

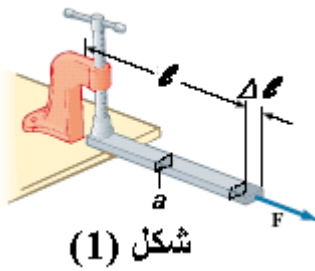
## مقدمة لتجارب المرونة

إذا أثرت قوة أو مجموعة من القوى على جسم ثابت (ساكن) ولم تحدث أي تغيير في شكل الجسم قيل أن الجسم صلد Rigid، ولكن غالباً ما تسبب القوة تغييراً في أبعاد الجسم أو في شكله الهندسي بصفة عامة، فإذا زالت القوة المؤثرة واسترجع الجسم حالته الأصلية قيل أن الجسم تام المرونة Perfect Elastic وإن لم يسترجع الجسم شكله الأصلي لأي درجة بعد زوال القوة المؤثرة فيقال أن الجسم عديم المرونة أي جسم لدن Perfect Plastic. والأجسام الصلبة تحت تأثير القوى الخارجية تقع في استجابتها للتغير بين هاتين الخاصيتين المرونة واللدونة Elasticity and Plasticity. ومن ذلك يمكن تعريف الجسم المرن بأنه ذلك الجسم الذي يعاني تغييراً في الشكل أو الحجم تحت تأثير القوى الخارجية، ولكنه يستعيد شكله وحجمه بمجرد زوال هذه القوى.

تسمى القوة لوحدة المساحة بالإجهاد  $\sigma$  ويسمى التغير النسبي الذي تحدثه تلك القوة في أبعاد الجسم بالانفعال  $\epsilon$ ، والنسبة بين الإجهاد والانفعال تساوي مقدار ثابت يسمى بمعامل المرونة، وأبعاد معامل المرونة هي نفس أبعاد الإجهاد (نيوتن/متر<sup>2</sup>) حيث أن الانفعال نسبة ليس لها وحدات.

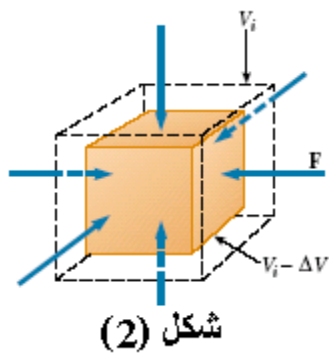
وهناك ثلاثة معاملات للمرونة، تبعاً لطبيعة الانفعال وهي:

- 1- إذا كان الانفعال يتضمن تغييراً في الطول فقط (كما يحدث ل قضيب مشدود كما بالشكل (1)) سمي معامل المرونة بمعامل ينج  $Y$  وتعريفه هو:



$$Y = \frac{F/a}{\Delta l/l}$$

حيث:  $F$  القوة المؤثرة (الشدة)،  $a$  مساحة المقطع المستعرض،  $l$  الطول،  $\Delta l$  الاستطالة الكلية.

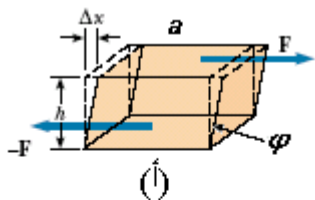


شكل (2)

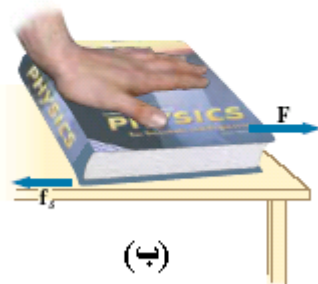
2- إذا كان الانفعال يتضمن تغيراً في الحجم فقط (كما هو الحال في جسم معرض لضغط هيدروستاتيكي  $\Delta P$  كما بالشكل (2)) سمي معامل المرونة المعامل الحجمي  $K$  وتعريفه هو:

$$K = - \frac{\Delta P}{\Delta V / V}$$

حيث أن  $\Delta V$  التغير في الحجم  $V$  الذي ينشأ عن الضغط  $\Delta P$  وقد وضعت الإشارة السالبة لتدل على أن الزيادة في الضغط يصاحبها نقص في الحجم. ومقلوب المعامل الحجمي يسمى بمعامل الانضغاط.



(أ)



(ب)

شكل (3)

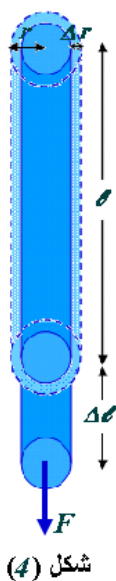
3- إذا كان الانفعال يتضمن تغييراً في الشكل فقط (كما يحدث لمكعب يؤثر على وجهين متقابلين فيه ازدواج (أ-3) أو كما يحدث لك تاب يؤثر على وجهين متقابلين فيه ازدواج كما بالشكل (3-ب)) سمي معامل المرونة بمعامل الصلابة أو معامل القص  $N$  وتعريفه هو:

$$N = \frac{F/a}{\phi}$$

حيث  $F$  القوة المماسية،  $a$  مساحة الوجه المؤثرة عليه القوة،  $\phi$  زاوية القص أي انحراف الوجه العمودي على  $F$ .

وثمة ثابت رابع يقترن بالانفعال الطولي ويسمى نسبة بواسون  $\kappa$  وهي نسبة عددية بحتة لا أبعاد لها بخلاف معاملات المرونة الثلاثة والتي أبعادها نيوتن/متر<sup>2</sup> وتعريف نسبة بواسون هو:

$$\kappa = \frac{\Delta r / r}{\Delta \ell / \ell}$$



شكل (4)

حيث:  $\Delta \theta$  الاستطالة التي تنشأ عند سلك طوله  $\ell$  ،  $\Delta r$  الانكماش في نصف قطر السلك  $r$  المصاحب لهذه الاستطالة .

## منحني الإجهاد – الانفعال لمادة

### الهدف من التجربة:

1- دراسة منحني الإجهاد – الانفعال لمادة سلك.

2- تعيين معامل ينج لمادة السلك.

### نظرية التجربة:

سبق في المقدمة أن عرفنا الجسم

المرن ومعاملات المرونة، ومنها معامل ينج

$Y$ . إذا أثرنا بقوة شد  $F$  متغيرة على طرف

سلك معدني قابل للسحب "مطاوع"

(Ductile Metals) مثبت من أحد طرفيه ،

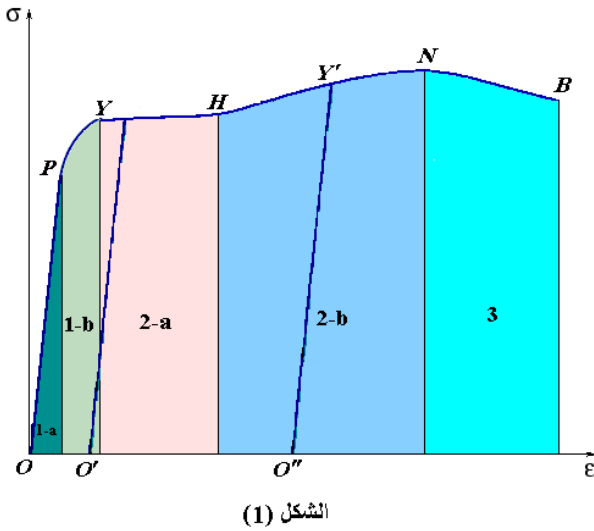
وطوله  $l$  ومساحة مقطعه  $a$  ثم رسمنا العلاقة

بين الإجهاد المباشر المتزايد والانفعال

المنظر الناتج فإننا نحصل على الشكل (1).

ويمكن تقسيم هذا الشكل إلى عدة مناطق

كالتالي:



1. منطقة المرونة Elastic Region: في المنطقة (1) بالشكل (1) يكون السلك في هذه

المنطقة تام المرونة فإذا أزيل الإجهاد عند أي لحظة يعود السلك إلى طوله الأصلي عند

النقطة  $O$  متبعاً نفس المسار. وتكون القوة  $F$  في تلك المنطقة قوة محافظة

Conservative أي أن الشغل الذي تبذله لإنتاج الانفعال يمكن استعادته. وتنقسم تلك

المنطقة في بعض المواد إلى منطقتين:

a- منطقة التناسب Proportional Region: في المنطقة (1-a) يتبع السلك قانون

هوك:

$$F = -k \Delta l = -\frac{aY}{l} \Delta l$$

حيث  $k$  هو ثابت القوة أو ثابت هوك وهو يتوقف علي أبعاد السلك ونوع مادته، والإشارة السالب لها معني فيزيائي فقط وهو أن القوة قوة استرجاع تعمل علي إنقاص  $\Delta l$ . ومعني ذلك أن الإجهاد في هذه المنطقة يتناسب تناسباً طردياً "خطياً" مع الانفعال:

$$\sigma = Y \varepsilon$$

وثابت التناسب هو معامل ينح وهو مقدار ثابت يتوقف علي نوع المادة فقط، وتسمى النقطة  $P$  بحد التناسب.

b- في المنطقة (1-b) عند زيادة الإجهاد عن حد التناسب  $P$  يظل السلك تام المرونة ولكن لا يتبع قانون هوك أي أن العلاقة بين الإجهاد والانفعال تكون غير خطية.

2. منطقة التشوه اللدن Plastic Deformation: في المنطقة (2) بالشكل (1) إذا زاد الإجهاد عن إجهاد النقطة  $Y$  التي تسمى بنقطة الإذعان أو الخضوع (Yield Point) نجد أن السلك يفقد مرونته فإذا خُفِّضَ الإجهاد بالتدريج فإن السلك لن يتبع نفس المسار ولن يعود إلي شكله وطوله الأصلي عند  $O$  وإنما يكتسب انفعالا دائما (مثل  $OO'$  أو  $OO''$ )، كما نلاحظ أن المسار الجديد الذي اتبعه السلك يكون موازياً للخط  $OP$  كما هو موضح بالشكل (1). وتنقسم تلك المنطقة في بعض المواد "مثل الحديد الصلب" إلي منطقتين:

a- منطقة الإذعان أو الخضوع Yielding Region: في المنطقة (2-a) بعد نقطة الإذعان  $Y$  نجد أن الانفعال يكون كبيراً لأي زيادة صغيرة في الإجهاد، ولذلك يكون الميل قريب من الصفر في تلك المنطقة كما هو مبين في شكل (1).

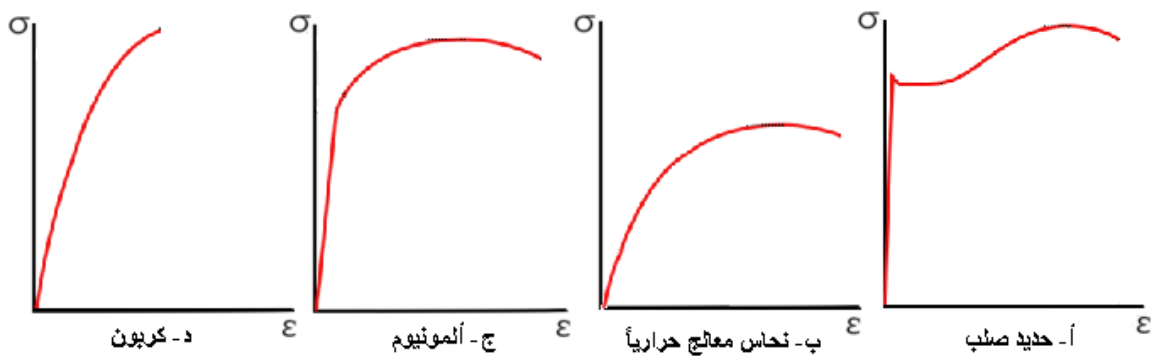
b- منطقة التصلد الانفعالي Strain Hardening Region: في المنطقة (2-b) إذا زاد الإجهاد عن إجهاد النقطة  $H$  نجد أنه لا بد من زيادة الإجهاد بقيمة كبيرة نسبياً للحصول علي انفعال محسوس، ولذلك يكون الميل أكبر بكثير من الصفر.

