

# التجارب الفيزيائية

د / هاني أبوالنضر عبدالستار محمد

دكتوراه المناهج

وطرق التدريس العلوم كلية التربية

خبير المناهج وطرق تدريس العلوم

وتكنولوجيا التعليم

دار  
العلوم  
للنشر والتوزيع

٢٠١٨

التجارب الفيزيائية  
د/ هاني أبو النضر عبدالستار  
الطبعة الأولى : يناير ٢٠١٨  
التنسيق الداخلي : رفعت حسن سيد  
دار العلوم للنشر والتوزيع  
ص . ب : ٢٠٢ محمد فريد ١١٥١٨  
هاتف : ٠١٠٦١١٦٠٩٨٨\_٠١١٤٤٧٦٤٠٠٠  
الموقع الإلكتروني : www.dareloloom.com  
البريد الإلكتروني : daralaloom@hotmail.com  
Facebook.com/dareloloom  
Twiter: @dareloloom  
جميع الحقوق محفوظة . . .

دار  
العلوم  
للنشر والتوزيع

إن الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبر بالضرورة عن رأي دار العلوم للنشر والتوزيع

يمنع نسخ أو استعمال أي جزء من هذا الكتاب بأية وسيلة تصويرية أو إلكترونية أو ميكانيكية بما فيه التسجيل الفوتوغرافي والتسجيل على أشرطة أو أقراص مقروءة أو بأية وسيلة نشر أخرى بما فيها حفظ المعلومات واسترجاعها من دون إذن خطي من الناشر .

عبدالستار ، هاني أبو النضر عبدالستار  
التجارب الفيزيائية/ تأليف : د. هاني أبو النضر عبدالستار - القاهرة : دار العلوم للنشر ،

٢٠١٨

١٢٨ ص ، اسم

تدمك : ٩٧٨ ٩٧٧ ٣٨٠ ٥٥٦ ٢

٣٣١ . ١٣٧

١ . فيزياء . (أ) العنوان

التاريخ : ٢٠١٨ / ١ / ١١

رقم الإيداع : ٢٧١٤

## بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله الذي أمر المؤمنين بما أمر به المرسلين، وشرع لنا من الدين ما وصّى به نوحاً وما أوحى به إلى نبينا محمد "ص" وما وصى به إبراهيم وموسى وعيسى ابن مريم، فسبحان الواحد الأحد الفرد الصمد الذي لم يلد ولم يولد ولم يكن له كفواً أحد، والصلاة والسلام على النبي الخاتم.

أما بعد.....

بكل الحب والتقدير مع أسمى آيات الاعتراز والعرفان أتقدم بوافر الشكر والاحترام إلى كل أساتذتي الأجلاء الذين كان لي شرف التلمذة على أيديهم والاستفادة من خبراتهم أدام الله عليهم الصحة والعافية وبارك فيهم. عزيزي القارئ يتناول هذا الكتيب بعضاً من التجارب الفيزيائية التي لها علاقة بالواقع الذي نعيش فيه والتي تحتاج منا التفكير في ملكوت الله عز وجل وتتطلب منا أعمال العقل والهمم للتقدم من أجل مجتمعاتنا وأمتنا حتى نسير على درب التقدم والرقي، وكما يقول "ألبرت أينشتاين" في جملتين الأولى منهما "الحياة كالدراجة يلزمك أن تتقدم بها نحو الأمام كي لا تفقد توازنك وتسقط"، والثانية "الغباء هو فعل نفس الشيء مرتين بنفس الأسلوب ونفس الخطوات، وانتظار نتائج مختلفة".

والحمد لله في كل وقت وكل حين.....

هاني أبو النضر عبدالستار



تجربة ١

البندول البسيط

الغرض من التجربة:

١- فهم الحركة التوافقية البسيطة.

٢- تعيين عجلة الجاذبية الأرضية.

الأجهزة والأدوات:

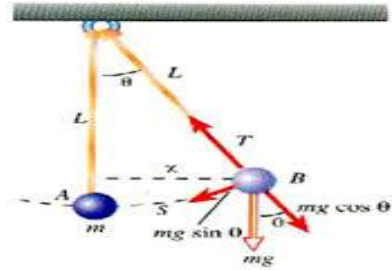
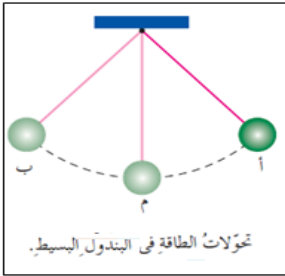
بندول بسيط "كرة صغيرة معلقة بخط رفيع غير مرن في حامل" - مسطرة - ساعة إيقاف.

نظرية التجربة:

الحركة التوافقية البسيطة: هي حركة جسم تتناسب عجلته تناسباً طردياً مع بعده عن نقطة ثابتة وتكون العجلة دائماً في اتجاه هذه النقطة الثابتة.

تركيب البندول البسيط:

يتركب البندول البسيط من ثقل صغير يعلق في الطرف الأسفل لخيط رفيع غير مرن " أي غير قابل للتمدد" ويثبت الخيط من طرفه الأعلى، أنظر الشكل (١).



شكل (١) تحولات الطاقة في البندول البسيط

## حركة البندول:

عند ترك البندول لشأنه فسوف يستقر في وضع رأسي بحيث تترن قوة الشد في الخيط لأعلى مع قوة جذب الأرض للثقل لأسفل كما في الوضع  $a$  ونفرض أننا أزحنا البندول إزاحة صغيرة من الوضع  $a$  إلى الوضع  $b$  خلال زاوية  $\theta$  ثم تركنا البندول وشأنه في هذه الحالة نجد أن البندول لا يستقر في الوضع  $b$  بل يبدأ حركته من  $b$  منجها نحو الوضع المستقر  $a$  بسرعة تتزايد من الصفر حتي تصل أقصاها عند  $a$ ، وذلك بفعل قوة الجاذبية الأرضية؛ إلا أن البندول لا يسكن عند  $a$  نظراً لأن القصور الذاتي Inertia الخاص به سوف يعمل على استمرار حركته جهة اليسار وواضح أن سرعته سوف تتضاءل تدريجياً بسبب التقصير الذي يحدث بفعل الجاذبية الأرضية حيث تؤثر الجاذبية على ثقل البندول، وعندما تصل سرعته إلى الصفر يكون البندول قد وصل إلى أقصى إزاحة له جهة اليسار عند  $b$  ولتمائل الظروف ندرك أن مقدار الإزاحة القصوى جهة اليمين تساوي الإزاحة القصوى جهة اليسار، وذلك بالنسبة للوضع الرأسي  $a$  وفي رحلة العودة من الوضع  $b$  إلى الوضع  $b$  يكون البندول متأثراً بنفس القوى كما في الرحلة من  $b$  إلى  $b$ ، وهكذا تتكرر حركة البندول تحت هذه الظروف المتماثلة متأثرة بعاملين في وقت واحد هما:

١- قوة الجاذبية الأرضية التي تعمل دائماً على إرجاعه إلى وضعه الأصلي

ليستقر عند  $a$ .

٢- القصور الذاتي الذي يعمل على استمرار حركته جهة اليمين مرة وجهة

اليسار مرة أخرى.

ولو تصورنا أن الحركة بدأت من  $b$  فإن الحركة الدورية تكون قد أتمت دورة كاملة حين يتحرك البندول خلال الإزاحات المتتالية " $ab$ ،  $a$ ،  $ba$ " وتسمى هذه ذبذبة كاملة، أما الإزاحة  $ba$  فتدل على سعة الذبذبة.

## التجارب الفيزيائية

نفرض أن طول هذا البندول هو  $l$  cm ، ويقاس الطول من مركز التعليق إلى مركز ثقل المجموعة المكونة من كتلة الكرة وكتلة الخيط إذا كانت كتلة الخيط صغيرة جداً بالنسبة لكتلة الكرة فإن مركز ثقل المجموعة يكون قريباً جداً من مركز الكرة؛ نفرض أن كتلة الكرة تساوي  $m$  وأن عجلة الجاذبية الأرضية في مكان التجربة تساوي  $g$  cm/ sec<sup>2</sup>، ونفرض أن البندول قد أزيح عن موضعه الأصلي بزاوية  $\theta$  كما في الشكل عندئذ فإن الكرة ستكون تحت تأثير ثلاث قوى:

- ١- قوة الشد  $T$  التي تؤثر في الخيط في الاتجاه المبين بالشكل (١).
- ٢- مركبة ثقل الكرة  $F_1$  في الاتجاه الذي يقع على امتداد الخيط  $bc$  ، وتتوقف قيمتها على مقدار الزاوية  $\theta$  ، كالتالي:  $F_1 = mg \cos \theta$
- ٣- مركبة ثقل الكرة  $F_2$  في اتجاه مماس للقوس  $bb$  عند النقطة  $b$  وتساوي:  $F_2 = mg \sin \theta$

وواضح أن قوة الشد  $T$  لا بد أن تساوي  $F_1$  وتضادها في الاتجاه، وإلا لما بقي الخيط مشدوداً، وعلى هذا فالقوة الثالثة  $F_2$ ، أي  $mg \sin \theta$  هي التي سوف تحرك النقل من  $b$  إلى  $a$  ومن قانون نيوتن الثاني نجد أن :

$$\text{القوة المؤثر} = \text{الكتلة} \times \text{عجلة التحرك}$$

$$\text{عجلة التحرك} = mg \sin \theta / M = g \sin \theta = g\theta$$

وذلك عندما تكون الإزاحة لزاوية  $\theta$  صغيرة (للزوايا الصغيرة  $\sin \theta$  تقترب من قيمة  $\theta$  مقاسه بالتقدير النصف دائري) ومن الشكل نجد أن الإزاحة:

علماً بأن الزمن الدوري للبندول يساوي

$$\tau = 2\pi / \omega = 2\pi \sqrt{l/g} \quad (١)$$

مع العلم أن هذا القانون يعتبر صحيحاً إذا كانت سعة الذبذبة صغيرة جداً وإلا فإنه يصبح قانوناً مقرباً .

وبتربيع الطرفين نجد أن :

## التجارب الفيزيائية

$$\tau^2 = (4\pi^2 / g) \ell \quad (٢)$$

هذه علاقة خط مستقيم بين طول كل من طول البندول ومربع زمن الذبذبة وميل الخط يساوي  $4\pi^2 / g$  ومن الميل يمكن تعيين عجلة الجاذبية الأرضية.

### خطوات العمل:

١- خذ طول معين للبندول وليكن ٣٠ سم مقاسا من نقطة التعليق إلى مركز الكرة.

٢- حرك الكرة حركة جانبية صغيرة، ثم أتركها تتذبذب وعين زمن ٢٠ ذبذبة كاملة ومن ذلك أوجد زمن الذبذبة الواحدة (وذلك بقسمة الزمن الكلي على ٢٠).

٣- كرر التجربة بإطالة الخيط حوالي ٥ سم وفي كل مرة احسب زمن الذبذبة الواحدة المناظرة لكل طول.

٤- ضع نتائجك في جدول ثم ارسم العلاقة بين مربع زمن الذبذبة  $\tau^2$  على محور الصادات وطول البندول على محور السينات لتحصل على خط مستقيم.

٥- عين ميل الخط المستقيم والذي يساوي  $\text{Slope} = 4\pi^2 / g$

٦- ومن ذلك عين عجلة الجاذبية الأرضية  $g$ .

### النتائج:

مربع زمن الذبذبة $\tau^2$	زمن الذبذبة الواحدة $\tau$	زمن ٢٠ ذبذبة	زمن ٢٠ ذبذبة $\ell(\text{cm})$

ميل الخط المستقيم = .....

عجلة الجاذبية الأرضية  $g = \dots\dots\dots$  سم/ث



تجربة ٢

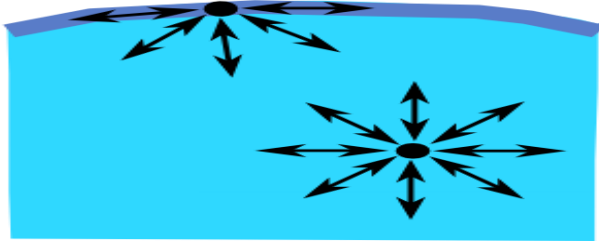
قوى التوتر السطحي قوى انكماش

الأدوات:

زئبق، لوح أفقي أملس، ساق زجاجية.

خطوات العمل:

- ضع قطرة صغيرة من الزئبق على لوح أفقي نظيف وأملس من الزجاج  
نلاحظ أن القطرة تتخذ شكلاً كروياً.
- اضغط على القطرة بساق زجاجية لتغيير شكلها نلاحظ أن القطرة تستعيد  
شكلها الكروي.



شكل (٢)

- حاول تجزئة القطرة إلى قطيرات أصغر نلاحظ أن كل قطيرة اتخذت  
شكلاً كروياً، وهذا يثبت أن: قوى التوتر السطحي تعمل على إنقاص  
مساحة سطحه المعرض لأن الكرة هي الشكل الهندسي لحجم معين والذي  
تكون مساحة سطحه الخارجي أقل ما يمكن.

تجربة ٣

تعيين الرطوبة النسبية ونقطة الندى باستخدام هيجرومتر ماسون

أ. الأدوات:

هيجرومتر ماسون - ويتكون من ترمومترين أحدهما جاف  $F_1$  والآخر  $F_2$  يحاط مستودعه بقطعة من القماش تتدلى داخل كأس به كمية من الماء والترمومتران مدرجان بالتدريج الفهرنهايتي.



شكل (٣) هيجرومتر ماسون

ب. طريقة العمل:

١- سجل درجة حرارة الجو  $F_1$

كما يعينها الترمومتر الجاف وحولها إلى التدريج المئوي باستخدام العلاقة:

$$T = 5 \div 9 (F - 32)$$

حيث أن  $F$  درجة الحرارة بالتدريج الفهرنهايتي،  $T$  القيم المناظرة بالتدريج المئوي.

٢- إملا الكأس بالماء وضع داخله قطعة القماش الملتفة حول المستودع الترمومترى الآخر تلاحظ أن قراءة الترمومتر المبلل أقل من قراءة الترمومتر الجاف وذلك بفعل ظاهرة البخر التي تتم في الأول.

٣- سجل قراءة الترمومتر المبلل أيضا إلى ما يناظرها بالدرجات المئوية  $T_2$ .

٤- أوجد القيمة الفرق  $D$  بين درجتى الحرارة  $T_1$ ،  $T_2$  بديهي أن قيمة  $D$

## التجارب الفيزيائية

- تتوقف على كمية البخار الموجودة في الجو، لأنه إذا كان الجو أكثر تشبعاً بالبخار قل البخر وتنخفض بالتالي قيمة D والعكس بالعكس.
- ٥- بالاستعانة بجدول الرطوبة النسبية نستنتج ضغط بخار الماء الفعلي، وفي هذا الجدول يكون ضغط بخار الماء الفعلي هو القراءة تحت فروق D أمام درجة الحرارة للغرفة T<sub>1</sub>.
- ٦- استنتج ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الغرفة T<sub>1</sub> وهو القراءة تحت عمود الصفر أمام درجة T<sub>2</sub> أيضاً.
- ٧- أوجد الرطوبة النسبية للجو من العلاقة :
- الرطوبة النسبية =  $\frac{S.V.P}{A.V.P} \times 100\%$  عند درجة الغرفة
- ٨- أبحث تحت عمود الصفر إلى أن تجد قيمة A.V.P السابق تعيينها في الخطوة رقم (٥) ثم إقرأ درجة الحرارة المقابلة لها تحت العمود T<sub>c</sub> فتكون هي نقطة الندى وهذا ناتج من أن S.V.P = A.V.P عند نقطة الندى.

### ج- النتائج :

$$\text{درجة حرارة الجو } T_1 =$$

$$\text{درجة حرارة الترمومتر المبلل } T_2 =$$

$$\text{الفرق } D = T_1 - T_2 =$$

$$\text{A.V.P الضغط الفعلي} = \text{مم زئبق}$$

$$\text{S.V.P عند درجة حرارة الغرفة} = \text{مم زئبق}$$

إذن : الرطوبة النسبية =  $\frac{A.V.P}{S.V.P}$  ضغط بخار الماء المشبع عند نقطة الندى /

$$\text{S.V.P ضغط بخار الماء المشبع عند درجة الغرفة } \times 100\%$$

## تجربة ٤

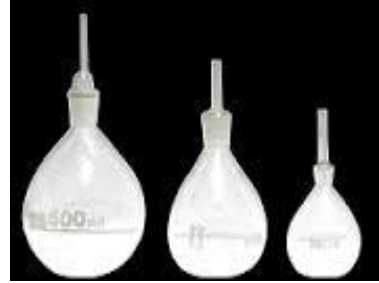
### تعيين الوزن النوعي

#### الغرض من التجربة:

- ١- إيجاد الوزن النوعي لسائل.
- ٢- إيجاد الوزن النوعي لمادة صلبة لا تذوب في الماء.
- ٣- إيجاد الوزن النوعي لمادة صلبة تذوب في الماء.

#### الأجهزة والأدوات:

قنينة الكثافة - ماء - السائل المراد إيجاد الوزن النوعي له- المادة الصلبة التي لا تذوب في الماء (مثل الرمل)- المادة الصلبة التي تذوب في الماء (مثل ملح الطعام)- ميزان حساس - أثقال.



شكل (٤) قنينات كثافة وميزان حساس

#### نظرية التجربة:

يمكن تصنيف المواد من خلال ما تحتويه من مادة من خلال كتلة وحدة الحجم من المادة.

ويطلق على هذا المقدار كثافة الكتلة للمادة، أي كثافة المادة  $\rho$ .

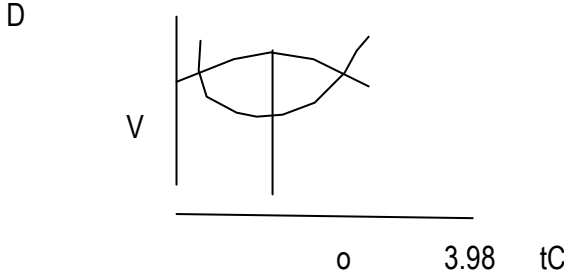
إذا كانت كتلة المادة  $M$  وحجمها  $V$  فإن كثافتها  $\rho$  تعطى بالعلاقة:

$$\rho = M/V \text{ Kgm}^{-3}$$

## التجارب الفيزيائية

ووحدة الكثافة في نظام (MKS) هي كجم/م<sup>3</sup> وفي النظام العلمي هو جم/سم<sup>3</sup>.  
وتعتمد الكثافة على درجة الحرارة حيث بتغير درجة الحرارة تتغير المسافات  
بين جزيئات المادة ومن ثم يتغير حجم المادة  $V$  ومن ثم تتغير الكثافة بتغير  
درجة الحرارة.

وتغير كثافة الماء مع درجة الحرارة يسلك سلوك يشابه الشكل (٥) حيث  
تكون أقصى قيمة لكثافة الماء هي ١٠٠٠ كجم/م<sup>3</sup> وذلك عند درجة حرارة 4C



شكل (٥)

ويمكن تعيين الوزن النوعي باستخدام قنينة الكثافة: وهي عبارة عن إناء من  
الزجاج كمثري الشكل يقفل بواسطة سدادة من الزجاج وبالسدادة ثقب يسمح  
بخروج السائل الذي يزيد عن حجم معين.

وعند استخدام قنينة الكثافة تملأ تماماً بالسائل ثم توضع السدادة برفق حتى  
ينسكب السائل الزائد ثم تجفف جيداً من الخارج بواسطة ورق ترشيح وفيما يلي  
نذكر كيفية استخدام قنينة الكثافة في تعيين الوزن النوعي للمحالييل وللمواد  
الصلبة.

أولاً: إيجاد الوزن النوعي لسائل:

- ١- نظف جميع أدواتك جيداً.
- ٢- أوجد وزن القنينة فارغة (بعد تنظيفها) وليكن  $W$ .

## التجارب الفيزيائية

- ٣- أملأ القنينة بالماء وأعد وزنها وليكن  $W_1$ .
- ٤- احسب وزن الماء الذي يملأ القنينة  $W_1 - W =$ .
- ٥- أفرغ القنينة وجففها ثم أملأها بالسائل وأوجد وزنها وليكن  $W_2$ .
- ٦- احسب وزن السائل الذي يملأ القنينة  $W_2 - W =$ .
- ٧- احسب الوزن النوعي للسائل من العلاقة

$$S_L = W_2 - W / W_1 - W$$

### النتائج:

وزن القنينة فارغة	= W	جم
وزن القنينة مملوءة بالماء	= $W_1$	جم
وزن القنينة مملوءة بالسائل	= $W_2$	جم
الوزن النوعي للسائل	= S	

ثانياً: إيجاد الوزن النوعي لمادة صلبة لا تذوب في الماء:

### خطوات العمل:

- ١- نظف جميع أدواتك جيداً.
- ٢- أوجد وزن القنينة فارغة (بعد تنظيفها) وليكن  $W$ .
- ٣- أملأ القنينة بالماء وأعد وزنها وليكن  $W_1$ .
- ٤- القنينة وبها المادة الصلبة  $W_2$ .
- ٥- احسب وزن الجسم الصلب  $W_2 - W =$ .
- ٦- أملأ الفراغ الذي يعلو الجسم الصلب بالسائل الذي لا يذوب فيه المادة الصلبة ثم أوجد وزن القنينة بالسائل بالمادة الصلبة وليكن  $W_3$ .
- ٧- احسب وزن السائل الذي يكمل حجم القنينة  $W_3 - W_2 =$ .
- ٨- احسب وزن الماء الذي له نفس حجم الجسم الصلب  $(W_3 - W) - (W_2 - W) =$

## التجارب الفيزيائية

٩- احسب الوزن النوعي للجسم الصلب من العلاقة:

$$S = \frac{W_2 - W}{W_1 - W} - (W_3 - W_2)$$

### النتائج:

وزن القنينة فارغة	= W	جم
وزن القنينة مملوءة بالماء	= W <sub>1</sub>	جم
وزن القنينة مملوءة (بمقدار ثلثها) بالمادة الصلبة	= W <sub>2</sub>	جم
وزن القنينة مملوءة بالمادة الصلبة والماء	= W <sub>3</sub>	جم
الوزن النوعي للمادة الصلبة	= S	جم

ثالثاً: إيجاد الوزن النوعي لمادة صلبة تذوب في الماء:

### خطوات العمل:

- ١- نظف جميع أدواتك جيداً.
- ٢- أوجد وزن القنينة فارغة (بعد تنظيفها) وليكن W.
- ٣- أملأ القنينة بالسائل الذي لا يذوب فيه المادة الصلبة والذي وزنه النوعي S<sub>L</sub> ثم أوجد وزنها وليكن W<sub>1</sub>.
- ٤- أملأ القنينة بحوالي ثلثها بالمادة الصلبة (التي على هيئة مسحوق أو كرات صغيرة) ثم أوجد وزن القنينة وبها المادة الصلبة W<sub>2</sub>.
- ٥- احسب وزن الجسم الصلب = W<sub>2</sub> - W.
- ٦- أملأ الفراغ الذي يعلو الجسم الصلب بالماء ثم أوجد وزن القنينة بالماء بالمادة الصلبة وليكن W<sub>3</sub>.
- ٧- احسب وزن الماء الذي يكمل حجم القنينة = W<sub>3</sub> - W<sub>2</sub>.
- ٨- احسب وزن الماء الذي له نفس حجم الجسم الصلب =  
(W<sub>2</sub> - W) - (W<sub>3</sub> - W<sub>2</sub>).
- ٩- احسب الوزن النوعي للجسم الصلب من العلاقة:  
S = W<sub>2</sub> - W / (W<sub>1</sub> - W) - (W<sub>3</sub> - W<sub>2</sub>) x S<sub>L</sub>

ملاحظة:

يمكن استخدام السائل الذي عينت له الوزن النوعي مسبقاً أو لو أن هناك سائل آخر فيمكنك تعيين وزنه النوعي بنفس الطريقة الأولى.

النتائج:

وزن القنينة فارغة	= W	جم
وزن القنينة مملوءة بالسائل	= W <sub>1</sub>	جم
وزن القنينة مملوءة (بمقدار ثلثها) بالمادة الصلبة	= W <sub>2</sub>	جم
وزن القنينة مملوءة بالمادة الصلبة والسائل	= W <sub>3</sub>	جم
الوزن النوعي للمادة الصلبة	= S	جم

- تعيين الوزن النوعي لجسم صلب أقل كثافة من الماء (قطعة فلين) بتطبيق قاعدة أرشميدس

أولاً: لو وضعت قطعت الفلين على سطح الماء سوف تطفو ولهذا نستعين بغامر (مكعب زجاجي) نثبت إليه قطعة الفلين ونعين وزنها معا وبعد هذا يمكن تعيين وزن قطعة الفلين وحدها.

