سرعة انتشار الصوت في الدرجة  $C = 27^\circ$ .

#### المسألة الثانية:

يُصدِّر أنبوب صوتي مختلف الطرفين صوتاً أساسياً توازره  $f = 435 \text{ Hz}$ . فما توازرات الأصوات الثلاثة التي تليه؟

#### المسألة الثالثة:

يُصدِّر وتر صوتاً أساسياً توازره  $250 \text{ Hz}$ . كم يُصبح توازُر صوته الأساسي إذا نقص طول الوتر حتى النصف  $(L' = \frac{L}{2})$  وزادت قوّة الشد حتى مثلّها  $(F' = 2F)$ .

#### المسألة الرابعة:

تهتز رنانة تواثرها  $f = 440 \text{ Hz}$  فوق عمود هوائي مغلق، حدد البعد الذي يحدث عندَه الرنين الأول عندما تكون درجة حرارة الهواء في العمود  $t = 20^\circ \text{ C}$ ، حيث سرعة انتشار الصوت في هذه الحالة  $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$

**المسألة الخامسة:**

استعملت رنانة تواثرها  $f = 445 \text{ Hz}$  فوق عمود رنين مغلق لتحديد سرعة انتشار الصوت في غاز الهيليوم. فإذا كان البعد بين صوتيين شديدين متاليين (رنينين متعاقبين)  $L = 110 \text{ cm}$ ، احسب سرعة انتشار الصوت في غاز الهيليوم.

**المسألة السادسة:**

احسب تواتر الصوت الأساسي لوتر مشدود طوله  $L = 0.7 \text{ m}$ ، شدّ بقوّة قدرها  $F_T = 49 \text{ N}$  وكتلته  $m = 7 \text{ g}$ .

**المسألة السابعة:**

تهتر شعبتا رنانة كهربائية بتوتر  $f = 30 \text{ Hz}$ ، نصل إحدى الشعوبتين بخيط مرن طوله  $L = 2 \text{ m}$ .  
**1.** يشد الخيط بقوّة شدتها  $F_T = 7.2 \text{ N}$  فيهتر مكوناً مغلاً واحداً. استنتج كتلة الخيط؟  
**2.** احسب قوّي الشدّ التي تجعل الخيط يهتر بمغزلين ثمّ بثلاثة مغازل مع الرنانة نفسها؟

**المسألة الثامنة:**

احسب سرعة انتشار اهتزازٍ عرضيٍّ في وتر قطر مقطعه  $0.1 \text{ mm}$ ، وكثافة مادته  $0.8$ ، مشدود بقوّة شدتها  $F_T = 100\pi \text{ N}$ .

**المسألة التاسعة:**

إذا كانت سرعة انتشار الصوت في الهواء  $v = 330 \text{ m.s}^{-1}$

**المطلوب:**

- 1.** احسب تواتر الصوت الأساسي الذي يصدره عمودٌ هوائيٌّ طوله  $L = 2 \text{ m}$  إذا كان مغلقاً، ثم إذا كان مفتوحاً.  
**2.** احسب تواتر المدروج الثالث في كل حالة.

**المسألة العاشرة:**

وتر آلة موسيقية، طوله  $L = 1 \text{ m}$ ، وكتلته  $m = 20 \text{ g}$ ، مثبت من طرفيه ومشدود بقوّة  $F_T = 2 \text{ N}$ .

**المطلوب:**

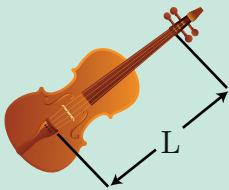
- 1.** سرعة انتشار الاهتزاز على طول الوتر.  
**2.** تواتر الصوت الأساسي الذي يمكن أن يصدر عنه.  
**3.** التواترات الخاصة لمدروجاته الثلاثة الأولى.

**المسألة الحادية عشرة:**

مِزمارٌ مُتشابهُ الطَّرْفَيْن طوله  $L = 1 \text{ m}$  يصدر صوتاً تواتره  $f = 170 \text{ Hz}$ ، يحوي هواءً في درجة حرارةٍ مُعينةٍ حيث سرعة انتشار الصوت  $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$ .

**المطلوب:**

- 1.** احسب عدد أطوالِ الموجة التي يحويها المِزمار.  
**2.** احسب طول مِزمار آخر مُختلفُ الطَّرْفَيْن يحوي الهواء بصدر صوتاً أساسياً موقتاً للصوت السابق في درجة الحرارة نفسها.



استنتاج قوّة الشدّ  $F_T$  في وتر كمانٍ كتلته  $m$ ، وطوله  $L$ ، عندما يهتز بالتأثير الأساسي، الذي يساوي التأثير الأساسي لعمود هوائي مُعلق طوله  $L$ ، وسرعة انتشار الصوت في الهواء  $v$ .

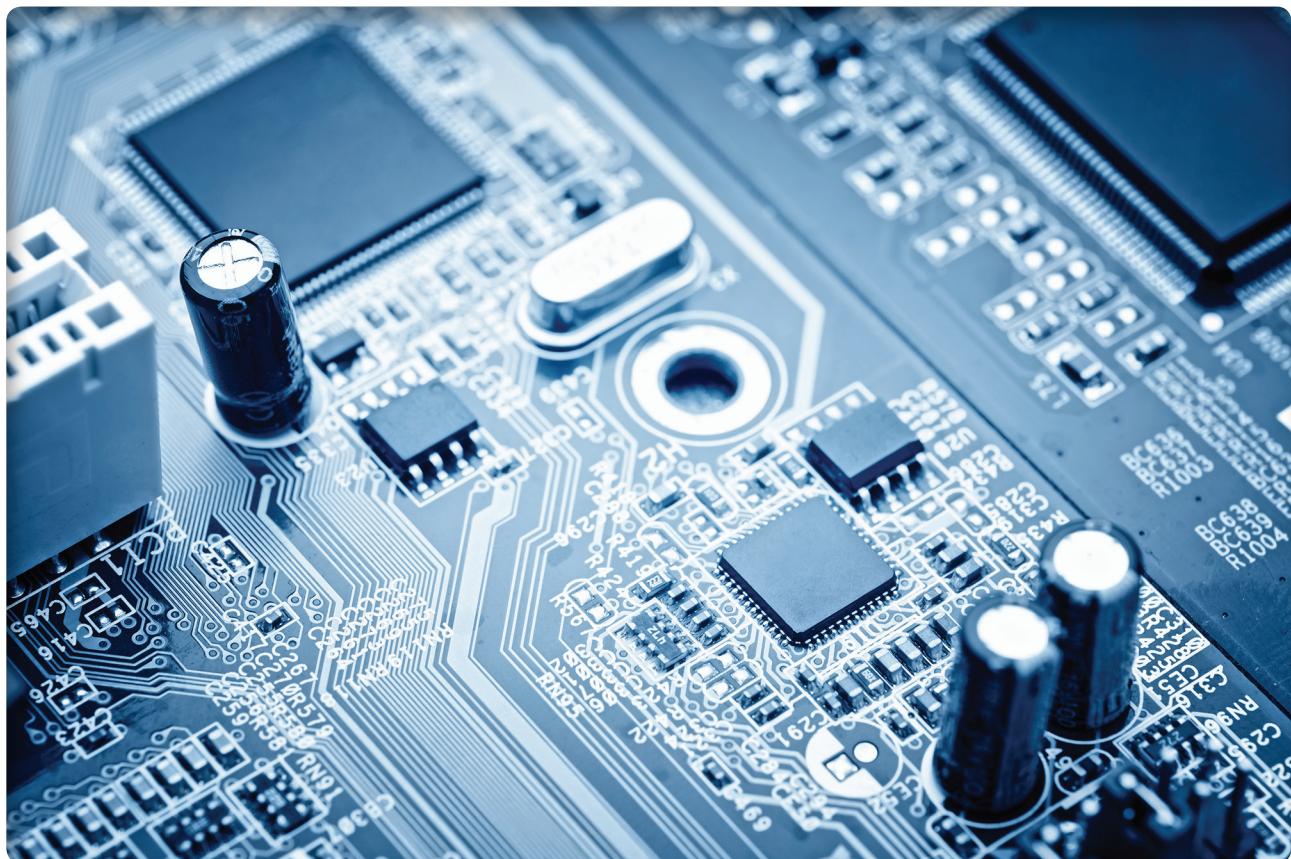
### أبحث أكثر



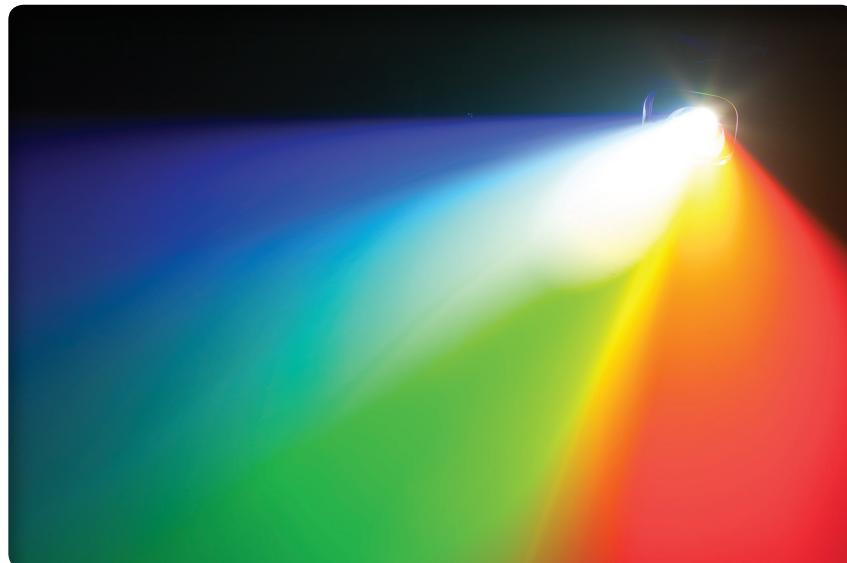
تسمى دراسة اهتزاز الأمواج في الشمس بالسيمولوجيا الشمسية وهي علم زلازل الشمس، أبحث في الشابكة عن هذه الظاهرة وعن كيفية تشكيل الأمواج الصوتية في الشمس.

# الوحدة الرابعة

## الإلكترونيات والجسم الصلب



# ١ النّماذجُ الذّرِّيَّةُ والطَّيفُ



الطَّيفُ الْكَهْرَبَيِّسِيُّ مُصْطَلَحٌ عَامٌ يَشْمَلُ جَمِيعَ التَّرَدُّدَاتِ الْمُمُكِنَةِ مِنَ الإِشْعَاعَاتِ الْكَهْرَبَيِّسِيَّةِ. وَيُعَرَّفُ الطَّيفُ الْكَهْرَبَيِّسِيُّ أَيْضًاً بِخَطُوطِ الْأَشْعَةِ الصَّادِرَةِ مِنْ جَسَمٍ أَسْوَدٍ عَنْدَ درَجَةِ حرَارَةٍ مُعَيَّنةٍ.

لِكُلِّ عَنْصَرٍ كِيمِيَّيٍّ طَيفٌ يُمِيزُهُ، أَيْ لِهِ مَجْمُوعَةٌ خَطُوطٌ مُتَسَلِّلَةٌ تُمِيزُهُ عَنْ غَيْرِهِ، وَيُسَمَّى هَذَا الطَّيفُ "طَيفُ ابْنَاعِثٍ"

هَلْ تَسَاءَلْتَ كَيْفَ يَسْتَفِيدُ الْعُلَمَاءُ مِنْ درَاسَةِ ظَاهِرَةِ كَسْوَفِ الشَّمْسِ، لِمَعْرِفَةِ مُكَوِّنَاتِهَا.

## الأهداف:

- \* يتعرّفُ فِرَضِياتِ نموذج بور الذّريِّيِّ الخاصِّ بذَرَّةِ الْهَدْرُوجِينِ.
- \* يُحدِّدُ سُويَّاتِ الطَّاقَةِ فِي ذَرَّةِ الْهَدْرُوجِينِ.
- \* يَسْتَتِّجُ عَلَاقَةَ طَاقَةِ إِلْكْتَرُونِ ذَرَّةِ الْهَدْرُوجِينِ فِي مَدَارِهِ.
- \* يَشْرُحُ مَعَ الرَّسَمِ مَفْهُومِ إِثَارَةِ الذَّرَّةِ.
- \* يَوْضِحُ طَرَقَ إِثَارَةِ الذَّرَّةِ.
- \* يَمْيِّزُ بَيْنَ أنواعِ الطَّيفِ.

## الكلمات المفتاحية:

- \* التَّكْمِيمُ.
- \* طَاقَةِ التَّائِنِ.
- \* سُويَّاتِ الطَّاقَةِ.
- \* الطَّيفُ الذّرِّيَّةِ.
- \* طَيفٌ مُسْتِمرٌ.
- \* طَيفٌ مُتَقْطَّعٌ.
- \* التَّحْلِيلُ الطَّيفِيُّ.

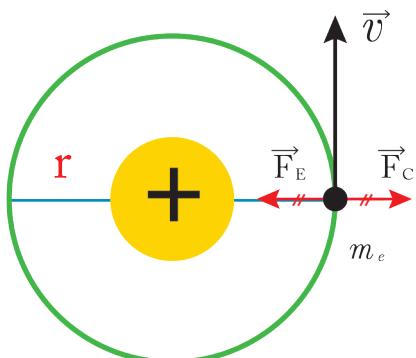
## نموذج بور

قدّم بور نموذجَه في بنية الذرة مُعتمِداً على التوفيق بين النموذج الذري والنظرية الكهرطيسية، وكان يرى في نظرية الكم ثابت بذلك حلاً لذلك، واستخدم بور تكميماً الضوء لشرح الطيف الذري، ووضع المبادئ الآتية:

1. إنَّ تغيير طاقة الذرة مُكْمَم.
2. لا يمكن للذرّة أن تتواجد إلا في حالات طاقية مُحدّدة، كلّ حالي منها تميّز بسوية طاقية مُحدّدة.
3. عندما ينتقل الإلكترون في ذرّة مُشارَة من سوية طاقية  $E_2$  إلى سوية طاقية  $E_1$  فإنَّ الذرة تُصدِّر فوتوناً طاقته تساوي فرق الطاقة بين السويتين، أي:  $\Delta E = E_2 - E_1 = h \cdot f$

## التميم في ذرة الهيدروجين

### نشاط:



في الشكل المجاور تمثيل لأبسط ذرّة في الطبيعة وهي ذرّة الهيدروجين، التي تتكون من إلكترون واحد يتحرّك في الحقل الكهربائي لبروتون واحد. الاحظ وأجيب:

- أحدد القوى المؤثرة في إلكترون ذرّة الهيدروجين على مداره.
- أكتب علاقة شدّة كل قوّة من القوى المؤثرة في الإلكترون.
- أفسّر سبب الحركة الدائريّة المنتظمة لهذا الإلكترون.

### استنتاج

- يخضع الإلكترون لتأثير قوّتين بإهمال قوّة التجاذب الكتلي بين البروتون والإلكترون لصغرها، هما:
- القوّة الكهربائية الناجمة عن جذب النّواة (بروتون) له، تُعطى شدّتها بالعلاقة: (1) .....  

$$F_E = k \frac{e^2}{r^2}$$

حيث:  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  سماحة الخلاء الكهربائية،  
 $r$  نصف قطر المدار الذي يتحرّك عليه الإلكترون.
- قوّة العطالة النابذة ناجمة عن الدوران، تُعطى شدّتها بالعلاقة: (2) .....  

$$F_C = m_e \frac{v^2}{r}$$
- حركة إلكترون ذرّة الهيدروجين حول النّواة هي حركة دائرية مُنتظمة، لأنَّ القوّة الكهربائية الناجمة عن جذب النّواة له مُساواةً لقوّة العطالة النابذة.

## ١. فرضيات بور

### الفرض الأول:

حركة الإلكترون حول النواة دائريّة مُنظمة، أي:

$$F_E = F_C$$

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

$$v^2 = k \frac{e^2}{m_e r} \dots\dots\dots (3)$$

الطاقة الميكانيكية (الكلية) للإلكترون: (4)

حيث:  $E_p = -k \frac{e^2}{r}$  الطاقة الكامنة الكهربائية.

$E_k = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r}$  الطاقة الحركية:  $E_k$

بالتعويض والإصلاح نجد: (5)  
وهي علاقة الطاقة الميكانيكية للإلكترون ذرة الهadroجين في مداره.

### الفرض الثاني:

اقتصر بور أن هناك مدارات محددة ذات أنصاف قطرات مختلفة يمكن للإلكترون ذرة الهadroجين أن يدور فيها حول النواة، وفي أي منها عزم كمية الحركة للإلكترون من المضاعفات الصحيحة لـ  $\frac{h}{2\pi}$  أي أن العزم الحركي للإلكترون يعطى بالعلاقة:

$$m_e v r = n \frac{h}{2\pi} \dots\dots\dots (6)$$

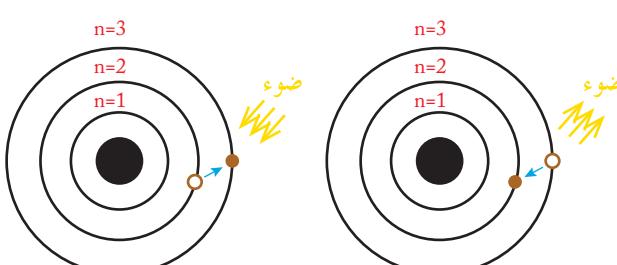
حيث  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ثابت بلانك،  $n = 1, 2, 3, \dots$  رقم المدار.

### الفرض الثالث:

لا يصدر الإلكترون طاقة طالما بقي متّحراً كاً في أحد مداراته حول النواة، لكنه يمتلك طاقة بكميات محددة عندما يتقدّم من مداره إلى مدار أبعد عن النواة، ويصدر طاقة بكميات محددة عندما يتقدّم من مداره إلى مدار أقرب إلى النواة تحسب بالعلاقة:

$$\Delta E = h \cdot f$$

حيث:  $f$  تواتر الإشعاع،  $h$  ثابت بلانك.



## 2. سُوّيَات الطَّاقَةِ في ذَرَّةِ الْهَدْرُوجِينِ

من العلاقة (6) نجد:

$$v^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e^2 r^2} \dots\dots\dots (7)$$

بالتَّعْوِيْضِ فِي (1) نجدُ:

$$\frac{1}{2} m_e \frac{n^2 h^2 4\pi^2}{m_e^2 r^2} = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r}$$

نَسْتَنْتَجُ:

$$r = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e k}$$

مِنْ أَجْلِ ذَرَّةِ الْهَدْرُوجِينِ أَيْ:

$$r = n^2 r_0$$

حِيثُ:  $r_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k}$  هُو نَصْفُ قَطْرِ بُورِ.

بالتَّعْوِيْضِ فِي (2) نجدُ:

$$E = E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{h^2}$$

أَيْ:

$$E_n = \frac{E_0}{n^2}$$

حِيثُ:

$$E_0 = -\frac{2\pi^2 e^4 k^2 m_e}{h^2} = -13.6 \text{ eV}$$

إِذَا طَاقَةُ الْحَالَةِ الْأَسَاسِيَّةِ لِلْهَدْرُوجِينِ ( $n = 1$ ) :

$$E = E_0 = -13.6 \text{ eV}$$

## 3. طَاقَةُ تَأْيِينِ ذَرَّةِ الْهَدْرُوجِينِ

لِكِي تَأْيِينَ ذَرَّةِ الْهَدْرُوجِينِ يَجِبُ إِعْطاؤُهَا طَاقَةً تَكْفِي لِنَقْلِ الْإِلْكْتَرُونَاتِ مِنْ حَالَةِ ارْتِبَاطِهِ فِي السُّوَيْةِ الْأَسَاسِيَّةِ إِلَى حَالَةِ عَدَمِ الْارْتِبَاطِ أَيْ إِلَى طَاقَةٍ مَعْدُومَةٍ، أَيْ يَلْزَمُ إِعْطَاءُ طَاقَةً أَكْبَرُ أَوْ تُسَاوِي  $13.6 \text{ eV}$ .

## 4. طَاقَةُ الْإِلْكْتَرُونَاتِ الْذَّرَّةِ

تَوَاجِدُ الْإِلْكْتَرُونَاتُ الْذَّرَّةِ فِي حَالَةِ حَرْكَةٍ حَوْلَ نَوَاتِهَا، لَكِنْ لَا يُمْكِنُ تَحْدِيدُ مَوْضِعٍ وَسَرْعَةٍ أَيِّ مِنْ هَذِهِ الْإِلْكْتَرُونَاتِ فِي لَحْظَةٍ مَا بِدْقَةٍ، وَإِنَّمَا يُمْكِنُ فَقْطُ تَحْدِيدُ كَثَافَةِ احْتِمَالِ تَوَاجِدِ الْإِلْكْتَرُونَاتِ فِي لَحْظَةٍ مَا فِي مَوْضِعٍ مَا. بِالرَّغْمِ مِنْ ذَلِكَ فَقْدَ تَمَّ اسْتِخْدَامُ النَّمَادِجِ الذَّرِّيَّةِ الْكَلاسِيَّكِيَّةِ، الَّتِي تَفْرَضُ مَسَارَاتٍ دَائِرِيَّةً لِلْإِلْكْتَرُونَاتِ حَوْلَ النَّوَافِذِ، لِإِيجَادِ طَاقَاتٍ وَسَرْعَاتِ الْإِلْكْتَرُونَاتِ الْمُخْتَلِفَةِ وَذَلِكَ مِنْ أَجْلِ ذَرَّةِ الْهَدْرُوجِينِ، وَالذَّرَّاتِ الشَّبِيهَةِ بِالْهَدْرُوجِينِ.

- إن الطاقة الكليّة للإلكترون في مداره في جملة (الكترون - نواة) تتألّف من قسمين:
1. قسم سالب هو الطاقة الكامنة نتيجة تأثيره بالحقل الكهربائي الناتج عن النواة.
  2. قسم موجب هو الطاقة الحركيّة الناتجة عن دورانه حول النواة.
- أي أنّ:

$$E_n = E_p + E_k = -\frac{13.6}{n^2}$$

وهي طاقة سالبة لأنّها طاقة ارتباط تشكّل طاقة التجاذب الكهربائيّة الجزء الأكبر منها، والقيمة المطلقة لهذه الطاقة تتناسب عكساً مع مربع رتبة المدار  $n$  الذي يدور فيه الإلكترون، وتزداد طاقة الإلكترون بازدياد رتبة المدار  $n$  أي مع ابعاد الإلكترون عن النواة.

## الطيف الذريّ

أسائلُ:

ما منشأ الطيف؟ وما أنواعها؟ وما الاختلاف بين طيفٍ وآخر؟ وكيفَ نحصل على كلّ منها؟

## منشأ الطيف الذريّ

توجد سويات طاقة مُشارّة كثيرة في ذرة الهadroجين، يُمكّن للإلكترون أن يشغل أيّ سوية من هذه السويات، وأنّ انتقال الإلكترون من سوية طاقية إلى سوية طاقية أدنى يؤدّي إلى إصدار طاقة (إشعاع) تُساوي فرق الطاقة بين السويتين، عند حصول انتقالاتٍ مُختلفة بين سويات الطاقة سوف نحصل على إصداراتٍ بتوافراتٍ مُختلفة تُعطى بالعلاقة:  $\Delta E = E_2 - E_1 = h \cdot f$

وعند تحليل حزمة ضوئية صادرّ عن غاز الهadroجين المشار بالانفراغ الكهربائي سوف نجد أنّ الطيف مُكونٌ من عددٍ من الخطوط الطيفيّة، كلٌّ من هذه الخطوط يُمثل انتقالاً للإلكترون بين سويتين طيفيتين في ذرة الهadroجين. ويوضح الشكل التالي بعض الخطوط الطيفية لذرة الهadroجين في المجال المرئي.



يمكّن إجراء دراسة مشابهة لذرات المواد شبيهة بتلك التي أجريت لذرة الهadroجين ولكن بحسابات أكثر تعقيداً، توصلنا هذه الدراسة إلى استنتاج تواثرات الإصدارات الناجمة عن الذرات.

# أنواع الطيف

## نشاط:

### أدوات النشاط:

صفيحة من الحديد، سلك من القصدير، ملح طعام، موشور زجاجي، حاجز ذو شق للحصول على حزمة متوازية، شاشة بيضاء، مصباح غازي يحوي غاز الهيدروجين، موقد غولي.

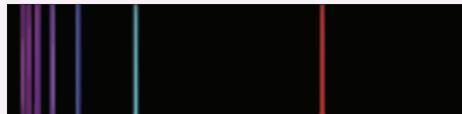
### خطوات تنفيذ النشاط:

- أُسخن صفيحة الحديد بالتدريج وأفحص الطيف الصادر باستخدام المطياف، ماذالاحظ؟

- أنثر قليلاً من ملح الطعام فوق لهب موقد غولي، وأفحص طيفه بالمطياف، ماذالاحظ؟
- أمرر حزمة من الضوء الصادر عن المصباح الغازي عبر الشق في الحاجز على الموشور.
- أتلقى الحزمة المنحرفة بالموشور على الشاشة البيضاء.
- لاحظ شكل ولون الطيف على الشاشة.
- أسئل هل يتغير الطيف بتغيير نوع الغاز في المصباح.

## استنتاج

Hydrogen



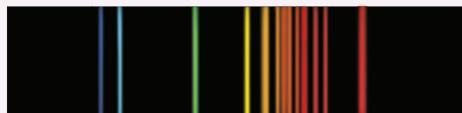
• يظهر أو لا اللون الأحمر عند تسخين قطعة الحديد، وكلما زادت درجة الحرارة ظهر اللون البرتقالي فالأخضر وهكذا، حتى يصل الجسم المسخن إلى درجة البياض فتظهر جميع ألوان الطيف.

Helium



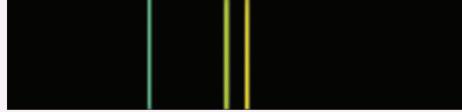
• تلون لهب الصوديوم باللون الأصفر الذهبي، وعند فحصه بالمطياف أشاهد وجود خطين أصفرین متقابلين جداً.

Neon



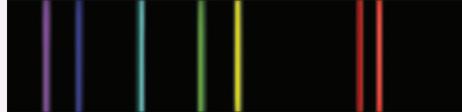
• إن الصوديوم لم يشع جميع ألوان الطيف السبعة، وإنما انبعث منه خطان طيفيان يقعان في منطقة الضوء الأصفر.

Sodium



• يتكون طيف الهيدروجين المثار بالانفراخ الكهربائي من عدد من الخطوط الطيفية.

Mercury



• يتغير الطيف المتشكل بتغيير نوع الغاز داخل المصباح.

## • الطيف نوعان:

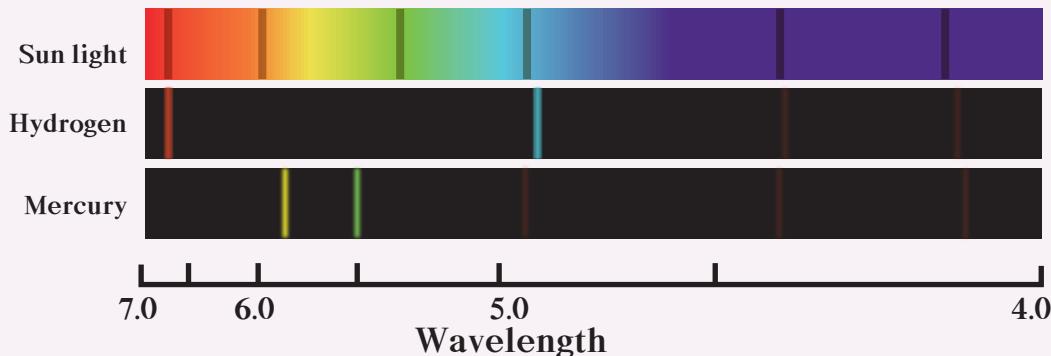
a. الطيف المستمر: هي الطيف التي تظهر فيها جميع ألوان الطيف على هيئة مناطق مُتجاوِرة من دون وجود فواصل بينها، وهذا ما نلاحظه عند تحليل ضوء الشمس بالهواء المشبع بالرطوبة، وتكون قوس قُرح، حيث نجد عند تحليل الضوء أنَّ الطيف مستمر، من الأمثلة على ذلك طيف مصباح الكهرباء ذو مقاومة التّنفُّستين، فإذا حللنا طيف هذا المصباح نجد أنَّ طيف الإصدار متصل، ويأخذ شكلَ مُنْحنٍ، له قيمة بجوار طول الموجة 0.6 ميكرون.

الطيف المُتحمِّل

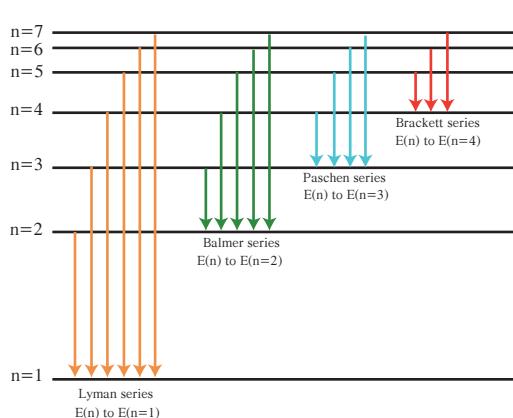


b. الطيف المُنقطعة: مثل طيف إصدار ذرات الهيدروجين، يتكونُ طيف الإصدار لهذه المتابع من خطوط طيفية أو عصاباتٍ طيفية مُنفصلة، فيبيَّنَنا نجد جميع ألوانِ قوسِ قُرح في طيفِ مصباح التّنفُّستين، فإننا نجد خطوطاً طيفية في طيفِ مصباح بخار الرئيق، ولكن هذه الخطوط مُنفصلة عن بعضها البعض وبشكل عام تكون طيفُ المصابح الغازية مُنقطعةً وطيفُ إصدارات الأجسام الصَّلبة الساخنة مُتَّصلَة.

في الشكل الآتي لدينا ثلاثة طيف؛ الأولُ مستمرٌ وهو طيف الإصدار الشمسي، والآخران مُنقطَّعان



## الطيف الذري



الطيف الذري لعنصر هو سلسلة التّواترات الضوئية الصادرة عن ذرات هذا العنصر، وأبسط أنواع الطيف الذري هو طيف ذرة الهيدروجين.

السلسلة الواحدة (الطيف الذري) تحتوي على عددٍ من التّواترات، والتّواتر الأكثر كثافة يغلب لونه على السلسلة، مثل الطيف الذري لبخار الصوديوم الذي يحتوي على تواترين كثافتهما عالية ويميل لونهما للبرتقالي.

يحتوي الخطّي للهيدروجين على عدد من السلالس هي:  
**أولاً: سلسلة ليمان (أكبر سلاسل الطيف طاقة)**

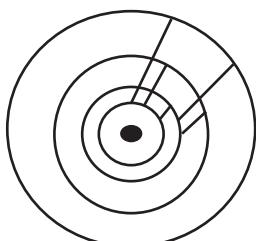
نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهيدروجين من السويات العليا أي ( $n = 2, 3, 4, 5, 6$ ) إلى السوية الأولى.

**ثانياً: سلسلة بالمر**

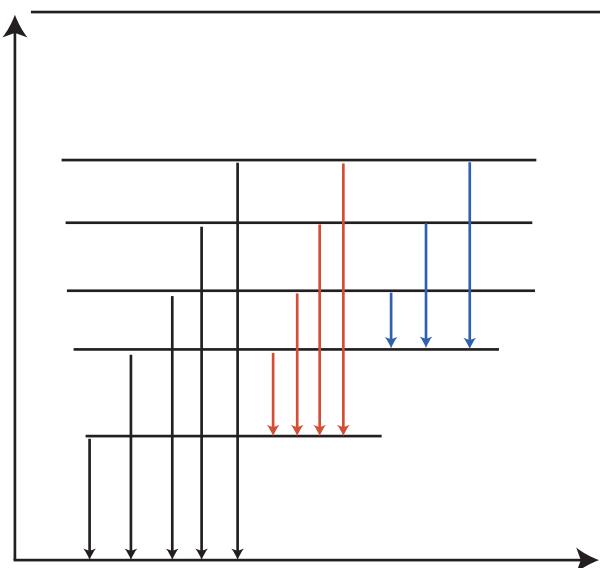
نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهيدروجين من السويات العليا أي ( $n = 3, 4, 5, 6$ ) إلى السوية المُشارَة الثانية.

