الفصل الثاني: الخواص الميكانيكية للمادة

المرونة (Elasticity): هي قابلية المادة للتشوه عند تأثير قوة خارجية عليها مع قدرة المادة على استعادة وضعها الاصلي بعد زوال السبب الذي أدى إلى تشوهها .

و للتشوه نوعان :

1- تشوه خاص بالسوائل و الغازات (الموائع) : حيث تنساب المادة تحت تأثير القوة الخارجية المؤثرة عليها .
2- تشوه خاص بالمواد الصلبة : وهو مرن في طبيعته و مؤقت - ضمن حد معين لمرونة المادة –(يزول التشوه بإزالة القوة المشوهة)

تنقسم المواد من حيث القدرة على إسترجاع شكلها بعد إزالة السبب الذي أدى إلى تشوهها إلى ثلاثة أقسام:

1 - مواد تامة المرونة وهى المواد التى تستطيع أن تعود إلى شكلها وحجمها الاصلي تماما (وضعها الأصلي) بعد زوال السبب الذي أدى إلى تشوهها.
2 - مواد مرنه وهى المواد التى تستطيع أن تعود إلى وضع قريب جدا من وضعها الاصلي بعد زوال السبب الذي أدى إلى تشوهها.
3 - مواد غير مرنه وهى المواد التى لا تستطيع أن تعود إلى وضعها الأصلي بعد زوال السبب الذي أدى إلى تشوهها مثل الطين.

تعريف المادة المرنة:

- هى المادة التى لها القدرة على إسترجاع شكلها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة عليها. ترجع خاصية المرونه فى الأجسام إلى القوى البينيه الكبيره بين الذرات المكونه لها.

* ومن أمثلة المواد المرنة: الإسفنج– كرة التنس – النابض

الاجهاد والانفعال (المطاوعة) ..(Stress & Strain)

عند التأثير بقوة على المواد المرنة فانها تقع تحت إجهاد ينتج عنه إنفعال (تشوه Deformation) هذا الإنفعال يكون إما بالزيادة فى طولها أو الحجم أو بالنقصان وكذلك قد يكون هذا الانفعال تغير فى الشكل.

أنواع الإجهاد: اجهاد طولى او الشد (Tensile stress)، إجهاد الكبس (Compressive Stress)، اجهاد قص (Shear Stress) ، او اجهاد حجمى

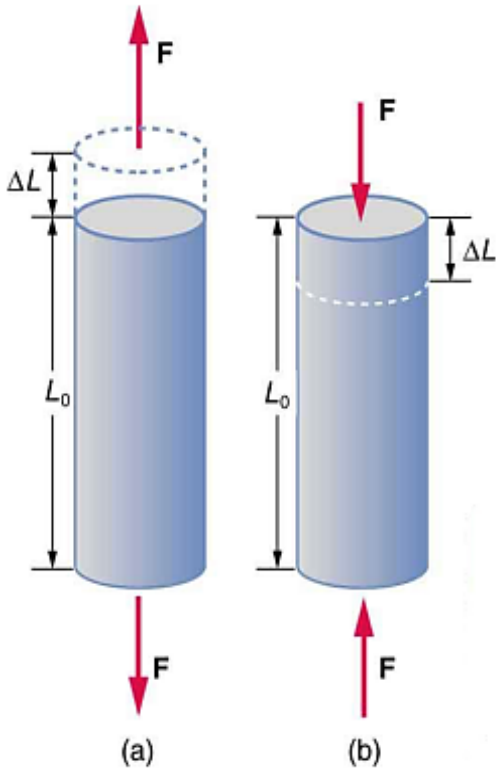
أنواع الإنفعال: انفعال طولى، انفعال الكبس، انفعال قص، انفعال حجمى.

تعريف الإجهاد Stress : هو القوة المؤثرة على المادة (F) عموديا على وحدة المساحات(A). ويعطى بالعلاقة التالية

$$S = \frac{F}{A} \qquad N/m^2$$

يشترط أن لا يتجاوز الإجهاد حد المرونة . حيث : F هى القوة و A مساحة مقطع المادة العمودية على القوة و يقاس بالوحدات العالمية SI: نيوتن / متر٢.