وبعد حد التصلد الانفعالي  $H$  إذا خُفِّضَ الإجهاد بالتدريج فإن السلك سوف يكتسب انفعالا دائما  $OO''$  كما هو مبين في شكل (1). وإذا أجريت التجربة من جديد نحصل على المنحني  $O''Y'NB$  ويكون ميل الخط  $O''Y'$  مساويا لمعامل ينح

حتى النقطة  $N$  التي تمثل أقصى إجهاد Ultimate Stress يتحملة السلك وتسمى بنقطة الاختناق (Necking Point). وقبل نقطة الاختناق تتناقص مساحة مقطع السلك  $a$  بانتظام طبقاً لعلاقة بواسون:

$$\kappa = \frac{\Delta r / r}{\Delta e / e}$$

السلك عند نقطة الكسر  $B$  (Breaking Point) كما هو موضح في المنطقة (3) بالشكل (1). ويلاحظ أنه لا يمكن مشاهدة التغيرات في تلك المنطقة بالعين المجردة ولكن تحتاج لأجهزة خاصة.



ويجب أن نلاحظ أن منحني الإجهاد – الانفعال الموضح بالشكل ( 1 ) يختلف من مادة لأخرى من حيث اتساع المناطق وعددها. فالحديد الصلب تنطبق فيه نقطة التناسب مع نقطة الإذعان، أي أن العلاقة بين الإجهاد والانفعال في منطقة المرونة كلها تكون خطية كما بالشكل ( 3-أ)، في

حين توجد بعض المواد تكون العلاقة بين الإجهاد والانفعال في منطقة المرونة كلها غير خطية، كالنحاس كما في الشكل (3-ب). كما أن معظم المواد القابلة للسحب عدا الحديد الصلب لا تظهر نقطة إذعان واضحة، مثل الألمونيوم في الشكل (3-ج). إذا كانت المادة تتمتع بمطاوعة كبيرة بعد المرور بحد المرونة وقبل أن يحدث لها كسراً، يقال أن المادة قابلة للسحب "مطاوعة" Ductile. أما إذا حدث لها كسراً سريعاً بُعيد المرور بحد المرونة مباشرة، يقال أن المادة هشة Brittle مثل الكربون كما بالشكل (3-د). ويلاحظ أن كل من معامل ينج وأقصى إجهاد للمادة الهشة يكون كبيراً نسبياً بالمقارنة بالمواد القابلة للسحب.

### الأدوات المستخدمة:

سلك من الم ادة المراد دراسته - جهاز الشد - أثقال - ميكروميتر - ميكروسكوب متحرك "Traveling Microscope".

### خطوات العمل:

- 1- عين نصف قطر السلك في أكثر من موضع باستخدام الميكروميتر واحسب المتوسط  $r_0$  ومنها احسب مساحة مقطع السلك  $a = \pi r_0^2$ .
- 2- ثبت السلك المراد دراسته في جهاز الشد وضع عليه علامة واضحة بقلم رفيع، ثم عين الطول  $l$  بين العلامة ونقطة التثبيت.
- 3- حرك الميكروسكوب المتحرك حتى تنطبق نقطة تقاطع خطي العينية مع العلامة الموضوعة علي السلك، ثم عين قراءة ورانية الميكروسكوب ولتكن  $X_0$ .
- 4- ضع ثقل مناسب كتلته  $m$  في الكفة ثم حرك الميكروسكوب المتحرك حتى تنطبق نقطة تقاطع خطي العينية مع العلامة الموضوعة علي السلك، ثم عين قراءة ورانية الميكروسكوب ولتكن  $X$  ثم احسب الاستطالة الحادثة  $\Delta l$  في السلك نتيجة لهذا الثقل من العلاقة:

$$\Delta l = |X - X_0|$$

سجل النتائج في الجدول التالي.

- 5- كرر الخطوة السابقة بزيادة الأثقال بانتظام حتى الوصول لمرحلة الكسر.

- 4- احسب الإجهاد  $\sigma = mg/a$  والانفعال المقابل  $\epsilon = \Delta l/l$  في كل خطوة.

5- ارسم العلاقة بين الانفعال  $\epsilon$  علي محور السينات والإجهاد  $\sigma$  علي محور الصادات.

6- حدد علي الرسم حد التناسب  $P$  وحد الإذعان  $Y$  وحد التصلد الانفعالي  $H$  ونقطة الاختناق  $N$  ونقطة الكسر  $B$ .

النتائج:

$$r_o = \dots \text{ cm} \quad a = \pi r_o^2 = \dots \text{ cm}^2$$

$$\ell = \dots \text{ cm} \quad X_o = \dots$$

$m$	$F=mg$	$X$	$\Delta \ell$	$\sigma=F/a$	$\epsilon=\Delta \ell / \ell$

حد التناسب  $P = \dots$  داين/سم<sup>2</sup>

نقطة الإذعان  $Y = \dots$  داين/سم<sup>2</sup>

حد التصلد الانفعالي  $H = \dots$  داين/سم<sup>2</sup>

نقطة الاختناق  $N = \dots$  داين/سم<sup>2</sup>

نقطة الكسر  $B = \dots$  داين/سم<sup>2</sup>

معامل ينج  $Y = \text{ميل الخط المستقيم } OP = \dots$  داين/سم<sup>2</sup>



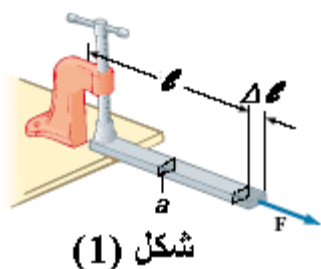
## تعيين معامل ينج لمادة قضيب مثبت من طرف واحد بطريقة استاتيكية

### الهدف من التجربة:

تعيين معامل ينج لمادة على شكل قضيب مثبت من طرف واحد بطريقة استاتيكية.

### نظرية التجربة:

سبق في المقدمة أن عرفنا الجسم المرن ومعاملات المرونة، ومنها معامل ينج  $Y$ . والتجربة المباشرة لتعيين معامل ينج  $Y$  لمادة قضيب هي أن نثبت القضيب من أحد طرفيه ونجذب من الطرف الآخر بقوة  $F$  عمودياً على مساحة مقطعة  $a$  ونعين الزيادة  $\Delta \ell$  في طوله الأصلي  $\ell$  كما بالشكل (1) ثم نحسب معامل ينج من العلاقة:



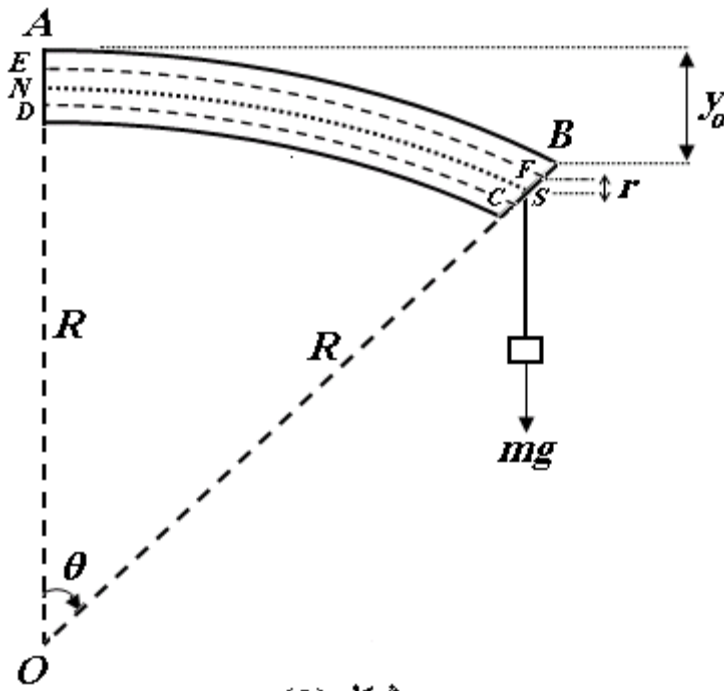
$$Y = \frac{F/a}{\Delta \ell / \ell}$$

ولكن في بعض الحالات عند تعيين معامل ينج  $Y$  لمادة قضيب لا يمكننا استخدام التجربة المباشرة، وفي هذه الحالة نلجأ إلى وسيلة غير مباشرة باستخدام نظرية انحناء القضبان تحت تأثير قوة خارجية حيث يمكن حساب الإجهاد والانفعال الناشئ في القضيب من انحناء السطح وأبعاده الهندسية. ولتحقيق ذلك هناك طريقتان:

الطريقة الأولى: وفيها نثبت القضيب جيداً من أحد طرفيه ونعلق ثقلاً بالطرف الآخر "وهذه الطريقة يمكن إجراؤها استاتيكية كما في هذه التجربة أو ديناميكية كما في التجربة التالية".

الطريقة الثانية: نضع القضيب على حدي سكين ونعلق ثقلاً من منتصفه وسيتم بمشيئة الله دراستها في تجربة أخرى.

$AB$  طوله  $\ell$  مثبت أفقياً عند الطرف  $A$  و معلق بالطرف الآخر  $B$  ثقل كتلته  $m$ ، فإذا كانت كتلة القضيب صغيرة بالنسبة للثقل فلن الانخفاض الكلي  $y_0$  للطرف  $B$  يكون صغيراً، و يمكن اعتباره نتيجة للثقل المعلق . و يترتب علي ذلك انحناء القضيب ع لى شكل قوس من دائرة نصف قطرها كبير جدا وتكون الزاوية عند المركز  $\theta$  بالتقدير الدائري.



**شکل (2)**

إذا تخيلنا أن القضيب يتكون من عدة شرائح موازية لطوله ومساحة المقطع المستعرض لكل شريحة هو  $a$ ، فإن الشريحة المتوسطة  $NS$  والتي تمر بمركز ثقل القضيب تسمي بالمستوي المحايد حيث أنها لن تعاني أي تغير في طولها  $l$  أي أن:

$$NS = \ell = R\theta$$

حيث  $R = ON = OS$  هو نصف قطر انحناء المستوي المحايد ، أما باقي شرائح القضيب فإما تستطيل "شَوَّ" مثل الشريحة  $EF$  أو تقصر "تضغَط" مثل الشريحة  $DC$  تبعا لوضعها أعلى أو أسفل المحور المحايد . فمثلا الشريحة  $EF$  والتي هي على مسافة  $r$  من المحور المحايد يعتمد الانفعال الحادث بها على قيمة  $r$  حيث:

$$EF = \ell + \Delta \ell = (R + r) \theta$$

وعليه فلن الزيادة في الطول تكون  $\theta$  و  $r$  والانفعال يصبح  $r/R$ . فإذا فرضنا أن  $F$  هي القوة الداخلية المؤثرة على الشريحة  $EF$  فلنّه حسب تعريف معامل ينج، نحصل على العلاقة:

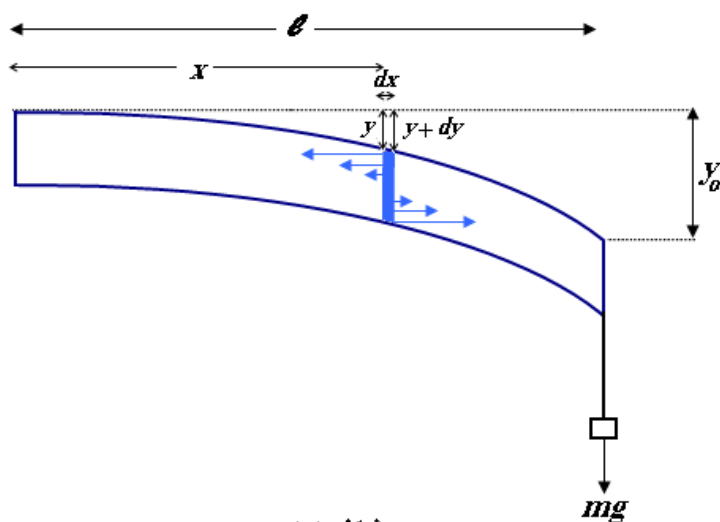
$$Y = \frac{F/a}{r/R}$$

ومن هنا نجد أن القوة الداخلية  $F$  المؤثرة على أي شريحة من القضيب تتناسب مع بعد الشريحة  $r$  عن المحور المحايد حيث:

$$F = \frac{Y}{R} a r$$

هذه القوة لها عزم  $\kappa$  حول المستوي المحايد يمثل بالمعادلة:

$$\kappa = F r = \frac{Y}{R} a r^2$$



شكل (3)