طريقة العمل :

١- ثبت قطعة الفلين إلى المكعب الزجاجي جيداً وعلقها معاً في كفة الميزان وعين وزنها ( m<sub>2</sub> ) عين وزن المكعب الزجاجي في الهواء ( m ) .

٢- استنتج وزن قطعة الفلين في الهواء  $m_2 - m = w$  .

٣- ضع القنطرة حول كفة الميزان وفوقها كأس الماء مع ملاحظة أن يكون كلا من الجسمين (المكعب الزجاجي وقطعة الفلين ) مغمورين تماماً داخل الماء وعين وزنها وهما مغمورين في الماء m<sub>3</sub> .

٤- استنتج وزن قطعة الفلين وحدها وهي مغمورة في الماء  $m_3 - m_1 = w_1$  .



ملحوظة:

سوف تلاحظ أن  $w_1$  سالبة القيمة لكون  $m_3$  أصغر من  $m_1$  وهذا نشئ عن صغر كثافة الفلين.

$$5- \text{ وزن الماء المزاح بواسطة الفلين} = w - w_1$$

$$6- \text{ استنتج الوزن النوعي لقطعة الفلين من المعادلة التالية:}$$

$$\text{الوزن النوعي} = \text{كتلة الجسم} / \text{كتلة حجم مساو من الماء} = w - w_1 / w$$

**النتائج:**

$$\text{وزن الغامر وحده في الهواء} (m) = \text{جم}$$

$$\text{وزن الغامر وقطعة الفلين في الهواء} (m_2) = \text{جم}$$

$$\text{وزن قطعة الفلين في الهواء} w = m_2 - m = \text{جم}$$

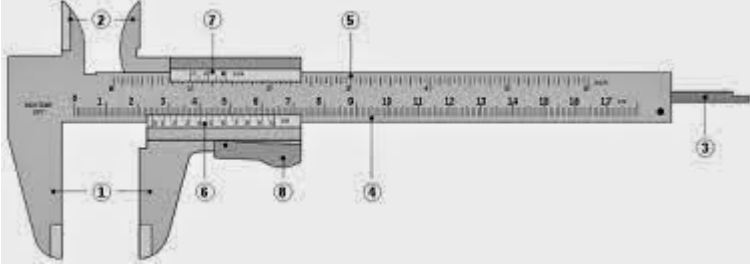
$$\text{وزن الغامر وحده في الماء} (m_3) =$$

$$\text{إذن: وزن قطعة الفلين في الماء} (w) = m_3 - m_1 =$$

$$\text{إذن: الوزن النوعي للفلين} = w - w_1 / w =$$

تجربة ٥

استخدم القدمة ذات الورانية لتعين بعد أسطوانة أو كرة



شكل (٦) القدمة ذات الورانية

الخطوات:

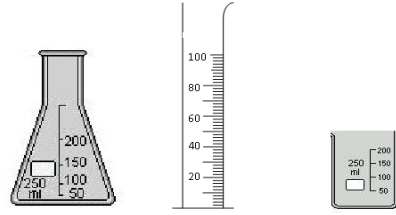
- أ- جهز القدمة للعمل بفك المسمار المحوري وإبعاد فكي القدمة.
- ب- ضع الجسم المراد تعيين أبعاده بين فكي القدمة مع مراعاة أن يكون ضغط الفكين بدرجة مناسبة على الجسم حتى لا يحدث خطأ في القياس أو تشوه في الجسم.
- ج- ثبت الفك المتحرك بواسطة المسمار المحوري.
- د- سجل قراءة التدرج الأصلي ( A ) الذي يشير إليه صفر تدرج الورانية.
- هـ- عين قراءة تدرج الورانية الذي ينطبق تماماً مع قراءة تدرج المقياس الأصلي.
- و- عين البعد المراد قياسه من العلاقة:  
طول قطر الكرة أو الأسطوانة = قراءة التدرج الأصلي + قراءة الورانية.

تجربة ٦

تعيين سرعة الصوت في الهواء باستخدام رنان هلمهولتز

الأدوات:

رنان هلمهولتز - مجموعة من الشوك الرنانة لها ترددات معلومة - ماصة  
- مخبر مدرج - قدمه ذات ورنيه.



مجموعة شوك رنانة

شكل (٧) مخبر مدرج

خطوات العمل:

- ١- أوجد نصف القطر الداخلي للعنق  $r$  باستخدام القدمة، ثم أحسب مساحة مقطعه  $A$ .
- ٢- أملأ الرنان بالماء حتى فوهته باستخدام الماصة والمخبر المدرج وأسحب الماء من العنق ، وأوجد حجم الماء  $S$  الذي يملأ العنق.
- ٣- أطرق شوكة رنانة معلومة التردد  $f$  وقربها إلى فوهة الرنان باستخدام الماصة، وأسحب كمية من الماء حتى تحصل على أعلى رنين.
- ٤- باستخدام المخبر المدرج عين حجم الهواء في جسم الرنان.
- ٥- كرر الخطوتين السابقتين ٣، ٤ مستخدماً شوكة رنانة لها ترددات مختلفة مبتدئاً بأعلى تردد لهذه الشوكة.
- ٦- أرسم بيانياً العلاقة بين  $f^2$  كمحور صادي ،  $V/1$  كمحور سيني نحصل على خط مستقيم ميله  $A^2V^2 / (1 + 0.6r) 4\pi^2S$  ومنه استنتج سرعة الصوت  $V_T$  عند درجة حرارة الغرفة.

التجارب الفيزيائية

النتائج:

S =

R =

A =

F							
F <sup>2</sup>							
V							
V/1							

ميل الخط المستقيم =

V<sub>T</sub> =

cm/sec

إن

## تجربة ٧

### استخدام الأسفروميتر لقياس نصف قطر التكور

**الغرض من التجربة:** قياس نصف قطر تكور الأسطح الكروية مثل المرايا

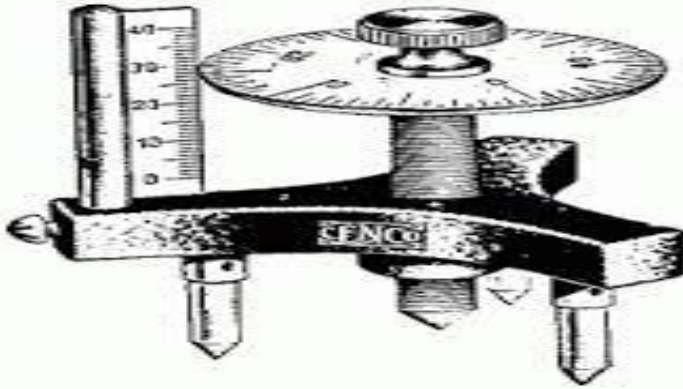
والعدسات.

**الأدوات:**

- الأسفروميتر.
- مرآة محدبة أو مقعرة.
- سطح مستوي.
- ورقة رسم بياني.

**طريقة عمل الجهاز:**

- فعند إدارة القرص بواسطة رأس المسمار المحوري (e) فإنه يتحرك لأعلى أو لأسفل على تدريج رأسي (c) مقسم إلي مليمترات، وعادة فإنه كلما دار القرص (d) دورة كاملة، فإن القرص يتحرك على التدريج الرأسي (c) لمسافة مليمتر واحد، أي أنه عند إدارة القرص الدائري قسم واحد فإنه يتحرك على التدريج الرأسي لمسافة من المليمتر.



شكل (٨) جهاز الأسفروميتر

### جهاز الأسفيروسفير:

يتركب جهاز الأسفيرومتر من قاعدة (b) محمولة على ثلاثة أرجل مدببة، تكون رؤوسها مثلث متساوي الأضلاع، ويمر في وسط القاعدة مسمار محوري (a) ينتهي من أسفل بطرف مدبب يمثل رجلاً رابعة مركزية وينتهي من أعلى بقرص دائري مدرج (d) ومقسم عادة إلى 100 أو 50 قسم .

القانون العام للتجربة:

• قراءة الجزء الثابت من الجهاز + (قراءة الجزء المتحرك  $\times$  دقة القياس)

القانون الخاص للتجربة:

• قراءة الجزء الثابت (المسطرة) + (الجزء المتحرك)  $\times$  (القرص)  $\times$  0.01

خطوات العمل:

أ- يوضع الأسفيروميتر بحيث يرتكز أرجله الثلاث على سطح مستوي تماماً من الزجاج ويتم التأكد من الأرجل في مستوي واحد وذلك عن طريق انطباق الأرجل مع صورها المنعكسة من سطح الزجاج.

ب- حرك المسمار المحوري إلى أن يلمس اللوح الزجاجي لمساً خفيفاً ثم خذ قراءة التدريجين A, B.

ج- يوضع الأسفيروميتر على السطح الكروي المراد قياس نصف قطر انحناءه ثم أدر المسمار المحوي إلى أن تصبح الأرجل الثلاث والمسمار المحوري كلها ملامسة لهذا السطح، خذ قراءة جديدة على كل من التدريجين A, B.

د- من قراءة التدريجين في الحالتين السابقتين احسب المسافة التي تحركها المسمار المحوري، فإذا كانت فرق قراءتي المقياس الرأسي (A) هي (L) والتدريج الدائري (B) هي (y) قسما، تكون المسافة التي تحركها المسمار

## التجارب الفيزيائية

المحوي (ho) أي ارتفاع (طاقية) الجسم الكروي المراد تعيين نصف قطره هي:

$$Ho = L + (y \div n)$$

عين الخطأ الصفري ثم أحسب قيمة (h) من العلاقة:

$$h = ho \pm (x \div n)$$

ضع الأسفرومتر على ورقة وأضغط عليه برفق بحيث يترك الأطراف المدببة لأرجله أثراً عليها ومنه عين متوسط المسافة بين أي رجلين، ولتكن (a).  
عين نصف قطر التكور (R) من العلاقة:

$$R = (a^2 \div 6h + h \div 2)$$

### ملحوظة:

يمكن حساب الخطأ الصفري كالتالي:

- يتم تعيين الخطأ الصفري بأن نحصر عدد التدرج الدائري (X) المحصور بين صفر التدرج الدائري (B) وصفر التدرج (A):

الخطأ الصفري =  $x \pm n$  حيث (n) عدد أقسام التدرج الدائري.

## تجربة ٨

### المقارنة بين كثافة بعض المواد وكثافة الماء

الأدوات:

حوض به ماء - قطعة ثلج - فلين - خشب - عملة معدنية - مسمار من الحديد - قطرات من زيت الطعام.



شكل (٩)

خطوات التجربة:

- نضع المواد التالية: " قطعة ثلج- فلين - خشب- عملة معدنية- مسمار من الحديد- قطرات من زيت الطعام" في حوض الماء.

الملاحظة:

١- تطفو كل من قطعة الثلج والخشب والفلين وقطرات زيت الطعام فوق سطح الماء.

٢- يغوص مسمار الحديد والعملة المعدنية تحت سطح الماء.

الاستنتاج:

١- المواد التي كلفتها أقل من كثافة الماء تطفو فوق سطح الماء مثل: الثلج والخشب والفلين والزيت.

٢- المواد التي كثافتها أكبر من كثافة الماء تغوص تحت سطح الماء مثل: الحديد والنحاس.



### تعيين معامل انكسار سائل

في التجربة الحالية سوف نستخدم جسماً معدنياً صغيراً يوضع أمام مجموعة ضوئية عاكسة فتتكون صورة مقلوبة مساوية للجسم وفي نفس موضعه تماماً؛ وهذه لا نستقبلها على حائل وإنما نراها بالعين المجردة وندرك أنها منطبقة بحيث لا ينفصل إحدهما عن الآخر مهما حركنا العين وأياً كانت الزاوية التي تنتظر منها وهذا ما يعرف بوضع عدم الزوغان بين الجسم وصورته والملاحظات التالية تفيد في الحصول على وضع عدم الزوغان:

١- إذا رأيت صورة معتدلة "مكبرة" للجسم فأعلم أن المسافة بين الجسم والمجموعة الضوئية أقل بكثير مما يجب، وعليه أن تبعد الجسم عن المجموعة الضوئية.

٢- إذا رأيت صورة مقلوبة "مكبرة قليلاً" وفي أحد أوضاع العين يبدو طرف الصورة منطبقاً على طرف الجسم ولكن بتحريك العين قليلاً تتفصل الصورة عن الجسم فهناك أحد الاحتمالين:

أ- إذا كان اتجاه انفصال الصورة عن الجسم هو نفس اتجاه حركة العين في هذه الحالة أعلم أن المسافة بين الجسم والمجموعة الضوئية مازالت أقل مما يجب، وعليك أن تبعد الجسم عن المجموعة الضوئية للحصول على وضع عدم الزوغان.

ب- إذا كان اتجاه انفصال الصورة عن الجسم هو عكس اتجاه حركة العين في هذه الحالة أعلم أن المسافة بين الجسم والمجموعة الضوئية أكبر مما يجب وعليك أن تقرب الجسم من المجموعة الضوئية للحصول على وضع عدم الزوغان.

الأدوات:

عدسة لامة - عدسة مستوية - سهم - حامل خشبي - مسطرة - أسفيروميتر - سائل.

خطوات العمل:

- ١- ضع المرآة المستوية فوق المنضدة وضع فوقها العدسة اللامة.
  - ٢- ثبت السهم في الحمل الخشبي وضعه فوق المجموعة الضوئية عن بعد.
  - ٣- حرك السهم إلى أعلى وإلى أسفل إلى أن تحصل على وضع عدم الزوغان بين السهم وصورته.
  - ٤- قس المسافة بين السهم والعدسة في هذا الوضع فتكون هي البعد البؤري  $f_1$  للعدسة .
  - ٥- استنتج قوة العدسة اللامة  $F_1$  من العلاقة:  $F = 100/f_1$  .
  - ٦- ضع كمية من السائل بين المرآة المستوية والعدسة، يأخذ السائل شكل عدسة مقعرة مستوية وتتكون المجموعة في هذه الحالة من عدستين ملتصقتين أحدهما زجاجية والأخرى سائلة.
  - ٧- أوجد الوضع الجديد لعدم الزوغان بين السهم والصورة، ثم قس المسافة بين المجموعة الضوئية والسهم فتكون هي البعد البؤري  $f$  لمجموعة العدستين.
  - ٨- استنتج قوة مجموعة العدستين  $F$  من العلاقة:  $F = 100/f$
  - ٩- بما أن قوة العدسة السائلة تعطي من العلاقة:  $F = F_1 + F_2$  ،  $F_2 = F - F_1$
  - ١٠- استخدم الأسفيروميتر وأوجد نصف قطر تكور سطح العدسة السفلى الملامس للسائل من  $r = a^2/6h$
  - ١١- ترتبط قوة العدسة المقعرة بمعامل انكسار مادتها  $n$  وتكون سطحها  $R$  عن طريق العلاقة:  $F_2 = -R(n-1)$
- ومن العلاقة الأخيرة يمكن استنتاج معامل انكسار السائل  $n$  .

---

التجارب الفيزيائية

---

النتائج:

F1= cm البعد البؤري للعدسة اللامة

F1=  $\Delta$  قوة العدسة اللامة

F= cm البعد البؤري لمجموعة العدستين

F=  $\Delta$  قوة العدستين

F2=  $\Delta$  قوة العدسة السائلة

h= cm ارتفاع الطاقيية

$\alpha$ = cm مسافة الأرجل

r= cm نصف قطر تكور العدسة

R= تكور العدسة

n= معامل انكسار السائل

## تحقيق قانون استيفان للإشعاع

### قانون استيفان:

ينص القانون على أن معدل إشعاع الطاقة الحرارية من جسم ساخن يتناسب طردياً مع الأس الرابع لدرجة حرارته المطلقة أي أن:

$$P \propto T^2$$

$$T^4 \propto P =$$

حيث  $\sigma$  هو ثابت استيفان

هذه الطاقة تفقد بالتوصيل عندما يكون السلك في درجات حرارة منخفضة، أما إذا أزيدت الطاقة المارة بالسلك فإنه يبدأ في التوهج وتفقد الحرارة بالإشعاع والتوصيل معاً فإذا مارسنا القدرة المارة بالسلك  $IV$  كمتغير تابع لمقاومة  $R=V/I$  التي تتغير حصلنا على المنحنى الموضح بالشكل فإن الجزء المظلل يمثل الطاقة الحرارية المفقودة بالإشعاع وحيث أن مقاومة السلك تتناسب مع درجة الحرارة فإن قانون استيفان يمكن وضعه على الصورة  $P = \sigma R^4$

$$\ln p = 4L + \text{Const}$$

وبأخذ لوغاريتم الطرفين، والعلاقة الأخيرة تمثل خط مستقيم ميله يساوي  $\epsilon = 4$

### خطوات العمل:

- ١- صل الدائرة كما هو مبين بالشكل.
- ٢- استعمل المقاومة المتغيرة لتحصل على قراءات مختلفة للتيار  $I$  وفي كل حالة سجل قراءة الفولتميتر.
- ٣- ارسم العلاقة البيانية بين الطاقة الكهربائية ( $IV$ ) كمحور صادي ومقاومة فتيل المصباح  $R=V/I$  كمحور سيني تحصل على خط مستقيم ثم يبدأ الخط المستقيم في الانحناء والسبب في ذلك فقدان الحرارة بالإشعاع.

## التجارب الفيزيائية

- ٤- مد الجزء المستقيم على استقامته وأختر بعض قيم المقاومة  $R$  على المحور السيني ثم عين في الطاقة الحرارية  $p$  (وهي الطاقة التي فقدت بالإشعاع بين الخط المستقيم والجزء المنحني).
- ٥- ارسم البيانية بين  $\ln P$  كمحور صادي  $\ln R$  كمحور سيني تحصل على خط مستقيم ميله  $D$  وهذا يحقق قانون استيفان.

### النتائج:

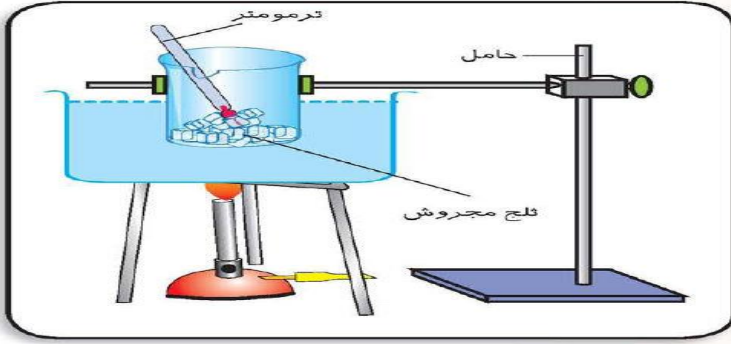
I									
V									
IV									
V/I									

P									
R									
$\ln P$									
$\ln R$									

اختلاف المواد عن بعضها من حيث درجة الانصهار

الأدوات:

ترموتر - كأس به قطع ثلج - حمام مائي ساخن - حامل - قطع شمع.



شكل (١٠)

الخطوات:

- ١) نضع الترمومتر في الكأس الذي به قطع من الثلج ثم نضع الكأس في حمام ماء ساخن.
- ٢) نعيّن درجة الحرارة التي عندها ينصهر الثلج.
- ٣) نستبدل قطع الثلج بقطع الشمع بحيث يكون لها نفس الكتلة.
- ٤) نعيّن درجة الحرارة التي عندها ينصهر الشمع.

الملاحظة:

درجة حرارة انصهار الثلج " الصفر المئوي " أقل من درجة حرارة انصهار الشمع.

الاستنتاج:

لكل مادة درجة انصهار مميزة لها.

## المكافئ الكيميائي الكهربي

نبذه عن قانون فاراداي:

تتحلل بعض المحاليل إلى شقيها عند مرور تيار كهربي فيها، وينص قانون فاراداي على أن كمية المادة المترسبة ( M ) تتناسب طردياً مع كل من شدة التيار المار ( I ) والزمن ( f ) أي أن:

$$M \propto I$$

$$M \propto t$$

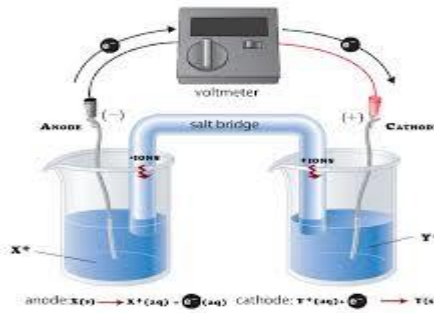
$$M = FIt$$

حيث F مقدار ثابت لنفس المادة ويسمى المكافئ الكهربي ووحدته جم/

كولوم.

### الأدوات:

فولتامتر خارصين يتكون من إناء يحتوي على محلول كبريتات خارصين وعلى لوحين أحدهما من الخارصين (المصعد) والآخر من النحاس (المهبط) - بطارية - مقاومة متغيرة - أميتر - مفتاح توصيل - ورق صنفرة - ساعة إيقاف - ميزان.



شكل (١١)

خطوات العمل:

- ١- صل الدائرة كما في الرسم شكل (١١).
- ٢- عدل المقاومة المتغيرة حتى تحصل على قيمة مناسبة للتيار ا (حوالي ١ أمبير).
- ٣- اقطع التيار وأخرج المهبط (النحاس) وجففه ونظفه بالصنفرة وعين وزنه  $m_1$ .
- ٤- أعد المهبط إلى موضعه في الدائرة وأمرر التيار المدة  $t$  من الثواني (حوالي نصف ساعة) مراعيًا أن تظل قيمة ثابتة طوال التجربة.
- ٥- اقطع التيار وجفف المهبط على اللهب ثم عين وزنه حين يبرد وليكن  $m_2$ .
- ٦- احسب وزن الخارصين المترسب على المهبط  $m = m_2 - m_1$ .
- ٧- استنتج المكافئ الكيميائي الكهربائي للخارصين من المعادلة  $m = FIt$ .

النتائج:

- شدة التيار  $I =$  أمبير.
- وزن المهبط أولاً  $m_1 =$  جم.
- وزن المهبط ثانياً  $m_2 =$  جم.
- وزن الخارصين المترسب  $m =$  جم.
- المكافئ الكيميائي الكهربائي  $m/It =$  جم/كولوم.



## أثر الحرارة على حجم الغاز عند ثبوت درجة الحرارة

### الأدوات:

دورقين متساوين الحجم - غاز الأكسجين - غاز ثاني أكسيد الكربون - أنبوبة شعرية منثنية بها خيط من الزئبق - سدادتين حوض ماء ساخن.

### الخطوات:

(١) احضر الدورقين المتساوين في الحجم وضع بأحدهما غاز الأكسجين وبالأخر غاز ثاني أكسيد الكربون أو "أي غازين آخرين" وسد فوهة كل من الدورقين بسدادة تنفذ منها أنبوبة شعرية منثنية بها خيط من الزئبق طوله 2cm .

(٢) اغمر الدورقين في حوض به ماء ساخن ولاحظ تحرك الزئبق في كل منهما.

### الملاحظة:

يتحرك خيطي الزئبق مسافتين متساويتين (أي أن معامل التمدد الحجمي لهما واحد).

### الاستنتاج:

- عند ثبوت الضغط يزداد حجم غاز ما بزيادة درجة حرارته.
- الحجم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا ارتفعت درجة حرارتها بنفس المقدار عند ثبوت الضغط.

$\omega$

$l$

$\tau$

$$\rho \alpha x' \beta \Delta \Psi' \pi / \lambda u \mu \Omega c 0$$

## دراسة الحث الكهرومغناطيسي المتبادل بين ملفين

### الأدوات :

بطارية - ريوستات - مفتاح - ملف ابتدائي - جلفانومتر - ملف ثانوي.

### خطوات العمل والملاحظة:

- وصل ملف بطارية ومفتاح وريوستات " الملف الابتدائي " ووصل ملف آخر بجلفانومتر حساس صفره في المنتصف " الملف الثانوي".
- أغلق دائرة الملف الابتدائي وقرب الملف الابتدائي من الملف الثانوي فينحرف مؤشر الجلفانومتر وعند إبعاد الملف الابتدائي عن الملف الثانوي ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه المضاد.
- ادخل الملف الابتدائي في الملف الثانوي مع زيادة شدة التيار الكهربائي المار في الملف الابتدائي فينحرف مؤشر الجلفانومتر في الملف الثانوي وعند إنقاص شدة التيار المار في الملف الابتدائي ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه المضاد.
- أغلق دائرة الملف الابتدائي عند وجود الملف الابتدائي داخل الملف الثانوي فينحرف مؤشر الجلفانومتر وعند فتح دائرة الملف الابتدائي ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه المضاد.