**ثالثاً: سلسلة باشن**

نحصل عليها عند عودة إلكترون ذرة الهيدروجين من السويات العليا أي ( $n = 4, 5, 6$ ) إلى السوية المُشارَة الثانية الثالث.



Transitions



## التَّحْلِيلُ الطَّفِيفُ

يلجأُ علماءُ الكيمياء في المختبرات وعلماءُ الفلك الذين يراقبون النجوم إلى استخدام تقانات التحليل الطيفي للكشف ما يُحللُونه، ومعرفة تركيبه الكيميائي.

تعتمد تقانات التحليل الطيفي للمواد على امتصاص أو إصدار ذرّاتها للطاقة، فالمعادن مثلاً تتوهج، أو تصدر ضوءاً عند تسخينها إلى درجات حرارةٍ عاليةٍ، ويتحلل الضوء الصادر عند إمراره عبر مسحور زجاجي، إلى مكوناته من إشعاعاتٍ ملؤنةٍ ذات أطوالٍ موجيةٍ مختلفة، تُشكّلُ في مجموعها طيفاً خطيّاً مميّزاً للمعدن المدروس.

يعزّى تشكّلُ هذا الطيف إلى حركة الإلكترونات الخارجية في الذرات المعتبرة التي تمتلك طاقةً تشارُ بها، فترقي إلى سويات طاقية أعلى من التي كانت تشغّلها، إلا أنها لا تلبّي أن تعود إلى السويات الطاقية الأساسية التي كانت تشغّلها، مصدرةً فائض طاقتها على شكل إشعاعٍ وحيدٍ أو مجموعةٍ من الإشعاعات المتالية، وتُعدُّ توآثرات هذه الإشعاعات، أو أطوالها الموجية مميّزةً للعنصر المعنّي ويمكن استخدامها للتعرّف عليه.

### إثراء:



يختلف طيف الهdroجين عن أطيافي العناصر الكيميائية الأخرى، مثل الكربون والهليوم والرّبّيق والحديد وغيرها، أي يختلف توزيع خطوط الطيف التي تستطيع قياسها عملياً عند تسخين أو حرق العينة، وتوزيعها يعطينا نوع عنصر العينة، إذ لكل عنصر " بصمة " من خطوط الطيف خاصة به.

## تعلمتُ

- استخدم بور تكميم الضوء لشرح الطيف الذري.
- وضع المبادئ الآتية:
  - إنّ تغيير الطاقة مكتمم.
  - لا توجد الذرة إلا في حالة طافية محددة.
  - عندما ينتقل الإلكترون في ذرة مشارأة من سوية أعلى (عليا) إلى سوية أدنى (دنيا) فإنّ الذرة تصدر فوتوناً طاقته:  $\Delta E = E_2 - E_1 = h f$

### الفرض الأول:

حركة الإلكترون حول النواة دائرة منتظمة، أي  $E = -k \frac{e^2}{2r}$  ..... (5)  
وهي علاقة الطاقة الميكانيكية للإلكترون ذرة الهدروجين في مداره.

### الفرض الثاني:

اقتصر بور أن هناك مدارات محددة ذات أنصاف قطرات مختلفة يمكن للإلكترون ذرة الهدروجين أن يدور فيها حول النواة، وفي أي منها عزم كمية الحركة للإلكترون من المضاعفات الصحيحة لـ  $\frac{h}{2\pi}$   
أي أن العزم الحركي للإلكترون يعطى بالعلاقة:  $m_e v r = n \frac{h}{2\pi}$  ..... (6)

### الفرض الثالث:

لا يصدر الإلكترون طاقة طالما بقي متحركاً في أحد مداراته حول النواة، لكنه يتمتص طاقة بكميات محددة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أبعد عن النواة، ويصدر طاقة بكميات محددة عندما ينتقل من مداره إلى مدار أقرب إلى النواة تحسب بالعلاقة:  $\Delta E = h \cdot f$

## أختبر نفسك



أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

- عندما ينتقل الإلكترون من سوية طافية أقرب للنواة إلى سوية طافية أبعد عن النواة فإنه:
  - يتمتص طاقة.
  - يصدر طاقة.
  - يحافظ على طاقته.
  - تنعدم طاقته.
- عندما ينتقل الإلكترون من سوية طافية ما في الذرة إلى الانتهاية فإنه:
  - يقترب من النواة
  - يصدر طاقة
  - يحافظ على طاقته
  - يصبح ذو طاقة معدومة
- باتبعاد الإلكترون عن النواة فإن طاقته:
  - تنقص ثم تنعدم.
  - لا تتغير.
  - تنقص.
  - تنزداد.

٤. تنشأ الطيف الذري نتيجة انتقال:

a. الإلكترون من سوية طاقية إلى سوية طاقية أخفض.

b. الإلكترون من سوية طاقية إلى سوية طاقية أعلى.

c. البروتون خارج الذرة.

d. الإلكترون إلى النواة.

٥. نقدم طاقة للذرة على شكل إشعاع متواصل فتشار الذرة لأنها:

a. تمتضـ تمامـ الطـقة المـقدـمة.

b. لا تمتضـ أيـة طـقة.

c. تمتضـ جـزـءـاً من طـقة الإـشـاعـاع مـطـابـقاً لـفـرقـ الطـقة بـيـنـ سـوـيـتـيـنـ مـخـلـفـتـيـنـ.

d. تمتضـ جـزـءـاً من طـقة الإـشـاعـاع.

ثانياً: حل المسائل الآتية:

المـسـائـلـ الـأـولـيـ:

يفرض أن نصف قطر مدار الإلكترون في ذرة الهadroجين ( $r = 0.53 \times 10^{-10} \text{ m}$ ) ، (وبإهمال قوى التجاذب الكتلي بين البروتون وال الإلكترون)

المطلوب:

١. احسب قوة التجاذب الكهربائي بين البروتون والإلكترون.

٢. احسب سرعة دوران الإلكترون الخطية على مداره السابق، هل يجب أن نأخذ في الاعتبار تغير كتلة الإلكترون وفق النظرية النسبية؟.

٣. احسب تأثير دوران الإلكترون.

(كتلة الإلكترون  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ، شحنة الإلكترون  $e = -1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  سماحة الخلاء الكهربائية  $\epsilon_0 = \frac{1}{36\pi \times 10^9}$ )

المـسـائـلـ الـثـانـيـ:

احسب الطاقة المتحرّرة وطول موجة الإشعاع الصادر عندما يهبط الإلكترون من السوية الثالثة ذات الطاقة  $E_3 = -1.51 \text{ eV}$  إلى السوية الثانية ذات الطاقة  $E_2 = -3.4 \text{ eV}$  ثابت بلانك  $J.s = 6.63 \times 10^{-34}$

المـسـائـلـ الـثـالـثـ:

تتألف ذرة الهadroجين من بروتون وإلكترون، تُعطى سويات الطاقة لذرة الهadroجين بالعلاقة:  $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$  حيث  $n$  هو عدد صحيح موجب.

في السوية ذات الطاقة الأخفض لدينا  $n = 1$ ، وفي سوية الطاقة المثار الأولى لدينا  $n = 2$  وهكذا، عندما تسعى  $n$  إلى الlanهاية نجد الحالة المتميزة أي التي تخسر فيها ذرة الهadroجين إلكترونها.

### المطلوب:

1. احسب النسبة بين قوّة التجاذب الكتلي بين الإلكترون والبروتون، والقوّة الكهربائيّة التي تجذب بها النّواة الإلكترونَ علماً أنّ المسافة بين الإلكترون والبروتون هي  $a = 5.29 \times 10^{-11} \text{ m}$  ، مادا تستنتج؟  
علمـاً أنـ: شحنة الإلكترون  $C = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ، ثابت الجذب الكهربائي  $k = 9 \times 10^{-9} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$  ، كتلة البروتون  $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$  ،  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$  ، كتلة الإلكترون  $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$  ، سرعة انتشار الضوء في الخلاء  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$
2. ما قيمة الطاقة في السّوية الأساسية؟
3. ارسم مخططاً لطاقة السّويات الخامس الأولى.
4. تواجد الذرة في البداية في حالتها الأساسية، تمتّص هذه الذرة فوتون بتوافر  $f = 2.91 \times 10^{15} \text{ Hz}$  ، احسب الرّقم  $n$  للسّوية التي تواجد فيها الذرة بعد الامتصاص.

### تفكير ناقد

إننا جميعاً نشاهد الألوان الجميلة في قوس قزح الذي يتكون من الألوان نفسها التي يحييها الطيف المائي للضوء الأبيض، كيف تفسّر ذلك؟

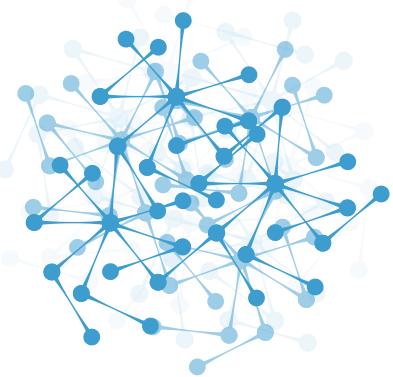
### أبحث أكثر

قد نشاهد قوسين، قوس ابتدائي يعلوه قوس ثانوي أقلّ وضوحاً، وألوانه معكوسة بوساطة قطرات المطر والشمس ساطعة، كيف يتم ذلك؟ أبحث في الشبكة.



2

## انتزاع الإلكترونات وتسريعها



### الأهداف:

- \* يستنتج علاقة انتزاع إلكترون حرّ من سطح معدن.
- \* يشرح طرائق انتزاع الإلكترونات.
- \* يستنتاج علاقة سرعة خروج إلكترون، سرعته الابتدائية معروفة من حقل كهربائي منتظم.
- \* يستنتج معادلة حامل مسار الإلكترون في حقل كهربائي منتظم، سرعته الابتدائية عمودية على خطوط الحقل.

### الكلمات المفتاحية:

- هل حاولت يوماً تفسير أيٍ مما يأتي:
  - على الرغم من أنَّ مُحصلة القوى المؤثرة على الإلكترون الحرّ داخل المعدن تكون معدومة تقريباً فإنَّه لا يتمكّن من مُغادرة سطح هذا المعدن؟
  - يتم اقتلاع الإلكترونات من سطح المعدن، عندما تسقط عليه حزمٌ من أشعة موجية أو جسيمة بطاقةٍ مُناسبة، وكذلك عند رفع درجة حرارته؟
  - عند تطبيق حقل كهربائي على الإلكترون فإنه يؤدّي إلى تغيير سرعته. "تواجدُ الإلكترونات في الذرة في حالة حرّكة دائمة حول نواتها، ولكن لا يمكن تحديدُ موضع و سرعة أيٍ من هذه الإلكترونات في لحظةٍ ما وبدقّة، وإنما يمكن تحديدُ احتمال وجود الإلكترون في لحظةٍ ما في موضعٍ معين".

- \* طبقة.
- \* مدار.
- \* حالة.
- \* القوة الكهربائية.
- \* طاقة ارتباط.
- \* انتزاع الإلكترون.
- \* مفعول الحث.
- \* المفعول الكهربائي.
- \* المفعول الكهرضوئي.
- \* تسريع الإلكترون.

**طاقه انتفاع اللدوه من سطح معدن:**

يتَحرِّكُ الإلكترونُ الْحَرُّ داخِلَ المعدَن بِسُرْعَةٍ وَسُطْحِيَّةٍ تَعلَقُ بِدَرْجَةِ حرارةِ المعدَن، ويَكُونُ خاصِّاً لِقوَى جذبٍ كهربائِيٍّ، مُحَصَّلتها قرِيبةٌ مِن الصَّفَر لأنَّها تَتَجَوَّلُ عَنِ الْأَيُونَاتِ الموجِيَّةِ المُبَعَّثَةِ حَولَه بِعُشُوَائِيَّةِ دونَ تَفضِيلٍ لِاتِّجاهٍ على آخر. لكنَّ مِن الواضِحِ أَنَّهُ مِنْ أَجْلِ إلكترونِ داخِلِ المعدَن يَقْعُدُ عَلَى سُطْحِ المعدَن يَصِيرُ لِهَذِهِ القوَى الجاذِبَةِ مُحَصَّلَةً مُخْتَلِفَةً عَنِ الصَّفَر وَجَهْتِهَا دومًا نحوِ داخِلِ المعدَن، لأنَّ الْأَيُونَاتِ الموجِيَّةِ تَسْتَوِّي بالنِّسْبَةِ لِمِثْلِ هَذِهِ إلكترونَ فِي الجَهَةِ الدَّاخِلِيَّةِ مِنِ المعدَن فَقَط. وَعَلَيْهِ فَإِنَّ انتِزَاعِ إلكترونِ داخِلِ المعدَن يَحتاجُ إِلَى صِرْفِ طَاقَةٍ، تُسَمَّى الطَّاقَةِ الدِّينِيَّةِ الالْزَامِيَّةِ لِانتِزَاعِ إلكترونِ داخِلِ المعدَن مِن سُطْحِ المعدَن بِطاقةِ انتِزَاعِ لِهَذَا المعدَن، يَرْمِزُ لِطاقةِ الانتِزَاعِ بِالرَّمْزِ  $w_s$  تَعلَقُ قِيمَةُ طَاقَةِ الانتِزَاعِ لِمعدَن بِمُتَحَوِّلَاتِ المعدَن: العَدُدُ الذَّرِيُّ  $Z$ ، كثافةُ المعدَن، طبيعةُ الرَّوْبَاطِ، ...، وَتَيْجَةُ اختِلافِ هَذِهِ الْمُتَحَوِّلَاتِ مِنْ معدَنٍ لِآخر، تَخْتَلِفُ قِيمَةُ طَاقَةِ الانتِزَاعِ مِنْ معدَنٍ لِآخرَ بِحيثُ يُمْكِنُ اعتِباُرُ قِيمَتِهِ خَاصِيَّةً لِلمعدَن، ولَقَدْ تَمَّ التَّحْقِيقُ مِنْ ذَلِكَ تَجْريِيًّا. وَيَظْهُرُ الجدولُ (1) تَوابِعُ الْعَمَلِ الْمُقاَسَةِ تَجْريِيًّا لِبعضِ المعدَنَاتِ:

رمز المعدن	Na	Al	Cu	Zn	Ag	Pt	Pb	Fe
طاقة الانتزاع $W_s(eV)$	2.16	4.08	4.7	4.31	4.73	6.35	4.14	4.5

- لانتزاع إلكترون حرّ من سطح معدنٍ ونقله مسافةً صغيرةً  $dl$  خارج المعدن يجب تقديم طاقةً أكبرً من عمل القوّة الكهربائية التي تجذب إلكترون نحو داخل المعدن.

$$W_s = F \, dl \quad \text{وبالتالي:}$$

$$F = e E \quad \text{لڪن:}$$

$$W_s = e E dl \quad \text{نوعٌ فتجُّدُ:}$$

$$E dl = U_s \quad \text{لکن:}$$

$$E_s = W_s = e U_s \quad \text{وبالتالي يكون:}$$

حيث إنّ:  $E_s$ : طاقة الانتزاع.

عمل الانتراع:  $W_s$

الا كمون فرق :  $U_s$

**E** : الحقائق الظاهرة

الله رب العالمين

الراية، وتحتها الراية، ومن ثم تأتي العلامة، وهي العلامة التي يحيط بها كل الأحكام.

## مناقشة:

بفرض  $E$  الطاقة التي يمتلكها الإلكترونون (الطاقة المقدمة للإلكترون) ونميز الحالات الآتية:

**١.** إذا كانت  $E_s < E$ : لا ينتزعُ الإلكترون ويفقى مُنجذبًا نحو داخل الكتلة المعدنية.

٢. إذا كانت  $E_s = E$ : يتحرّر الإلكترون من سطح المعدن بسرعة ابتدائية معدومة.

3. إذا كانت  $E_s > E$ : يتحرّك الإلكترن من سطح المعدن ومعه سرعة ابتدائية تُحسَّن من العلاقة:

$$E_b = E - E_s$$

$$\frac{1}{2}m_e v^2 = E - E_s$$

$$v = \sqrt{\frac{2(E - E_s)}{m_e}}$$

## طُرْقَةُ اِنْتَزَاعِ الْإِلْكْتَرُونَ مِنْ سطحِ المعدنِ:

### 1. الفعل الكهربائي:

يُقدّم الطاقةُ اللازمَة لانتزاعِ الإلكترونِ من سطحِ المعدنِ على شكلِ طاقةٍ ضوئيَّةٍ تواُرُّها كافٍ وَعُطَّى  
بالعلاقة:  $E = h f$

### 2. الفعل الكهرباري:

يُقدّم الطاقةُ اللازمَة لانتزاعِ الإلكترونِ على شكلِ طاقةٍ حراريَّةٍ حيثُ يسخنُ المعدن، فتكتسبُ بعضُ الإلكتروناتِ  
السطحيةَ قدرًا كافيًّا من الطاقةِ تزيدُ من سرعتِها وحركتِها وتبعُّ خارجَ المعدن.

### 3. مفعولُ الحَتِّ:

يُقدَّف سطحُ المعدنِ بحرمةٍ من الجسيماتِ ذات الطاقةِ الكافيةِ فيؤدي ذلك إلى تصادُمِ بعضِ جسيماتِ هذهِ  
الحرمةِ مع الإلكتروناتِ الحرّةِ في السطحِ المعدنيِّ، وتؤدي هذهِ العمليةِ إلى انتقالِ جزءٍ من طاقةِ الجسيمِ  
الصادمِ إلى الإلكترونِ، وعندما يكونُ هذا الجزءُ المُنتَقلُ أكبرَ أو يساوي طاقةُ الانتزاعِ يُمكِّنُ للإلكترونِ الحرّ  
الواقعُ عند سطحِ المعدنِ أن يقتلعَ من هذا المعدنِ.

### مثال محلول:

يُقدَّف سطحُ المعدنِ له طاقةُ انتزاعٍ  $W_S = 2 \text{ eV}$  بحرمةٍ من الإلكتروناتِ فيؤدي ذلك إلى إصدارِ الإلكتروناتِ  
من سطحِ المعدنِ بسرعةٍ ابتدائيةٍ مقدارُها  $v' = 5.9 \times 10^5 \text{ m.s}^{-1}$ ، فبفرض أنَّ الإلكترونَ السطحيَّ قد  
امتصَّ كاملَ طاقةِ الإلكترونِ الساقطِ. احسب طاقةَ كلِّ من الإلكترونِ الحرمةِ الساقطةِ وسرعتُه إذا علِمتَ أنَّ  
 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ،  $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$

### الحلُّ:

يجُبُ أن تكونَ طاقةُ كلِّ من هذهِ الإلكتروناتِ الساقطةِ مُساويةً للطاقةِ الحركيَّةِ الابتدائيةِ للإلكترونِ المُقتلعِ  
مُضافًا لها طاقةُ الانتزاعِ، أي:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v'^2 + W_S$$

$$W_S = 2 \text{ eV}$$

$$W_S = 2 \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$W_S = 3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$$

نَعُوضُ:  $E_k = \frac{1}{2} \times 9 \times 10^{-31} (5.9 \times 10^5)^2 + 3.2 \times 10^{-19}$   
وهي طاقةُ الإلكترونِ الساقطِ:  $E_k = 4.8 \times 10^{-19} \text{ J}$   
حسابُ السُّرعةِ:

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

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}}$$

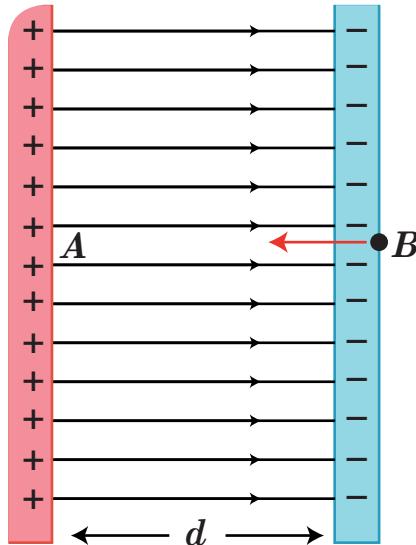
$$v = \sqrt{\frac{2 \times 4.8 \times 10^{-19}}{9 \times 10^{-31}}}$$

$$v = 1.04 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$$

## تسريع الإلكترونات في منطقة حقل كهربائي منتظم:

تتطلب معظم التجارب التي تستخدم حزماً إلكترونية، إلكترونات ذات سرعات عالية نسبياً، وبالمقابل تكون سرعة الإلكترونات المكتلعة من سطوح المعادن صغيرة بصورة عامة، لذلك لابد من زيادة سرعتها ويتم ذلك عن طريق إخضاعها لحقول كهربائية ساكنة.

### نشاط:



تسريع الإلكترون في حقل كهربائي منتظم

نفرض إلكتروناً، شحنته  $e$ ، وكتلته  $m_e$ ، ساكنًا في نقطة من منطقة يسودها حقل كهربائي منتظم بين لوسي مكتففة مستوية مشحونة، لبوساها شاقوليان.

- ما جهة شعاع الحقل الكهربائي.
  - اكتب عبارة هذا الحقل.
  - ما القوة التي يخضع لها الإلكترون؟ وما عناصرها؟
  - إلى أي لبوس يتوجه الإلكترون.
- تحتاج الشحنة الكهربائية  $e$  عند وضعها في حقل كهربائي ساكن  $\vec{E}$  لقوة كهربائية  $\vec{F}$  تُعطى بالعلاقة:

$$\vec{F} = q \vec{E} = m \vec{a}$$

يعتبر الإلكترون الشحنة الأكثر تحقيقاً لتعريف الشحنة النقطية، وذلك لأنّه أصغر شحنة موجودة في الطبيعة وامتداده الفراغي نقطي، لذلك يمكن القول إنَّ الإلكترون هو أفضل الشحن التي تنطبق عليها العلاقات السابقة، بالإضافة لحقيقة علاقات الشحن النقطية.

لنتستنتج العلاقة المحددة لسرعة خروج الإلكترون من نافذة مقابلة في اللبوس الموجب؟  
جملة المقارنة: خارجية

الجملة المدرسة: الإلكترون داخل منطقة الحقل الكهربائي بإهمال ثقله

القوى الخارجية المؤثرة:

$F = e E$ : القوة الكهربائية حيث لها حامل  $\vec{E}$  وتعاكسه بالجهة وشديتها ثابتة لكن:

$$E = \frac{U}{d}$$

نعرض:

$$F = e \frac{U}{d}$$

بحسب قانون نيوتن الثاني:  $F = m_e a$   
بمُساواة العلاقتين السابقتين:

$$a = \frac{e U}{m_e d} = \text{const}$$

بما إنَّ الحركة بدأت من السكون، والتسارُع ثابت، فالحركة مُستقيمة مُتسارعة بانتظام.

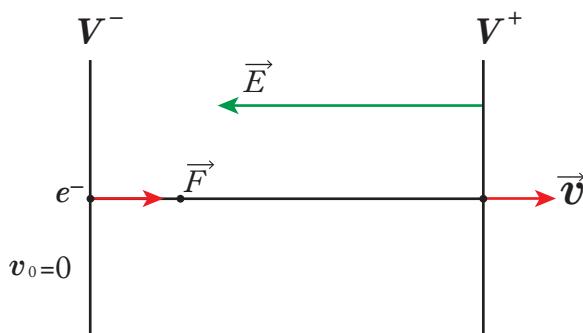
عند وصول الإلكترون إلى نافذة اللباس الموجب فإنَّ  $x = d$

$$v^2 - v_0^2 = 2 a x$$

نَعْوَضٌ

$$v^2 - 0 = 2 \frac{eU}{m_e d} d$$

$$v = \sqrt{2 \frac{e U}{m_e}}$$

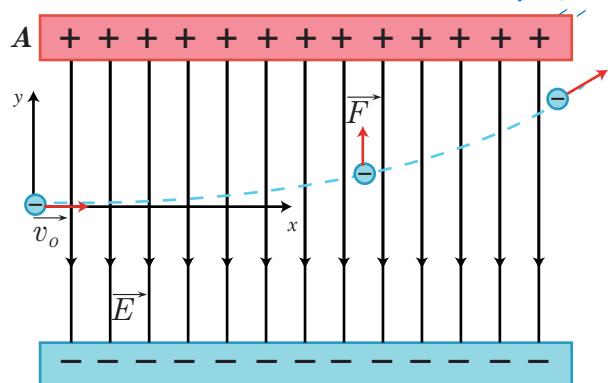


## نتائج:

١. يمكن زيادة سرعة خروج الإلكترون من نافذة اللبؤس الموجب بزيادة فرق الكمون بين اللبؤسين.  
 ٢. تصلح العلاقة السابقة من أجل السرعات الصغيرة للإلكترون بالنسبة لسرعة الضوء لأن الكتلة يمكن اعتبارها ثابتة عندئذٍ.

أما من أجل السرعات الكبيرة للإلكترون القريبة من سرعة الضوء فلا تصلح العلاقة السابقة لأن كتلة الإلكترون تزداد بصورة ملموسة كما مرّ معنا في درس النظرية التسبيبية الخاصة لأينشتاين.

تَأْلِفُ حَقْلَكُمْ لَا يَمْنَاطُهُمْ عَلَيْهِ الَّذِي وَهُوَ لَهُ مُخْلِّسٌ مِنْ تَحْتَهُ حَقْلٌ سَرْعَةٌ ۝



نفرض إلكتروناً يتحرّك بسرعة  $v$  ليدخل بين البوسّين الأفقيّين مشحونة حيث  $\vec{B} \perp \vec{v}$  لندرس حركة هذا الإلكترون، ثم نستنتج معادلة حامل المسار؟

حملة المقارنة: خارجية.

الجملة المدروسة: الإلكترون داخل منطقة الحقل الكهربائي المنتظم بإهمال ثقله.

القوى الخارجية المؤثرة:

$T$  : اسیوہ المهر بایہ حیت  $E$  لے جانے والے مکانیزم کا نام تھا۔

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

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

باعتبار:

مبدأ الفوّاصل نقطة دخول الإلكترون منطقة الحقل الكهربائي المُنتظم.  
مبدأ الزّمن لحظة دخول الإلكترون منطقة الحقل الكهربائي المُنتظم.  
بالإسقاط على محورين متعامدين  $\vec{x}$  أفقياً و  $\vec{y}$  شاقوليًّا موجّهاً نحو الأعلى

$$\vec{ox} \begin{cases} v_{ox} = v_o = v \\ F_x = 0 \implies a_x = 0 \implies v_x = \text{const} \end{cases}$$

إنَّ حركة المسقط على  $\vec{x}$  هي حركةٌ مستقيمةٌ مُنتظمةٌ  
لكن  $x_0 = 0$

$$x = v t \dots \dots \dots (1)$$

$$\vec{oy} \begin{cases} v_{oy} = 0 \\ F_y = F \implies m_e a_y = e \frac{U}{d} \\ \implies a_y = \frac{e U}{m_e d} = \text{const} \end{cases}$$

== حركة المسقط على  $\vec{y}$  هي حركةٌ مستقيمةٌ مُتسارعةٌ بانتظام:

$$\begin{aligned} y &= \frac{1}{2} a_y t^2 + v_{oy} t + y_0 \\ y_0 &= 0 \\ \implies y &= \frac{e U}{2 m_e d} t^2 \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

استنتاجُ مُعادلة حامل المسار:  
من (1) :  $t = \frac{x}{v}$

$$y = \frac{e U}{2 m_e d v^2} x^2 \quad : (2)$$

نوعُضُ في (2) : المسار محمولٌ على جزءٍ من قطعٍ مُكافئٍ.

## تعلّمتُ

- لانزاع الإلكترون حرًّ من سطح المعدن ونقله مسافةً صغيرةً  $dl$  خارج المعدن يجب تقديم طاقةً أكبر من عمل القوة الكهربائية التي تجذب الإلكترون نحو داخل المعدن.
- طرق لانزاع الإلكترون من سطح المعدن:
  1. الفعل الكهربائي.
  2. الفعل الكهرحاري.
  3. مفعول الحت.
- يتم زيادةً سرعةً الإلكترونات عن طريق إخضاعها لحقولٍ كهربائيةٍ ساكنة أو حقولٍ مغناطيسيةٍ ساكنة أو كليهما معاً.

## أختبر نفسك



أولاً: اختبر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

1. يمتص الإلكترون طاقةً عندما:

a. يتنتقل من مدارٍ إلى آخرٍ ضمن نفس السوية.

b. يهبط إلى سويةٍ أقرب إلى التواة.

c. يقفز من سويةٍ أدنى (دنيا) إلى سويةٍ أعلى (عليا).

d. عندما يسقط على التواة.

2. يتحررُ الإلكترون من سطح المعدن بشكلٍ مؤكّد عند:

a. حصوله على طاقةً أكبرً أو تساوي طاقةً لانزاع لهذا المعدن.

b. رفع درجة حرارة المعدن إلى درجة أعلى أو تساوي تلك المكافئة لطاقةً لانزاع لهذا المعدن.

c. حصوله على طاقةً أكبرً أو تساوي طاقةً لانزاع بشكلٍ مُتزامِنٍ مع كون جهة حركته نحو الخارج.

d. تحقق  $c$  بالإضافة لعدم اصطدامه بأي جسمٍ في أثناء خروجه من السطح.

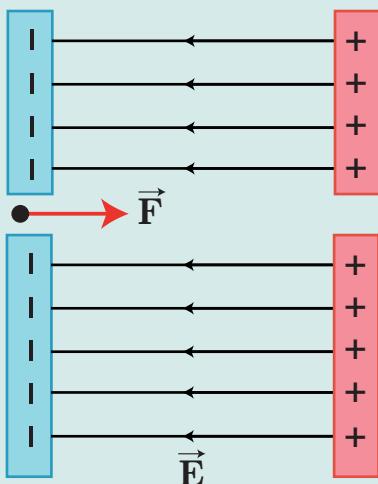
ثانياً: حل المسألتين الآتتين:

### المسألة الأولى:

ينطلق الإلكترون بسرعة ابتدائية معدومة من فتحة في اللبوس السالب المكثفة ليخرج من الفتحة المقابلة في اللبوس الموجب كما في الشكل جانباً فإذا علمت أن فرق الكمون بين لبوسي المكثفة هو  $v = 10^3$  والمسافة بينهما (1 cm)

المطلوب:

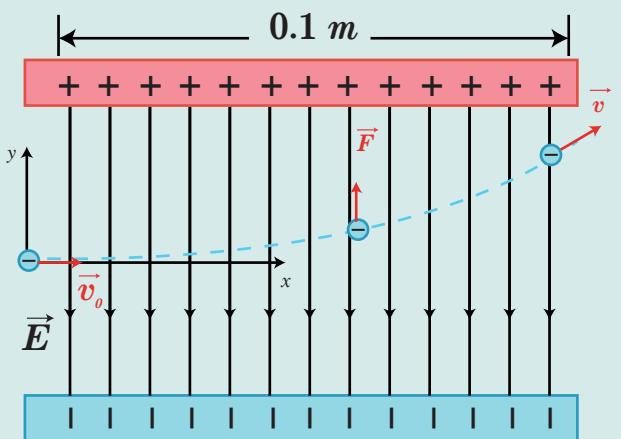
استنتج العلاقة المحددة لسرعة هذا الإلكترون لحظة خروجه من الفتحة في اللبوس الموجب، ثم احسب قيمتها واحسب تسارع حركة هذا الإلكترون.  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ،  $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ .



### المسألة الثانية:

يدخل الإلكترون بسرعة ابتدائية  $v_0 = 3 \times 10^6 \text{ m.s}^{-1}$  إلى منطقة يسودها حقل كهربائي منتظم بشكل تعاكس فيه سرعة هذا الإلكترون مع خطوط الحقل كما في الشكل جانباً، فإذا علمت أن شدة هذا الحقل هي  $200 \text{ V.m}^{-1}$ ، وطول كل من لبوسي المكثفة المستوية المولدة لهذا الحقل هو 0.1 m.

المطلوب:



1. احسب تسارع الإلكترون في أثناء تواجده ضمن المنطقة التي يسودها الحقل الكهربائي.

2. احسب الزمن الذي يستغرقه الإلكترون للخروج من المنطقة التي يسودها الحقل الكهربائي.

يهمل ثقل الإلكترون.  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ،  $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$

### تفكير ناقد



أي شحنة تحرّك بسرعة غير ثابتة، من حيث القيمة أو الاتّجاه، تصدر طاقة كهرطيسية، فهل ينطبق ذلك على الإلكترونات في الذرة؟ وهل يوجد تفسير مقنع لهذه المعضلة.

