وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

جامعة تكريت

كلية علوم الاغذية

قسم علوم وتكنلوجيا الأغذية

محاضرات مادة الفيزيائية العملي

المرحلة الاولى

اعداد وجمع

م.م أسامة عبدالله الجميلي

م.م سعد احمد خلف

التجربة الاولى

ايجاد التعجيل الارضي(تسارع الجاذبية الارضية) بواسطة البندول البسيط

الاجهزة المستعملة:

1- كرة صغيرة (ثقل). 2- خيط. 3- ساعة توقيت. 4- مسطرة مترية. 5- حامل مع ماسكة.

الهدف من التجربة:

1- إيجاد التعجيل الارضي g او (مايسمى بـ تسارع الجاذبية الأرضية)

2- دراسة الحركة التوافقية البسيطة للبندول البسيط.

3- دراسة العلاقة بين الزمن الدوري وطول خيط البندول.

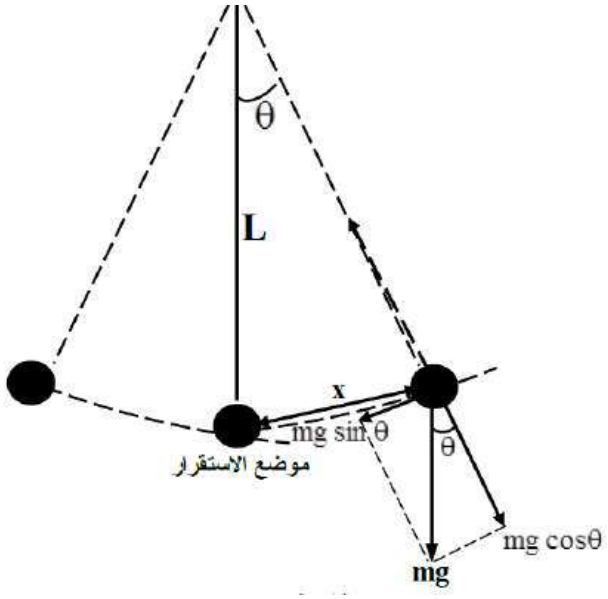
نظرية التجربة:

تعرف الحركة التوافقية البسيطة بأنها الحركة التي تكرر نفسها خلال فترة زمنية ثابته.

من الأمثلة على الحركة التوافقية البسيطة:1-حركة البندول البسيط 2. حركة كتلة معلقة بنابض.

البندول البسيط :هو عبارة عن كتلة (كرة) صغيرة معلقة بشكل عمودي بخيط رفيع مهمل الكتلة وغير قابل للتمدد.

إن الكرة المعلقة بالخيط تكون في وضع اتزان تحت تأثير قوتين متساويتين بالمقدار ومتعاكستين بالاتجاه، هما ثقل الجسم (قوة جذب الأرض للجسم للأسفل) وقوة شد الخيط للأعلى.



وعند إزاحة الكرة بزاوية بسيطة لا تزيد عن 10 درجات وتركها حرة الحركة فإن الكرة لم تعد متوازنة وتتحلل قوة جذب الأرض mg الى مركبتين أحدهما **mg cos θ** التي تتساوى بالمقدار وتتعاكس بالاتجاه مع قوة شد الخيط المائلة على العمود بزاوية **θ** والأخرى **mg sin θ** التي تسبب حركة الكرة تلقائياً باتجاه العودة لموضع توازنها.

وعند وصولها لموقع التوازن تكون قد اكتسبت طاقة حركية تجعلها تذهب إلى الطرف الاخر محدثة بذلك حركة توافقية بسيطة بسعة اهتزاز ثابته.

سمي بالبندول البسيط لكون زاوية الإزاحة بسيطة أقل من 10 درجات يمكن اعتبار جيب الزاوية $\sin \theta$ يساوي الزاوية θ، ويساوي الازاحة (X) مقسوم على طول الخيط (L) اي ان :

$$\sin \theta = \theta = X/L$$

وعلى هذا الأساس تم استنتاج علاقة حساب الزمن الدوري (زمن الذبذبة) T حيث يساوي:-

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

وعندما نقوم بتحويلها إلى معادلة خط مستقيم بتربيع الطرفين تصبح:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{L}{g}$$

حيث ان :-

T : الزمن الدوري يقاس بوحدة الثانية s

L : طول خيط البندول بوحدة السنتميتر cm

g : التعجيل الارضي او مايسمى بـ تسارع الجاذبية الأرضية بوحدة m/s^2 او بوحدة cm/s^2

طريقة العمل :

1- ثبت البندول من اعلى الحامل بحيث يكون طول الخيط من نقطة التأرجح إلى نقطة اتصاله بمنتصف الكرة 100 سم.

2- أزح الكرة إزاحة أفقية صغيرة عن موضع استقرارها بزاوية لاتتجاوز 10 درجات ثم اتركها تتذبذب ذبذبة كاملة.

3- احسب زمن 20 ذبذبة بساعة توقيت وليكن (t) ثانية، ثم اعد العملية مرة ثانية وخذ المعدل.

4- قصر طول الخيط بمقدار (10 سم) ولكل مرة جد قيمة (t) إلى أن تحصل على قيم مختلفة لطول البندول.

5- جد زمن الذبذبة الواحدة بقسمة زمن 20 ذبذبة على 20، $T=t/20$ لجميع الأطوال، ثم خذ مربع زمن الذبذبة الواحدة كما في الجدول التالي:

طول خيط البندول L(cm)	زمن 20 ذبذبة (t)			زمن الذبذبة الواحدة T=t av./20 (sec)	مربع زمن الذبذبة T^2 (sec^2)
	t_1 (sec)	t_2 (sec)	**معدل الزمن (sec) .t av**		

6- ارسم العلاقة البيانية مستخدما ورق بياني بين طول البندول L على محور الصادات ومربع الزمن الدوري T^2 على محور السينات للحصول على الميل Slope.

ومن هذه العلاقة نجد التعجيل الارضي ببعض التحويلات كالاتي:

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{L}{g}$$

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2}$$

$$Slope = \frac{L}{T^2}$$

وبرسم العلاقة بين T^2 على المحور الافقي و L على المحور العمودي وحساب الميل نستنتج قيمة تسارع الجاذبية من العلاقة:

$$g = 4\pi^2 * slope$$

اسئلة المناقشة:

1- ماهو التعجيل الارضي؟

ج /التعجيل الأرضي هو

2- هل يعتمد الزمن الدوري(زمن الذبذبة) والتعجيل الارضي في البندول البسيط على كتلة اوحجم الثقل المعلق بالخيط؟

3- هل يتغير التعجيل الارضي في الارتفاع والانخفاض عن مستوى سطح البحر ولماذ؟

4- ماهي نوع الحركة التي تولدها كرة البندول؟ ولماذا؟

5- ماهي نوع العلاقة بين مربع الزمن وطول خيط البندول؟

6- ماذا يحدث لزمن الذبذبة في البندول البسيط اذا تم مضاعفة سعة الاهتزاز ؟

7- اذا علمت ان البندول الذي طوله 25 سم له زمن دوري قدره ثانية واحدة، فكم سيكون الزمن الدوري اذا تم مضاعفة هذا الطول الى اربعة امثال؟

ج /الزمن يساوي

8- اذا علمت ان طول بندول بسيط يساوي 75 سم، جد الزمن الدوري له؟ استعن بالقيم المعلومة الثابتة التي تعرفها بوحدات المتر.

البندول البسيط

الهدف من التجربة :-

1 ـ دراسة الحركة التوافقية البسيطة للبندول البسيط .

2 ـ دراسة العلاقة بين الزمن الدوري وطول خيط البندول .

3 ـ إيجاد ثابت تسارع الجاذبية الأرضية g .

نظرية التجربة :-

تعرف الحركة لتوافقية البسيطة بأنها الحركة التي تكرر نفسها خلال فترة زمنية ثابته.

من الأمثلة على الحركة لتوافقية البسيطة:

1 ـ حركة البندول البسيط . 2 ـ حركة كتلة معلقة بنابض

البندول البسيط: هو عبارة عن كتلة(كرة) صغيرة معلقة بشكل عمودي بخيط رفيع مهمل الكتله وغير قابل للتمدد. بإهمال قوة الإحتكاك بين الخيط ونقطة التعليق فإن الكتلة (الكرة) المعلقة تكون في وضع إتزان تحت تأثير قوتين منساويتين بالمقدار ومتعاكستين بلإتجاه.، هما ثقل الجسم(قوة جذب الأرض للجسم للأسفل) وقوة شد الخيط للأعلى. وعند إزاحة الكرة بزاوية بسيطة لا تزيد عن 10 درجات وتركها حرة الحركة فإن الكرة لم تعد متوازنة وتتحلل فو جذب الأرض mg الى مركبتين أحدهما mg cos θ التي تتساوى بالمقدار وتتعاكس بلاتجاه مع قوة شد الخيط المائلة على العمود بزاية θ والأخرى $mg \cdot \sin\theta$ التي تسبب حركة الكرة تلقائيا بإتجاه العودة لموضع توازنها وعند وصولها لموقع التوازن تكون قد اكتسبت طاقة حركية تجعلها تذهب إلى الطرف الاخر محدثتا بذلك حركة توافيق بسيط بسعة إهتزاز ثابته. سمي بالبندول البسيط لكون زاوية الإزاحة بسيطة أقل من 10 درجات بحيث يمكن إعتبار $\sin\theta$ يساوي θ. وعلى هذا الأساس تم إستنتاج علاقة حساب الزمن الدوري T على هذا الأساس وأصبحت كمايلي:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$ وعندما نقوم بتحويلها إلى معادلة خط مستقيم تصبح $$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L$$

حيث T الزمن الدوري يقاس بوحدة الثانية(s) ، L طول خيط البندول بوحدة المتر(m) ، وg تسارع الجاذبية الأرضية بوحدة(m/S^2).

من هذه العلاقة يتبين أن العوامل المؤثرة في الزمن الدوري هي :

أ ـ طول الخيط L: الزمن الدوري يتناسب طردياً مع الجذر التربيعي لطول الخيط .

د ـ تسارع الجاذبية الأرضية g: الزمن الدوري يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لثابت تسارع الجاذبية الأرضية.

أي أن الزمن الدوري لا يتأثر بقيمة كتلة الكرة المعلقة m أكانت ذات كتلة كبيرة أم صغيرة ولا بحجمها أكانت كبيرة الحجم أم صغيرة الحجم.

من العلاقة تصبح $T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L$ نوجد تسارع الجاذبية $g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$ ، وبرسم العلاقة بين T^2 على محور y وL على محور x وحساب الميل نستنتج قيمة تسارع الجاذبية من العلاقة $g = \frac{4\pi^2}{slop}$

تجربة رقم 2 توصيل المقومات على التوالي وبالتوازي وإيجاد المقاومة المكافئة

➤ الهدف من التجربة:

1. ربط المقاومات على التوالي وايجاد المقاومة المكافئة.
2. ربط المقاومات على التوازي وايجاد المقاومة المكافئة.

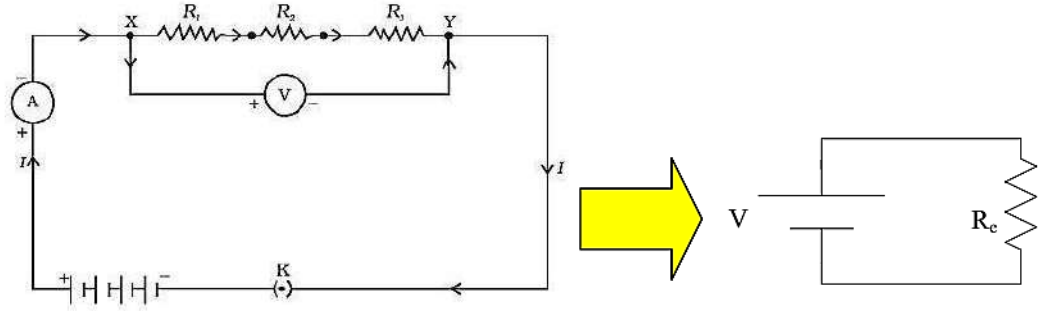
اولا- توصيل المقاومات:

يتم توصيل المقاومات (المصابيح) بطريقتين هما:

1. التوصيل على التوالي Series Circuit:

يمر التيار في حالة التوصيل على التوالي، كما في الشكل، من خلال المقاومات واحدة تلو الاخرى ولذا فان التيار المار خلالهما هو نفس التيار الخارج من المصدر (البطارية) والمار عبر النقطتين (X-Y):

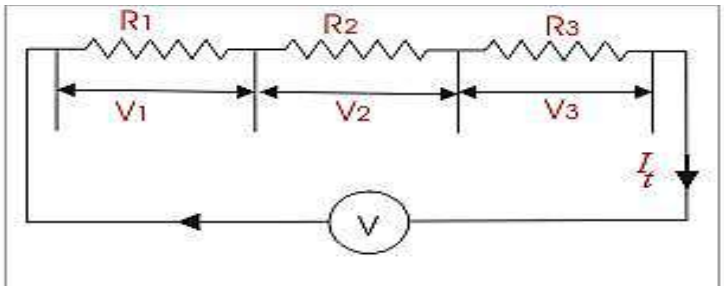
$$I_t = I_1 = I_2 = I_3$$



اذ يمثل (I_t) شدة التيار الكلية، اما فرق الجهد الكلي (V_t) عبر النقطتين (X-Y):

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3$$

(V_1 , V_2 , V_3) يمثل فرق الجهد عبر المقاومة (R_1، R_2 و R_3) وعلى التوالي، كما في الشكل الاتي:



واذا كانت (R_S) هي المقاومة المكافئة (الشكل الاول على اليمين) وطبقا لقانون أوم فان قيمة R_S:

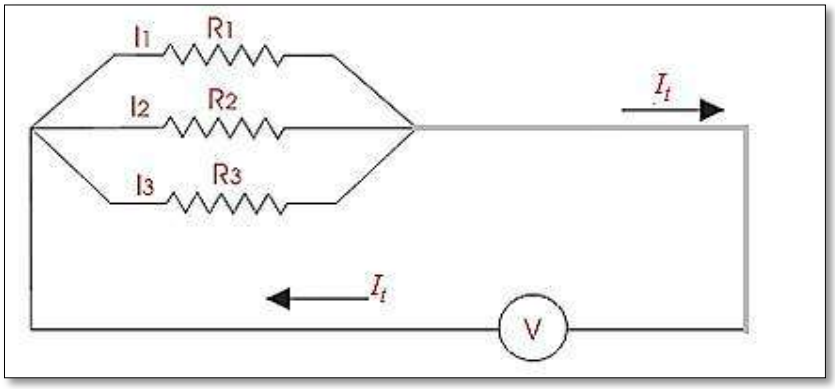
$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 \ (1)$$