### الاستنتاج:

- يمكن توليد قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار مستحث في ملف ثانوي بتأثير ملف آخر ابتدائي ويكون اتجاه التيار المستحث يقاوم التغير المسبب له:
- فعند زيادة شدة المجال المغناطيسي المؤثر يتولد في الملف الثانوي قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية والتيار مستحث عكسي فيكون المجال

## التجارب الفيزيائية

المغناطيسي المستحث في اتجاه مضاد ليقاوم الزيادة في شدة التيار المغناطيسي.

- عند تناقص شدة المجال المغناطيسي المؤثر يتولد في الملف الثانوي قوة دافعة كهربية مستحثة طردية والتيار مستحث طردية فيكون المجال المغناطيسي المستحث في نفس الاتجاه ليقاوم النقص في شدة المجال المغناطيسي.

## المادة تتكون من جزيئات

### الأدوات:

زجاجة عطر ممثلة - ميزان رقمي.

### الخطوات:

- (١) عين كتلة زجاجة عطر باستخدام ميزان رقمي.
- (٢) افتح الزجاجة في أحد أركان الغرفة لفترة، ثم انتقل إلى الركن الآخر من الغرفة.
- (٣) أغلق زجاجة العطر ثم أعد تعيين كتلتها مرة أخرى.

### الملاحظة:

- انتشار رائحة العطر في جو الغرفة .
- تقل كتلة زجاجة العطر بعد فتحها.

### التفسير:

- \* مادة العطر تجزأت إلى دقائق صغيرة جداً " جزيئات" لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة أو الميكروسكوب.
- \* تنتشر دقائق العطر في جو الغرفة محتفظة بخواص العطر.

### الاستنتاج:

تتكون المادة من دقائق صغيرة تعرف بالجزيئات، لذلك فإن الجزيء هو وحدة بناء المادة.

"الجزيء": هو أصغر جزء من المادة يمكن أن يوجد على حالة انفراد وتتضح فيه خواص المادة.

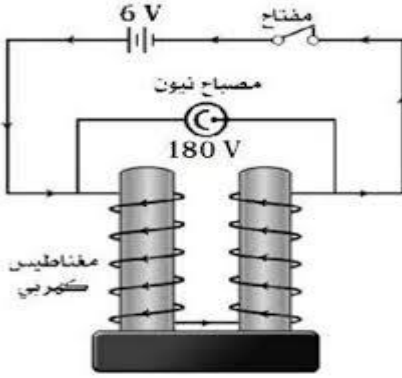
## دراسة الحث الكهرومغناطيسي الذاتي لملف

الأدوات:

مفتاح - بطارية - مصباح نيون - ملف مغناطيسي.

الخطوات والملاحظة :

- ١) وصل ملف مغناطيسي كهربى قوي "عدد لفاته كبيرة" على التوالي مع بطارية ومفتاح، ومصباح نيون على التوازي بين طرفي الملف.
- ٢) أغلق الدائرة ليمر تيار كهربى في الملف فتلاحظ عدم توهج مصباح النيون.
- ٣) افتح الدائرة فتلاحظ مرور شرر كهربى بين طرفي المفتاح وتوهج مصباح النيون لفترة صغيرة جداً.



شكل (١٢) دائرة كهربية بملف مغناطيسي

الاستنتاج:

عند غلق الدائرة تتولد قوة دافعة مستحثة عكسية صغيرة في الملف وعند فتح الدائرة تكون القوة الدافعة الكهربائية المستحثة المتولدة في الملف بالحث الذاتي كبيرة جداً فيمر شرر كهربى بين طرفي المفتاح ويتوهج مصباح النيون.

### عمل نموذج للعمود الكهربائي البسيط

الأدوات:

ليمونة كبيرة - بوصلة - سلك نحاس معزول - سلك خارصين.

الخطوات:

١- اضغط على الليمونة من الخارج حتى تصبح لينة، ثم اغرس فيها ساق الخارصين.

٢- اكشف طرفي سلك النحاس، ثم لف السلك عدة مرات حول البوصلة.

٣- اغرس أحد طرفي السلك في الليمونة، واربط الطرف الآخر حول ساق الخارصين.



شكل (١٣) نموذج للعمود الكهربائي البسيط

الملاحظة:

انحراف إبرة البوصلة في اتجاه معين.

**التفسير :**

يحدث داخل الليمونة تفاعلات كيميائية ينتج عنها تيار كهربائي يمر في السلك ويستدل عليه من انحراف إبرة البوصلة.

**الاستنتاج:**

تتحول الطاقة الكيميائية المخزنة في الليمونة إلى طاقة كهربائية.

**ملحوظة:**

عند استبدال الليمونة المستخدمة في التجربة السابقة بذرنة بطاطس سوف تتحرف إبرة البوصلة ولكن بدرجة أقل حيث يقوم المحلول الخلوي "محلول خلايا البطاطس" بدور المحلول الحمضي في الليمونة في توليد التيار الكهربائي.

## تحقيق قانون أوم وتعيين مقاومة مجهولة

قانون أوم:

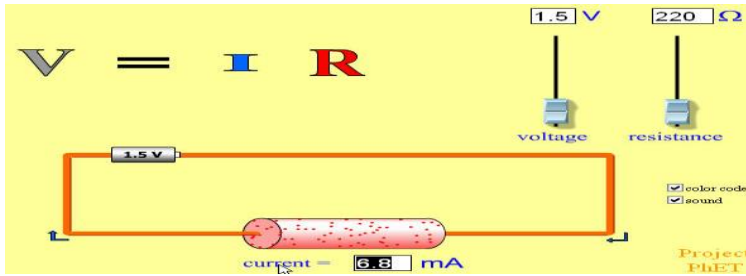
نص على إذا مر تيار كهربيا أمبير في موصل مقاومته  $R$  أوم نتج عن ذلك فرق جهد بين طرفي الموصل مقداره  $V$  فولت، بحيث  $V=IR$ .

الأدوات:

عمود كهربى - أميتر - فولتميتر - مقاومة صغيرة - ريوسات مفتاح توصيل.

خطوات العمل:

- ١- صل الدائرة كما هو مبين بالشكل رقم (١٤).
- ٢- عدل قيمة المقاومة المتغيرة ليمر تيار مناسب في الدائرة وسجل قراءتي الأميتر (I) والفولتميتر (V).
- ٣- غير قيمة المقاومة المتغيرة عدة مرات وفي كل مرة سجل قيم  $I, V$ .
- ٤- ارسم العلاقة بين شدة التيار كمحور سيني وفرق الجهد كمحور صادي على خط مستقيم وهذا يحقق قانون أوم.
- ٥- احسب ميل الخط المستقيم تحصل على قيمة المقاومة المجهولة  $R$ .



شكل (١٤) قانون أوم



التجارب الفيزيائية

النتائج:

V فرق الجهد									
اشدة التيار									

بيان الخط المستقيم =

المقاومة R = أوم

تعيين معامل التمدد الحجمي للهواء ( $\alpha_V$ ) تحت ضغط ثابت

"أو تحقيق قانون شارل"

تركيب جهاز شارل:

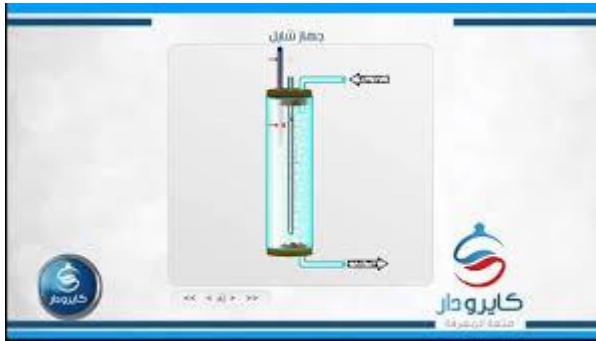
أنبوبة زجاجية طولها 30cm وقطرها 1mm مقللة من أحد طرفيها، بها قطرة زئبق تحبس كمية من الهواء الجاف دخلها، مثبتة مع ترمومتر على مسطرة مدرجة داخل غلاف "إناء" زجاجي أسطواني كما بالشكل رقم (١٥).

احتياطات التجربة:

(١) يجب أن تكون الأنبوبة منتظمة المقطع حتى يكون طول عمود الهواء المحبوس مقيماً للحجم.

(٢) يراعى أن كون الهواء المحبوس جافاً تماماً وذلك بوضع قطرة صغيرة من حمض الكبريتيك المركز لامتصاص بخار الماء وذلك لأن ضغط بخار الماء يتغير بتغير درجة الحرارة.

(٣) يجب أن يكون الضغط الجوي أثناء التجربة ثابتاً.



شكل (١٥) قانون شارل

**الخطوات:**

(١) أملأ الغلاف الزجاجي بجليد مجروش وانتظر حتى يصبح الهواء المحبوس داخل الأنبوبة في درجة  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  وعين طول عمود الهواء الذي يعتبر مقياساً للحجم  $(V_{01})_0$ .

(٢) افرغ الغلاف من الجليد المجروش ثم بخار ماء من أعلى لأسفل حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  وعين طول عمود الهواء الذي يعتبر مقياساً للحجم  $(V_{01})_{100}$

(٣) احسب معامل التمدد الحجمي للهواء  $(\alpha_v)$  من العلاقة :

$$\alpha_v = \frac{(V_{01})_{100} - (V_{01})_0}{(V_{01})_0} \times 100$$

**الملاحظة:**

معامل التمدد الحجمي للهواء عند ثبوت الضغط =  $1/273$  لكل درجة.

**الاستنتاج:**

عند ثبوت الضغط يزداد حجم مقدار معين من غاز بمقدار  $1/273$  من حجمه الأصلي عند  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  لكل ارتفاع في درجة الحرارة قدره درجة واحدة "نص قانون شارل".

**ملاحظة:**

- يمكن تعيين الصفر المطلق باستخدام جهاز شارل كما يلي:
- عين طول عمود الهواء عند درجات حرارة مختلفة.
- ارسم علاقة بيانية بين  $(V_{01})$  على المحور الرأسي،  $^{\circ}\text{C}$  على المحور الأفقي فتحصل على خط مستقيم .
- مد الخط المستقيم تجد أنه يقطع محور درجة الحرارة عند  $273\text{ }^{\circ}\text{C}$  - وهي تقابل الصفر المطلق أو صفر كلفن.

## الحرارة وانتقالها

### الأدوات المستخدمة:

كأس به ماء- إناء مبطن بمادة عازلة - كرات معدنية صغيرة - ترمومتران - غلاية حرارية - موقد - حامل.

### الخطوات:

(١) ضع الكأس في الإناء المبطن بمادة عازلة وقس درجة حرارة الماء بالترمومتر.

(٢) ضع الكرات المعدنية في الغلاية، ثم قس درجة حرارتها بعد فترة من تسخينها.

(٣) اسقط الكرات المعدنية بعد تسخينها في الماء، ثم قس درجة الحرارة النهائية للخليط.

### الملاحظة:

درجة الحرارة النهائية لخليط الكرات المعدنية والماء أقل من درجة حرارة الكرات الساخنة وأعلى من درجة حرارة الماء قبل الخلط.

### الاستنتاج:

عند تلامس جسمين تنتقل الحرارة من الجسم الأعلى في درجة الحرارة إلى الجسم الأقل في درجة الحرارة، ويستمر انتقال الحرارة حتى تتساوى درجتي حرارتهما.

## تحقيق قانون بويل

### احتياطات التجربة:

١- يراعى عند إجراء التجربة أن تكون العوامل التالية ثابتة حتى يتحقق قانون بويل وهي:

- درجة الحرارة. - كتلة الغاز. - الضغط الجوي.

٢- يوجد قيمة معينة للضغط بعدها يظهر انحناء في الخط المستقيم يدل على عدم خضوع الغاز لقانون بويل ونهاية الخط المستقيم هو المدى الذي يخضع فيه الغاز لقانون بويل.

### تركيب جهاز بويل :

أنبوبة A مدرجة وبها صنبور من أعلى، تتصل بواسطة أنبوبة من المطاط بأنبوبة B مفتوحة من أعلى "كما هو موضح".

### الخطوات:

١- افتح صنبور A وصب زئبق في B ثم أغلق الصنبور لتحبس حجماً من الهواء  $(V_{01})_1$  يكون ضغطه  $(P_1 = P_a)$  كما في شكل ١.

٢- ارفع B لأعلى فيقل حجم الهواء المحبوس في A إلى  $(V_{01})_2$  ويصبح ضغطه  $(P_2 = P_a + h)$  كما بشكل ٢.

٢- اخفض B لأسفل فيزداد حجم الهواء المحبوس في A إلى  $(V_{01})_3$  ويصبح  $(P_2 = P_a - h)$  كما بشكل ٣.

٤- كرر الخطوات (٢، ٣) عدة مرات وفي كل مرة عين  $P, V_{01}$ .

٥- ارسم علاقة بيانية بين  $(P)$  على المحور الرأسي،  $(1/V_{01})$  على المحور

## التجارب الفيزيائية

الأفقي فتحصل على خط مستقيم.

الملاحظة:

$$P \propto 1/V_{01} .$$

الاستنتاج:

عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل ضرب ( $PV_{01}$ ) لكمية معينة من غاز

$$. PV_{01} = \text{Const} \quad \text{مقدار ثابت " قانون بويل"}$$

قنطرة هويستون

الغرض من التجربة:

- ١- إيجاد قيمة مقاومة مجهولة باستخدام قنطرة هويستون.
- ٢- تحقيق قانون توصيل المقاومات على التوالي عملياً.
- ٣- تحقيق قانون توصيل المقاومات على التوازي عملياً.

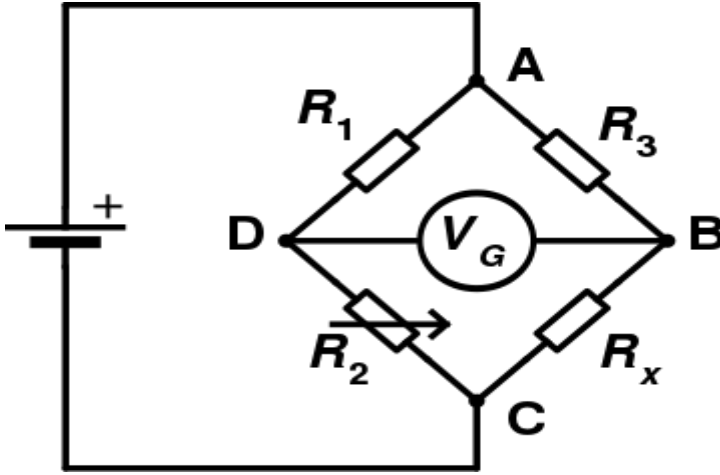
الأجهزة والأدوات:

قنطرة هويستون - بطارية - مقاومات مجهولة - جلفانومتر حساس.

نظرية التجربة:

قنطرة هويستون تتكون من أربع مقاومات متصلة مع بعض كما بالشكل

التالي:



شكل (١٦) قنطرة هويستون

## التجارب الفيزيائية

عند توصيل الدائرة فإن التيار ينقسم عند النقطة A إلى جزئين أحدهما  $I_1$  يمر في الفرع ABC والآخر  $I_2$  يمر في الفرع ADC وإذا كانت النقطة A هي المتصلة بالقطب الموجب للبطارية فإن النقطة A تكون أعلى جهداً من النقطة C ، وهذا صحيح عبر الفرع ABC وكذلك عبر الفرع ADC، فإذا عُدت قيم المقاومات الأربعة بحيث يصبح فرق الجهد بين النقطتين AB مساوية لفرق الجهد بين النقطتين A,D أي أن النقطتين D,B لهما نفس الجهد، ثم وُصَلت النقطتين D,B بجلفانوميتر فإنه لا يلاحظ أي انحراف في الجلفانومتر في هذه الحالة وتسمى هذه الحالة الاتزان لقنطرة هويستون، وفي هذه الحالة فإن فرق الجهد عبر المقاومات  $R_1$  سيساوي فرق الجهد عبر المقاومة  $R_3$  ، وكذلك نجد أن فرق الجهد عبر المقاومة  $R_2$  سيساوي فرق الجهد عبر المقاومة  $R_4$ .

أي أن:

$$(1) I_1 R_1 = I_2 R_3 \dots\dots\dots$$

$$(2) I_1 R_2 = I_2 R_4 \dots\dots\dots$$

بقسمة المعادلتين السابقتين نجد أن:

$$R_1/R_2 = R_3/R_4$$

والمعادلة (٣) تُعرف بشرط الاتزان لقنطرة هويستون وتسمى المقاومات الأربعة بأذرع القنطرة، كما تسمى المقاومات  $R_1, R_2$  بذراعي النسبة؛ ولقنطرة هويستون صور أخرى مثل القنطرة المترية وصندوق البريد وكلاهما يستخدمان في قياس مقاومات مجهولة أو المقارنة بين المقاومات بطريقة سهلة.

ولإيجاد قيمة مقاومة مجهولة فتوصل بدلا من المقاومة  $R_4$  في القنطرة ثم تثبت كل من المقاومتين  $R_1, R_2$  ثم نبدأ في تغيير قيمة المقاومة  $R_3$  وهي عبارة عن صندوق مقاومات إلى أن ينعدم الانحراف في الجلفانومتر وعندئذ نصل إلى حالة الاتزان وعندها نطبق المعادلة (٣) لتعيين قيمة المقاومة المجهولة حيث

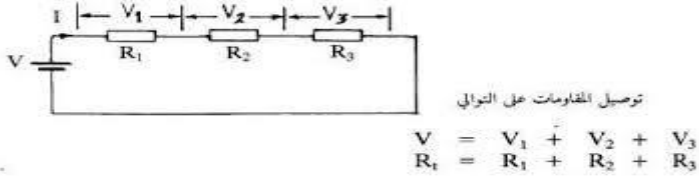


نجد أن:

$$(4) R_4 = R_2/R_1 (R_3) \dots\dots\dots$$

وإذا كان لدينا مجموعة من المقاومات فيمكن أن توصل على التوالي أو على التوازي، ففي حالة التوصيل على التوالي (شكل ١٧) نجد أن الجهد الكلي  $V$  يساوي مجموع الجهود على المقاومات أي أن:

$$V = V_A + V_B + V_C$$



شكل (١٧) توصيل المقاومات على التوالي

فإذا رمزنا للمقاومة المكافئة لمجموع المقاومات على التوالي بالرمز  $R$  فإن فرق الجهد الكلي

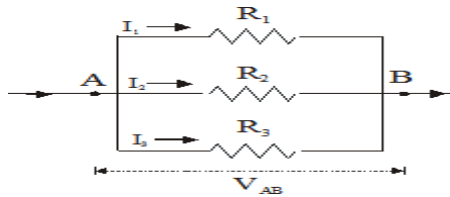
$$V = IR \text{ ، وبالتالي فإن:}$$

$$IR = IRA + IRB + IRC$$

أي أن:

$$(5) R = RA + RB + RC \dots\dots$$

أي أن المقاومة الكلية لعدة مقاومات متصلة على التوالي تساوي مجموع هذه المقاومات، أما في حالة توصيل المقاومات على التوازي (شكل ١٨).



شكل (١٨) توصيل المقاومات على التوازي

## التجارب الفيزيائية

في هذه الحالة فإن التيار يتجزأ إلى  $I_A, I_B, I_C$ ، حيث نجد أن التيار الكلي يساوي مجموع التيارات هذه أي أن:

$$I = I_A + I_B + I_C$$

ولما كان فرق الجهد واحداً عبر أي مقاومة فبتطبيق قانون أوم نجد أن:

$$V = I R = I_A R_A = I_B R_B = I_C R_C$$

## تحول الطاقة الحركية للأجسام إلى طاقة حرارية

الأدوات المستخدمة:

- برطمان بلاستيك. - ترمومتر مئوي. - كرات معدنية صغيرة متماثلة.

الخطوات:

- ١- ضع مجموعة الكرات المعدنية في البرطمان البلاستيك.
- ٢- عين درجة حرارة الكرات بواسطة الترمومتر، ثم أغلق البرطمان بإحكام.
- ٣- رج البرطمان عدة مرات بسرعة لمدة دقيقتين، ثم عين درجة حرارة الكرات مرة أخرى.



وترمومتر



وكرات معدنية



شكل (١٩) برطمان

الملاحظة:

ارتفاع درجة حرارة الكرات المعدنية.

**التفسير:**

زيادة سرعة الكرات واحتكاكها ببعضها أثناء الرج أدى إلى زيادة طاقة حركتها وبالتالي ارتفاع درجة حرارتها.

**الاستنتاج:**

- حركة الأجسام واحتكاكها ببعضها يؤديان إلى ارتفاع درجة حرارتها.
- تتناسب درجة الحرارة تناسباً طردياً مع سرعة الأجسام وبالتالي مع طاقة حركتها.

## انتقال الحرارة بالتوصيل

الخطوات:

- ضع ملعقة معدنية في كوب من الشاي الساخن ثم ألمس طرفها بيدك.

الملاحظة:

الشعور بسخونة الملعقة.



شكل (٢٠)

التفسير:

تنتقل الحرارة تدريجياً من طرف الملعقة الساخن الملامس للشاي إلى الطرف الآخر البارد الملامس لليد.

الاستنتاج:

تنتقل الحرارة بالتوصيل خلال بعض الأجسام الصلبة من طرف إلى آخر.

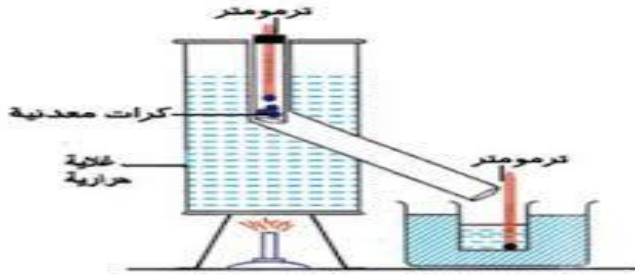
## كيفية انتقال الحرارة من جسم لآخر

الأدوات المستخدمة:

- كأس به ماء.
- غلاية حرارية.
- موقد
- كرات معدنية.
- حامل معدني.
- إناء مبطن بمادة عازلة.
- ترمومتر.

الخطوات:

- ١) ضع الكأس في الإناء المبطن بمادة عازلة وقس درجة حرارة الماء بالترمومتر.
- ٢) ضع الكرات المعدنية في الغلاية، ثم قس درجة حرارتها بعد فترة من تسخينها.
- ٣) اسقط الكرات المعدنية بعد تسخينها في الماء، ثم قس درجة الحرارة النهائية للخليط.



شكل (٢١) كيفية انتقال الحرارة من جسم لآخر

الملاحظة:

درجة الحرارة النهائية لخليط الكرات المعدنية والماء أقل من درجة حرارة

## التجارب الفيزيائية

الكرات الساخنة وأعلى من درجة حرارة الماء قبل الخلط.

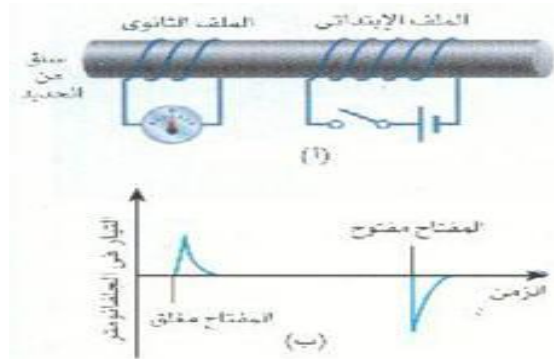
**الاستنتاج:**

عند تلامس جسمين تنتقل الحرارة من الجسم الأعلى في درجة الحرارة إلى الجسم الأقل في درجة الحرارة، ويستمر انتقال الحرارة حتى تتساوى درجتى حرارتهما.

## تجربة فاراداي لدراسة الحث المتبادل بين ملفين

### الخطوات والملاحظة:

- ١) وصل ملف ببطارية ومفتاح وريوستات (الملف الابتدائي) ووصل ملف آخر بجلفانومتر حساس صفره في المنتصف (الملف الثانوي).
- ٢) أغلق دائرة الملف الابتدائي وقرب الملف الابتدائي من الملف الثانوي فينحرف مؤشر الجلفانومتر وعند إبعاد الملف الابتدائي عن الملف الثانوي ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه المضاد.
- ٣) ادخل الملف الابتدائي في الملف الثانوي مع زيادة شدة التيار الكهربائي المار في الملف الابتدائي فينحرف مؤشر الجلفانومتر في الملف الثانوي وعند إنقاص شدة التيار المار في الملف الابتدائي ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه المضاد.
- ٤) أغلق دائرة الملف الابتدائي عند وجود الملف الابتدائي داخل الملف الثانوي فينحرف الجلفانومتر وعند فتح دائرة الملف الابتدائي ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه المضاد.