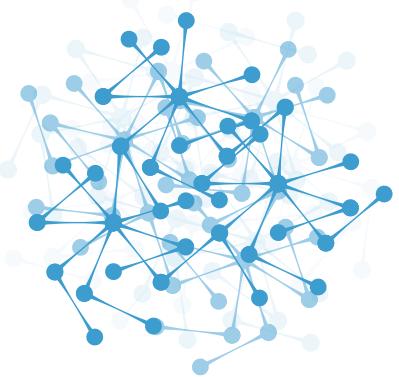
### ابحث أكثر



عندما تنتقل الإلكترونات من السويات الطاقية الأعلى إلى الأدنى تصدر فوتونات بأطوال موجية مختلفة. ابحث في علاقة الطيف الصادرة عن الإلكترونات بالألوان.

# 3

## الأشعة المهبطية



### الأهداف:

- \* يتعرّفُ معنى الانفراج.
- \* يتعرّفُ أنواع الانفراج.
- \* يستنتجُ شروط توليد الأشعة المهبطية.
- \* يشرحُ خواص الأشعة المهبطية.
- \* يتعرّفُ طبيعة الأشعة المهبطية.



في الأيام الماطرة تحدث الصواعق، وتشاهد البرق، وتسمع الرعد، ذلك ناتج عن شرارات تفريغ تحدث بين السحب المشحونة أو شرارات تفريغ تحدث بين السحب المشحونة وسطح الأرض، وتقدّم السحب معظم شحنتها بعد حدوث البرق أو الصاعقة.

أظهرت السحب في الجو يعني حدوث الظواهر السابقة أم أن هناك شروطاً خاصة لحدوث تلك الظواهر؟

هل البرق والصاعقة تيّار كهربائي؟ وإذا كان تياراً فكيف يتقلّل في الغازات؟

### إذاً ما الانفراج الكهربائي؟

هو شرارة كهربائية تحدث عبر العازل (هواء، غازات) الفاصل بين جسمين مشحونين بفرق كموني كافٍ.

لا تنقل الغازات التيّار الكهربائي مالم يتم تأينها، فعند تطبيق حقل كهربائي خارجي على الغاز المتأين تتحرّك الجسيمات المشحونة باتجاهين متعاكسيين، إذ تحرّك الإلكترونات والأيونات السالبة باتجاه معاكس للحقل المطبق، وتتحرّك الأيونات الموجبة باتجاه الحقل وتحدث التأثيرية التي هي (أيون - إلكترون) والتيار المُتولّد في الغازات يدعى الانفراج الكهربائي.

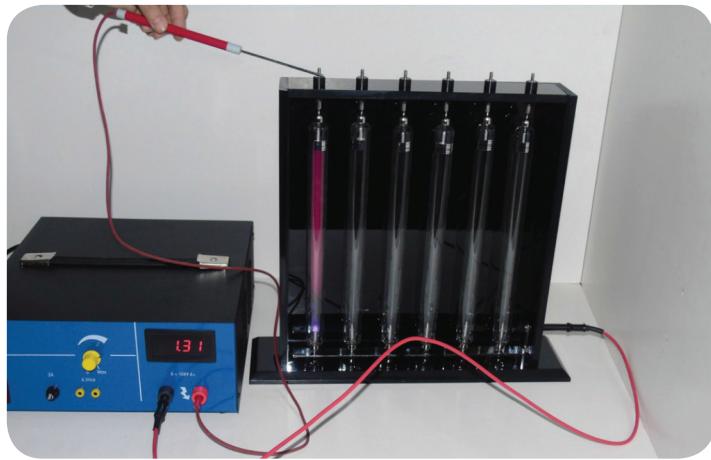
### الكلمات المفتاحية:

- \* الانفراج الكهربائي.
- \* أنبوب الانفراج.
- \* الأشعة المهبطية.

أجرب وأستنتج:

**تجربة (1)**

الأدوات الالزمه: مجموعة أنابيب الانفراج - منبع تغذية لتيار متواصل (أو آلة ويمشورت) - أسلاك توصيل.



خطوات التجربة:

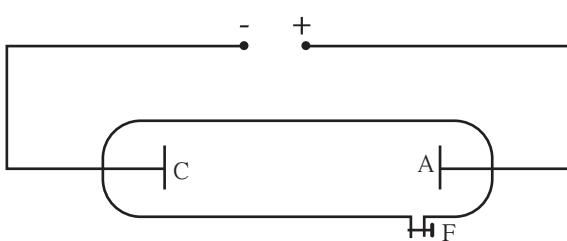
- أطبق على كل أنبوبٍ من أنابيب الانفراج (تحتوي غازاتٍ مختلفةً، وضغطُ الغاز فيها متساوٍ من مرتبة 10 mm Hg)، التوتر ذاته V 300. ماذالاحظ؟
- أرفع قيمةَ التوتر إلى V 500. ماذا يحدث؟
- أكرر التجربة السابقة من أجل توتر V 1310 وألاحظ ماذا يحصل في أنابيب الانفراج.

**استنتاج**

- لا يظهر الضوء في أنابيب الانفراج عند تطبيق توتر بقيمة أقل من V 500.
- تظهر في أنابيب الانفراج أضواءً بألوانٍ مختلفة عند تطبيق توتر V 500 ، فإذا كان الغاز هو النيون يكون اللون أحمر برتقاليًا، وإذا كان الغاز هو بخار الزئبق يكون اللون أزرق مخضر.
- تردد شدة الحزمة الضوئية في الأنابيب، ولا يتغير لونها بزيادة التوتر عن القيمة V 500.

**النتيجة:**

أنبوب التفريغ الكهربائي في الغازات هو عبارة عن أنبوبٍ زجاجيٍّ متينٍ ومغلقٍ تماماً بطول 50 cm وقطر 4 cm ، مملوء بالغاز المطلوب دراسته. يثبت في الطرفينقطبين كهربائيين أحدهما المهبط (cathode) والثاني المصعد (anode) ، كما هو موضح في الشكل. في أحد الجانبيين توجد فتحة توصل إلى مخلية ضغط P بواسطتها يمكن التحكم بضغط الغاز داخل الأنبوب. يتم توصيل طرفِ الأنبوب أي القطبين إلى دارة تيار DC عالي التوتر من مرتبة 50 kv.



أجرب وأستنتج:

تجربة (2)

الأدوات الالزمه: أنبوب كروكس - منبع تغذية لتيار متواصل - أسلاك توصيل.

خطوات التجربة:

أطبق على الأنابيب توترًا متواصلاً  $V = 1000$ ، وأشعل مخلية الهواء بحيث يكون قيم الضغط داخل الأنابيب على التوالي:  $g = 110 \text{ mmHg}$ ,  $100 \text{ mmHg}$ ,  $10 \text{ mmHg}$  قيمة قريبة من  $0.01 \text{ mmHg}$ , أرقب ما يحصل في الأنابيب، وأسجل ملاحظاتي.

استنتاج

- إنَّ مظهر الانفرااغ الكهربائي يتغير بتغيير ضغط الغاز داخل الأنابيب.
- من أجل الضغط حوالي  $110 \text{ mmHg}$  لا نلاحظ انفرااغاً في الأنابيب مع سماع صوت طقطقة.
- عندما يصبح الضغط داخل الأنابيب حوالي  $100 \text{ mmHg}$  نسمع طقطقاتٍ تدلُّ على حدوث تفريغ كهربائي في الأنابيب.
- عند الضغط  $10 \text{ mmHg}$  تختفي الطقطقات، ونلاحظ عموداً ضوئياً متجانساً يمتدُّ من المهبط إلى المصعد.
- بمتابعة تخفيف الضغط داخل الأنابيب إلى قيمة قريبة من  $0.01 \text{ mmHg}$  يختفي الضوء كلّياً، ويحل محله ظلامٌ داخلي الأنابيب، عند هذه المرحلة تالتق جدران الأنابيب بلون أخضر، وهذا ناتج عن أشعة غير مرئية صادرة عن المهبط، ولذلك سميت بالأشعة المهبطية.
- شرط توليد الأشعة المهبطية:
  - فراغ كبير في الأنابيب يتراوح الضغط فيه بين  $(0.01 - 0.001 \text{ mmHg})$ .
  - توتر كبير نسبياً بين قطبي الأنابيب حيث يولد حقلًا كهربائياً شديداً بجوار المهبط.

آلية توليد الأشعة وطبيعتها:

ماذا يحوي أنابيب الأشعة المهبطية عند ضغط يقل عن  $(0.01 \text{ mmHg})$ ؟

ما دور التوتر الكهربائي الكبير المطبق بين قطبي الأنابيب؟

مما تتكون الأشعة المهبطية المُتولدة في الأنابيب؟

يحتوي أنابيب الأشعة المهبطية على كتلة غازية وأيونات موجبة.

عند تطبيق توتر كهربائي كبير بين قطبي الأنابيب تتجه هذه الأيونات الموجبة نحو المهبط بسرعة كبيرة، وتؤين ما تلقيه في طريقها من ذرات غازية حتى تصل إلى المهبط وتصدمه. يساعد هذا الصدام على انتزاع بعض من الإلكترونات الحرارة من سطح معدن المهبط الذي يقوم بدفعها لتبتعد عنه نظراً لشحنتها السالبة ويسرعها الحقل الكهربائي لتصدم من جديد، في أثناء توجهها نحو المصعد، ذرات غازية جديدة وتسكب تأثيرها، وتتشكل أيونات موجبة جديدة تتجه نحو المهبط لتولِّد إلكترونات جديدة وهكذا.

تتكون الأشعة المهبطية من إلكترونات مُمتدة من مادة المهبط ومن الإلكترونات تأين الذرات الغازية بجوار المهبط يسرعها الحقل الكهربائي الشديد الناتج عن التوتر المطبق بين قطبي الأنابيب.

## خواص الأشعة المهبطية:

1. تتشّرُّ وفق خطوطٍ مُستقيمة ناظمِيَّة على سطح المهبط، لذا يختلفُ شكل حزمة الأشعة بحسبِ شكلِ المهبط.

— إذا كانَ المهبطُ مستويًّا فالحزمةُ مُتوازِيَّة.

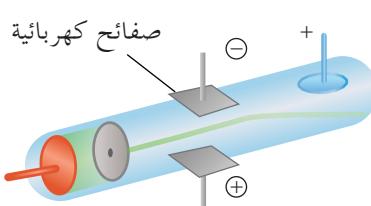
— إذا كانَ المهبطُ مُقعرًّا فالحزمةُ مُتقاربة.

— إذا كانَ المهبطُ مُحدبًّا فالحزمةُ مُتباعدة.



2. تُسبِّبُ تأثيرَ بعضِ الاجسام: تهييَّجُ الأشعةُ المهبطيَّةُ ذراتِ بعضِ المواردِ التي تسقطُ عليها فتتأثَّرُ بألوانٍ مُعيَّنة. عندَما تسقطُ الأشعةُ المهبطيَّةُ على الزجاج العادي يتَأثَّرُ بالأخضر، وعلى كبريتاتِ الكالسيوم بالأصفرِ البرتقالي. يُستفادُ من هذهِ الخاصيَّةِ في الكشفِ عن الأشعةِ المهبطيَّة.

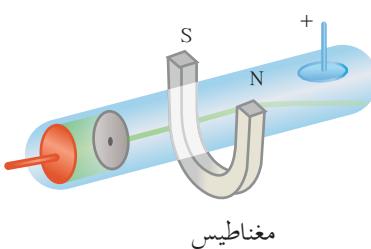
3. ضعيفَةُ التقوذ: لا تنفَدُ من خلالِ صفيحةٍ من المعدنِ وتكونُ ظلًا على الزجاجِ المتألِّق خلفها.



4. تحملُ طاقةً حركيَّةً: سرعةُ الأشعةِ المهبطيَّة تقتربُ من سرعةِ انتشارِ الضوءِ في الخلاء إذ تراوحُ سرعتُها بين  $2 \times 10^7$  m/s و  $6 \times 10^7$  m/s، لذلكُ يُمكِّنُها أن تديِّر دولاًباً خفيفاً، وهذهِ الطاقةُ الحركيَّةُ يُمكِّنُ أن تحوَّلَ إلى أشكالٍ أخرى مثل طاقةِ كيميائيَّةٍ، حراريَّةٍ، إشعاعيَّةٍ.

5. تتأثَّرُ بالحقلِ الكهربائيِّ: تتحرفُ نحوَ البوسِ الموجِّبِ لمُكتَفِّفةٍ مشحونةٍ ممَّا يدلُّ على أنَّها مشحونةٌ بشحنةٍ سالبة.

6. تتأثَّرُ بالحقلِ المغناطيسيِّ: تتحرفُ بتأثيرِ قوَّةِ لورنزيِّ المغناطيسيَّة عموديًّاً على خطوطِ الحقلِ المغناطيسيِّ الذي يؤثِّرُ عليها.



7. تنتُجُ أشعةً سينيَّة: إذا صدمَت صفيحةً مصنوعةً من معدنٍ ثقيل.

8. تؤيَّنُ الغازات: عندَما تنتُجُ الأشعةُ المهبطيَّةُ في غازٍ ما فإنَّها تقومُ بتأثِّيهِ؛ أي تترَّجُ إلَكْترونًا من الذرةِ الغازية وتحوَّلُ إلى أُيونٍ ممَّا يؤدِّي إلى توهجِ الغاز.

9. تعمَلُ عملَ الأشعةِ الضوئيَّةِ في تأثيرِها بألوانِ التصويرِ الضوئيِّ الحسَاسَةِ للضوءِ.

## تعلّمتُ

- الانفراج الكهربائي هو شرارة كهربائية تحدث عبر العازل (هواء، غازات) الفاصل بين جسمين مشحونين بفرق كمون كاف.
- يتغيّر مظهر الانفراج الكهربائي بتغيير ضغط الغاز داخل الأنبوب.
- تكون الأشعة المهبطية من إلكترونات مُنتَزعةٍ من مادة المهبط ومن إلكترونات تأين الذرات الغازية بجوار المهبط يسرّعها الحقل الكهربائي الشديد الناتج عن التوتر المطبق بين قطبي الأنبوب.
- خواص الأشعة المهبطية:
  1. تنشر وفق خطوطٍ مُستقيمةٍ ناظمة على سطح المهبط.
  2. تُسبّب تألق بعض الأجسام.
  3. ضعيفة النفوذ.
  4. تحمل طاقةً حركيّة.
  5. تتأثّر بالحقل الكهربائي.
  6. تتأثّر بالحقل المغناطيسي.
  7. تُنتج أشعّة سينيّة.
  8. تؤيّن الغازات.
- 9. تعمل أشعة الضوئية في تأثيرها بألوان التصوير الضوئي الحساسة للضوء.

## أختبر نفسك



أولاً: علل ما يأتي:

1. الأشعة المهبطية تتأثّر بالحقليْن الكهربائي والمغناطيسي.
2. إذا سقطت الأشعة المهبطية على دولابٍ خفيفٍ تستطيع تدويره.

ثانياً: حل المسألة الآتية:

احسب السرعة التي يغادر بها الإلكترون المهبط المعدني إذا كانت طاقته الحركية تساوي  $J = 10^{-18} \text{ J}$ . لحظة خروجه من المهبط، إذا علمت أن  $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$  ،  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ .



نصحُ جميعاً ألا نلمس جهاز التلفاز من الخلف، ونحدّثُ من رفع أيّة أداءٍ ناقلةٍ للتيار باتجاه الأعلى حيث تمر خطوط التوتر الكهربائي، وعنده تمديد خطوط التوتر العالي نلاحظ اتساع المسافات الفاصلة بينها!

### أبحث أكثر



تنصّب موانع الصواعق على أسطح الأبنية لتفادي الصّواعق، أبحث في ذلك مستعيناً بمكتبة مدرستك، والشّابكة.

# 4

# الفعل الكهربائي



يستخدم جهاز راسم الاهتزاز الإلكتروني في مجالات متعددة من العلوم، ويُكاد لا يخلو منه مختبر بحثي أو طبي تشخيصي، وغير ذلك معمداً على ظاهرة الفعل الكهربائي كأحد طرائق انتزاع الإلكترونات. فكيف نفسّر حدوث هذه الظاهرة، وما الأقسام الرئيسية لراسم الاهتزاز الإلكتروني؟

## الأهداف:

- \* يعرّف الفعل الكهربائي.
- \* يفسّر الفعل الكهربائي.
- \* يتعرّفُ أقسام راسم الاهتزاز الإلكتروني.
- \* يتعرّفُ عمل راسم الاهتزاز الإلكتروني.
- \* يتعرّفُ تطبيقات راسم الاهتزاز.

## الكلمات المفتاحية:

- \* الفعل الكهربائي.
- \* راسم الاهتزاز الإلكتروني.
- \* شبكة وهنت.
- \* الجملة الحرارة.
- \* الشاشة المتألقة.

## نشاط:

- نسخن سلكاً معدنياً إلى درجة حرارة معينة، ماذا يحدث لبعض إلكتروناته الحرّة عند بدء التسخين؟
- ماذا يحدث عند استمرار التسخين؟
- ما الشحنة الكهربائية التي يكتسبها السلك المعدني؟
- ما الأفعال المتبادلة بين المعدن والإلكترونات؟
- ماذا نسمى هذه الظاهرة؟
- كيف تفسر تشكيل سحابة إلكترونية كثافتها ثابتة حول السلك؟
- ماذا يحصل إذا طبقنا على السحابة الإلكترونية حفلاً كهربائياً؟

### النتيجة:

- تكتسب بعض الإلكترونات الحرّة للسطح المعدني قدراً من الطاقة تزيد من سرعتها وحركتها العشوائية.
- تكتسب بعض الإلكترونات الحرّة طاقةً كافيةً لتنطلق من ذرات السطح المعدني.
- يكتسب سطح المعدن شحنةً موجبة.
- باستمرار التسخين يزداد خروج الإلكترونات من ذرات سطح المعدن (إلى حدٍ معين) وتزداد شحنة المعدن مما يزيد من قوّة جذب المعدن للإلكترونات المنطلقة وفي لحظةٍ ما يتساوى عدد الإلكترونات المنطلقة مع عدد الإلكترونات العائدة لسطح المعدن، فتشكل سحابة إلكترونية، كثافتها ثابتة حول سطح المعدن.
- أسمى هذه الظاهرة الفعل الكهر حراري. اكتشفها توماس أديسون (1847 – 1931) خلال تجاربه حيث لاحظ تحول الهواء المحيط بسلك المعدن المتوهج إلى وسطٍ ناقل.
- وعند تطبيق حقل كهربائي، فإنَّ الإلكترونات الخارجَة من سطح المعدن لا تعود إليه. وإنما تحرَّك في الحقل نحو المصعد ويساعدُ هذا على إصدار إلكترونات جديدة، وتستمر العملية وبسرعة كبيرة جدًا، حيث تتسارع الإلكترونات مكونةً حزمة إلكترونية.
- يزداد عدد الإلكترونات المنتزعة في الثانية الواحدة من سطح المعدن كلما:
  1. قل الضغط المحيط بسطحه.
  2. ارتفعت درجة حرارة المعدن.

إذاً ما الفعل الكهر حراري؟

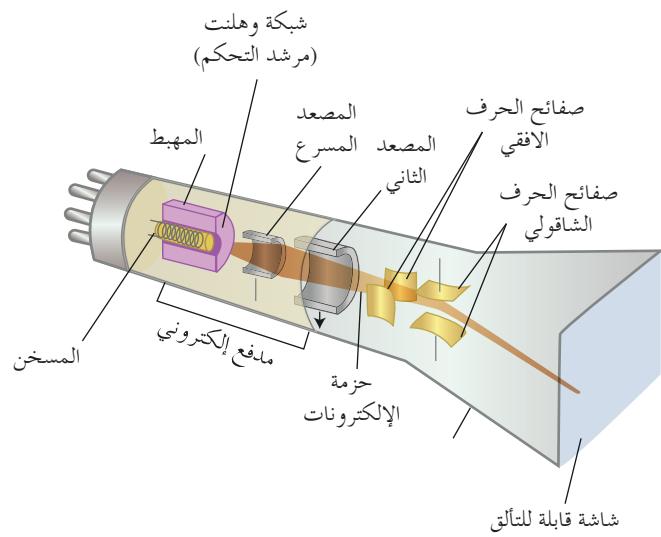
هو انتزاع إلكترونات حرّة من سطح معدنٍ بتسيينه إلى درجة حرارة مُناسبة.

## رأسم الاهتزاز الإلكتروني:

- أتفحص رأسم الاهتزاز الإلكتروني في مخبر المدرسة بمساعدة المخبري وأتعرف إلى أجزاءه الرئيسية:  
المدفع الإلكتروني - الجملة الحارفة - الشاشة المُتألقة.
- استعين بالرسم المجاور وأحدد أجزاء رأسم الاهتزاز الإلكتروني ووظيفتها كل منها.  
يتَّألفُ رأسُم الاهتزاز الإلكتروني من أنبوبٍ زجاجيٍّ مُتین يتحمَّل الضغط، أسطوانة ضيقٍ في بدايته، ومخروطيٍّ مُتسع في نهايته ومُخلَّى من الهواء، ويحتوي على الأقسام الثلاثة الآتية:

### 1. المدفع الإلكتروني:

يتَّألفُ المدفع الإلكتروني من الأجزاء الآتية:



- المهبِّط: صفيحة معدنية يُطبقُ عليها توَّرٌ سالبٌ، يُصدِّرُ الإلكتروناتِ بالفعل الكهرحاري عن طريق تسخينه تسخيناً غير مُباشر بوساطة سلكٍ تسخين من التغستانين حيث يمرُّ فيه تيارٌ متواصلٌ.
- شبكة وهلت: وهي أسطوانة تحيط بالمهبِّط في قاعدها ثقب ضيقٍ، وتوصل بتوتر سالب قابل للتغيير، ولها دورٌ مُزدوجٌ لضبطِ الحزمة الإلكترونية:
  - تجمع الإلكترونات الصادرة عن المهبِّط في نقطةٍ تقعُ على محور الأنبوبي.
  - التحكم بعدد الإلكترونات النافذة من ثقبها من خلال تغيير التوتر السالب المطبق على الشبكة مما يغيّر من شدة إضاءة الشاشة.
- مصدان: لتسريع الحزمة الإلكترونية على مراحلتين:
  - الأولى: بين الشبكة والمصدر الأول بتطبيق توَّرٌ عاليٌ موجبٌ قابل للتغيير.
  - الثانية: بين المصادرتين بتطبيق توَّرٌ عاليٌ موجبٌ ثابت.

### 2. الجملة الحارفة:

يتَّألفُ من:

- مكثفة، لبوسها أفقيان "حقلها الكهربائي شاقولي" تحرّف الحزمة الإلكترونية شاقوليًّا.
- مكثفة مُستوية، لبوسها شاقوليًّا "حقلها الكهربائي أفقي" تحرّف الحزمة الإلكترونية أفقياً.  
يمكن استخدام زوجين من الوشائع بدلاً من الصفائح إحداهما أفقية والأخرى شاقولية.

### 3. الشاشة المُتألقة:

يتَّألفُ من:

- طبقة سميكَة من الزجاج.
- طبقة رقيقة ناقلة من الغرافيت.
- طبقة رقيقة من مادة متألقة "كريت الزنك".

- تغطي الشاشة من الداخل بورقة من الألمنيوم لا يتجاوز ثخنها بضعة ميكرونات.
- تسمح ورقة الألمنيوم للإلكترونات المسرعة بالعبور فتصطدم بالمادة القابلة للتالق وينعكس التالق على ورقة الألمنيوم الذي تعكسه بدورها خارج الأنبوب.
- يُطلّ الأنبوب الرجاحي من الداخل بطبقية من الغرافيت تعمل دوراً الواقي للحزمة الإلكترونية من الحقول الخارجية كما أنها تعيّد الإلكترونات التي سبّبت التالق إلى المصعد وتُغلق الدارة.

## الاستخدامات باسم الاهتزاز:



يستخدم في دراسة الحركات الدورية السريعة كالتيارات المتناوبة والاهتزازات الصوتية، حيث يظهر تحولات التوتر بتابعية الزمان على شكل مُنْحنٍ بيانيٍّ له تواتر الحركة المدروسة نفسه، ويمكن للجهاز قياس فرق الكمون المستمر أو المتناوب بواسطة الشاشة المقسّمة إلى تدرجاتٍ مُناسبة، ويمكن التحكم بقيمة كل تدرجٍ بواسطة مفتاح خاص.

ويُستخدم أيضاً في أجهزة الاستقبال التلفزيونية حيث تُستبدل بالمكثفات وشائعٌ تحريرياً تقوم بالعمل ذاته، وكذلك يُستخدم في التكبير مثل المجهر الإلكتروني، وفي أجهزة الرادار.

## تعلمتُ

- الفعل الكهرومغناطيسي هو انتزاع إلكترونات حرّة من سطح معدن بتسخينه إلى درجة حرارة مُناسبة.
- يستخدم راسم الاهتزاز الإلكتروني في دراسة الحركات الدورية السريعة كالتيارات المتناوبة والاهتزازات الصوتية، حيث يظهر تحولات التوتر بتابعية الزمان على شكل مُنْحنٍ بيانيٍّ له تواتر الحركة المدروسة نفسه.
- يتَّألفُ راسم الاهتزاز الإلكتروني من ثلاثة أقسام:
  1. المدفع الإلكتروني: يتَّألف المدفع الإلكتروني من الأجزاء الآتية:
    1. المهبط.
    2. شبكة وهلت.
    3. مصعدان
    2. الجملة الحرافية.
    3. الشاشة المُتألقة.
- لشبكة وهلت دورٌ مزدوجٌ لضبط الحزمة الإلكترونية:
  1. تجميع الإلكترونات الصادرة عن المهبط في نقطةٍ تقع على محور الأنبوب.
  2. التحكم بعدد الإلكترونات النافذة من ثقبها من خلال تغيير التوتر السالب المطبق على الشبكة مما يغيّر من شدة إضاءة الشاشة.



## أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. الفعل الكهربائي هو انتزاع:

a. النيوترونات من سطح المعدن بتسخينه.

b. الإلكترونات الحرجة من سطح المعدن بتسخينه لدرجة حرارة مُناسبة.

c. البروتونات من سطح المعدن بتسخينه.

d. الفوتونات عند اصطدام الإلكترونات بسطح مادة مُفلورة.

2. يتّم التّحكُّم بشدّة إضاءة شاشة راسم الاهتزاز بوساطة التّحكُّم:

a. بتؤثُّر الجملة الحارفة.

b. بدرجة حرارة المهبّط.

c. بالتوّتر المطبق على المصعد.

d. بالتوّتر السالب المطبق على الشبكة.

3. مهمّة شبكة وهلنت هي:

a. ضبط الحزمة الإلكترونية.

b. تسخين السّلك (الفتيل).

c. إصدار الإلكترونات.

d. حرف الحزمة الإلكترونية.

4. تُطلَى شاشة راسم الاهتزاز الإلكتروني بطبقة من الغرافيت:

a. لحماية الشاشة من الحقول الخارجية.

b. لالتقاط الفوتونات.

c. لامتصاص التّرونات.

d. لإصدار البروتونات الزائدة.

ثانياً: اشرح الدور المزدوج لشبكة وهلت في جهاز راسم الاهتزاز الإلكتروني.

ثالثاً: حل المسألة الآتية:

تبليغ الطاقة الحرارية لأحد إلكترونات حزمة من الإلكترونات المنتزعه  $1.8 \times 10^{16}$ ، وهذه الحزمة الإلكترونية تكافئ تيار شدته  $10 \mu\text{A}$ .

المطلوب:

1. احسب سرعة الإلكترونات في هذه الحزمة.

2. احسب كمية الحرارة المنتشرة خلال 30 ثانية عند اصطدام هذه الحزمة بصفحة معدنية وتحول طاقتها الحرارية بالكامل إلى طاقة حرارية.

3. احسب عدد الإلكترونات التي تصل الصفيحة المعدنية في الثانية الواحدة.  
(كتلة الإلكترون  $m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ، شحنة الإلكترون  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

## تفكير ناقد



ينصح بعدم تقريب المغناط من شاشة التلفزيون في أثناء تشغيلها.

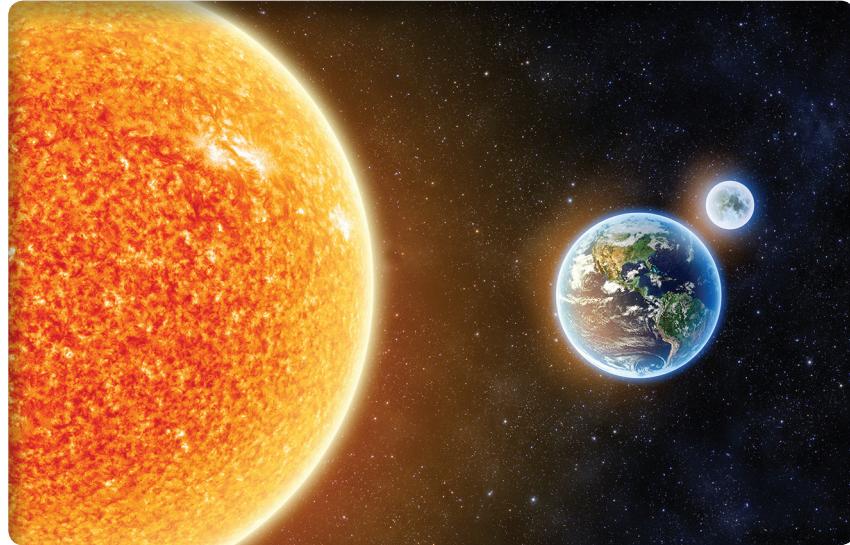
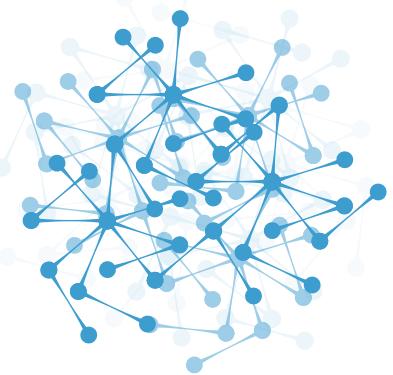
## أبحث أكثر



تختلف شاشات راسم الاهتزاز بقياسها، هل هناك علاقة بين قياس الشاشة وعدد الإلكترونات المنتزعه؟ أبحث في ذلك.

## 5

# نظريّة الكمّ والفعل الكهرومُوئيّ



تعتمد الحياة على سطح الأرض بجميع صورها على ما ترسله الشمس من حرارة وضوء. كما أن للتَّدفُّق المُنتَظَم للحرارة والضوء من الشمس دوراً أساسياً في تنمية الحياة وتطورها على الأرض، التي لم يكن من الممكِّن أن توجَّدَ من دونها ومن دون تَدفُّقِ اشعاعاتها في انتظام الحياة واستمراريتها، فلو زادت أو نقصَّت هذه الطاقة فإن ذلك سيؤثِّر على مقدار سخونة الأرض أو بروتها، وسيرافِّع ذلك أخطاراً جسيمة.

يمكِّن الحصول على الحرارة إما بطرقٍ فيزيائية مثل الاحتِكاك أو تهيج جُزيئات المادة، أو بطرقٍ كيميائية مثل الحرارة الناتجة عن التفاعلات الكيميائية والتلوية والاحتراق وغيرها.

بين الكيميائيين التَّحليليين في مختبراتهم وبين علماء الفلك الذين يراقبون النجوم والكواكب بمناظيرِهم العلائقية شيءٌ مشترَكٌ هو لجوء كلِّيَّهما إلى استخدام تقانات التَّحليل الطيفي لِكشْفِ كُلِّهِ ما يحلُّونَه أو ما يراقبونَه ومعرفة تركيبيِّه الكيميائي.

يقوم مبدأ التقانات المستخدمة على امتصاص الذرات والجزيئات للطاقة، أو اصدارها في أنبوب اختبار في مُتَنَازِل اليدين أو في نجم بعيدٍ

## الأهداف:

- \* يتعرَّفُ فرضيّاتِ نظريةِ الكمّ.
- \* يشرحُ نظريةِ أينشتاين الكهرمُوئيّة.
- \* يتعرَّفُ طاقةِ الفوتون وخصائصِه.
- \* يتعرَّفُ الفعلِ الكهرمُوئيّ.
- \* يفسِّرُ الظاهرةِ الكهرمُوئيّة على أساسِ نظريةِ أينشتاين.
- \* يتعرَّفُ معادلةِ أينشتاين في الفعلِ الكهرمُوئيّ.
- \* يصفُ الخليةِ الكهرمُوئيّة.
- \* يبيِّنُ بعضَ تطبيقاتِ الخلية الكهرمُوئيّة.