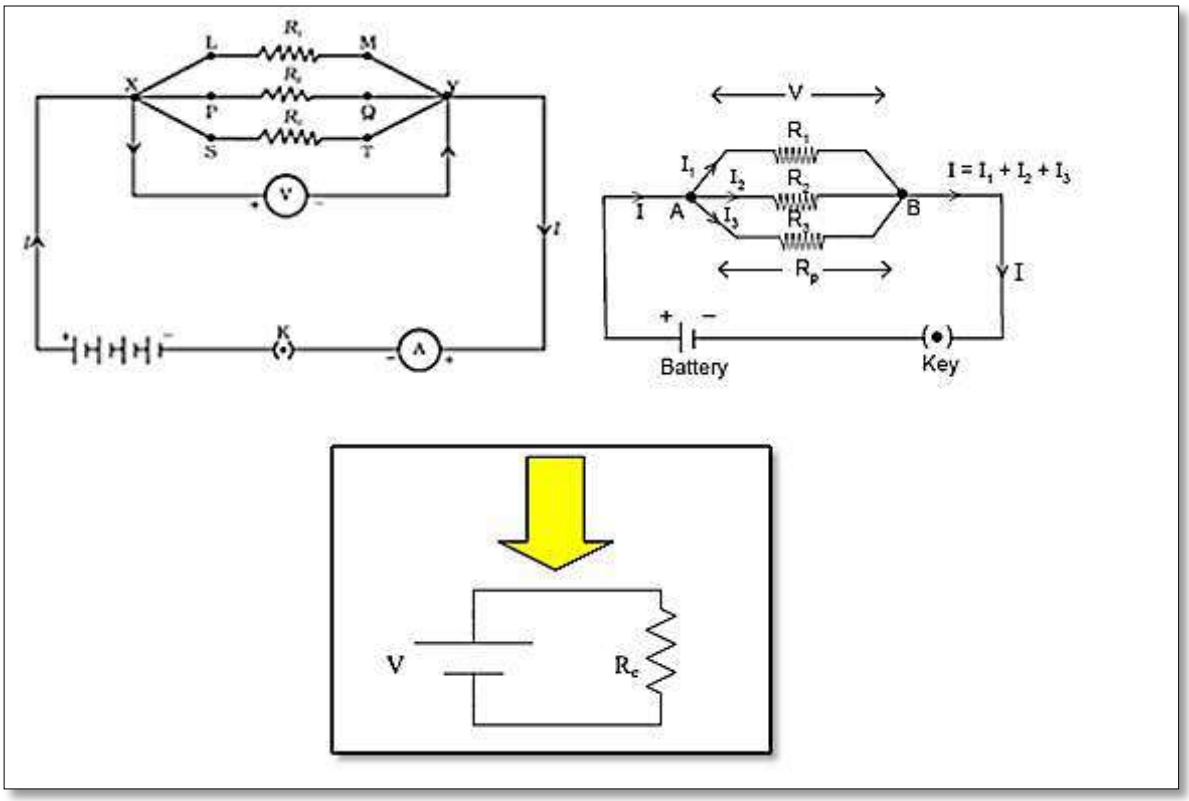
ملاحظة: في الدائرة الكهربائية تشترك مكونات الدائرة بالتيار المار والمتدفق من المصدر الكهربائي بحيث يمر بها نفس التيار، وبذلك يقل الجهد الكهربائي المسلط على كل مكون في الدائرة. واذا حدث ان توقف احد مكونات الدائرة عن العمل سيتوقف تدفق التيار للمكونات الاخرى ايضا.

ثانيا: ربط المقاومات على التوازي Parallel Curcuit

عند توصيل مقاومتين او اكثر على التوازي، كما في الشكل الاتي، يكون فرق الجهد على كل منهما هو نفسه فرق الجهد (V) للمصدر ويتوزع التيار الكلي (I_t) الخارج من المصدر على المقاومات المربوطة R_1, R_2, R_3، كما موضح:

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 \quad \dots (1)$$





فاذا كانت المقاومة المكافئة لمقاومتين R_1, R_2, R_3هي (R_P) فانه تبعا لقانون أوم يكون:

$$\frac{V}{R_P} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3}\ , \quad \rightarrow \frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \dots (2)$$

a. المحاكاة الحاسوبية PhEt لربط المقاومات على التوالي والتوازي والمختلط لدوائر التيار المستمر:

- العرض الفيديوي للتجربة (المحاكاة الحاسوبية PhET)

https://www.youtube.com/watch?v=x2EuYqj_0Uk&t=8s

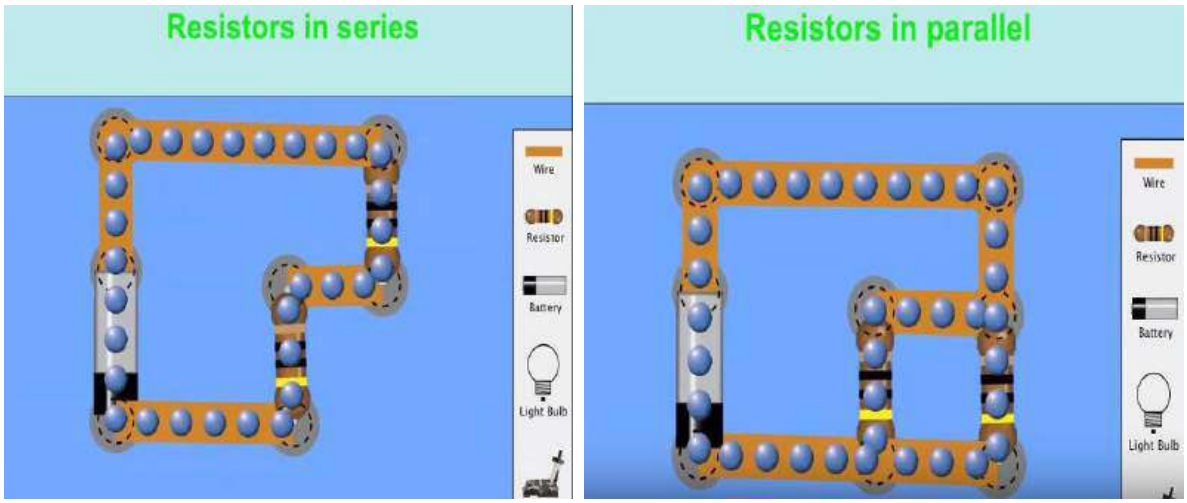
- لربط المقاومات على التوالي والتوازي

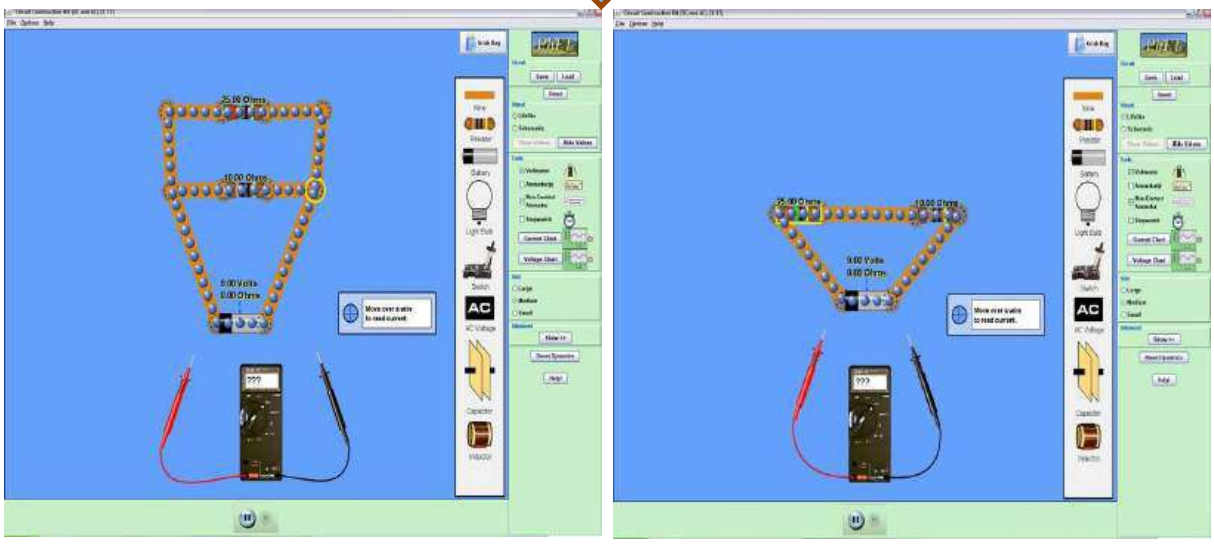
https://www.youtube.com/watch?v=l1feSkRM3kQ

- للربط المختلط:

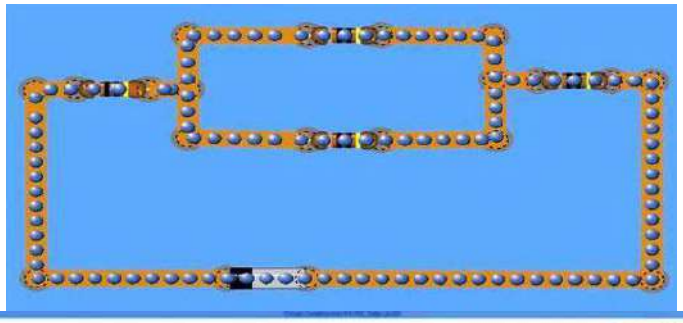
https://www.youtube.com/watch?v=ChX4s6eyuek

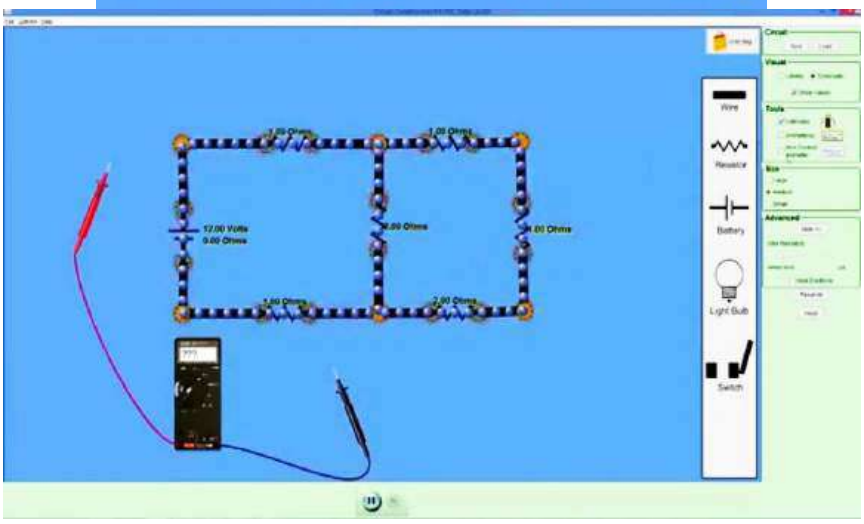
سبق وان تم عرض وصفا كاملا لبرنامج المحاكاة (PhET) وبالامكان الاستفادة منه الان في ربط المقاومات على التوالي، على التوازي والربط المختلط، اذ ستظهر لنا كما في الصور الاتية:





وللربط المختلط كما في الصورة الاتية:





1. باستخدام الفولتميتر والاميتر، خذ قراءات الفولتية والتيار المار عبر كل مقاومة فضلاً عن فولتية المصدر المجهز.
2. أستبدل فولتية المصدر بشكل منتظم واقرأ التيار المناظر.
3. رتب قراءاتك في الجدول الاتي لكل من حالات (التوالي، التوازي والمختلط):

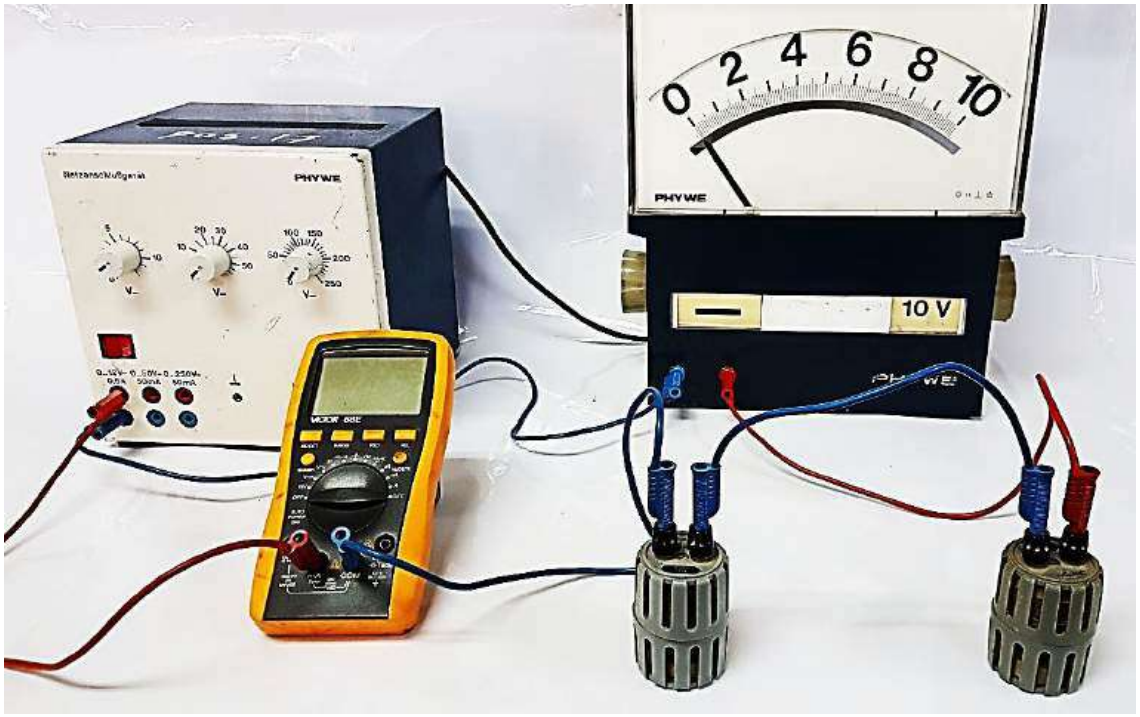
No.	Voltmeter Reading V (V)	Ammeter Reading I (mA)
1		
2		
3		
4		
5		

4. أرسم علاقة بيانية (لكل حالة) بين التيار I على المحور السينات والفولتية V على المحور الصادات، ثم استخرج الميل؟ ماذا يمثل؟
5. قارن قيمة المقاومة المكافئة المحسوبة (من البرنامج) مع القيمة النظرية.

b. التجربة عمليا:

➢ الاجهزة المستخدمة:

مصدر جهد مستمر (بطارية) مقاومات عدد 2، جهاز لقياس فرق الجهد (الفولتميتر)، جهاز لقياس شدة التيار المستمر (الاميتر)، أسلاك توصيل. كما في الشكل الاتي:



➢ طريقة العمل:

أولا: ربط المقاومات على التوالي

توصل المقاومات في الدائرة الكهربائية على التوالي وتوصل مع الفولتميتر على التوازي وبالاتي فرق الجهد بين طرفي اي منها سيكون اقل من فرق جهد البطارية. الا ان التيار الذي تزوده البطارية للدائرة هو نفسه المار في كل مقاومة، وتشكل المقاومات معا قيمة معينة للمقاومة الكلية كما في العلاقة (1).