شكل (٢٢)



الاستنتاج:

يمكن توليد قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار مستحث في ملف ثانوي بتأثير ملف آخر ابتدائي، ويكون اتجاه التيار المستحث بحيث يقاوم التغير المسبب له:

- فعند زيادة شدة المجال المغناطيسي المؤثر يتولد في الملف الثانوي قوة دافعة كهربية مستحثة عكسية والتيار مستحث عكسي فيكون المجال المغناطيسي المستحث في اتجاه مضاد ليقاوم الزيادة في شدة المجال المغناطيسي.

- وعند تناقص شدة المجال المغناطيسي المؤثر يتولد في الملف الثانوي قوة دافعة كهربية مستحثة طردية والتيار مستحث طردي فيكون المجال المغناطيسي المستحث في نفس الاتجاه ليقاوم النقص في شدة المجال المغناطيسي.

## تجربة فاراداي لدراسة الحث الذاتي لملف

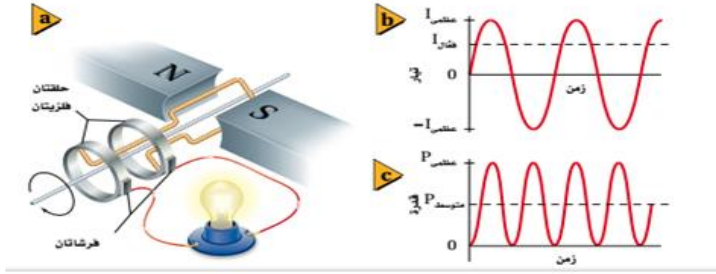
### الخطوات والملاحظة:

(١) عند إدخال المغناطيس داخل الملف ينحرف الجلفانومتر لحظياً في اتجاه معين.

(٢) عند إخراج المغناطيس من الملف ينحرف المؤشر في الاتجاه المضاد.

### الاستنتاج:

- تتولد قوة دافعة كهربية مستحثة، وكذلك تيار كهربائي مستحث في موصل نتيجة تغير الفيض المغناطيسي الذي يقطعه الموصل كما هو موضح في شكل (٢٣).



شكل (٢٣)

## تعيين معامل اللزوجة

\* تعيين معامل اللزوجة بطريقة قانون ستوك (الكرة الساقطة):

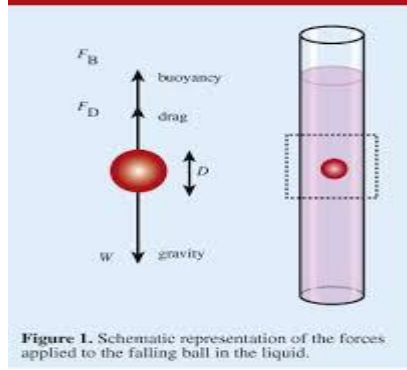
عند سقوط كرة معدنية صغيرة كثافتها  $P_s$  ونصف قطرها  $(r)$  في سائل معامل لزوجته  $(\eta)$  وكثافته  $(P_1)$  فإن سرعتها تزداد تدريجياً حتى تصل إلى سرعة منتظمة قيمتها  $(V)$ ، وتكون الكرة أثناء حركتها تحت تأثير ثلاث قوى هي:

١- قوة دفع السائل للكرة إلى أعلى.

٢- قوة لزوجة السائل إلى أعلى.

٣- قوة وزن الكرة لأسفل شكل (٢٤).

وعندما تصبح السرعة منتظمة، فإن محصلة القوى المؤثرة على الكرة تكون مساوية للصفر.



شكل (٢٤) تعيين معامل اللزوجة بطريقة قانون ستوك (الكرة الساقطة)

الأدوات المطلوبة:

أنبوبة طويلة مملوءة بالسائل المراد

## التجارب الفيزيائية

تعيين معامل لزوجته - كرات معدنية مختلفة الأقطار - ميكروميتر لولبي -  
ساعة إيقاف - مسطرة مدرجة.

### خطوات العمل:

- ١- عين قطر الكرة بواسطة الميكروميتر ومنه احسب نصف قطرها (نق).
- ٢- ضع علامتين على الأنبوبة الطويلة من الخارج ولتكن أ، ب ثم بواسطة المسطرة عين المسافة بينهما ولتكن (ف) سم.
- ٣- بعيدا عن جدران الأنبوبة اسقط الكرة في السائل واحسب الزمن الذي تستغرقه خلال المسافة من أ إلى ب وليكن (ن) ثانية.
- ٤- احسب السرعة المنتظمة للكرة من العلاقة:  $ع = ف / ن$ .
- ٥- من خلال معرفة كثافة الكرة وكثافة السائل احسب معامل اللزوجة من العلاقة:

معامل اللزوجة =  $\frac{9}{2} \times نق \times د \times (ث١ - ث٢) / ع = \dots\dots$  داين.  
ث/سم<sup>٢</sup> (بواز).

حي أن (د): هي عجلة الجاذبية الأرضية =  $٩٨٠$  سم/ث<sup>٢</sup>.

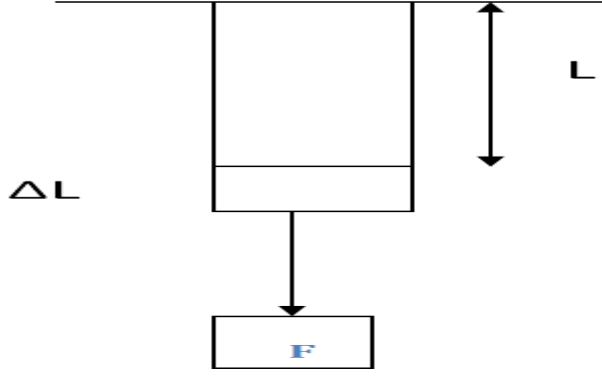
(ث١): هي كثافة الكرة.

(ث٢): هي كثافة السائل.

(ع): هي السرعة المنتظمة للكرة.

## العلاقة بين الإجهاد الطولي والانفعال الطولي

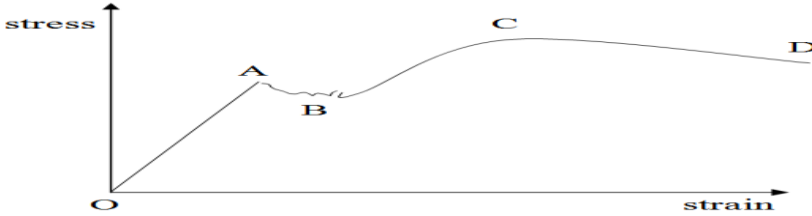
نفرض لدينا قضيب طوله  $L$  ومساحة مقطعه  $A$  مثبت راسيا من أحد طرفيه ومعلق في طرفه الأخر ثقل ذو قوة شد  $F$  كما هو موضح بالرسم شكل (٢٥).



شكل (٢٥)

ونتيجة لتأثير هذه القوة سوف تحدث استطالة للقضيب وليكن بالمقدار  $\Delta L$ ، وبذلك يكون الإجهاد المؤثر هو  $(F/A)$  ويكون الانفعال الناتج هو  $(\Delta L/L)$ .

فإذا استبدلنا الثقل بأثقال أخرى تزداد تدريجيا وفي كل مرة نعين الانفعال الحادث، فإنه يمكننا دراسة العلاقة بين الإجهاد والانفعال، والتي تشبه العلاقة الموضحة بالرسم التالي:



شكل (٢٦)

يسمى المنحنى الذي يربط بين الانفعال والإجهاد بمنحنى المرونة، ويشتمل منحنى المرونة على المناطق التالية:

- ١- الخط المستقيم OA والذي يوضح أن الإجهاد يتناسب تناسباً طردياً مع الانفعال وإذا أُذيل الإجهاد المؤثر على هذا الجسم خلال تلك المنطقة، فإن الجسم يستعيد وضعه الأصلي ويكون الجسم في هذه المنطقة تام المرونة، كما تسمى النقطة A حد المرونة.
- ٢- المنطقة AB وتوضح هذه المنطقة أن الانفعال لم يعد يتناسب مع الإجهاد ويكون سلوك الجسم في هذه المنطقة سلوكاً عشوائياً أو في حالة من عدم الاستقرار كما تسمى النقطة B نقطة الإذعان.
- ٣- إذا تخطت المادة النقطة B فإن أي زيادة صغيرة في قيمة الإجهاد تسبب زيادة كبيرة في قيمة الانفعال الحادث حتى تصل المادة إلى النقطة C وهي تمثل أقصى قيمة للإجهاد المطبق على الجسم.
- ٤- بعد النقطة C نلاحظ استمرار انفعال الجسم دون حدوث أي زيادة في الإجهاد حتى تصل حالة الجسم إلى النقطة D التي يحدث عندها الاختناق ويؤدي ذلك إلى انفصال الجسم وتسمى النقطة D نقطة الكسر.

### إثبات قانون هوك Hook's law

ينص قانون هوك على: أن الإجهاد يتناسب تناسبا طرديا مع الانفعال إذا كان مدى التأثير لا يتعدى منطقة المرونة.

$$(*) \text{ Stress} = \text{constant} \times \text{Strain}$$

ويسمى ثابت التناسب بين الإجهاد والانفعال بثابت المرونة أو معامل المرونة وله نفس وحدة الإجهاد. ولهذا الثابت ثلاث أنواع حسب كيفية الإجهاد المؤثر وهي:

١- معامل المرونة الطولي (معامل يونج):

إذا أثرت قوة شد  $F$  على سلك مساحة مقطعه  $A$  وطوله  $L$ ، فإنها سوف تحدث استطالة مقدارها  $\Delta L$ . وتأخذ العلاقة (\*) الشكل

$$\frac{F}{A} = \text{constant} \times \frac{\Delta L}{L} \quad (1)$$

ويسمى الثابت في هذه الحالة معامل ينج ( $\gamma$ ) حيث أن:

$$\gamma = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)} \quad (2)$$

٢- معامل المرونة الحجمي:

إذا أثرت قوة ضغط  $P$  (إجهاد) على حجم  $V$  من جسم، فإن هذا الضغط سوف يعمل على تغير حجم الجسم (حدوث انكماش) بالمقدار  $\Delta V$  ويكون معامل المرونة الحجمي هو  $B$ .

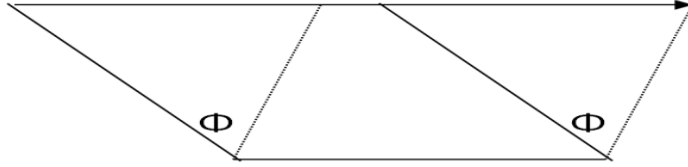
$$B = - \frac{P}{(\Delta V/V)} \quad (3)$$

والإشارة السالبة تعني حدوث انكماش في الجسم (نقص في الحجم) ويسمى مقلوب معامل المرونة الحجمي بالقابلية الانضغاطية ويرمز له بالرمز K حيث أن:

$$K = 1/B = - \frac{\Delta V/V}{P} \quad (4)$$

٣- معامل المرونة القصي (معامل المتانة):

هو النسبة بين القوة المماسية F المؤثرة على وحدة المساحات A و زاوية القصي  $\Phi$ . فإذا أثرت قوة مماسية على السطح العلوي لمكعب بحيث تسبب إزاحة صغيرة له دون أن تؤثر على القاعدة (مثبت من القاعدة) وبذلك فإن معامل المتانة يأخذ الصورة:



شكل (٢٧)

$$S = \frac{F/A}{\Phi} \quad (5)$$

حيث S هو معامل المرونة القصي.



## الغليان وحرارة التبخير:

من المعلوم أن جزيئات السائل تؤثر على بعضها البعض بقوى تجاذبيه متبادلة قوية إلى حد ما. (قوى التجاذب ذات طبيعة كهربائية أساساً). وإذا نظرنا إلى غلي الجزيئات الموجودة على سطح سائل سنجد أن الغالبية العظمى منها لا تستطيع الهرب إلى المنطقة الواقعة خارج السطح، ولكن كما في حالة الغازات يحدث أن يكتسب القليل من هذه الجزيئات طاقة كبيرة جداً بسبب الحركة الحرارية، ونتيجة لذلك يمكن أن تهرب مثل هذه الجزيئات من سطح السائل متحولة بذلك من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية، وتسمى هذه العملية بالتبخير أو التصعيد.

ونظراً لأن أعلى الجزيئات طاقة هي وحدها التي تهرب من السطح، فإن ذلك يؤدي إلى نقص متوسط طاقة الجزيئات المتبقية مع استمرار عملية التبخر. ومن ثم فإن درجة حرارة السائل المعزول يجب أن تقل نتيجة للتبخير؛ وذلك لأن درجة الحرارة، هي مقياس لطاقة حركة الجزيئات. وهكذا نكون قد وصلنا إلى تفسير تلك الحقيقة المعروفة بأن التبخر يسبب تبريداً للسائل.

بناء على ذلك يمكن القول أنه إذا أريد لجزيئات السائل أن تهرب من سطح السائل فإن من الضروري تزويدها بالطاقة اللازمة، وتعرف كمية الطاقة اللازمة لذلك، والتي تختلف من مادة إلى أخرى، باسم حرارة التبخر وتعريفها كالتالي:

تسمى الطاقة اللازمة لتحويل وحدة الكتلة من المادة من الطور السائل إلى الطور البخاري (الغازي) بحرارة تبخير ( $H_v$ ) تلك المادة.

$$Q = mH_v \quad (1)$$

## التجارب الفيزيائية

وعندما تتكثف وحدة الكتلة من المادة من الطور البخاري إلى الطور السائل سوف تنطلق نفس هذه الكمية من الطاقة من المادة؛ ويوضح الجدول (١) قيم  $H_v$  لبعض المواد المألوفة.

### الجدول (١)

حرارة التبخير وحرارة الانصهار لبعض المواد المألوفة

$H_f$		$H_v$		نقطة الانصهار نقطة الغليان		المادة
$kJ/kg$	$cal/g$	$kJ/kg$	$cal/g$	( $^{\circ}C$ )	( $^{\circ}C$ )	
1.25	5.2	5.0	21	-269	-270	هليوم
3.3	13.8	51	210	-183	-219	أكسجين
6.1	25.5	48	200	-196	-210	نيتروجين
25	105	204	854	78	-114	إيثانول (كحول إيثيلي)
2.8	11.7	65	270	357	-39	زئبق
80	335	539	2260	100	0	ماء
5.9	23	205	858	1750	357	رصاص
95	397	2520	10500	2450	660	ألنيوم
15.4	64	377	1580	2660	1063	ذهب
49	205	1150	4810	2595	1083	نحاس

يغلي السائل عندما تتكون الفقاعات البخارية وتتمو داخله، ولكي يمكننا فهم ما يحدث في هذه العملية يجب أن نفهم أولاً ما هو ضغط البخار؛ ونفرض أن لدينا سائلاً وبخاره في إناء مغلق كالمبين بالشكل (٢٨) وفي مثل هذا الموقف يتحقق الاتزان بين السائل وبخاره عندما يتزن عدد الجزيئات المتبخرة من السائل مع عدد الجزيئات المتكثفة من البخار إلى السائل، ويسمى ضغط بخار السائل في حالة الاتزان هذه بضغط البخار أو (الضغط البخاري) للسائل، وبالطبع فإن ضغط البخار يزداد بزيادة درجة الحرارة. لماذا ؟



الشكل (٢٨)

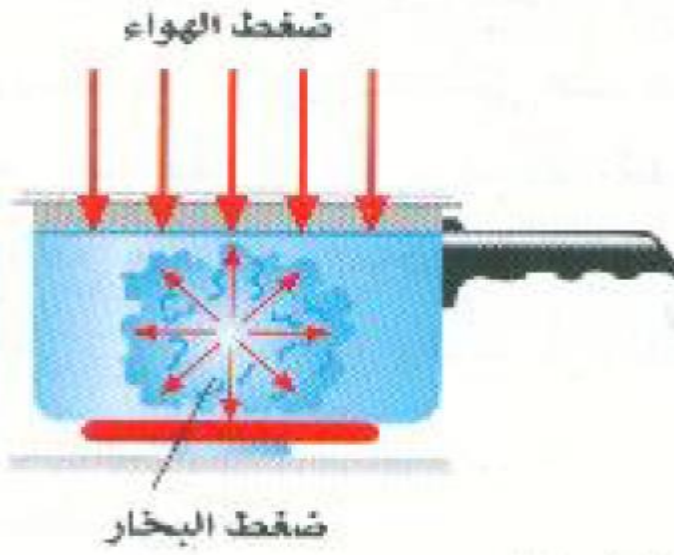
عندما يكون البخار مشبعاً داخل إناء مغلق، يتساوى عدد الجزيئات المتبخرة من السائل تماماً مع عدد الجزيئات المتكثفة من البخار إلى السائل.

لنفرض الآن أن لدينا كمية من سائل في إناء مفتوح بحيث يقطع سطحه تحت تأثير الضغط الجوي كما هو مبين بالشكل (٢٨)، ولننظر هذه المرة إلى الجزيئات الموجودة داخل السائل، ونظراً للحركات العشوائية للجزيئات داخل السائل، يحدث بين حين وآخر أن تكتسب مجموعة من الجزيئات كمية كافية من الطاقة لفصلها عن بعضها البعض، وبذلك يتكون حيز خال، أو ثقب، داخل السائل، وعندئذ تتبخر بعض الجزيئات من السائل إلى الثقب، ومن ثم يرتفع ضغط البخار داخله. وبمرور الوقت يمكن أن يصل ضغط البخار داخل الثقب إلى قيمة مساوية لضغط البخار عند درجة حرارة السائل، فإذا كانت درجة الحرارة منخفضة سيكون الضغط داخل الثقب صغيراً مما يؤدي إلى ضموره وفنائه تحت تأثير الضغط الجوي على سطح السائل، أما إذا كانت درجة الحرارة مرتفعة فسوف يكون الضغط داخل الثقب الكبير، ربما اكبر من الضغط داخل السائل نتيجة لتأثير الضغط الجوي، وفي هذه الحالة سوف تتسبب الزيادة في الضغط داخل الثقب، الذي أصبح الآن فقاعة مليئة بالبخار، في تمدد الفقاعة. وتحت تأثير قوة الطفو المؤثرة على الفقاعة، وعلى الكثير من مثيلاتها

## التجارب الفيزيائية

الأخريات، سوف ترتفع الفقاعة إلى سطح السائل وتنفجر، وهي الظاهرة التي نعرفها باسم الغليان. وهكذا نرى أن السائل يصل إلى حالة حرجة عندما تصبح درجة الحرارة عالية كافية لكي يتساوى ضغط بخار السائل مع الضغط الجوي فوق سطحه، وعندئذ تتكون الفقاعات المليئة بالبخار وتتمو داخل السائل فيما يعرف بالغليان.

يغلي السائل عند درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط البخار تماماً مع الضغط الخارجي على السائل.



الشكل (٢٩)

درجة الغليان: هي درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط البخار داخل الفقاعة مع الضغط الخارجي المؤثر على السائل (حجم الفقاعة مبالغ في تكبيره).

وحيث أن ضغط البخار عند درجة  $100^{\circ}\text{C}$  يساوي  $101 \text{ kPa}$  في حالة الماء، وبما أن  $1 \text{ atm} = 101 \text{ kPa}$ ، فإن الماء يغلي عادة عند درجة  $100^{\circ}\text{C}$ . ولكن يغلي

## التجارب الفيزيائية

الماء في مثل هذه المناطق عند حوالي  $94^{\circ}\text{C}$ . هذا ويمثل الجدول (١) نقط غليان بعض السوائل المعروفة عند الضغط الجوي المعتاد ( $P_v = 101 \text{ kPa}$ ). وبقياس نقطة غليان المادة عند ضغوط محيطية مختلفة وتمثيل النتائج بيانياً سوف نحصل على منحنى كالمبين بالشكل (٣٠) في حالة الماء؛ ويعرف الخط الفاصل بين السائل والبخار باسم منحنى التبخير، ونرسم خطاً أفقياً عند هذا الضغط ثم نوجد نقطة تقاطعه مع المنحنى. وبإسقاط عمود من نقطة التقاطع هذه على المحور الأفقي سوف نحصل على درجة الغليان المطلوبة عند الضغط المعنى. ومن الجدير بالذكر أن الغليان مثال لما يسمى تغير الطور، ولذلك يسمى الشكل (٣٠) برسم بيان الطور. لاحظ من الشكل (٣٠) أن درجة غليان الماء ترتفع بارتفاع الضغط عليه.

من المهم أن نفهم تماماً أنه عندما تمر عينة من المادة بعملية تغير في الطور فإن الحرارة المضافة إلى المادة أو المفقودة بواسطتها لا تغير درجة حرارة المادة على أن يتغير طور العينة بأكملها إلى الطور الجديد. فإذا ما أشعل الموقد تحت قدر من الماء المغلي فإن ذلك سوف يسبب غليان الماء بشكل أكثر عنفاً، ولكن درجة الحرارة لن ترتفع. ذلك أن الحرارة المصاحبة لتغير طور المادة من سائل إلى غاز تتحدد بكتلة العينة وحرارة تبخير المادة تبعاً للمعادلة (١).



الشكل (٣٠) منحنى تبخير نموذجي

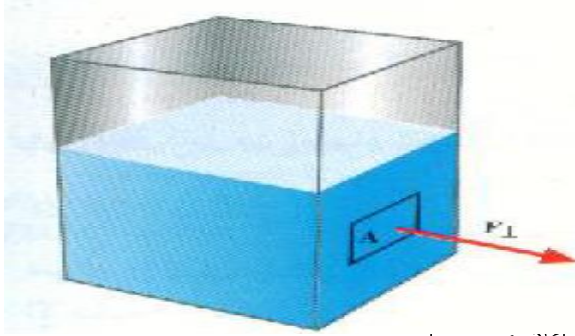
## التجارب الفيزيائية

يحدث الغليان عند درجة  $T_A$  عندما يكون الضغط  $P_A$  وترتفع نقطة الغليان إلى  $T_B$  عند زيادة الضغط إلى  $P_B$ .

تجربة ٤٧ الضغط في الموائع

يمثل الشكل (٣١) سائلاً في وعاء؛ هذا المائع ساكن، ويؤثر على جدران الوعاء بقوة معينة إلى الخارج. سنفترض أن القوة المؤثرة على المساحة  $A$  إلى الخارج هو  $F_{\perp}$ ، حيث ينبهنا الدليل السفلي أن القوة عمودية على جدار الوعاء، يعرف متوسط الضغط على المساحة  $A$  بالعلاقة:

$$\text{متوسط الضغط} = \bar{P} = \frac{F_{\perp}}{A}$$



الشكل (٣١) سائلاً في وعاء

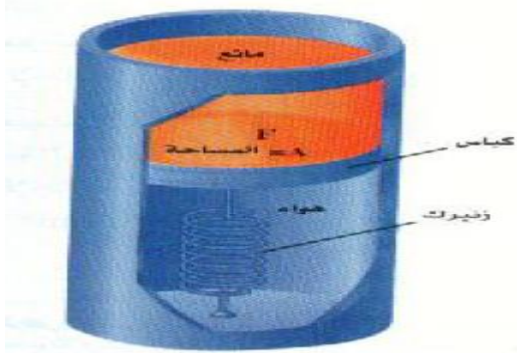
متوسط الضغط على المساحة  $A$  يساوي  $F/A$ .

ومع أن الضغط كمية غير متجهة، يجب أن نتذكر أن القوة المسببة للضغط نفسها لها اتجاه بالرغم من أننا نحذف الدليل السفلي عادة من القوة  $F_{\perp}$  ومن تعريف الضغط يمكننا أن نرى أن الوحدات SI للضغط هي نفس وحدات الإجهاد، أي  $N/m^2$ . في الحقيقة يعتبر الضغط مثلاً من أمثلة إجهاد التضاغط، ومع ذلك فإن الوحدة  $N/m^2$  كوحدة ضغط تسمى عادة باسكال (Pa)، أي أن:

$$1N/m^2 = 1Pa$$

هذا وسوف نقابل وحدات كثيرة أخرى للضغط، ربما أكثر من أي كمية فيزيائية أخرى.

يمكن استخدام الجهاز الموضح بالشكل (٣٢) لقياس الضغط داخل أي مائع. وإذا كانت  $F$  هي القوة التي يؤثر بها المائع على الكباس. فإن الكباس سوف يتحرك حتى تتعادل القوة المؤثرة بواسطة الزنبرك مع الناتجة عن المائع، وعند معايرة الجهاز بطريقة مناسبة يمكن استخدام إزاحة الكباس لقياس  $F$ . وإذا كانت  $A$  مساحة الكباس فإن الضغط سيكون ببساطة  $F/A$ . وبجعل مساحة الكباس صغيرة جداً يمكننا الحصول على قيمة الضغط على بعد صغير جداً من أي نقطة داخل المائع؛ هذه الكمية هي ما نقصده عند الحديث عن الغط عند نقط معينة ما داخل المائع.