## الكلمات المفتاحية:

- \* نظريةِ الكمّ.
- \* نظريةِ أينشتاين.
- \* الفعلِ الكهرمُوئيّ.
- \* الخليةِ الكهرمُوئيّة.

## أتساءلُ:

- وفق النّظرية الكلاسيكية للذرة، أين يتواجد الإلكترون في الذرة؟
  - ما مسأر حركته حول النّواة؟
  - أيفقد أم يكتسب طاقة في أثناء حركته؟
- ما مصير الإلكترون إذا كانت طاقته تتناقص تدريجياً في أثناء دورانه حول النّواة؟ وهل تفني الذرة نتيجة ذلك؟ إن تطبيق قوانين الفيزياء التقليدية لتفسير ذلك يقودنا إلى أن دوران الإلكترونات حول النّواة يؤدي إلى فقدانها تدريجياً لطاقةها، وبالتالي إلى اقترابها من النّواة لستقر فيها، وهذا لا يحدث في الطبيعة.

إن هذا العجز في تفسير ذلك وغيره من الظواهر مهد لوضع نظرية الكم التي تقوم على الأسس الآتية:

1. **فرضية بلانك:** افترض بلانك أن الضوء والمادة يمكنهما تبادل الطاقة من خلال كميات مُنفصلة من الطاقة سميت (كمات الطاقة)، تُعطى طاقة كل كمة بالعلاقة:

$$E = h \cdot f = \frac{hc}{\lambda}$$

### 2. فرضية أينشتاين:

افترض أينشتاين أن الحزمة الضوئية مكونة من فوتونات (كمات الطاقة) يحمل كل منها طاقة تساوي  $E = h \cdot f$ ، ويحصل تبادل للطاقة مع المادة من خلال امتصاص أو إصدار فوتونات.

ويتمتع الفوتون بالخواص الآتية:

1. الفوتون أو (حبيبة الطاقة) هو جسيم يواكب موجة كهرومغناطيسية ذات التواتر  $f$ .
2. شحنته الكهربائية معروفة.
3. يتحرك بسرعة انتشار الضوء.
4. طاقته تساوي  $E = h \cdot f$  حيث  $h = 6.63 \times 10^{-34} \text{ J.s}$  ثابت بلانك.
5. يمتلك كمية حركة  $P = m c$

$$E = m c^2$$

$$m = \frac{E}{c^2}$$

$$P = \frac{E}{c^2} c$$

$$P = \frac{E}{c}$$

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

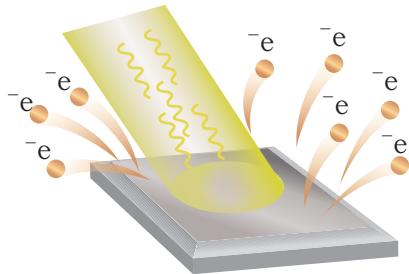
$$\therefore P = h$$

## الفعل الكهربيّ

يوجّدُ الكثير من الأجهزة في حياتنا اليومية تعتمدُ في عملها على تحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية، كالخلايا الشمسيّة التي يُستفادُ منها في إنارة الشوارع وغير ذلك.

أتساءلُ:

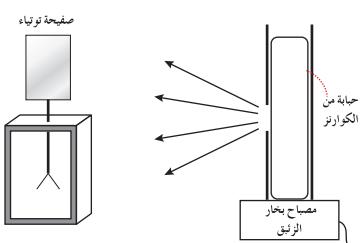
ما المبدأ الذي تعتمد عليه عمل هذه الأجهزة؟



إنَّ عملَ هذه الأجهزة يقومُ على انتزاعِ الإلكتروناتِ الحرّةِ من المادّةِ عندَ تعرّضها لأشعاعاتِ كهرومغناطيسيةٍ مُناسبةٍ، وهذا ما يسمّى بالفعل الكهرضوئيٍّ، وأول من لاحظَ هذه الظاهرة عملياً هو العالمُ هرتز عام 1887.

### تجربة هرتز:

أدوات التجربة: صفيحةٌ توتّياء - كاشفٌ كهربائيٌّ - مصباحٌ بخار زئبيٌّ - لوحٌ زجاجيٌّ.



### وصف التجربة:

- نبتُ صفيحةً من التوتّياء فوقَ كاشفٍ كهربائيٍّ.
- نعرّضُ الصفيحة للأشعة الصادرة عن مصباحِ بخارِ الزئبقِ. كما في الشّكل.

### خطوات تنفيذ النشاط:

- نقومُ بشحنِ الصفيحة بشحنةٍ سالبةٍ، ماذا نلاحظُ؟
- نسلطُ ضوءَ المصباح على صفيحة التوتّياء، ماذا تتوقّعُ أن يحدثَ لوريقتي الكاشف؟
- نعيدُ التجربة السابقة بعد أن نضعَ بينَ المصباح وصفيحة التوتّياء لوحًا زجاجيًّا، ماذا نلاحظُ؟
- نقربُ المصباح من الصفيحة مع بقاء اللوح بينَهما، هل يتغيّر انفراج الوريقتين؟
- نسحبُ اللوح الرّجاجي، هل تفقدُ الصفيحة شحنته؟
- نشحنُ الصفيحة بشحنةٍ موجبةٍ، ثم نعرّضُها لضوءِ مصباحِ الزئبقِ، ماذا يحدثُ لشحنةِ الصفيحة؟

### نتائج التجربة:

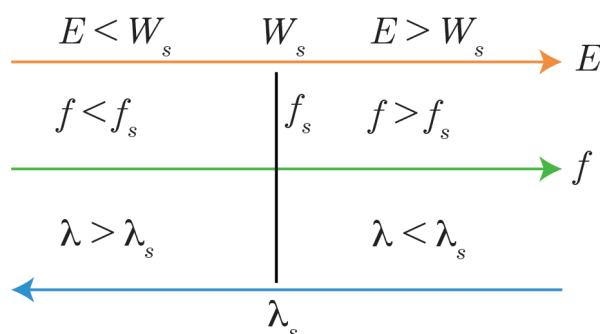
- تنفرجُ وريقنا الكاشف دالّةً على شحنةِ الصفيحة.
- تُترّجعُ بعضُ الإلكتروناتِ الحرّةِ من صفيحة التوتّياء بالفعل الكهرضوئيٍّ، وتدفعُهم شحنةُ الصفيحة السالبة فتبعدُ الإلكتروناتُ عن الصفيحة مما يؤدّي إلى فقدانها تدريجيًّا لشحنتها السالبة حتّى تتعادلُ، فتتقاربُ وريقنا الكاشف حتّى تنطبقاً.

- لا يتغير انفراج وريقتي الكاشف الكهربائي لأن اللوحة الزجاجية يمتص الأشعة فوق البنفسجية المسئولة عن انتزاع الإلكترونات، ويمنعها من الوصول إلى الصفيحة بينما يسمح بمرور الأشعة المرئية والأشعة تحت الحمراء التي لا تمتلك الطاقة الكافية لانتزاع الإلكترونات.
- إن الإلكترونات التي يجري نزعها يعاد جذبها إلى الصفيحة بسبب شحنتها الموجبة، فنجد أن وريقتي الكاشف لا تتأثر فلا يتغير انفراجها.

## شرح الفعل الكهربائي بالاستناد إلى فرضية أينشتاين:

الفعل الكهربائي غير متحقق

الفعل الكهربائي متحقق



أطوال الموجات والعواشرات وطاقات الانتزاع التي يتحقق عندها الفعل الكهربائي

اقترح أينشتاين أنه عندما يسقط الفوتون على معدن فإن هذا الفوتون يمكن أن يصادف إلكتروناً ويقدم له كامل طاقته، والفوتوны يكونون بذلك قد جرى امتصاصه، وهنا لدينا ثلاثة إمكانيات:

1. إذا كانت طاقة الفوتون متساوية لعمل الانتزاع  $E_s = h.f$ ، فإن ذلك يؤدي إلى انتزاع الإلكترون، وخروجه من المعدن، ولكن بطاقة حركية معروفة، وتواتر الموجة عندئذٍ يمثل تواتر العتبة اللازمة لنزع الإلكترون.

2. إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من طاقة الانتزاع، فإنه يجري انتزاع الإلكترون من المعدن باستهلاك جزء من طاقة الفوتون يساوي  $E_s$ ، والجزء الآخر يبقى مع الإلكترون على شكل طاقة حركية، أي يخرج الإلكترون من المعدن بطاقة حركية تساوي  $E_k = h.f - E_s$ .

3. إذا كانت طاقة الفوتون أصغر من طاقة الانتزاع يكتسب الإلكترون طاقة حركية، ويبقى مرتبطاً بالمعدن.

النتيجة:

يجري انتزاع الإلكترونات من المعدن إذا كان طول موجة الحزمة الضوئية الواردة على المعدن أصغر أو مساوياً لطول موجة العتبة اللازمة للانتزاع.



حصل أينشتاين على جائزة نوبل عام 1921 لشرحه الفعل الكهربائي.

## مُعادلة أينشتاين في الفعل الكهرومغناطيسي:

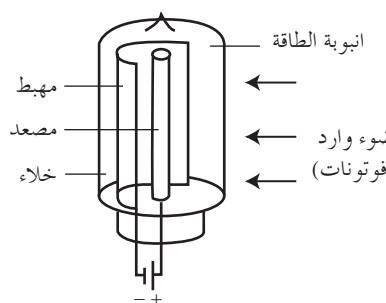
وجدنا أن الإلكترون يُنتَرِع بطاقة حركية عظمى من أجل:

$$\begin{aligned} E_k &= h f - E_s \\ E_k &= h f - h f_s \\ E_k &= h c \left( \frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_s} \right) \end{aligned}$$

فسّرت مُعادلة أينشتاين ما عجزت النّظرية الموجيّة الكلاسيكيّة عن تفسيره وهي:

1. لا يحدث الفعل الكهرومغناطيسي إذا كان توازُر الضوء الوارد أقل من تواتُر العتبة  $f$  الذي تتعلّق قيمته بطبيعة المعدن، أمّا النّظرية الموجيّة، فتعتبر أن الفعل الكهرومغناطيسي يحدث عند جميع التواترات بحسب شدّة الضوء الوارد.
2. لا تزداد الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترون المُنتَرِع  $E_k$  بزيادة شدّة الضوء لأن الإلكترون لا يتمتص سوى فوتون واحدٍ من الفوتونات الواردة، بينما اعتبرت النّظرية الموجيّة أن الضوء ذات الشدّة العالية يحمل طاقةً أكثر للمعدن وبالتالي تزداد الطاقة الحركيّة للإلكترون المُنتَرِع بزيادة شدّة الضوء الوارد.
3. تزداد الطاقة الحركيّة العظمى للإلكترون المُنتَرِع بزيادة توازُر الضوء الوارد، بينما اعتبرت النّظرية الموجيّة أنه لا علاقة بين طاقة الإلكترون وتواتُر الضوء الوارد.
4. يحدث انتزاع للإلكترونات من سطح المعدن آلياً مهما كانت قيمة شدّة الضوء الوارد، وبحسب النّظرية الموجيّة يحتاج الإلكترون لزمن امتصاص الفوتون الوارد حتى يُنتَرِع.

## الخلية الكهرومغناطيسية:



تتألّف الخلية الكهرومغناطيسية من حبّابة زجاجيّة من الكوارتز مُخلّلة من الهواء، تحتوي مساري معدنيّاً يُعطّي سطحه طبقة رقيقة من معدن قلويٍّ تلقّى الضوء، يُسمّى المهبّط C، كما تحتوي على مساري آخر يُسمّى المصد A.

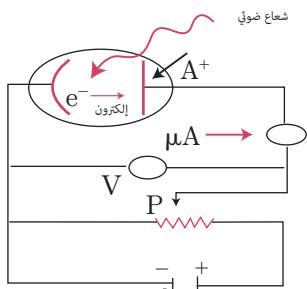
### نشاط:

في إحدى التجارب على دارة خلية كهرومغناطيسية، أسقطنا ضوءاً وحيد اللون على مهبّط الخلية، وكانت التّائج المسجلة لشدة التيار الماّر فيها (mA)  $I$  من أجل فرق الكمون المطبّق بين المصد والمهبّط  $U_{AC}$ ، وفق الجدول الآتي:

$U_{AC}$ (V)	-6	-5	-1	-0.95	0	2	5	10	15	20
$I$ (mA)	0	0	0	1	2	3	6	7	7	7

## المطلوب:

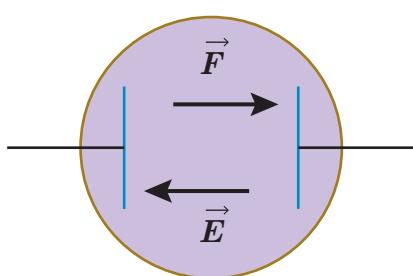
- أرسم الشكل البياني لتغيرات الشدة ( $I$  mA)  $U_{AC}$  بدلاً.
- أتساءل هل يمر تيار كهربائي في الدارة عند تطبيق توتر عكسي (من أجل كمون المهبط أعلى من كمون للمصعد)؟



- أفترض عدم مرور تيار كهربائي في الدارة من أجل  $U_{AC} \leq -1 \text{ V}$ ؟
- أتساءل، ما أصغر قيمة لفرق الكمون بين المصعد والمهبط التي يمر من أجلها تيار كهربائي في الدارة؟ وأفترض ذلك.
- أفترض مرور تيار كهربائي في الدارة من أجل قيمة فرق الكمون  $U_{AC} = 0$ .
- أفترض زيادة شدة التيار المار في الدارة بزيادة فرق الكمون المطبق حتى  $U_{AC} = 10 \text{ V}$  عند تطبيق توتر مُباشر (أي كمون موجب للمصعد بالنسبة للمهبط).
- أتساءل عن سبب ثبات شدة التيار من أجل فرق الكمون المطبق  $U_{AC} \geq 10 \text{ V}$ .

## النتائج:

عند تعرُض المهبط للحزمة الضوئية تُنثر بعض الإلكترونات من الصفيحة، وتطلق بسرعة غير معدومة:



- عندما يكون كمون المهبط أعلى من كمون المصعد، وتكون قيمة فرق الكمون  $U_0 < U_{AC}$ ، تخضع الإلكترونات لقوى كهربائية تعاكس جهة الحقل الكهربائي (الذي يتوجه من المهبط إلى المصعد)، وتعمل هذه القوة على إعادة الإلكترونات إلى المهبط، ولا يمر تيار كهربائي في الخلية.
- بخفيض التوتر بالقيمة المطلقة، تبدأ بعض الإلكترونات بالوصول إلى المصعد على الرغم من إبطاء الحقل الكهربائي لحركتها باتجاه المصعد، فيمر تيار، وكلما صغّر فرق الكمون بقيمة المطلقة ازداد عدد الإلكترونات التي تصل إلى المصعد، فتزداد شدة التيار نتيجة ذلك.
- عندما يصبح كمون المصعد أعلى من كمون المهبط تعمل القوة الكهربائية على تسريع الإلكترونات المتجهة إلى المصعد، وتزداد بذلك عدد الإلكترونات التي تصل إليه، وتزداد شدة التيار نتيجة لذلك حتى تصل قيمتها العظمى  $I = I_0$ ، وعند هذه القيمة تصل جميع الإلكترونات المنتشرة من المهبط إلى المصعد ونقول إن التيار وصل إلى حالة الإشباع.
- ماذا يحدث لو أعدنا التجربة بعد زيادة استطاعة الحزمة الضوئية؟ تزداد شدة تيار الإشباع بزيادة الاستطاعة الضوئية.

تكتسب استطاعة موجة كهرومغناطيسية تسقط على سطح بالعلاقة:  $P = N h f$  حيث  $N$  عدد الفوتونات التي يتلقاها السطح في وحدة الزمان.

## تطبيق:

تبلغ شدة التيار في خلية كهر ضوئية  $16 \text{ m.A}$ ، المطلوب حساب:

1. عدد الإلكترونات الصادرة عن المهبط كل ثانية.

2. الطاقة الحركية لأحد الإلكترونات المُنتَعة لحظة وصولها المصعد باعتبار أنه ترك المهبط دون سرعة ابتدائية. وأن التوتر الكهربائي بين المصعد والمهبط  $180 \text{ V}$ .

الحل:

$$n = \frac{q}{e} = \frac{i t}{e} = \frac{16 \times 10^{-3} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 1 \times 10^{17} .1$$

$$E_k = e U_{AC} = 1.6 \times 10^{-19} \times 180 = 288 \times 10^{-19} \text{ J} .2$$

## تعلّمْ

- ٠ فرضيّة بلانك: افترض بلانك أن الضوء والمادة يُمكِّنُهما تبادل الطاقة من خلال كميات مُفصّلة من الطاقة.
- ٠ فرضيّة أينشتاين: افترض أينشتاين أن الحزمة الضوئية مُكوّنة من فوتونات (كمات الطاقة) يحمل كل منها طاقةً تساوي  $E = h \cdot f$  ، ويحصل تبادل للطاقة مع المادة من خلال امتصاص أو إصدار فوتونات.
- ويتمتّع الفوتون بالخواص الآتية:
  1. الفوتون أو (حبيبة الطاقة) هو جسيم يواكب موجة كهرطيسية ذات التأثير  $f$ .
  2. شحنته الكهربائية معدومة.
  3. يتحرّك بسرعة انتشار الضوء.
  4. طاقته تساوي  $E = h \cdot f$ .
  5. يمتلك كمية حركة  $P = \frac{h}{\lambda}$ .
- ٠ الفعل الكهربائي: انتزاع الإلكترونات الحرّة من المادة عند تعريضها لأشعاعات كهرطيسية مناسبة، يجري انتزاع الإلكترونات من المعدن إذا كان طول الموجة الضوئية الواردة على المعدن أصغر أو يساوي طول موجة العتبة اللازمّة للانتزاع.
- ٠ الخلية الكهربائيّة: تتألّف الخلية الكهربائيّة من حباقة زجاجيّة من الكوارتز مُخلّلة من الهواء، تحتوي مسّرى معدني يغطي سطحه طبقة رقيقة من معدن قلوي تتلقّى الضوء، يسمى المهبط C، كما تحتوي على مسّرى آخر يسمى المصعد A.

### أختبر نفسك



أولاً: اختر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

١. الحزمة الضوئية حزمة من الجسيمات غير المرئية تسمى:

- a. نترونات.      b. فوتونات.      c. إلكترونات.      d. بروتونات.

٢. يزداد عدد الإلكترونات المُقتولة من مهبط الحجيرة الكهربائيّة بازدياد:

- a. تأثير الضوء الوارد.      b. شدّة الضوء الوارد.

- c. كتلة صفيحة مهبط الحجيرة.      d. توافر العتبة.

٣. تزداد الطاقة الحركية العظيمى للإلكترون لحظة مغادرته مهبط الحجيرة الكهربائيّة بازدياد:

- a. تأثير الضوء الوارد.      b. شدّة الضوء الوارد.

- c. سمك صفيحة مهبط الحجيرة.      d. توافر العتبة  $f_s$ .

4. يحدث الفعل الكهربائي بإشعاع ضوئي وحيد اللون توازراً:

$$f > f_s \cdot d$$

$$f = f_s \cdot c$$

$$f < f_s \cdot b$$

$$f = 0 \cdot a$$

5. يجري انتزاع الإلكترون من سطح معدن ما إذا كانت طاقة الفوتون:

a. معدومة.

b. تساوي طاقة الانتزاع.

c. أكبر من طاقة الانتزاع.

d. أصغر من طاقة الانتزاع.

ثانياً:

يسقط فوتون طاقته  $E$  على معدن، ويصادف إلكتروناً طاقة انتزاعه  $E_s$ ، ويقدم له كامل طاقته.

المطلوب:

1. اشرح ما يحدث للإلكترون إذا كانت:

a. طاقة الفوتون أقل من طاقة الانتزاع.

b. طاقة الفوتون أكبر من طاقة الانتزاع.

2. ما الشرط الذي يجب أن يتحقق طول موجة الضوء الوارد لعمل الحجيرة الكهربائية؟

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

يسقط ضوء بتواتر  $5 \times 10^{14} \text{ Hz}$  على معدن، طاقة الانتزاع لديه  $J = 3.2 \times 10^{-19} \text{ J}$ .

المطلوب:

1. بين بالحساب، أنتزاع الإلكترونات من سطح المعدن أم لا؟

2. احسب طاقتها الحركية في حال انتزاعها.

المسألة الثانية:

يُضيء منبع ضوئي وحيد اللون طول موجته  $0.5 \mu\text{m}$  حجيرة كهربائية، طاقة انتزاع الإلكترون فيها

$$E_s = 33 \times 10^{-20} \text{ J}$$

المطلوب:

1. احسب تواتر العتبة.

2. احسب طول موجة عتبة الإصدار.

3. احسب الطاقة الحركية العظمى للإلكترون لحظة خروجه من مهبط الحجيرة وسرعته.

المسألة الثالثة:

إذا كان أكبر طول موجة يلزم لانتزاع الإلكترون من سطح مهبط حجيرة كهربائية يساوي  $m = 66 \times 10^{-8} \text{ m}$

المطلوب:

1. طاقة انتزاع الإلكترون من مادة المهبط.

2. كمية حركة الفوتون الوارد عندما يُضاء سطح صفيحة المهبط بضوء وحيد اللون، طول موجته  $m = 44 \times 10^{-8} \text{ m}$

3. الطاقة الحركية للإلكترون لحظة خروجه من مهبط الحجيرة الكهربائية.

4. قيمة كمون الإيقاف.

#### المسألة الرابعة:

احسب تواثر العتبة لخلية كهربائية تحوي صفيحة من معدن السبيزيوم عندما يبرد عليها ضوء وحيد اللون، طول موجته  $m = 10^{-7} \times 5$ ، علماً أن طاقة الانتراع لدى السبيزيوم تساوي  $J = 10^{-19} \times 3$  ثم احسب الطاقة الحرارية للإلكترون المُمترَّع وسرعة الإلكترون.

$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$   $h = 6.64 \times 10^{-34} \text{ Js}$  ثابت بلانك،  $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  سرعة انتشار الضوء في الخلاء.

كتلة الإلكترون.

#### تفكير ناقد



ابحث في مكتبة مدرستك أو في الشبكة عن ظاهرة الإصدار الكهربائي باستخدام نموذج بير الكمون.

#### أبحث أكثر



إن نظرية الكم وفرضية دبرولي وما ترتب عليهما توكمدان وثبتان وجود الخاصة الثنائية في كل من الضوء والمادة. اعتماداً على فرضيات دوبرولي فسر تشكيل أهداب التداخل للإلكترونات عند إمرار حزمة منها خلال شريحة رقيقة من الألمنيوم.

# ٦

## الفِيُّزِيَاءُ الطَّبِيعِيَّةُ الأشْعَةُ السَّيْنِيَّةُ X - Ray



يقوم طبيب الأسنان بمعالجة أسنانك بالاعتماد على صورة شعاعية للفكين، تظهر فيها الأسنان وعظام الفكين بوضوح، فيتبيّن منها أماكن التسوس والنّخر، والاعوجاج فيها.

ما طبيعة الأشعة المستخدمة في التصوير الشعاعي؟

وكيف يمكنها تجاوز التسخين العيّنة في الوجه؟

ولماذا يرتدي العاملون في مراكز التصوير ألبسة خاصة بهم؟

اكتشف وليم روتجلن الأشعة السينية عام (1895) مصادفة في أثناء دراسته الأشعة المهبطية في أنابيب كروكس، فقد لاحظ أثرها، وقدرّتها العالية على النفاذ من خلال بعض المواد، وأطلق عليها اسم (X-Rays)، وأدرك روتجلن أن هذه الأشعة تتولّد عندما تسقط حزمة من الإلكترونات ذات الطاقة العالية على هدفٍ من معدن ثقيل.

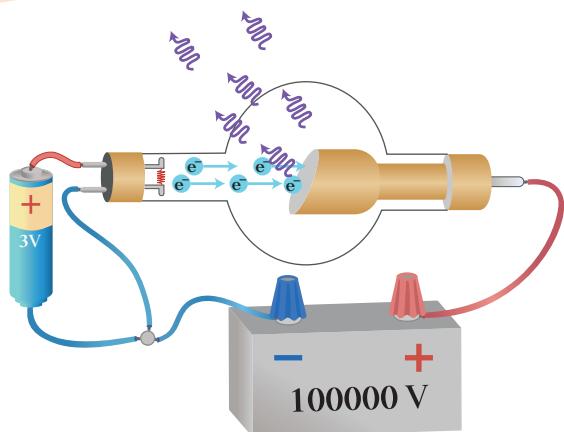
### الأهداف:

- \* يتعرّفُ الأشعة السينية وآلية توليدّها.
- \* يشرح طبيعة الأشعة السينية وخصائصها.
- \* يوازنُ بين الأشعة السينية والفعل الكهر ضوئي من حيث الأصدار.

### الكلمات المفتاحية:

- \* الأشعة السينية.
- \* طبيعة الأشعة السينية.
- \* امتصاص الأشعة السينية.
- \* نفاذ الأشعة السينية.

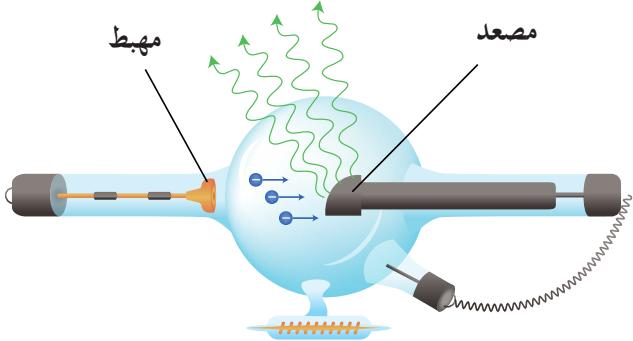
## آلية توليد الأشعة السينية:



يُستخدم لتأريخ الأنابيب كوليديج، وهو أنبوب زجاجي مُخللي من الهواء تخليةً شديدةً، حيث يبلغ الضغط داخله  $10^{-6}$  mmHg تقريباً، ويحتوي الأنابيب سلكاً مصنوعاً من التنغستين، يُسخن للدرجة التوهج بوساطة تيار كهربائي، وذلك بوصيله بمجموعة مولداتٍ، يحيط بالسلك مهبطٌ معدنيٌ مُقعرٌ الشكل يعمل على عكس حزمة الإلكترونات المُبعثة من السلك وتجمعها على الهدف الموصول بالمصعد (مقابل المهبط)، ويُضئُّ الهدف من معدن ثقيل، درجة حرارة انصهاره مرتفعة جداً مثل الموليبيدين، ويوضع بحيث يميل بزاوية 45° على محور الأنابيب، ويُثبت على أسطوانة نحاسية أكبر منه حجماً مُتصلة بمبرد. إذن كيف تولَّد الأشعة السينية؟

### نشاط (1):

أنظر إلى الشكل المجاور، وأجيب:



- أحد ما يحدث عند تسخين سلك التنغستين؟
- أحد ما يحدث عند تطبيق توتر عالٍ متواصل  $U_{AC}$  من رتبة  $10^4 - 10^5$  V بين المصعد والمهبط.
- ما لا يلاحظ عند اصطدام الإلكترونات المسرعة بذرات الهدف، وما تفسير ذلك؟
- أعلى سبب وجود المبرد المُتصل بأسطوانة الثحاس.

### النتائج:

- تُنتَجُ إلكترونات من سلك التنغستين نتيجة تسخينه لدرجة مُناسبة.
- تُسرع الإلكترونات المُنتَزة بالحقل الكهربائي الشديد المطبق بين المصعد والمهبط.
- تصطدم الإلكترونات المُسرعة بذرات الهدف، يؤدِّي جزء منها إلى انتزاع إلكترون من إلكترونات الطبقة الداخلية في ذرات الهدف، ويُخلفُ وراءه ثقباً.
- ينتقل أحد الإلكترونات من الطبقات العليا (العلوي) لذرات مادة الهدف بسرعة ليحل في الثقب، ويترافق ذلك بإصدار فوتونات ذات طاقة عالية جداً (أمواج كهرومغناطيسية) هي الأشعة السينية.
- يؤدِّي اصطدام الجزء الأكبر من الإلكترونات المُسرعة بذرات الهدف إلى تحول كامل طاقتها الحركية إلى طاقة حرارية في مادة الهدف، فترتفع حرارتها، مما يستدعي تبريدُها.
- طالما أنَّ الأشعة السينية هي أمواج كهرومغناطيسية، فما أقصر طول موجة  $\lambda_{min}$  يمكن أن تطلق بها فوتونات الأشعة السينية؟ وعلى ماذا يتوقف ذلك؟

- طاقة الفوتونات تساوي بقيمتها العظمى الطاقة الحرارية للإلكترونات المسرعة التي تسبّب اصدارها.

$$E = E_k \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$hf_{\max} = e U_{AC} \dots \dots \dots \quad (2)$$

بالمساواة بين (1) و (2) نجد:

$$h \frac{c}{\lambda_{\min}} = e U_{AC}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{h c}{e U_{AC}}$$

وهي علاقة طول الموجة الأصغرى للأشعة السينية.

حيث  $U_{AC}$  فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفى الأنوب،  $10^8 \text{ m.s}^{-1} \times 3 = c$  سرعة انتشار الضوء في الخلاء.

- أستنتج أن أقصر طول موجة لفوتون الأشعة السينية يتوقف على فرق الكمون الكهربائي المطبق بين طرفى أنوب توليد الأشعة السينية.

- يمكن تغيير قيمة فرق الكمون الكهربائي بين المصعد والمهبط بتغيير وضع الزالقة (ق)، فيغير ذلك من طاقة تسريع الإلكترونات، فتتغير الطبقة الذرية التي يقلع منها الإلكترونات في ذرات صفيحة الهدف وتتغير بالتالى طاقة أشعة - X الصادرة. أما تغيير وضع الزالقة (م) فيغير من حرارة سلك التسخين مما يغير من عدد الإلكترونات التي يصدرها، فتتغير شدة (كثافة) الأشعة المهبطية وتتغير بالتالى شدة أشعة - X.

## خواص الأشعة السينية:

- ذات طبيعة موجية، فهي أمواج كهرطيسية، أطوال موجاتها قصيرة جداً، تراوح بين  $0.001 \text{ nm}$  و  $13.6 \text{ nm}$  لذلك تكون طاقتها عالية جداً وهي أقصر بكثير من أطوال الأمواج الضوئية.
- ذات قدرة عالية على النفاذ بسبب قصر طول موجتها.
- لا يمكن أن تصدر أشعة - X إلا من ذرات العناصر الثقيلة نسبياً بعد تهييجهما بطريقة مُناسبة، أو من الإلكترونات المسرعة بعد كبحها ضمن وسط مادي.
- تشبه الضوء المرئي من حيث انتشار المستقيم والانعكاس والتداخل والانزلاق، وسرعة انتشارها تساوي سرعة انتشار الضوء في الخلاء.
- لا تملأ شحنة كهربائية، فلا تتأثر بالحقليين الكهربائي والمعنطيسي.
- تسبب تألق المواد التي تسقط عليها: بسبب قدرتها على إثارة ذرات هذه المواد، وتؤثر في أفلام التصوير.
- تؤثر في الأنسجة الحية: تتحرر الخلايا الحية إذا استمرت تعريضها لهذه الأشعة، ( تستطيع جرح أو قتل الخلايا الحية وأحياناً إحداث تغيرات عضوية فيها). لذا تستعمل الألبسة التي يدخل في تركيبها الرصاص للوقاية من الحرائق التي تسبّبها هذه الأشعة.
- تؤثّر الغازات: فوتونات الأشعة السينية ذات طاقة كبيرة تكفي لتأثين الغاز الذي تخترقه.

## قابلية امتصاص ونفاذ الأشعة السينية:

توقف قابلية امتصاصها ونفاذها على:



1. ثخن المادة: تزداد نسبة الأشعة الممتصة وتقل نسبة النافذة منها كلما ازداد ثخن المادة.

2. كثافة المادة: تزداد نسبة الأشعة الممتصة بازدياد كثافة المادة، كالرصاص والذهب والعظم، وتزداد نسبة النافذة منها بنقصان كثافة المادة، كالخشب والبلاستيك وجلد الإنسان، لذلك يستخدم نوع منها في تشخيص الكسور عند تعرض الإنسان لحادث.

3. طاقة الأشعة: تتعلق نفوذية أشعة  $X$  بطاقة المرتبطة بقيمة فرق الكمون المطبق على أنبوب توليدتها.

نميز نوعين من الأشعة المستخدمة من حيث الطاقة:

1. الأشعة الـ **اللينيّة**: أطوال موجاتها  $\lambda < 1 \text{ nm}$  طاقتها منخفضة نسبياً وامتصاصها كبير ونفوذها قليل.