إجهاد طولي Tensile Stress



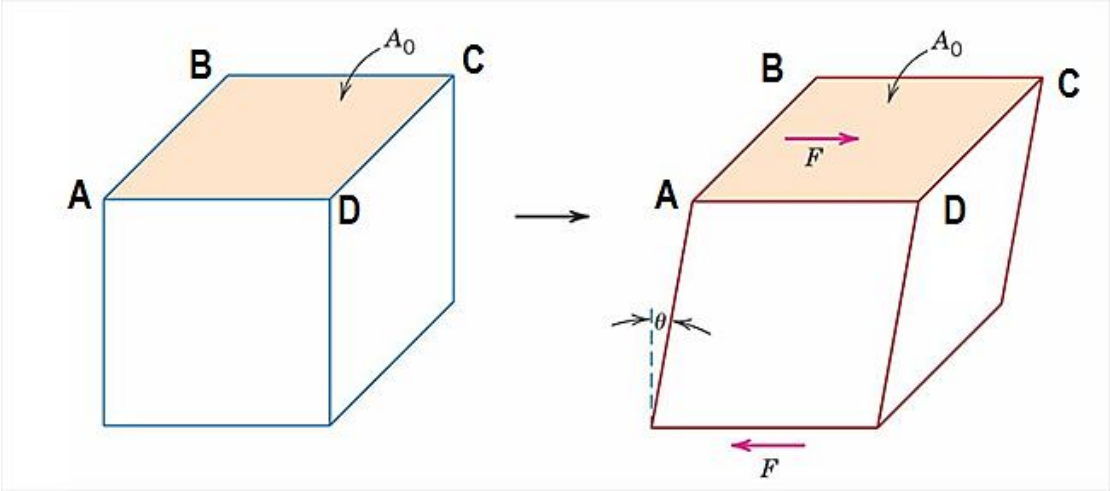
- عندما تؤثر القوه على أبعاد جزيئات الجسم المرن باتجاه عامودي.
- مثل وضع سلك مشدود تحت تأثير قوتين متساويتين ومتضادتين وتعملان على إستطالة السلك(a) أو ضغطه(b) .
- يعرف اجهاد الطولي :

بأنه القوة التى تؤثر عاموديا على وحدة المساحات بإتجاه الانفعال الطولى الحادث .

$$S = \frac{F}{A} \quad N/m^2$$

إجهاد القص (Shear Stress)

في بعض الأحيان لا يكون انفعال المادة المرنة تغير في الطول أو الحجم بل قد يكون تغير في الشكل بمعنى أنه إذا بذل قوة على مكعب (Box) ونتيجة هذه القوة أصبح المكعب متوازي مستطيلات فبذلك نقول أن المادة حدث لها قص كما هو موضح بالشكل التالي.



نفرض أن المكعب الموجود بالشكل يتعرض وجهه ABCD لقوة (إجهاد قص) أدت إلى إزاحته يمينا كانت نتيجته أن أصبح المكعب متوازي مستطيلات . وبهذا فان إجهاد القص فيه تؤثر قوتان متساويتان بالمقدار متعاكستان بالاتجاه (مبتعدتان) على نهايتي الجسم وعلى خطوط تأثير مختلفة .

إجهاد القص يعرف بأنه القوة المماسية للسطح ABCD والمؤثرة على وحدة المساحات ويعطى بالعلاقة

$$S_{sh} = \frac{F}{A}$$

أما الانفعال القصي فيعطى بالعلاقة

$$\varepsilon_{sh} = \frac{X}{h}$$

حيث (X) هي مقدار الإزاحة التي حدثت للسطح ABCD أما (h) تمثل طول وجه المكعب.

$$\tan\theta = \frac{X}{h}$$

وعندما تكون الزاوية صغيرة فإن ظل الزاوية يساوى الزاوية نفسها ($\tan\theta \approx \theta$) تسمى النسبة بين الإجهاد القصي والانفعال القصي **بمعامل الصلابة G** ويعطى بالعلاقة