الشكل (٣٢)

جهاز بسيط لقياس الضغط.

وهناك عدداً من الحقائق الهامة عن الضغط والقوى داخل الموائع، وهذه الحقائق تنطبق بالتحديد على الموائع غير القابلة

للانضغاط، وهذا يعني عملياً أن الانضغاطية الحجمية لمثل هذه الموائع من الصغر بحيث لا يسبب الضغط أي تغيرات محسوبة في الحجم. وعملياً تعتبر السوائل موائع غير قابلة للانضغاط، ولكن هذا غير صحيح في حالة الغازات.

١- في مائع ساكن، تكون القوى المؤثرة بواسطة المائع عمودية دائماً على الأسطح الملامسة للمائع بصرف النظر عن "اتجاه" هذه الأسطح.

طبقاً لقانون نيوتن الثالث يجب أن تكون القوى المؤثرة بواسطة السطح على

## التجارب الفيزيائية

المائع مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه لتلك القوى المؤثرة بواسطة المائع على السطح. هذا يعني عدم وجود أي مركبة للقوة في الاتجاه الموازي للسطح لأن المائع لا يمكن أن يظل ساكناً إذا وقع تحت تأثير القوى القاصة.

٢- في المائل الساكن، يجب أن يكون صافي القوى المؤثرة على أي عنصر حجمي صفراً.

وينتج مباشرة من قانون نيوتن الثاني. فإذا كان صافي القوى المؤثر على أي جزء من المائع لا يساوي صفراً فإن المائع يجب أن ينساب تحت تأثير هذه القوى؛ وهذا يتعارض مع الفرض بأن المائع ساكن.

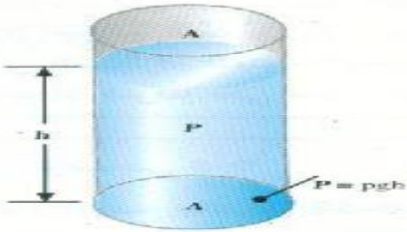
٣- الضغط الناتج عن وزن المائع عند أي نقطة تقع على عمق قدره  $h$  تحت سطح مائع كثافته  $p$  يساوي  $pgh$ .

لإثبات أن  $P = pgh$  يمكننا الاستعانة بالشكل (٣٣) الذي يمثل مائعاً كثافته  $p$  في وعاء أسطواني الشكل. وزن المائع عند القاع؛ أي على عمق قدره  $h$  تحت السطح هو:

$$Mg = pVg = \text{الوزن}$$

حيث  $M = pV$  عبارة عن كتلة عمود المائع، وهذا الوزن موزع بانتظام على مساحة قاع العمود  $A$ ، وعليه فإن الضغط عند القاع يكون:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{\text{الوزن}}{A} = \frac{\rho Vg}{A}$$



الشكل (٣٣)



## التجارب الفيزيائية

الضغط الناتج عن عمود من المائع  $P = pgh$  على عمق  $h$  تحت السطح ولكن حجم المائع  $V$  يساوي حجم أسطوانة منتظمة قائمة مساحة مقطعها  $A$  وارتفاعها  $h$ ، أي أن  $V = Ah$ . إذن، بالتعويض عن  $V$  بهذه الكمية في المعادلة السابق نجد أن الضغط على عمق قدره  $h$  تحت سطح مائع نتيجة لوزن هذا المائع هو:

$$P = \frac{\rho Ahg}{A} = pgh$$

٤- إذا سببت قوة خارجية ما زيادة في الضغط عند أي نقطة في مائع محبوس غير قابل للانضغاط فإن الضغط يزداد عند كل نقط المائع بنفس المقدار، وتعرف هذه الحقيقة باسم مبدأ باسكال.

فمثلاً، إذا وضع مائع في وعاء مفتوح كما هو مبين بالشكل (٣٣) سوف يقع السطح العلوي للمائع تحت تأثير الضغط الجوي  $P_a$  إلى أسفل، وينص مبدأ باسكال على أن الضغط عند كل نقطة بالمائع يزداد بنفس هذا المقدار، يمكننا إذن القول أن الضغط الكلي على عمق  $h$  في المائع يعطي بالعلاقة:

$$P = P_a + pgh$$

عندما نستخدم مقياس الضغط داخل وعاء فإننا نفعل ذلك عادة بينما يحيط الضغط الجوي  $P_a$  بنا وبالمقياس في نفس الوقت، ما يقوم مقياس الضغط بقياسه هو في الواقع الفرق بين الضغط في الوعاء والضغط الجوي  $P_a$ ، ويعرف هذا الفرق بين الضغط الكلي داخل الوعاء والضغط المحيط  $P_a$  بمدلول مقياس الضغط، وسوف نرسم له بالرمز  $P_G$  إذن:

$$P_G = P - P_a$$

وعليه فإن مدلول مقياس الضغط على عمق  $h$  في مائع مفتوح على الجو هو:

$$pgh = P_G = P - P_a$$

## التجارب الفيزيائية

هذا ويعتبر مبدأ باسكال الأساس النظري لعمل الروافع والمكابس الهيدروليكية وكذلك أنظمة الفرامل الهيدروليكية.

٥- يتساوى الضغط في مائع ساكن عند جميع النقط التي تقع على نفس العمق.

هذه نتيجة طبيعية طبقاً للعلاقة 3 لأننا لم نحدد أي موضع أفقي معين في المائع عند اشتقاق العلاقة  $P_G = pgh$  وبناء على ذلك فإن أسطح المائع الساكن في مجموعة من الأواني المستطرقة المفتوحة يجب أن تكون جميعها في نفس المستوى.

## إثبات السعة الحرارية النوعية

لكي نرفع درجة حرارة جسم ما يجب علينا أن نريد الطاقة الحرارية لجزيئاته، ويمكن تحقيق ذلك بالسماح للحرارة بأن تتساب إلى هذا الجسم من جسم آخر أكثر سخونة، وبالمثل إذا أردنا تبريد جسم ما فإننا نستطيع ذلك بالسماح للحرارة بأن تتساب من هذا الجسم إلى جسم آخر أكثر برودة، ويمكن وصف عمليات التسخين والتبريد هذا وصفاً كمياً يجب معرفة كمية الحرارة اللازمة لتغيير درجة حرارة الجسم.

وتعرف كمية الحرارة التي يجب أن تتساب من وحدة الكتلة من المادة حتى تتغير درجة حرارتها بمقدار درجة واحدة باسم السعة الحرارية النوعية للمادة. وبناء على ذلك عندما تنتقل كمية من الحرارة  $Q$  إلى كتلة قدرها  $m$  من المادة، سوف ترتفع درجة حرارة هذه الكتلة بمقدار  $\Delta T$ ، وليكن  $\Delta T$  إذن: من التعريف\*:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

ومنه يمكننا كتابة:

$$Q = cm \Delta T \quad (1)$$

ويمكننا أن نرى من التعريف أن وحدات السعة الحرارية النوعية هي  $J/kg \cdot C^\circ$ ، هذا رغم أن الوحدات الشائع استعمالها هي  $cal/g \cdot C^\circ$ . وعليك أن تثبت أن:

$$1 \text{ cal/g} \cdot C^\circ = 4184 \text{ J/kg} \cdot C^\circ$$

يمثل الجدول (١) قيم  $c$  النموذجية لبعض المواد، لاحظ أن  $c = 1.000 \text{ cal/g}$ .

## التجارب الفيزيائية

$C^\circ$  في حالة الماء. وسنرى فيما بعد أن السعة الحرارية النوعية تتغير تغيراً طفيفاً مع درجة الحرارة، ولكن يمكن اعتبار أن القيم المعطاة بالجدول ثابتة بالقرب من درجة الغرفة، ويلاحظ أنه إذا كانت قيمة  $c$  كبيرة فذلك يعني أن المادة تحتاج إلى كمية كبيرة نسبياً من الحرارة لكل جرام كي تتغير درجة حرارتها بمقدار معين، كذلك فإن صغر قيمة  $c$  يعني أن درجة حرارة المادة  $T$  تتغير بمقدار كبير عندما تمتص المادة كميات صغيرة نسبياً من الحرارة. يمكننا أن نتوقع أن الحرارة النوعية للغازات ذات الجزيئات المعقدة أكبر مما في حالة الغازات البسيطة أحادية الذرة، ذلك أن الحرارة الممتصة تتوزع بين العديد من أنواع الطاقة الداخلية.

### جدول (٢)

السعة الحرارية لبعض المواد

المادة	c (cal / g. C°)	c (J / kg. C°)
ماء	1.000	4184
جسم الإنسان	0.83	3470
كحول أثيلي ( إيثانول)	0.55	2300
بارافين	0.51	2100
ثلج ( 0°C )	0.50	2100
بخار ( 100°C ) *	0.46	1920
ألمنيوم	0.21	880
زجاج	0.15	600
حديد	0.11	460
نحاس	0.093	390
زئبق	0.033	140
رصاص	0.031	130

(\* ) يمثل الرمز  $Q$  كمية الحرارة المنتقلة إلى المادة، وتعني الإشارة الموجبة للكمية  $Q$  أن الحرارة تضاف إلى المادة، أما إذا كانت  $Q$  سالبة فذلك يعني أن

## التجارب الفيزيائية

المادة تلفظ الحرارة خارجها. والرمز  $T\Delta$  فيمثل التغير في درجة الحرارة نتيجة للانتقال الحراري.

(\* عند ثبوت الحجم.

## الانصهار وحرارة الانصهار

تنصهر بلورات الثلج عند درجة 0°C تحت الضغط الجوي القياسي. وقبل الانصهار تكون جزيئات الماء في الثلج مرتبة في نسق بلوري ذي ترتيب محكم؟، حيث تحفظ الجزيئات في موضعها بواسطة قوة التجاذب القوية المتبادلة بين الجزيئات. ولصهر البلورة يجب أن تنتزع الجزيئات من هذا الترتيب المحكم بحيث لا يصبح ترتيبها منتظماً. هذه العملية تحتاج إلى طاقة، وعادة تزود المادة بهذه الطاقة على هيئة حرارة.

يتضح من ذلك إذن أنه عند تسخين مادة بلورية فإنها تبدأ في الانصهار عند درجة حرارة معينة. وإذا ما أضيفت الحرارة ببطء شديد إلى الخيط المكون من المادة البلورية والسائل سوف تظل درجة الحرارة ثابتة إلى أن يتم انصهار جميع البلورات. ولكل مادة نقطة انصهار معينة، ولكي تنصهر المادة البلورية يجب تزويدها بكمية معين من الحرارة — تسمى حرارة الانصهار عند هذه الدرجة.

كمية الحرارة اللازمة لتغير طور وحدة الكتلة من الطور الصلب إلى الطور السائل تسمى حرارة انصهار المادة ( $H_f$ ).

$$Q = mH_f \quad (1)$$

وعندما تتحول وحدة الكتلة من المادة من الطور الصلب إلى الطور السائل سوف تتحرر نفس هذه الكمية من الطاقة من المادة.

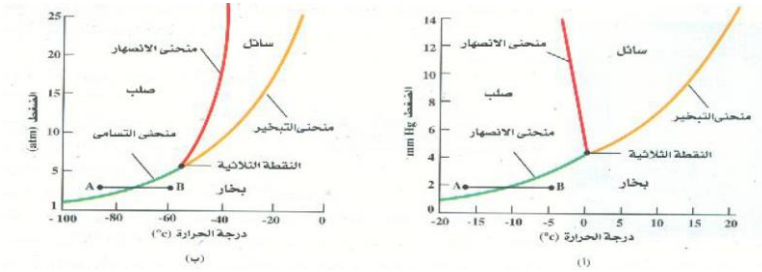
وكما في حالة التبخير فإن الحرارة المضافة إلى المادة أو المفقودة منها أثناء تحولها من الصلابة إلى السيولة أو من السيولة إلى الصلابة لا تغير درجة حرارة المادة إلى أن يتغير طور العينة بأكملها.

## التجارب الفيزيائية

وحرارة انصهار الماء تساوي  $335 \text{ KJ/kg}$  ( $80 \text{ cal/g}$ ). لاحظ أن حرارة انصهار وحرارة تبخير المواد ذات الرابطة الهيدروجينية، كالماء، والإيثانول (الكحول الأيثيلي) أكبر من الأخرى. لماذا؟

يمكن تغيير نقطة تجمد السائل بتطبيق ضغط كبير على النظام. فإذا كانت المادة تتكسح عند تجمدها فإن نقطة الانصهار سوف ترتفع بزيادة الضغط، وهذا هو سلوك معظم المواد بالفعل. لو كان قليلاً من المواد، كالماء مثلاً، يتمدد عند التجمد، وفي هذه الحالة سوف تؤدي زيادة الضغط إلى انخفاض نقطة تجمد مثل هذه المواد. لذلك فإن ضغط المتزلج على الثلج على نصل حذائه قد يسبب انصهار الثلج تحته. وفي هذه الحالة يكون المتزلج متزلاً في الحقيقة على الثلج المشحم بغشاء رقيق من الماء. ويمكن ملاحظة هذا السلوك بالاستعانة بما يسمى منحنى انصهار المادة، وهو المنحنى الذي

يبين كيف تعتمد الانصهار على الضغط؛ ويمثل الشكل (٣٤) أمثلة لهذه المنحنيات بالنسبة للماء وثنائي أكسيد الكربون. وحيث أن درجة الانصهار تعتمد اعتماداً طفيفاً على الضغط، فإن هذه المنحنيات تكون رأسية تقريباً. ومن الجدير بالملاحظة هنا أن ميل منحنى الانصهار لمعظم المواد، كثنائي أكسيد الكربون مثلاً يكون موجباً. وعلى العكس من ذلك فإن منحنى انصهار الماء يكون ذا ميل صغير سالب.



شكل (٣٤)

رسم بيان الطول لكل من (أ) الماء، (ب) ثاني أكسيد الكربون. لاحظ موضع النقطة الثلاثية بالرسم.

هذا ويبين أن زيادة الضغط تسبب انخفاض درجة الانصهار، مما يعكس حقيقة أن الماء يتمدد عنه تحمده.

ويوضح رسم بيان الطور الكامل أيضاً أنه إذا قل الضغط عن قيمة معينة، فإن المادة يمكن أن تتحول من الطور الصلب إلى الغازي مباشرة دون المرور على الطور السائل إطلاقاً، وهذه العملية تسمى التسامي، هذا ويتضمن الشكل (٣٤) أيضاً منحني التسامي لكل من الماء وثاني أكسيد الكربون. لاحظ الفرق الكبير في قيم الضغط على المحورين الرأسيين للمنحنيين.

يوضح الشكل (٣٤) كذلك أن لكل مادة نقطة واحدة تتقاطع عندها المنحنيات الثلاثة الفاصلة بين الأطوار المختلفة للمدة. هذه النقطة التي تمثل زوجاً فريداً من الضغط ودرجة الحرارة، والذي يختلف من مادة إلى أخرى، تسمى النقطة الثلاثية لذلك المادة.

ويمكن أن نجد من الشكل أن النقطة الثلاثية للماء توجد عند درجة الحرارة  $0.01^{\circ}\text{C}$  والضغط  $4.58 \text{ torr}$  ( $0.006 \text{ atm}$ )؛ أما في حالة ثاني أكسيد الكربون فإن إحداثيي النقطة الثلاثية هما  $56.6^{\circ}\text{C}$  و  $5.11 \text{ atm}$ .

ويمكننا أن نرى من الشكل (٣٤) أن التسامي لا يمكن حدوثه إلا إذا كان الضغط على المادة أقل من الضغط عند النقطة الثلاثية للمادة، ويمثل الخطان AB مثالين لعملية تسامي الماء وثاني أكسيد الكربون. ولكننا يعلم أن ثاني أكسيد الكربون يتسامى عند الضغط الجوي المعتاد، وذلك لأن  $1 \text{ atm}$  أقل كثيراً من الضغط عند النقطة الثلاثية لهذه المادة. وبناء على ذلك فإن تحول وصول  $\text{CO}_2$  إلى الطور السائل يستلزم زيادة الضغط عن  $5.11 \text{ atm}$ . وفي الختام نقول أن التسامي يرتبط بما يعرف باسم حرارة التسامي، تماماً كما أن الانصهار والتبخير مرتبطان بحرارتي الانصهار والتبخير السابق مناقشتهما.



### مستويات طاقة الهيدروجين

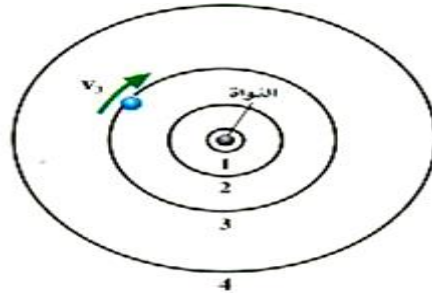
ذرة الهيدروجين لا بد أن تكون لها حالات مستقرة، أي الذرة ثابتة متزنة. وقد توصلت النظرية التي ألمنا بها إلى أن تلك الحالات المستقرة تتكون من مدارات دائرية ذات أنصاف أقطار تعطى، في حالة الهيدروجين، بالعلاقة:

$$r_n = n^2 (0.53 \times 10^{-10} \text{ m}) \quad , \quad n = 1, 2, \dots$$

ويوضح الشكل (٣٥) المدارات القليلة المستقرة الأولى، وسنتعرف الآن على الطاقة التي للذرة في لك من هذه الحالات.

لا بد لكل من الحالات المستقرة التي وجدناها من طاقة مميزة لها. وطاقة الذرة تتكون من شقين، أحدهما هو طاقة حركة الإلكترون عندما يتحرك في مداره، وتعطى هذه الطاقة — بالنسبة للمدار رقم  $n$  بالعلاقة،

$$(KE)_n = \frac{1}{2} m v_n^2$$



الشكل (٣٥)

يقوم الإلكترون بالدوران حول النواة في سلسلة من المدارات المستقرة التي تحقق شرط الرنين، ولن نتاح له أية مدارات أخرى مستقرة وحجم النواة في الشكل مبالغ فيه إلى حد كبير.

حيث أمكن لنا إهمال ظواهر النسبية؛ تصبح هذه العلاقة

$$(KE)_n = \frac{Ze^2k_e}{2r_n} \quad (1)$$

ويمتلك الإلكترون بالإضافة إلى طاقة حركته، طاقة وضع كهربية سالبة. ويرجع السبب في كونها سالبة إلى أننا نعرف طاقة وضع شحنتين على أنها تساوي الصفر عندما تكون المسافة بينهما لا نهائية. وكلما اقترب الإلكترون من النواة، فإنه "ينحدر" بالنسبة لطاقة الوضع لأن النواة تجذبه، أي أنه يتحرك نحو طاقات وضع أقل من الصفر أي سالبة. وطاقة وضع إلكترون يقع على مسافة  $r_a$  من شحنة موجبة  $Ze$  هي:

$$(PE)_n = \frac{-Ze^2k_e}{r_n} \quad (2)$$

فإذا أضفناها إلى طاقة حركة الإلكترون في المدار رقم  $n$  (المعادلة (1)) فإننا نحصل على الطاقة الكلية للذرة في الحالة المستقرة رقم  $n$ :

$$E_n = \frac{-Ze^2k_e}{2r_n} \quad (3)$$

يلاحظ أن طاقة الذرة سالبة وتصبح أكثر سالبية كلما انخفضت قيمة  $r_n$  (وبعبارة أخرى: كلما اقترب الإلكترون من النواة).

يمكننا الآن كتابة المعادلة (3) على صورة أكثر ملاءمة للتعويض عن قيمة  $r_n$ :

$$E_n = -\left(\frac{1}{n^2}\right)\left(\frac{2\pi^2Z^2e^4k_e^2m}{h^2}\right) \quad (4)$$

وإذا عوضنا عن قيم الثوابت الواردة في هذه المعادلة فإننا نحصل على  $Z =$

1 على:

$$E_n = -\frac{2.18 \times 10^{-18} \text{ J}}{n^2} = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \quad (5)$$

ومعنى الطاقة الكلية السالبة هو أن الإلكترون مرتبط بالنواة، ولو أنه اكتسب ما يكفي من الطاقة من أحد المصادر الخارجية (بالتصادم مثلاً، حتى تصبح طاقته الكلية موجبة، فإن لن يصبح مرتبطاً: بل سيصير حرّاً.

ونذكر أن كل قيمة من قيم  $n$  تناظر حالة مستقرة واحدة للذرة. فالحالة  $n = 1$ ، في إطار النموذج شبه الكلاسيكي، تناظر إلكترونًا يدور في أصغر مدار ممكن له  $r_1$  وتسمى طاقة الذرة في هذه الحالة، الحالة الأرضية وهي تساوي  $E_1 = -13.6 \text{ eV}$ ، ولما كانت النظم إذا خلى بينها وبين أية مؤثرات خارجية تميل إلى الهبوط إلى أدنى طاقة ممكنة، فإن ذرات الهيدروجين توجد عادة في الحالة  $n = 1$ . وعندما  $n = 2$ ، وهي تناظر حالة الطاقة الأعلى التالية، فإن نصف قطر المدار يصبح  $4\pi r_1$ ، وعندئذ تصبح طاقة الذرة هي:

$$E_2 = -\frac{13.6}{2^2} \text{ eV} = -3.4 \text{ eV}$$

يلاحظ هنا أن  $E_2$  أكبر من  $E_1$ ، بمعنى أن طاقة الذرة في الحالة 2 أعلى من طاقتها في الحالة 1. وسنكتب على سبيل المثال الإيجاز:

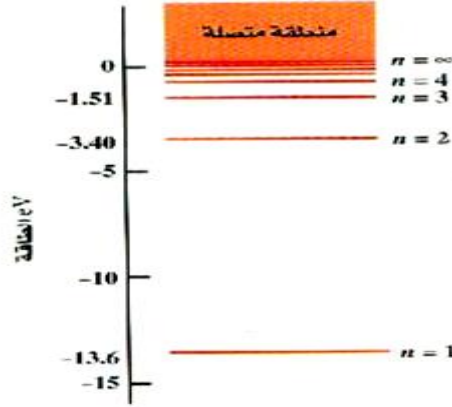
$$r_n = n^2 r_1 \quad \text{و} \quad E_n = \frac{E_1}{n^2} = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV} \quad (6)$$

وكما هو واضح فإن طاقات الإلكترون في الذرة كمماة مثلما كانت حالة الجسيم المحصور داخل أنبوبة.

من المناسب دائماً أن نمثل طاقات النظام الكمماة (كالذرات مثلاً) على هيئة ما يسمى الرسم البياني لمستويات الطاقة؛ وبالنسبة لذرة الهيدروجين فإنه موضح بالشكل (٣٦). وهو بمثابة مقياس رأسي للطاقة مع خطوط أفقية مرسومة بحيث

## التجارب الفيزيائية

تناظر طاقات الحالات المستقرة للذرة. وقد بينا عدة مستويات أولى فقط، لأن تلك المستويات تصير عند قيم  $n$  الأعلى من ذلك متلاصقة لدرجة يصعب معها رسمها. ويتضح هذا من حقيقة أن كل المستويات بدءاً من  $n = 3$  حتى  $n = \infty$  لا بد أن تقع داخل فجوة صغيرة بين  $1.51 \text{ eV}$  والـ صفر. وحيث أن نصف قطر المدار يتزايد بسرعة بزيادة  $n$  فإن الإلكترون يصير متحرراً من النواة تماماً عند  $n = \infty$ ، وتصير الذرة عندئذ مؤينة.



الشكل (٣٦)

الرسم البياني لمستويات طاقة الهيدروجين.

هناك عدد لا نهائي من المستويات فيما بين  $n = 4$  و  $n = \infty$ .

نلاحظ أن هناك منطقة بالتعبير منطقة متصلة، وتقع لطاقات أكبر من الصفر. وعند قيمة  $n = \infty$  يكون الإلكترون متحرراً من الذرة ويكون ساكناً. وتكون قيم الطاقة الأعلى بمثابة طاقة الحركة الانتقالية للإلكترون الحر. ولكن هذه الطاقة ليست كمماة ولذلك فإن جميع قيم الطاقة فوق  $E = 0$  تكون متاحة.

## أشعة أكس (السينية) وأطياف الذرات عديدة الإلكترونات

تكون طاقة إلكترون في ذرة عديدة الإلكترونات هي في طاقة إلكترون موجود في نفس الحالة في ذرة الهيدروجين مضروبة في  $Z^2$ . وينهار هذا التقريب بالنسبة للإلكترونات الخارجية للذرة — لأن طاقات التفاعل بين هذه الإلكترونات تقترب من فروق الطاقة بين مستويات طاقة بوهر. وهكذا لا تستطيع طاقات بوهر أن تنطبق على هذه الإلكترونات الخارجية.

