محتوى المحاضرة الرابعة

خواص المادة

- قانون هوك
- نسبة بواسون
- عناصر المرونـــة
- الحركة التوافقية
- معاملات المرونة
- الحرارة النوعية

خواص المادة

المرونة Elasticity

و تدلنا المرونة على: ***سرعة رجوع الأجسام إلى حالتها الأصلية بعد إزالة القوى المؤثرة*** وتسمى هذه المواد بالأجسام المرنة.

والسؤال: متى توصف الأجسام بأنها مرنة؟؟

و توصف الأجسام بأنها مرنة إذا تغير حجمها أو شكلها تحت تأثير القوة المؤثرة. أي ترجع إلى حالتها الأصلية بعد إزالة تأثير تلك القوة ، وإذا كانت قيمة القوة المؤثرة كبيره فأنها قد تتخطى نهاية مرونة المادة ***مع ملاحظة أنه*** إذا كانت قيمتها اكبر من ذلك فأنها قد تصل إلي حالة انكسار أو تفتيت المادة.

مما سبق يمكن تعريف المرونة بأنها: ***"خاصية للمادة التي بها تستطيع أن تسترجع التغير الحادث في شكلها أو حجمها أو في حالتها الأصلية إذا ما زال المؤثر أو القوة التي أحدثت فيها هذا التغيير"***.

قانون هـوك

إذا أثرنا بقوة شد أو ضغط علي جسم ما فأن هذه القوة ستحدث تغيراً في أبعاد الجسم الطبيعية و سيكون علينا الآن دراسة العلاقة بين القوة و التغير في أبعاد الجسم ٠ و قد كان العالم روبرت هـوك أول من درس العلاقة بين قوة الشد و الاستطالة التي ينتج عنها في جسم ما ٠

و ينص القانون علي أن : **الاستطالة تتناسب مع قوة الشــد ٠**

فإذا رمزنا لمقدار الاستطالة بالمسافة ΔX و كانت قوة الشد تساوي F

فإن $F a \Delta X$

أي أن $F = K \Delta X$

حيث K مقدار ثابت و يمكن التعبير بصفة عامة عن قانون هـوك للمرونة بالعلاقة التالية : الانفعال الحادث في المادة المرنة يتناسب طردياً مع الإجهاد الذي يؤثر فيها بشرط ألا تتعدى المادة حدود مرونتها ٠

أي أن :

$$\frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} = k \qquad \text{ثابت} = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الانفعال}}$$

و تتوقف قيمة الثابت k علي طبيعة المادة و يسمي بمعامل المرونة Modulus of elasticity

عناصر المرونـــة

١- الإجهاد : Stress

هو القوى التي تؤثر علي المادة المرنة فتحدث فيها تغيرا في الشكل أو الحجم ، و الإجهاد قد يكون إجهاد ضغط أو شد أو تمدد أو تقلص

ويقاس الإجهاد بمقدار القوة التي تؤثر علي وحدة المساحات وتكون عمودية علي الانفعال الحادث في الجسم المرن.

$$\text{أي أن الإجهاد} = \frac{\text{القوة العمودية على المساحة}}{\text{وحدة المساحة}}$$

و هناك ثلاثة أنواع للإجهاد هى:

١- الإجهاد الطولي:

وهي القوة بالداين التي تؤثر في وحدة المساحات من المقطع في الجسم المرن العمودي علي اتجاه الانفعال الطولي الحادث ٠

فإذا رمزنا للقوة المؤثرة بالرمز F داين و لمساحة المقطع المستعرض من الجسم في اتجاه عمودي علي اتجاه القوة بالرمز A سم ^{٢} فأن الإجهاد الطولي يساوي

$$\frac{F}{A} \ \mathbf{dyn/cm^2}$$

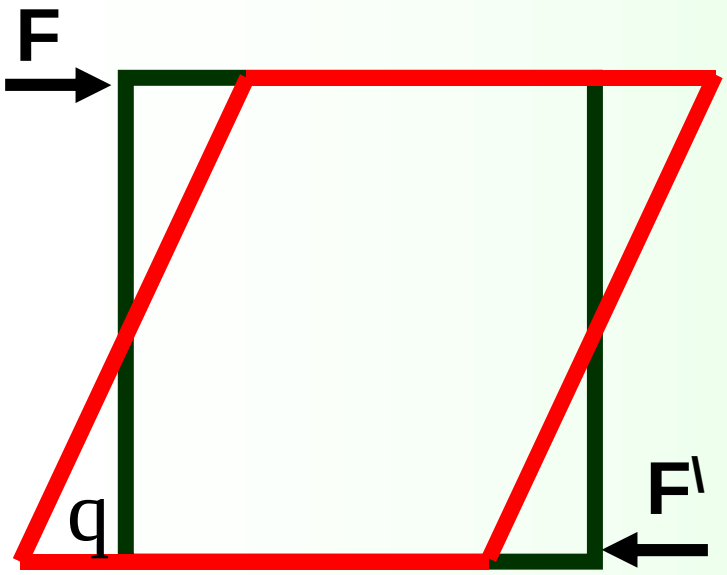
٢- الإجهاد الحجمي (الانضغاطي)