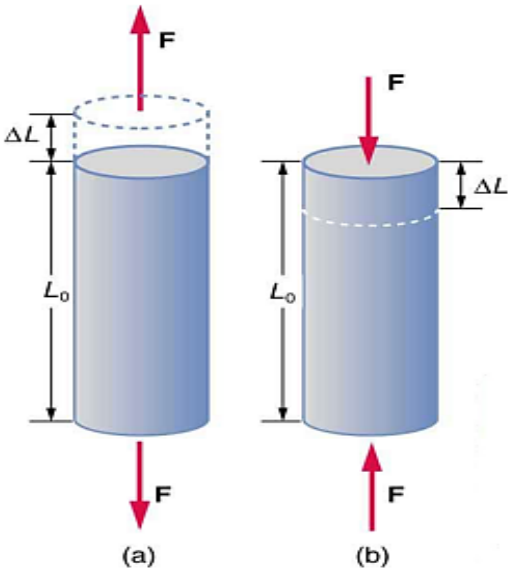
$$G = \frac{S_{sh}}{sh} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{X}{h}} = \frac{F}{A}$$

الانفعال (Strain)

يعرف الانفعال بـ

1- إستجابة المادة للقوة المؤثرة عليها قد يكون تغير فى الطول أو الحجم أو الشكل.
2- التغير النسبي الحادث في أبعاد المادة ، أو التغير فى الطول بالنسبة إلى الطول الاصلي أو التغير فى الحجم بالنسبة للحجم أصلي . ويقاس الإنفعال الحادث للجسم بالتغير الطارئ على وحده البعد الذى

يطرأ عليه التغير سواء كان هذا البعد طولا أو حجما أو زاوي. نلاحظ هنا أن الانفعال ليس له وحدة لانه نسبة بين طولين أو حجمين.



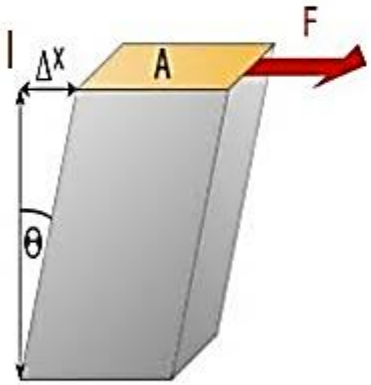
الانفعال الطولي

هو النسبة بين التغير في الطول ΔL إلى الطول الأصل L_o

$$= \frac{\Delta L}{L_o} = \frac{L - L_o}{L_o}$$

انفعال قصي (سطحي)

لو فرضنا أن مكعبا من المطاط المرن، طول ضلعه **L** م قد ثبت سطحه السفلى تثبيتا محكما فى سطح المنضدة، ثم أثرنا على سطحه الأعلى بقوة سطحية.



يعرف الانفعال القصي بـ النسبة بين الإزاحة **X** المتحققة عند الركن **A** إلى طول **h:**

$$= \frac{X}{h}$$

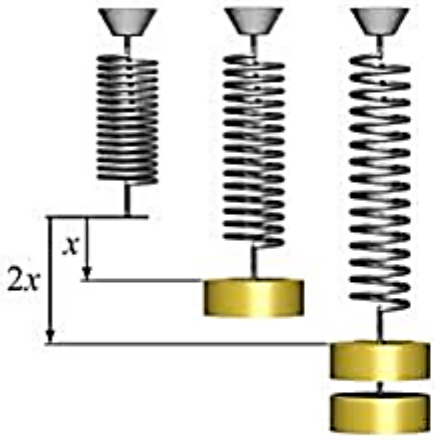
$$\tan\theta = \frac{X}{h}$$

وتعرف **θ** بالزاوية نصف قطرية و تسمى زاوية القص.

عندما تكون الزاوية صغيرة فإن ظل الزاوية يساوى الزاوية نفسها أى أن

$$= \frac{X}{h} = \theta$$

قانون هوك Hook's Law



كما فى الشكل السابق إذا أثرنا على سلك طولة **L** بقوة **F** فإنه يحدث له إستطالة مقدارها **X** وكلما زادت القوة تزداد معها الإستطالة أى أن القوة دالة فى الإستطالة وتكتب بالشكل التالى **F(X)** .

ينص قانون هوك :

"يتناسب الإنفعال الحادث فى المادة المرنة، تناسبا طرديا مع الإجهاد الذى يؤثر فيها، بشرط ألا تتعدى المادة حدود مرونتها" .