ولتصور هذه القوى الداخلية دعنا نأخذ مقطع مستعرض من القضيب سمكه  $dx$  عند نقطة تبعد مسافة  $x$  من نقطة التثبيت كما بالشكل (3)، وسوف يبدو أن هناك نظام من القوى الداخلية خلال هذا المقطع وتعمل هذه القوى على زيادة طول الشرائح أعلى محور التعادل وانضغاط الشرائح أسفله . مجموع عزوم هذه القوى يسبب ازدواج  $\tau$  في عكس اتجاه عقارب الساعة حيث:

$$\tau = \sum \kappa = \frac{Y}{R} \sum a r^2 = \frac{Y}{R} I$$

حيث  $I$  عزم القصور الذاتي المساحي. وعند الاتزان فإن هذا الازدواج يساوي ويضاد في الاتجاه عزم الازدواج الخارجي  $mg(\ell - x)$  الناشئ عن الثقل  $m$ :

$$m g (\ell - x) = \frac{Y}{R} I \quad (1)$$

ورياضيا يمكن حساب نصف قطر الانحناء  $R$  بدلالة الانخفاض  $y$  للنقطة التي تبعد مسافة  $x$  من نقطة التثبيت من العلاقة:

$$\frac{1}{R} = \frac{d^2 y / dx^2}{\left[ 1 + \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}}$$

في هذه الحالة  $dy/dx$  صغيرة حيث أننا افترضنا أن الانخفاض الكلي  $y_0$  عند الطرف الحر صغير وعليه يمكن إهمال  $\left( \frac{dy}{dx} \right)^2$  بالنسبة للواحد الصحيح في المقام وتصبح المعادلة علي الصورة:

$$\frac{1}{R} = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (2)$$

ومن العلاقتين (1)، (2) نحصل علي:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{m g}{Y I} (\ell - x)$$

وباجراء التكامل لهذه العلاقة نحصل علي:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{m g}{Y I} \left( \ell x - \frac{x^2}{2} \right) + C$$

حيث  $C$  مقدار ثابت ومن الشروط الحدية عند  $x = 0$  فإن  $dy/dx = 0$  نجد أن  $C = 0$  أيضاً، أي أن:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{m g}{Y I} \left( \ell x - \frac{x^2}{2} \right)$$

وباجراء التكامل لهذه العلاقة نحصل علي:

$$y = \frac{m g}{Y I} \left( \ell \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right) + C'$$

حيث  $C'$  مقدار ثابت ومن الشروط الحدية عند  $x = 0$  فإن  $y = 0$  نجد أن  $C' = 0$  أيضاً، أي أن:

$$y = \frac{m g}{Y I} \left( \ell \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{6} \right)$$

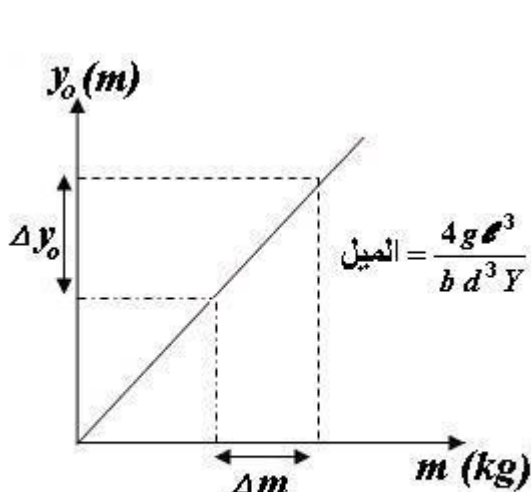
وبالتعويض عن  $x = \ell$  ،  $y = y_0$  نحصل علي الانخفاض  $y_0$  عند طرف القضيب الحر علي الصورة:

$$y_0 = \frac{g \ell^3}{3 I Y} m$$

وعزم القصور الذاتي المساحي  $I$  حول محور التعادل لقضيب مقطعه مستطيل يعطى من العلاقة:

$$I = \frac{b d^3}{12}$$

حيث  $b$  عرض مقطع القضيب،  $d$  سمكه. وبالتعويض عن  $I$  نحصل علي العلاقة:



شكل (3)

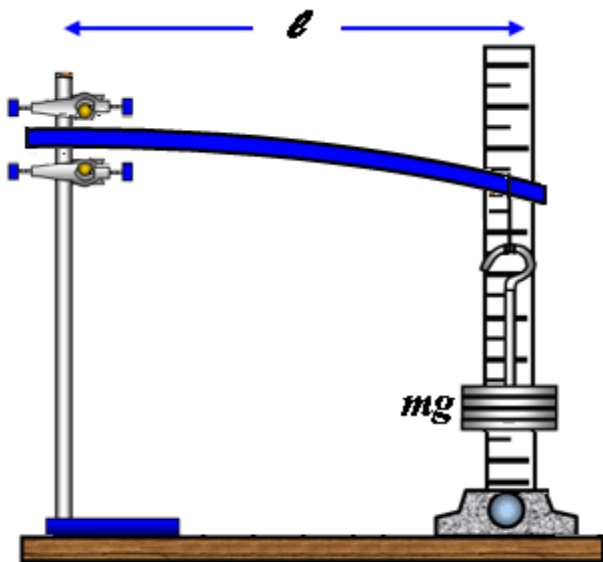
$$y_o = \frac{4g\ell^3}{bd^3Y} m$$

وإذا رسمنا هذه العلاقة بين  $m$  كمتغير مستقل علي المحور الأفقي وبين  $y_o$  كمتغير تابع علي المحور الرأسى كما بالشكل (2) نحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $(4g\ell^3/bd^3Y)$  وبمعلومية طول القضيب  $\ell$  وعرضه  $b$  وسمكه  $d$  وعجلة الجاذبية الأرضية  $g$  يمكن حساب معامل ينج  $Y$ .

### الأدوات المستخدمة:

قضيب خفيف الوزن غير سميك مثبت جيداً من احد طرفية في منضدة ومعلق عند طرفه الحر كفة مناسبة لوضع أثقال ، مجموعة كتل مختلفة، قدمه ذات الورانيق لقياس سمك وعرض القضيب.

### خطوات العمل:



شكل (4)

- 1 - عين أبعاد القضيب، وليكن طوله  $\ell$ ، وعرضه  $b$ ، وسمكه  $d$ .
- 2 - ثبت القضيب كما هو موضح بالشكل (3) ويوضع تدريج رأسى عند الطرف الحر للقضيب بحيث يتجه مؤشر خفيف مثبت عند الطرف الحر للقضيب إلى صفر التدريج.

3 - ضع كتلة مقدارها  $m$  في الكفة وسجل

الانخفاض  $y_o$  الذي حدث للطرف الحر للقضيب في الجدول التالي.

4 - كرر الخطوة (3)، مع زيادة الأوزان بمقدار ثابت.

5 - ارسم العلاقة البيانية بين الكتلة  $m$  على المحور الأفقي والانخفاض  $y_0$  على المحور الرأسي.

6 - احسب ميل الخط المستقيم من الرسم البياني وهو يساوي  $(4g\ell^3/bd^3Y)$  وبمعلومية  $\ell$  طول القضيب و  $b$  عرضه و  $d$  سمكه و  $g$  عجلة الجاذبية الأرضية يمكن حساب  $Y$  معامل ينج.

النتائج:

$\ell = \dots\dots$  متر       $b = \dots\dots$  متر       $d = \dots\dots$  متر

$m (kg)$	50	100	150	200	250	300	350
$y_0$							

من الرسم البياني:

$$\dots\dots = \frac{4g\ell^3}{bd^3Y} = \text{ميل الخط المستقيم}$$

$$\text{معامل ينج } Y = \frac{4g\ell^3}{bd^3} \times \frac{1}{\text{الميل}} = \dots\dots \text{ نيوتن / متر}^2$$

## تعيين معامل ينج لمادة قضيب مثبت من طرف واحد بطريقة ديناميكية

### الهدف من التجربة:

تعيين معامل ينج لمادة على شكل قضيب مثبت من طرف واحد بطريقة ديناميكية.

### نظرية التجربة:

سبق في المقدمة أن عرفنا الجسم المرن ومعاملات المرونة، ومنها معامل ينج  $Y$ . وفي تجربة تعيين معامل ينج لمادة قضيب مثبت من طرف واحد بطريقة استاتيكية درسنا انحناء قضيب مثبت من طرف واحد وينحني تحت تأثير قوة خارجية ناشئة عن ثقل معلق في طرفه الحر. واستنتجنا العلاقة بين الانخفاض  $y_o$  لطرف القضيب الحر وبين الكتلة  $m$  المعلقة به وكانت علي الصورة:

$$y_o = \frac{4g\ell^3}{bd^3Y} m$$

حيث:  $g$  عجلة الجاذبية الأرضية و  $\ell$  طول القضيب و  $b$  عرضه و  $d$  سمكه و  $Y$  معامل ينج. ومن هذه العلاقة يمكن استنتاج العلاقة بين القوة  $mg$  المسببة لانحناء القضيب وبين الانخفاض  $y_o$  حيث:

$$mg = \frac{bd^3Y}{4\ell^3} y_o$$

فإذا تعرض هذا القضيب إلي تأثير قوة إضافية  $F$  تسبب له إزاحة  $y$  عن موضع اتزانه وتكون القوة المحصلة هي:

$$(F + mg) = \frac{bd^3Y}{4\ell^3} (y + y_o)$$



فإذا ما ترك القضيب وشأنه فإن سوف يتذبذب تحت تأثير القوة المرنة الرادة والتي تعطي من العلاقة:

$$F = m \frac{d^2 y}{dt^2} = \frac{b d^3 Y}{4 \ell^3} y$$

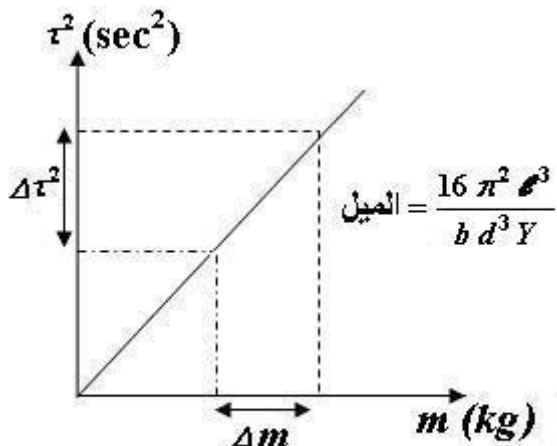
حيث  $t$  تمثل الزمن. ومعادلة الحركة هذه يمكن كتابتها علي الصورة:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = - \frac{b d^3 Y}{4 \ell^3 m} y = - \omega^2 y$$

وهذه معادلة حركة توافقية بسيطة، "يلاحظ أن الإشارة السالبة لها معني فيزيائي فقط وهو أن العجلة التي يتحرك بها الجسم تكون تقصيرية عند زيادة  $y$  والعكس صحيح"، أي أن القضيب يتذبذب حول وضع الاتزان بحركة توافقية بسيطة سرعتها الزاوية  $\omega$  حيث:

$$\omega^2 = 4\pi^2 \nu^2 = \frac{4\pi^2}{\tau^2} = \frac{b d^3 Y}{4 \ell^3 m}$$

هنا  $\nu$  التردد،  $\tau$  الزمن الدوري. ويمكن كتابة هذه العلاقة علي الصورة:



شكل (1)

$$\tau^2 = \frac{16 \pi^2 \ell^3}{b d^3 Y} m$$

وإذا رسمنا هذه العلاقة بين  $m$  كمتغير مستقل علي المحور الأفقي وبين  $\tau^2$  كمتغير تابع علي المحور الرأسى كما بالشكل (1) نحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل

وميله يساوي  $(16 \pi^2 \ell^3 / b d^3 Y)$  وبمعلومية

طول القضيب  $\ell$  وعرضه  $b$  وسمكه  $d$  يمكن حساب معامل ينج  $Y$ .

**ملحوظة:**

في العلاقة السابقة من الممكن وضع كتلة  $m$  ثابتة لا تتغير واعتبار  $\ell^3$  هو المتغير المستقل. أي نغير طول القضيب  $\ell$  وفي كل مرة نحسب الزمن الدوري  $\tau$  ثم نرسم علاقة بين  $\ell^3$  علي المحور الأفقي وبين  $\tau^2$  علي المحور الرأسى فنحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $(16 \pi^2 m / b d^3 Y)$ .