1.أستبدل الفولتية وسجل قيم التيار المقابل لها، ثم رتب قراءاتك في الجدول الاتي:

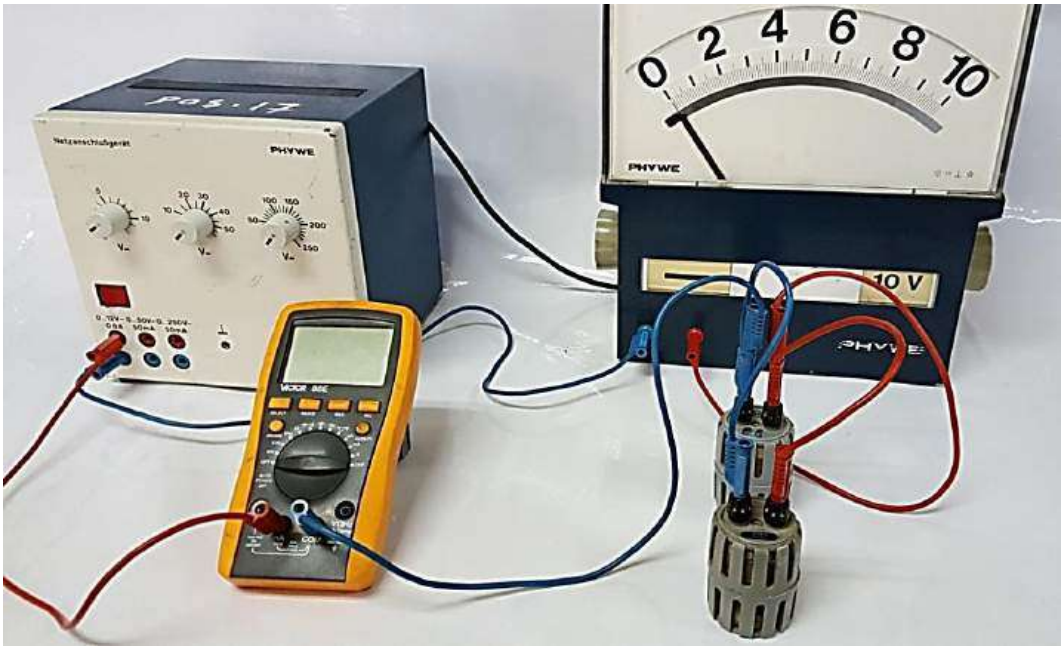
No.	1	2	3	4	5
Voltmeter Reading V (V)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
Ammeter Reading I (mA)					

2. أرسم علاقة بيانية بين التيار I على المحور السينات والفولتية V على المحور الصادات، ثم استخرج الميل؟ ماذا يمثل؟

3. قارن قيمة المقاومة المكافئة المحسوبة (عمليا) مع القيمة النظرية.

ثانيا: ربط المقاومات على التوازي

1.أربط الدائرة الكهربائية كما في الشكل الاتي:



2. كرر الخطوات من 1 الى 3 لحالة ربط التوالي. ثم ارسم العلاقة البيانية بين الفولتية مقابل التيار ثم اوجد المقاومة المكافئة R_P.

3. قارن قيمة المقاومة المكافئة المحسوبة عمليا ونظرياً، ثم فسر النتائج.

العرض الفيديوي:

https://www.youtube.com/watch?v=8RJ6Kdk8KDo&t=390s

اسئلة وملاحظات:

1.لماذا يتم توصيل الاميتر على التوالي بينما الفولتميتر يتم توصيله على التوازي؟ ماهي المخاطر التي تنجم اذا حصل العكس؟

2.أختر قيمتين لـ I في حالة الربط على التوالي (القراءات المدونة في الجدول)، ثم استنتج قيم كل من V_1 على R_1، V_2على R_2 (وذلك باستخدام قانون أوم)، ثم أجمع V_1+V_2 لكل قيمة لـ I. قارن النتيجة بفرق الجهد بين طرفي المصدر في كل حالة (أي بـ V المقابلة لكل I في الجدول ماذا تلاحظ؟ هل ماتم ملاحظته متوقع؟

3.أختر قيمتين لـ V في حالة ربط التوازي المدونة في الجدول، ثم أستنتج قيم كل من I_1 في R_1، I_2 في R_2 ثم اجمع I_1+I_2 وذلك لكل قيمة لـ V. قارن النتيجة بقيمة I الخارجة من المصدر في كل حالة (أي بـ I في الجدول). سجل ملاحظاتك. هل ملاحظتك تتفق مع المتوقع؟.

المحاضرة الثالثة

تحقيق قانون أوم
Achieve Ohm's Law

الأدوات المستخدمة : -

١- بطارية . ٢- مقاومة متغيرة (ريوستات) . ٣- فولتيميتر . ٤- اميتر . ٥- مقاومة . ٦-مفتاح .

النظرية التجربة : -

ينص قانون اوم على أن النسبة بين فرق الجهد V بين طرفي جسم موصل الى شدة التيار الكهربائي I المار خلاله كمية ثابته بثبوت درجة حرارة الموصل .

ان هذه الكمية الثابتة تمثل قيمة المقاومة الكهربائية R .

والتعبير الرياضي لقانون أوم هو:

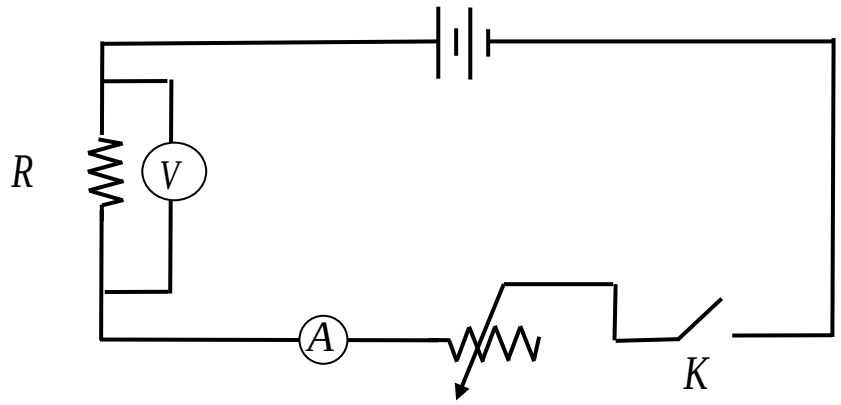
$$R = V / I \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(1)$$

يتضح من العلاقة (١) أن التيار هو دالة خطية لفرق الجهد ، اذ أن المنحني الذي يربط فرق الجهد بين طرفي الموصل والتيار المار فيه هو خط مستقيم .

سيتم عمل التجربة في حالتين :-

طريقة العمل :-

1- أربط الدائرة الكهربائية كما مبين في الشكل .



٢- أغلق الدائرة الكهربائية ,سجل قراءة الأميتر (I) وذلك بالتحكم بقيمة المقاومة المتغيرة وكذلك قراءة الفولتميتر (V) .

٣- غير من قيمة التيار المار في الدائرة مستعينا بالمقاومة المتغيرة(Rheostot) وبمعدل mA (٠،١) وفي كل مرة سجل قراءة الفولتمتر (V) .

٤- قم بتسجيل قيم الفولتية والتيار في جدول .

٥- أرسم خطاً بيانياً بين قيم (I) وقيم (V) المناظرة واحسب قيمة الميل slope .

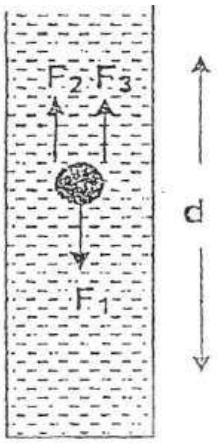
المحاضرة الرابعة

تعيين معامل اللزوجة لسائل باستخدام قانون ستوكس

هدف التجربة:

تعيين قيمة لزوجة سائل الجليسرين باستخدام قانون ستوكس.

نظرية التجربة:



إذا أسقطت كرة معدنية في سائل لزج فإنها تقع تحت تأثير ثلاث قوى متعادلة هي:

– وزن الكرة F_1 وتؤثر رأسياً إلى أسفل:

$$F_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s g$$

– قوة دفع السائل للكرة F_2 المتجهة إلى أعلى:

$$F_2 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_l g$$

– قوة لزوجة السائل F_3 وتكون معاكسة لاتجاه حركة الكرة وتعطى من قانون ستوكس:

$$F_3 = 6\pi r v \eta$$

:

r نصف قطر الكرة v سرعة سقوط الكرة ρ_s كثافة الكرة ρ_l كثافة السائل

η معامل اللزوجة للسائل ويعرف بأنه القوة السطحية المؤثرة على وحدة المساحات بين كل طبقتين من السائل البعد العمودي بينهما يساوي .

وعندما تصل الكرة إلى سرعة منتظمة فإن هذه القوى تتوازن أي أن مجموع القوى إلى أعلى يساوي مجموع القوى إلى أسفل أي أن:

$$F_1 = F_2 + F_3$$

$$\frac{4}{3}\pi\rho_s g = \frac{4}{3}\pi\rho_l g + 6\pi r v \eta$$

ويمكن كتابة المعادلة الأخيرة بالصورة:

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{r^2 g}{v}(\rho_s - \rho_l)$$

: .

gm/cm.sec (pois)

الأدوات المستخدمة:

مجموعة من الكرات ساعة إيقاف مخبار مملوء بالسائل المراد إيجاد معمل لزوجته مسطرة مترية قدمة ذات ورنية.

خطوات العمل:

قيسي أقطار الكرات مستخدمة القدمة ذات الورنية ثم أوجدي أنصاف أقطار الكرات ودونيها بالجدول.

ابدئي بإسقاط الكرة في السائل اللزج مع مراعاة أن يكون موقع الإسقاط في منتصف السائل حتى تتحرك الكرة بحرية وعندما تصل الكرة إلى العلامة العليا **A** الموضوعة على المخبار شغلي ساعة الإيقاف وعندما تصل الكرة إلى العلامة السفلى **B** أوقفي ساعة الإيقاف احسبي الزمن اللازم لقطع المسافة بين العلامتين **A,B** وليكن $\mathbf{T_1}$ ثم دوني القراءة في .

قيسي المسافة بين العلامتين وليكن **d** باستخدام المسطرة المترية ودوني القراءة في الجدول.

احسبي السرعة **v** وذلك بقسمة المسافة **d** على الزمن **T** .

احسبي معامل اللزوجة بالتعويض بالتعويض في العلاقة $\eta = \frac{2}{9}\frac{r^2 g}{v}(\rho_s - \rho_l)$

قومي بإسقاط باقي الكرات واتبعي نفس الخطوات السابقة وعيني في كل مرة الزمن $\mathbf{T_2}$, $\mathbf{T_3}$,... والسرعة $\mathbf{v_2}$, $\mathbf{v_3}$,..... ثم احسبي معامل اللزوجة η_2, η_3,..... ودوني قراءاتك في الجدول.

وأخيراً أوجدي متوسط معامل اللزوجة η .

النتائج العملية:

المسافة بين العلامتين d = ...

كثافة الكرة ρ_s = ...

كثافة السائل ρ_l = ...

عجلة الجاذبية الأرضية g = ...

قطر الكرة	نصف قطر الكرة r	T	v=d/T	معامل اللزوجة η

متوسط معامل اللزوجة η = ...

تعيين عجلة الجاذبية الأرضية باستخدام البندول البسيط

هدف التجربة:

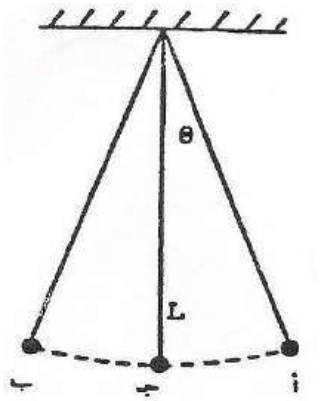
تعيين عجلة الجاذبية الأرضية باستخدام البندول البسيط.

نظرية التجربة:

البندول البسيط عبارة عن كرة معدنية صغيرة معلقة بخيط رفيع كما في الشكل فإذا أزيحت الكرة عن موضع سكونها إزاحة صغيرة θ ثم تركت فإنها تتذبذب حول موضع سكونها وتكون حركة البندول البسيط حركة توافقية بسيطة تعرف زمن ذبذبتها بالعلاقة:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

T هي زمن ذبذبة البندول الزمن الدوري له L طول البندول g عجلة الجاذبية الأرضية. وبتربيع المعادلة تصبح على الصورة:



$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g}L$$

وهي معادلة خط مستقيم ميله يعطى بالصورة:

$$\frac{4\pi^2}{g} \qquad \text{slope}$$

أي أن عجلة الجاذبية الأرضية تعطى بالصورة:

$$g = \frac{4\pi^2}{slope}$$

الأدوات المستخدمة:

بندول بسيط ساعة إيقاف مسطرة مترية .

خطوات العمل:

خذي طولاً معيناً للبندول (cm) L مقاساً من نقطة التعليق إلى منتصف الكرة المعدنية.

أزيحي الكرة عن وضعها الرأسي إزاحة صغيرة ثم اتركيها تتذبذب وفي نفس اللحظة شغلي ساعة الإيقاف وعيني زمن ذبذبة ومنها احسبي زمن الذبذبة الواحدة T إلى أقرب رقمين بعد الفاصلة العشرية.

"الذبذبة الكاملة هي حركة الكرة من النقطة أ إلى النقطة ب ثم العودة إلى النقطة أ مرة " مع التركيز على جعل الإزاحة عن الوضع الرأسي صغيرة وأن تكون الذبذبة في مستوى رأسي ولا تكون حركة مخروطية.

كرري الخطوات السابقة بتغيير طول البندول L وفي كل مرة أوجدي قيمة T

ارسمي العلاقة البيانية بين T^2 على المحور الصادي و L على المحور السيني لتحصلي على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل.