- وبهذا يمكن التعبير عن قانون هوك رياضيا، كما يلى:

الإجهاد= ثابت xالإنفعال

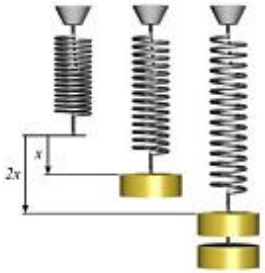
$$F(x)=-kx$$

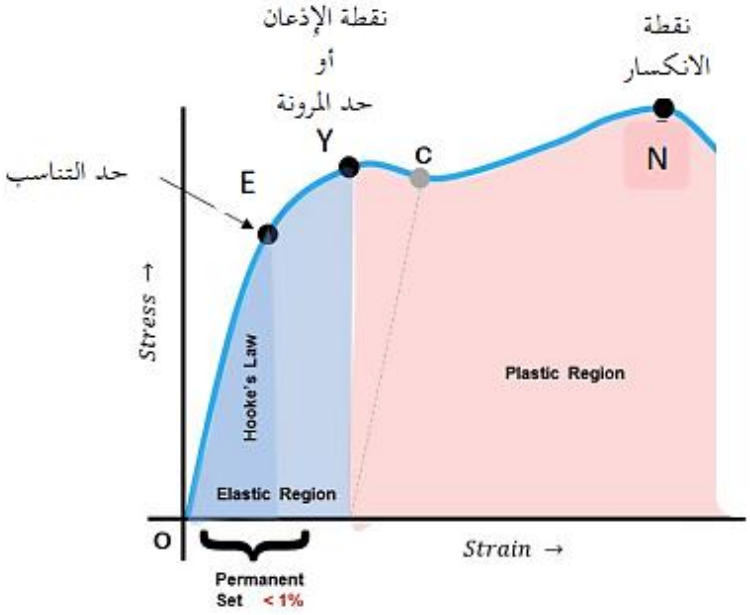
حيث :

يسمى بثابت القوة للمادة أو ثابت هوك **K**

قانون هوك Hook's Law

العلاقة بيانيا بين الثقل و الاستطالة (أو العلاقة بين الاجهاد والانفعال) وتصنيف المواد





شرح الرسم البياني:

- المرحلة الأولى OE مرحلة المرونة وفيها تخضع المادة إلى قانون هوك) حيث الانفعال يتناسب طرديا مع الاجهاد (وتحتفظ فيها المادة بكامل مرونتها ويكون لديها القدرة التامة على استرجاع شكلها الأصلي وتسمى النقطة E بحد التناسب .
- المرحلة الثانية مرحلة اللدانة EY وفيها لا تستطيع المادة استرجاع كامل شكلها الاصلي ولكن يحدث تشوهات قليلة فى شكل المادة بعد زوال القوة المؤثرة عليها .
- المرحلة الثالثة مرحلة الإذعان YC وفيها نلاحظ زيادة الانفعال رغم ثبوت الاجهاد وفى هذه المرحلة لا تخضع المادة إلى قانون هوك و لا تستطيع المادة استرجاع شكلها الاصلي بعد زوال القوة المؤثرة عليه .
- المرحلة الرابع مرحلة القطع CN وفى هذه المرحلة تحدث تشوهات كبيرة فى المادة تؤدى فى النهاية إلى القطع أو الانكسار .

- حد المرونة : إذا تجاوزت القوى المؤثرة على الجسم الصلب هذا الحد – مهما كان نوعه – أكسبته تشوها دائما
- قانون هوك : مقدار التشوه الحاصل في الاجسام المرنة(استطالة أو انضغاط أو قص) يتناسب طرديا مع القوة المؤثرة ضمن حد المرونة.

تصنيف المواد حسب استجابتها للقوى الخارجية :

١-المواد القابلة للسحب : Ductile Materials

عندما تتعرض المادة لقوة تتباعد جزئياتها قليلا و تهتز حول مواقع اتزان جديدة و تربطها قوة تجاذب وعند زوال القوة الخارجية تعود جزئيات المادة إلى مواقع توازنها الأصلي .

من أمثلتها: النحاس و الحديد والمطاط

٢- المواد الهشة : BrttileMatrials:

تتعرض هذه المواد إلى الكسر عند تجاوز حد المرونة لا تمتلك الخاصية اللدنة.