على أن، طاقة التفاعل بين الإلكترونات تكون صغيرة بالنسبة لفروق الطاقة بين الحالتين  $n=1$  و  $n=2$ . ففي حالة الزنك، مثلاً، ( $Z = 30$ )، تكون طاقات بوهر هي:

$$E_n = -\frac{13.6Z^2}{n^2} \text{ eV} = -\frac{12,240}{n^2} \text{ eV}$$

ويصبح الموقف أكثر إبهاماً بالنسبة للذهب ( $Z = 79$ ) حيث،

$$E_n = -\frac{84,900}{n^2} \text{ eV}$$

فكما نرى تصبح فروق الطاقة بين الحالتين  $E_1$  و  $E_2$  في هذه الذرات مقدره بعشرات الآلاف من الإلكترون فولت، وإذا قورنت طاقات التفاعل الكولومية بين الإلكترونات بطاقات ما بين القشرات هذه، فإنها ستبدو صغيرة. ومن ثم تكون طاقات بوهر صحيحة تقريباً بالنسبة للإلكترونات الموجودة في القشرتين  $n=1$  و  $n=2$  للذرات ذات الأعداد الذرية الكبيرة.

فإذا انتقلنا إلى إلكترون موجود في قشرة خارجية فإن الموقف سيبدو مختلفاً تماماً. أولاً، ستظهر إلكترونات القشرات الداخلية وهي تلغى جزء من الشحنة النووية وذلك لكونها أقرب إلى النواة، ولذلك فإن إلكترونات القشرة  $n=2$  "ترى" الشحنة النووية وكأنها  $(Z-2)e$  تقريباً بدلاً من  $Ze$ ؛ وبالمثل فإن إلكترونات الموجودين

## التجارب الفيزيائية

في القشرة  $n = 1$  والإلكترونات الثمانية الموجود في القشرة  $n = 2$ . ويقال عندئذ أن الإلكترونات الداخلية "تجذب" الشحنة النووية عن الإلكترونات الخارجية.

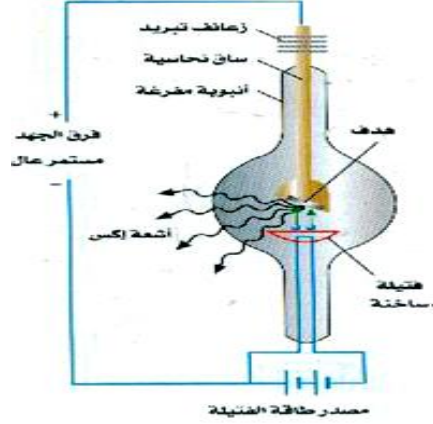
وعلاوة على هذا التأثير فإن الإلكترونات القشرة الخارجية معرضة لطاقتات من ناحية التفاعل التنافري للإلكترونات مع بعضها البعض والذي يكتنف كل الإلكترونات الأخرى بالذرة. ولقد ذكرنا من قبل أن هذه الطاقات تقترب في مقاديرها مع الفروق الصغيرة في الطاقة بين القشرات الخارجية، وأن معادلة بوهر للطاقة لا تنطبق عليهم.

إن الذرة لكي تشع، فلا بد لبعض إلكتروناتها من أن تستثار إلى طاقات أعلى، وحيث أن إلكترونات المدارات الخارجية لا تحتاج سوى لقدر ضئيل من الطاقة حتى تستثار إلى حالات فارغة، لذا لن يكون من الصعب الحصول على ضوء مرئي من ذرات ذات  $Z$  مرتفعة. وما يحدث ببساطة هو أن تبخر المادة وتستخدم داخل أنبوبة تفريغ. إلا أن خطوط الطيف التي تنبعث نتيجة انتقالات بين مستويات القشرة الخارجية تلك عديدة ومعقدة جداً.

يصبح الموقف مختلفاً تماماً بالنسبة للانتقالات التي تتضمن إلكترونات القشرة الداخلية. أن القشرات  $n = 1$ ،  $n = 2$ ،  $n = 3$  تكون ممثلة في حالة ذرة الزنك غير المستثارة، ومن ثم لا يمكن استثارة إلكترون داخلي ( $n = 1$ ) إلى أي من القشرتين  $n = 2$  أو  $n = 3$  الممثلةتين بسبب مبدأ الاستبعاد. ولكي نستثير إلكترونات من  $n = 1$ ، فإن الطاقة التي لا بد من إمداد الذرة بها، يجب أن تكون — على الأقل — كافية للسماح للإلكترون بالقفز إلى القشرة  $n = 4$ . وهذه الطاقة تصل إلى نحو  $12,000 \text{ eV}$  في حالة الزنك. وبمجرد حدوث تلك القفزة فإن ثغرة تنشأ في القشرة  $n = 1$ ، وعندئذ يستطيع إلكترون من إحدى القشرتين  $n = 2$  أو  $n = 3$ ، أن يقفز بسهولة نحو تلك الثغرة، مطلقاً فوتوناً ذا طاقة مساوية لفرق الطاقة بين الحالتين النهائية والابتدائية للإلكترون، عدا ما هبط إلكترون من  $n = 2$  إلى  $n$

## التجارب الفيزيائية

1=فإن طاقة الفوتون الذي سيطلقه ستصل إلى نحو 9000 eV. وأن الفوتون الذي طاقته 1 eV يكون طوله الموجي 1240 nm ، لذا فالطاقة 9000 eV ستناظر طولاً موجياً مقداره:



الشكل (٣٧)

تقذف الإلكترونات المنبعثة من الفتيل الساخن سطح الهدف الذي يقوم بإطلاق أشعة أكس.

$$\lambda = \frac{1 \text{ eV}}{9000 \text{ eV}} \times 1240 \text{ nm} = 0.14 \text{ nm}$$

ويقع هذا الطول الموجي في منطقة أشعة أكس، ونكتشف أن الانتقالات بين القشرات الداخلية في ذرة ذات Z مرتفعة، تؤدي إلى ظهور أشعة أكس ولكي نولد أشعة أكس يلزمنا أن نستشير إلكترونات القشرة الداخلية نحو قشرات خارجية خالية، ويستلزم هذا، ونرى كميات ضخمة من الطاقة.

يوضح الشكل (٣٧) دائرة أنبوبة أكس نموذجية، حيث تنبعث الإلكترونات من فتيلة ساخنة ثم تعجل عبر فرق للجهد من المرتبة  $10^5 \text{ V}$ . وعندما ترتطم هذه الإلكترونات ذات الطاقة المرتفعة بالذرات ذات العدد الذري Z الكبير في الهدف فإنها تقتلع إلكترونات من القشرات الداخلية للذرات. وعندما تهبط إلكترونات

أخرى نحو الثغرات المتكونة، فإن فوتونات أشعة أكس تتبعث. ويكون لأشعة أكس المنبعثة بهذه الطريقة أطوال موجبة تميز فرق الطاقة بين القشرات المختلفة في الذرة؛ بمعنى أن الفوتونات المنبعثة تحمل من الطاقة ما يساوي الفرق بين طاقتي قشرتين تمثلان نقطتي النهاية والبداية بالنسبة للإلكترون الذي يهبط إلى الثغرة. ويشار إلى أشعة أكس المنبعثة في هذه العملية بأشعة أكس المميزة.

### الشكل (٣٨)

طيف أشعة أكس المنبعثة من هدف من الموليبدنم المقذوف بالإلكترونات طاقتها 35,000 eV.

وهناك نوع آخر من أشعة أكس المنبعثة من الهدف المقذوف بالإلكترونات ويشار إليه بمصطلح أشعة الفرملة. وكما يقتضي معنى المصطلح، فإن هذه الأشعة تتبعث بواسطة الإلكترونات المقذوفة عندما يحدث لها إبطاء عند اصطدامها بالهدف وكلنا يعلم أن أي شحنة معجلة تقوم بإشعاع موجات كهرومغناطيسية، ولذلك يصدر إشعاع من هذه الإلكترونات المقذوفة عندما تتعرض لإبطاء قوي بواسطة الهدف، وحيث أن معدل الإبطاء كبير جداً، لذا يكون الإشعاع المنبعث ذا طول موجي قصير، ويكون إشعاع الفرملة في منطقة أشعة أكس. إلا أن لأشعة الفرملة خلافاً لأشعة أكس المميزة مدى متصل من الأطوال الموجية وهذا يعكس حقيقة أن الإبطاء يتم بعدد لا نهائي تقريباً من الطرق المختلفة ولذلك تتباين الطاقة المنطلقة من تصادم لآخر.

يحتوي الشكل (٣٨) على رسم بياني للإشعاع المنبعث من هدف صنع من عنصر الموليبدنم، قذف بالإلكترونات طاقتها 35,000 eV. القمتان الحادثتان بالشكل هما أشعة أكس المميزة المنبعثة نتيجة هبوط الإلكترونات إلى القشرة  $n = 1$  من القشرتين  $n = 2$  و  $n = 3$ . وبطبيعة الحال، ينتمي الطول الموجي الأقصر للانتقال



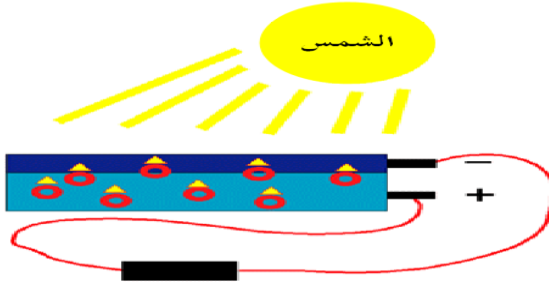
## التجارب الفيزيائية

ذو الطاقة الأكبر وهو الانتقال من  $n = 3$  إلى  $n = 1$ . وأشعة الفرملة هي المسؤولة عن الإشعاع منخفض الشد، الذي ينتشر على مدى جميع الأطوال الموجية الأكبر من  $m\lambda$ . وحيث أن طاقة الإلكترونات المقذوفة كانت  $35,000 \text{ eV}$ ، فإن الفوتونات المنبعثة لا يمكن أن تتخذ طاقات أكبر من هذه القيمة، فإذا استخدمنا التحويل الذي يقتضي أن الطول الموجي  $1240 \text{ nm}$  يكافئ  $1 \text{ eV}$  لوجدنا أن  $35,000 \text{ eV}$  تناظر  $0.035 = 1240/35,000$ . وكما هو واضح من الشكل (٣٨) فإن أكبر طاقة لأشعة الفرملة هي بالفعل، ما يناظر هذا الطول الموجي.

## توضيح كيفية عمل الخلايا الشمسية

يمكن أن نحول ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء باستخدام الخلايا الشمسية والتي يطلق عليها أيضا الخلايا الفوتوفلطية "Photovoltaic Cells". تستخدم الخلايا الشمسية على نطاق واسع في العديد من التطبيقات المتنوعة ابتداء من الآلات الحاسبة "Calculators" وانتهاء بمركبات الفضاء "Spacecrafts". وقد أنتجت هذه الخلايا لأول مرة في عام ١٩٥٠ حيث استخدمت في الأقمار الصناعية الأمريكية، وتُصنع الخلايا الشمسية من السليكون الذي يعتبر أحد أنواع الرمل المنصهر.

يعرض شكل رقم (٣٩) رسم تخطيطي للخلايا الشمسية، فعندما تتفد الأشعة الشمسية إلى الخلايا فإن الإلكترونات المبيّنة في شكل دوائر تنتقل إلى السطح (ذو اللون الغامق) فينشأ عن ذلك عدم اتزان بين السطح والجزء السفلي (ذو اللون الفاتح)، فإذا ما تم توصيل السطحين بواسطة موصل "Conductor" سلك مثلا، ينشأ تيار كهربائي بين القطبين السالب والموجب.

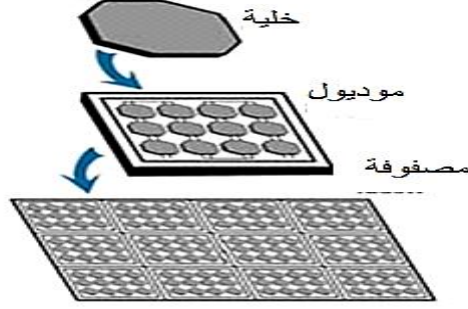


شكل رقم (٣٩) رسم توضيحي لكيفية عمل الخلايا الشمسية

تُصنّف الخلايا الشمسية مع بعضها البعض في شكل موديلات "Modules"

## التجارب الفيزيائية

والتي تجمع بدورها في شكل مصفوفات "Arrays" كما هو موضح بشكل رقم (٤٠) ولضمان توجيه الخلايا بشكل دائم نحو ضوء الشمس طوال فترة النهار فإنها توضع على أجهزة تتبّع.



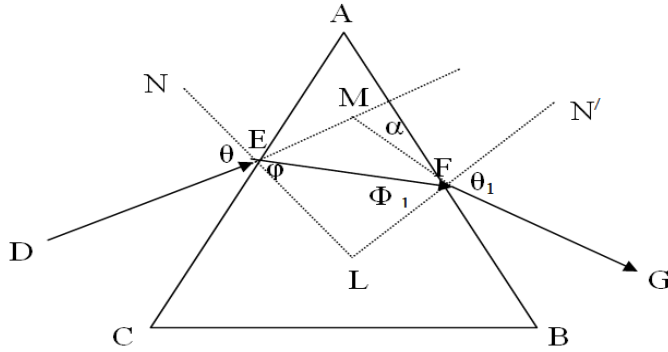
شكل رقم (٤٠) رسم تخطيطي للخلايا الشمسية

يمكن استخدام الخلايا الشمسية لإنتاج الطاقة الكهربائية بشكل مباشر سواء في المنازل أو في الأجهزة الموجودة في العمل أو تخزين الطاقة الشمسية في بطاريات لإضاءة اللوحات المرورية على الطرق ليلاً، أو تشغيل تليفونات الطوارئ على الطرق السريعة. أيضاً أنتجت بعض السيارات التجريبية التي تستخدم الخلايا الشمسية لتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى طاقة يمكن من خلالها تسيير السيارات.

## انكسار الضوء خلال المنشور الثلاثي

المنشور الثلاثي هو جزء من وسط شفاف متجانس محدود بسطحين غير متوازيين. فإذا فرضنا أن  $ABC$  يمثل المقطع الأساسي لمنشور ثلاثي من الزجاج زاوية رأسه  $A$  وأن شعاعاً ضوئياً  $DE$  يسقط على الوجه  $AC$  فإنه ينكسر داخل المنشور مقترباً من العمود ( في الاتجاه  $EF$  ) ثم يخرج من الوجه  $AB$  في الاتجاه  $FG$  كما بالشكل التالي (٤١).

من هذا الشكل يتضح أن الشعاع  $DE$  يعاني انحراف كل من النقطتين  $E$  و  $F$  وأن الانحراف الكلي في اتجاه  $DE$  يقدر بقيمة الزاوية بين امتداد الشعاعين  $DE$  و  $GF$ .



شكل (٤١) المنشور الثلاثي

فإذا كانت الزوايا  $\theta$  و  $\phi$  و  $\phi_1$  و  $\theta_1$  تمثل زوايا السقوط و الانكسار عند النقطتين  $E$  و  $F$  فان:

$$\theta = M \hat{E}F + \phi \quad \therefore M \hat{E}F = \theta - \phi \quad (1)$$

$$\theta_1 = M \hat{F}E + \phi_1 \quad \therefore M \hat{F}E = \theta_1 - \phi_1 \quad (2)$$

وزاوية الانحراف  $\alpha$  تعطي من:

$$\alpha = M \hat{E}F + M \hat{F}E$$

$$\therefore \alpha = \theta + \theta_1 - (\phi + \phi_1) \quad (3)$$

في الشكل الرباعي AELF نجد أن:

$$\therefore \angle AEL + \angle AFL = 180^\circ$$

$$\therefore \hat{A} + F \hat{L}E = 180^\circ \quad (4)$$

من المثلث FEL نجد أن:

$$\phi + \phi_1 + F \hat{L}E = 180^\circ$$

بالتعويض من المعادلة (٤) في المعادلة السابقة نحصل على:

$$\hat{A} = \phi + \phi_1$$

(٥)

من المعادلتين (٣) و (٥) نجد أن:

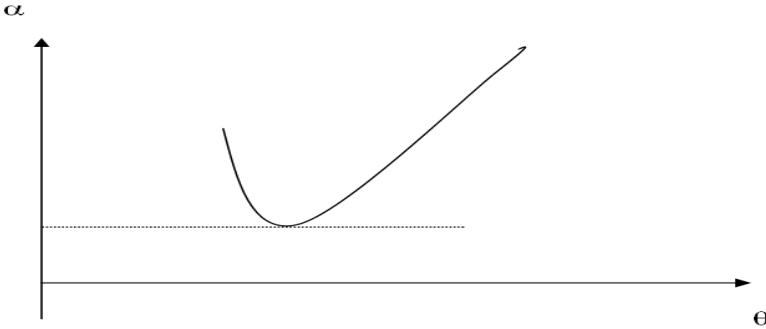
$$\alpha = \theta + \theta_1 - \hat{A}$$

(٦)

وحيث أن A زاوية رأس المنشور تكون ثابتة لا تتغير إلا بتغير المنشور، فان زاوية الانحراف  $\alpha$  تتوقف على زاويتي السقوط و الخروج..

النهاية الصغرى لزاوية الانحراف:

ويتضح من المعادلة السابقة أن زاوية الانحراف تتغير تبعاً لتغير زاويتي السقوط والخروج، فإذا رسمت العلاقة بين زاوية الانحراف وزاوية السقوط فسوف يكون لها سلوك كالماتل بالشكل (٤٢):



شكل (٤٢)

## التجارب الفيزيائية

ونلاحظ أنه كلما زادت زاوية السقوط قلت زاوية الانحراف حتى تصل إلى أقل قيمة لها ثم تأخذ بعدها في الزيادة مرة أخرى، ومعنى هذا أن هناك قيمة لزاوية السقوط تكون عندها زاوية الانحراف أقل ما يمكن وتسمى النهاية الصغرى لزاوية الانحراف ورياضياً يعني هذا أن:

$$\frac{d\alpha}{d\theta} = \text{zero}$$

بتفاضل المعادلة (٦) بالنسبة لـ  $\theta$ :

$$\frac{d\alpha}{d\theta} = 1 + \frac{d\theta_1}{d\theta} \quad (٧)$$

وعند وضع النهاية الصغرى للانحراف يكون:

$$\frac{d\theta_1}{d\theta} + 1 = 0 \quad (٨)$$

وبتفاضل المعادلة (٥) نحصل على:

$$\frac{d\phi}{d\theta} + \frac{d\phi_1}{d\theta} = 0 \quad (٩)$$

فإذا كان  $\mu$  معامل انكسار مادة المنشور فإن:

$$\frac{\sin(\theta)}{\sin(\phi)} = \mu \quad , \quad \frac{\sin(\theta_1)}{\sin(\phi_1)} = \mu \quad (*)$$

$$\therefore \sin(\theta) = \mu \sin(\phi)$$

$$\therefore \cos(\theta) = \mu \cos(\phi) \frac{d\phi}{d\theta} \implies$$

$$\frac{d\phi}{d\theta} = \frac{\cos(\theta)}{\mu \cos(\phi)}$$

(١٠)

بالمثل يمكننا الحصول على:

$$\frac{d\phi_1}{d\theta_1} = \frac{\cos(\theta_1)}{\mu \cos(\phi_1)}$$

(١١)

بالتعويض من (١٠) في (٩):

$$\frac{\cos(\theta)}{\mu \cos(\phi)} + \frac{d\phi_1}{d\theta} = 0$$

(١٢)

وحيث أن:

$$\frac{d\phi_1}{d\theta} = \frac{d\phi_1}{d\theta_1} \cdot \frac{d\theta_1}{d\theta}$$

(١٣)

بالتعويض من (١١) و (١٢) في (١٣) نحصل على:

$$\frac{\cos(\theta_1)}{\mu \cos(\phi_1)} \cdot \frac{d\theta_1}{d\theta} + \frac{\cos(\theta)}{\mu \cos(\phi)} = 0$$

(١٤)



بالتعويض من (٨) في (١٤):

$$\frac{\cos(\theta)}{\cos(\phi)} = \frac{\cos(\theta_1)}{\cos(\phi_1)}$$

(١٥)

ومن قوانين حساب المثلثات يمكننا كتابة هذه المعادلة على الصورة الآتية:

$$\frac{1 - \sin^2(\theta)}{1 - \sin^2(\phi)} = \frac{1 - \sin^2(\theta_1)}{1 - \sin^2(\phi_1)}$$

(١٦)

وبالتعويض من المعادلة (\*) في المعادلة السابقة نحصل على:

$$\frac{1 - \sin^2(\theta)}{1 - \frac{\sin^2(\theta)}{\mu^2}} = \frac{1 - \sin^2(\theta_1)}{1 - \frac{\sin^2(\theta_1)}{\mu^2}}$$

(١٧)

وهذه المعادلة تأخذ الشكل الآتي.

$$(\sin^2(\theta) - \sin^2(\theta_1))(\mu^2 - 1) = 0$$

(١٨)

وحيث أن  $\mu \neq 1$  ، فإن:

$$\theta = \theta_1$$

(١٩)

وبالمثل يمكننا استنتاج أن

$$\phi = \phi_1 \quad (20)$$

أي أنه عند وضع النهاية الصغرى للانحراف زاوية السقوط = زاوية الخروج.

وبالتالي زاوية رأس المنشور تأخذ الشكل:

$$A = 2\phi \quad (21)$$

والمعادلة الآتية:

$$\alpha = \theta + \theta_1 - \hat{A}$$

تأخذ الشكل:

$$\alpha + A = 2\theta$$

والمعادلة (\*) يمكن أن تكتب على الصورة:

$$\mu = \frac{\sin\left(\frac{\alpha + A}{2}\right)}{\sin\left(\frac{A}{2}\right)} \quad (22)$$

أما إذا كانت زاوية رأس المنشور صغيرة وكانت الأشعة الساقطة على سطح المنشور عمودية تقريباً فإن زوايا الانكسار والانحراف تكون صغيرة كذلك، ومن ثم تأخذ المعادلة السابقة الشكل الآتي:

$$\mu = \frac{\left(\frac{\alpha + A}{2}\right)}{\left(\frac{A}{2}\right)}$$

$$\therefore \mu = 1 + \frac{\alpha}{A}$$

$$\therefore \alpha = A(\mu - 1)$$

(٢٣)

## المقارنة بين كثافة بعض المواد وكثافة الماء

### الخطوات:

- ضع المواد التالية في حوض به ماء:

- قطعة من "الثلج، الخشب، الفلين" - عملة معدنية - مسمار من الحديد - قطرات من زيت الطعام.

### الملاحظة:

- تطفو كل من قطعة الثلج والخشب والفلين، وقطرات زيت الطعام فوق سطح الماء.
- يغوص مسمار الحديد والعملة المعدنية تحت سطح الماء.



شكل (٤٣)

### الاستنتاج:

- المواد التي كثافتها أقل من كثافة الماء تطفو فوق سطح الماء مثل الثلج والخشب والفلين والزيت.
- المواد التي كثافتها أكبر من كثافة الماء تغوص تحت سطح الماء، مثل: الحديد، والنحاس.

### التعرف على ظاهرة دوبلر

• سميت الظاهرة بهذا الاسم نسبة إلى الفيزيائي النمساوي كريستيان جوهان دوبلر الذي أثبت في عام 1842 ضرورة حدوث هذه الظاهرة في حالة الموجات الصوتية والضوئية.

هذه الظاهرة مختلفة ولكنها عامة لجميع أنواع الموجات، وللموجات الصوتية على وجه الخصوص؛ من المؤكد أنك قد لاحظت هذه الظاهرة يوماً ما وإن لم تدرك سببها. فمثلاً، عندما تتحرك سيارة إسعاف مقتربة منك بسرعة كبيرة ثم تتخطاك مبتعدة عنك يمكنك أن تلاحظ أن صوت صفارة الإنذار يسلك سلوكاً غريباً. سوف يبدو لك أن نغمة الصفارة ترتفع أثناء اقترابها منك ثم تنخفض أثناء ابتعادها عنك. وهذا يعني بأسلوب آخر أن تردد الصوت يرتفع عند اقتراب المصدر الصوتي منك وينخفض عند ابتعاده عنك. وتحدث ظاهرة مشابهة أيضاً في حالة الموجات الضوئية والموجات الكهرومغناطيسية كذلك فعندما تنعكس موجات الرادار على سيارة متحركة فإن ترددها يتزحزح بالنسبة إلى التردد الذي يرسله المصدر. ويعتمد مقدار الزحزحة الترددية على سرعة السيارة، مما يمكن ضابط المرور من معرفة ما إذا كانت السيارة قد تعدت حد السرعة القانونية أو لا. وعموماً فإن حركة نسبية بين مصدر الموجات مهما كان نوعها والمشاهد لها تأثيرها على تردد هذه الموجات الذي يقيسه هذا المشاهد.