أوجدي ميل الخط الناتج ومن ثم احسبي قيمة عجلة الجاذبية الأرضية g باستخدام :

$$g = \frac{4\pi^2}{slope}$$

النتائج المعملية:

طول البندول	(20T)	زمن ذبذبة واحدة T	T^2

slope = فرق الصادات فرق السينات = ...

$$g = \frac{4\pi^2}{slope} = ... \ cm/\sec^2$$

المحاضرة الخامسة

تعيين منطقة التشغيل لعداد كايكر

OPERATING PLATEAU FOR THE GEIGER TUBE

الهدف من التجربة:

تهدف التجربة إلي تعريف الطالب بخصائص عداد كايكر وإيجاد منطقة الإستقرار النسبي Operating Plateau ومن ثم إيجاد فولتية التشغيل

أدوات التجربة:

عداد كايكر

مصدر كاما

Stop watch

احتياطات الأمان Safety Precautions

1- وضع المصادر المشعة في القوالب والدروع الخاصة بها

2- عدم لمس المصادر المشعة ويجب تناولها بملقط خاص عند الاستخدام

3-عند عدم الظرورة قف على مسافة مناسبة من المصدرالمشع

4- لا تعبث بالمصادر المشعة وضعها في مكانها المناسب عند عدم الاستخدام

5- بعد الاستخدام اعد المصادر المشعة الي الدروع الخاصة بها وضعها في مكانها المناسب

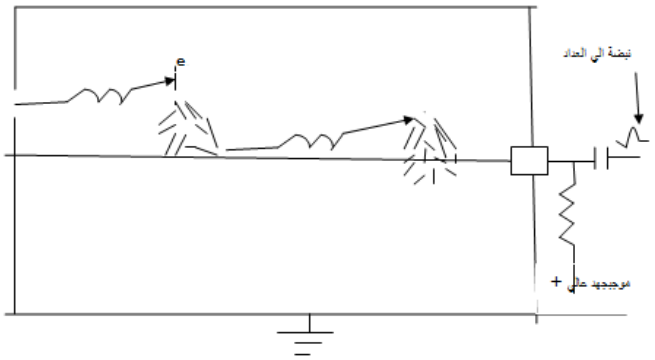
نظرية التجربة:

تعتبر عدادات كايكر من الكواشف الغازية هذه الكواشف بشكلٍ عام تتكون من اسطوانة تحوي غازاً معيناً ويعتمد على نوع الكاشف وجهد التشغيل ويوضع على الجدار الخارجي جهداً سالباً ويعتبر المهبط cathode وعلى طول محور الأسطوانة يوضع سلك يعمل كمصعد حيث يعزل المصعد عن المهبط تماماً وعند مرور الإشعاع المؤين خلال الاسطوانة يقوم بتأيين الغاز إلي أيونات موجبة وأخرى سالبة فتتحرك الأيونات السالبة جهة المصعد والموجبة جهة المهبط وعند فرق جهد معين مسلط يكون فرق الجهد كافي يمكن عنده تشغيل عداد كايكر . وعدادات كايكر لا تفرق بين أنواع الجسيمات أو الطاقات لكنها تخبرك بعدد الجسيمات أو الفوتونات الداخلة الي الأنبوبة

يتكون العداد من إسطوانة مملوءة بغاز الأرجون وفيه مقدار % 10 من غاز الإطفاء مثل الكلور أو الكحول الإثيلي عند ضغط جوي واحد . وجدار الاسطوانة كاكاثود يطلى السطح الداخلي بالجرافيت لضمان توزيع المجال الكهربي خلال الأنبوبة وأما الأنود عبارة عن سلك موازي للمحور رقيق من التنجستن للحصول على مجال كهربي قوي بالقرب من المصعد (الآنود) حيث تزداد شدة المجال الكهربي كلما قلت مساحة مقطع السلك والعداد مزود بنافذة من الميكا ولا ينبغي لمسها.

التفريغ في عداد كايكر

يتفاعل الإشعاع المؤين مع الغاز وينتج الكترونات إبتدائية والتي بدورها تقوم بإنتاج الكترونات ثانوية ذات طاقة حركية كبيرة تتمكن من تأيين جزيئات غازية أخرى مما ينتج عنه شلال avalanche من الإلكترونات التي تتجه نحو المصعد أي أن الإلكترونات الإبتدائية الناتجة عن تأيين الإشعاع تنتج شلالات من إلكترونات ثانوية ويسمى بالتكبير الغازي حيث يكون تتابعياًcascade يعرف بشلال تاونسند Tounsend Avalanche وعند تكون شلالات تاونسند فأثناء تصادم هذه الإلكترونات مع جزيئات الغاز تثار هذه الجزيئات أو تتأين وتعود الجزيئات المثارة الي حالة الإستقرار خلال فترة قصيرة حوالي 9- 10ثانية وذلك عن طريق إطلاق فوتونات في الطيف المرئي أو ذات أطوال موجية تقع في المدى فوق البنفسجي للطيف الكهرومغناطيسي.



الشكل 13: شلالات تاونسند في عدادات جايجر

فإذا تفاعل أحد هذه الفوتونات مع جزيئات الغاز عن طريق التأثير الكهروضوئي في أي موضع من الكاشف أو على سطح المهبط فإن الكتروناً آخر قد ينطلق متحركاً في إتجاه المصعد يؤدي بدوره الي إنتاج شلال آخر ويؤدي الي انتشار التفاعلات المتسلسلة اثناء تفريغ كايكر وهذا يعني نشوء شلالات عديدة تنطلق من أي مكان داخل الأنبوبة مما يؤدي الي انتشار التفريغ على طول محور الانبوبة وذلك بغض النظر عن المكان الذي حدث فيه التفاعل الأول وعندما يزداد فرق الجهد يزداد مقدار تفريغ كايكر وتزداد تبعاً لذلك سعة النبضة الناتجة.

الزمن الميت: dead time

عندما يتم التفريغ فإن المجال الكهربي حول المصعد ينخفض حالاً وبالتالي فإنه يجب أن يمر وقت قبل أن يتهيأ الجهاز لإنتاج تفريغ آخر حيث ينمو الجهد الكهربي حول سلك المصعد حتى يصل الي قيمته الإبتدائية فإذا دخلت أية جسيمات إشعاعية الي الجهاز فور حدوث التفريغ الأول فإنها لا تستطيع أن تحدث تفريغاً في الأنبوبة أي أن الجهاز لا يتحسسها وهنا نقول أن العداد يعتبر في حالة موت أثناء تلك الفترة الزمنية وتسمى بالزمن الميت . dead time تقوم الشحنات الموجبة في التحرك بعيداً عن المصعد وعند لحظة زمنية معينة تبدأ نبضات صغيرة في الظهور ولكن سعتها تكون أصغر من السعة الكاملة لنبضة التفريغ الكاملة وتسمى الفترة الزمنية التي تمضي بين بداية ظهور نبضات صغيرة وظهور نبضة تفريغ جايجر بزمن الاسترجاعRecovery time.

خطوات العمل

1- ضع مصدر كاما على مسافة 2cm تقريباً من نافذة أنبوبة كايكر

2- قم بزيادة فولتية العداد حتى يقوم بالتسجيل هذه النقطة تسمى فولتية البداية Starting Voltage

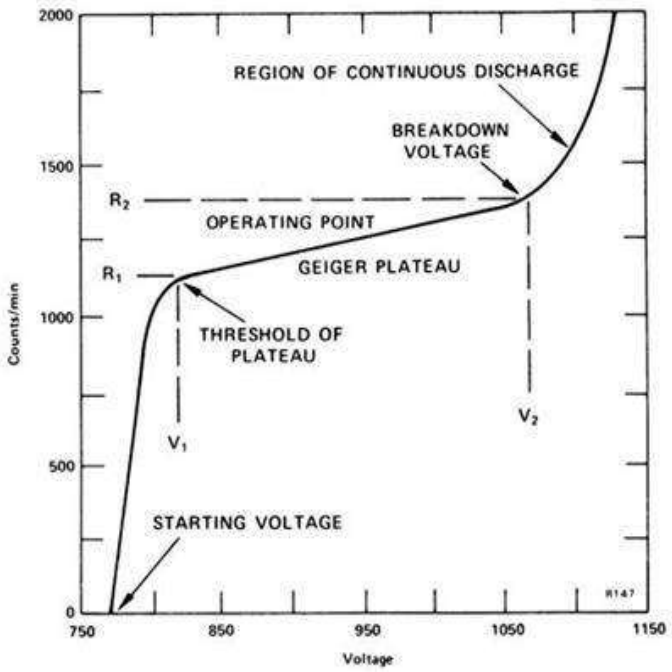
3- اختر الفترة الزمنية دقيقة واحدة ثم قم بالعد لمدة دقيقة واحدة – ارفع الجهد العالي بمقدار 20 فولت وقم بالعد لمدة دقيقة

4- استمر بعمل القياسات كل 20 فولت حتى يكون لديك بيانات لترسم العلاقة بين الفولتية وعدد النبضات في الدقيقة كما في الرسم

تنبيه:

(استخدم قيم للجهد العالي أقل من V2).عادة فإن المنطقة بين V1 وبين V2 تساوي 300Volt إذا قمت بزيادة الجهد عن V2 فإن زيادة كبيرة تحصل في العد فإذا حصل ذلك فهذا يعني أنك وصلت الي منطقة التفريغ المستمر فقم بتخفيض الجهد العالي مباشرة الى V2.

منحنى عداد جايجر



الشكل 16 منحنى عداد جايجر

1

5- أعد أخذ القراءات لنفس فروق الجهد المسجلة سابقاً مبتدئاً بأعلى فولتية ومنتهياً بفولتية البدء

9-ابعد الصدر المشع من أمام واجهة الكاشف وأحفظه في المكان المخصص

10-اوجد معدل العد لإشعاعات الخلفية دون وجود مصدر مشع

11- اوجد صافي معدلات العد أي معدل العد مطروحاً منها معدل العد للخلفية الإشعاعية

12- عين الانحراف المعياري في معدلات العد

13- ارسم منحنى عداد كايكر

النتائج والمناقشة:

اوجد من المنحنى ما يلي

بداية منطقة كايكر V1= volt

نهاية المنطقة المستقرة V2=volt

=V2-V1

R1 هي معدل العد count rate عند فرق الجهد V1

R2هي معدل العد count rate عند فرق الجهد V2

اختر نقطة التشغيل V0 لجهازك عند حوالي 50 - 70 % من مدى المنطقة المستقرة Plateau Range

دون فولتية التشغيل على ورقة صغيرة والصقها على جدار العداد حتى يسهل ملاحظتها في كل مرة يراد فيها استعمال الكاشف

قيم أنبوبة كايكر بقياس ميل المنطقة المستقرة plateau

هذا الميل يعرف كالآتي:

$$Slope = \left[\frac{(R_2 - R_1)}{R_1}\right]\left[\frac{100}{V_2 - V_1}\right]\%$$

عين ميل المستوى

لاحظ أن قيمة الميل يجب ألا تتعدى حوالي 10%

المحاضرة السادسة

تجربة ايجاد البعد البؤري لعدسة محدبة

الهدف من التجربة:

ايجاد البعد البؤري لعدسة محدبة لامة (مجمعة) باستخدام الطريقة البيانية.

الادوات المستخدمة:

1- مصباح ضوئي عادي 12 فولت.

2- عدسة محدبة (لامة)

3- ركائز اومساند + جسم مثلا (شمعة او قلم او اي جسم اخر)

4- مسطرة مترية (شريط قياس)

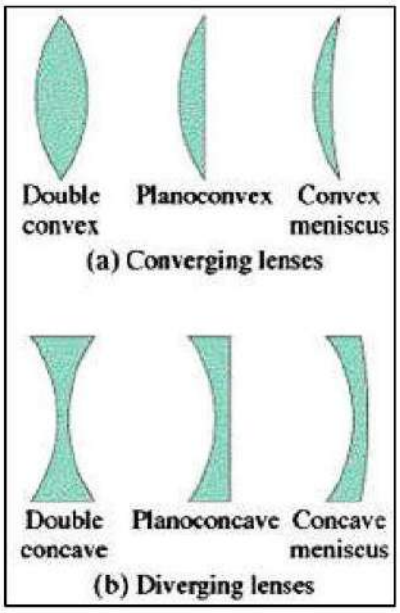
5- شاشة او حائل لاظهار الصورة عليها.

نظرية التجربة:

العدسة هي وسيلة بصرية لإنكسار الضوء أثناء مروره بها، تتكون العدسة من مادة شفافة للضوء يحدها سطحان كرويان عادةً، وتسمى بالعدسة الكروية.

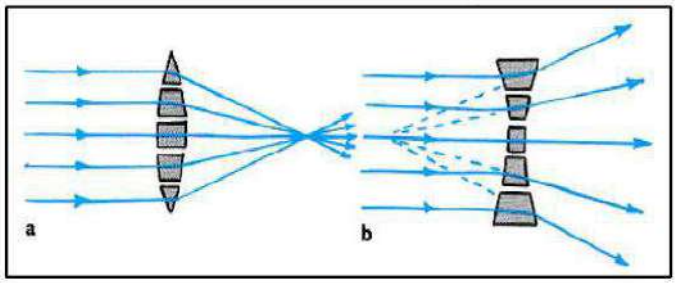
المهمة الابتدائية للعدسة هي تكوين صور حقيقية للاجسام، تصنع العدسات غالباً من الزجاج العادي الا ان هناك عدسات خاصة تصنع من مواد شفافة كالكوارتز والفلورايت.

وقد تكون العدسة محدبة الوجهين او محدبة مسطحة او محدبة مقعرة او مقعرة الوجهين اومقعرة مسطحة او مقعرة محدبة.

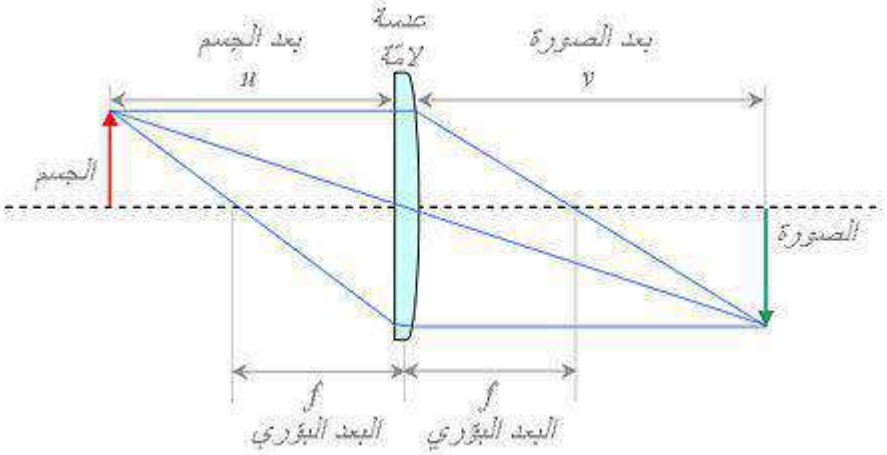


تتكون العدسة من اشكال مختلفة تبعاً لتكور سطحيها وهي قد تكون:

1- مجمعة (Converging) او ماتسمى موجبة القوة، وتمتاز بانها اكبر سمكاً في الوسط عنها في الاطراف، وعادةً تكون اشكالها اما محدبة الوجهين او مسطحة محدبة.



2- مفرقة (Diverging) او ماتسمى سالبة القوة، وتمتاز بانها سميكة عند الاطراف رقية عند الوسط واشكالها مقعرة الوجهين او مسطحة مقعرة.