من أمثلتها الزجاج

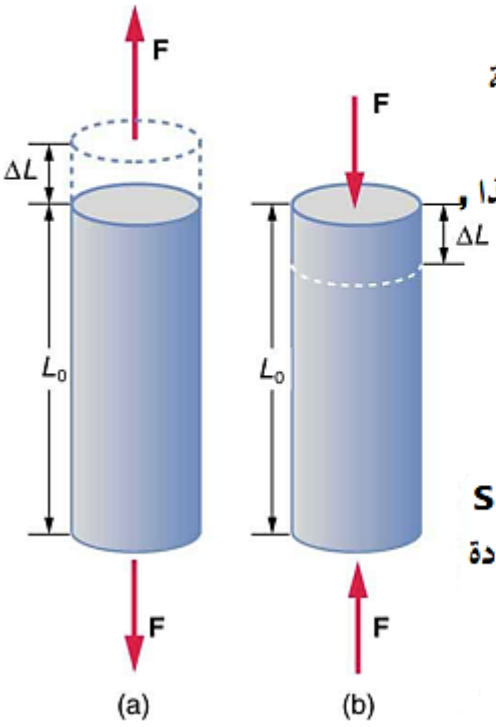
معاملات المرونة :

يتناسب الانفعال مع الاجهاد المسبب له تناسباً طرديا ، تسمى هذه النسبة بمعامل المرونة.

- **معامل المرونة = الاجهاد / الانفعال ، يقاس بنفس وحدة الاجهاد.**
- **تنقسم معاملات المرونة إلى ثلاث أقسام تعتمد فيه على حسب أنواع الاجهاد و الانفعال:**

المعامل	اسم آخر له	تعريفه
Young's Modulus	معامل المرونة الطولي	يقيس مقاومة الجسم الصلب للتغير في الطول
Shear Modulus	معامل المرونة القصي أو الشكلي	يقيس مقاومة حركة المستويات المنزلقة فوق بعضها البعض
Bulk Modulus	معامل المرونة الحجمي	يقيس مقاومة الجسم الصلب أو السائل للتغير في الحجم

معامل يونج (معامل المرونة الطولي)



اكتشف العالم يونج أن النسبة بين الاجهاد الانفعال فى مرحلة المرونة للمادة المرنة تساوي دائما مقدارا ثابتا للمادة الواحدة .

- بمعنى أن الحديد له قيمة مميزة عن النحاس عنه فى الذهب و هكذا و سمى هذه النسبة بمعامل ينج ويكتب على الشكل التالى :

$$Y = \frac{S}{-} = \frac{\frac{F}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} = \frac{F\,L}{A\,\Delta L} \qquad N/m^2$$

حيث Y معامل ينج (ويعرف فى بعض الكتب بمعامل ينج الطولى)S الإجهاد , الانفعال , F القوة , A مساحة مقطع المادة , Lطول المادة الأصلي, ΔL التغير فى الطول .

تلخيص:

		الاجهاد	الانفعال	معامل المرونة
		القوة المؤثرة على وحدة المساحات	إستجابة المادة للقوة المؤثرة عليها	النسبة بين الاجهاد والانفعال
الطولي	التعريف	القوة المؤثرة عاموديا على وحدة المساحات	النسبة بين التغير في الطول أو الاستطالة إلى الطول الأصلي	معامل يونج:يقيس مقاومة الجسم الصلب للتغير في الطول
	رياضيا	$S=F/A$	$e=\Delta L/L_0$	$Y=S/e=FL_0/\Delta LA$
السطحي(القصي)	التعريف	القوة المماسية التي تؤثر على وحدة المساحة	النسبة بين الازاحة الحاصلة والارتفاع	يقيس مقاومة حركة المستويات المنزلقة فوق بعضها البعض
	رياضيا	$S_s=F/A$	$e_s=X/h=\theta$	$G=S_s/e_s=Fh/XA=F/A\theta$
الحجمي	التعريف	الزيادة في القوة التي تؤثر على وحدة المساحات من السطح الكلي للجسم أو يعرف بأنه الزيادة في الضغط ΔP.	النسبة بين التغير في الحجم إلى الحجم الأصلي	يقيس مقاومة الجسم الصلب أو السائل للتغير في الحجم
	رياضيا	$S_s=F/A=\Delta P$	$e=\Delta V/V_0$	$B=S/e=-\Delta P/(\Delta V/V_0)$

مثال (١):

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

الحل

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

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

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

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

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

Values for Young's modulus for various materials.