ويمكن فهم ظاهرة دوبلر بالرجوع إلى الشكل (٤٤) الذي يوضح مصدراً للموجات المائية يتحرك تجاه اليمين في الماء. فبالرغم من أن المصدر يرسل موجات دائرية إلا أن مراكز الدوائر المتتالية تتحرك إلى اليمين مع حركة المصدر، وهذه الحركة تتسبب في أن تصبح القمم الموجية أكثر قرباً من بعضها البعض على الجانب الأيمن للمصدر مما هي على الجانب الأيسر. وهكذا فإن

حركة المصدر تؤدي في الواقع إلى اختلاف الطول الموجي للموجات في الاتجاهات المختلفة.



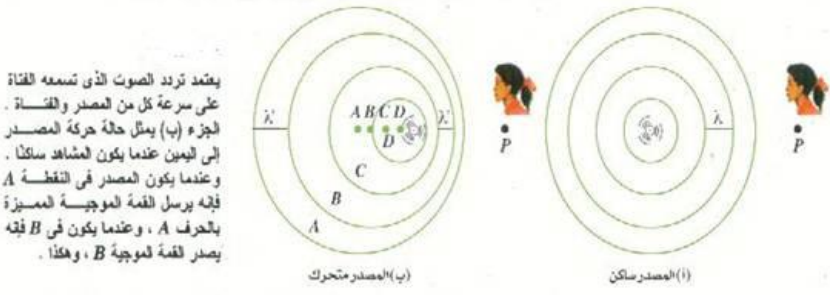
موجات الماء المنبعثة من قضيب رأسي  
يهتز إلى أعلى وإلى أسفل . وحيث أن  
المصدر يتحرك إلى اليمين سوف يقل  
الطول الموجي للموجات المنتشرة في هذا  
الاتجاه ( مركز تطوير التعليم ) .

الشكل ( ٤٤ )

وتحدث ظاهرة مشابهة لذلك في حالة الموجات الصوتية، وهذا ما يمكن أن نراه بالشكل (٤٥)، فإذا كان المصدر ساكناً وكان المشاهد ساكناً أيضاً عن النقطة P سوف تسمع الأذن تردداً مماثلاً تماماً لتردد المصدر  $f$ ، كما هو موضح بالشكل (٤٥ أ). أما الشكل ( ٤٥ ب) فإنه يوضح ما يحدث عندما يكون المصدر متحركاً والمشاهد ساكناً، وفي هذه الحالة سوف تسبب حركة المصدر اختلاف الطول الموجي للموجات المنبعثة منه في الاتجاهات المختلفة. ونظراً لأن حركة المصدر لا تؤثر على السرعة الموجبة فمن تغير الطول الموجي سوف يؤدي إلى تغير تردد الصوت الذي يسمعه المشاهد الساكن. وبناء على التحليل السابق يمكننا أن نرى بسهولة أنه إذا كان المصدر متحركاً تجاه المشاهد فإن تردد الصوت المسموع سيكون أكبر من  $f$ ؛ وإذا كان المصدر متحركاً مبتعداً عن المشاهد سيكون التردد المسموع أصغر من  $f$  ويختلف الموقف عندما يكون المشاهد متحركاً بالنسبة إلى مصدر ساكن، كما هو مبين بالشكل (٤٦). فإذا كان المشاهد متحركاً تجاه المصدر فإنه سوف يستقبل عدداً من الجبهات الموجبة كل

## التجارب الفيزيائية

ثانية أكبر من العدد المنبعث بالفعل من المصدر خلال نفس الزمن، أي أن المشاهد سوف يسمع تردداً أعلى من  $f$ . وبالمثل، عندما يتحرك المشاهد مبتعداً عن المصدر سوف تستقبل أذنه عدداً أقل من الجبهات الموجبة في الثانية الواحدة، وبذلك سوف يقيس المشاهد تردداً أقل من  $f$ .



الشكل (٤٥)



الشكل (٤٦)

ويمكن تلخيص هذه الظاهرة وصفاً كما يأتي:

- يزداد تردد الصوت المقاس عندما يتقرب المصدر والمشاهد أحدهما من الآخر ويقل عندما يبتعد أحدهما عن الآخر.
- وهذه الظاهرة تنطبق على جميع أنواع الموجات وليس على الموجات الصوتية فقط.

## التجارب الفيزيائية

وبمحاولة فحص ظاهرة دوبلر كميًا. يمكننا أن نرى من الشكل (٤٥ ب) أن المسافة بين قمتين موجبتين متتاليتين متحركتين في اتجاه المشاهد تقصر بمقدار يساوي المسافة المقطوعة بواسطة المصدر خلال الزمن اللازم لانبعاث الجهتين الموجبتين المناظرتين.

ولكن هذا الزمن يساوي دورة الموجات  $T$ ؛ وعليه فإن الطول الموجي الفعال المقاس يكون:

$$\lambda' = \lambda - v_s T$$

حيث  $v_s$  سرعة المصدر. وبالمثل، وعندما يكون المصدر مبتعداً عن المشاهد بسرعة قدرها  $v_s$  سوف تستطيل المسافة بين كل قمتين موجبتين متتاليتين بمقدار  $v_s T$ ، وهذا يعطي:

$$\lambda' = \lambda + v_s T$$

وباستخدام العلاقتين  $v = \lambda f$  و  $T = 1/f$  نجد أن:

$$\frac{v}{f'} = \frac{v}{f} \pm \frac{v_s}{f}$$

أو:

$$f' = f \frac{v}{v \pm v_s} \quad (\text{للمصدر المتحرك})$$

(١)

حيث  $v$  سرعة الموجات في الوسط، بينما تنطبق الإشارة الموجبة في حالة ابتعاد المصدر عن المشاهد، وتنطبق الإشارة السالبة في حالة اقتراب المصدر من المشاهد.



لنفرض أن المشاهد متحرك بسرعة أقل من سرعة الصوت مقدارها  $v_1$  في هذه الحالة ستكون السرعة النسبية بين المشاهد والموجات  $v + v_1$  عندما يكون المشاهد متحركاً تجاه المصدر، وهذا هو الموقف المبين بالشكل (٤٦). أما إذا كان المشاهد متحركاً عن المصدر فستكون السرعة النسبية  $v - v_1$  معنى ذلك أن دورة الموجة لن تكون  $v/\lambda$ ، بل ستكون:

$$T' = \frac{1}{f'} = \frac{\lambda}{v \pm v_1} = \frac{v/f}{v \pm v_1}$$

ومن ثم:

$$f' = f \frac{v \pm v_1}{v} \quad (1) \quad (\text{للمشاهد المتحرك})$$

وتعنى الإشارة السالبة هنا أن الحركة تجاه المصدر، بينما تنطبق الإشارة الموجبة عندما يتحرك المشاهد مبتعداً عن المصدر. وإذا التبس الأمر فيما يتعلق بالإشارة الجبرية اللازم استخدامها في موقف معين فنذكر القاعدة العامة السابق ذكرها. ومن المهم أيضاً ألا ننسى أن المعادلتين (١) و(٢) تعطيان زحزحتين تردديين مختلفين لنفس السرعة، ويتوقف ذلك على ما إذا كان الشيء المتحرك هو المصدر أو المشاهد.

ومع ذلك أثبت أينشتين أن المعادلة (١) و(٢) غير صحيحتان في حالة الموجات الضوئية عندما يكون المصدر أو المشاهد متحركاً بسرعة قريبة من سرعة الضوء، وتنشأ هذه الصعوبة بسبب نظرية النسبية التي تنص على أن سرعة الضوء في الفراغ لا تعتمد على حركة المشاهد أو المصدر الضوئي. وتكون الزحزحة الترددية في مثل تلك الحالات فائقة السرعة واحدة سواء كان المتحرك هو المصدر أو المشاهد.

## تعيين الرطوبة النسبية ونقطة الندى باستخدام هيجرومتر ماسون

أ. الأدوات:

هيجرومتر ماسون - ويتكون من ترمومترين أحدهما جاف  $F_1$  والآخر  $F_2$  يحاط مستودعه بقطعة من القماش تتدلى داخل كأس به كمية من الماء والترمومتران مدرجان بالتدرج الفهرنهي.تي.



شكل (٤٧) هيجرومتر ماسون

ب. طريقة العمل:

١- سجل درجة حرارة الجو  $F_1$  كما يعينها الترمومتر الجاف وحولها إلى التدرج المئوي باستخدام العلاقة:

$$T = 5 \div 9 (F - 32)$$

حيث أن  $F$  درجة الحرارة بالتدرج الفهرنهي.تي،  $T$  القيم المناظرة بالتدرج المئوي.

٢- أملا الكأس بالماء وضع داخله قطعة القماش الملتفة حول المستودع الترمومترى الآخر تلاحظ أن قراءة الترمومتر المبلل أقل من قراءة الترمومتر الجاف وذلك بفعل ظاهرة البخر التي تتم في الأول.

٣- سجل قراءة الترمومتر المبلل أيضا إلى ما يناظرها بالدرجات المئوية  $T_2$ .

## التجارب الفيزيائية

٤- أوجد القيمة الفرق  $D$  بين درجتي الحرارة  $T_1$ ،  $T_2$  بديهي أن قيمة  $D$  تتوقف على كمية البخار الموجودة في الجو، لأنه إذا كان الجو أكثر تشبعاً بالبخار قل البخر وتنخفض بالتالي قيمة  $D$  والعكس بالعكس.

٥- بالاستعانة بجدول الرطوبة النسبية نستنتج ضغط بخار الماء الفعلي، وفي هذا الجدول يكون ضغط بخار الماء الفعلي هو القراءة تحت فروق  $D$  أمام درجة الحرارة للغرفة  $T_1$ .

٦- استنتج ضغط بخار الماء المشبع عند درجة حرارة الغرفة  $T_1$  وهو القراءة تحت عمود الصفر أمام درجة  $T_2$  أيضاً.

٧- أوجد الرطوبة النسبية للجو من العلاقة:

$$\text{الرطوبة النسبية} = \frac{S.V.P}{A.V.P} \text{ عند درجة الغرفة } \times 100\%$$

٨- أبحث تحت عمود الصفر إلى أن تجد قيمة  $A.V.P$  السابق تعيينها في الخطوة رقم (٥) ثم إقرأ درجة الحرارة المقابلة لها تحت العمود  $T_c$  فتكون هي نقطة الندى وهذا ناتج من أن  $S.V.P = A.V.P$  عند نقطة الندى.

### ج- النتائج:

$$\text{درجة حرارة الجو } T_1 =$$

$$\text{درجة حرارة الترمومتر المبلل } T_2 =$$

$$\text{الفرق } D = T_1 - T_2 =$$

$$A.V.P \text{ الضغط الفعلي} = \text{مم زئبق}$$

$$S.V.P \text{ عند درجة حرارة الغرفة} = \text{مم زئبق}$$

إذن : الرطوبة النسبية  $A.V.P =$  ضغط بخار الماء المشبع عند نقطة الندى /

$$S.V.P \text{ ضغط بخار الماء المشبع عند درجة الغرفة } \times 100\%$$

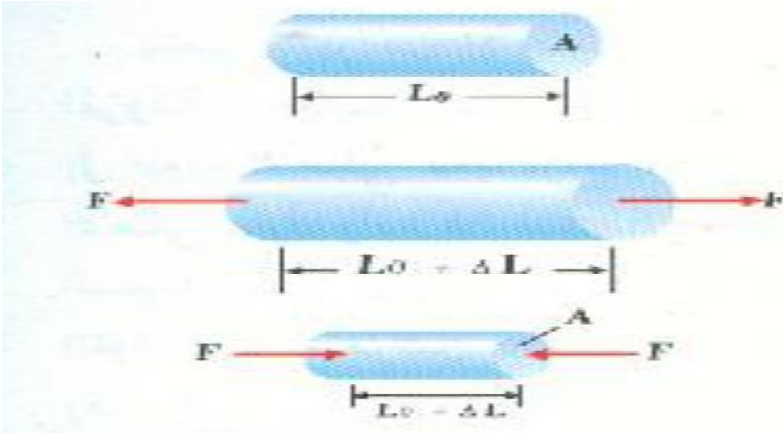
(١٠٧)

التعرف على معامل يونج

يعرف الإجهاد المؤثر عمودياً على مساحة معينة وفي بعد واحد، كما بالشكل التالي، بالإجهاد الطولي. وهذا النوع يمكن أن يكون إجهاد شد يسبب (استطالة الجسم) أو إجهاد تضاغط يسبب (تقصير الجسم) في بعد واحد. ويسمى معامل المرونة الذي يصف التغير النسبي في الطول في هذين الموقفين بمعامل يونج ،  $Y$ :

(١)

$$Y = \frac{F / A}{\Delta L / L_0}$$



الشكل (٤٨)

إجهاد الشد وإجهاد الضغط في حالة قضيب منتظم الإجهاد هو  $F/A$  والانفعال

هو  $L/L_0 \Delta$ .

## التجارب الفيزيائية

### جدول (٣)

#### الخواص المرنة التقريبية

المادة	معامل يونج ( $10^{10} \text{ N/m}^2$ )	معامل القص ( $10^9 \text{ N/m}^2$ )	معامل المرونة الحجمية ( $10^9 \text{ N/m}^2$ )	حد المرونة ( $10^9 \text{ N/m}^2$ )	مقاومة الشد ( $10^9 \text{ N/m}^2$ )
النيوم	70	23	70	0.13	0.14
نحاس أصفر	90	36	60	0.35	0.45
نحاس	110	42	140	0.16	
زجاج	55	23	37		
حديد (مليف)	90	70	100	0.17	0.32
رصاص (مدلفن)	16	6	8		0.02
بولى ستيرين	1.4	0.5	5		0.05
مطاط	0.004	0.001	3		0.03
صلب	200	80	160	0.24	0.48
تنجستن	350	120	20		0.41
بنزين (عطري)			1.0		
زئبق			28		
ماء			2.2		
هواء			$1 \times 10^{-4}$		

ويمثل الجدول التالي (٣) القيم النمطية للمعامل  $\gamma$  لبعض المواد، لاحظ أيضاً أن الجدول يحتوي على قيم حد المرونة ومقاومة الشد. وإذا زاد الإجهاد المسلط على المادة عن حد المرونة فإن المادة لن تعود إلى طولها الأصلي، بل إنها سوف تحتفظ باستطالة دائمة إذا ما أزيل الإجهاد المؤثر عليها. فإن مقاومة الشد تعرف بأنها إجهاد الشد الذي يسبب كسر المادة.

## إثبات قانون هوك وطاقة الجهد المرن

أن كثيرا من الأنظمة المرنة (الشبيهة بالزنبركات) تتبع قانون هوك الذي ينص على أن "القوة المشوهة تتناسب مع التشوه الذي تسببه"، وفي حالة زنبرك يستطيل تحت تأثير قوة مسلطة  $F_{app}$  كما بالشكل التالي (١) فإن الإزاحة  $x$  التي يستطيل بها الزنبرك ترتبط بالقوة  $F_{app}$  تبعا للعلاقة:

$$F_{app} = kx \quad (1)$$

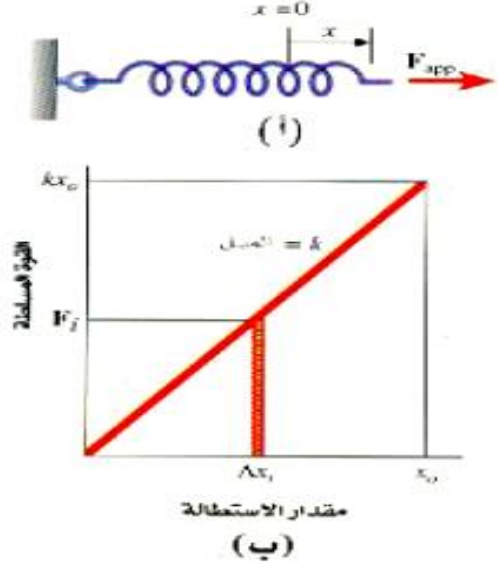
حيث  $k$  مقدار ثابت يسمى ثابت الزنبرك، ووحداته في النظام  $si$  هي النيوتن لكل متر. وثابت الزنبرك مقياس "لكزازة" الزنبرك، فكلما زادت قيمة ثابت الزنبرك، كلما زادت القوة اللازمة لإطالة الزنبرك بمقدار محدد.

ويوضح الشكل (١ب) كيف تتغير القوة مع تشوه الزنبرك الموضح بالشكل (١أ)، وهذا المنحني عبارة عن خط مستقيم ميله يساوي  $k$  طبقا للمعادلة (١) (قانون هوك). ونحاول حساب الطاقة المختزنة في زنبرك ممتد أو منضغط يتبع قانون هوك.

يمكننا إثبات أن الشغل المبذول لإطالة الزنبرك من  $x = 0$  إلى  $x = x_0$  يساوي المساحة تحت الخط المستقيم المبين بالشكل (١ب). ولتحقيق ذلك يمكن ملاحظة أن مساحة المستطيل المظلل بالشكل تساوي  $F_i \Delta x_i$  حيث  $F_i$  هي قوة المطيلة أثناء الزيادة الصغيرة في التشوه  $\Delta x_i$  وحيث  $W = F_s \Delta s$ ، إذن هذه المساحة أيضا الشغل المبذول بواسطة قوة المطيلة أثناء هذه الزيادة الصغيرة في الإزاحة، فإذا تخطينا أن المنطقة الموجودة تحت الخط المستقيم من  $x = 0$  إلى  $x = x_0$  مملوءة بعدد كبير جداً من مثل هذه المستطيلات، فإن مجموع مساحات هذه المستطيلات يعطينا الشغل المبذول أثناء إطالة الزنبرك من  $x = 0$  إلى  $x = x_0$  إذن:

## التجارب الفيزيائية

الشغل المبذول في إطالة أو ضغط عنصر من يساوي المساحة المحصورة تحت الخط البياني الذي يمثل  $F$  مقابل  $x$ .



شكل (٤٩)

لكي يستطيل الزنبرك بمقدار معين يجب أن تسلط عليه قوة خارجية مساوية ومضادة لقوة الاستعادة المؤثرة بواسطة الزنبرك، ونظراً لأن قوة الاستعادة تتناسب مع مقدار الاستطالة  $x$ ، فإن  $F_{app} - x$ ، وهذا مبين بالجزء (ب)، والشغل المبذول بواسطة  $F_{app}$  يساوي المساحة الواقعة تحت منحنى  $F_{app}$  مقابل  $x$ .

عند استخدام الرسم البياني PV لتعيين الشغل المبذول بواسطة غاز عندما يتغير حجمه، وعليك إثبات أن ذلك صحيح أيضاً في حالة انضغاط الزنبرك.

وحيث أن مساحة المثلث تساوي نصف حاصل ضرب طول قاعدته في ارتفاعه، إذن يمكننا أن نرى من الشكل (١) أن المساحة الواقعة تحت الخط البياني تساوي  $(\frac{1}{2}kx_0)(kx_0)$ . ولكن هذه المساحة تساوي الشغل المبذول في إطالة الزنبرك؛ ولذلك فهي تساوي طاقة الجهد المختزنة في الزنبرك، بناء على ذلك

يستنتج أن طاقة الجهد المخزنة في زنبرك ثابتة  $k$  عند استطالته، وانضغاطه مسافة قدرها تساوي :

$$\text{طاقة الجهد المرن} = \text{EPE} = \frac{1}{2} kx^2 \quad (2)$$

وبذلك قد تمكنا من إيجاد الطاقة المرنة المخزنة في زنبرك أو أي (نظام يتبع قانون هوك)، يمكننا استخدام قانون بقاء الطاقة لكي نعلم الكثير عن اهتزاز النظام. لقد فرضنا في تلك الحالة أن فواقد الاحتكاك مهملة، وهذا يعني طبقاً لقانون بقاء الطاقة أن مجموع طاقة الجهد المخزنة في الزنبرك وطاقة حركة الكتلة يجب أن يظل ثابتاً. وللتعبير عن هذا المعنى في صورة معادلة رياضية لنعد مرة أخرى إلى النظام لحظة إعتاق الكتلة من الموضع  $x = x_0$ ، حيث أن الطاقة الكلية الابتدائية للنظام في تلك الخطة تساوي  $\frac{1}{2} kx_0^2$ ، فإن طاقته الكلية في أي لحظة زمنية تالية تكن:

$$\text{EPE} + \text{KE} = \frac{1}{2} kx_0^2$$

وبالتعويض نجد أن :

$$\text{EPE} + \text{KE} = \frac{1}{2} kx_0^2 \quad (3)$$

حيث  $m$  و  $v$  تعود على الكتلة المثبتة في الزنبرك فقط، لأننا نفترض أن كتلة الزنبرك نفسه مهملة. لاحظ أن  $x_0$  تمثل هنا سعة الحركة.

والمعادلة (3) رغم بساطتها، أداة فعالة جداً في مناقشة الحركة الاهتزازية، ويمكن استخدامها لإيجاد سرعة الكتلة عند أي نقطة  $x$  في مسار الحركة:

$$v = \pm \sqrt{\frac{k}{m} (x_0^2 - x^2)}$$



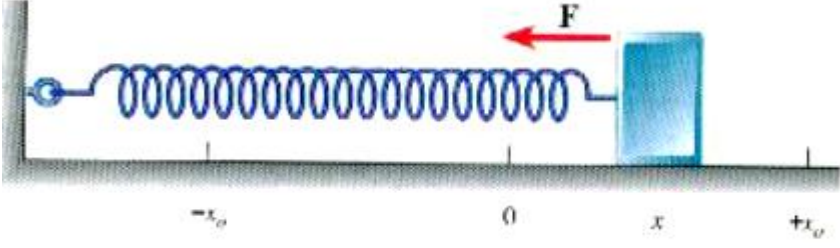
لا تحفظ هذه المعادلة لأنها هي نفس المعادلة (٣) بعد إعادة ترتيب حدودها. لاحظ أن  $v = 0$  عند  $x = x_0$ ، أي عندما تكون الكتلة في نهاية الاهتزازية، وأن السرعة تصل إلى أكبر قيمة لها،  $x_0 \sqrt{k/m}$ ، عند  $x = 0$  ومع أننا نعمل هذه الحقائق من مناقشتنا الوصفية للتحويل المتبادل للطاقة بين طاقتي الحركة والوضع، ونستطيع الآن إيجاد سرعة الكتلة المهتزة عند أي موضع  $x$ .

ويبقى الآن إيجاد عجلة الكتلة المهتزة، عندما يهتز النظام اهتزازاً حراً يكون الموقف كما هو مبين بالشكل (٥٠)، وكما نرى من الشكل فإن القوة الوحيدة غير المتزنة المؤثرة على الكتلة هي شد الزنبرك لها  $F$ ، وهذه القوة تسمى قوة الاستعادة لأنها تؤثر دائماً في اتجاه يعمل على جذب أو دفع النظام إلى موضع اتزانه. ومع أن مقدار  $F$  يساوي  $kx$ ، أي نفس القوة اللازمة لإطالة الزنبرك بمقدار  $x$ ، إلا أن اتجاهها مضاد لاتجاه الاستطالة، وبذلك تكون قيمتها  $F = -kx$  حيث تشير الإشارة السالبة إلى أن هذه قوة استعادة، أي قوة تؤثر في اتجاه مضاد للإزاحة  $x$ ، وحيث أن  $F$  هي القوة غير المتزنة المؤثرة على الكتلة، يمكننا أن نجد من العلاقة  $F = ma$  أن عجلة الكتلة تعطى بالمعادلة:

$$a = -\frac{k}{m}x \quad (٤)$$

لاحظ أن مقدار العجلة يصل إلى قيمته العظمى عند  $x = \pm x_0$  لأن قوة الاستعادة تكون أكبر ما يمكن في هذين الموضعين، أما عند  $x = 0$  فإن الاستعادة تكون صفراً، وتكون العجلة بالتالي صفراً، وهكذا يمكن استعمال المعادلتين (٣) و(٤)، لإيجاد سرعة وعجلة الكتلة عند أي إزاحة  $x$ .

التجارب الفيزيائية



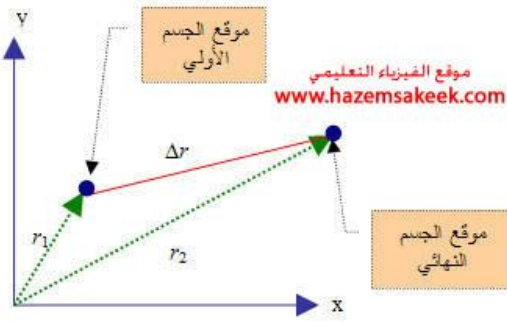
شكل (٥٠)

القوة التي بها الزنبرك على الكتلة هي قوة استعادة تعطى بالعلاقة  $F = -kx$ .