*** بؤرة العدسة: هي نقطة تجمع الأشعة المتوازية والموازية للمحور الرئيسي للعدسة بعد انكسارها في العدسة المحدبة.**

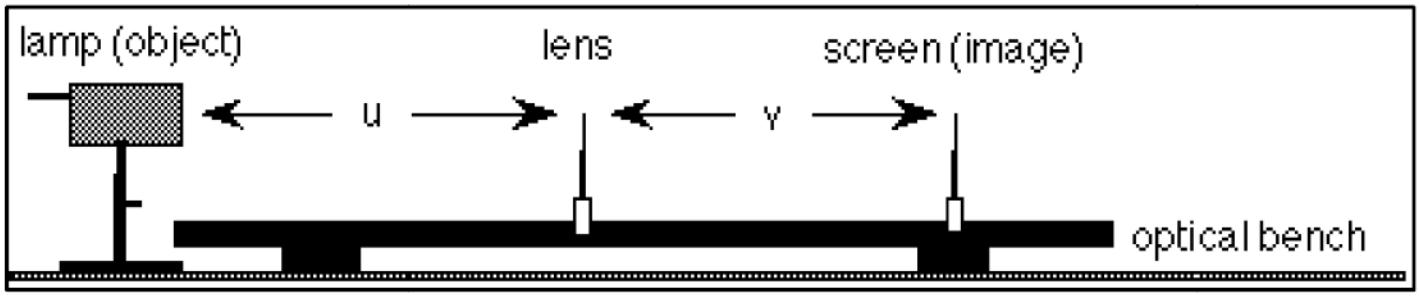
فاذا وضعنا جسماً على مسافة u من عدسة بعدها البؤري هو f، واذا اعتبرنا المسافة عن العدسة التي تتكون فيه الصورة هو v فتتحق العلاقة التالية المسماة بقانون العدسات:

$$1/f=1/u+1/v$$

لذلك اذا وضعنا جسم على بعد u يكون أكبر من بعد العدسة البؤريf نحصل على قيمة موجبة لـ v، أي أن الصورة حقيقية وتتكون من الجهة الأخرى للعدسة. معنى هذا أنه من الممكن إحضار شاشة ونصبها على بعد v من العدسة ونستطيع عندها رؤية صورة الجسم (مكبرة أو مصغرة)، وهذا هو أساس عملية التصوير.

أما إذا كانت قيمة u أصغر من قيمة f ، فتكون قيمة سالبة v ، أي أن الصورة تتكون على نفس الجهة الموجود فيها الجسم، وعندها تدعى صورة وهمية، فلا يمكن نصب شاشة حتى نرى عليها الصورة الوهمية، وهذا هو أساس عمل العدسة المكبرة.

الخطوات العملية للتجربة



1- نضع العدسة على بعد 20 سم من الجسم، ومن ثم نحرك الشاشة باتجاه الجسم بحيث نحصل على أكبر صورة واضحة وحادة على الشاشة ثم نقوم بتسجيل القراءات u البعد بين العدسة والجسم و v البعد بين العدسة والصورة على الشاشة.

2- نقدم العدسة إلى الامام باتجاه الشاشة بمسافة 5 سم ونعدل في مكان الشاشة حتى نحصل على اوضح واكبر صورة للجسم وناخذ القراءات.

3- نعيد الخطوة (2) لكل 5 سم باتجاه الشاشة ونعدل مكان الشاشة في كل مرة للحصول على اوضح واكبر صورة، وناخذ الأبعاد u و v للجسم والصورة على التوالي عن العدسة.

4- ندون القراءات الخاصة بالتجربة في جدول كالتالي :

البعد بين العدسة والجسم u(cm)	البعد بين العدسة و الشاشة v(cm)	$1/u\ (cm^{-1})$	$1/v\ (cm^{-1})$
20			
25			
30			
35			
40			

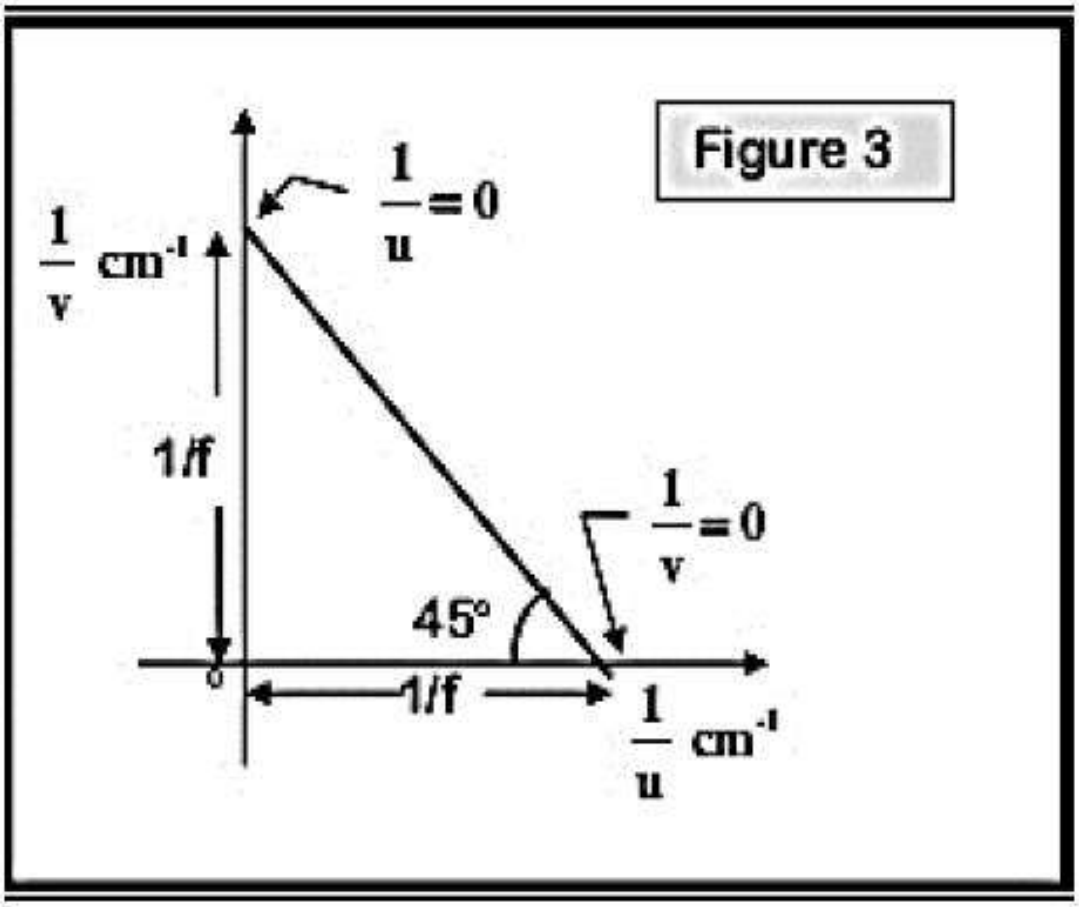
ومن خلال الرسم البياني بين قيم $1/v\ (cm^{-1})$ على المحور الصادي وقيم $1/u\ (cm^{-1})$ على المحور السيني، نجد البعد البؤري f وذلك من خلال القانون التالي:

1/f=1/u+1/v

وان تقاطع الخط المستقيم مع محور 1/u يعني ان 1/v=0 . اي ان 1/f=1/u.

وبنفس الطريقة تقاطع المستقيم مع محور 1/v يعني ان 1/u=0. اي ان 1/f=1/v.

من هاتين العلاقتين يمكن ايجاد قيمة البعد البؤري للعدسة f والتي يجب ان تكون متساوية وفي حالة عدم التساوي يؤخذ معدلهما.

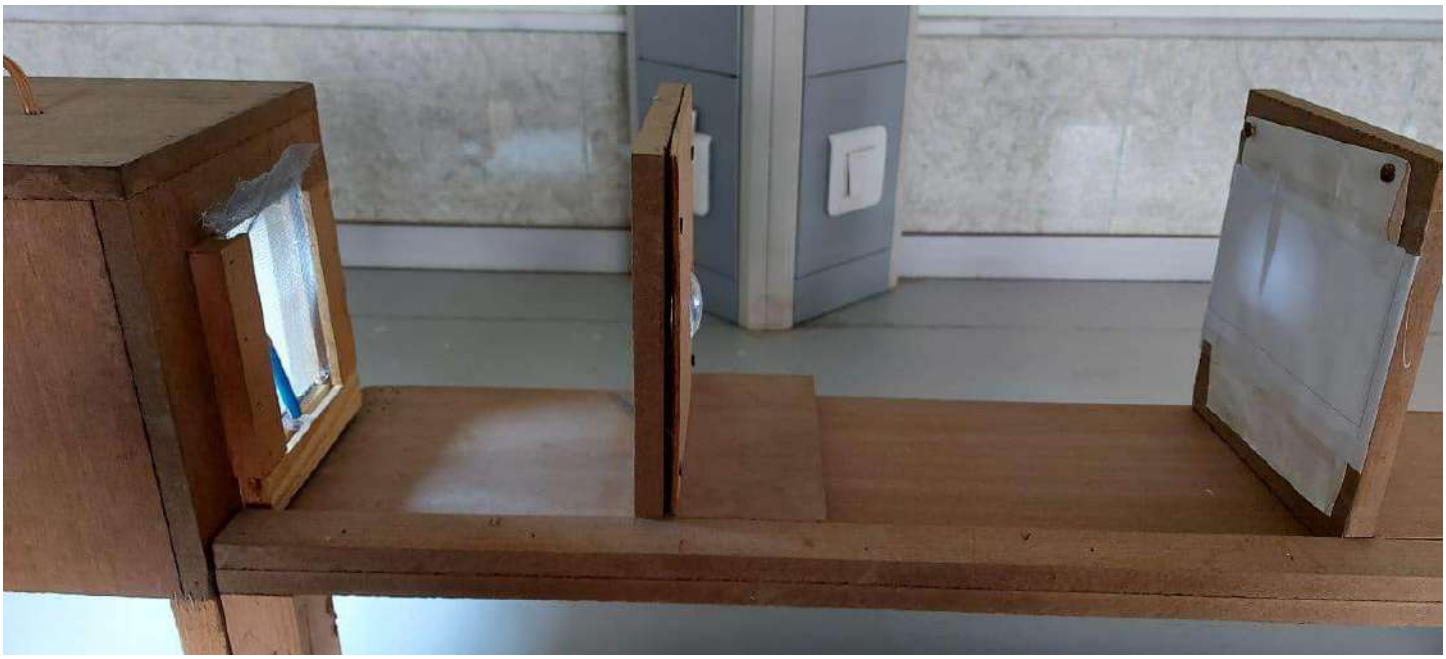


اسئلة المناقشة:

1- عرف مركز التكور، البعد البؤري.

2-وضح حالات تكون الصور في المرآة المحدبة مع الرسم؟

3- هل الصور التي تم الحصول عليها في المرآة المحدبة حقيقة ام خيالية؟



المحاضرة السابعة

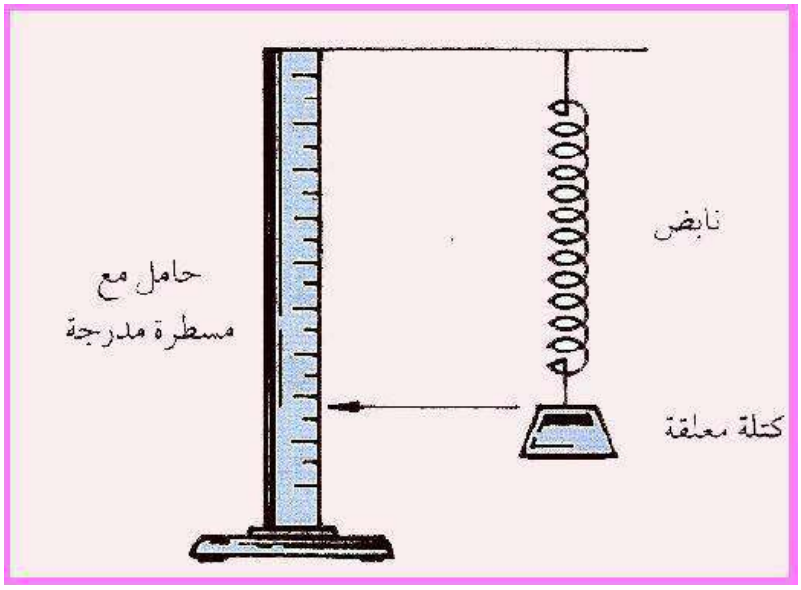
قانون هوك

الهدف من التجربة Aim of the Experiment

تحقيق قانون هوك وايجاد قيمة ثابت النابض الحلزوني

الأجهزة المستخدمة Apparatus

نابض حلزوني مثبت احد طرفيه شاقوليا في حامل ويتدلى من الطرف الاخر الى اسفل ومثبت في نهايته مؤشر لقراءة تدريج المسطرة الشاقولية المثبتة على الحامل بجوار النابض ، أثقال،حامل للإثقال ، ساعة توقيت ، حامل مع ماسك، مسطرة مترية (او شريط قياس).



شكل (1)

نظرية التجربة Theory

لقد لاحظ العالم روبرت هوك عند تأثير قوة بصورة عمودية على جسم ما أن هناك علاقة بين الاجهاد (stress) والمطاوعة النسبية (strain), حيث يعرف الاجهاد على انه النسبة بين القوة العمودية المؤثرة على مساحة المقطع العرضي للجسم .

اما المطاوعة النسبية فتمثل النسبة بين التغير الحاصل في طول الجسم الى الطول الاصلي . وينص قانون هوك على ان النسبة بين الاجهاد والمطاوعة النسبية هي كمية ثابتة تدعى بـ معامل المرونة او معامل يونك (Y) [ويكون الاجهاد ضمن حدود المرونة للنابض الحلزوني] اي أن:

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_o} \qquad (1)$$

حيث F هي القوة العمودية المؤثرة على النابض.

A هي مساحة المقطع العرضي للنابض.

L_o هو الطول الاصلي للنابض.

ΔL هو الفرق الحاصل في طول النابض.

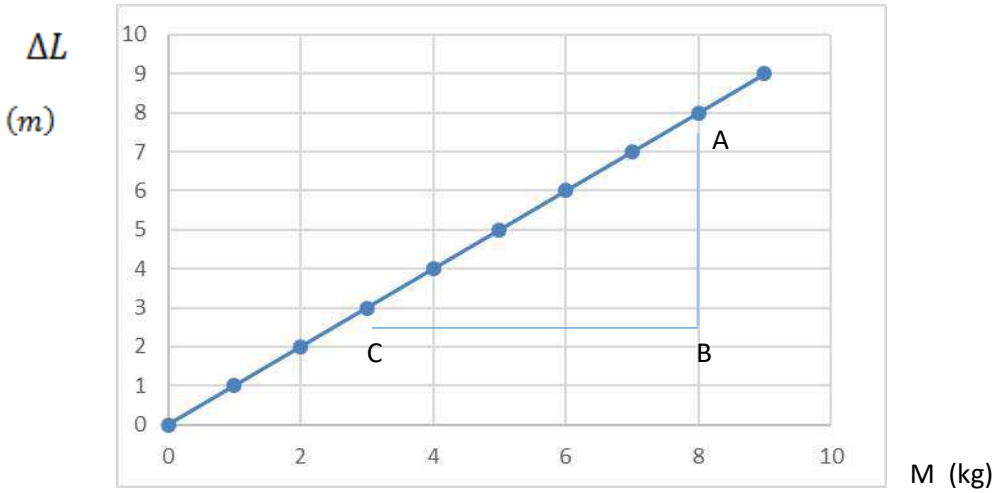
اما ثابت القوة (K) فيعرف على انه القوة اللازمة لاستطالة النابض أو كبسه ووحداته (N/m) ويعطى بالمعادلة التالية :

$$K = \frac{F}{\Delta L} = \frac{Mg}{\Delta L} \qquad (2)$$

$$\therefore \Delta L = \frac{g}{K} M \qquad (3)$$

ان ثابت القوة للنابض (ثابت هوك) مقدار ثابت للنابض الواحد يعتمد على ابعاده ومادته. فاذا وضعت اثقال مختلفة في حامل الاثقال وقيست استطالة النابض ورسمت علاقة بيانية بين الاثقال M على محور السينات و ΔL على محور الصادات كانت نتيجة الرسم خط مستقيم يمر بنقطة الاصل كما في الشكل (2) ميله يساوي

$$slope = \frac{AB}{CB} = \frac{g}{K}$$



شكل (2)

$$\therefore K = \frac{g}{slope} \qquad (4)$$

طريقة العمل Method

1- ثبت النابض الحلزوني والمسطرة المترية في وضع شاقولي بحيث يتحرك المؤشر المثبت في نهاية النابض بحرية ،ثم سجل الطول الأصلي للنابض L_o.