**الأدوات المستخدمة:**

قضيب خفيف الوزن غير سميك مثبت جيداً من احد طرفية في منضدة ومعلق عند طرفة الحر كفة مناسبة لوضع أثقال، ساعة إيقاف، قدمه ذات الورانيق لقياس سمك وعرض القضيب.

**خطوات العمل:**

1- عين أبعاد القضيب، وليكن طوله  $\ell$ ، وعرضه  $b$ ، وسمكه  $d$ .

2- ثبت القضيب كما هو موضح بالشكل (2).

3- ضع كتلة مقدارها  $m$  في الكفة ثم أجب

القوة بخفة لأسفل مسافة صغيرة ثم أتركها

لتتحرك حركة توافقية بسيطة. ثم عين بواسطة

ساعة الإيقاف زمن عشرة ذبذبات

$(10\tau)$  وسجل النتيجة في الجدول التالي.

4- كرر الخطوة (3)، مع تغيير الكتلة  $m$  في

كل مرة.

5- ارسم العلاقة البيانية بين الكتلة  $m$  على

المحور الأفقي ومربع الزمن الدوري  $\tau^2$  على المحور الرأسى.

6- احسب ميل الخط المستقيم من الرسم البياني وهو يساوي  $(16 \pi^2 \ell^3 / b d^3 Y)$

وبمعلومية  $\ell$  طول القضيب و  $b$  عرضه و  $d$  سمكه يمكن حساب  $Y$  معامل ينج.

**النتائج:**

$$d = \dots \text{ متر}$$

$$b = \dots \text{ متر}$$

$$\ell = \dots \text{ متر}$$

$m \text{ (kg)}$	$10 \tau$	$\tau$	$\tau^2$
50			
100			
150			
200			
250			
300			
350			
400			

من الرسم البياني:

$$\text{ميل الخط المستقيم} = \frac{16 \pi^2 \ell^3}{b d^3 Y} = \dots\dots$$

$$\text{معامل ينج } Y = \frac{16 \pi^2 \ell^3}{b d^3} \times \frac{1}{\frac{\text{نيوتن / متر}^2}{\text{الميل}}} = \dots\dots$$

## تعيين معامل ينج لمادة قضيب يرتكز على حدي سكين

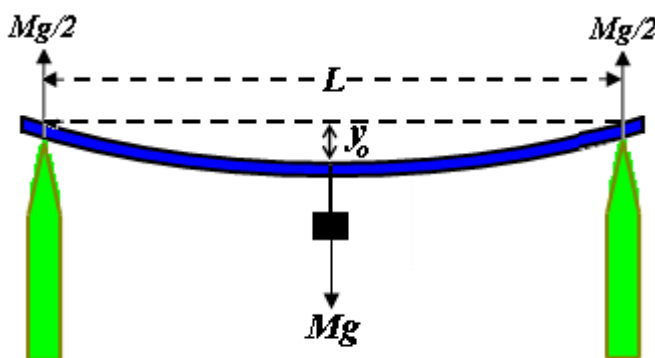
### الهدف من التجربة:

تعيين معامل ينج لمادة على شكل قضيب يرتكز على حدي سكين.

### نظرية التجربة:

سبق في المقدمة أن عرفنا الجسم المرن ومعاملات المرونة، ومنها معامل ينج  $Y$ . كما علمنا أيضاً أنه في بعض الحالات عند تعيين معامل ينج  $Y$  لمادة قضيب لا يمكننا استخدام التجربة المباشرة، وفي هذه الحالة نلجأ إلى وسيلة غير مباشرة باستخدام نظرية انحناء القضبان تحت تأثير قوة خارجية حيث يمكن حساب الإجهاد و الانفعال الناشئ في القضيب من انحناء السطح وأبعاده الهندسية. ولتحقيق ذلك نضع القضيب علي حدي سكين ونعلق ثقلاً من منتصفه.

فإذا ارتكز قضيب عند طرفيه



شكل (1)

على حدي سكين (المقصود أن تكون مساحة الارتكاز متناهية في الصغر إلى حد أنه يمكن اعتبارها نقطة) و علق به كتلة مقداره  $M$  عند منتصف المسافة  $L$  بين حدي السكين كما بالشكل (1) فإنه ينشأ نتيجة لذلك رد فعل قيمته  $Mg/2$

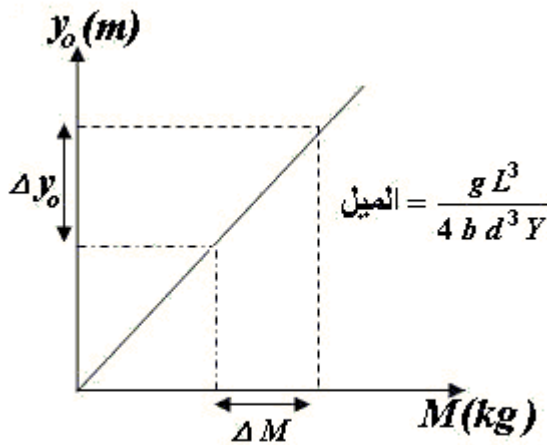
عند كل نقطة من نقطتي الارتكاز. إذا

كان الانخفاض الحادث عند المنتصف  $y_o$  فإنه سيكون مساوياً بالضبط للانخفاض عند طرف قضيب مماثل طوله  $L/2$  مثبت عند أحد طرفيه ويحمل ثقلاً عند طرفه الحر قدره  $Mg/2$ . وقد حصلنا في تجربة معامل ينج لقضيب مثبت من طرف واحد على علاقة تربط بين الانخفاض  $y_o$  وبين الكتلة  $m$  وهي:

$$y_o = \frac{4g\ell^3}{bd^3Y} m$$

وعليه فلنجه بالتعويض في هذه المعادلة عن الطول  $l$  بالقيمة  $L/2$  وبالتعويض عن الكتلة  $m$  بالقيمة  $M/2$  نحصل على العلاقة التي تربط بين قيمة الانخفاض  $y_0$  الذي يحدث في القضيب المرتكز على حدي سكين وبين الكتلة  $M$  المعلقة في منتصفه. وهذه العلاقة هي:

$$y_0 = \frac{g L^3}{4 b d^3 Y} M$$



شكل (2)

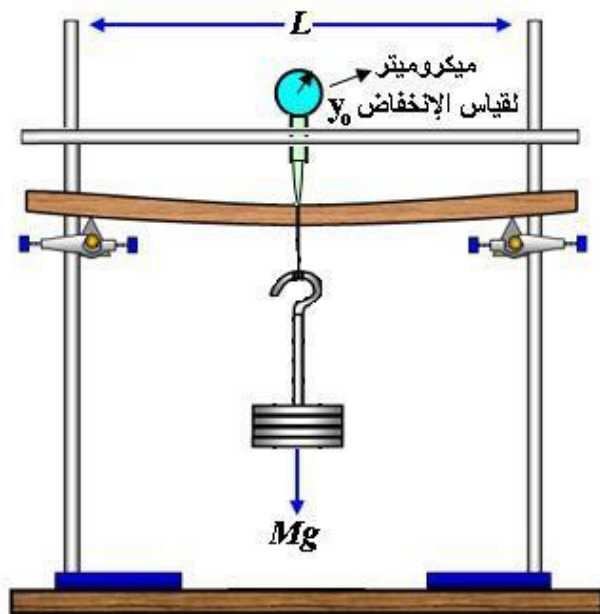
وإذا رسمنا هذه العلاقة بين  $M$  كمتغير مستقل على المحور الأفقي وبين  $y_0$  كمتغير تابع على المحور الرأسي نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $(gL^3/4bd^3Y)$  وبمعلومية طول القضيب "المسافة بين حدي السكين"  $L$  وعرضه  $b$  وسمكه  $d$  وعجلة الجاذبية الأرضية  $g$  يمكن حساب معامل ينح  $Y$ .

### الأدوات المستخدمة:

قضيب ذا سمك صغير سهل الانحناء مثل مسطرة من الخشب أو أي مادة أخرى تثبت على حدي سكين وتعلق كفة مناسبة عند منتصف القضيب لوضع الأثقال بها، كما هو موضح بالشكل، ميكروميتر خاص لقياس الانخفاض، قدمه ذات الوراني لقياس سمك وعرض القضيب.

### خطوات العمل:

- 1 - عين أبعاد القضيب، وليكن طوله  $L$ ، وعرضه  $b$ ، وسمكه  $d$ .
- 2 - يوضع القضيب على حدي سكين، كما في الشكل (3).
- 3 - تعدل قراءة مؤشر الميكروميتر بحيث تصبح عند صفر التدريج أو تؤخذ قراءة الميكروميتر في هذا الوضع وتعتبر هي نقطة بداية القياس.



شكل (3)

4 - علق كتلة مقدارها  $M$  عند منتصف

القضيب، واقرأ التدريج المقابل

للمؤشر في هذه الحالة وتحسب قيمة

الانخفاض الحادث  $y_0$  وتسجيل

القراءات في الجدول المعد لذلك.

5 - تكرر الخطوة رقم (4) مع زيادة

الكتل  $M$  في كل مرة.

6 - ترسم العلاقة بين الانخفاض  $y_0$  عند

المنتصف على المحور الرأسي و

الكتلة  $M$  على المحور الأفقي.

7 - احسب ميل الخط المستقيم من الرسم البياني وهو يساوي  $(gL^3/4bd^3Y)$  وبمعلومية

المسافة بين حدي السكين  $L$  وعرضه  $b$  وسمكه  $d$  وعجلة الجاذبية الأرضية  $g$  يمكن

حساب معامل ينج  $Y$ .

النتائج:

$M (kg)$	50	100	150	200	250	300	350
$y_0$							

$d = \dots\dots$  متر

$b = \dots\dots$  متر

$L = \dots\dots$  متر

من الرسم البياني:

$$\dots\dots = \frac{gL^3}{4bd^3Y} = \text{ميل الخط المستقيم}$$

$$\text{معامل ينج } Y = \frac{1}{\text{الميل}} \times \frac{gL^3}{4bd^3} = \dots\dots \text{ نيوتن / متر}^2$$

## تعيين معامل المتانة بطريقة ديناميكية بندول اللي

### الهدف من التجربة:

تعيين معامل المتانة لمادة سلك باستخدام بندول اللي.

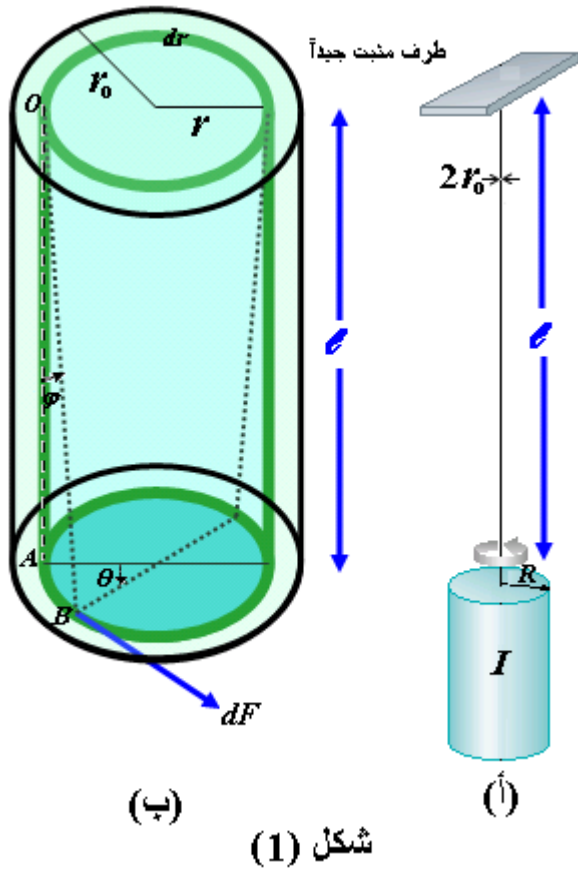
### نظرية التجربة:

سبق في المقدمة أن عرفنا الجسم المرن ومعاملات المرونة، ومنها معامل المتانة "الصلابة". والآن إذا كان لدينا سلك أسطواني الشكل طوله  $l$  مثبت جيداً من أحد طرفيه ومعلق بطرفه السفلي جسم أسطواني عزم قصوره الذاتي  $I$  كما بالشكل (1- أ)، فعند دوران هذا الجسم بزاوية  $\theta$  حول المحور الرأسي فإنه سيؤثر على السلك بازدواج ليّ حول محوره الرأسي. وهذا الازدواج سوف يسبب زاوية ليّ عند الطرف السفلي للسلك مقدارها  $\theta$  كما أنه يسبب انفعال قص علي طول السلك كما هو موضح بالشكل (1- ب).