## بيّن اعتماد محاور الإسناد بعلم الكينماتيكا

## لتحديد موضع الجسم المتحرك عند أزمنة مختلفة

من أساسيات دراسة علم وصف الحركة الكينماتيكا Kinematics للأجسام المادية هو دراسة كل من الإزاحة Displacement والسرعة Velocity والعجلة Acceleration. ونحتاج هنا إلى اعتماد محاور إسناد لتحديد موضع الجسم المتحرك عند أزمنة مختلفة ومن المناسب اعتماد محاور الإسناد الكارتيزية أو ما سميت بـ (rectangular coordinate x,y,z)، فمثلاً نحتاج إلى تحديد موقع جسم ما إلى إسناده إلى مرجعية محددة فمثلاً يمكن اعتبار متجه الموضع Position vector هو المتجه الواصل من مركز إسناد معين إلى مكان الجسم الذي يراد تحديده. كما في الشكل ٢.١ حيث تم اعتبار مركز الإسناد في بعدين فقط هو مركز المحاور x, y



شكل (٥١)

في الشكل ٢.١ متجه الموضع  $r_1$  يحدد موضع الجسم عند بداية الحركة ومتجه الموضع  $r_2$  يحدد

موقع الجسم النهائي بعد زمن وقدره  $Dt = t_2 - t_1$  وهنا فإن الإزاحة للجسم تعطى بالمعادلة (٢.٣)

$$r_1 = x_1i + y_1j$$

$$r_2 = x_2i + y_2j$$

$$Dr = r_2 - r_1$$

## التجارب الفيزيائية

ولاحظ أن الإزاحة displacement  $\Delta r$  تعتمد على المسافة بين نقطتي البداية والنهاية فقط ولا تعتمد على المسار الذي يسلكه الجسم.

Write the position vector for a particle in the rectangular coordinate (x, y, z) for the points (5, -6, 0) , (5, -4), and (-1, 3, 6)

For the point (5, -6, 0) the position vector is  $r = 5i - 6j$

For the point (5, -4) the position vector is  $r = 5i - 4j$

For the point (-1, 3, 6) the position vector is  $r = -i + 3j + 6k$

وعند انتقال الجسم من موضع البداية عند الزمن  $t_1$  إلى موضع النهاية  $t_2$  فإن حاصل قسمة الإزاحة على فرق الزمن  $\Delta t = t_2 - t_1$  يعرف بالسرعة Velocity وحيث أن الجسم يقطع المسافة بسرعات مختلفة فإن السرعة المحسوبة تسمى بمتوسط السرعة Average velocity. ويمكن تعريف السرعة عند أية لحظة بالسرعة اللحظية Instantaneous velocity.

The average velocity of a particle is defined as the ratio of the displacement to the time interval.

$$\bar{v}_{ave} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

The instantaneous velocity of a particle is defined as the limit of the average velocity as the time interval approaches zero.

$$\bar{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

$$\therefore \bar{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} .$$

The unit of the velocity is (m/s)

The average acceleration and Instantaneous acceleration

وعند انتقال الجسم من موضع البداية عند الزمن  $t_1$  إلى موضع النهاية  $t_2$  بسرعة ابتدائية  $v_1$  وعند النهاية كانت السرعة  $v_2$  فإن معدل تغير السرعة بالنسبة إلى الزمن يعرف باسم التسارع Acceleration أو متوسط التسارع

---

## التجارب الفيزيائية

---

Average Acceleration، ويكون التسارع اللحظي Instantaneous acceleration هو السرعة اللحظية على الزمن.

The average acceleration of a particle is defined as the ratio of the change in the instantaneous velocity to the time interval.

$$\bar{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

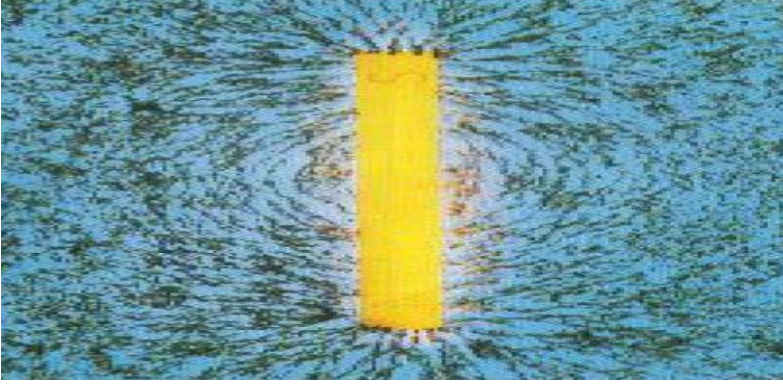
The instantaneous acceleration is defined as the limiting value of the ratio of the average velocity to the time interval as the time approaches zero.

$$\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

The unit of the acceleration is (m/s<sup>2</sup>)

### الكشف عن تخطيط المجال المغناطيسي

لقد امتلأت معظم مصطلحات المغناطيسية منذ عدة قرون على أيدي أولئك الذي بادروا ببحث سلوك المغناطيسات، وكانت المغناطيسات الأولى مجرد قطع من الصخور الحاملة للحديد وأطلق عليها عندئذ حجر المغناطيس، ونعرف الآن أن الحديد واحد من مواد قليلة لها خاصية القدرة على التمغنط بشكل دائم. وهذه المواد التي تمش النيكل والكوبالت تسمى مواد فيرومغناطيسية (كلمة "فيروم" اللاتينية معناها "حديد").



شكل (٥٢)

تتوجه قطع برادة الحديد بواسطة المجالات المغناطيسية لمغناطيس على هيئة قضيب أو حدوة حصان مشكلة بهذا أنماط المجالات.

وقد عرف من قديم الزمن أن قطعاً مستطيلة من حجر المغناطيس يمكن أن تعلق بواسطة خيط، ويستخدم كبوصلة بدائية يستعان بها في تحديد اتجاه يناظر الشمال الجغرافي، وكما يحدث بالنسبة لإبرة البوصلة المغناطيسية في عصرنا الحالي، فإن حجر المغناطيس يتوجه بحيث يصطف طوله مع المجال المغناطيسي للأرض وقد أطلق على طرفي المغناطيس المصنوع من حجر

المغناطيس الأقطاب المغناطيسية، فصار القطب الذي يشير تقريباً نحو القطب الشمال الجغرافي للمغناطيس، وقد احتفظنا إلى يومنا هذا بهذه التسميات عند الإشارة إلى خواص القضبان المغناطيسية وإبرة البوصلة.

وقد أوضحت الدراسات التالية للمغناطيسية أن القطبين المتشابهين (القطبين الشماليين أو القطبين الجنوبيين) يتنافران مع بعضها البعض بينما يتجاذب القطبان المختلفان. وبيدركنا هذا المسلك بما يحدث في حالة نوعي الشحنة الكهربائية، وقد دفع هذا العلماء إلى محاولة العثور على "شحنات" مغناطيسية أو أقطاب أحادية. ولو أننا حاولنا أن نفصل قطبي مغناطيس وذلك بكسر المغناطيس أو أقطاب أحادية. أو بكسر المغناطيس إلى نصفين، فإن جهودنا ستبوء بالفشل، لن المغناطيس المكسور سيصبح مغناطيسين جديدين ولكل منهما قطب شمال وآخر جنوبي.

وتحدث أشياء مثيرة للاهتمام بالقرب من المغناطيسات، فقطع الحديد غير الممغنطة كالمسامير أو برادة الحديد تتجذب إلى كلا القطبين؛ أما إبرة البوصلة فهي تتحرف إذا اقترب منها قضيب مغناطيسي. والسلك الذي يمر خلالها تيار كهربى يتجاذب أو يتنافر مع المغناطيسات، وتيارات الجسيمات المشحونة يمكن حرفها بواسطة المغناطيسات، ومن المناسب تفسير كل هذه الظواهر بدلالة ما نطلق عليه المجال المغناطيسي للمغناطيس.

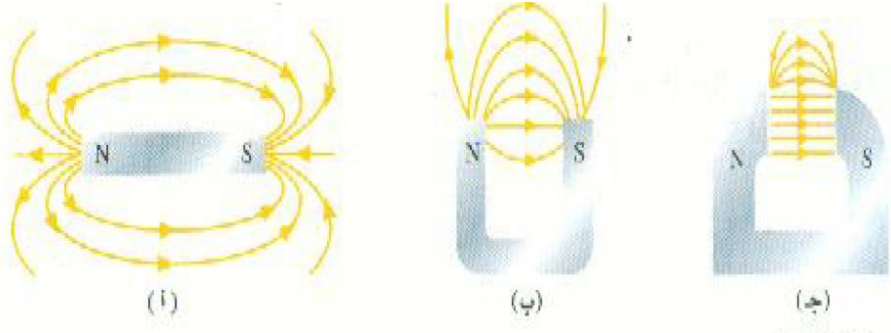
ويتم تعريف اتجاه المجال المغناطيسي عند أية نقطة بأنه الاتجاه الذي تأخذه إبرة البوصلة إذا وضعت في تلك النقطة، نفترض مثلاً إننا نود تخطيط اتجاه المجال المغناطيسي بجوار قضيب مغناطيسي. ويمكننا عمل ذلك إذا وضعنا عدداً كبيراً من إبرة البوصلة الدقيقة الحجم عند نقط متعددة حول المغناطيس وملاحظة اتجاهها. وسوف نعتبر تأثير الإبر على بعضها البعض مهملًا إذا قورن بتأثير القضيب المغناطيسي على كل منها.

## التجارب الفيزيائية

وإذا كان الطرف المحدد برأس السهم في إبرة بوصلة هو القطب الشمالي فإنه لا بد أن يتأفر مع القطب الشمالي للمغناطيس، ومن ثم فإبرة البوصلة الموضوعه بالقرب من القطب الشمالي لمغناطيس تشير بعيداً عنه وبالمثل فإن الإبرة الموضوعه بالقرب من القطب الجنوبي تشير نحوه لأن الأقطاب المختلفة تتجاذب. ولكي نخطط المجال المغناطيسي فإننا نرسم سلسلة من الخطوط حول المغناطيس بحيث تكون الأسهم المرسومة على تلك الخطوط في الاتجاه الذي تشير إليه إبرة البوصلة. وهذه الخطوط التي يطلق عليها خطوط المجال المغناطيسي ترى موضحة بالشكل (٥٣) لثلاثة مغناطيسات ذات أشكال مختلفة، ومثلما دلت إبر البوصلات التي عرفتها فإن:

تتجه خطوط المجال المغناطيسي كما لو كانت خارجة من القطب الشمالي للمغناطيس وداخلة إلى القطب الجنوبي.

وتوضح المخططات كالتالي ترى في الشكل (٥٣) ليس اتجاه المجال فحسب وإنما شدته أيضاً. وكما كان الحال مع المجال الكهربائي فإن خطوط المجال المغناطيسي تكون أكثر تكديساً حيث يكون المجال أشد ما يمكن.



الشكل (٥٣)



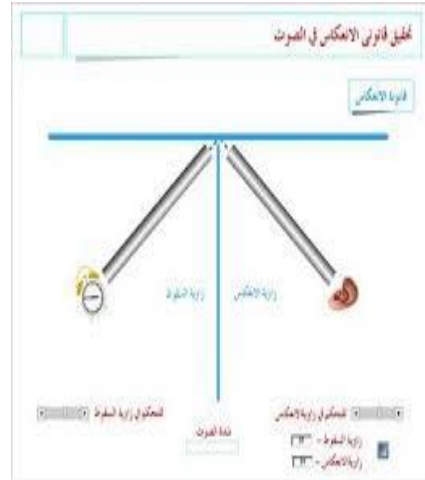
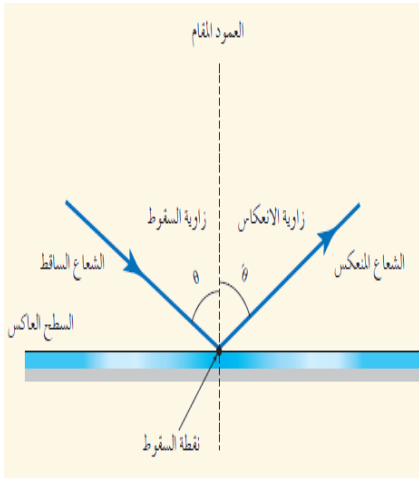
## إثبات قوانين انعكاس الصوت

### الأدوات:

أنبوبتان معدنيتان - سطح عاكس (لوح معدني مصقول) - ساعة - منقلة - حوامل.

### الخطوات:

١- تؤخذ أنبوبتان معدنيتان (أ، ب) طول كل منهما حوالي المتر وقطر كل منهما حوالي ١٠ سم، وتحمل الأنبوبتان على حوامل رأسية بحيث تكونان في مستوى أفقي واحد وتوجهان نحو لوح معدني مصقول (ج) موضوع رأسياً، ويوضع مصدر صوت مثل ساعة أمام فتحة إحدى الأنبوبتين ولتكن (أ) وتوضع الأذن أمام فتحة الأنبوبة الأخرى ولتكن (ب).



شكل (٥٤)

٢- ثبت وضع الأنبوبة (أ) وغير ميل الأنبوبة (ب) تدريجياً مع بقاء الأذن عند فتحتها على الدوام إلى أن يسمع أعلى وأوضح صوت لدقات الساعة.

## التجارب الفيزيائية

٣- حدد موضع كل من محوري الأنبوبتين ثم أقم عموداً عن نقطة تلاقي الشعاعين الساقط والمنعكس.

٤- عين قيمة كلاً من زاوية السقوط وزاوية الانعكاس.

٥- كرر الخطوات السابقة مع تغيير زاوية السقوط وعين زاوية الانعكاس في كل حالة ودون ذلك في جدول، نلاحظ أن زاوية السقوط = زاوية الانعكاس وهذا يحقق القانون الأول.

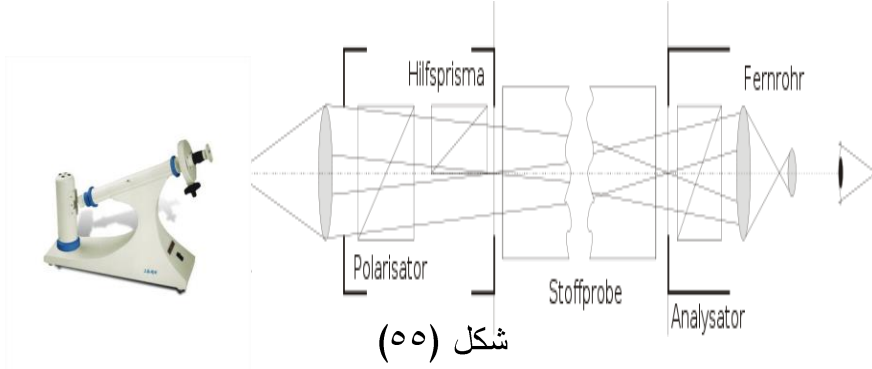
٦- قم بعمل ميل للسطح العاكس للأمام أو للخلف حتى لا يكون رأسياً، هل تسمع الصوت بوضوح وبماذا تفسر ذلك، في حالة ميل السطح العاكس لا يسمع الصوت بوضوح، وهذا يحقق القانون الثاني.

### ملحوظة:

من احتياطات التجربة وجوب منع وصول صوت دقات الساعة بطريق مباشر إلى الأذن بوضع حاجز (د) من الفلين (كمادة ماصة للصوت) في الوضع المبين بالشكل.

فيما يستخدم جهاز البولاريمتر:

يسمى مقياس الاستقطاب: ويستخدم لتعيين نوع ودرجة تركيز محاليل المواد ذات النشاط الضوئي ومن المواد التي لها خاصية النشاط الضوئي، ومحاليل السكريات والكاربوهيدرات عموماً، تحول الضوء المستقطب فبعضها يحوله جهة اليمين وبعضها يحوله جهة اليسار.



فيما يستخدم جهاز شدة طيف العناصر في اللهب:

يستخدم لتقدير العناصر في مركباتها وكذلك الكشف عن وجودها ويعتمد الجهاز على أن مركبات العناصر تتحلل في اللهب وينبعث منها إشعاعاً يكون في المنطقة المرئية من الطيف، وكل عنصر ينبعث منه في اللهب إشعاع له طول موجي معين يتوقف على نوع العنصر، وعليه فإن شدة الانبعاث تتناسب مع تركيز العنصر ويتحول شدة الانبعاث الطيفي هذه بواسطة خلية ضوئية إلى تيار كهربائي يمكن قياسه بواسطة جلفانوميتر وبالتالي تتوقف شدة هذا التيار الكهربائي على تركيز المادة ويمكن بواسطة هذا الجهاز تقدير تركيز العناصر في مركباتها.

وفي بعض أنواع لهذا الجهاز يمكن الحصول مباشرة عن طريق شاشة رقمية على تركيز العنصر.

ألوان بعض العناصر في اللهب:

الكالسيوم: يلون اللهب باللون الأحمر.

الباريوم: يلون اللهب باللون الأخضر.

الصوديوم: يلون اللهب باللون الأصفر.

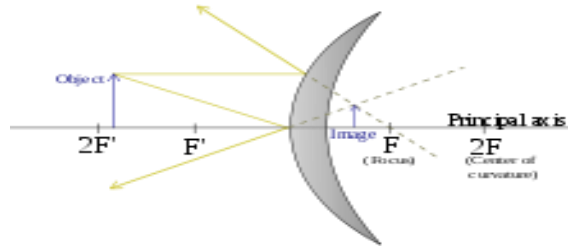
البوتاسيوم: يلون اللهب باللون البنفسجي.

استرانتشيوم: يلون اللهب باللون الأحمر الكارمن (قرمزي).

### تعيين قوة مرآة محدبة

المرآة الكرية هي مرآة لها سطح كروي عاكس، والتي قد تكون إما محدبة أو مقعرة، ومعظم المرايا المنحنية لها أسطح تشكل جزءاً من كرة، ولكن في بعض الأحيان لها أشكالاً أخرى تستخدم في الأجهزة البصرية.

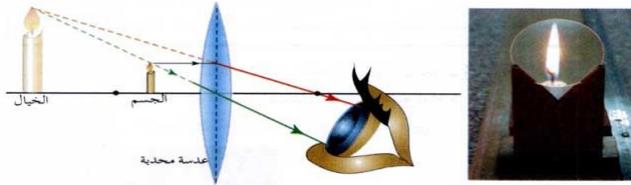
المرآة المحدبة (المرآة المفرقة) دائماً تشكل صورة تقديرية حيث البؤرة  $F$  ومركز الانحناء  $2F$  نقاط تخيلية داخل المرآة والتي لا يمكن التواصل إليها، ولهذا تكون الصور المتكونة بهذه المرايا لا يمكن أن تظهر على الشاشة (كأنها متكونة داخل المرآة).



شكل (٥٦)

#### النظرية:

المرآة المحدبة لا تكون صورة حقيقية، ومن ثم نستخدم عدسة محدبة لتكوين مصدر تقديري لشكل الجسم، ولذلك الصورة الحقيقية يمكن تكوينها على النحو المبين بالشكل (٥٧).



شكل (٥٧)

## التجارب الفيزيائية

نضع العدسة المحدبة أمام المصدر الضوئي وبتحريك الشاشة للحصول على أوضح صورة عند النقطة S ثم نضع المرآة المحدبة أما العدسة المحدبة ونقوم بتحريكها (الشاشة مثبتة في مكانها) حتى الحصول على صورة منطبقة على الصورة المتكونة من العدسة المحدبة.

المسافة بين المرآة وموضع الشاشة (S) يساوي نصف قطر المرآة.

$$F = r/2 \quad (m)$$

$$F = -1/f \quad \Delta$$

الإشارة السالبة تعني المرآة مفرقة

**الأجهزة:**

مرآة محدبة، عدسة محدبة، شاشة، مصدر ضوئي، مسطرة.

**الطريقة:**

١- ضع العدسة المحدبة في مكان ثابت أمام المصدر الضوئي كما هو مبين بالشكل.

٢- حرك الشاشة للحصول على صورة واضحة على الشاشة.

٣- ضع المرآة بين العدسة المحدبة والشاشة.

٤- حرك المرآة المحدبة حتى الحصول على صورة منطبقة على الصورة المتكونة من العدسة المحدبة.

٥- قس المسافة بين المرآة المحدبة والشاشة r.

٦- احسب قوة المرآة المحدبة باستخدام المعادلة (١).

**النتائج:**

$$r = \quad m$$

$$F = \quad \Delta$$

## التجارب الفيزيائية

## فهرس المحتويات

٥	تجربة ١: البندول البسيط
٩	تجربة ٢: قوى التوتر السطحي قوى انكماش
١٠	تجربة ٣: تعيين الرطوبة النسبية ونقطة الندى باستخدام هيجرومتر ماسون
١٢	تجربة ٤: تعيين الوزن النوعي
١٨	تجربة ٥: استخدام القدمة ذات الورانية لتعين بعد أسطوانة أو كرة
١٩	تجربة ٦: تعيين سرعة الصوت في الهواء باستخدام رنان هلمهولتز
٢١	تجربة ٧: استخدام الأسفيروميتر لقياس نصف قطر النكور
٢٤	تجربة ٨: المقارنة بين كثافة بعض المواد وكثافة الماء
٢٥	تجربة ٩: تعيين معامل انكسار سائل
٢٨	تجربة ١٠: تحقيق قانون استيفان للإشعاع
٣٠	تجربة ١١: اختلاف المواد عن بعضها من حيث درجة الانصهار
٣١	تجربة ١٢: المكافىء الكيميائي الكهربى
٣٣	تجربة ١٣: أثر الحرارة على حجم الغاز عند ثبوت درجة الحرارة
٣٤	تجربة ١٤: دراسة الحث الكهرومغناطيسى المتبادل بين ملفين
٣٦	تجربة ١٥: المادة تتكون من جزيئات
٣٧	تجربة ١٦: دراسة الحث الكهرومغناطيسى الذاتى لملف
٣٨	تجربة ١٧: عمل نموذج للعمود الكهربى البسيط
٤٠	تجربة ١٨: تحقيق قانون أوم وتعيين مقاومة مجهولة
٤٢	تجربة ١٩: تعيين معامل التمدد الحجمى للهواء ( $\alpha_V$ ) تحت ضغط ثابت "أو تحقيق قانون شارل"
٤٤	تجربة ٢٠: الحرارة وانتقالها
٤٥	تجربة ٢١: تحقيق قانون بويل
٤٧	تجربة ٢٢: قنطرة هويستون
٥١	تجربة ٢٣: تحول الطاقة الحركية للأجسام إلى طاقة حرارية
٥٣	تجربة ٢٤: انتقال الحرارة بالتوصيل

**التجارب الفيزيائية**

٥٤	تجربة ٢٥: كيفية انتقال الحرارة من جسم لآخر
٥٦	تجربة ٢٦: تجربة فاراداي لدراسة الحث المتبادل بين ملفين
٥٨	تجربة ٢٧: تجربة فاراداي لدراسة الحث الذاتي لملف
٥٩	تجربة ٢٨: تعيين معامل اللزوجة
٦١	تجربة ٢٩: العلاقة بين الإجهاد الطولي والانفعال الطولي
٦٣	تجربة ٣٠: إثبات قانون هوك <b>Hook's low</b>
٦٥	تجربة ٣١: الغليان وحرارة التبخير
٧٥	تجربة ٣٢: إثبات السعة الحرارية النوعية
٧٨	تجربة ٣٣: الانصهار وحرارة الانصهار
٨١	تجربة ٣٤: مستويات طاقة الهيدروجين
٨٥	تجربة ٣٥: أشعة أكس (السينية) وأطياف الذرات عديدة الإلكترونات
٩٠	تجربة ٣٦: توضيح كيفية عمل الخلايا الشمسية
٩٢	تجربة ٣٧: انكسار الضوء خلال المنشور الثلاثي
١٠٠	تجربة ٣٨: المقارنة بين كثافة بعض المواد وكثافة الماء
١٠١	تجربة ٣٩: التعرف على ظاهرة دوبلر
١٠٦	تجربة ٤٠: تعيين الرطوبة النسبية ونقطة الندى باستخدام هيجرومتر ماسون
١٠٨	تجربة ٤١: التعرف على معامل يونج
١١٠	تجربة ٤٢: إثبات قانون هوك وطاقة الجهد المرن
١١٥	تجربة ٤٣: بين اعتماد محاور الإسناد بعلم الكينماتيكا لتحديد موضع الجسم المتحرك عند أزمنة مختلفة
١١٨	تجربة ٤٤: الكشف عن تخطيط المجال المغناطيسي
١٢١	تجربة ٤٥: إثبات قوانين انعكاس الصوت
١٢٤	تجربة ٤٦: تعيين قوة مرآة محدبة