وهو القوة بالداين التي تؤثر في وحدة المساحات من السطح الكلي للجسم عندما يكون معرضا لقوه ضغط كلية منتظمة ، فإذا رمزنا للقوة الكلية التي تحدث إنضغاطاً في الجسم المرن بالرمز F داين و أن المساحة الكلية للجسم التي تؤثر فيها هذه القوة هي A سم ٢ فإن الإجهاد الحجمي في هذه الحالة يساوي

$$\frac{F}{A} \ \mathbf{dyn/cm^2}$$

٣ -إجهاد القــص:

وهو القوه السطحية بالداين التي تؤثر علي وحده المساحات من الطرف الخالص لجسم مثبت من السطح المقابل بحيث ينشأ فيه ازدواج يحدث إزاحة نسبيه في طبقاته الموازية للسطح الذي تؤثر فيه القوه السطحية الموازية له .



فــإذا فرضــنا أن هنــاك قوتــان متوازيتــان فــي اتجــاه وجهــين متقابلين من مكعب كما في الشكل التالي :

فإن إجهاد القص يقاس بمقدار ظل الزاويـة q حيـث تسـمي الزاويـة q بزاوية القص.

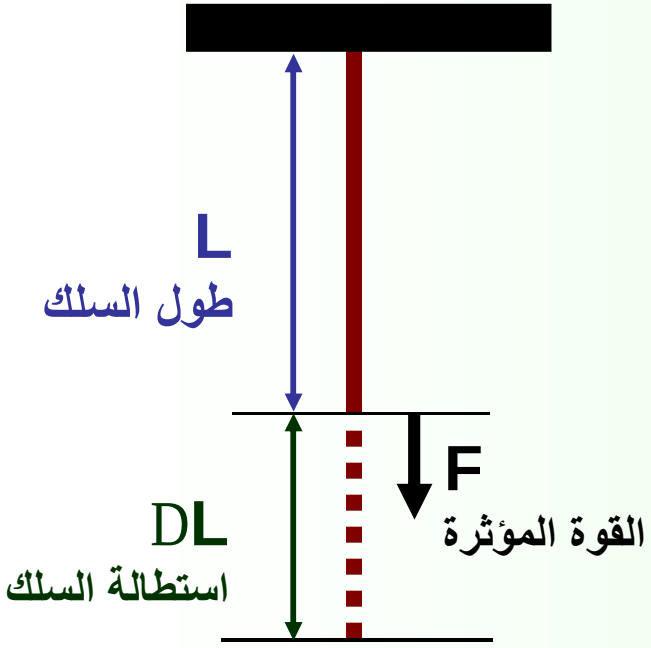
٢ -الانـفـعال

يعرف الإنفعال بأنه: **التغير النسبي في شكل أو حجم المادة المرنة نتيجة للقوة أو الأجهاد المؤثر فيها ٠**
ويقاس الأنفعال عن طريق المعادلة الأتية :

$$\text{الإنفعـــال} = \frac{\text{التغير في الطول أو الحجم}}{\text{الطول أو الحجم الأصلي}}$$

و هناك ثلاثة أنواع للانفعال أيضا هى

أ- الانفعال الطولي :