2- ضع كتلة معينة في كفة الاثقال ، وعين القراءة الجديدة للمؤشر L_1.

3- كرر اضافة الكتل الى كفة الاثقال في كل مرة وحدد القراءة الجديدة للمؤشر $L_2, L_3,$ ($L_4, L_5 \ldots$etc). تأكد ان لاتزيد الكتلة كثيرا حتى لايفقد النابض مرونته.

القياسات والحسابات Measurements and Calculations

1- سجل نتائجك كما في الجدول ادناه :

الثقل المعلق M (kg)	طول النابض الاصلي L_o (m)	
	طول النابض الحلزوني عند اضافة الاثقال L (m)	مقدار الاستطالة في النابض الحلزوني $\Delta L = L - L_o$ (m)

2- ارسم العلاقة البيانية بين الاثقال M على محور السينات وΔL على محور الصادات ، ثم جد ميل الخط المستقيم كما في الشكل(2).

3- جد ثابت القوة للنابض الحلزوني K من المعادلة (4) في الجزء النظري .

المناقشة Discussion

1- عرف ثابت هوك (ثابت النابض) وبأي وحدة يقاس؟

2- ما نوع الاجهاد المؤثر على النابض ؟

3- هل يتغير ثابت النابض بتغير نوعه؟

4- ناقش العلاقة البيانية التي حصلت عليها وماذا تستنتج من الرسم؟ وهل يحقق الرسم البياني قانون هوك؟

المحاضرة الثامنة

تعيين السعة الحرارية للمسعر

من المسعرات البسيطة التي يمكن استخدامها في المعمل تلك الموضحة في الشكل التالي:

الشكل (1): المسعر

و تعرف السعة الحرارية للمسعر بأنها: ***" عدد السعرات الممتصة خلال رفع درجة الحرارة للمسعر درجة مئوية واحدة "***

فكرة التجربة :

تعتمد فكرة التجربة على خلط كمية معلومة من الماء البارد مع كمية أخرى معلومة الوزن من الماء الساخن فتنتقل الحرارة من الماء الساخن إلى الماء البارد , ومن المفترض أن كمية الحرارة المفقودة من الماء الساخن تساوي كمية الحرارة المكتسبة للماء البارد ولكن بالحساب يوجد فرق بينهما وهذا الفرق يمثل كمية الحرارة التي انتقلت إلى المسعر.

الأدوات المستخدمة:

مسعر – ترمومتر- كأس زجاجي 250مل - مخبار مدرج- ساعة إيقاف.

خطوات العمل:

١- نظف المسعر و جففه ثم عين وزنه فارغاً وليكن W_C.

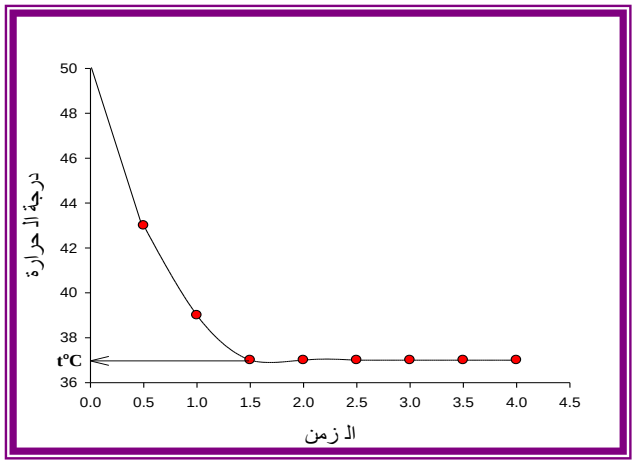
٢- ضع في المسعر 50 مل من الماء المقطر معينة هذا الحجم باستخدام المخبار المدرج ثم أوزن المسعر وما يحتويه من الماء وليكن وزنه W_1.

٣- غط المسعر بالغطاء الذي يحتوي على فتحتي الترمومتر والمقلب, قلب جيداً ولاحظ درجة الحرارة وسجلها عندما تصبح ثابتة أو يكون تغيرها طفيف وثابت ولتكن t_r حيث يرمز r إلى درجة حرارة الغرفة "room temperature".

٤- عند ثبوت درجة الحرارة ***أضيف بسرعة*** 50 مل من الماء المقطر والذي سبق تسخينه في الكأس الزجاجي لدرجة 50 °م وتكون قد ثبتت تماماً عند هذه الدرجة, وقيست الدرجة بالضبط ولتكن t_h حيث تمثل h درجة حرارة التسخين "heat of temperature" ثم أعيد غطاء المسعر سريعاً.

٥- استمر في التقليب لمحتويات المسعر مع مراقبة درجة الحرارة و تسجيلها كل نصف دقيقة ولمدة 10 دقائق ***أو*** حتى تشعر بأنها ثبتت لفترة دقيقتين أي لأربع قراءات متتالية.

و لتعيين درجة الحرارة النهائية بدقة ارسم t مع الزمن, مد الخط حتى الزمن صفر أي حتى يتقاطع الخط مع المحور الصادي و ستكون القيمة المقطوعة هي الممثلة لدرجة الحرارة t, كما هو موضح في الشكل التالي وهي درجة الحرارة النهائية لمسعر مثالي معزول:



الشكل (2)

٦- أوزن المسعر بمحتوياته الماء البارد والساخن وليكن وزنه w_2 .

٧- احسب السعة الحرارية للمسعر آخذةً بعين الاعتبار أن الحرارة النوعية للماء 1 سعر / جرام .درجة كما سيتضح لك من خلال طريقة الحساب المرفقة بالتجربة .

٨- كرر الخطوات السابقة مرتين وخذ متوسط السعة الحرارية لهذا المسعر والتي ستستخدمها في التجارب الأخرى .

الحسابات:

١- احسب وزن الماء البارد حيث:

$$w_r = w_1 - w_c \qquad g$$

٢- احسب وزن الخليط النهائي الساخن حيث:

$$w_h = w_2 - w_c \qquad g$$

3- احسب Δt_1 والتي تساوي التغير في درجة حرارة الماء البارد حيث:

$$\Delta t_1 = t - t_r \qquad °C$$

4- مما تقدم فإن التغير في درجة الحرارة للماء الساخن نتيجة الخلط Δt_2 يحسب كما يلي :

$$\Delta t_2 = t_h - t \qquad °C$$

5- بتطبيق القانون :

"كمية الحرارة = التغير في درجة الحرارة X الكتلة X الحرارة النوعية "

وبما أن الحرارة النوعية للماء =1 سعر/ جرام . درجة , إذن :

** كمية الحرارة المفقودة من الماء الساخن q_h تحسب كالتالي :

$$q_h = 1 \times w_h \times \Delta t_2 \quad cal.$$

** كمية الحرارة المكتسبة بالماء البارد q_r تحسب كالتالي :

$$q_r = 1 \times w_r \times \Delta t_1 \quad cal.$$

** إذاً كمية الحرارة المنتقلة للمسعر q_c تحسب كالتالي:

$$q_c = q_h - q_r \qquad cal.$$

6- السعة الحرارية للمسعر C_1 تحسب كالتالي :

$$C_1 = q_c / \Delta t_1$$

7- كرر التجربة و احسب C_2 ثم اوجد السعة الحرارية للمسعر بأخذ المتوسط كالتالي :

$$C = (C_1 + C_2) / 2$$

التطبيق العملي : بناءً على البيانات التالية احسب السعة الحرارية للمسعر

W_C =123 g وزن المسعر فارغ

W_1 =171.5 g وزن المسعر وما يحتويه من الماء البارد

t_r =26 ^OC درجة حرارة الماء البارد

t_h =50 ^OC درجة حرارة الماء الساخن

W_2 =221.5 g tوزن المسعر بمحتوياته الماء البارد والساخن (الخليط النهائي)

37 ^OC= درجة الحرارة النهائية للخليط (من الرسم)

المحاضرة التاسعة

معاملات المرونة : Modulus of Elasticity

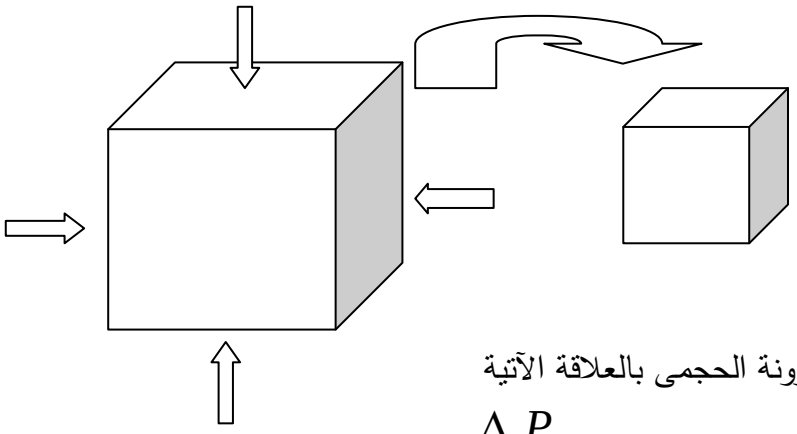
تسمى النسبة بين الإجهاد والمطاوعة بمعامل المرونة ، وتبقى هذه النسبة ثابتة للمادة المتجانسة الخواص ضمن حدود المرونة ، وتعتبر إحدى خواص هذه المادة. وهناك ثوابت عديدة للمرونة تعتمد على طريقة تسليط القوة ، فإذا كبس الجسم أو سحب بقوة فإن ثابت المرونة في هذه الحالة يسمى بمعامل يونگ Young Modulus ويرمز له Y .

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L}$$

حيث $\frac{F}{A}$ هو إجهاد الشد أو الكبس ، $\frac{\Delta L}{L}$ هي المطاوعة الطولية. ووحدة قياس Y هي $\frac{N}{m^2}$ أو $\frac{Dyn}{cm^2}$

معامل المرونة الحجمى:-

أذا تعرض مكعب لإجهاد كانت نتيجته تغير في حجم المكعب إما بالزيادة أو النقصان فإن نسبة الإجهاد على الانفعال الحجمى يسمى بمعامل المرونة الحجمى. ويوضح الشكل التالي هذا المعنى



ويعطى معامل المرونة الحجمى بالعلاقة الآتية

$$B = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta V}{V}}$$

حيث P الضغط المسلط

بعض الخواص الميكانيكية المهمة :-

المرونة Elasticity

هي قدرة المادة على استعادة إبعادها الأصلية بعد زوال الاجهاد المؤثر أي عدم وجود أي تغيير في إبعادها آو شكلها أو حجمها .

ويعرف أجهاد حد المرونة بأنه اكبر أجهاد يمكن إن تتحمله المادة بشرط عدم وجود أي تغيير في المادة بعد زوال الاجهاد المؤثر .

اللدونة Plasticity

هي قدرة المادة على أن يكون لها تشكيل دائم وجديد بعد إزالة الإجهاد المؤثر عليها ، أي إن المادة لا تستطيع أن تسترجع شكلها الأصلي وهي خاصية مهمة في تشكيل المعادن .

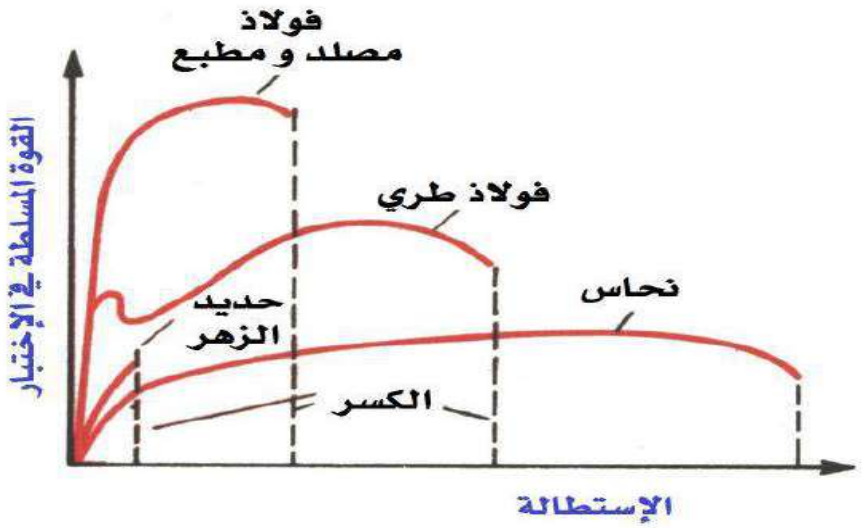
المطيلية Ductility

هي قدرة المادة على السحب والاستطالة عند تعرضها لحمل الشد ، وتقاس المطيلية بما يأتي :-

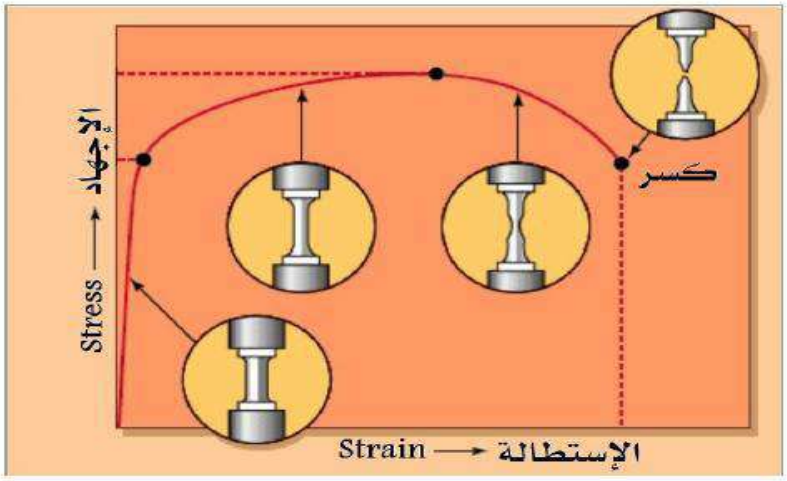
1 -النسبة المئوية للاستطالة = الزيادة في الطول / الطول الاصلي

2 -النسبة المئوية لنقصان المساحة السطحية = مقدار التغير بالنقصان / المساحة الأصلية

3 -معامل الاستطالة = مساحة المقطع الأصلية – مساحة المقطع عند الكسر / مساحة المقطع عند الكسر.