Material	*Young's modulus (N m^{-2})*
Steel	2.0×10^{11}
Brass	1.3×10^{11}
Cast iron	1.0×10^{10}
Aluminium	7.0×10^{10}
Marble	5.0×10^{10}
Concrete	2.0×10^{10}
Brick	1.4×10^{10}
Bone (human femur)	1.4×10^{10}
Timber (pine)	
parallel to the grain	1.0×10^{10}
across the grain	1.0×10^{9}
Nylon	5.0×10^{9}
Glass (crown)	7.1×10^{10}
Granite	4.5×10^{10}
Rubber	4.0×10^{6}

مثال: قضيب فولاذي هيكلي له نصف قطره 10mm وطول 1.0 m. قوة مقدارها 10 kN سلطت على امتداد طوله. احسب (أ) الإجهاد ، (ب) الاستطالة ، و (ج) الانفعال (المطاوعة) على القضيب. علما ان معامل يونك (يونغ) للفولاذ الهيكلي هو 2×10^{11} N.m^{-2}.

الحل:

نفترض أن القضيب يتم تثبيته بواسطة مشبك (كلاب) في أحد طرفيه ، ويتم تطبيق القوة F في الطرف الآخر بحث تكون موازية لطول القضيب. ثم يتم إعطاء الانفعال على قضيب كما يأتي:

الاجهاد

$$Stress = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi r^2}$$

$$= \frac{100 \quad 10^3 \text{N}}{3.14 \quad 10^{-2} \text{m}^2}$$

$$= 3.18 \times 10^8 \text{ N m}^{-2}$$

الاستطالة

The elongation,

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

$$= \frac{3.18 \quad 10^8 \text{N m}^{-2} \quad 1\text{m}}{2 \quad 10^{11} \text{N m}^{-2}}$$

$$= 1.59 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$= 1.59 \text{ mm}$$

يحسب الانفعال

The strain is given by

$$\text{Strain} = \Delta L/L$$

$$= (1.59 \times 10^{-3} \text{ m})/(1\text{m})$$

$$= 1.59 \times 10^{-3}$$

$$= 0.16 \%$$

فيزياء البلوريات Crystal Physics أو علم البلوريات Crystallography

هو فرع من فروع الفيزياء الذي يتناول دراسة جميع الأنواع الممكنة من البلورات والخصائص الفيزيائية للمواد الصلبة البلورية من قبل تحديد بنيتها الفعلية باستخدام الأشعة السينية، او الحزم النيوترونية او حزم الإلكترون.

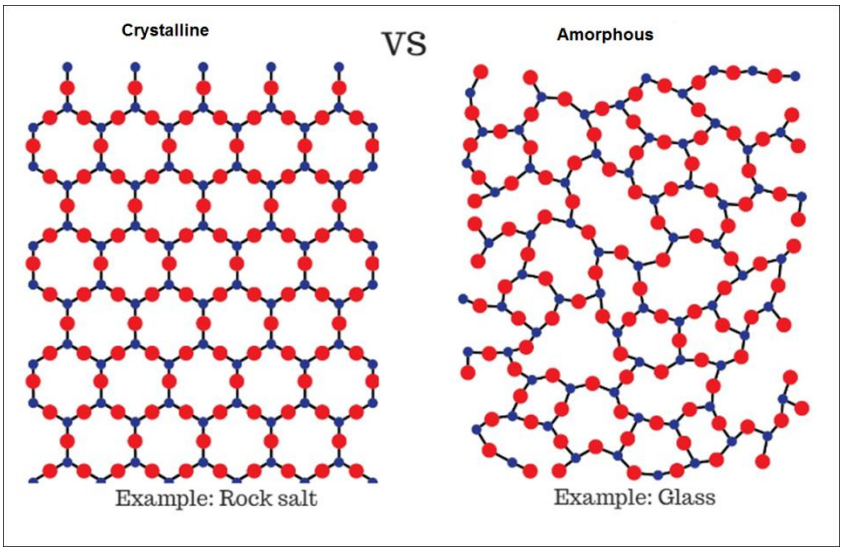
يمكن تصنيف المواد الصلبة على نطاق واسع إلى نوعين على أساس ترتيب وحدات المادة. قد تكون وحدات المادة ذرات أو جزيئات أو أيونات. وهما:- 1- المواد الصلبة البلورية (Crystalline solids) 2- غير بلورية (Non-crystalline) او (Amorphous).