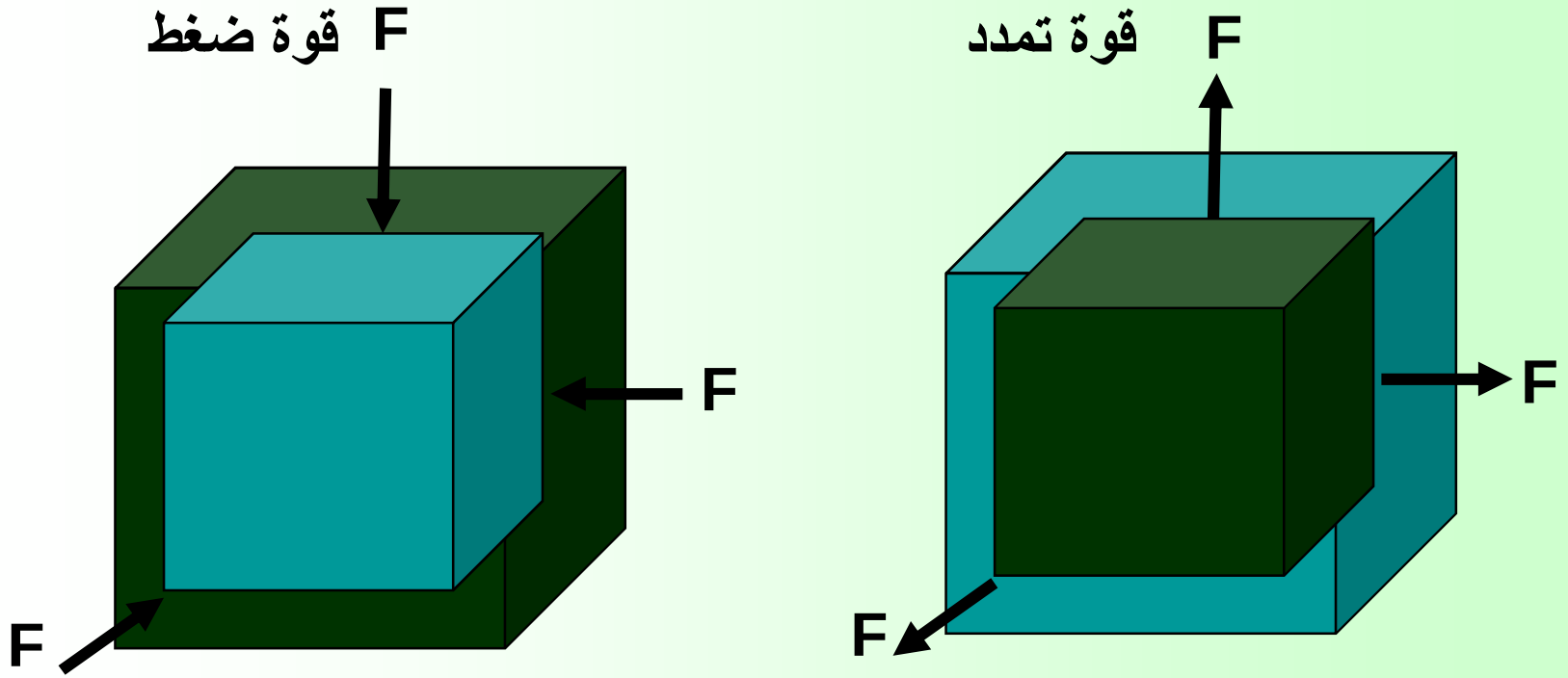


وهو التغيير الحادث في طول المادة المرنة في اتجاه تأثير القوة (الإجهاد) فإذا فرضنا وجود سلك مرن طوله (L) سم و مثبت من طرفة العلوي كما في الشكل ، و إذا أثرنا بقوة شد تعمل رأسيا إلي أسفل فأنة يمكن التعبير عن استطالة السلك بالمقدار (ΔL) ويكون :

$$\text{الإنفعال الطولي} = \frac{\text{التغير في الطول (DL)}}{\text{الطول الأصلي (L)}}$$

ب- الانفعال الحجمـــي

و هو التغير الحادث في حجم المادة المرنة عندما تتعرض لقوة تمدد أو ضغط بحيث تؤثر في جميع الاتجاهات فإذا غمرنا مكعب في سائل فإنه يكون معرضا لضغط ايدروستاتيكي في جميع الاتجاهات و يؤثر في كل نقطة من سطح الجسم



ونتيجة لقوة الضغط أو التمدد نجد أن المكعب ينقص أو يزيد حجمه كما في الشكل.

ج- انـفعـال القـص

وهو التغير النسبي في أزاحه طبقات المادة المرنة بالنسبة لبعضها.

معاملات المرونة

١ـ معامل يونج للمرونة :

و يعرف بأنة: **النسبة بين الإجهاد الطولي الذي يؤثر في المادة المرنة وبين الانفعال الطولي الحادث فيها** أي أن:

$$\text{معامل يونج للمرونة} = \frac{\text{الإجهاد الطولي}}{\text{الإنفعال الطولي}}$$

فإذا أثرت قوة مقدارها F داين في اتجاه عمودي علي مقطع سلك مثبت من الطرف الأخر و كانت الاستطالة الحادثة(ΔL) حيث Lالطول الأصلي للسلك ،A مساحة مقطعه و رمزنا لمعامل يونج بالرمز (Y) فإن:

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

ويقدر بالداين/سم^{٢}

٢- معامل المرونة الحجمي

ويعرف بأنة **النسبة بين الإجهاد الحجمي المؤثر في المادة المرنة و بين الانفعال الحجمي الناتج** و يعبر عنة رياضيا بالعلاقة :

$$\text{معامل المرونة الحجمي} = \frac{\text{القوة العمودية على وحدة المساحة}}{\text{النقص في الحجم بالنسبة للحجم الأصلي}}$$

$$\text{معامل المرونة الحجمي} = \frac{\text{الزيادة في الضغط}}{\text{النقص في الحجم بالنسبة للحجم الأصلي}}$$