العلاقة بين الإستطالة و قوة الإختبار (الشد) لمعادن مختلفة



منحنى الحمل والاستطالة لعينات من معادن مختلفة

الهشاشية أو التقصف Brittleness

وهي الخاصية التي تجعل من المادة تتكسر قبل حدوث تغير ملحوظ في الشكل مثل الحديد الزهر والخرسانة والزجاج وتعتبر هذه الخاصية عكس خاصية المطيلية .

الصلابة Stiffness

هي مقاومة المادة لأي تغيير في الشكل وتعرف المادة الصلبة بان المادة التي تتحمل وحدة إجهاد عالية مع حدوث تغير صغير في الشكل نسبيا .

المتانة Toughness

وهي قدرة المادة على تحمل الأحمال الميكانيكية ، أي مقدرتها على مقاومة الصدمات الميكانيكية وامتصاص الطاقة ويقصد بالمادة المتينة بالمادة التي تتحمل اجهادات كبيرة مع تغير في الشكل دون أن تتكسر .

الصلادة Hardness

وهي خاصية المادة التي تمكنها من الاحتفاظ بشكل السطح سليما تحت تأثير الاجهادات المختلفة ، أو هي قدرة المادة على مقاومة اختراق أو تغلغل مادة أصلد منها .

وتقاس الصلادة بعدة طرائق منها .

1 -طريقة برنيل للصلادة.

2 -طريقة روكويل للصلادة .

3 -طريقة فيكرز للصلادة .

وتستخدم كل طريقة حسب نوع وطبيعة المادة فكل طريقة تستخدم لطيف معين من المواد .

الأمثلة المحلولة

مثال 1

أثرت قوة مقدارها 2500 N على سلك معدني طوله(10 .m) وقطره (3.5 mm)
فاستطال بمقدار (0.5 cm) فاحسب (أ) الإجهاد (ب) الانفعال(جـ) معامل يونك .

الحل

لحساب الإجهاد في البداية يجب أن نضبط وحدات المعطيات كالتالي:

$$F = 2500\ N \quad , \quad L = 10\ m$$

$$2r = 3.5\ mm = 3.5\ x\ 10^{-3}\ m \quad , \therefore\ r = 1.75\ x\ 10^{-3}\ m$$

$$\Delta L = 0.5\ cm = 0.5\ x\ 10^{-2}\ m$$

$$A = \pi r^2 = 3.14\ x1.75\ x\ 10^{-3}\ x\ 1.75\ x\ 10^{-3} = 0.096\ x10^{-4}\ m^2$$

(أ) الاجهاد

$$S = \frac{F}{A} = \frac{2500}{0.096\ x10^{-4}} = 2.6\ x\ 10^{8} \quad N/m^2$$

(ب) الانفعال

$$e = \frac{\Delta L}{L}$$

$$= \frac{0.5\ x\ 10^{-2}}{10} = 0.5\ x\ 10^{-3}$$

(جـ) معامل يونك هو النسبة بين الإجهاد والانفعال

$$Y = \frac{S}{e} = \frac{2.6\ x\ 10^{8}}{0.5\ x\ 10^{-3}} = 5.2\ x\ 10^{11}\ N/m^2$$

مثال 2

قضيب من النحاس الأصفر معامل مرونته ($1.1*10^{12}$ N /m ^{2}) ، جد نصف قطر القضيب الذي طوله(1 m) ويتعرض إلى قوة شد مقدارها (22 N) وتسبب زيادة في طوله (1 mm) ؟

الحل

$$Y = \frac{s}{e}$$

$$= \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

$$= \frac{F \quad L}{A \quad \Delta L}$$

$$A = \frac{FL}{Y\Delta L}$$

, F = 22 N , L = 1m $\Delta l = 1mm = 10^{-3}$ m .

$A= 22*1 / 1.1*10^{12}*10^{-3}$

$= 2*10^{-8}$ m

π r ^{2}= A

r = 7.981 * 10^{-5} m.

مثال 3

سلك معدني طوله (2m)مقطعة العرضي مربع طول ضلعه (8 mm)علق به ثقل كتلته (1.2 .kg) فاستطال مسافة (3mm) ، جد قيمة معامل يونك ؟

$$Y = \frac{s}{e}$$

$$= \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}}$$

$$= \frac{F \quad L}{A \quad \Delta L}$$

نحول جميع الوحدات الى وحدات الغرام. سم . ثانية

$F = m^* g$

$= 1.2 *10^3 * 980$

$= 1176*10^3$ dyne

$A = 0.8*0.8$.

$= 0.64\ cm^2$

$\Delta l = 3mm = 0.3cm$

$L = 2m = 200cm$

$$Y = \frac{1176*10*200}{0.64*0.3}$$

$Y = 1225*10^6\ Dyne/cm^2$ قيمة معامل يونك

المحاضرة العاشرة

التمدد الحراري :

ان تغير درجة حرارة المادة يؤدي الى تغيرات في الخواص الاخرى للمادة ومن ابرز هذه التغيرات هو تغير ابعاد المادة او تغير حالتها . ان رفع درجة حرارة المادة يؤدي الى زيادة الطاقة الاهتزازية لذراتها او جزيئاتها وعندما تزداد سعة اهتزاز تلك الجسيمات , هذا معناه زيادة معدل او متوسط المسافة بين الذرات او الجزيئات , أي ان جميع ابعاد المادة سوف تتغير , تزداد بارتفاع درجة حرارتها وتنكمش بانخفاض درجة حرارتها . وتسمى ظاهرة تغير ابعاد المادة نتيجة لتغير درجة حرارتها بالتمدد الحراري .

من المعلوم ان معظم الاجسام تتمدد عندما تزداد درجة حرارتها , ويتوقف مقدار تمدد المادة بالتسخين على مقدار قوى التماسك بين جزيئتها ,فالمادة الصلبة يكون مقدا تمددها بالتسخين صغير جدا نظرا لكبر قوى التماسك بين جزيئتها , في حين ان تمدد السوائل يكون اكبر من تمدد الاجسام الصلبة بالتسخين , اما الغازات فيكون تمددها بالتسخين اكبر بكثير من السوائل لان قوى التماسك بين جزيئات الغاز تكاد معدومة .

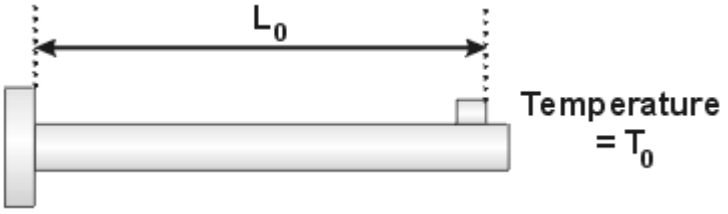
هذه الظاهرة تلعب دورا رئيسيا في العديد من التطبيقات الهندسية , فعلى سبيل المثال يتم ترك مسافات بين الوصلات الحديدية في المباني والجسور والسكك الحديدية والطرق السريعة لتعطي المجال لتمدد والانكماش واذا لم يتم فعل ذلك يمكن ان يتصدع المبنى او تنهار الجسور وتلتوي السكك الحديدية بفعل التمدد الحراري للمواد المصنوعة منه .

ان التمدد الحراري thermal expansion للاجسام هو نتيجة عن التغير الذي يحدث للمسافات بين جزيئات وذرات المادة .

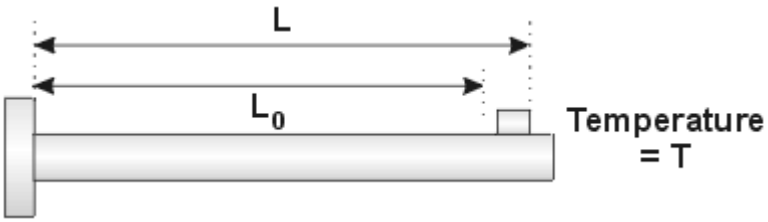
تمدد الاجسام الصلبة ....

التمدد الطولي :

يحدث التمدد على كافةابعاد الجسم كالطول والعرض والسمك وتكون نسبة الزيادة حسب الابعاد الهندسية للمادة ومقدار الزيادة يتناسب طرديا مع الطول الاصلي لذا تكون الزيادة في الطول اكثر منها في العرض او السمك .

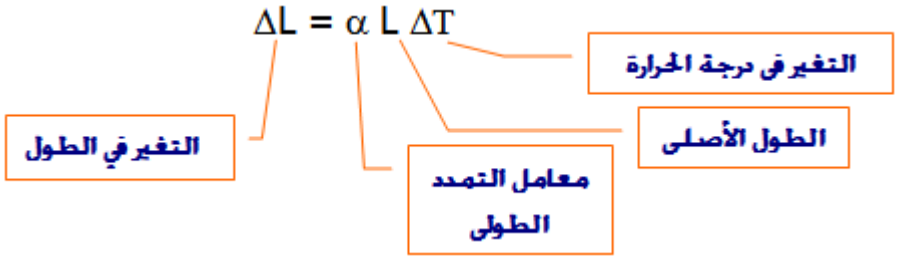


قبل التسخين



بعد التسخين

وقد اثبتت التجارب ان التغير في الطول يتناسب طرديا مع التغير في درجات الحرارة والطول الاصلي لذا يمكن كتابة معادلة التغير في الطول على النحو التالي :



حيث ان التناسب يسمى معامل التمدد الطولي يعطى بالمعادلة التالية

$$\alpha = \frac{1}{L}\frac{\Delta L}{\Delta T}$$

وعليه يمكننا تعريف معامل التمدد الطولي على انه مقدار التغير في الطول لكل تغير في درجة الحرارة بمقدار درجة مئوية . وتكون وحدة معامل التمدد الطولي هي **deg-1** .

ان جميع المواد تتمدد بالحرارة ولكن كل مادة لها معامل تمدد مختلف , وان قيمته ليست ثابته تماما ولكنها تتغير بصورة بطيئة مع تغير درجة الحرارة , ان التمدد الطولي يشمل كافة ابعاد الجسم ويكون التمدد ذو علاقة خطية مع درجة الحرارة لجميع ابعاد الجسم .

العوامل التي يتوقف عليها التمدد الطولي :

١- الطول الاصلي للجسم .

٢- مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم .

٣- نوع مادة الجسم .

مثال : سكة حديد طولها 30 م عند درجة حرارة صفر , ما طولها عندما تكون درجة الحرارة 40 درجة مئوية هذا علمت ان معامل التمدد الطولي للحديد ($0{,}000011\ c^{-1}$)؟

الحل

$$\Delta l = \propto\ l_0\ \Delta\ T$$

$$= 0.\ 000011 * 30 * 40$$

$$= 0.\ 013\ M$$

$$\Delta l = l_2 - \ l_1$$

$$0.013 = l_2 - \ 30$$

$$l_2 = 30.013\ m$$

مثال : ساق من النحاس طوله 50 cm , سخن على لهب بحيث زادت درجة حرارته بمقدار 20 درجة مئوية , احسب الزيادة في طول الساق النحاسي , اذا علمت ان معامل التمدد الطولي للنحاس ($0{,}000019\ c^{-1}$) ؟

الحل

$$\Delta l = \propto\ l_0\ \Delta\ T$$

$$= 0.\ 000019 * 50 * 20$$

$$= 0.\ 019\ cm$$

مثال : ساقان معدنيان متساويان في الطول , المقطع الاول من الفولاذ معامل تمدده ($0{,}000011\ c^{-1}$) ,الثاني من النحاس الاحمر معامل تمدده ($0{,}000017\ c^{-1}$) . احسب الزيادة التي تطرا على كلا الساقين عندما يتعرضان لتغير في درجة الحرارة من 5 درجة مئوية الى 30 درجة مئوية علما ان الطول الاصلي لكل ساق 10 متر ؟

الحل

الساق من الفولاذ

$$\Delta l = \propto \ l_0 \, \Delta \, T$$

$$= 0.\ 000011 * 10 * 25$$

$$= 0.\ 00275\ M$$

الساق من النحاس

$$\Delta l = \propto \ l_0 \, \Delta \, T$$

$$= 0.\ 000017 * 10 * 25$$

$$= 0.\ 00425\ M$$

التمدد السطحي ....

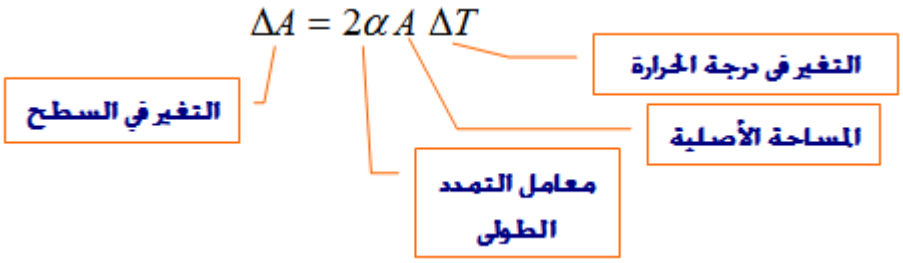
المواد الصلبة

ان تغير مساحة السطوح مع تغير درجة حرارتها يعرف بالتمدد السطحي او تمدد المساحة , ويعرف معامل التمدد السطحي على انه مقدار الزيادة في المساحة لوحدة المساحة عند ارتفاع درجة الحرارة درجة حرارية واحدة , وهو يعادل ضعفي معامل التمدد الطولي للمواد المتماثلة , ويتوقف على نوع المادة نفسها ويقدر بنفس وحدات معامل التمدد الطولي , يكون مقدار التغير في وحدة الطول ناتج عن تاثير تغير درجة حرارة المادة متساويا في جميع الاتجاهات في المادة بشرط ان تكون المادة الصلبة متجانسة الخواص أي يكون لها الخواص نفسها في جميع الاتجاهات وهذا يعني ان المسافة بين أي نقطتين في المادة تتغير بالمقدار نفسه لمقدار التغير في درجة الحرارة نفسها .

العوامل التي يتوقف عليها التمدد السطحي :

١- المساحة الاصلية للجسم .
٢- مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم .
٣- نوع مادة الجسم .

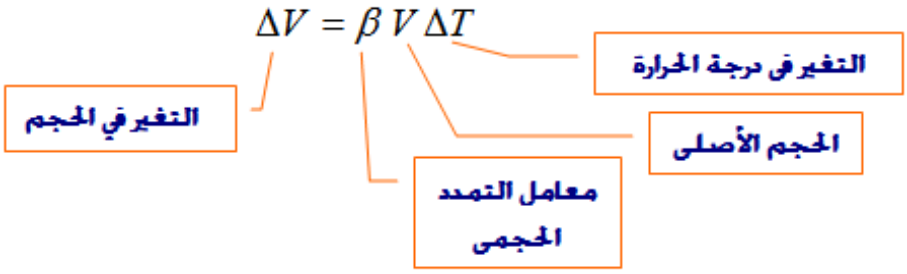
على نفس الاساس يكون التمدد السطحي لمادة ما يعطى بالعلاقة التالية :



التمدد الحجمي ....