2. الأشعة الـ **القاسية**: أطوال موجاتها  $\lambda \leq 0.001 \text{ nm}$  طاقتها عالية وامتصاصها قليل ونفوذها كبير.

## إثراء:

استخدامات أشعة  $X$  -

الاستخدامات الطبية:

يوجد الكثير من الاستخدامات الطبية لأشعة  $X$ ، والتي يمكن تبويب بعضها بما يأتي:

1. في التصوير للكشف عن الكسور والتسلوّفات في العظام، وكذلك عن الأورام أو الاختلالات في أعضاء الجسم المختلفة، وكذلك في الكشف عن نخر الأسنان والتسلوّفات في جذورها.

2. في معالجة الأورام السرطانية، حيث يمكن لجرعات صغيرة من أشعة  $X$  أن تقتل الخلايا السرطانية في حين يكون ضررها أقل بكثير على الخلايا السليمة، لأن الخلايا السرطانية تكون ضعيفةً كونها تتبع عبراً انقسامات سريعة وغير مُتظمة لخلايا غير مُكتملة.

3. يمكن بوساطة جهاز أشعة  $X$  المزود بشاشة تلفزيونية مشاهدة الأعضاء الداخلية لجسم المريض في أثناء أدائها لوظائفها كfilm متحرّك، حيث يعطي المريض عن طريق الفم، في البداية، مادة غير ضارة مثل محلول كبريتات الباريوم ثم يعرض جهازه الهضمي لأشعة  $X$  فتتم تصوير كبريتات الباريوم أشعة  $X$  بكثافة مما يجعل صورة الأعضاء التي تحوي هذه المادة أقل تعيناً ما يجاورها، الأمر الذي يمكن من مراقبة فعاليتها وحركتها والتعرف إن كانت طبيعية أم مريضة.

4. تُستخدم أشعة  $X$  في تعقيم بعض المعدّات الطبية التي لا يمكن تعقيمها بالحرارة، مثل القفازات الجراحية اللدنة أو المطاطية، والمحقنات البلاستيكية وغيرها.

### الاستخدامات الصناعية:

تُستخدم أشعة  $-X$  لاختبار جودة المواد المصنعة بما في ذلك العناصر الإلكترونية، حيث تظهر الشروخ والعيوب الداخلية في مثل هذه المنتجات وتُستخدم كذلك لاختبار جودة اللحامات المعدنية.

### الاستخدامات الزراعية:

تُستخدم أشعة  $-X$  في مكافحة بعض الحشرات الوبائية عن طريق تعقيم الذكور (جعلهم غير قادرين على الإنجاب) بتعريفهم لجرعات مُعينة بطاقاتٍ (أطوالٍ موجية) مُناسبة. وُتُستخدم أشعة  $-X$  كذلك في تغيير الصفات الوراثية للمُنتجات الزراعية بغية تحسين الجودة والكمية.

### الاستخدامات العلمية والبحثية:

يمكن دراسة البلازما وتحديد أبعادها باستخدام أشعة  $-X$ ، ويمكن كذلك تحليل تركيب وبنية المواد الكيماوية المعقّدة مثل الأنزيمات والبروتينات باستخدام أشعة  $-X$ .

### الاستخدامات الأخرى:

تُستخدم أشعة  $-X$  في الكشف عن المواد الممنوعة ضمن الأُمْمَة في المَنَافِذ الحدودية. تجدر الإشارة إلى أن ما سبق هو بعض استخدامات أشعة  $-X$  في المجالات المختلفة... حيث توجد استخدامات أخرى كثيرة أيضاً لأشعة  $-X$ .

## تعلمت

• الأشعة السينية: أمواج كهرطيسية، أطوال موجاتها قصيرة جداً.

• خواص الأشعة السينية:

1. ذات قدرة عالية على النفاذ.

2. تصدر عن ذرات العناصر الثقيلة.

3. تُشبة الضوء المرئي.

4. تُسبّب التألق لبعض الأجسام التي تسقط عليها

• توقف قابلية اتصالها على:

1. ثخن المادة.

2. كثافة المادة.

3. طاقة الأشعة.



## أختبر نفسي

أولاً: اختار الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. في أنبوب الأشعة السينية يمكن تسريع الإلكترونات بين المهبط والمصدع:

a. بزيادة التوتر المطبق على دارة تسخين السلك.

b. بزيادة درجة حرارة سلك التسخين.

c. بزيادة التوتر المطبق بين المصعد والمهبط.

d. بانخفاض التوتر المطبق بين المصعد والمهبط.

2. يزداد امتصاص المادة للأشعة السينية:

- b. بزيادة كثافة المادة.
- d. بنقصان ثخانة المادة.

3. الأشعة السينية أمواج كهرطيسية:

- a. أطوال موجاتها قصيرة وطاقتها صغيرة.
- c. أطوال موجاتها كبيرة وطاقتها كبيرة.

4. تصدر الأشعة السينية عن ذرات:

- a. الهيدروجين.
- c. الهليوم.
- d. العناصر الثقيلة.

ثانياً: فسر:

الأشعة السينية ذات قدرة عالية على التفاذ؟

ثالثاً: اكتب ثلاثة من خواص الأشعة السينية.

رابعاً: حل المسألة الآتية:

يعمل أنبوب الأشعة السينية بتوتر  $V = 10^4 \times 8$  حيث يصدر عن المهبط إلكترون، سرعته معروفة عملياً.  
المطلوب:

1. احسب الطاقة الحرارية للإلكترون عند اصطدامه بمقابل المهبط (الهدف).
2. احسب سرعة الإلكترون لحظة الصدمة بالهدف.
3. احسب أقصر طول موجة للأشعة السينية الصادرة.

ثابت بلانك	شحنة الإلكترون	كتلة الإلكترون	سرعة الضوء في الفضاء
$h = 6.64 \times 10^{-34} \text{ J.s}$	$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

## تفكيير ناقد

للأشعة السينية طيفين خططي ومستمر كيف يتم توليد كل منهما؟

## أبحث أكثر

ابحث في مكتبة مدرسية وفي الشبكة عن الخدمات الطبية التي تقدمها الأشعة السينية، وكيف تتمكن العالم (فون لاو) من إحداث انبعاث في الأشعة السينية.

# 7

## أشعة الليزر



دخلت أشعة الليزر في العديد من المنتجات التكنولوجية فباتت عنصراً أساسياً في تشغيل الأقراص المدمجة وصناعة الإلكترونيات وقياس أبعاد الأجسام الفضائية، وفي الاتصالات ومعدات قطع ولحام المعادن وفي آلات طب الأسنان والعيون. ما الليزر وما الذي يميّزه عن المصادر الضوئية الأخرى.

وهو اختصار للجملة باللغة الإنكليزية :

(Light Amplification by Stimulated Emission Of Radiation)

وتعني : تضخيم الضوء بالإصدار المحفوظ لأشعة. يستند عمل الليزر على ظاهرة الإصدار المحفوظ.

### الأهداف:

- \* يوازنُ بينَ الإصدارِ التلقائيِ والإصدارِ المحفوظِ.
- \* يعرّفُ أشعةَ الليزرِ.
- \* يوضحُ الأساسِ الذي يقومُ عليه عملُ الليزرِ.
- \* يعرّفُ على بعضِ أنواعِ الليزرِ.

### الكلمات المفتاحية:

- \* الإصدارِ المحفوظِ.
- \* الإصدارِ التلقائيِ.
- \* الليزرِ.
- \* الوسطِ الفعالِ.

## اللّيّزِر:

عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي (موجات كهرومغناطيسية تتكون من فوتونات عالية الطاقة متساوية في التوأّر ومُتَفَقّقة في الطّور والاتّجاه) يرسل كمّيات متساوية من الضوء من حيّث التوأّر والطّور، تندمج مع بعضها البعض لتصبح على هيئة حزمة ضوئية تتسم بالطاقة العالية، وذات تماسك شديد.

## آلية عمل الليّزِر:

لدينا مادّة ذات نظام ذري ذي مستويين للطاقة تتسلّل:

ـ ما شروط توليد الليّزِر؟

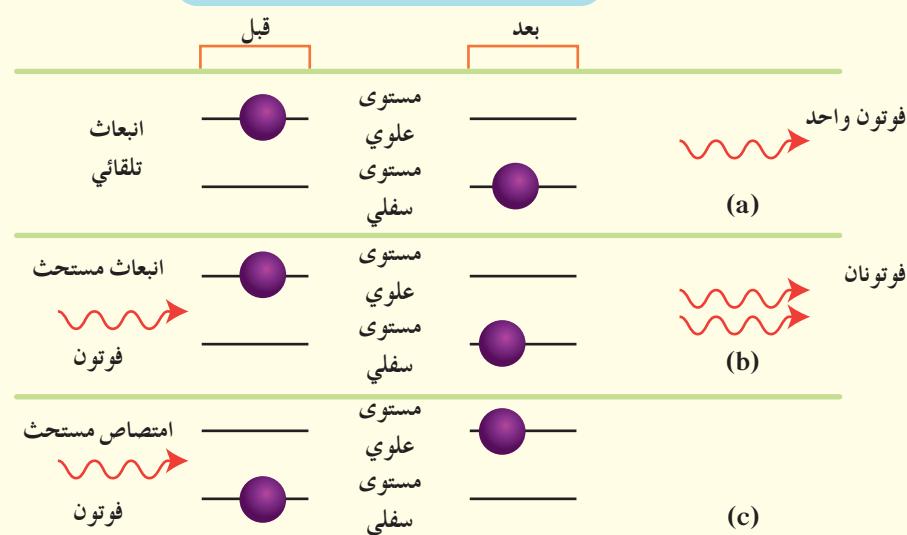
ـ ما الانتقالات التي تحصل عند امتصاص أو إصدار الضوء؟

ـ ما الانتقالات التي تعمل على توليد الليّزِر وتحت أيّة شروط؟

ـ هل الانتقالات ضروريّة لأنبعاث شعاع الليّزِر؟

**1. امتصاص الضوء:** يحدث انتقال الذرة من مستوى طاقة أدنى (دنيا)  $E_1$  إلى مستوى طاقة مثاب  $E_2$  وذلك بامتصاص فوتون طاقتهُ تساوي فرق الطاقة بين هذين المستويين أي  $\Delta E = E_2 - E_1 = h f$

العمليات التلقائية والمستحبة



**2. الإصدار التلقائي:** إذا كانت الذرة مثارةً فهي تميل دائماً إلى حالة الاستقرار، فتعود تلقائياً بعد مدة زمنية قصيرة إلى المستوى الأدنى، وهذا يصاحب إصدار فوتون طاقته تساوي فرق الطاقة بين المستويين

$$\Delta E = E_2 - E_1 = hf$$

يكون اتجاه الإصدار التلقائي عشوائياً، وتكون الفوتونات الصادرة غير مترابطة، أي فرق الطور بين الأمواج الكهربائية الناتجة غير ثابت.

**3. الإصدار المحسوس:** يحدث عند تعرض الذرة المثارة لحرمة ضوئية يحقق تواثرها العلاقة:  $\Delta E = hf$  فرق الطاقة. بين السوية المثارة والسوية الأساسية، في هذه الحالة يؤدي مرور فوتون بجوار الذرة المثارة إلى تحفيز الإلكترون الذرة المشار للعودة إلى السوية الأساسية، فيصدر فوتون آخر يتمتع بالخصائص الآتية:

- طاقته تساوي طاقة الفوتون الوارد أي لهما التواثر ذاته.
- جهة حركته تنطبق على جهة حركة الفوتون الوارد.
- طوره يطابق طور الفوتون الوارد.

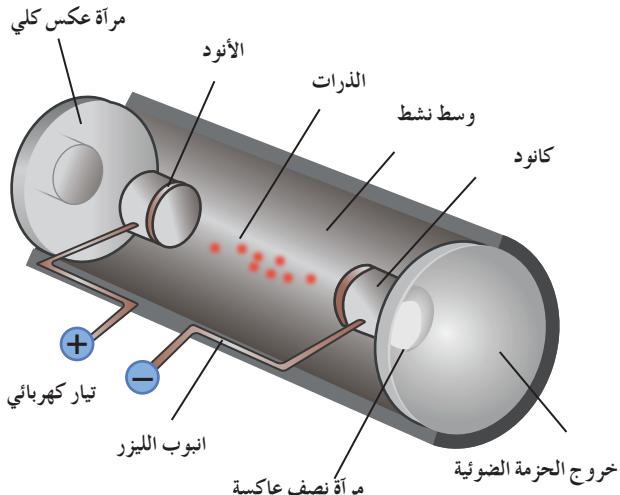
## الفرق بين الإصدار المحسوس والإصدار التلقائي :

الإصدار المحسوس	الإصدار التلقائي
<p><b>1.</b> يحدث بوجود حرمة ضوئية يحقق تواثرها العلاقة:  <math>\Delta E = E_2 - E_1 = hf</math>          حيث (<math>\Delta E</math>) هي فرق الطاقة بين السوية المثارة والسوية الأساسية.</p> <p><b>2.</b> جهة الفوتون الصادر هي نفس جهة الفوتون الوارد.</p> <p><b>3.</b> طور الفوتون الصادر يطابق طور الفوتون الوارد.</p>	<p><b>1.</b> يحدث بوجود حرمة ضوئية واردة أو بعدم وجودها.</p> <p><b>2.</b> يحدث في جميع الاتجاهات.</p> <p><b>3.</b> طور الفوتون الصادر يمكن أن يأخذ أي قيمة</p>

## خواص حرمة الليزر:

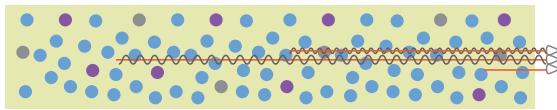
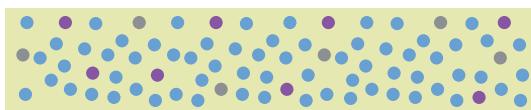
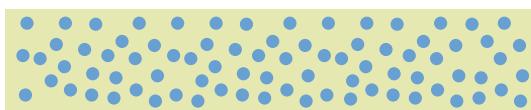
1. وحيدة اللون، أي لها ذات التواثر.
2. مترابطة بالطور، فوتونات الإصدار المحسوس لها طور الفوتون الذي ختلها نفسه.
3. انفراج حرمة الليزر صغير: أي لا يتسع مقطع الحرمة كثيراً عند الابتعاد عن منبع الليزر. لذلك تستخدم في دقة القياس، وتحطيم الشوارع، وخطوط نقل النفط والغاز والماء لمسافات بعيدة.

## مكونات جهاز الليزر:



إذا كان  $N^* < N$ ، فإن عدد الإصدارات الناتجة عن طريق الإصدار المنشود سيكون أكبر من عدد الفوتونات التي تم امتصاصها، وهذا يؤدي إلى زيادة شدة الحزمة الضوئية بعد عبورها الوسط، ونقول عن الوسط أنه وسط مضخم يصلح لتوليد الليزر.

إذا كان  $N^* > N$ ، فإن عدد الفوتونات الناتجة عن طريق الإصدار المنشود سيكون أصغر من عدد الفوتونات التي جرى امتصاصها، ومن ثم سوف تنقص شدة الحزمة بعد عبورها الوسط، ولا يمكن لليزرن أن يولد الليزر.



مرات عديدة ووفق المنحى نفسه، وكلما ازداد عدد الحزم الضوئية المارة في الوسط ازداد عدد الإصدارات المنشورة التي تتفق مع الحزمة بالاتجاه ومع الفوتونات بالتوازي والتطور، مما يزيد من طاقة الحزمة أي يضخمها.

3. **جملة الضّخ:** الإصدار المنشود يعيد الذرات إلى السوية الأساسية، فلا بد من مؤثر خارجي (مصدر ضوئي مُناسب) على الوسط المضخم يقوم بتقديم طاقة للوسط المضخم، الذي يعمل على إثارة الذرات للتعويض عن انتقال الذرات إلى الحالة الأساسية نتيجة الإصدار المنشود. وهناك ثلاثة أنواع من طرق الضّخ:

1. **الوسط الفعال:** يحوي عدداً كبيراً من الذرات، سوف نركز على حالة تكون للذرة فيها سوية أساسية وسوية مشاركة، فرق الطاقة بينهما ( $\Delta E$ )، تكون بعض هذه الذرات في السوية الأساسية، وبعضها الآخر في السوية المُشاركة، بفرض أن عدد الذرات في السوية  $N$ ، وعدد الذرات في السوية غير المُشاركة  $N$ .

إذا عبرت حزمة ضوئية تواثرها  $f$  بحيث  $\Delta E = h f$ ، فإن امتصاص الفوتونات يتنااسب طرداً مع  $N$ ، وإن إصدار الفوتونات بالإصدار المنشور يتنااسب مع  $N^*$ .

إذا كان  $N^* < N$ ، فإن عدد الإصدارات الناتجة عن طريق الإصدار المنشود سيكون أكبر من عدد الفوتونات التي تم امتصاصها، وهذا يؤدي إلى زيادة شدة الحزمة الضوئية بعد عبورها الوسط، ونقول عن الوسط أنه وسط مضخم يصلح لتوليد الليزر.

2. **حجرة التضخيم (المِرَان)**: تتكون من مرايا توسع المادة الفعالة (الوسط المضخم) بينهما، وتكون المرايان مُستويتين أو أحدهما مُستوية. يتم وضع الوسط المضخم بين المرايان التي تسمح كل منها للحزمة الضوئية بالانعكاس من جديد باتجاه الوسط المضخم، نجعل عاكسة إحدى المرايان كاملة بينما تكون عاكسة الثانية غير كاملة مما يسمح بخروج جزء من الحزمة الضوئية إلى الوسط الخارجي، الذي يشكل الليزر جزءاً منه. توليد أشعة الليزر يعتمد على إعادة تمرير الحزمة الضوئية في الوسط المضخم مرات عديدة ووفق المنحى نفسه، وكلما ازداد عدد الحزم الضوئية المارة في الوسط ازداد عدد الإصدارات المنشورة التي تتفق مع الحزمة بالاتجاه ومع الفوتونات بالتوازي والتطور، مما يزيد من طاقة الحزمة أي يضخمها.

- a. الضّخ الضّوئي: تُستعمل مصايخ (وماضة) للحصول على ليزراتٍ تعمل ضمن الطّيف المرئي أو طيف تحت الحمراء القريب منه مثل الليزر الياقوتي.
- b. الضّخ الكهربائي: عن طريق التفريغ الكهربائي للغاز داخل الأنبوب، وتحتاج هذه الطريقة في الليزرات الغازية والليزر شبه الناقل.
- c. الضّخ الكيميائي: يكون التفاعل الكيميائي بين مكوّنات الوسط الفعال أساس توليد الطاقة لتوليد الليزر ولا تحتاج لمصدر طاقة خارجية.

## بعض أنواع الليزر:

### الليزرات الغازية:

يكون الوسط المضخم غازياً. مثل ليزر (هليوم - نيون) يستخدم في المخابر، ويتمتع بطول موجة ( $\lambda = 0.638\mu\text{m}$ ) يستخدم هذا الليزر الانفراج الكهربائي لإثارة الذرات.

### الليزرات الصلبة:

ليزر نصف الناقل: وفيه يكون الوسط المضخم من مادة نصف ناقلة، يستخدم في الاتصالات.

### الليزر الياقوتي:

هو ليزر يكون فيه الوسط الفعال مادة الياقوت.

### الليزرات السائلة:

يستخدم فيه كلوريد الألمنيوم المذاب في الكحول الإتيلي كوسطٍ فعال.

## الاستخدامات الليزر:



يُستخدم في الطب ولاسيما في طب العيون والعمليات الجراحية، والجلد وإزالة الشعر والوشم. يُستخدم في إظهار الصور ثلاثية الأبعاد: ويُسمى (هولوغرام). يُستخدم في المجالات العلمية والتجارية: كالتحليل الطيفي والأقراص المدمجة، ومؤشرات الليزر، ومساحات الباركود. يُستخدم في الصناعة: في عمليات لحام وقص المعادن وثقبها. يُستخدم في البيئة: مراقبة تلوث الجو.

يُستخدم في المجالات العسكرية: في تحديد المدى توجيه الصواريخ. يُستخدم في الاتصالات اللاسلكية بين المحطات الأرضية وسفن الفضاء.

## تعلّمتُ

- الليزر: عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي يرسل كميات من الضوء متساوية من حيث التوافر والتطور تظهر على هيئة حزمة ضوئية تتسم بالطاقة العالية ذات تماسك شديد.
- الإصدار التلقائي: إذا كانت الذرة مشاركة، لا تبقى طويلاً فسرعان ما ينتقل إلى الكترون من سوية طاقة مشاركة إلى سوية طاقية أدنى (دنيا)، فتصدر الذرة فوتون. نُسمّي هذا الإصدار بالإصدار التلقائي.
- خواص أشعة الليزر:
  1. وحيدة اللون، أي لها التوافر ذاته.
  2. متراصة بالطور.
  3. انفراج حزمة الليزر صغير.

## أختبر نفسك



أولاً: اختبر الإجابة الصحيحة لكل مما يأتي:

1. تتمتع حزمة الليزر بإحدى الخواص الآتية:

- a. مترابطة في الطور.  
b. انفراج حزمة الليزر يضيق عند الابتعاد عن منبع الليزر.  
c. لها أطوار مختلفة.  
d. طول موجتها أكبر من طول موجة الضوء الوارد

2. الإصدار التلقائي:

a. لا يحدث إلا بوجود حزمة ضوئية واردة.

b. يحدث بوجود حزمة ضوئية واردة على الذرة المُشاركة أم لم يكن هناك حزمة.

c. يحدث باتجاه محدد.

d. فوتوناته تطابق فوتونات الأشعة الواردة على الذرة.

3. إذا عبرت حزمة ضوئية تتمتّع بتوافر مُناسب الوسط المُضخم فإن امتصاص الفوتونات يتناصف طرداً مع:

- a. عدد الذرات في السوية غير المُشاركة.  
b. عدد الفوتونات.  
c. درجة الحرارة.  
d. عدد الذرات في السوية المُشاركة.

4. إذا عبَّرت حزمة ضوئية تتمتَّع بتواءٍ مُناسب الوسْط المُضخَّم فإنَّ إصدار الفوتونات بالإصدار المحسوَّث يتناسب طرداً مع:

b. عدد الفوتونات.

d. عدد الذرَّات في السُّويَّة المُثارَة.

c. درجة الحرارة.

ثانياً: فَسِّر ما يأتي:

1. لا يُمْكِن الحصول على وسْطٍ مُضخَّم من دون استخدام مؤثِّرٍ خارجي؟

2. لا تتحلَّ حزمة الليزر عند إمرازها عبر موشور زجاجي؟

ثالثاً: اكتب خواص حزمة الليزر.

### تفكير ناقد



تُصَمَّم في الوقت الراهن أنواع عديدة من أجهزة الليزر، ويكتسب الليزر الناتج اسمه من المواد المستخدمة.

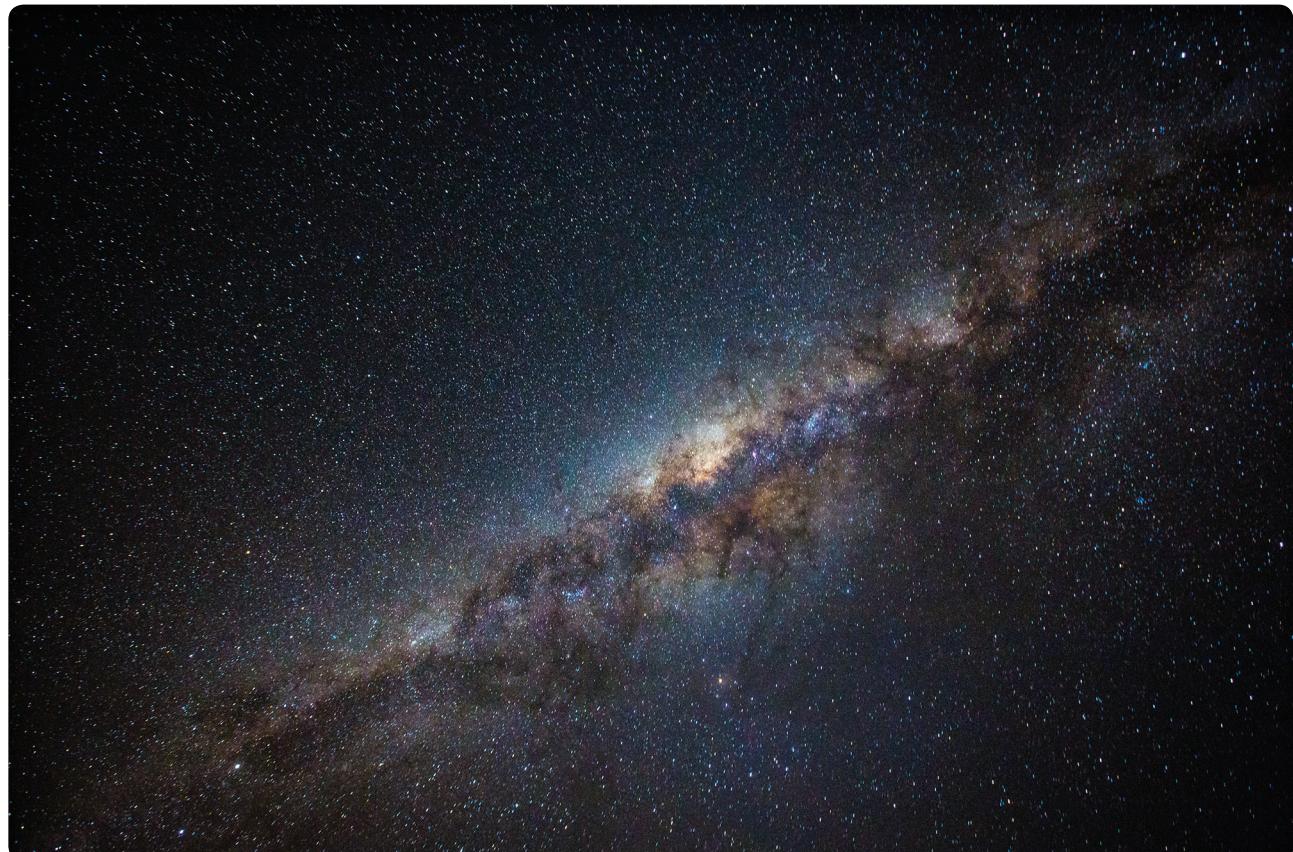
### أبحث أكثر



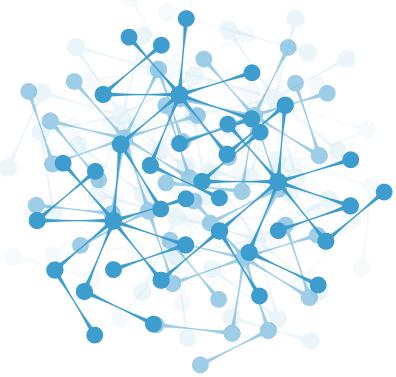
أبحث في مكتبة مدرستك أو في الشَّابِكة عن الليزر السَّائِل، ومن اكتشفه، وفي أيِّ عام؟. وما هي مادَّته الفعَّالة؟

# الوحدة الخامسة

## الفيزياء الفلكية



# الفيزياء الفلكية



شغلت السماء تفكير الإنسان منذ القدم، وحاول دراستها من خلال موقع الأجرام المُنيرة فيها وربطها بأشكال تخيلية ترافت في كثير من الأحيان مع الأساطير، لكن الصورة أصبحت أكثر وضوحاً في القرن العشرين بعد ظهور النظريات الحديثة كالنسبية العامة مثلاً وبعد أن أمكن رصد الكون من خارج الغلاف الجوي من خلال تلسكوبات ضخمة تدور حول الأرض في مدارات كما الأقمار الصناعية كتلسكوب هابل.

**ما الذي نراه في السماء؟**

- أنظر إلى السماء في ليلة غير غائمة في مكان لا يوجد فيه تلوث ضوئي، أصف ما أرى، هل للأجرام المُنيرة شدة إضاءة نفسها؟
- أكمل مراقبة السماء في أكثر من يوم، هل تبقى جميع الأجرام في الموقع نفسه؟ وهل يبقى توزعها نفسه؟ إن بعض ما أراه كنقاط مضيئة هي كواكب في مجموعتنا الشمسية، وبعضها نجوم، وبعضها مجرات وغير ذلك، كيف أميز بينها؟

## الأهداف:

- \* يتعرّفُ المجموعة الشمسية.
- \* يستدلّ على مصدر الطاقة الرئيسي في الثّجم.
- \* يشرح آلية تحول الهيدروجين إلى الهليوم.
- \* يبيّن استخدام فعل دوبлер في الضوء لمعرفة حركة الثّجم وال مجرّات.
- \* يتعرّفُ إلى انتزاع الطّيف الذري للثّجم.
- \* يشرح أنواع الثّجم المفردة والثنائية.
- \* يتعرّفُ قانون هابل.
- \* يحسبُ أبعاد الثّجم بالاعتماد على الانزياح الطيفي لها.
- \* يتعرّفُ توسيع الكون ونظرية الانفجار الأعظم.
- \* يتعرّفُ سرعة الإفلات.
- \* يتعرّفُ الثقوب السوداء وأفق الحدث.
- \* يتعرّفُ رصد الثقوب السوداء.

## الكلمات المفتاحية:

- \* جرم سماوي
- \* الكوكب
- \* التجم
- \* المجرة
- \* طيف الثّجم
- \* الانزياح الموجي
- \* تمدد الكون
- \* سرعة الإفلات
- \* نصف قطر شفارتزشيلد.

• إشعاع الكواكب يبدو أكثر ثباتاً من إشعاع النجوم.



• مواقع الكواكب متغيرة أمّا النجوم فتبقى في تشكيلات تبدو ثابتة.

• تحرّك الكواكب في مجالٍ معيّن بالنسبة لمراقبٍ على الأرض، أمّا النجوم فهي تنتشر على امتداد القبة السماوية.

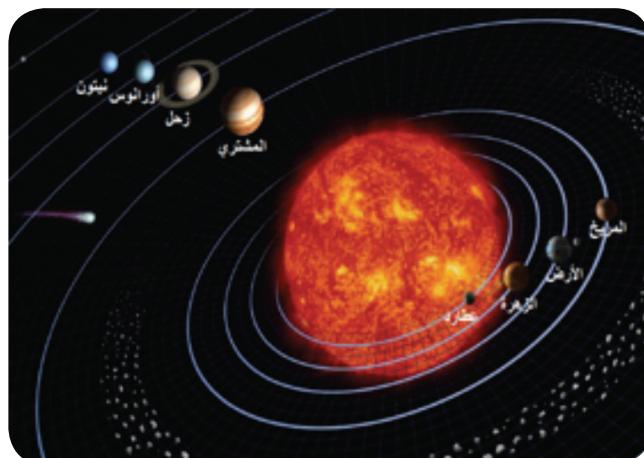
• باستخدام التلسكوب تبدو الكواكب أكثر وضوحاً، أمّا النجوم فتبقى نقاطاً مضيئةً، وباستخدام التلسكوبات الدقيقة يمكن التمييز بين النجوم والمجّرات.

### المجموعة الشّمسية

أعلم أنَّ كواكب المجموعة الشّمسية ثمانية، أربعة منها غازيةٌ والباقي صخريةٌ، أحدهُم أيّها الغازية، أهي الكواكب الأقربُ من الشمس أم الأبعدُ عنها؟.

**ما مصدر الطاقة الذي تعطيه الشمس؟**

**أفّكر:**



### استنتاج

في النجوم يندمج الهدروجين ليعطي الهليوم، ويتحوّل النّقص في الكتلة نتيجةً ذلك إلى طاقةٍ وفق علاقـة آينشتاين في النسبية الخاصة  $\Delta E = \Delta m c^2$

### تطبيق (1):

يتلقى كل  $1m^2$  من سطح الأرض وسطياً  $J \times 10^4 \times 6.3$  في كل ثانيةٍ عند التعرّض لأشعة الشمس، باعتبار أنَّ 47% من أشعة الشمس تصلُّ إلى سطح الأرض والباقي يمتصه الغلاف الجويُّ أو يرتدُّ عنه إلى الفضاء. احسب النّقص في كتلة الشمس في كل ثانيةٍ، إذا علمتَ أنَّ بعدها عن الأرض 150 مليون كيلومترٍ (يهمُّ بعده الغلاف الجويِّ عن سطح الأرض)

## الحل:

الطاقة المقدمة لكل  $1\text{ m}^2$  من الأرض:

$$E_1 = 6.3 \times 10^4 \times \frac{100}{47} \Rightarrow E_1 = 13.4 \times 10^4 \text{ J}$$

فتكون الطاقة الكلية الصادرة عن الشمس خلال ثانية هي الطاقة المقدمة لسطح كرهٍ مركزها الشمس ونصف قطرها 150 مليون كيلومتر.

$$\Delta E = 4\pi r^2 \cdot E_1 = 4\pi (150 \times 10^6 \times 10^3)^2 \cdot (13.4 \times 10^4)$$

$$\Delta E \approx 38 \times 10^{27} \text{ J}$$

هذه الطاقة ناتجة عن النقص في كتلة الشمس وفق علاقه آينشتاين

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

$$\Delta m = \frac{38 \times 10^{27}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$\Delta m = 4.22 \times 10^{11} \text{ kg}$$

وهو مقدار النقص في كتلة الشمس في كل ثانية واحدة.