فإذا رمزنا لمعامل المرونة الحجمي بالرمز K و للزيادة في الضغط $D\ P$ وللحجم الأصلي V و للنقص في الحجم بالرمز $D\ V$ فأن :

$$\mathbf{K} = \left[\frac{\left(\frac{D\,\mathbf{P}}{D\,\mathbf{V}} \right)}{(\mathbf{V})} \right]$$

و مقلوب معامل المرونة الحجمي 1/ K يسمي معامل الانضغاط

٣- معامل المرونة للقـص

ويعرف بأنة **النسبة بين إجهاد القص الذي يؤثر علي المادة المرنة وبين انفعال القص الناتج** فإذا رمزنا لمعامل مرونة القص بالرمز N فإنه يمكن التعبير عنة بالمعادلة :

$$N = \frac{\text{القوة المماسية المؤثرة على وحدة المساحة}}{\text{زاوية القص } q}$$

$$N = \frac{F/A}{(q)}$$

ووحدات هذه المعاملات هي دائما وحدة القوة علي وحدة المساحة إذ أن الانفعال نسبة لا وحدة له.

نسبة بواسون

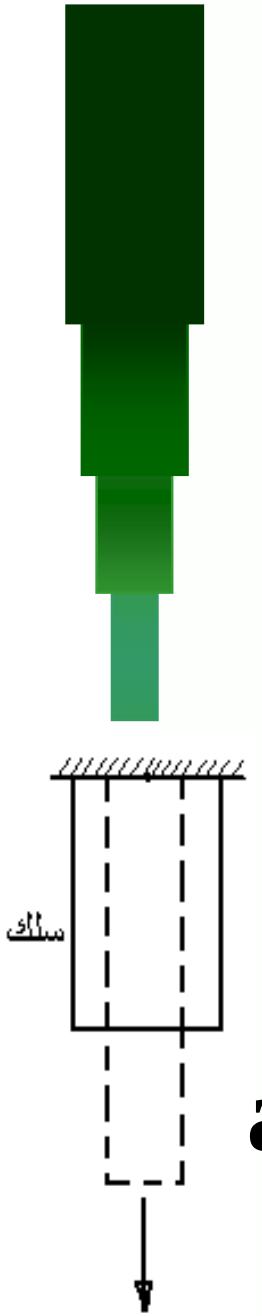
إذا أثرت قوة شد لأسفل علي سلك مثبت من أعلي فأننا نشاهد :

١- حدوث استطالة في اتجاه قوة الشد التي تؤثر عليه .

٢- حدوث تقلص في نفس الوقت لقطر السلك .

ولقد استطاع بواسون أن يثبت أن **الاستطالة في اتجاه الطول تتناسب طردياً مع التقلص المستعرض في قطر السلك.**

أي أن **النسبة بين الانفعال المستعرض لمادة السلك و بين الانفعال الطولي له تتوقف على طبيعة المادة المرنة** و تسمي هذه النسبة الثابتة (نسبة بواسون).



و يعبر عن نسبة بواسون رياضيا كما يأتي :

$$\mathbf{a} = \frac{\left(D\,\mathbf{R}/\mathbf{R}\right)}{\left(D\,\mathbf{L}/\mathbf{L}\right)}$$

حيث a = نسبة بواسون. R = قطر السلك.

Δ R = التقلص المستعرض في مادة السلك.

L = الطول الأصلي.

Δ L = الأستطالة الحادثة في طول السلك.

الحركة التوافقية

هناك أجسام تتحرك تحت تأثير قوة ثابتة مثل حركة جسم يسقط تحت تأثير الجاذبية الأرضية مثلا ، و في هذه الحالة تكون العجلة المؤثرة على هذه الأجسام ثابتة أثناء الحركة.

و هناك نوع أخر من الحركة تتغير فيه القوة و العجلة حسب تغير أماكن الجسم و أبسط هذه الأنواع من الحركة هي حركة طرف خيط مرن مثبت في إحدى طرفية كتلة، إذا شد الطرف الأخر مسافة معينة و ترك فأننا نشاهد حركته التذبذبية حول نقطة الاتزان التي كان ساكنا عندها في البداية.

و من المعروف أنة إذا تغير شكل جسم ما تحت تأثير القوة المؤثرة ، فأن مقدار التغير يتناسب طردياً مع مقدار هذه القوة.