للمواد الصلبة :

ان حجم المادة يتغير اذا تغيرت درجة حرارة المادة بنفس طريقتي التمدد الطولي والتمدد السطحي , يعرف معامل التمدد الحجمي على انه التغير النسبي في حجم المادة الصلبة نتيجة لتغير درجة حرارتها درجة حرارية واحدة , ويمكن التعبير عن التمدد الحجمي رياضيا بالعلاقة التالية :



معامل التمدد الحجمي يعادل ثلاثة اضعاف معامل التمدد الطولي للمواد المتماثلة أي ان :

$$\Delta V = 3\alpha V \Delta T$$

$$\mathbf{B = 3\ \alpha}$$

يعود ذلك الى ان الجسم المتجانس يتمدد في ابعاده الثلاثة بالمقادير نفسها أي انه يتمدد باتجاه الطول والعرض والارتفاع

العوامل التي يتوقف عليها التمدد الحجمي :

١- الحجم الاصلي للجسم .
٢- مقدار الارتفاع في درجة حرارة الجسم .

٣- نوع مادة الجسم .

مثال :

وعاء نحاسي حجمه ($0.25\ m^3$) عند درجة الحرارة ($15\ c^0$) , كم يصبح حجمه عند درجة حرارة ($115\ c^0$) اذا علمت ان معامل التمدد الطولي للنحاس ($0.000017\ c^{-1}$) .

$$B = 3\ \alpha$$

$$= 3\ *0.\ 000017$$

$$=\ 0.000051\ c^{-1}$$

$$\Delta V = 3\alpha\ V \Delta T$$

$$V - 0.25 = 0.000051 * 0.25 * (115\text{-}15)$$

$$V = 0.251\ m^3$$

تمدد السوائل :

عرفنا ان الاجسام الصلبة تتمدد طوليا وسطحيا وحجميا لان لها شكل ثابت . اما السوائل (الموائع بشكل عام) فليس لها شكل ثابت بل تاخذ شكل الاناء الحاوي لها وتحتفظ بحجومها لذلك فان السوائل تتميز بنوع واحد من التمدد هو التمدد الحجمي حيث يتغير حجم السائل عندما تتغير درجة حرارته , يتوقف مقدار التغير في حجم السائل على مقدار ما يكتسبه من طاقة حرارية , فهو يعتمد على العوامل التالية :

١- الحجم الاصلي للسائل (V).
٢- مقدار التغير في درجة حرارة السائل (ΔT).
٣- نوع مادة السائل .

يمكن حساب التغير في حجم السائل من العلاقة التالية :

$$\Delta V = V * \boldsymbol{\eta} * \Delta T$$

حيث ان $\boldsymbol{\eta}$ معامل التمدد الحجمي للسائل

يزداد حجم السوائل بصورة عامة اذا ارتفعت درجة حرارتها ويشذ عن هذه القاعدة بعض السوائل مثل الماء الذي يقل حجمه اذا ارتفعت درجة حرارته من الصفر الى 4 مئوي اما بعد هذه الدرجة الحرارية فان الماء يسلك سلوكا طبيعيا كبقية السوائل اي يزداد حجمه بزيادة درجة حرارته .

تمدد الغازات :

يتغير حجم الغاز تغيرا كبيرا اذا تغيرت درجة حرارته عند ثبوت الضغط المسلط عليه , ان قيمة معامل التمدد الحجمي للغازات تكاد تكون ثابته تقريبا . وقد وجد عمليا ان معامل التمدد الحجمي للغاز يكافئ $^{1}/_{273}$ وهو ما يعرف بقانون جارلس الذي ينص على ان حجم كتلة معينة من الغاز محفوظ تحت ضغط ثابت يزداد بنسبة ثابتة تعادل $^{1}/_{273}$ من حجمه عند درجة صفر مئوية لكل زيادة في درجة حرارته مقدارها درجة حرارية واحدة .

المحاضرة الحادي عشر

تحقيق قانون ستيفان بولتزمان

Verification Stefan-Boltzman's Law

الهدف من التجربة

تحقيق قانون ستيفان بولتزمان للاشعاع الحراري وتعيين ثابت ستيفان.

الأجهزة المستخدمة

صندوق خشبي مغلف من الداخل بقماش اسود–مصباح-فولتميتر-اميتر-مجهز قدرة-محرار-ساعة توقيت .

نظرية التجربة

من المعروف أن الأجسام الساخنة تبعث أشعة حرارية بهيئة أشعة كهرومغناطيسية وتعتمد الأطوال الموجية لهذه الأشعة على درجة حرارة الجسم .

فالأجسام الساخنة دون التوهج تبعث أشعة ذات أطوال موجية طويلة غير مرئية. وتختلف الأجسام أيضا عن بعضها بمقدار الطاقة التي تبعثها نسبة ما يمتصه الجسم من مجموع الطاقة الساقطة عليه تسمى بالامتصاصية(absorptivity) α فالامتصاصية للجسم الأسود هي نسبة ما يبعثه الجسم من الطاقة لوحدة السطح إلى مقدار الإشعاع من وحدة السطح من جسم اسود مثالي تسمى بالإشعاعية e (emissivity).

والحقيقة هي ان $\alpha = e$ وهاتان الكميتان تتغيران بصورة عامة مع الطول الموجي (λ) للأشعة. فجسم ما قد يبدو اسود بالنسبة للأشعة المرئية ويمكن ان يكون رمادياً بالنسبة للأشعة دون الحمراء والعكس صحيح فلو سلطنا أشعة على جسم ما فأن درجة حرارته ترتفع في البداية ثم تصل بعدئذ الى درجة معينة[درجة الاتزان] يصبح عندها ما يمتصه من الطاقة يساوي ما يبعثه منها .

لقد وجد العالمان (ستيفان – بولتزمان) بان قدرة الإشعاع الكلية لوحدة المساحة W تتناسب طرديا مع (T^4)

حيث ان: T : درجة حرارة الجسم

σ ثابت ستيفان-بولتزمان

$$W = e \sigma T^4 \ldots\ldots \ldots (1)$$

حيث σ : ثابت ستيفان – بولتزمان

ولما كانت e للجسم الاسود $e = 1$

$W = \sigma T^4$.....(2)

ولو كان الجسم الاسود على هيئة صندوق مساحته السطحية (A) وكانت درجة حرارته الابتدائية (T_0)

$P_o = W A = \sigma T_o A$ .....(3)

فإذا وضع في داخل الصندوق مصباح كهربائي وسلط عليه فرق جهد (V) والتيار المار في سلك المصباح هو (I) فأن قدرة المصباح كما يلي :

$P_o = I V$ .....(4)

ولما كان المصباح داخل الصندوق فأن هذه القدرة يجب ان تشع من قبل الجسم لذا سوف ترتفع درجة حرارة الجسم حتى تصل الى درجة الاتزان T حيث عندها يتولد من طاقة في داخل الصندوق يساوي ما يفقده من القدرة ويكون :

$P = \sigma T^4 A$ .....(5)

حيث:

P: هي مجموع قدرة المصباح وقدرة امتصاص الطاقة من المحيط الخارجي

أي ان :

$P = P_o + P_e = \sigma T^4 A$ .....(6)

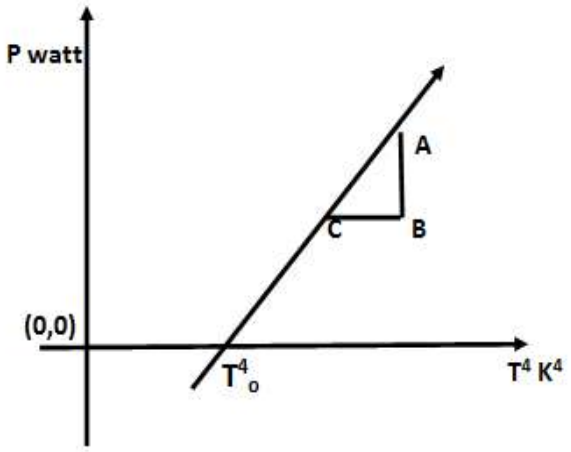
$P_e = \sigma T^4 A - \sigma T_o A$ .....(7)

من خلال المعادلة (7) ترسم علاقة بيانية بين (P_e) على محور الصادات و (T^4) على محور السينات ومن الرسم البياني نجد الميل $slope = P_e/T^4$ كما مبين في الشكل رقم (1)

ومن الرسم البياني نجد الميل

$$Slope = \frac{AB}{CB} = \frac{Po}{T4}$$

ومن ثم نجد قيمة ثابت ستيفان-بولتزمان σ



$$\sigma=\frac{\text{Slope}}{A}$$

حيث(A) مساحة الجسم [$A=945cm^2$].

(σ) تقاس بوحدة [$watt.\ m^{-2}\ .\ K^{-4}$]

طريقة العمل

الدائرة الكهربائية المستخدمة في التجربة هي كما موضح في الشكل رقم (2)

١- سجل درجة حرارة الجسم الابتدائية (t_o (°C) ثم احسب منها (T_o(K).

٢- سلط جهدا على المصباح بحيث يكفي لإشعال فتيلة المصباح ثم انتظر حتى تصل حالة الاتزان الحراري .

٣- سجل درجة حرارة الجسم بعد ثباتها ثم سجل (I) و (V) .

٤- استمر بزيادة فرق الجهد بقيم معينة وخلال فترات ثم انتظر حتى تصل حالة الاتزان الحراري في كل مرة ثم سجل (T) و (I) و (V).

القياسات والحسابات:

1-رتب النتائج التي حصلت عليها كما يلي :

I amp	V volt	P_e=IV watt	T C°	T=t+273 K°	T^4 K^{-4}

2-ارسم علاقة بيانية بين P_e و T^4 كما مبين في الشكل رقم (1) .

3 -جد قيمة (σ) ثابت ستيفان-بولتزمان كما يلي : σ = slope /A

4 -جد قيمة (T_o) من خلال الرسم البياني ثم قارنها بالقيمة المقاسة عند بداية التجربة .

المحاضرة الثانية عشر

تحديد الحرارة الكامنة لانصهار الجليد

الهدف من التجربة

ايجاد الحرارة الكامنة للجليد

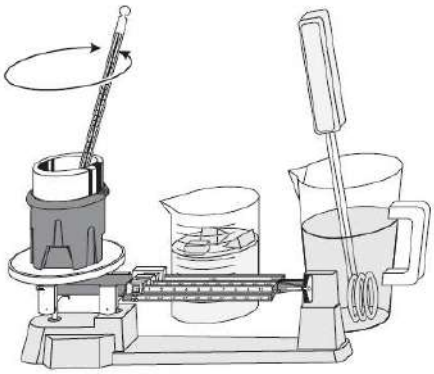
الأجهزة المستعملة

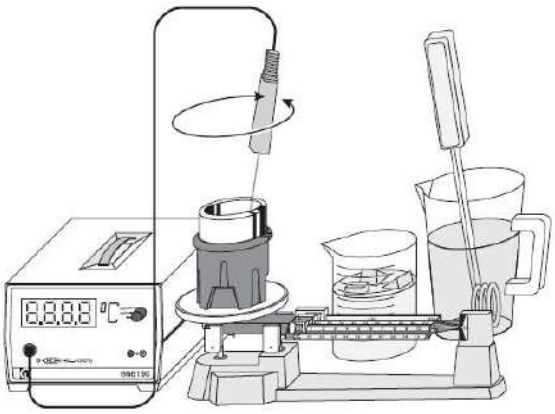
مسعر مع غلافه الخارجي – محرار – قليل من الجليد – ميزان – بيكر- هيتر.

نظرية التجربة

تعرف الحرارة الكامنة للانصهار بأنها كمية الطاقة الحرارية اللازمة لتحويل غرام واحد من المادة الجامدة في درجة الانصهار إلى سائل في نفس درجة الحرارة.

لو تصورنا أن لدينا كتله من الجليد حرارتها دون درجة الصفر المئوي 0^oC وتم وضع مسخن ومحرار في الكتلة، بعد مرور التيار وتجهيز الطاقة يلاحظ ارتفاع درجة الحرارة الى الصفر. بعد ثبوت قراءة المحرار يبدأ الجليد بالتحول وتبقى قراءة المحرار ثابتة حتى اكتمال تحول كل الجليد، تبدأ قراءة المحرار بالارتفاع حتى يبدأ الماء بالغليان ولفترة طويلة. وحتى يتحول كل الماء الى بخار يبدأ بعدها أرتفاع درجة الحرارة من جديد. أن الطاقة المجهزة لتحويل الجليد الى ماء تسمى الحرارة الكامنة للانصهار (Latent heat). وهي طاقة مخفية لأنها لم تظهر بقراءة المحرار حيث لم تتغير القراءة أثناء التحويل.





طريقة العمل:

١-زن المسعر (الإناء الداخلي) وسجل كتلته (m_o(gm). سجل درجة حرارة الماء الابتدائية ولتكن (t_o (^oC).

٢-سخن قليلاً من الماء في بيكر الى درجة حرارة أعلى من درجة حرارة الماء الابتدائية بحوالي 10 درجات.ولتكن ($t1(C^o$ ثم إملاء نصف المسعر من هذا الماء.

٣- زن المسعر بما فيه ولتكن m_1 (gm).

٤-هيئ قطعاً صغيرة من الجليد ثم قيس بدقة درجة حرارة الماء في المسعر ، ثم إبداء بإلقاء قطع الجليد فيه بصورة تدريجية بعد تجفيف كل قطعه بورق النشاف. حرك الماء باستمرار إلى أن يتم ذوبان كل قطعة.

٥-أستمر بإضافة قطع أخرى وتحريك محتويات المسعر حتى تنخفض درجة الحرارة الى درجة أوطأ من درجــة حرارة الماء الابتدائية بمقـدار يساوي أو يقارب (t_1-t_o)، عندها توقف من إضافة قطع الجليد واستمر بتحريك الماء. سجل أوطأ حرارة يصلها الماء ولتكن $t_2(^{\circ}C)$ اقل من درجة حرارة الماء الابتدائية بحوالي 10 درجات .

٦- زن المسعر مع محتوياته لمعرفة كتلة الجليد المضافة ولتكن gm (m).

٧-عين (L) وهي الحرارة الكامنة لانصهار الجليد بتطبيق العلاقة التالية:

$$\boldsymbol{mL + mct_2 = [(m_1 - m_o)c + m_o c_o]\,(t_1 - t_2)}$$

حيث أن (C_o) تمثل الحرارة النوعية لمادة المسعر (المسعر والمحرك من نفس المادة وعادة من الألمنيوم). و (C) تمثل الحرارة النوعية للماء.

m_o = كتلة المسعر فارغ

m_1= كتلة المسعر + الماء

m = كتلة الجليد

t_1 = درجة حرارة الماء الساخن بأعلى من درجة الماء الابتدائية ب ١٠ درجات

t_2 = درجة حرارة الماء البارد بأقل من الماء الابتدائية ب ١٠ درجات (عند وضع الجليد)

$C_o = 0.22\ Cal/gm.C^o$

$C_w = 1\ Cal/gm.C^o$