## تحول الهdroجين إلى هليوم في الثُّجوم (الشمس مثلاً):

يفسّر العلماء توليد الثُّجوم للطاقة من خلال العودة إلى كيفية نشأتها وفق نظرية السَّديم (Nebula Theory) التي تنص على أنه يبدأ التفاعل النووي داخل النجم عندما تهتز سحابة مكونة من الغاز والجسيمات (وهي السَّديم) تحت تأثير الضغط الناتج عن جاذبيتها فيولد هذا الانهيار كرهٍ كبيرٍ من الضوء ويبدأ الاندماج بين الذرات تحت تأثير الضغط والحرارة المترافقين، فيندمج الهdroجين الذي يشكل النسبة الأكبر من النجم ليتحول إلى هليوم، وتتصدر الطاقة نتيجة النقص في الكتلة وفق علاقه آينشتاين.

## إضاءة

تنظم الجمعية الفلكية السورية نشاطاتٍ متنوعة لهواة الفلك وكل من يرغِب، من هذه النشاطات ليالي الرصد.

## الإشعاع النجمي:

أفكِر

هل للثُّجوم اللون نفسه؟  
باعتبار الضوء موجة كهرطيسية، كيف يختلف لون الضوء؟

هل يتعلّق ذلك بتركيب النجم؟  
أتذكر قوانين كبلر وكيفية استخدامها في حساب كتلة الثُّجوم.

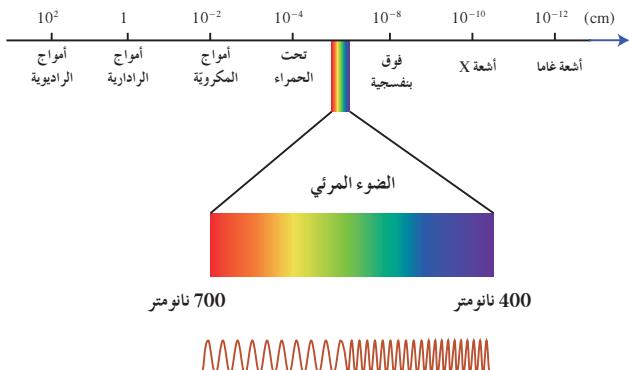


## استنط



يمكن تحديد كتلة النجم، وعمره، وتركيبه الكيميائي، وعدة خصائص أخرى بـملاحظة دراسة طيفه وشدة إضاءته وحركته.

### الانزياح نحو الأحمر



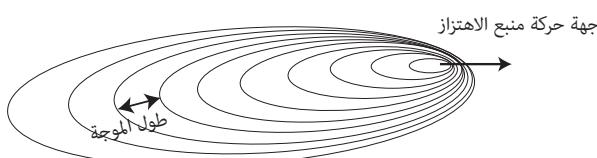
خلال رصده للمجرات البعيدة دُهش العالم "هابل" عندما لاحظ انزياح طيف المجرات نحو الأحمر كلما كانت أبعد.

ماذا يعني ذلك؟ هل لهذا علاقة بحركة المجرات؟ أعلم أن الضوء هو الطيف المرئي من الأمواج الكهرطيسية، تدرجألوانه من البنفسجي إلى الأحمر (ألوان قوس قزح)، وكلما زاد الطول الموجي اقترب اللون من الأحمر.

إذاً ماذا يعني انزياح طيف المجرات نحو الأحمر؟ أتحرّك مبتعداً عنا أم مقتربة منا؟ إن تأثير دوبلر يوضح لنا ذلك.

### تأثير دوبلر

الأحظ اختلاف صوت بوق السيارة عندما تمر بجانبى وتتابع مبتعدة عنى، ما السبب؟ أعلم أن الصوت موجة، فماذا يحدث عندما يبتعد المنبع المولد الموجة (منبع الاهتزاز) عن المراقب؟



عندما يكون المنبع ساكناً بالنسبة للمراقب تشغل الموجة مسافة  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

باعتبار  $f$  تأثير الاهتزاز،  $v$  سرعة الموجة،  $\lambda$  طول الموجة.  
عندما يتحرّك المنبع مبتعداً عن المراقب بسرعة  $v'$ ، تشغل الموجة مسافة  $\lambda'$ :

$$\lambda' = \frac{v + v'}{f}$$

$$\lambda' = \frac{v + v'}{\frac{v}{\lambda}}$$

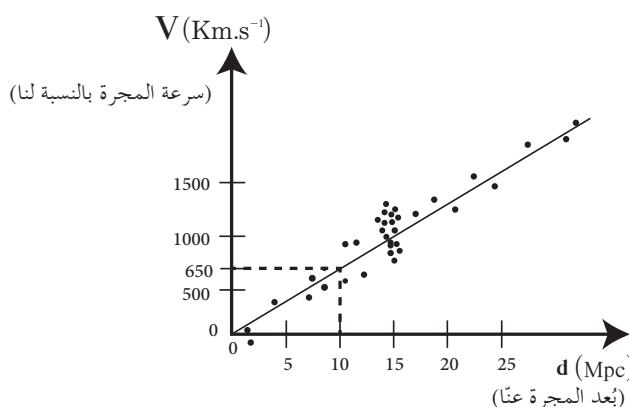
$$\lambda' = \left(1 + \frac{v'}{v}\right) \lambda$$

هذا يعني أن  $\lambda'$  أكبر من  $\lambda$   
ما الذي يحدث عندما يزداد طول موجة الضوء؟



عندما يتعدّد منبعٌ موجيٌّ عن مُراقبٍ فإنَّ الطولَ الموجيَّ يزدادُ، وبما أنَّ الضوءَ ذاتَ الطولِ الموجيِّ الأكبرُ هو الأحمرُ، فعندهما يتعدّدُ المنبعُ الضوئيُّ عن المُراقبِ ينزاخُ الطيفُ نحوَ الأحمر.

## ثابت هابل نشاط (1):



اعتمدُ على التمثيل البيانيِّ المجاورِ وأجيبُ: يعبّرُ التمثيل البيانيِّ عن سرعةِ المجراتِ بدلالةِ بعدها عننا وفقَ دراسةِ العالمِ هابل. أيُّها أكبرُ، سرعةُ ابتعادِ المجراتِ القريبةِ منا أم البعيدةِ عننا؟

يعني ذلك أنَّ هابلَ وجدَ انزياحاً نحوَ الأحمرِ أم انزياحاً نحوَ الأزرقِ في طيفِ المجراتِ الأكثرِ بعداً؟ هلُ يمكنُ اعتبارُ أنَّ سرعةَ المجراتِ تتغيّرُ بشكلٍ متناسبٍ مع بعدها تقريباً؟ أرمُثُ ثابتَ التأثيرِ (الميل) التقريريِّ بـ  $H_0$ ، وأوجِدِ العلاقةَ بينَ  $v$  ،  $H_0$  ،  $d$ .

### نتيجة:

لاحظَ هابلُ انزياحَ طيفِ المجراتِ الأكثَرُ بعدها عننا نحوَ الأحمرِ؛ أي ازديادُ في الطولِ الموجيِّ، وهذا يعني وفقَ دوبلر زِيادةً في سرعةِ الابتعادِ عننا، وبدراسةِ زيادةِ سرعةِ المجراتِ بدلالةِ بعدها عننا توصلَ هابلَ إلى أنَّ المجرةَ كلَّما كانتَ أبعدَ كانتَ سرعةُ ابتعادِها أكبرَ وفقَ العلاقةِ:  $v = H_0 \cdot d$  حيثُ  $v$  سرعةُ المجرةِ بالنسبةِ لنا،  $H_0$  ثابتُ هابل،  $d$  بعدُ المجرةِ عننا.

## تطبيقٌ (2):

- أحسبُ ثابتَ هابل بدلالةِ الوحداتِ المستخدمةِ في التمثيلِ البيانيِّ السابقِ، ثمَّ بدلالةِ الوحداتِ الدوليَّةِ علماً أنَّ (parsec) pc هو الفرسخُ الفلكيُّ، ويساوي 3.26 سنةً ضوئيَّةً.
- أحسبُ بعدَ مجرةٍ رصدَ خطُّ طيفِ الهيدروجين فيها فكانتَ نسبةُ انزياحِ طولِ الموجةِ إلى طولِها الأصليِّ .1/30
- كم سنةً يستغرقُ الضوءُ للوصولِ إلينا من تلكِ المجرة؟.

### الحلُّ:

آخذُ البُعدَ بينَ الصُّفرِ و  $10 Mpc$  مثلاً فأجُدُّ أنَّ السرعةَ المُقابلةَ هي بينَ الصُّفرِ و  $680 km/s$

$$H_0 = \frac{v}{d}$$

$$H_0 = \frac{680}{10} = 68 km.s^{-1} / Mpc \quad \text{وبالوحداتِ الدوليَّةِ:}$$

1. لحساب، أولاً، السنة الضوئية وهي المسافة التي يقطعها الضوء في الخلاء خلال سنة

$$Light\ year = 3 \times 10^8 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365.25 = 9.46728 \times 10^{15} m$$

$$pc = 3.26 \times 9.46728 \times 10^{15} \approx 3 \times 10^{16} m$$

$$H_0 = \frac{68 \times 10^3 m.s^{-1}}{10^6 (3 \times 10^{16}) m} = \frac{68}{3} \times 10^{-19} s^{-1}$$

$$\lambda' = (1 + \frac{v'}{c}) \lambda .2$$

$$\lambda' = \lambda + \frac{v'}{c} \lambda$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{v'}{c} \lambda$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v'}{c}$$

$$\frac{1}{30} = \frac{v'}{3 \times 10^8}$$

$$v' = 10^7 m.s^{-1}$$

ومن قانون هابل

$$10^7 = \frac{68}{3} \times 10^{-19} d$$

$$d = \frac{3}{68} \times 10^{26} m$$

$$c = \frac{d}{t} .3$$

$$3 \times 10^8 = \frac{\frac{3}{68} \times 10^{26}}{t}$$

$$t = \frac{1}{68} \times 10^{18} s$$

فيكون هذا الزمن مقياساً بالسنوات

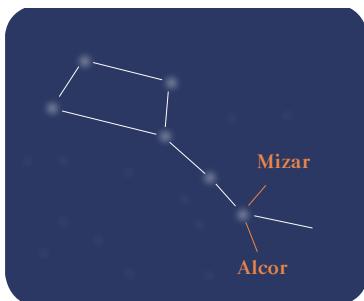
$$t = \frac{\frac{1}{68} \times 10^{18}}{60 \times 60 \times 24 \times 365.25} = 0.466 \times 10^9 years$$

أي إن تلك المجرة تبعد عنا  $0.466 \times 10^9$  Light years وهذا يعني أيضاً أن مانراه في تلك المجرة اليوم قد حدث منذ 0.466 مليار سنة.

### أنواع النجوم:

يحتوي نظامنا الشمسي نجماً واحداً مفرداً هو الشمس، فهل جميع النجوم في الكون مفردة؟

إن التلسكوبات أظهرت لنا أن الكثير من النجوم ثنائية Binary stars تدور حول بعضها بعضاً. بعض النجوم الثنائية قد ترى بالعين المجردة كالنجم الذي يشكل الانحناء في مقبض الدب الأكبر إنه في الواقع نجمان، أحدهما يُدعى الإزار (Mizar)، والأخف لمعاناً يُدعى السها (Alcor)، وهما قرييان على بعضهما جداً بحيث تحتاج لبصر حاد جداً للتفرق بينهما (كان يستخدم ذلك في الماضي لفحص قوة النظر)



## أفكّر

تدلُّ ظاهِرَةُ الانزياح نحو الأحمر لطيف المَجَرَاتِ تبتعدُ عن بعضها، فالفضاء الكوني يَتمَدَّدُ كبالونٍ يُنفَخُ.

لو تخيلت المشهد بتراجع زمنيٍّ، كيف كان الكون في الماضي السَّيِّدي؟ هل لهذا الكون بدايةً (لحظة ولادة)؟



- إنَّ من أكثر النَّظريَّات قبولاً حول نشأة الكون نظرية الانفجار الأعظم Big Bang، التي تقول إنَّ الكون نشاً قبل حوالي 13.8 مليار سنة. في تلك اللحظة، كان الكون عبارةً عن نقطةٍ مُنفردةٍ صغيرَة جدًا، ذات كثافةٍ عاليةٍ جدًا من المادة والحرارة التي تفوق الخيال. ثمَّ حدث الانفجار العظيم. وبدأت المادة تأخذ أشكالها، فتشكلَّت في البداية الجسيمات الأولى، ثمَّ الذرَّات والجزيئات والغاز الكوني، فالنجوم والمَجَرَاتِ، واستمرَّ توسيع الكون إلى يومنا هذا.

## الأُسُن الفيزيائيَّة لنظرية الانفجار الأعظم:

- الانزياح نحو الأحمر لطيف المَجَرَاتِ.
- وجود تشویش ضعيفٍ لموجات راديوية قادمة بشكلٍ منتظمٍ تماماً من جميع اتجاهات الكون، وبالشدة نفسها المتوقعة في وقتنا الحاضر لإشعاع الانفجار الأعظم.
- وجود كمياتٍ هائلةٍ من الهيدروجين والهليوم في النجوم، فمثلاً تبيَّن أنَّ كميَّةَ الهليوم التي تحويها شمسُنا أكبرُ بثلاثةٍ أضعافٍ من الكميَّة التي يُمْكِنُ أن تتوَلَّ نتيجةً لاندماج الهيدروجين في قلبِ الشَّمس، وهذا يستدعي وجود مصدر هائل آخر درجة حرارته أعلى بكثيرٍ من درجة حرارة الشَّمس، إنَّها الدَّقائق الأولى من بدء الانفجار الأعظم.

## تطبيقات (3):

احسب عمر الكون التَّقريبي اعتماداً على قانون هابل، باعتبار ثابت هابل تقريباً:  $H_0 = \frac{68}{3} \times 10^{-19} \text{ s}^{-1}$

الحل:

$d$  هي بُعدُ مجرَّةٍ ما عَنَا، وهي أيضاً المسافةُ التي قطعتها المَجَرَةُ منذ حدوث الانفجار الأعظم حيثُ كانت مجرَّتنا وجميع المَجَرَاتِ مُتَكَفَّفةً في النقطة نفسها، نسمى الزَّمنُ الذي مضى على حدوث الانفجار الأعظم

$$t = \frac{d}{H_0} = \frac{1}{\frac{68}{3} \times 10^{-19}} = \frac{3}{68} \times 10^{19} \text{ s}$$

$$t = \frac{\frac{3}{68} \times 10^{19}}{60 \times 60 \times 24 \times 365.25} \approx 14 \times 10^9 \text{ years}$$

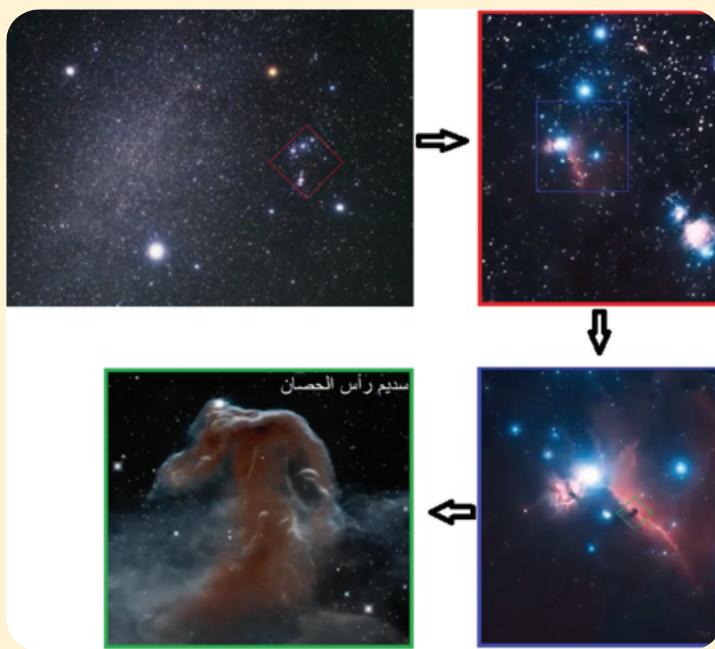
## توزيع المجرات في الكون:

- المجرة Galaxy هي نظام كوني مكون من تجمّع هائلٍ من النجوم والغبار والغازات التي ترتبط معاً بقوى تجاذبٍ مُبادلة، وتدور حول مرکز مشترٍ.
- يقدّر العلماء أنّ هناك حوالي  $10^{10}$  إلى  $10^{12}$  مجرة تقريباً في الكون المنظور، إنَّ أبعد مجراتٍ تم تصويرُها تبعد حوالي 10 إلى 13 مليار سنة ضوئية، تراوح في أحجامها بين المجرات القزمة التي لا يعدي عدد نجومها  $10^7$  نجم و تكون مساحتها حوالي بضعة آلاف سنة ضوئية، والمجرات العملاقة التي تحتوي على أكثر من  $10^{12}$  نجمة و حجمها يصل إلى نصف مليون سنة ضوئية.  
**مجرتنا:**
- تسمى مجرتنا درب التبانة، ويوجّد فيها أكثر من  $10^{11} \times 2$  نجم، ويقدّر العلماء قطرها بحوالي 100 ألف سنة ضوئية، وتحوي الكثير من التجمعات النجمية، بما فيها المجموعة الشمسية، والتي يتميّز إليها كوكبنا كوكب الأرض.

## إثراء:



- تكريماً للعالم هابل سمي التلسكوب الفضائي العملاق باسمه، هذا التلسكوب الذي يدور خارج الغلاف الجوي، والذى أعطى صوراً مذهلةً للكون، وساهم في إثبات نظرية هابل نفسه.
- من الصور المذهلة التي أعطاها تلسكوب هابل صورة سديم رأس الحصان الذي يظهر بالتلسكوب في مجموعة نطاق الجبار، تلك النجوم الثلاث التي تظهر لك بالعين المجردة على استقامه واحدة.



## النَّقُوبُ السَّوْدَاءُ :

أَفْكَرْ

- أعلم أنه بزيادة كتلة الجسم تزداد قوة جذبه، كما تزداد أيضاً بنقصان البعد عن الجسم.
- ما قانون نيوتن العالمي الذي يصف ذلك؟
- كيف يمكن أن تكون قوة الجذب تلك لا نهائية؟
- ما سرعة الإفلات من تلك الجاذبية وفق قوانين نيوتن؟

أَتَذَكَّرْ

- قوة التجاذب الكتلي بين جسمين تتناسب طرداً مع كتتيهما، وعكساً مع مربع البعد بينهما، فتصبح القوة لنهائية عندما يتناهى البعد بين الكتلتين إلى الصفر (وفق قوانين نيوتن).
- أفترض أني على سطح الأرض، وأريد إلقاء جسم للأعلى حتى يفلت من جذب الأرض وينطلق في الفضاء، فيجب إعطاؤه طاقة حركية أكبر من طاقة الجذب الكامنة له:

$$\begin{aligned} E_k &= E_p \\ \frac{1}{2} mv^2 &= F_{\text{ar}} r \\ \frac{1}{2} mv^2 &= G \frac{mM}{r^2} r \\ v &= \sqrt{\frac{2GM}{r}} \end{aligned}$$

حيث:  $v$  : سرعة الإفلات من الأرض (السرعة الكونية الثانية).  
 $G$  : ثابت التجاذب العالمي.  
 $M$  : كتلة الأرض (الجسم الجاذب).  
 $r$  : نصف قطر الأرض.

- السرعة الكونية الأولى هي السرعة المدارية التي تجعل الجسم يدور ضمن مدار حول الجسم الجاذب.

**تطبيق (4):**

احسب السرعة الكونية الثانية للأرض، علماً أن نصف قطر الأرض يعتبر  $6400 \text{ km}$ ، وتسارع الجاذبية الأرضية على سطح الأرض يعتبر  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$

**الحل:** أعلم أن قوة جذب الأرض للجسم تعتبر ثقلة

$$\begin{aligned} F_c &= W \\ G \frac{mM}{r^2} &= m.g \\ g &= G \frac{M}{r^2} \\ r.g &= G \frac{M}{r} \end{aligned}$$

- فتكون سرعة الإفلات (السرعة الكونية الثانية):

$$\begin{aligned} v &= \sqrt{\frac{2GM}{r}} \\ v &= \sqrt{2gr} \\ v &= \sqrt{2 \times 10 \times 6400 \times 1000} \\ v &= 8\sqrt{2} \times 10^3 \text{ m.s}^{-1} \end{aligned}$$

## أتساءلُ

- ماذا لو صُغرَ نصفُ قطرِ الأرضِ (الجسم الجاذب)؟
- ماذا سيحدثُ لسرعةِ الجسم المجدوبِ ليتمكنَ من الإفلات؟
- لكن هناكَ حدوداً لسرعةِ الجسمِ، ماهي؟
- ما نصفُ قطرِ الجسمِ الجاذبِ عندئذٍ؟

## استنتاج



• كلّما نقصَ نصفُ قطرِ الجسمِ الجاذبِ وزادَت كثافته، ازدادَت سرعةُ الإفلاتِ اللازمَة للتَّحرُّر من سطحه.

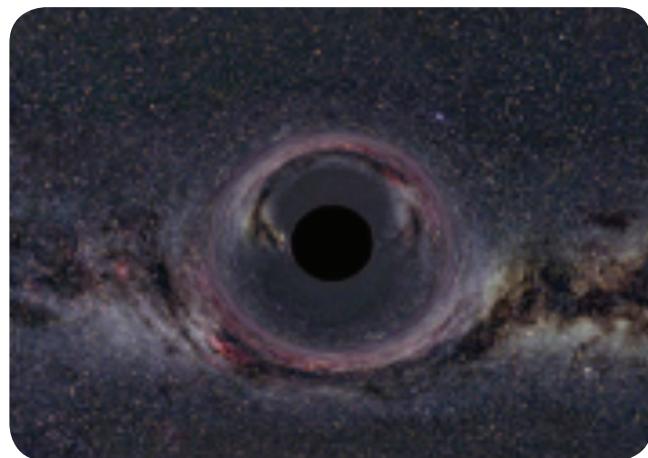
• وبما أنَّه لا يُمْكِنُ لأيِّ جسمٍ أن تتجاوزَ سرعتُه سرعةَ الضَّوءِ في الخليَّةِ، فيكفي أن يكونَ نصفُ قطرِ الجسمِ الجاذبِ يُعطِي بالعلاقة:

$$c = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$
$$r = \frac{2GM}{c^2}$$

• كيلاً يُمْكِنُ لأيِّ جسمٍ إفلاتَ منه، حتَّى الضَّوءِ، فَيُسَمَّى الثَّقبُ الأسودُ.

• وَيُسَمَّى نصفُ القطرِ الذي يحققُ العلاقةَ السَّابقةَ: نصفُ قطرِ شفارتزشيلد.

• وَتُسَمَّى الحدودُ التي لا يُمْكِنُ بعدها إفلاتُ من الجاذبيةِ: أفقُ الحدث.



• الثَّقبُ الأسودُ: حيزٌ كثافَه هائلَه بحيثُ لا يُمْكِنُ لشيءٍ إفلاتُ من جاذبيَّته حتَّى الضَّوءِ. وله قوَّةً جاذبيَّةً جتارَه يستحيلُ على أيِّ شيءٍ إفلاتُ من جاذبيَّته بما في ذلك أشعةَ الضَّوءِ. لذا تبدو هذه المنطقةُ غيرَ مرئيَّةً في الفضاءِ.

أفَكُّ

- كيف يمكن للثقب الأسود أن يجذب الضوء؟ هل للضوء كتلة؟  
أَنْذَكِرُ

- تكافؤ الطاقة - كتلة في النسبة الخاصة، ليس للضوء كتلة سكونية لكن له طاقة تكافئ كتلة تعطى بالعلاقة:

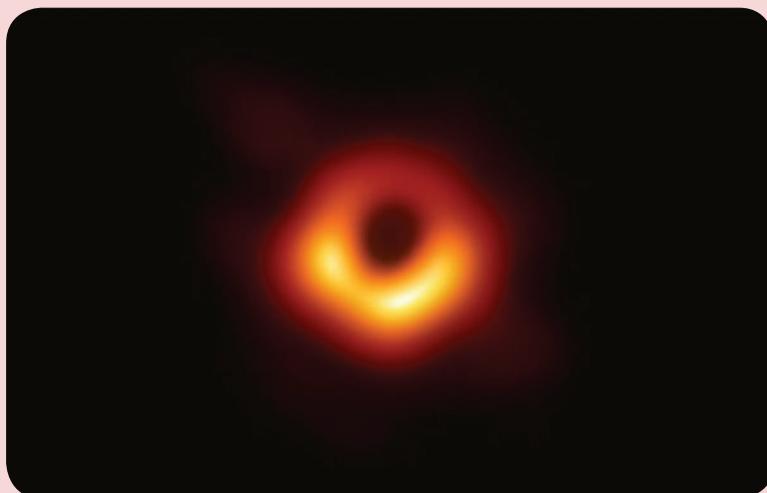
$$E = m.c^2$$

### رصد الثقوب السوداء:

- كيف يمكن رصد الثقوب السوداء على الرغم من أنه لا يمكن رؤيتها فهي تتبع الضوء؟  
**1.** سلوك الأجسام المجاورة للثقوب السوداء: إذا توقعت وجود شخص في غرفة مظلمة تماماً ولا تملك أي أدلة للرؤيا الليلية فكيف يمكن أن تتأكد من وجوده وتحدد مكانه؟ إن سلوك الأشياء المحيطة يمكن أن تدللك كحركة الباب، صوته أو حركة السرائر أو أي حركة غير اعتيادية في الغرفة.
- هذا ما اعتمد عليه العلماء في رصد الثقوب السوداء من خلال دراسة الحركات غير المتوقعة للنجوم أو الغبار أو الغازات المحيطة بالأماكن غير المرئية.  
**2.** الانبعاث الإشعاعي: تدور النجوم المجاورة والأجسام الأخرى حول الثقب الأسود، وترتفع درجة حرارة هذه الأجسام لملايين الدرجات المئوية، وتستمر الزيادة في درجة الحرارة، وتزداد سرعة دورانها، وتتبع منها أشعة سينية. ويمكن رصد هذه الأشعة بوساطة مراصد الأشعة السينية.
- تأثير عدسة الجاذبية: وفق النظرية النسبية العامة تحدث الجاذبية انحناء في الفضاء، فضوء النجوم أو المجرات الذي يمر بجوار ثقب أسود ينحني فتبعد تلك النجوم أو المجرات في غير أماكنها بالنسبة للتلسكوبات الأرضية، تعرف هذه الظاهرة باسم عدسة الجاذبية gravitational lensing.

إضاءة

- تم الإعلان رسمياً عن أول صورة حقيقة للثقب الأسود في 10 نيسان 2019



## تعلمتُ

- مصدر الطاقة الذي تعطيه الجرم ناتج عن تفاعلاتٍ اندماجية تعطي طاقةً وفق علاقـة آينشتـان  $\Delta E = \Delta mc^2$
- يمكن تحديد عددة خصائص للنجوم من خلال دراسة طيفها.
- يزداد الطول الموجي بابتعاد المـنبـع الموجـي عن المـراقب  $\lambda' = (1 + \frac{v}{c})\lambda$ .
- تبتعد المجرات عن بعضها، وكلـما كانت المجرة أبعد كانت سرعة ابعادها أكبر  $v = H_0 \cdot d$ .
- وفق نظرية الانفجار الأعظم، نشأ الكون من نقطة ذات كثافة عالية إلى بعد الحدود.
- الثقب الأسود هو حيز ذو كثافة هائلة لا يمكن لشيء الهروب من جاذبيـته عند أفق الحـدـثـ الخـاصـ
- به حتى الضوء ويعطـى نصف قطرـه بالعـلـاقـةـ  $r = \frac{2GM}{c^2}$

## أختبر نفسـي



أولاً: اختـر الإجـابة الصـحـيـحة:

1. خلال فترة حياة نجمٍ تغيـر نسبة الهيدروجين فيه، فعند ولادته كانت 70%， ثم انتهـت حـيـاتهـ بـحدـثـ فـلـكـيـ عـرـفـ بالـمـسـتـعـرـ الأـعـظـمـ (Supernova) حيثـ كانتـ نـسـبـةـ الـهـيـدـرـوـجـينـ فـيـ:
- a. 70%. b. أكثر من 70%. c. أقل من 70%. d. قد تكون أكثر أو أقل من 70%.



2. في عام 2015 نجـحتـ الجـمـعـيـةـ الفـلـكـيـةـ السـورـيـةـ فـيـ إـطـلاـقـ اسمـ تـدـمـرـ (Palmyra) عـلـىـ الـكـوـكـبـ الـذـيـ يـدـوـرـ حـوـلـ نـجـمـ الرـاعـيـ. إـذـاـ عـلـمـتـ أـنـ كـوـكـبـ تـدـمـرـ يـتـبـعـ عـنـ نـجـمـ الرـاعـيـ مـسـافـةـ تـعـادـلـ تـقـرـيـباـ 2ـ وـحدـةـ فـلـكـيـةـ؛ـ أيـ ضـعـفـ الـمـسـافـةـ بـيـنـ الـأـرـضـ وـالـشـمـسـ،ـ وـأـنـ السـرـعـةـ الـخـطـيـةـ الـمـدارـيـةـ لـكـوـكـبـ تـدـمـرـ تـلـثـاـ السـرـعـةـ الـخـطـيـةـ الـمـدارـيـةـ لـلـأـرـضـ،ـ فـالـسـنـنـةـ عـلـىـ كـوـكـبـ تـدـمـرـ تـساـويـ:
- a. 4 سنة أرضية. b. 2 سنة أرضية. c. 3 سنة أرضية. d. سنة أرضية واحدة.

3. إذا علمـتـ أـنـ مجرـةـ المـرأـةـ الـمـتـسـلـسلـةـ (Andromeda) الأـقـرـبـ إـلـىـ مجرـةـ تـنـنـاـ درـبـ التـنـانـةـ تـقـرـبـ مـنـ مجرـةـ تـنـنـاـ مـخـالـفـةـ بـذـلـكـ أـغـلـبـ المـجـرـاتـ الـأـخـرـىـ،ـ فالـطـيـفـ الـأـتـيـ مـنـ مجرـةـ المـرأـةـ الـمـتـسـلـسلـةـ هوـ بـالـنـسـبـةـ لـنـاـ:
- a. يـنـزـاحـ نحوـ الأـحـمـرـ. b. يـنـزـاحـ نحوـ الـأـزـرـقـ. c. لاـ يـتـغـيـرـ. d. يـزـدـادـ طـوـلـ مـوـجـتـهـ.

4. إنـ ثـابـتـ هـابـلـ هوـ:
- a. مـعـدـلـ تـغـيـرـ سـرـعـةـ تمـدـدـ الـكـوـنـ مـعـ الـزـمـنـ. b. مـعـدـلـ تـغـيـرـ سـرـعـةـ تمـدـدـ الـكـوـنـ معـ الـزـمـنـ. c. مـعـدـلـ تـغـيـرـ المسـافـةـ بـيـنـ المـجـرـاتـ مـعـ الـزـمـنـ. d. مـعـدـلـ تـغـيـرـ تـسـارـعـ تمـدـدـ الـكـوـنـ مـعـ المسـافـةـ.

5. تبعد مجرّة  $a$  عنا عشرة أمثال بعده مجرّة  $b$ ، فنسبة سرعة المجرّة  $b$  إلى سرعة المجرّة  $a$ :

- .0.01 .d .0.1 .c .1 .b .10 .a

6. الشّقوبُ السّوداء هي بالضرورة:

- a. ذات كتلة هائلة. b. ذات كثافة هائلة. c. ذات حجمٍ هائل. d. ذات نصفٍ قطريٍّ هائل.