و قد يكون هذا التغير على شكل زيادة أو نقص في الطول و في هذه الحالة تكون العلاقة بين القوة و الزيادة في الطول :

$$F = - K X$$

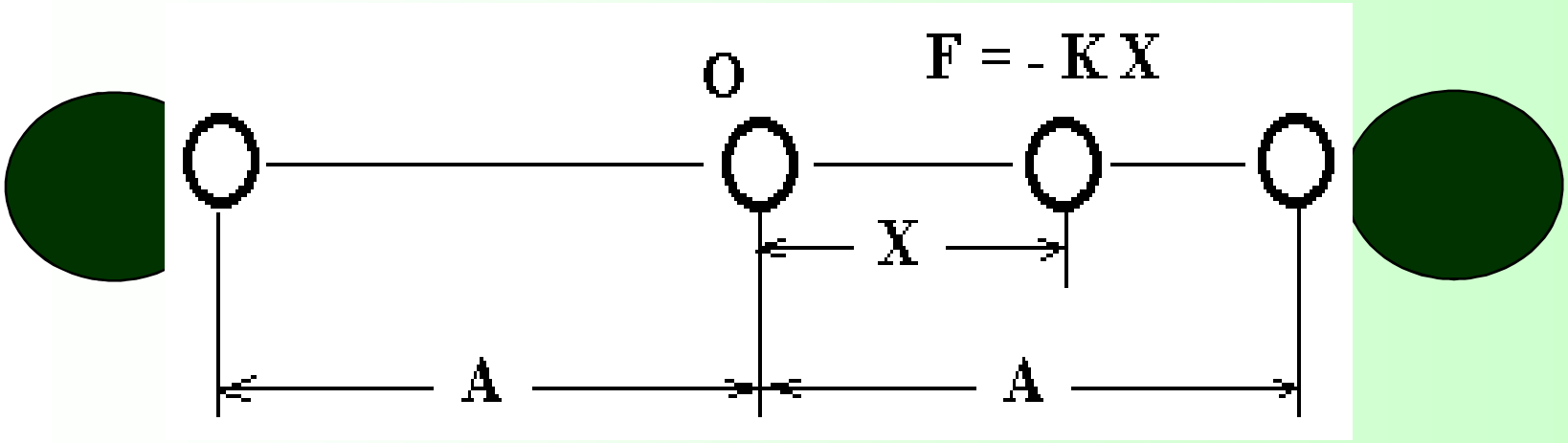
حيث F تمثل مقدار القوة التي يجب أن تؤثر على الجسم لكي تزيد طوله بالمقدار X و المقدار X ثابت يسمى ثابت القوة ٠ و تشير الإشارة السالبة إلي أن اتجاه القوة F هو عكس الاتجاه الذي تزيد فيه الإزاحة X

الحركة التوافقية البسيطة :

في الشكل التالي كرة صغيرة مثبتة في طرف سلك مرن o (طرفه الآخر مثبت في نقطة)

شدت الكرة مسافة A أي أن طول السلك المرن زاد بالمقدار A ثم تركت الكرة لتتذبذب حول موضعها الأصلي حيث لم يكن هناك أي شد في السلك.

لنفرض أنة عند لحظة ما كانت الكرة عند نقطة تبعد عن الموضع الأصلي بمقدار X عند هذه النقطة تكون القوة المؤثرة على الكرة.



$$F = -KX \quad \text{.....(1)}$$

و لكن حسب قانون نيوتن للحركة :

القوة = الكتلة × العجلة

$$a \times m = F$$

$$ma = -K X$$

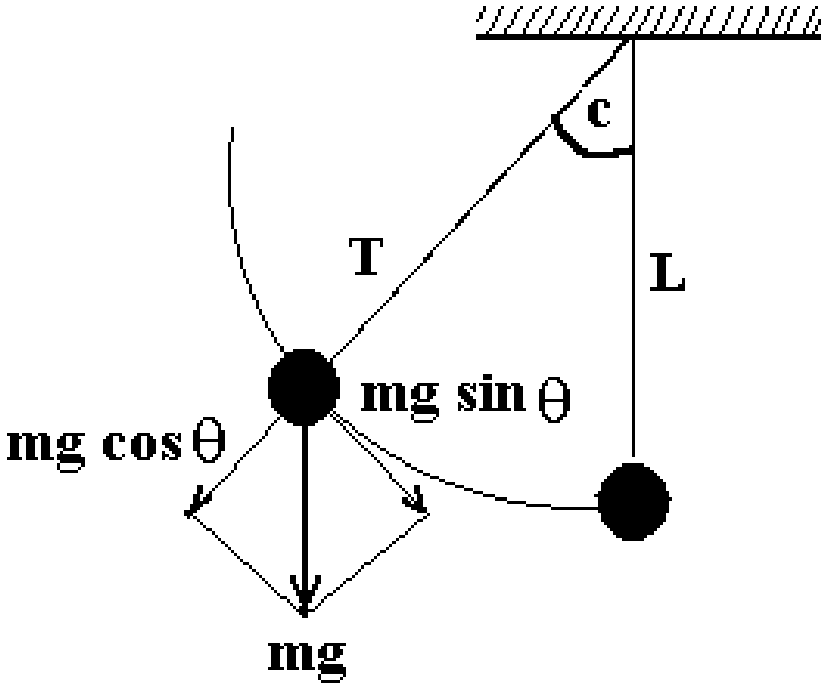
أي أن $$a = -\frac{k}{m} X$$ .....(2)