ولحساب معامل المتانة  $N$  لمادة السلك،

نتصور أن السلك قد قسم إلى عناصر اسطوانية محورية متداخلة ونعتبر أحد هذه العناصر

وليكن ذلك العنصر الذي ينحصر بين نصفي القطرين  $r$  ,  $r + dr$  فإذا كان اتجاه الخط  $OA$  رأسياً قبل إجهاد السلك فإنه يأخذ الوضع  $OB$  بعد الإجهاد باللي محدثاً زاوية قص قدرها  $\varphi$  نتوقف علي متانة مادة السلك كما هو موضح بالشكل (1- ب). فإذا كان كل من  $\theta$  ،  $\varphi$  مقاسه بالتقدير الدائري فإن:



$$\varphi = \frac{AB}{\ell} \quad , \quad \theta = \frac{AB}{r}$$

$$\therefore \varphi = \frac{r}{\ell} \theta \quad (1)$$

وإذا فرضنا أن  $a$  مساحة مقطع عنصر السلك تحت الدراسة "عبارة عن حلقة" حيث:

$$a = 2\pi r dr$$

وإذا فرضنا أن القوة المماسية المؤثرة على هذا العنصر هي  $dF$  فإننا نحصل على معامل المتانة من العلاقة:

$$N = \frac{dF / (2\pi r dr)}{\varphi} \quad (2)$$

ومن العلاقتين (1) ، (2) نحصل على:

$$dF = 2\pi N \varphi r dr = 2\pi N \frac{\theta}{\ell} r^2 dr$$

وبالتالي يكون الازدواج الحافظ المؤثر على هذا العنصر  $d\kappa$  حيث:

$$d\kappa = r dF = 2\pi N \frac{\theta}{\ell} r^3 dr$$

ويكون  $\kappa$  عزم الازدواج الحافظ الناتج عن مرونة السلك حيث:

$$\kappa = \int_0^{r_0} 2\pi N \frac{\theta}{\ell} r^3 dr = \frac{\pi N r_0^4}{2\ell} \theta$$

حيث  $r_0$  تمثل نصف قطر السلك. وهذا الازدواج  $\kappa$  يحاول إرجاع الجسم الذي عزم قصوره الذاتي  $I$  إلى وضعه الأصلي مما يؤدي إلى اهتزازة بحركة توافقية بسيطة زمنها الدوري  $\tau$



"لذلك سمي هذا الجهاز ببندول اللي". وتكون معادلة حركة الجسم هي:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} = \kappa = - \frac{\pi N r_o^4}{2 \ell} \theta$$

أي أن:

$$\ddot{\theta} = - \frac{\pi N r_o^4}{2 \ell I} \theta$$

وهي معادلة حركة توافقية بسيطة سرعتها الزاوية  $\omega$  وزمنها الدوري  $\tau$  حيث:

$$\omega^2 = \frac{4\pi^2}{\tau^2} = \frac{\pi N r_o^4}{2 \ell I}$$

ومن هذه العلاقة نجد أن:

$$\tau^2 = \frac{8\pi I}{N r_o^4} \ell \quad (3)$$

فإذا كان الجسم المعلق أسطوانتي الشكل كتلته  $m$  ونصف قطره  $R$  فإن:

$$I = \frac{1}{2} m R^2 \quad (4)$$

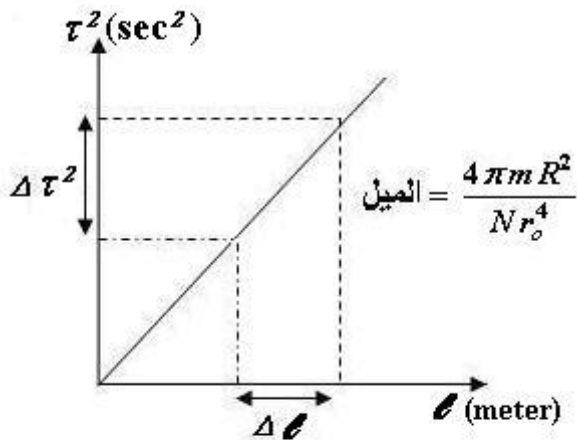
ومن العلاقتين (3)، (4) نحصل علي:

$$\tau^2 = \frac{4\pi m R^2}{N r_o^4} \ell \quad (5)$$

وإذا رسمنا هذه العلاقة بين طول

السلك  $\ell$  كمتغير مستقل علي المحور الأفقي

وبين  $\tau^2$  كمتغير تابع علي المحور الرأسي



شكل (2)

نحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $(4\pi m R^2/N) r_o^4$  ( وبمعلومية نصف قطر السلك  $r_o$  ونصف قطر الأسطوانة  $R$  وكتلتها  $m$  يمكن حساب معامل المتانة  $N$ ).

### الأدوات المستخدمة:

سلك رفيع من الصلب، أسطوانة من معدن كتلتها عدة مئات من الجرامات، ساعة إيقاف، ميكروميتر، قدمه ذات ورانية، مسطرة، حامل لتثبيت السلك، ميزان حساس.

### خطوات العمل:

- 1- قس قطر السلك الصلب عدة مرات في مواضع مختلفة بواسطة الميكروميتر وعين من ذلك نصف قطر السلك  $r_o$ .
- 2- قس قطر الأسطوانة المعدنية عدة مرات في مواضع مختلفة بواسطة قدمه ذات ورانية وعين من ذلك نصف قطر الأسطوانة  $R$ .
- 3- عين كتلة الأسطوانة  $m$  بواسطة ميزان حساس.
- 4- ثبت السلك من أعلي في الحامل وثبت الأسطوانة المعدنية في طرف السلك السفلي علي أن يكون السلك علي امتداد محور الأسطوانة، وقس بواسطة المسطرة طول السلك  $l$  بحيث يكون مساوياً 0.6 متر.
- 5- أثر علي الأسطوانة بازدواج خارجي بحيث تدور حول محورها ومحور السلك بزاوية صغيرة ثم أتركها لتتذبذب حول المحور بحركة توافقية بسيطة وعين بواسطة ساعة الإيقاف زمن عشرة ذبذبات ومنها أحسب الزمن الدوري  $\tau$  وسجل النتائج في الجدول التالي.
- 6- غير طول السلك عدة مرات وفي كل مرة كرر الخطوة 5.
- 7- ارسم العلاقة بين طول السلك  $l$  علي المحور الأفقي وبين  $\tau^2$  علي المحور الرأسى نحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي  $(4\pi m R^2/N) r_o^4$  ( وبمعلومية نصف قطر السلك  $r_o$  ونصف قطر الأسطوانة  $R$  وكتلتها  $m$  يمكن حساب معامل المتانة  $N$ ).

## النتائج:

$$r_o = \text{..... متر} \quad R = \text{..... متر} \quad m = \text{..... كيلوجرام}$$

$l \text{ (meter)}$	$10 \tau$	$\tau$	$\tau^2$
0.6			
0.7			
0.8			
0.9			
1.0			
1.1			

من الرسم البياني:

$$\text{ميل الخط المستقيم} = \frac{4\pi m R^2}{N r_o^4} = \text{.....}$$

$$\text{معامل المتانة } N = \frac{4\pi m R^2}{r_o^4} \times \frac{1}{\text{الميل}} = \text{..... نيوتن / متر}^2$$

## دراسة تأثير سيبك (Seebeck Effect) (الازدواج الحراري Thermocouple)

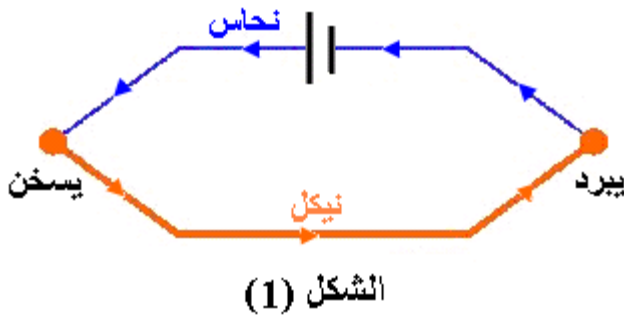
### الهدف من التجربة:

- 1- دراسة تأثير سيبك ومعايرة الازدواج الحراري.
- 2- تعيين معامل سيبك للازدواج الحراري.

### نظرية التجربة:

ينشأ عن مرور التيار الكهربائي في المعادن عدة ظواهر حرارية، هي في الحقيقة عبارة عن مظاهر تحول الطاقة من صورة إلى أخرى. ومن مظاهر التأثير الحراري للتيار الكهربائي:

#### 1- تأثير بلتييه Peltier Effect:



في سنة 1834 اكتشف العالم الفرنسي بلتييه أنه عند مرور تيار كهربائي في دائرة تتكون من سلكين من معدنين مختلفين كما هو موضح بالشكل (1)، فإن أحد موضعي الاتصال بين المعدنين ترتفع

درجة حرارته في حين تنخفض درجة حرارة موضع الاتصال الآخر.

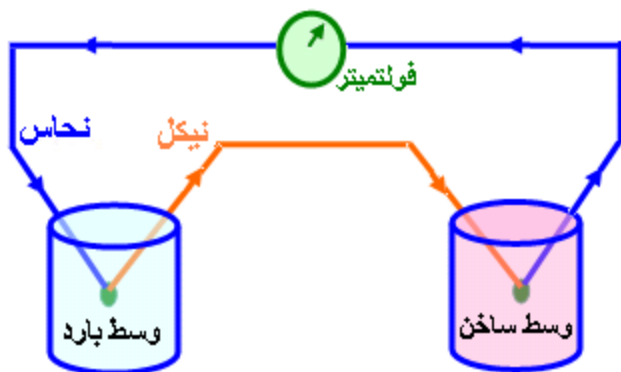
فمثلاً عند مرور تيار كهربائي من بطارية في سلكين أحدهما من النحاس والآخر من النيكل، فإن موضع الاتصال الذي يمر فيه التيار من النحاس إلى النيكل ترتفع درجة حرارته، أي تتحول فيه الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية. في حين تنخفض درجة حرارة موضع الاتصال الآخر حيث يسري التيار الكهربائي من النيكل إلى النحاس.

ونتيجة لظاهرة بلتييه تنخفض درجة حرارة أحد موضعي الاتصال لدرجة أقل من درجة حرارة الغرفة، و فكرة عمل بعض أجهزة التبريد (كالمبرد الصغير الموجود في بعض السيارات الحديثة) مبنية على تأثير بلتييه.

#### 2- تأثير سيبك Seebeck Effect:

في سنة 1836 اكتشف توماس سيبك في برلين الظاهرة العكسية لظاهرة بلتييه. حيث وجد أنه عند توصيل معدنين مختلفين على التوالي بجلفانومتر حساس، فإنه يمر تيار كهربائي في

الجلفانومتر عند رفع درجة حرارة أحد موضعي الاتصال عن درجة حرارة موضع الاتصال الآخر، أي أنه تنشأ قوة دافعة كهربية بين موضعي الاتصال.



الشكل (2)

فمثلاً في الشكل ( 2 ) عند تبريد موضع الاتصال الأيسر يسري التيار من النحاس إلي النيكل، وعند تسخين موضع الاتصال الأيمن يسري التيار من النيكل إلي النحاس. ويلاحظ أن الطاقة الحرارية تتحول إلي طاقة كهربية عند موضع الاتصال الأيمن، بينما تتحول الطاقة

الكهربية إلي طاقة حرارية عند موضع الاتصال الأيسر وتلك الحرارة تتسرب إلي الوسط البارد المحيط بها.