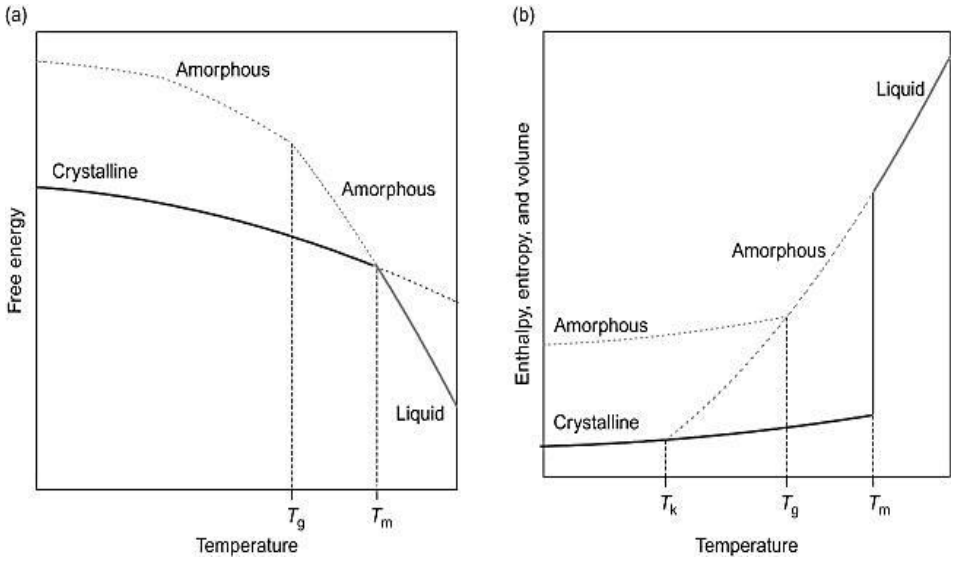
1- المواد الصلبة البلورية (Crystalline solids):

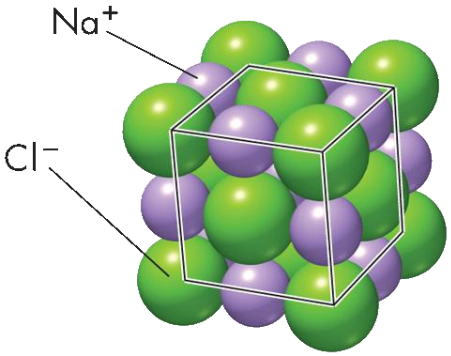
- يقال أن المادة بلورية عندما يكون ترتيب وحدات المادة منتظما و تتكرر بشكل دوري.
- المادة البلورية لها خصائص اتجاهية و لذلك تسمى كمادة متباينة الخواص.
- المادة البلورية لها نقطة انصهار حادة.
- انها تمتلك شكل منتظم وإذا ما تم كسرها ، فان القطع المكسورة (الاجزاء) لها نفس الشكل المنتظم الاصلي تماما.
- امثلتها: ملح الطعام (NaCl) والكوارتز (SiO_2) والماس (C) والثلج والحديد... الخ.

2-المواد الصلبة غير متبلور (Amorphous):

- الجسيمات المكونة للمواد غير البلورية غير مرتبة بطريقة منتظمة. و توزيع بشكل عشوائي.
- امتلاكها خصائص فيزيائية لها نفس القيمة عند قياسها في اتجاهات مختلفة (isotropic).
- لديها نطاق واسعة من نقطة الانصهار ولا يمتلك شكل منتظما.
- أمثلة: الزجاج ، البلاستيك ، المطاط ..إلخ ،







النظام البلوري (**Crystal System**):

البلورات تصنف الى سبعة مجاميع بالاعتماد على شكل الخلية البلورية..