ثانيةً: أجب عن الأسئلة التالية:

1. يُمكِّن أن تُرسل رحلاتٍ علميَّة غير مأهولة لتحطُّ على سطح أحدِ أقمارِ المشترى، لكن لا يُمكِّن لها أن تحطُّ على المشترى نفسه، لماذا برأيك؟

2. عندما يكونُ المنبعُ الموجيٌّ ساكِناً بالنسبة للمُراقبِ فإنَّ  $\frac{v}{f} = \lambda$ ، وعندما يقتربُ المنبعُ الموجيٌّ من المُراقب بسرعة  $v$  تشغُلُ الموجة المسافة  $\lambda$ ، أوَجد العلاقة بين  $v$  و  $\lambda$ ، ولماذا تُسمَّى هذه الظاهرة في الطيف المرئيِّ: الانزياح نحو الأزرق؟.

3. اذا علمتَ أنَّ السُّرعة الكونيَّة الأولى هي السُّرعة المداريَّة (مماسية للمسار الدائريِّ حول الأرض) التي تجعلُ قوَّة العطالة التابدة للجسم تساوي قوَّة جذبِ الأرض له، وأنَّ السُّرعة الكونيَّة الثانية هي السُّرعة التي تجعلُ الطاقة الحركيَّة للجسم المُبتعد عن الأرض تساوي طاقة الجذبِ الكامنة، فاستنتجِ العلاقة بين السُّرعة الكونيَّة الثانية والسُّرعة الكونيَّة الأولى.

ثالثاً: حلَّ المسائل التالية:

المسألة الأولى:

افتراض أنَّ الأرض انكمشت حتى أصبحت ثقباً أسود، كم يجبُ أن يكونَ نصفُ قطرِها؟  
علماءً أنَّ نصفَ قطرِ الأرض الحالي يُساوي  $6400\text{ km}$ ، وتسارع الجاذبية الأرضية عند سطحها الحالي  $g = 10\text{ m.s}^{-2}$ . هل ستبلغُ الأرض عندئذِ القمر إذا تجمَّعت كتلةُ الأرض حولَ مركزِها؟ لماذا برأيك؟  
(واقعياً الأجرامُ التي تنتهي حياتها إلى ثقبٍ أسودٍ هي الثُّجوم التي تبلغُ كتلتها أكثرَ من عشرةِ أضعافِ كتلةِ شمسِنا)

المسألة الثانية:

احسبْ نسبةَ انزياح الطول الموجيٌّ إلى الطول الأصليِّ لمجرّة تبعدُ عنا  $932 \times 10^6$  سنةً ضوئيَّة، إذا كانَ طولُ الموجة الأصليَّ  $500\text{ nm}$ ، فاحسب طولَ الموجة بعدَ الانزياح، علماءً أنَّ ثابت هابل  $H_0 = 68\text{ km.s}^{-1}/Mpc$  والفرسخ الفلكي  $c = 3.26\text{ light year} = 3 \times 10^8\text{ m.s}^{-1}$ .

المسألة الثالثة:

يبعدُ المريخُ عن الشَّمسيِّ وسطيًّا  $AU = 1.52\text{ AU}$ ، وتصلُّ سطحه تقريباً  $100\%$  من أشعة الشَّمسيِّ المتوجهة إليه، فإذا علمتَ أنَّ النَّقصَ في كتلةِ الشَّمسيِّ  $4.22 \times 10^{11}\text{ kg.s}^{-1}$  ينلقَّها  $1\text{ km}$  من سطحِ المريخ خلالَ دقيقتَينٍ واحدةٍ.

(الوحدةُ الفلكيَّة  $AU$  هي المسافةُ بينَ الأرضِ والشَّمسيِّ وسطيًّا وتعتبرُ 150 مليونَ كيلومتر)



إذا راقبت القبة السماوية في ليلة واحدةٍ لعدةِ ساعاتٍ  
أجدُ أنَّ جميعَ الأجرامِ المُنيرة قد غيرَت مكانتها وتحرَّكت  
في مسارٍ دائريٍّ، إلَّا نجمَ القطبِ ييدو ثابتاً، ما تفسيرُ  
ذلك؟

### أبحث أكثر



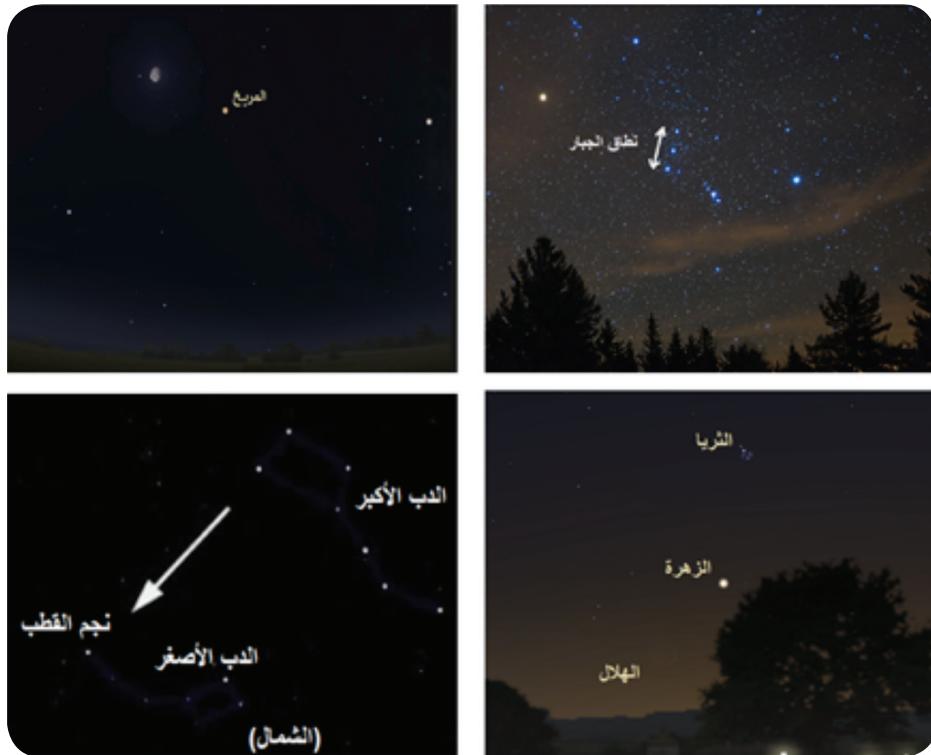
ما مصير الثقوب السوداء؟

تحدَّثَ العالمُ ستيفنُ هوكنغُ عن تبخرِ الثقبِ الأسودِ بفعلِ إشعاعٍ هوكنغ، ابحثُ في ذلك.

# مشروع: دراسة المسارات الظاهرية لبعض الكواكب والتشكيلاتstellations النجمية

## أهداف المشروع:

التعزف إلى بعض الكواكب والتشكيلاتstellations النجمية في القبة السماوية ودراسة مساراتها الظاهرة.



## مراحل المشروع:

### أولاً: التخطيط:

- البحث عن كيفية الاستدلال على بعض الأجرام المُنيرة في القبة السماوية.
- زيارة أحد فروع الجمعية الفلكية السورية والتعزف، بمساعدة المختصين، على بعض الكواكب كالمريخ والزهرة، وعلى بعض التشكيلاتstellations النجمية كالثريا والدب الأكبر ونطاق الجبار، وذلك من خلال التلسكوب والعين المجردة.

### ثانياً: التنفيذ:

- تقسيم الطلاب إلى خمس مجموعاتٍ تراقب كل منها أحد الكواكب أو التشكيلاتstellations النجمية.
- ترسم كل مجموعة خريطة للسماء تحدّد فيها الكوكب أو التشكيل المدروس بعد اعتماد نقاطٍ أرضية ثابتة مُشتراكَة.
- نكرر الإجراء السابق مرتَّة كل أسبوع في التوقيت نفسه، لمدة شهر.
- نقارن بين الخرائط المرسومة من قبل كل مجموعة ونكتب توصيفاً لمسارِ الكوكب أو التشكيل المدروس.
- نضع الخرائط المرسومة مع النتائج في لوحة حائطٍ خاصة.

### ثالثاً: التقويم:

نقاش النتائج مع المدرس المشرف.

## **مشروع: طبيعة الأشعة الكونية**

توجد أشعة صادرة من أعماق الفضاء الخارجي تسمى الأشعة الكونية الأولية

### **أهداف المشروع:**

التعزف على الأشعة الكونية الأولية والثانوية.

### **مراحل المشروع:**

#### **أولاً: التخطيط:**

1. مم تكون الأشعة الكونية الأولية، وما مصادرها؟.
2. مم تكون الأشعة الكونية الثانوية، ما مصادرها؟
3. ما خواص الأشعة الكونية؟
4. ما المادة المضادة في الأشعة الكونية؟

#### **ثانياً: التنفيذ:**

توزع الطلاب إلى مجموعاتٍ وتحدد مَهمَة كل مجموعة:

- المجموعة الأولى: تبحث في الأشعة الكونية الأولية، وما مصادرها.
- المجموعة الثانية: تبحث في الأشعة الكونية الثانوية، وكيف تشكلت.
- المجموعة الثالثة: تبحث في خواص الأشعة الكونية.
- المجموعة الرابعة: تبحث في المادة المضادة.

#### **ثالثاً: تبادل المعلومات:**

تبادل المعلومات بين المجموعات للوصول إلى نتائج البحث، ثم تسليم نسخة ورقية أو نسخة إلكترونية لمكتبة المدرسة.

#### **رابعاً: التقويم:**

مناقشة النتائج وإعداد تقرير كامل خلال مدة عشرة أيام.

## مسائل عامة

**المأسأة (1):**

نشَّكلُ هزازةً توافقيةً بسيطةً مؤلفةً من نابضٍ مرنٍ شاقوليٍّ مهملاً لكتلة، حلقاته متباينة، ثابتٌ صلابته  $k = 10 \text{ N.m}^{-1}$  مثبتٌ من إحدى نهايتيه إلى نقطةٍ ثابتةٍ، ويحملُ في نهايته الثانية جسمًا كتلته  $m = 0.1 \text{ kg}$  فإذا علمتَ أنَّ مبدأ الزمان لحظة مرور الجسم في مركز الاهتزاز، وهو يتحرّك بالاتجاه السالب بسرعة  $v = -3 \text{ m.s}^{-1}$ .

**المطلوب:**

1. احسبْ نبضَ الحركة.
2. استنتج التابع الزمنيٍّ لمطال الحركة.
3. احسبْ شدة قوة الإرجاع في نقطة مطالها  $3 \text{ cm}$ .

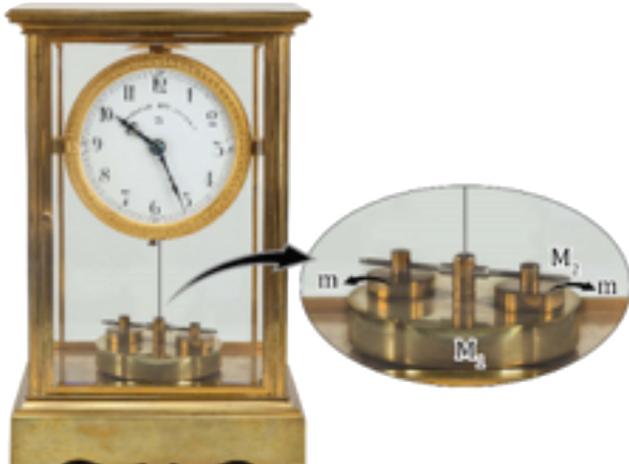
**المأسأة (2):**

تهتزُّ نقطة ماديَّة كتلتها  $0.5 \text{ kg}$  بحركة توافقية بسيطة بمرنة نابض مهملاً لكتلة، حلقاته متباينة، شاقوليٍّ وبدور خاص  $s = 4 \text{ s}$  وبسعة اهتزاز  $X_{\max} = 8 \text{ cm}$  فإذا علمتَ أنَّ النقطة كانت في موضع مطاله  $\frac{X_{\max}}{2}$  في بدءِ الزمن وهي متحرّكة بالاتجاه السالب.

**المطلوب:**

1. استنتاج التابع الزمنيٍّ لمطال حركة هذه النقطة بعد تعين قيمة الثوابت.
2. عين لحظتي المرور الأول والثالث في وضع التوازن.
3. عين المواقع التي تكون فيها شدَّة محصلة القوى عظمى، واحسب قيمتها، وحدّد موضعًا تندم فيه شدَّة هذه المحصلة.
4. احسب قيمة ثابت صلابة النابض، وهل تتغيَّر هذه القيمة باستبدال الكتلة المعلقة؟
5. احسب الكتلة التي تجعل الدور الخاص  $1 \text{ s}$ .

**المأسأة (3):**



تألُّفُ ميكانيكيٍّ من قرصٍ نحاسيٍّ كتلته  $M_1 = 0.12 \text{ kg}$  ، نصفُ قطره  $R = 0.05 \text{ m}$  مثبتٌ عليه ساقٌ كتلتها  $M_2 = 0.012 \text{ kg}$  ، طولُها  $L = 0.1 \text{ m}$  تُحملُ الساق بكتلتين نقطيتين  $m_1 = m_2 = 0.05 \text{ kg}$  ، كتلتان تبعدان عن بعضهما البعض مسافةً قدرُها  $2r = 0.04 \text{ m}$  يمكن تغييرُها بوساطة بزَال، تعلقُ جملة القرص وما عليه من مركز عطالتها إلى سلكٍ فتل شاقوليٍّ ثابتٌ فتلته عموديٌّ على مستوىها ومارٌ من مركزها  $k = 8 \times 10^{-4} \text{ m.N.rad}^{-1}$  كما في الشكل المجاور.

**المطلوب:**

1. احسبْ دورَ الميكانيكي.
2. إذا أردنا للدور أنْ يزدادَ بمقدار  $0.86 \text{ s}$  وذلك

بزيادة البعد بين الكتلتين، فما البعدُ الجديدُ الذي يجبُ أنْ يصبحَ بينهما؟

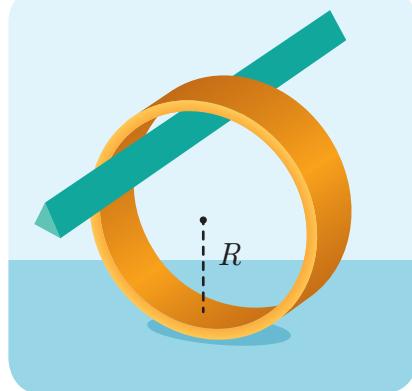
(عزم عطالة القرص حول محور مارٌ من مركز عطالته  $I_1 = \frac{1}{2}M_1R^2$ ، وعزم عطالة الساق حول محور عموديٌّ على مستوىها ومارٌ من مركزها  $I_2 = \frac{1}{12}M_2L^2$ )  $\pi = 3.14$ ،  $\pi^2 \approx 10$

#### المُسَائِلَةُ (4):

نَعْلَقُ حَلْقَةً مَعْدِنِيَّةً نَصْفُ قَطْرِهَا  $R = 12.5\text{ cm}$ ، بِمَحْوَرٍ أَفْقَيِّ ثَابِتٍ، كَمَا هُوَ مُوضَّحٌ بِالشَّكْلِ.

**المطلوب:**

1. اسْتَنْتَجْ عَبَارَةُ الدُّورِ الْخَاصِ لِاهْتِزَازِ هَذَا النَّوَاسِ مِنْ أَجْلِ السَّاعَاتِ الْزاوِيَّةِ الصَّغِيرَةِ إِذَا عَلِمْتَ أَنَّ عَزْمَ عَطَالَةِ الْحَلْقَةِ حَوْلَ مَحْوَرٍ عَمُودِيٍّ عَلَى مَسْتَوِيهَا، وَمَا زَّ مِنْ مَرْكَزِ عَطَالَتِهَا  $M R^2 = I_{\Delta/c} \cdot \theta$  ثُمَّ احْسِبْهُ.
2. احْسِبْ طَولَ النَّوَاسِ الْبَسيِطِ الْمَوَاقِتِ.



#### المُسَائِلَةُ (5):

يَتَأَلَّفُ نَوَاسٌ ثَقْلَيٌّ مِنْ سَاقٍ شَاقُولِيَّةٍ مَهْمَلَةُ الْكَتْلَةِ طَولُهَا  $1\text{ m}$  تَحْمِلُ فِي نَهَايَتِهَا الْعُلُوِّيَّةِ كَتْلَةً نَقْطِيَّةً  $m_1 = 0.2\text{ kg}$  وَتَحْمِلُ فِي نَهَايَتِهَا السُّفْلَيَّةِ كَتْلَةً نَقْطِيَّةً  $m_2 = 0.6\text{ kg}$  تَهَنَّرُ هَذِهِ السَّاقِ حَوْلَ مَحْوَرٍ أَفْقَيِّ مَا زَّ مِنْ مَنْتَصِفِهَا

**المطلوب:**

1. احْسِبْ دُورَ النَّوَاسِ فِي حَالَةِ السَّاعَاتِ الصَّغِيرَةِ.
2. احْسِبْ طَولَ النَّوَاسِ الْبَسيِطِ الْمَوَاقِتِ لِهَذَا النَّوَاسِ.
3. احْسِبْ دُورَ النَّوَاسِ لَوْ نَاسِ بِسْعَةَ زَاوِيَّةٍ  $\theta_{\max} = 0.4\text{ rad}$ .
4. نَرِيعُ السَّاقِ عَنْ وَضْعِ تَوازِنِهَا الشَّاقُولِيِّ بِزاوِيَّةٍ  $60^\circ = \theta_{\max}$  وَنَتَرَكُهَا دُونَ سَرْعَةٍ ابْتَدَائِيَّةٍ.
- a. اسْتَنْتَجْ بِالرَّمُوزِ عَلَاقَةُ السَّرْعَةِ الْزاوِيَّةِ لِجَمْلَةِ النَّوَاسِ لِحظَةِ مَرْورِهَا بِشَاقُولِ مَحْوَرِ التَّعلِيقِ، ثُمَّ احْسِبْ قِيمَتِهَا عَنْدَئِذٍ.
- b. احْسِبْ السَّرْعَةَ الْخَطِيَّةَ لِمَرْكَزِ عَطَالَةِ جَمْلَةِ النَّوَاسِ لِحظَةِ المَرْورِ بِالشَّاقُولِ.
5. نَسْتَبِدُ بِالْكَتْلَةِ  $m_2 = 0.2\text{ kg}$  كَتْلَةً  $m_1 = 0.6\text{ kg}$  وَنَعْلَقُ السَّاقَ مِنْ مَنْتَصِفِهَا بِسَلْكٍ فَتَلِ شَاقُولِيٍّ لِنَشْكُّلْ بِذَلِكِ نَوَاسًا لِلْفَتْلِ، نَرِيعُ السَّاقِ الْأَفْقَيَّةَ عَنْ وَضْعِ تَوازِنِهَا بِزاوِيَّةٍ وَنَتَرَكُهَا دُونَ سَرْعَةٍ ابْتَدَائِيَّةٍ فَتَهَنَّرُ بِدُورِ  $T_0 = 2\pi\text{ s}$ . احْسِبْ قِيمَةَ ثَابِتِ فَتَلِ سَلْكِ التَّعلِيقِ.
6. احْسِبْ قِيمَةَ التَّسَارِعِ الزَّاوِيَّيِّ لِنَوَاسِ الْفَتْلِ عَنْدَ المَرْورِ بِوَضْعِ  $\theta = 0.5\text{ rad}$ .

#### المُسَائِلَةُ (6):

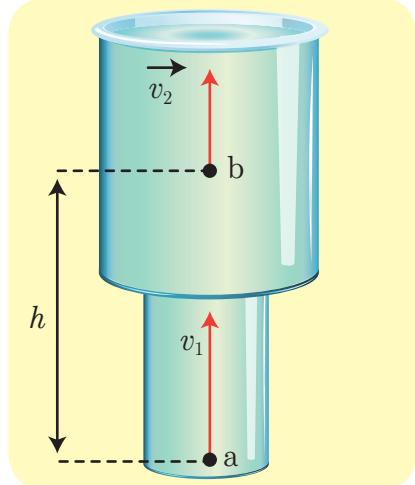
يَتَأَلَّفُ نَوَاسٌ ثَقْلَيٌّ مَرْكَبٌ مِنْ قَرْصٍ مَتْجَانِسٍ كَتْلَتِهِ  $m$  نَصْفُ قَطْرِهِ  $r = \frac{2}{3}m$  يُمْكِنُ أَنْ يَهَنَّرَ فِي مَسْتَوِيِّ شَاقُولِيٍّ حَوْلَ مَحْوَرٍ أَفْقَيِّ مَا زَّ مِنْ نَقْطَةٍ عَلَى مَحِيطِهِ.

**المطلوب:**

1. انْطَلَاقًاً مِنَ الْعَلَاقَةِ الْعَامَّةِ لِدُورِ النَّوَاسِ الثَّقْلَيِّ الْمَرْكَبِ، اسْتَنْتَجْ الْعَلَاقَةِ الْمُحدَّدةِ لِدُورِهِ الْخَاصِ فِي حَالَةِ السَّاعَاتِ الصَّغِيرَةِ، ثُمَّ احْسِبْ قِيمَةَ هَذِهِ الدُّورِ.
2. احْسِبْ طَولَ النَّوَاسِ الْبَسيِطِ الْمَوَاقِتِ لِهَذَا النَّوَاسِ الْمَرْكَبِ.
3. نَثَبَّتَ فِي نَقْطَةٍ مِنْ مَحِيطِ الْقَرْصِ كَتْلَةً نَقْطِيَّةً  $m'$  تَسَاوِي كَتْلَةِ الْقَرْصِ  $m$  وَنَجْعَلُهُ يَهَنَّرُ حَوْلَ مَحْوَرٍ أَفْقَيِّ مَا زَّ مِنْ مَرْكَزِ الْقَرْصِ، احْسِبْ دُورَهُ فِي هَذِهِ الْحَالَةِ مِنْ أَجْلِ السَّاعَاتِ الْزاوِيَّةِ الصَّغِيرَةِ.

**4.** نزح القرص من جديد عن وضع توازنه الشاقولي بسعة زاوية  $\theta_{\max}$  ونتركه دون سرعة ابتدائية فتكون السرعة الخطية للكتلة النقطية  $m'$  لحظة المرور بالشاقول  $\frac{2\pi}{3} \text{ m.s}^{-1}$  احسب قيمة السعة الزاوية  $\theta_{\max}$  إذا علمت أن  $\pi^2 = 10 \text{ m.s}^{-2}$  ،  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$  ،  $\theta_{\max} > 0.24 \text{ rad}$  عزم عطالة القرص حول محور مارّ من مركزه وعمودي على مستوى  $I_{\Delta/c} = \frac{1}{2} m r^2$

#### المأساة (7):



يجري الماء داخل الأنابيب الموضوعة في الشكل من (a) إلى (b) حيث نصف قطر الأنابيب عند (a)  $r_1 = 5 \text{ cm}$  ونصف قطر الأنابيب عند النقطة (b)  $r_2 = 10 \text{ cm}$  والمسافة الشاقولية بين (a) و (b)  $h = 50 \text{ cm}$

**1.** احسب سرعة جريان الماء عند النقطة (b) علماً أن سرعة جريان الماء عند النقطة (a)  $v_1 = 4 \text{ m.s}^{-1}$ .

**2.** احسب قيمة فرق الضغط  $(P_a - P_b)$  ( $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$ ).

#### المأساة (8):

تخيل أنّ مركبة فضاء لها شكل مستطيل تقوم برحلة إلى نجم "الشعرى" وفق مسار مستقيم، بحيث يكون شعاع سرعة المركبة دوماً موازياً لطول المركبة، فتسجل أجهزة المركبة المسافة القياسات الآتية:

طول المركبة:  $100 \text{ m}$  ، عرض المركبة:  $25 \text{ m}$  ، المسافة المقطوعة:  $4$  سنة ضوئية، زمن الرحلة:  $\frac{8}{\sqrt{3}}$  سنة، وتسجل أجهزة المحطة الأرضية قياساتها لتلك الرحلة باستخدام تيلسكوب دقيق، احسب كلاً من سرعة المركبة وطولها وعرضها في أثناء الرحلة، والمسافة التي قطعتها وزمن الرحلة وفق قياسات المحطة الأرضية.

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

#### المأساة (9):

وشيعة طولها  $40 \text{ cm}$  ، مؤلفة من  $400$  لفة، محورها الأفقي يعامد خط الزوال المغناطيسي، نضع في مركزها إبرة بوصلة صغيرة محور دورانها شاقولي، ثم نمرّر في الوشيعة تياراً كهربائياً متواصلاً شدته  $16 \text{ mA}$ .

**المطلوب:**

**1.** احسب شدة الحقل المغناطيسي المترولد في مركز الوشيعة.

**2.** احسب زاوية انحراف إبرة مغناطيسية موضوعة عند مركز الوشيعة باعتبار أن المركبة الأفقي للحقل المغناطيسي الأرضي تساوي  $B_s = 2 \times 10^{-5} \text{ T}$ .

**3.** إذا أجرينا اللف بالجهة نفسها على أسطوانة فارغة من مادة عازلة باستخدام سلك معزول قطره  $2 \text{ mm}$  بلفات متلاصقة، احسب عدد طبقات الوشيعة.

**4.** نضع داخل الوشيعة في مركزها حلقة دائريّة مساحتها  $2 \text{ cm}^2$  بحيث يصنع الناظم على سطح الحلقة مع محور الوشيعة زاوية  $60^\circ$ .

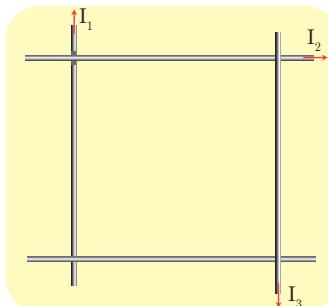
احسب التدفق المغناطيسي عبر الحلقة الناتج عن تيار الوشيعة.

#### المأساة (10):

ملف دائري نصف قطره الوسطي  $40 \text{ cm}$  يتألف من  $100$  لفة، ووضع في حقل مغناطيسي منتظم شدته  $0.5 \text{ T}$  حيث خطوط الحقل عمودية على مستوى الملف.

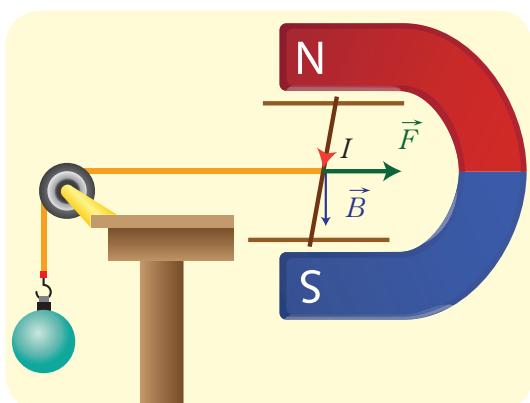
**المطلوب:**

1. احسب التدفق المغناطيسيي الأعظمي الذي يجتاز لفّات الملفّ.
2. ما مقدار التغير في التدفق المغناطيسيي إذا دار الملفّ في الاتّجاه الموجب بزاوية  $45^\circ$ .  
(نهمل تأثير الحقل المغناطيسيي الأرضي)



**المسألة (11):**  
أربعُ أسلاك ناقلة طولية تقع في مستوٍ واحد، ومتقاطعة مع بعضها البعض لتشكل مربعاً طول ضلعه  $40\text{ cm}$ ، أوجد شدّة، واتجاه التيار الذي يجب أن يمرّ في الناقل الرابع بحيث تكون شدّة الحقل المغناطيسيي في مركز المربع معروفة.

$$I_1 = 10\text{ A}, I_2 = 5\text{ A}, I_3 = 15\text{ A}$$



**في الشكل المجاور تستند ساقٌ نحاسية طولها  $10\text{ cm}$ ، وكتلتها  $20\text{ g}$  على سكتين نحاسيين أقيمتين، وتخلصُ بكماليها لحقل مغناطيسيي منتظمٍ شاقوليٍ شدّته  $B = 8 \times 10^{-2}\text{ T}$  ويمرُ فيها تيارٌ كهربائيٌ متواصلٌ شدّته  $25\text{ A}$  وللحفاظ على توازن هذه الساق نعلق في مركز ثقلها خيطاً لا يمتدّ كتلته مهملة، مربوطً بكتلة،**

**المطلوب:**

1. احسب كتلة الجسم المعلق.
2. احسب شدّة قوة ردّ فعل السكتين على الساق.

**المسألة (13):**  
تيار كهربائيٍ شدّته  $20\text{ A}$  يمرُ في سلك مستقيم طوله  $10\text{ cm}$  فإذا وضع السلك كاملاً في حقل مغناطيسيٍ شدّته  $T = 2 \times 10^{-3}\text{ T}$  وكان السلك يصنع مع خطوط الحقل المغناطيسيٍ زاوية  $30^\circ$  احسب شدّة القوة الكهرومغناطيسية المؤثرة في السلك.

**المسألة (14):**

نخضع إلكترونًا يتحرّك بسرعة  $8 \times 10^3\text{ Km.s}^{-1}$  إلى تأثير حقلٍ مغناطيسيٍ منتظمٍ ناظميٍ على شعاع سرعته شدّته  $T = 5 \times 10^{-3}\text{ T}$ .

**المطلوب:**

1. وازن بالحساب بين شدّة ثقل الإلكترون وشدّة القوة المغناطيسيّة المؤثرة فيه. ماذا تستنتج؟
2. برهن أنَّ حركة الإلكترون ضمن المنطقة التي يسودها الحقل المغناطيسيٍ هي حركة دائريّة منتظامة، ثم استنتاج العلاقة المحددة لنصف قطر المسار الدائريٍ، واحسب قيمته.
3. احسب دور الحركة.

$$(e = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}, m_e = 9 \times 10^{-31}\text{ kg}, g = 10\text{ m.s}^{-2})$$

### المأسأة (15):

إطار مربع الشكل مساحة سطحه  $s = 25 \text{ cm}^2$  يحوي 50 لفة من سلك نحاسي معزول نعلقه بسلك رفيع عديم الفتل وفق محوره الشاقولي ونخضعه لحقل مغناطيسي منتظم خطوطه أفقية شدّته  $B = 10^{-2} \text{ T}$  بحيث يكون مستوى الإطار يوازي منحى الحقل  $\vec{B}$  عند عدم مرور تيار، نمرر في الإطار تياراً كهربائياً شدّته  $I = 5 \text{ A}$  المطلوب:

1. احسب شدة القوة الكهرطيسية المؤثرة في كل من الصُّلعين الشاقوليَّين لحظة مرور التيار.
2. احسب عزم المزدوجة الكهرطيسية المؤثرة في الإطار لحظة إمرار التيار السابق.
3. احسب عمل المزدوجة الكهرطيسية عندما يتقلل الإطار من وضعه السابق إلى وضع التوازن المستقر.
4. نستبدل سلك التعليق بسلك ثابت فتل ثابته  $k$  لنشكِّل مقياساً غلفانيَّاً ونمرر في الإطار تياراً كهربائياً شدّته ثابتة  $A = 2 \text{ mA}$  في دور الإطار بزاوية  $0.02 \text{ rad}$  ويتوازن. استنتج بالرموز علاقة ثابت فتل السلك  $k$  واحسب قيمته، ثم احسب قيمة ثابت المقياس الغلفاني  $G$ .
5. نزيد حساسية المقياس 10 مرات من أجل التيار نفسه، احسب ثابت فتل سلك التعليق بالوضع الجديد.  
(يهمل تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)

### المأسأة (16):

ملف مستطيل مساحته  $200 \text{ cm}^2$  يتكون من 100 لفة يمر فيه تيار شدّته  $3 \text{ A}$ ، وضع في حقل مغناطيسي منتظم شدّته  $0.1 \text{ T}$  احسب عزم المزدوجة الكهرطيسية المؤثرة عليه عندما يكون مستوى الملف يصنع زاوية  $60^\circ$  مع خطوط الحقل المغناطيسي.