### 3- تأثير طومسون *Thomson Effect* :

وجد طومسون أن تأثير سيبك يظهر في المعدن الواحد. أي أنه تنشأ قوة دافعة كهربية في المعدن الواحد إذا اختلفت درجة حرارة أجزائه بعضها عن بعض.

### الازدواج الحراري *Thermocouple* :

فكرة عمل الازدواج الحراري مبنية علي ظاهرة سيبك ، وهو يتكون من سلكين من معدنين مختلفين متصلين كما بالشكل ( 2 ) وعندما تكون درجة حرارة أحد موضعي الاتصال أعلي من درجة حرارة موضع الاتصال الآخر تنشأ قوة دافعة كهربية بين موضعي الاتصال. ويمثل الازدواج الحراري آلة حرارية عبارة عن مولد كهربائي يمتص الطاقة الحرارية من الطرف الساخن ويحول جزءاً منها "وليس الكل" إلي طاقة كهربية، ثم يطرد باقي الحرارة الممتصة عند الطرف البارد.

تتوقف القوة الدافعة الكهربائية  $\mathcal{E}$  الناتجة في الازدواج علي مقدار الفرق بين درجتي الحرارة عند موضعي الاتصال  $\theta$ ، كما يتوقف علي نوع المعدنين. وقد أمكن ترتيب المعادن المختلفة بحيث إذا تكون ازدواج من اثنين منها فإن التيار يمر من فلز إلي الفلز الذي يليه في الترتيب عند الطرف الساخن، وتزداد القوة الدافعة الكهربائية كلما بعد الفلز عن الآخر. وإليك مثال لمجموعة من هذا الترتيب:

بزموت - نيكل - بلاتين - نحاس - رصاص - قصدير - ذهب - فضة - زنك - تنجستن - حديد.

ويستخدم الازدواج الحراري في قياس درجة الحرارة. حيث يترك أحد موضعي الاتصال معرضاً للجو "درجة حرارة الغرفة  $t_0$ " في حين يعرض موضع الاتصال الآخر للجسم المراد قياس درجة حرارته  $t$ ، وبقياس القوة الدافعة الكهربائية  $\varepsilon$  يمكن الاستدلال علي درجة حرارة الجسم. ومن الجدير بالذكر أن الازدواج الحراري يقيس فرق درجات الحرارة بين حرارة الجسم ودرجة حرارة الغرفة  $\theta$ ، ولا يقيس درجة حرارة الجسم  $t$  مباشرة.

ويمتاز الازدواج الحراري بأن سعته الحرارية صغيرة جداً مما يؤدي إلي وصول الازدواج إلي حالة الاتزان الحراري مع الجسم بسرعة ودون أن يمتص من حرارة الجسم شيئاً يذكر، وهذه الميزة الكبيرة تمكن الازدواج الحراري من تتبع التغيرات الطفيفة والسريعة التي تطرأ علي درجة حرارة الجسم محل الدراسة. ومن مميزات الازدواج الحراري أيضاً إمكانية استخدامه لقياس درجات حرارة مرتفعة جداً لا يمكن قياسها باستعمال الترمومترات العادية. العلاقة التي تربط بين القوة الدافعة الكهربائية  $\varepsilon$  "فرق الجهد بين طرفي الازدواج" وبين درجة الحرارة  $\theta$  "الفرق بين درجتَي الحرارة عند موضعي الاتصال" هي:

$$\varepsilon = \alpha \theta + \beta \theta^2 + \gamma \theta^3 + \dots$$

حيث  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  مقادير ثابتة. وعند درجات الحرارة المنخفضة نسبياً يمكن تقريب المعادلة السابقة إلي الصورة:

$$\varepsilon = \alpha \theta$$

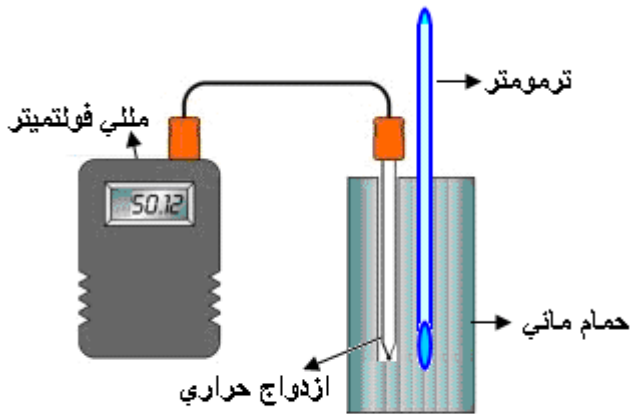
حيث  $\alpha$  يسمى معامل سيبك للازدواج، وهو يتوقف علي نوع مادتي الازدواج.

ويتم معايرة الازدواج الحراري

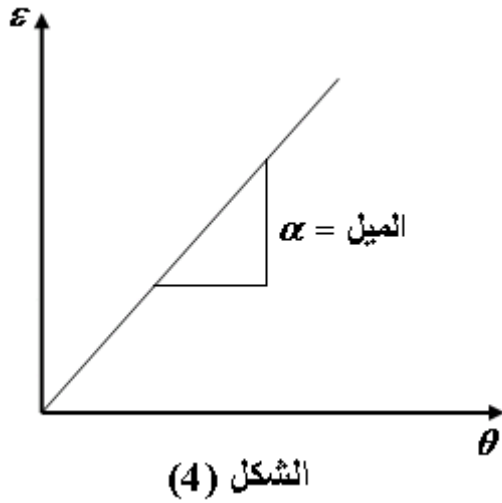
بوضع وصلته في حمام مائي كما بالشكل

(3) ترفع درجة حرارته بالتدريج وتعين

القوة الدافعة الكهربائية  $\varepsilon$  عند كل درجة



الشكل (3)



حرارة  $t$  ثم نعين  $\theta$  وهي الفرق بين درجة حرارة الحمام المائي  $t$  ودرجة حرارة الغرفة  $t_0$ . وبرسم العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية  $\mathcal{E}$  وبين درجة الحرارة  $\theta$  نحصل على منحنى المعايرة للازدواج الحراري. وحيث أن مدي درجات الحرارة يكون منخفض نسبياً "  $\theta$  من صفر إلى حوالي  $80^\circ\text{C}$  " يكون منحنى المعايرة عبارة عن خط مستقيم كما بالشكل ( 4 ) ميله يساوي معامل سيبك  $\alpha$ .

### الأدوات المستخدمة:

ازدواج حراري - مللي فولتميتر - حمام مائي - ترمومتر.

### خطوات العمل:

1. وصل الدائرة الموضحة بالشكل (3).
2. عين درجة حرارة الغرفة  $t_0$  وستجد أن قراءة الفولتميتر تكون مساوية للصفر.
3. ارفع درجة حرارة الحمام المائي وسجل في الجدول التالي القراءات بين درجة حرارة الحمام المائي  $t$  وقراءة الفولتميتر  $\mathcal{E}$ .
4. احسب  $\theta$  الفرق بين درجة حرارة الحمام المائي  $t$  ودرجة حرارة الغرفة  $t_0$ .
5. ارسم علاقة بيانية بين القوة الدافعة الكهربائية  $\mathcal{E}$  على محور الصادات وبين  $\theta$  على محور السينات، تحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي معامل سيبك  $\alpha$ .

## النتائج:

$$t_o = ..... ^\circ C$$

$t (^\circ C)$	$\varepsilon$ (m.volt)	$\theta = t - t_o$
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		

من الرسم البياني:

ميل الخط المستقيم  $\alpha = ..... =$  فولت/درجة مئوية



## الثرمستور The Thermistor

### الغرض من التجربة

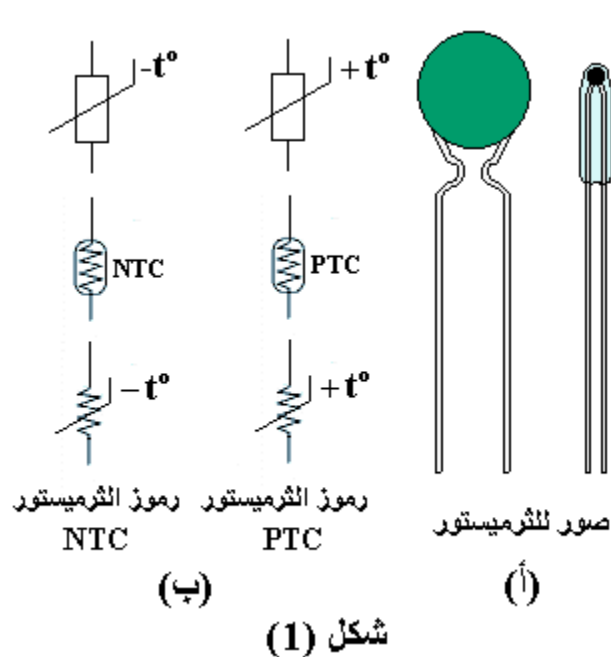
دراسة المنحنيات المميزة للثرمستور وهي:

- 1- العلاقة بين مقاومة الثرمستور ودرجة الحرارة. ومنها نحسب القيمة المميزة وطاقة التنشيط لمادة الثرمستور.
- 2- العلاقة بين الجهد والتيار. ومنها نحسب المقاومة السالبة للثرمستور.
- 3- العلاقة بين شدة التيار والزمن.

### مقدمة:

هناك العديد من أجهزة قياس درجة الحرارة مثل الترمومترات Thermometer، كاشف درجة الحرارة المقاوم Resistive Temperature Detector (RTD)، الازدواج الحراري Thermocouple، والثرمستور Thermistor.

الثرمستور عبارة عن مقاومة حساسة جداً لدرجة الحرارة فمعامل المقاومة الحراري  $\alpha$  له كبير جداً. ويوجد نوعين من الثرمستور الأول (NTC) وهو عبارة عن مقاومة تقل قيمتها بارتفاع درجة الحرارة أي أن معامل المقاومة الحراري  $\alpha$  لها سالب "Negative Temperature Coefficient" والثاني (PTC) وهو مقاومة تزداد قيمتها بارتفاع درجة



الحرارة أي أن معامل المقاومة الحراري  $\alpha$  لها موجب "Positive Temperature Coefficient". يصنع الثرمستور عادةً من مادة شبه موصلة، تتكون من خليط من بعض الأكاسيد الفلزية مثل (الكوبالت - النحاس - الحديد - النيكل - المنجنيز) تخلط بنسب مختلفة ويتم معالجتها كيميائياً وحرارياً بطرق خاصة، ثم تضغط عادةً على شكل خرزة مزودة بسلكي توصيل وتغطي بطبقة زجاجية رقيقة لمنع التأكسد. كما هو موضح بال شكل

(1-أ) ويستخدم الثرميستور في العديد من التطبيقات منها كأداة لقياس درجة الحرارة ، في دوائر جرس الإنذار من الحريق ، كبادئ للمحركات الكهربائية ، في أجهزة قياس تدفق السوائل والغازات، ويبين الشكل (1-ب) بعض الرموز المستخدمة لتمثيل الثرميستور في رسم الدوائر الكهربائية.

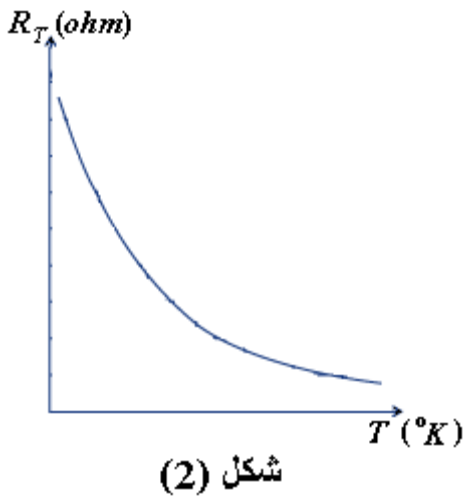
### نظرية التجربة:-

تزداد مقاومة المواد جيدة التوصيل للكهرباء بزيادة درجة الحرارة ويعزي ذلك إلى أنه كلما ارتفعت درجة حرارة الموصل تزداد سعة الحركة الاهتزازية لذرات الشبكة البلورية مما يؤدي إلى زيادة فرص تصادم الإلكترونات التوصيل مع ذرات الشبكة البلورية مما يؤدي إلى زيادة مقاومة الموصل. والعلاقة بين مقاومة المواد جيدة التوصيل للكهرباء ودرجة الحرارة هي علاقة خطية علي الصورة:

$$R_t = R_o (1 + \alpha t)$$

حيث  $R_t$  تمثل مقدار مقاومة المادة عند درجة حرارة  $(t^{\circ}C)$ ،  $R_o$  هي مقدارها عند  $(0^{\circ}C)$ ،  $\alpha$  هو المعامل الحراري لمقاومة المادة وهو مقدار ثابت يتوقف علي نوع المادة ولا يعتمد علي درجة الحرارة.