حيث m هي كتلة الكرة

و توضح المعادلة ٢ أن العجلة تتناسب مع الإزاحة x و ذلك لأن k/m مقدار ثابت، والإشارة السالبة تدل على أنه إذا كانت الكرة على يمين نقطة الاتزان o فأن العجلة تكون متجهة نحو اليسار ، و تكون العجلة متجهة إلى إلي اليمين إذا كانت الكرة على يسار نقطة الاتزان أو بعبارة أخرى أن العجلة تكون دائما متجهة نحو مركز المسار أو نقطة الاتزان.

البندول البسيط

يتكون البندول البسيط من كرة صغيرة الحجم معلقة في أحد طرفي خيط غير مرن خفيف الوزن و مثبت طرفه الأخر في نقطة تعليق. إذا تركنا الخيط لكي يسكن فأننا نلاحظ أنة يأخذ و ضعا راسيا في حالة اتزانه و توقفه عن الحركة



إذا شدت الكرة جانبا بعض الشيء ثم تركت فأننا نلاحظ أن كرة البندول تتذبذب حول وضع الاتزان. و المطلوب الآن دراسة هذا النوع من الحركة و معرفة ما إذا كانت هذه الحركة من نوع الحركة التوافقية البسيطة.

و لقد سبق أن تكلمنا عن الحركة التوافقية البسيطة و عرفناها بأنها هي الحركة التي تكون فيها العجلة التي يتحرك بها الجسم متناسبة طردياً مع الإزاحة و يكون اتجاهها عكس اتجاه زيادة الإزاحة.

من الملاحظ في الشكل أن حركة الكرة المعلقة هي حركة علي قوس و ليست علي خط مستقيم و أن هذا القوس جزء من دائرة نصف قطرها يساوى طول الخيط L لنفرض أن أزاحه الكرة تساوى X سم و أن الزاوية التي يصنعها الخيط مع اتزانه هي θ أي أن :

$$X = L\ \theta$$

نستطيع إثبات أن حركة الكرة من نوع الحركة التوافقية البسيطة لو أمكننا إثبات أن قوة الاسترداد