### المأسأة (17):

وشيعة طولها  $30 \text{ cm}$  ومساحة مقطعها  $10^{-2} \text{ m}^2$  ذاتيتها  $H = 5 \times 10^{-3} \text{ H}$

1. احسب عدد لفاتها.
2. نمرر في الوشيعة تياراً كهربائياً متواصلاً شدّته  $15 \text{ A}$  احسب الطاقة الكهرطيسية المختزنة في الوشيعة.
3. نجعل شدة التيار تتناقص بانتظام من  $15 \text{ A}$  إلى الصفر خلال  $0.5 \text{ s}$  احسب القيمة الجبرية للقوة المحركة الكهربائية المتحركة في الوشيعة وحدّد جهة التيار المتحركة.
4. نمرر في سلك الوشيعة تياراً كهربائياً شدّته اللحظية مقدّرة بالأمبير  $5t - 20 = \bar{t}$ ، احسب القيمة الجبرية للقوة المحركة الكهربائية التحريرضية الذاتية الناشئة فيها.  
(يهمل تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)

### المأسأة (18):

وشيعة طولها  $\frac{2\pi}{5} \text{ m}$  وعدد لفاتها 200 لفة ومساحة مقطعها  $20 \text{ cm}^2$  حيث المقاومة الكلية لدارتها المغلقة  $5\Omega$

1. نضع الوشيعة في منطقة يسودها حقل مغناطيسي ثابت المنحى وجهاً خطوطه توازي محور الوشيعة، نزيد شدة هذا الحقل بانتظام خلال  $0.5 \text{ s}$  من  $0.04 \text{ T}$  إلى  $0.06 \text{ T}$ :
  - a. حدّد على الرسم جهة كل من الحقلين المغناطيسيين المحرك والمتحركة في الوشيعة وعيّن جهة التيار المتحركة.
  - b. احسب القيمة الجبرية لشدة التيار الكهربائي المتحركة المار في الوشيعة.
  - c. احسب ذاتية الوشيعة.

2. نزيل الحقل المغناطيسي السابق ثم نمرر في الوشيعة تياراً كهربائياً شدّته اللحظية  $i = 6 + 2t$

a. احسب القيمة الجبرية للقوة المحرّكة الكهربائية التحريرية الذاتية في الوشيعة.

b. احسب مقدار التغير في التدفق المغناطيسي لحقل الوشيعة في اللحظتين:  $t_1 = 0, t_2 = 1\text{S}$

c. نمرر في سلك الوشيعة تياراً كهربائياً متواصلاً شدّته  $10\text{ A}$  بدل التيار السابق. احسب الطاقة الكهربائية المخزنة في الوشيعة.

(يهمّ تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي)

### المسألة (19):

وشيعة طولها  $\frac{2\pi}{5}\text{ m}$  وعدد لفاتها  $1000$  لفة نصف قطر مقطعها  $2\text{ cm}$  ومقاومة دارتها الكهربائية المغلقة  $5\Omega$  مؤلّفة من سلك نحاسيٍ معزول قطر مقطعه  $\frac{\pi}{500}\text{ m}$  المطلوب:

1. احسب طول سلك الوشيعة، واحسب عدد الطبقات.

2. احسب ذاتية الوشيعة.

3. نعلق الوشيعة من منتصفها بسلك شاقوليٍ عديم الفتل ونجعل محورها أفقياً عمودياً على خطوط حقل مغناطيسيٍ منتظم أفقىٍ شدّته  $T = 10^{-2}\text{ N}$  ونمرر فيها تياراً كهربائياً شدّته  $4\text{ A}$  المطلوب:

a. احسب قيمة عزم المزدوجة الكهربائية عندما تكون قد دارت بزاوية  $60^\circ$ .

b. احسب عمل المزدوجة الكهربائية المؤثرة في الوشيعة من لحظة مرور التيار حتى اللحظة التي تكون فيها قد دارت بزاوية  $30^\circ$ .

4. نقطع التيار السابق عن الوشيعة وهي في وضع التوازن المستقر ثم نديرها حول السلك الشاقوليٍ خلال  $0.5\text{ S}$  ليصبح محورها عمودياً على خطوط الحقل المغناطيسي المطلوب:

a. احسب شدة التيار المتحرّض المتولّد في الوشيعة.

b. احسب كمية الكهرباء المتحرّضة خلال الزمن السابق.

5. نعيد الوشيعة إلى وضع التوازن المستقر ثم ندخل بداخلها نواة حديديّة عامل نفاذيتها المغناطيسي  $50$  احسب شدة الحقل المغناطيسي داخل النواة الحديدية، واحسب قيمة التدفق المغناطيسي داخل الوشيعة.

### المسألة (20):

ساق نحاسية طولها  $80\text{ cm}$  نحرّكها بسرعة أفقية ثابتة  $v$  عمودية على شعاع حقل مغناطيسيٍ منتظم أفقىٍ شدّته  $0.5\text{ T}$  فيكون فرق الكمون بين طرفي الساق  $0.4\text{ V}$  المطلوب:

1. استنتج العلاقة المحدّدة لسرعة الساق واحسب قيمتها.

2. نأخذ الساق النحاسية ونعلّقها من منتصفها ضمن منطقة الحقل السابق بنابض مرن شاقوليٍ مهمّل الكتلة ثابت صلابته  $100\text{ N.m}^{-1}$  ونمرر فيها تياراً كهربائياً شدّته  $20\text{ A}$  فتوزن الساق بعد أن يستطيل النابض بمقدار  $20\text{ cm}$  عن طوله الأصلي:

a. حدّد على الرسم القوى الخارجيه المؤثرة على الساق.

b. استنتاج بالرموز العلاقة المحددة لكتلة الساق واحسب قيمتها.

**المسألة (21):**

ملف دائري نصف قطره الوسطي  $4\text{ cm}$  مؤلف من  $600$  لفة متماثلة من سلك نحاسي معزول معلق من الأعلى بسلك شاقولي عديم الفتل ضمن حقل مغناطيسي منتظم أفقي خطوطه ناظمية على مستوى الملف شدته  $T = 0.04\text{ N}$  نصل طرفي سلك الملف بمقاييس غلفاني المطلوب:

1. ندير الملف بدءاً من وضع توازنه المستقر بزاوية  $\frac{\pi}{2}\text{ rad}$  خلال  $0.2\text{ s}$  احسب شدة التيار المتحضر في الملف حيث المقاومة الكيلية للدارة  $5\Omega$ .

2. نستبدل سلك التعليق السابق بمحور دوران شاقولي ثم ندير الملف بسرعة زاوية ثابتة تقابل  $\frac{2}{\pi}\text{ Hz}$  المطلوب:

a. استنتاج بالرموز العلاقة المحددة للقيمة الجبرية للقوة المحركة الكهربائية المتحضر المتناوبة الجيبية ثم اكتب التابع الزمني لكل من هذه القوة والتيار المتحضر المتناوب الجيبى.

b. احسب طول سلك الملف.

**المسألة (22):**

يغذى تيار متناوب جيبى يعطى توثره اللحظي بالعلاقة  $u = 120\sqrt{2} \cos 100\pi t$  الجهازين الآتيين المرتبطين فيما بينهما على التفرع:

- a. جهاز تسخين كهربائي ذاتيه مهملاً يرفع درجة حرارة  $1\text{ Kg}$  من الماء من الدرجة  $0^\circ\text{C}$  إلى الدرجة  $72^\circ\text{C}$  خلال  $7\text{ min}$  بمرود تسخين 100%.

- b. محرك استطاعته  $600\text{ watt}$  وعامل استطاعته  $\frac{1}{2}$  فيه التيار متاخر بالتطور عن التوتر.

**المطلوب:**

1. احسب الشدة المنتجة للتيار في كل من الفرعين، واتكتب التابع الشدة اللحظية في كل منهما.

2. احسب الشدة المنتجة الكيلية باستخدام إنشاء فرينل، واحسب عامل استطاعه الدارة.

3. احسب سعة المكثفة التي إذا ضمت أيضاً على التفرع في الدارة جعلت الشدة الكيلية متقدمة بالتطور مع فرق الكمون المطبق عندما تعمل الأجهزة جميعاً، واحسب قيمة الشدة المنتجة في الدارة الأصلية عندئذ.

4. نستعمل التوتر السابق لتغذية دارة تتالف من فرعين يحوي أحدهما المكثفة السابقة ويحوي الآخر وشيعة مهملاً المقاومة، احسب ردية الوشيعة التي تنعدم من أجلها شدة التيار في الدارة الأصلية باستخدام إنشاء فرينل

$$(\text{الحرارة الكيلية للماء}) = 4200 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}^{\circ -1}$$

**المسألة (23):**

مأخذ تيار متناوب جيبى بين طرفيه توثر منتج  $V = 100\sqrt{2}$  نصله لدارة تحوي على فرعين: يحوي الأول مقاومة ومكثفة يمر فيهما تيار شدته المنتجة  $I_{eff_1}$  متقدم بطور  $\frac{\pi}{3}\text{ rad}$  عن التيار الأصلي، ويحوي الفرع الثاني وشيعة يمر فيها تيار شدته المنتجة  $I_{eff_2}$  متاخر بطور  $\frac{\pi}{6}\text{ rad}$  عن التيار الأصلي ويمثل في الدارة الأصلية تيارتابع شدته اللحظية  $i = 20 \cos 100\pi t$  محققاً توافقاً في الطور مع التوتر المطبق.

**المطلوب:**

1. استنتاج قيمة كل من  $I_{eff_1}$ ،  $I_{eff_2}$  باستخدام إنشاء فرينل.

2. إذا كانت قيمة المقاومة في الفرع الأول  $\Omega = 10$  احسب ممانعة هذا الفرع واتساعية المكثفة فيه.

3. إذا كانت ردية الوشيعة في الفرع الثاني  $\Omega = \frac{10}{\sqrt{3}}$  احسب مقاومة الوشيعة.

### المأسأة (24):

يعطى فرق الكمون بين نقطتين  $(a, b)$  بالعلاقة  $\bar{u} = 100\sqrt{2} \cos(100\pi t)$  Volt

1. احسب فرق الكمون المنتج بين النقطتين وتوتر التيار.
2. نصل  $(a, b)$  بمقاومة صرف  $50\Omega$  اكتب تابع شدة التيار في هذه المقاومة.
3. نصل  $(a, b)$  بفرع آخر يحوي على تسلسل مقاومة صرف  $50\Omega$  مع مكثفة سعتها  $C$  فيم然是 تيار قيمته شدّته المنتجة  $\sqrt{2}A$  ، اكتب التابع الزمني للتيار المار فيه واحسب سعة المكثفة  $C$ .
4. احسب قيمة الشدة المنتجة للتيار في الدارة الأصلية باستخدام إنشاء فرييل.
5. احسب ذاتية الوشيعة المهملة المقاومة الواجب ربطها على التفرع بين النقطتين  $(a, b)$  لتصبح شدة التيار الأصلية على وفاق بالتطور مع فرق الكمون المطبق عندما تعمل الفروع الثلاثة معاً ثم احسب قيمة الشدة المنتجة الأصلية للتيار.

### المأسأة (25):

نضع بين طرفي مأخذ لتيار متناوب توثره المنتج ثابت، مقاومة صرفة  $R$  موصولة على التسلسل مع وشيعة مقاومتها الأوميّة  $R'$  ورديتها  $30\Omega$  عامل استطاعتها  $0.8$  فيم然是 تيار شدّته اللحظية تعطى بالعلاقة  $\bar{i} = 3\sqrt{2} \cos(100\pi t)$  (A)

**المطلوب:**

1. احسب القيمة للشدة المنتجة للتيار وتوتره.
2. احسب كلاً من المقاومة الأوميّة للوشيعة  $R'$  وممانعتها.
3. إذا علمت أنَّ فرق الكمون المنتج يساوي نصف فرق الكمون المنتج بين طرفي الوشيعة، فاحسب كلَّ من:
  - a. المقاومة الصرفة  $R$ .
  - b. الاستطاعة المستهلكة فيها.
  - c. احسب الاستطاعة المستهلكة في الدارة.
4. نضيف بين طرفي المأخذ السابق على التسلسل مع المقاومة  $R$  والوشيعة مكثفة سعتها  $C$  فتبقي الشدة المنتجة للتيار نفسها، احسب قيمة سعة هذه المكثفة.
5. نضيف إلى المكثفة  $C$  في الدارة السابقة مكثفة  $C'$  تجعل الشدة على توافق بالتطور مع التوتر المطبق. احسب السعة المكافئة للمكثفتين وحدّد طريقة الضم، واحسب سعة المكثفة المضافة  $C'$ .

### المأسأة (26):

نطبق بين نقطتين  $(a, b)$  فرقاً في الكمون متناوباً جيبياً قيمته المنتجة  $40\sqrt{3}V$  وتوتره  $f = 50\text{ Hz}$ .

1. نربط بين نقطتين  $(a, b)$  على التسلسل مقاومة صرفة  $R = 20\Omega$  ووشيعة مقاومتها الأوميّة  $r = 10\Omega$  وممانعتها  $20\Omega$

**المطلوب:**

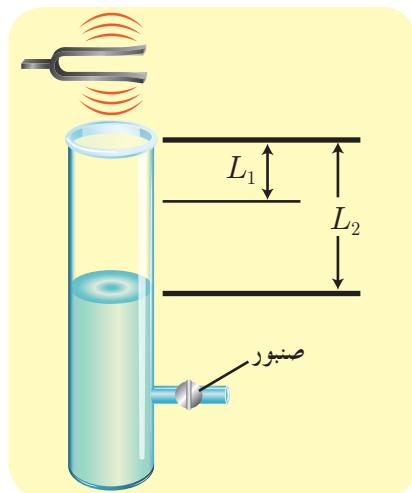
- a. احسب الممانعة الكلية والشدة المنتجة المارة في الدارة.
- b. احسب الاستطاعة المتوسطة المصروفة في الجملة وعامل استطاعتها.
- c. احسب الطاقة الحرارية المنتشرة عن المقاومة الصرفة خلال زمن  $10\text{ min}$  ، واتكتب تابع التوتر اللحظي بين

طريق المقاومة الصرفية.

2. نريد وصل الوشيعة على التفريغ مع المقاومة الصرفية بين النقطتين السابقتين (a,b)  
المطلوب:

a. احسب قيمة الشدة المنتجة للتيار المار في الدارة الأصلية قبل التفريغ باستخدام إنشاء فرينيل.

b. احسب قيمة الاستطاعة المتوسطة المستهلكة في جملة الفرعين وقيمة عامل الاستطاعة عندئذ.



المشكلة (27):

أنبوب أسطواني مملوء بالماء وله صبورة عند قاعده، تهتزّ رنانة فوق طرفه العلوي المفتوح، وعند إنقاذه مستوى الماء في الأنابيب، سمع صوت شديد يبعد مستوى الماء فيه عن طرفه العلوي بمقدار  $L_1 = 17\text{ cm}$  ، وباستمرار إنقاذه مستوى الماء سمع صوت شديد ثان يبعد مستوى الماء فيه عن طرفه العلوي بمقدار  $L_2 = 49\text{ cm}$  ، فإذا علمت أنّ سرعة انتشار الصوت في شروط التجربة  $v = 340\text{ m.s}^{-1}$  . احسب تواتر الرنانة المستخدمة.

المشكلة (28):

مزمار ذو فم نهايته مفتوحة طوله  $L = 3\text{ m}$  فيه هواء درجة حرارته  $0^\circ\text{C}$  حيث سرعة انتشار الصوت فيه  $f = 330\text{ m.s}^{-1} = v$  وتوتر الصوت الصادر  $f = 110\text{ Hz}$ .

المطلوب:

1. احسب البعد بين بطنيين متتاليين، ثم استنتج رتبة الصوت.

2. نسخن المزمار إلى الدرجة  $t = 819^\circ\text{C}$  ، استنتاج طول الموجة المتكونة ليصدر المزمار الصوت السابق نفسه.

3. احسب طول مزمار آخر ذي فم، نهايته مغلقة يحوي الهواء في الدرجة  $0^\circ\text{C}$  ، تواتر مدروجه الثالث يساوي تواتر الصوت الصادر عن المزمار السابق (في الدرجة  $0^\circ\text{C}$ ).

المشكلة (29):

خيط من أفقى طوله  $L = 1\text{ m}$  وكتلته  $m = 10\text{ g}$  ، نربط أحد طرفيه برقانة كهربائية شبعتها أفقيةًان تواترها  $f = 50\text{ Hz}$  ، ونشدّ الخيط على محزّ بكرة بثقل مناسب لتكون نهايته مقيدة، فإذا علمت أنّ طول الموجة المتكونة  $40\text{ cm}$  .

المطلوب:

1. ما عدد المغازل المتكونة على طول الخيط؟

2. احسب السعة بنقطة تبعد  $20\text{ cm}$  ثم بنقطة تبعد  $30\text{ cm}$  عن النهاية المقيدة للخيط إذا كانت سعة اهتزاز المنسع  $Y_{\max} = 1\text{ cm}$  .

3. احسب الكتلة الخطية للخيط، واحسب قوة شدّ هذا الخيط، وسرعة انتشار الاهتزاز فيه.

4. احسب قوة شدّ الخيط التي يجعله يهتزّ بمغزلين، وحدّ أبعاد العقد ولبطون عن النهاية المقيدة في هذه الحالة.

5. نجعل طول الوتر نصف ما كان عليه. هل تتغيّر كتلته الخطية باعتبار أنه متباين.

المشكلة (30):

وتر طوله  $L = 1.5 \text{ m}$  ، وكتلته  $m = 15 \text{ g}$  نجعله يهتز بالتجاوب بواسطة هزازة تواترها  $f = 100 \text{ Hz}$  يتشكل فيه ثلاثة مغافل المطلوب حساب:

1. طول موجة الاهتزاز.
2. الكتلة الخطية للوتر.
3. سرعة انتشار الاهتزاز في الوتر.
4. مقدار قوة الشد المطبقة على الوتر.
5. بعد أماكن عقد وبطون الاهتزاز عن نهايته المقيدة.

#### المسألة (31):

مزمار ذو فم، نهايته مفتوحة، طوله  $L = 3.4 \text{ m}$  مملوء بالهواء يصدر صوتاً تواتره  $f = 1000 \text{ Hz}$  حيث سرعة انتشار الصوت في هواء المزمار  $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$  في درجة حرارة التجربة:

1. احسب عدد أطوال الموجة التي يحويها المزمار.
2. إذا تكونت داخله عقدة واحدة فقط في منتصف المزمار في الدرجة نفسها من الحرارة، فاحسب تواتر الصوت البسيط عندئذ.
3. إذا كانت سرعة انتشار الصوت في الهواء  $v = 331 \text{ m.s}^{-1}$  في الدرجة  $0^\circ \text{C}$  ، فاحسب درجة حرارة التجربة.

#### المسألة (32):

يصدر مزمار ذو فم نهايته مفتوحة صوتاً بإمرار هواء بدرجة  $t = 15^\circ \text{C}$  ، فيتكون داخله عقدتان للاهتزاز بعد بينهما  $50 \text{ cm}$

- المطلوب:**
1. طول موجة الصوت البسيط الصادر عن المزمار.
  2. طول المزمار.
  3. تواتر الصوت البسيط الصادر عن المزمار.
  4. طول مزمار آخر ذي فم نهايته مغلقة يعطي في الدرجة  $t = 15^\circ \text{C}$  صوتاً أساسياً موقتاً للصوت الصادر عن المزمار السابق.
- سرعة انتشار الصوت في الهواء بالدرجة  $v = 331 \text{ m.s}^{-1}$  تساوي  $t = 0^\circ \text{C}$

#### المسألة (33):

1. لدينا مزمار متشابه الطفين طوله  $L = 3.32 \text{ m}$  يصدر صوتاً تواتره  $f = 1024 \text{ Hz}$  ، وهو يحوي هواء بدرجة  $t = 15^\circ \text{C}$  ينتشر فيه الصوت بسرعة  $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$  . احسب عدد أطوال الموجة التي يحويها المزمار.
2. نريد أن يحوي المزمار نصف عدد أطوال الموجة السابقة وهو يصدر الصوت السابق نفسه بتغيير درجة حرارة هوائه فقط لتصبح  $t'$  ، احسب قيمة  $t'$ .
3. إذا تكون في طرف المزمار بطان للاهتزاز وعقدة واحدة فقط في منتصفه بدرجة الحرارة  $t = 15^\circ \text{C}$  بتغيير قوّة النفح عند منبعه الصوتي. احسب تواتر الصوت الصادر عنه حينئذ.

#### المسألة (34):

استعمل عمود هوائي مغلق لقياس سرعة انتشار الصوت بواسطة رنانة تواترها  $f = 392 \text{ Hz}$  ، فسمع أول صوتٍ

شديدٍ عندما كان طول عمود الهواء مساوياً  $L_1 = 23.15\text{ cm}$ ، وسمع الصوت الشديد الثاني عندما كان طول عمود الهواء مساوياً  $L_2 = 66.3\text{ cm}$ . احسب سرعة انتشار الصوت في هذه الحالة. هل درجة الحرارة في العمود الهوائي أكبر أم أصغر من درجة حرارة الغرفة؟ (والتي تساوي  $20^\circ\text{C}$ ). ( $t = 20^\circ\text{C}$ ).

### المسألة (35):

مزمار ذو فم نهايته مغلقة يحوي غاز الأكسجين سرعة انتشار الصوت فيه  $v = 324\text{ m.s}^{-1}$  يصدر صوتاً أساسياً تواتره  $f = 162\text{ Hz}$ .

- احسب طول هذا المزمار.
- نستبدل بغاز الأكسجين في المزمار غاز الهيدروجين في درجة الحرارة نفسها، احسب تواتر الصوت الأساسي الذي يصدره هذا المزمار في هذه الحالة.

### المسألة (36):

يعمل أنبوب لتوسيع الأشعة السينية بتوتر  $V = 10^4 \times 8$  حيث يصدر الإلكترون عن المهبط بسرعة معروفة عملياً.

**المطلوب:**

- استنتاج بالرموز الطاقة الحرارية للإلكترون عند اصطدامه بمقابل المهبط (الهدف)، ثم احسب قيمتها.
- احسب سرعة الإلكترون لحظة اصطدامه بالهدف.
- احسب أقصى طول موجة للأشعة السينية الصادرة.

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}, \quad m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}, \quad h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J.s}, \quad e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

يهمل ثقل الإلكترون

### المسألة (37):

يضيء منبع وحيد اللون، طول موجته  $0.5\text{ }\mu\text{m}$  حجيرةً كهرضوئيةً طاقةً انتراع الإلكترون فيها  $J = 33 \times 10^{-20}\text{ J}$ .

**المطلوب:**

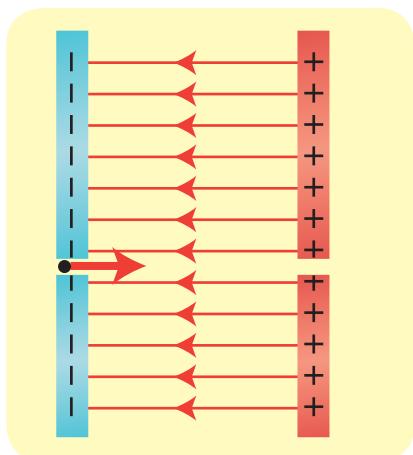
- احسب طول موجة عتبة الإصدار.
- احسب الطاقة الحرارية للإلكترون لحظة انتراعه من المهبط وسرعته العظمى.

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}, \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}, \quad h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

### المسألة (38):

نطّق فرقاً في الكمون، قيمته  $720\text{ V}$  بين اللبوسين الشاقوليَّين لمكتبة مستورية. ندخل إلكتروناً ساكناً في نافذة من اللبوس السالب. استنتاج العلاقة المحددة لسرعة هذا الإلكترون عندما يخرج من نافذة مقابلة في اللبوس الموجب - بإهمال ثقل الإلكترون - ثم احسب قيمتها.

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}, \quad m_e = 9 \times 10^{-31} \text{ kg}$$



### المسألة (39):

نوَّد حزمة من الإلكترونات أفقيةً نعُدها متجانسة سرعتها  $4 \times 10^7 \text{ m.s}^{-1}$  في الخلاء ونجعلها تدخل بين

لبوسي مكثفة مستوية أفقية يبعد أحدهما عن الآخر  $d = 2\text{ cm}$  وبينهما فرق في الكمون  $V = 900\text{ V}$   
المطلوب:

1. احسب شدة الحقل الكهربائي المنتظم بين لبوسي المكثفة.
2. احسب شدة القوة الكهربائية التي يخضع لها إلكترون من الحزمة.
3. ادرس حركة إلكترون من الحزمة بين لبوسي المكثفة وحدّد معادلة حامل مساره بالنسبة مراقب خارجي.
4. حساب شدة المغناطيسي المعادل للحقل الكهربائي المتولد بين لبوسي المكثفة الذي يجعل الإلكترون يتحرّك بحركة مستقيمة منتظمة.  
 $m_e = 9 \times 10^{-31}\text{ kg}$  ,  $e = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$

#### المسألة (40):

أشعة سينية تواترها  $Hz = 3 \times 10^{18}$  الأعظمي تصدر عن أنبوب لتوليد الأشعة السينية. بإهمال سرعة الإلكترون لحظة مغادرته المهبط،

المطلوب:

1. احسب طول الموجة الأصغرى للأشعة السينية الصادرة.
2. احسب فرق الكمون بين المصعد والمهبط.
3. احسب سرعة إلكترون لحظة اصطدامه بمقابل المهبط (الهدف).  
 $(e = 1.6 \times 10^{-19}\text{ C}$  ,  $c = 3 \times 10^8\text{ m.s}^{-1}$  ,  $m_e = 9 \times 10^{-31}\text{ kg}$  ,  $h = 6.6 \times 10^{-34}\text{ J.s}$ )

يهمل ثقل الإلكترون

#### المسألة (41):

يعد المريخ عن الشمس وسطياً  $AU = 1.52\text{ AU}$  وتصل سطحه تقريباً 100% من أشعة الشمس المتوجهة إليه، فإذا علمت أن النقص في كتلة الشمس  $kg.s^{-1} = 4.22 \times 10^{11}\text{ kg.s}^{-1}$  فاحسب الطاقة التي يتلقاها  $km^2$  من سطح المريخ خلال دقيقة واحدة.

(الوحدة الفلكية AU هي المسافة بين الأرض والشمس وسطياً وتعد 150 مليون كيلومتر)

#### المسألة (42):

قيس الانزياح في طول موجة الهيدروجين لمجرة فكان 5% مما كان عليه، احسب بعد تلك المجرة. باعتبار ثابت هابل  $H_0 = 68\text{ kg.s}^{-1}/Mpc$  ، وفرسخ الفلكي  $pc = 3.26\text{ light year}$  ، وسرعة الضوء في الخلاء  $c = 3 \times 10^8\text{ m.s}^{-1}$

#### المسألة (43):

باعتبار لكتوب المريخ شكل كروي قطره  $6800\text{ km}$  وكتلته  $kg = 6.4 \times 10^{23}\text{ kg}$

1. احسب سرعة الإفلات من جاذبية المريخ.
2. لو ضغط المريخ حتى أصبح ثقاباً أسود فاحسب نصف قطر المريخ عندئذ.



## المصطلحات الانكليزية

English	Arabic
Simple Harmonic Motion	الحركة التوافقية البسيطة
Spring	نابض
Restoring Force	قوة الإرجاع
Amplitude	المطال
Frequency	التواتر
Phase	الدور
Elastic Potential Energy	الطاقة الكامنة المرونية
Kinetic Energy	الطاقة الحركية
Mechanical Energy	الطاقة الميكانيكية
Sinusoidal Torsional vibrations	الاهتزازات الجيبية الدورانية
Undamped Torsional Pendulum	نوّاس الفتيل غير المتخادم
Torsional Pendulum	نواس الفتيل
Torsion Spring	سلك الفتيل
Torsion Spring Constant	ثابت فتل السلك
Double Torsion	مزدوجة الفتيل
Angular Amplitude	المطال الزاوي
Anharmonic Oscillation	الاهتزازات غير التوافقية
Non-Damped Gravity Pendulum	النوّاس الثقلّي غير المتخادم
Compound Pendulum	النوّاس المركب
Simple Pendulum	النوّاس البسيط
Fluid Mechanics	ميكانيك الموائع
Ideal Fluid	المائع المثالي
Flow Line	خط الانسياب

English	Arabic
Uniform Flow	الجريان المنتظم
Non-Uniform Flow	الجريان غير المنتظم
Flow Rate	معدل التدفق
Continuity Equation	معادلة الاستمرارية
Bernoulli Equation	معادلة برنولي
Torricelli's Theorem	نظرية تور يشيلي
Lift Force	قوة الرفع
Conjugate Pairs	النسبةُ الخاصةُ
Acid Dissociation Constant (Ka)	Special Relativity
Frame of Reference	جملة المقارنة
The Speed of Light in Vacuum	سرعة الضوء في الخلاء
Relativistic Mechanics	ميكانيكٍ نسبيٍّ
Rest Energy	طاقة سكونية
Magnetism	المغناطيسية
Horseshoe Magnet	مغناطيسيٌّ نضويٌّ
Magnetic Field	حقلٌ مغناطيسيٌّ
Magnetic Field Strength	شدّةُ الحقلِ المغناطيسيٌّ
Magnetic Permeability	عاملُ النفاذية المغناطيسية
Earth's Magnetic Field	الحقلُ المغناطيسيُّ الأرضيُّ
Electromagnetic Effect	الأثرُ المغناطيسيُّ للتيار الكهربائيُّ
Magnetic Flux	تدفقٌ مغناطيسيٌّ
Lorentz Force	قوةُ لورنتز
Maxwell Theory	نظرية مكسويل
Galvanometer	مقياسُ غلفانيٍّ

English	Arabic
Barlow's Wheel	دولابُ بارلو
Electromagnetic Energy	طاقةُ كهرومغناطيسيةٌ
Induced Current	تيارٌ كهربائيٌّ مُتحرِّضٌ
Induced Electric Field	قُوَّةُ مُحرِّكةٍ كهربائيةٌ مُتحرِّضةٌ
Induced Magnetic Field	حُقلٌ مغناطيسيٌّ مُتحرِّضٌ
Electromagnetic Induction	التحريضُ الكهرومغناطيسيُّ
Alternator, Sinusoidal AC	مُولَّدٌ، تيارٌ مُتناوبٌ جيبويٌّ
Foucault Currents	تياراتُ فوكو
Self-Inductance	تحريضُ ذاتيٍّ
Self-Inductance Coil	ذاتيَّةُ الوشيعةِ
Oscillator Circuits and High-Frequency Currents	الدَّاراتُ المُهتَزَّةُ والتياراتُ عاليَّةُ التَّواتُرِ
Low-Frequency Currents	التياراتُ المُنخَفِضَةُ التَّواتُرِ
High-Frequency Currents	التياراتُ العاليةُ التَّواتُرِ
Oscillatory Discharge	التَّفريغُ المُهتَزُّ
Electrical Resonance	الطنينُ الكهربائيُّ
Electric Transformer	المُحوِّلاتُ الكهربائيةُ
Standing Waves	الأمواجُ المستقرَّةُ
Transverse Standing Waves	الأمواجُ المستقرَّةُ العرضيَّةُ
Ionization Energy	طاقةُ التَّأينِ
Energy Levels	سوياتُ الطَّاقةِ
Atomic Spectra	الطَّيفُ الذَّرِّيَّةُ
Spectral Analysis	التحليلُ الطَّيفيُّ
Orbit	مدار

English	Arabic
Electric Power	القوّة الكهربائية
Binding Energy	طاقة ارتباط
Cathode Rays	الأشعة المهبطيّة
Electric Discharge	الانفراغُ الكهربائيٌّ
Fluorescent Screen	الشاشة المُتألّقة
Quantum Theory	نظريةُ الكمِّ
Einstein Theory	نظريةُ أينشتاين
Photovoltaic Effect	الفعلُ الكهروضوئيٌّ
Photovoltaic Cell	الخليةُ الكهروضوئيَّة
X-Rays	الأشعةُ السينيَّة
The Nature of X-Rays	طبيعةُ الأشعةِ السينيَّة
X-Rays Absorption	امتصاصُ الأشعةِ السينيَّة
X-Rays Permeability	نفاذُ الأشعةِ السينيَّة
Laser Radiation	أشعةُ الليزر
Stimulated Emission	الإصدارُ المحفوظ
Spontaneous Emission	الإصدارُ التلقائيٌّ
The Active Medium	الوسطُ الفعال
Astrophysics	الفيزياءُ الفلكيَّة
Astronomical Object	جسمٌ سماويٌّ
Star	النَّجْمُ
Galaxy	المجرَّة
Planet	الكوكُبُ،
Spectra of Stars	طيفُ النُّجومِ

<b>English</b>	<b>Arabic</b>
Wave Displacement	الانزياحُ المَوْجِيُّ
Expansion of the Universe	تمددُ الكونِ
Escape Velocity	سرعةُ الْإِفْلَاتِ
Schwarzschild Radius	نصفُ قطرِ شفارتزشيلد