أما المواد شبه الموصلة والمواد العازلة فمقاومتها تتناقص بزيادة درجة الحرارة ويعزي ذلك إلى كسر بعض الروابط بين الذرات المكونة للشبكة البلورية بزيادة درجة الحرارة فتتولد حوامل جديدة للشحنة ويزداد التيار وتقل المقاومة.



ولما كانت مقاومة الثرميستور تتغير سريعاً بتغير

درجة الحرارة فقد أتفق علي أن يشار إلي الثرميستور

بقيمة مقاومته  $R_o$  عند درجة حرارة  $(T_o = 298^{\circ}K)$

أي  $(25^{\circ}C)$ . ويوضح الشكل (2) العلاقة بين المقاومة

الكهربية للثرميستور  $R_T$  ودرجة الحرارة  $T$  وهي علاقة

أسية وليست خطية علي الصورة:

$$R_T = R_o e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right)} \quad (1)$$

حيث  $\beta$  هي القيمة المميزة لمادة الثرميستور وهي تساوي:

$$\beta = \frac{E}{k} \quad (2)$$

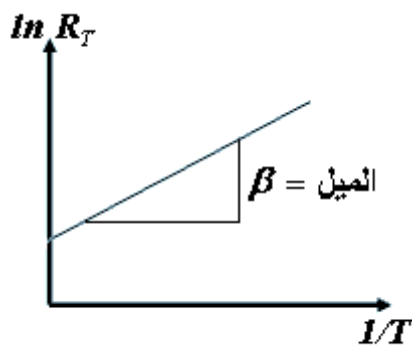
حيث:  $E$  طاقة التنشيط لمادة الثرميستور،  $k$  ثابت بولتزمان.

ويأخذ اللوغاريتم لطرفي المعادلة (1) نحصل علي:

$$\begin{aligned} \ln R_T &= \ln R_o + \beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right) \\ &= A + \frac{\beta}{T} \end{aligned} \quad (3)$$

حيث:

$$A = \ln R_o - \frac{\beta}{T_o}$$



الشكل (3)

والعلاقة (3) هي علاقة خط مستقيم بين  $1/T$  كمتغير مستقل

علي محور السينات وبين  $\ln R_T$  كمتغير تابع علي محور

الصادات، وميل الخط المستقيم يساوي  $\beta$  ويقطع جزء موجب

من محور الصادات يساوي  $A$  كما بالشكل (3).

ويعطى  $\alpha$  المعامل الحراري لمقاومة مادة الثرميستور من العلاقة:

$$\alpha = \frac{1}{R_T} \frac{d R_T}{d T}$$

ومن المعادلة (1) نحصل علي:

$$\frac{dR_T}{dT} = R_o e^{\beta \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_o} \right)} \left( -\frac{\beta}{T^2} \right) = R_T \left( -\frac{\beta}{T^2} \right)$$

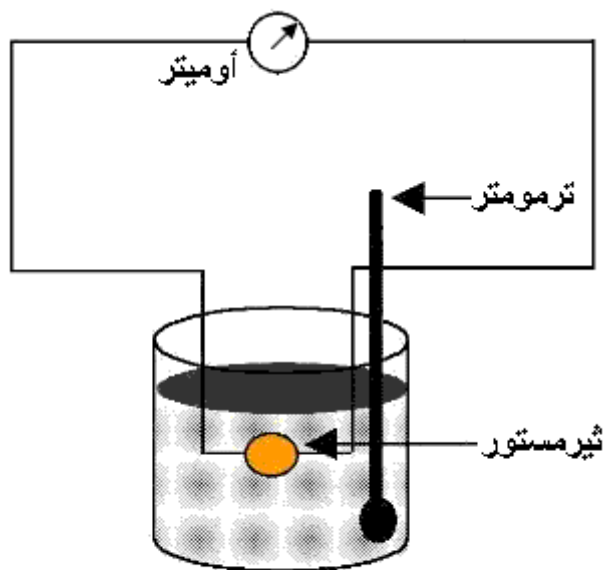
$$\therefore \alpha = -\frac{\beta}{T^2}$$

ويلاحظ أن  $\alpha$  المعامل الحراري لمقاومة مادة الثرميستور يعتمد علي درجة الحرارة - علي عكس حالة المواد الموصلة - ولذلك نعتبر  $\beta$  هو المعامل أو الثابت المميز لمادة الثرميستور.

### الأدوات المستخدمة:

ثرميستور - حمام زيتي - ترمومتر - أوميتر - مللي أمبير - فولتمتر - بطارية 6 فولت - مقاومة متغيرة "ريوستات" - ساعة إيقاف.

### خطوات العمل:



الشكل (4)

1. ضع الثرميستور في حمام زيتي

"زيت عازل" وضع معه

ترمومتر زيتي وصل الدائرة كما

بالشكل (4).

2. قس مقاومة الثرميستور باستخدام

الأوميتر عند درجات حرارة

مختلفة، ودون النتائج في الجدول

التالي.

3. ارسم العلاقة بين  $1/T$  ,  $\ln R$

واوجد الميل وهو يساوي القيمة

المميزة لمادة الثرميستور  $\beta$ .

4. احسب طاقة التنشيط  $E$  لمادة شبه الموصل المصنوع منها الثرميستور من العلاقة

$$\beta = E/k \text{ حيث } k \text{ ثابت بولتزمان ويساوي } (1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}^0).$$

$T^{\circ}C$	$T^{\circ}K$	$1/T$	$R (ohm)$	$\ln R$

## حيود الإلكترون

## Electron Diffraction

### الهدف من التجربة:

- 1- تحقيق الخاصية الثنائية لدى برولي.
- 2- دراسة تداخل براج وتعيين المسافات البينية بين المستويات البلورية لبلورة الجرافيت "الكربون".

### نظرية التجربة:

بعد نجاح أينشتين في بداية القرن العشرين 1905 في تفسير الظاهرة الكهروضوئية ، أصبح هناك تناقض وغموض في طبيعة وكنه الضوء هل هو موجة أم جسيم، وظل هذا الغموض حتى عام 1924 عندما تقدم العالم الفرنسي لويس دي برولي "Louis de Broglie" بفكرته الثورية عن الخاصية الثنائية للمادة وفيها أوضح أن لل مادة صفة مزدوجة فه ي تتملك سلوك الموجة تحت بعض الظروف، وتتلك سلوك الجسيم تحت ظروف أخرى. وتتلخص الخاصية الثنائية لدي برولي في أن الجسيم والموجه وجهان لعملة واحدة. فكما يمكن معاملة الموجة الكهرومغناطيسية ذات التردد  $\nu$  على أنها جسيم "فوتون" له طاقة  $E$  حيث:

$$E = h\nu \quad (1)$$

فإنه يمكن معاملة الجسيم الذي يتحرك بسرعة  $v$  وكتلته  $m$  والذي له كمية حركة خطية  $P = m v$  على أنه موجه طولها الموجي  $\lambda$  حيث:

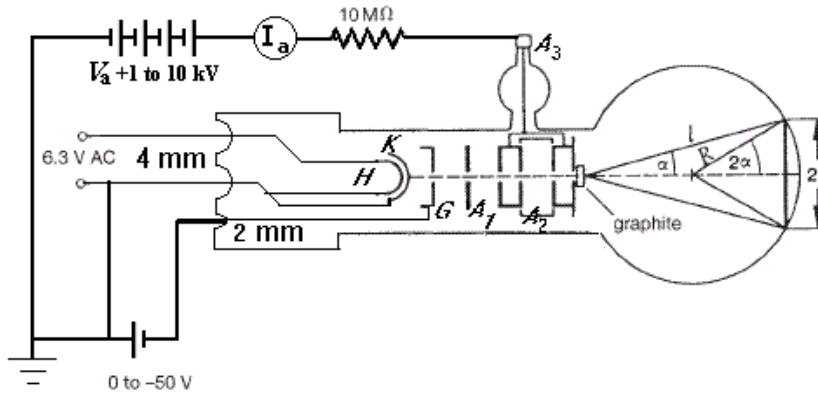
$$\lambda = \frac{h}{P} \quad (2)$$

حيث  $h$  مقدار ثابت يسمى ثابت بلانك. والعلاقتان (1)، (2) تسميان بمسلمات دي برولي.

ولتحقيق خاصية دي برولي الثنائية للإلكترون فإننا نريد أن نثبت أن الإلكترون يسلك سلوك الجسيمات في بعض التجارب، وأنه يسلك سلوك الموجات في تجارب أخرى.

ولإثبات الخاصية الجسيمية للإلكترون فقد سبق وأن درسنا في معمل الفيزياء الحديثة تجربة كوفمان لدراسة حركة إلكترون في مجال مغناطيسي منتظم وتجربة طومسون والتي يدرس فيها حركة إلكترون عمودياً علي مجالين متعامدين ومنتظمين أحدهما كهربى والآخر مغناطيسي، وفي هاتين التجربتين استخدمنا أنبوبة أشعة الكاثود، وكان الشعاع الإلكتروني يسلك سلوك الجسيمات وتم تعيين الشحنة النوعية  $e/m$  لهذا الجسيم "الإلكترون".

وفي هذه التجربة سنثبت الخاصية الموجية للإلكترون بإسقاط الشعاع الإلكتروني في أنبوبة أشعة الكاثود علي بلورة متعددة "polycrystalline" من الجرافيت، فإذا ظهرت علي الشاشة الفلورية حلقات



شكل (١)

تمثل هدب تداخل براج  
فمعني ذلك أن الشعاع  
الالكتروني سلك سلوك  
الموجات من حيود وتداخل.  
أنبوبة أشعة الكاثود  
المستخدمة في هذه التجربة  
موضحه بالشكل ( 1 ) وهي  
تتكون من:

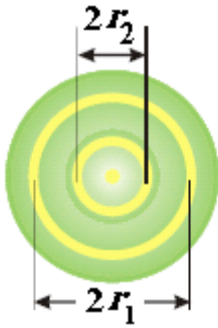
- 1- فتيلة  $H$  ترتفع درجة حرارتها عند مرور تيار كهربى بها فيسخن الكاثود.
- 2- الكاثود  $K$  عندما ترتفع درجة حرارته تنبعث "تتحرر" منه إلكترونات.
- 3- الشبكة  $G$  تحيز بجهد سالب من صفر إلي  $-50\text{ V}$  للتحكم في كثافة الشعاع الإلكتروني المنبعث من الكاثود.
- 4- الأنود الأول  $A_1$  والأنود الثاني  $A_2$  وهما يعملان عمل عدسة إلكتروستاتيكية تعمل علي تجميع الشعاع الإلكتروني علي الشاشة الفلورية لنحصل علي صورة واضحة لهدب التداخل.
- 5- الأنود الأخير  $A_3$  ويحيز بجهد عالي  $V_a$  من صفر إلي  $10\text{ kV}$  لتعجيل الإلكترونات المنبعثة من الكاثود وإكسابها طاقة حركة عالية.