$$F = -KX = -KL\theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

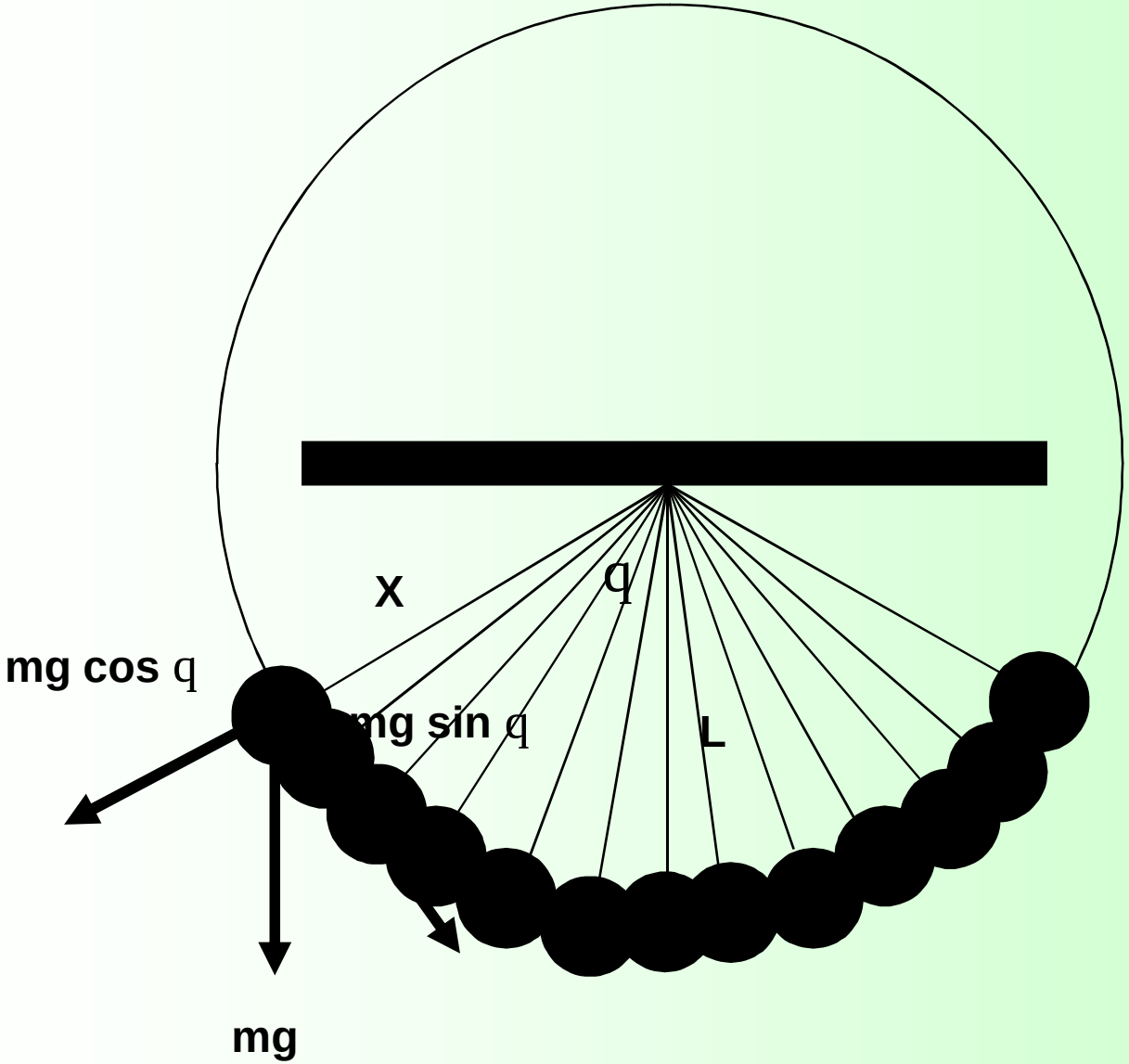
و القوة التي تؤثر على الكرة هي قوة الجاذبية mg واتجاهها إلى أسفل ، و حيث أن الكرة تتحرك على قوس دائري فسنحلل قوة الجذب إلى

مركبتين :

١- $mg \sin q$ في اتجاه المماس للمسار الدائري و يتجه نحو موضع أتزان الكرة.

٢- $mg \cos q$ في اتجاه امتداد الخيط إلى أسفل.

حركة البندول البسيط



و حيث إن الكرة لا يتغير بعدها عن نقطة التعليق أثناء حركتها فأن المركبة الثانية تتعادل مع قوة الشد في الخيط.

و تكون قوة الاسترداد في هذه الحالة هي :

$$F = - mg \sin \theta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

والإشارة السالبة هنا تشير إلى أن اتجاه القوة F هو عكس الاتجاه الذي تزيد فيه الزاوية q.

و من المعادلة (٢) نرى أن قوه الاسترداد لا تتناسب مع q كما في المعادلة (١) و لكنها تتناسب مع sinq و لذا لا نستطيع أن نقول أن الحركة في هذه الحالة حركة توافقية بسيطة، و لكن إذا كانت الزاوية q صغيرة فإننا نستطيع أن نقول أن sinq تساوي تقريبا الزاوية q و في هذه الحالة تكون قوة الاسترداد :

$$F = -mg\,\theta = -mg\,\frac{X}{L} = \frac{-mg}{L}\,X$$

وحيث أن $F = ma$

$$\therefore ma = \frac{-mg}{L}\,X$$

$$a = -\frac{g}{L}\,X = -W^2X \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ 4$$

$$\therefore W^2 = \frac{g}{L} \qquad \therefore W = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

والمعادلة (٤) هي شرط الحركة التوافقية البسيطة ويكون الزمن الدوري T مساوياً.

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

و هكذا نرى أنة في حالة الإزاحة (أو الزوايا) الصغيرة فان الزمن الدوري للبندول البسيط لا يتوقف علي سعة الذبذبة و لا علي كتله الكره m .

الحـرارة النوعيــة

الحرارة النوعية للمادة : هي **عدد السعرات اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من المادة درجة واحدة مئوية** ووحدتها هي سعر/جم/درجة مئوية.

والسعر : هو وحدة كمية الحرارة وهو عبارة عن **كمية الحرارة التي تلزم لرفع درجة حرارة جرام واحد من الماء درجة واحدة من ١٤.٥ م° إلى ١٥.٥ م°.**

السعة الحرارية: **هي كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة الجسم درجة مئوية واحدة** وهي تساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في حرارته النوعية مقدرة بالسعر/ جم/ م° فإذا رمزنا للسعة الحرارية بالرمز (C) ، وكتلة الجسم بالرمز (M) وللحرارة النوعية بالرمز (S) فإن :

السعة الحرارية = كتلة الجسم × حرارته النوعية

$$C = M \times S$$

وإذا كان الجسم يتكون من عدة جسيمات مختلفة في كتلتها وفي حرارتها النوعية فإن السعة الحرارية تساوي:

$$C = M1\,S1 + M2\,S2 + M3\,S3 + \ldots\ldots\ldots Mn\,Sn$$

المكافئ المائي: **يساوي كتلة الماء التي تكافئ الجسم في امتصاص أو فقد الحرارة، وهو يساوي حاصل ضرب كتلة الجسم في حرارته النوعية.**

أي أن المكافئ المائي لجسم ما يساوي سعته الحرارية ولكن الوحدات تختلف فبينما تكون وحدات السعة الحرارية سعر/ جم/ م° نجد أن وحدات المكافئ المائي هي الجرام.

الحرارة الكامنة: **هي كمية الحرارة اللازمة لتحويل واحد جرام من المادة من الحالة الصلابة إلى حالة السيولة** (كما في حالة تحول الجليد إلى ماء) **أو من حالة السيولة إلى الحالة الغازية** (كما في تحول الماء إلى بخار) **دون تغير في درجة الحرارة.**

الحرارة النوعية للسوائل

وجد بالتجربة العملية أن الحرارة النوعية لأي مادة تكون دائماً قيمتها للحالة السائلة أكبر منها للحالة الصلبة فمثلاً الحرارة النوعية للماء عند درجة الصفر المئوي تكون واحد بينما تساوي نصف للجليد في نفس الدرجة.

وقد وجد أيضاً أن الحرارة النوعية للسوائل ترتفع عادة بارتفاع درجة الحرارة بينما تقل قيمتها ثم ترتفع في حالة كل من الزئبق والماء.

الحرارة النوعية للأجسام الصلبة

وجد أن قيمة الحرارة النوعية للأجسام الصلبة تتراوح بين ٠.٠٣ سعر/جم/م° للذهب والبلاتين والرصاص إلى ٠.٨ سعر/جم/م° لليثيوم. ويلاحظ أن قيمتها صغيرة للأجسام الصلبة ذات الكثافة العالية.

ولقد لاحظ العالمان الفرنسيان ديولنج ، ويتي أن حاصل ضرب الحرارة النوعية للعنصر الصلب في وزنه الذري يساوي مقدار ثابت تقريباً يبلغ في المتوسط ٦.٣٨ ويسمى بالحرارة الذرية.

و يشذ عن هذه القاعدة عنصر الكربون (الماس و الجرافيت) والبورون و السليكون.

الحرارة النوعية للغازات

إذا سخن جسم و تمدد فأنة يمتص حرارة التسخين و حرارة إضافية للتغلب علي الضغط الخارجي و هذه الطاقة الإضافية لا يمكن إهمالها في حالة الغازات و تختلف كميتها باختلاف الكيفية التي يسخن بها الغاز و عادة هناك طريقتين لتسخين الغازات:

في الطريقة الأولى يحتفظ بحجم الغازات ثابت.

في الطريقة الثانية يحتفظ بضغط الغاز ثابت .

فإذا سخن جرام واحد من الغاز درجة واحدة مئويـة **تحت حجم ثابت** فأن الحرارة التي يمتصها تسمى بالحرارة النوعية تحت حجم ثابت ، وهذه الحرارة تعمل فقط في زيادة الحركة المتوسطة لجزيئات الغاز وبذلك ترتفع حرارته

بينما تسمى كمية الحرارة التي تلزم لتسخين جرام واحد من الغاز درجة واحدة مئويـة **تحت ضغط ثابت** بالحرارة النوعية تحت تأثير الضغط.

أسئلة الباب الرابع

- عرف المرونة وبماذا ينص قانون هوك؟
- تكلم عن عناصر المرونة بالتفصيل؟
- تكلم عن معاملات المرونة؟
- ما هي مشاهدات بواسون وإلى ماذا توصل؟
- من خلال الحركة التوافقية إثبت أن العجلة التي يتحرك بها الجسم تتناسب طرديا مع الإزاحة وأن إتجاهها عكس إتجاه زيادة الإزاحة؟
- هل حركة البندول من نوع الحركة التوافقية البسيطة؟
- عرف كل من: الحرارة النوعية للمادة – السعر – السعة الحرارية – المكافئ المائي – الحرارة الكامنة ؟
- تكلم عن الحرارة النوعية لكل من السوائل – الأجسام الصلبة – الغازات؟