فإذا فرضنا أن طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة عند الكاثود مساوية للصفر، فإنه نتيجة لوجود فرق جهد  $V_a$  بين الأنود والكاثود تتحول طاقة الجهد الكهربائي  $eV_a$  إلى طاقة حركة للإلكترون أي أن:

$$eV_a = \frac{1}{2} m v^2 \quad (3)$$

حيث:  $e$  شحنة الإلكترون،  $m$  كتلته،  $v$  سرعة الإلكترون التي ينفذ بها من الأنود. ومن العلاقة (3) نجد أن:

$$v = \sqrt{\frac{2eV_a}{m}} \quad (4)$$

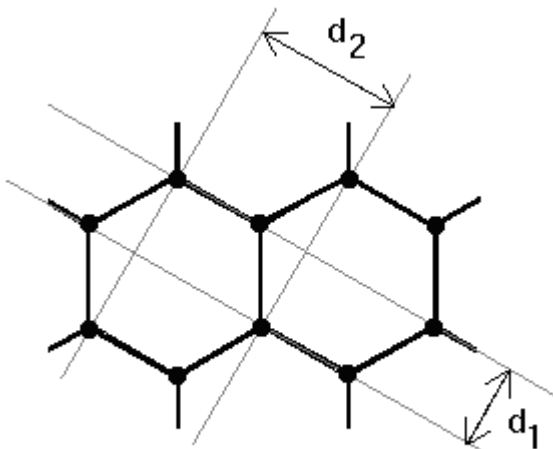


شكل (2)

ومن العلاقتين (2) ، (4) يكون الطول الموجي  $\lambda$  للموجة المصاحبة للإلكترون:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV_a}} \quad (5)$$

عند سقوط هذه الموجة المصاحبة للشعاع الإلكتروني على شريحة رقيقة من الجرافيت موضوعة أمام الأنود الأخير فإنها تحيد عن مسارها وتظهر نمط تداخل براج يتكون أساساً من حلقتين متحدتي المركز كما بالشكل (2).



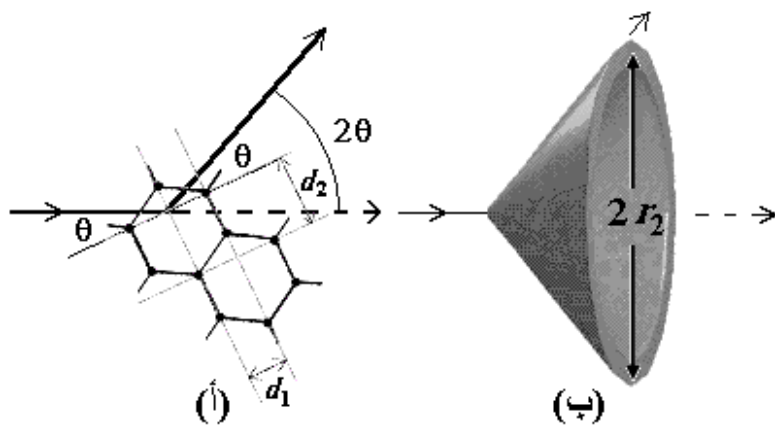
شكل (3)

يوضح الشكل (3) طريقة رصد ذرات الكربون في بلورة جرافيت أحادية وكما هو معلوم فلها شبكية سداسية Hexagonal lattice، وواضح من الشكل أن هناك مسافتان أساسيتان بين المستويات البلورية هما  $d_2 = 0.213 \text{ nm}$  ،  $d_1 = 0.123 \text{ nm}$ . فإذا تصورنا أن الموجة المصاحبة للشعاع الإلكتروني سقطت على بلورة وحيدة من الجرافيت كما بالشكل (4 - أ) فإن



الموجة المنعكسة من المستويات البلورية تتداخل تداخل بناءً فقط إذا حققت الزاوية  $\theta$  شرط تداخل براج:

$$2d_2 \sin \theta = n \lambda \quad (6)$$



شكل (4)

حيث:  $d_2$  هي المسافة

بين المستويات البلورية التي

حدث عليها انعكاس الموجة،  $n$

عدد صحيح موجب يمثل رتبة

التداخل،  $\theta$  هي زاوية براج

وهي الزاوية المحصورة بين

الموجة الساقطة والمستويات

البلورية، ويلاحظ أن الزاوية التي يحيد بها الشعاع الإلكتروني تساوي  $2\theta$  كما هو موضح بالشكل (4 - أ). ولما كانت شريحة الجرافيت عديدة البلورات Polycrystalline أي تتكون من عدد كبير من البلورات الأحادية الموزعة إتجاهياً توزيعاً عشوائياً، فلا بد أنه سيكون هناك عدد من البلورات التي تحقق شرط تداخل براج بالنسبة لاتجاه وطول موجة الشعاع الساقط. وبالتالي فإن الموجات المنعكسة من تلك البلورات والتي تحقق شرط براج تُكوّن مجسم مخروطي ينطبق محوره مع اتجاه الشعاع الساقط كما هو موضح بالشكل (4 - ب)، وهذا المجسم المخروطي يتقاطع مع الشاشة الفلورية العمودية علي محوره فتظهر حلقة مضيئة قطرها  $2r_2$  كما هو موضح بالأشكال (1)، (2)، (4). ومن هندسة الشكل (1) نجد أن:

$$\sin(4\theta) = \frac{r_2}{R} \quad (7)$$

حيث:  $r_2$  نصف قطر حلقة التداخل،  $R$  نصف قطر الانتفاخ الزجاجي لأنبوبة أشعة الكاثود.

وباستخدام علاقة حساب المثلثات  $\sin(2\alpha) = 2 \sin \alpha \cos \alpha$  نحصل علي:

$$\begin{aligned} \sin(4\theta) &= 2 \sin(2\theta) \cos(2\theta) \\ &= 4 \sin \theta \cos \theta \cos(2\theta) \end{aligned} \quad (8)$$

وحيث أن الزاوية  $2\theta$  صغيرة جداً وبالتالي  $\theta$  أيضاً صغيرة جداً، فإنه يمكن استخدام التقريب:

$$\cos(2\theta) \approx \cos\theta \approx 1$$

لتصبح العلاقة (8) علي الصورة:

$$\sin(4\theta) = 4 \sin\theta \quad (9)$$

من العلاقة (9)، (7) نحصل علي:

$$\sin\theta = \frac{r_2}{4R} \quad (10)$$

ومن العلاقات (10)، (6)، (5) نجد أن:

$$\frac{r_2}{4R} = \frac{n\lambda}{2d_2} = \frac{nh}{2d_2\sqrt{2meV_a}}$$

وإذا أخذنا في الاعتبار الرتبة الأولى فقط  $n=1$  فإن هذه العلاقة يمكن كتابتها علي الصورة:

$$r_2 = \frac{\sqrt{2} R h}{d_2 \sqrt{me}} \frac{1}{\sqrt{V_a}} \quad (11)$$

وبنفس الطريقة يمكن استنتاج العلاقة بين  $r_1$  نصف قطر حلقة التداخل للموجات المنعكسة من المستويات البلورية والتي تفصلها المسافة البينية  $d_1$  وبين جهد الأنود  $V_a$  حيث:

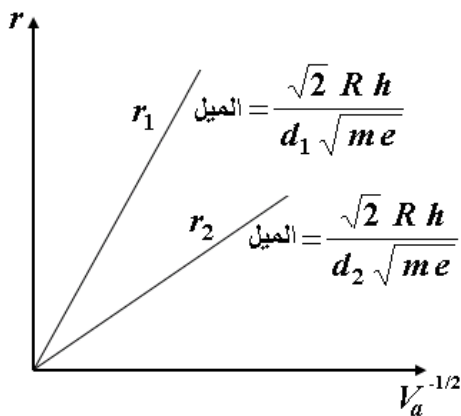
$$r_1 = \frac{\sqrt{2} R h}{d_1 \sqrt{me}} \frac{1}{\sqrt{V_a}} \quad (12)$$

ومن المعادلتين (11)، (12) برسم العلاقة بين نصف قطر الحلقتين  $r_1$ ،  $r_2$  علي المحور الرأسي وبين  $1/\sqrt{V_a}$  علي المحور الأفقي، نحصل علي خطين

مستقيمين يمران بنقطة الأصل وميلهما يساوي

$(\sqrt{2}Rh)/(d_1\sqrt{me})$  ،  $(\sqrt{2}Rh)/(d_2\sqrt{me})$  كما بالشكل (5) وبمعلومية كل من

$R$  ،  $h$  ،  $m$  ،  $e$  يمكن حساب  $d_1$  ،  $d_2$ .



شكل (5)

## الأدوات المستخدمة:



شكل (6)

يوضح الشكل (6) الجهاز

المستخدم ويتكون من: أنبوبة

أشعة الكاثود – مصدر جهد عالي

10 kV – مصدر جهد 50 V

– اسلاك توصيل – ميكروأميتر

– قدمة ذات ورائية.

## تحذير:

- الجهد المستخدم في هذه التجربة جهد مرتفع عدة كيلو فولتات ونظراً لخطورته وحفاظاً علي سلامتك وسلامة زملائك وسلامة الأجهزة نرجو اتباع الآتي
- 1- لا توصل التيار الكهربائي قبل أن يراجعها عضو هيئة التدريس.
  - 2- لا تحاول لمس أي طرف توصيل أثناء التجربة.
  - 3- الأنبوبة تتكون من زجاج رقيق ومفرغة من الهواء فهي عرضة للكسر بسهولة فلا تعرضه لأي صدمة ميكانيكية.
  - 4- للحفاظ علي بلورة الجرافيت الموجود بين الأنود والشاشة لابد أن يكون تيار الأنبوبة  $I_a$  أقل من  $100 \mu A$  فإذا زاد التيار عن ذلك أرفع بسرعة جهد الشبكة. ويمكن تغيير موقع سقوط الشعاع الإلكتروني علي شريحة الجرافيت باستخدام مغناطيس كهربائي صغير يوضع حول عنق الأنبوبة عند بندقية الالكترونات.
  - 5- البقعة المضيئة بشدة في مركز الشاشة قد تتلف مادة الشاشة الفلورية، وللحفاظ علي الأنبوبة تأخذ القراءات بسرعة ثم نقلل شدة الإضاءة بين كل قراءة وأخرى بزيادة جهد الشبكة G.
  - 6- إذا زاد جهد الأنود عن 5 kV فإن الأنبوبة تشع أشعة سينية فلا ترفع جهد الأنود عن 5 kV.
  - 7- عند حدوث أي خطأ لا قدر الله إنزع قابس الكهرباء بسرعة.

## خطوات العمل:

- 1- وصل الدائرة كما هو موضح بالشكل (1).
- 2- مرر تيار الفتيلة لمدة دقيقة قبل تشغيل جهد الأنود  $V_a$ .
- 3- أضبط جهد الأنود  $V_a$  عند  $2.5\text{ kV}$  ثم عدل جهد الشبكة  $G$  حتي تحصل علي أوضح صورة للحلقات التي تمثل هذب تداخل براج. ويجب أن تلاحظ تيار الأنود  $I_a$  بحيث لايزيد عن  $100\text{ }\mu\text{A}$  فإذا زاد التيار عن ذلك أرفع بسرعة جهد الشبكة.
- 4- عين نصف قطر كل من حلقتي تداخل براج الظاهرتين علي الشاشة الفلورية بواسطة القدمة ذات الورانية وسجل النتائج في الجدول التالي.
- 5- البقعة المضيئة بشدة في مركز الشاشة قد تتلف مادة الشاشة الفلورية، وللحفاظ علي الأنبوبة تأخذ القراءات بسرعة ثم نقلل شدة الإضاءة بين كل قراءة وأخري بزيادة جهد الشبكة  $G$ .
- 6- كرر الخطوات من 3 إلي 5 عدة مرات عند جهود مختلفة للأنود وسجل النتائج في الجدول التالي.
- 7- ارسم العلاقة بين نصف قطر الحلقتين  $r_1, r_2$  علي المحور الرأسي وبين  $1/\sqrt{V_a}$  علي المحور الأفقي، نحصل علي خطين مستقيمين يمران بنقطة الأصل وميلهما يساوي  $(\sqrt{2Rh})/(d_1\sqrt{me})$  ،  $(\sqrt{2Rh})/(d_2\sqrt{me})$  كما بالشكل (5) وبمعلومية كل من  $R, h, m, e$  يمكن حساب  $d_1, d_2$ .

**النتائج:**

$(kV)V_a$	$(cm)r_1$	$(cm)r_2$	$V_a^{-1/2}$
2.5			
3.0			
3.5			
4.0			
4.5			
5.0			

$$R=6.5 \text{ cm}$$

$$h = 6.625 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ Coulomb}$$

$$m = 9.109 \times 10^{-31} \text{ kg}$$

$$r_1 \text{ ميل الخط} = \dots\dots$$

$$d_1 = \dots\dots$$

$$r_2 \text{ ميل الخط} = \dots\dots$$

$$d_2 = \dots\dots$$