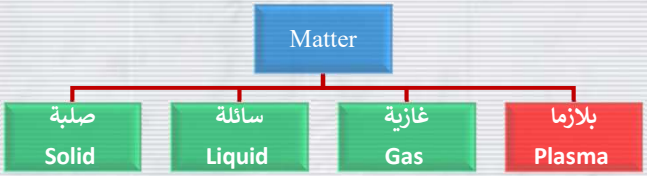
CHAPTER 12

Properties of Matter (خواص المادة)

ELASTICITY (المرونة)

تصنف الأجسام في الطبيعة إلى حالات: بحسب القوى التي تربط بين ذراتها وجزيئاتها

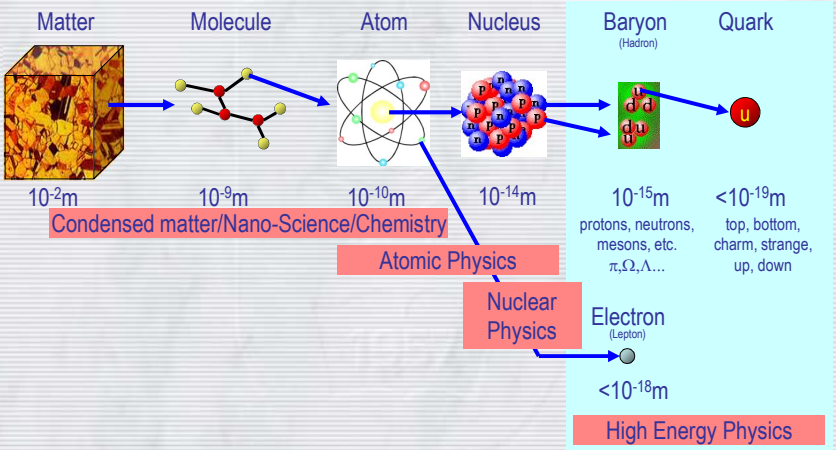


للمادة خصائص يمكن ملاحظتها (باستخدام الحواس) والصفات القابلة للقياس يمكن أن تساعد في تحديد المادة ووصفها وتصنيفها.

الخصائص الفيزيائية هي خصائص المادة التي يمكن ملاحظتها او قياسها دون تغيير المادة إلى شيء آخر(اللون ، الكتلة ، الطول ، الحجم ، الكثافة ، الحالة ، إلخ).

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 1

Structure of matter

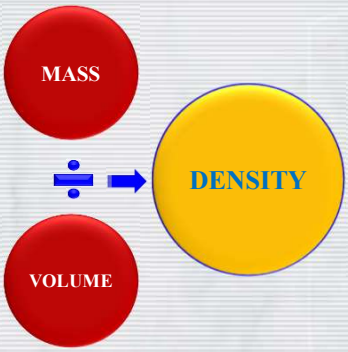


105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer

DENSITY
الكثافة

الكثافة: كمية المادة الموجودة في حجم مادة معينة

وتعرف بأنها كتلة وحدة الحجوم



$$\rho = \frac{M}{V}$$

The SI unit of density is the kilogram per cubic meter (1 kg/m^3). The cgs unit, the gram per cubic centimeter (1 g/cm^3), is also widely used:

$$1\ \text{g/cm}^3 = 1000\ \text{kg/m}^3$$

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 3

Densities of some common substances

Material	Density (kg/m^3)*	Material	Density (kg/m^3)*
Air (1 atm, 20°C)	1.20	Iron, steel	7.8×10^3
Ethanol	0.81×10^3	Brass	8.6×10^3
Benzene	0.90×10^3	Copper	8.9×10^3
Ice	0.92×10^3	Silver	10.5×10^3
Water	1.00×10^3	Lead	11.3×10^3
Seawater	1.03×10^3	Mercury	13.6×10^3
Blood	1.06×10^3	Gold	19.3×10^3
Glycerine	1.26×10^3	Platinum	21.4×10^3
Concrete	2×10^3	White dwarf star	10^{10}
Aluminum	2.7×10^3	Neutron star	10^{18}

*To obtain the densities in grams per cubic centimeter, simply divide by 10^3.

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer

Example:

Find the mass and weight of the air at 20°C in a living room with a 4.0 m× 5.0 m floor and a ceiling 3.0 m high, and the mass and weight of an equal volume of water.

$\rho_{air} = 1.2\ \text{kg/m}^3$, $\rho_{water} = 1000\ \text{kg/m}^3$

$$V = 4 \times 5 \times 3 = 60\ \text{m}^3$$

$$M_{air} = \rho_{air}\ V = 1.2 \times 60 = 72\ \text{kg}$$

$$W_{air} = M_{air}\, g = 72 \times 9.8 = 700\ \text{N}$$

$$M_{water} = \rho_{water} V = 1000 \times 60 = 6 \times 10^4\ \text{kg}$$

$$W_{water} = M_{water}\, g = 5.9 \times 10^5\ \text{N}$$

105 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — 5

Elastic Properties of Solids

١٢-١) مقدّمـــة: Introduction

تنساب "الموائع" عند التأثير عليها بقوة خارجيّة، وأمّا "الجوامد" التي يتمّ تثبيتها بطريقة أو بأخرى حتى لا تتحرّك تحت تأثير القوة، فإنّ شـــكلها يتغيّر ويطرأ عليها تشوّه يتناسب مع القوة الخارجيّة المؤثّرة عليها. إنّه مـــن المهمّ،عند تصميم الجسور والمنشآت الحديديّة وأحزمة الـــسّلامة وغيرهـــا، معرفة خصائص التشوّه الناجم عن تأثير قوة خارجيّة وطريقة استجابتها لما يوضع عليها من أحمال؛ فهناك من الأجسام ما يستعيد حالته السابقة تمامـــاً بعد زوال تأثير القوة، ونَصِفُ الجسم في هذه الحالة بأنّه جسم "تامّ المرونـــة" (perfectly elastic). أمّا الأجسام التي تحتفظ بالتشوّه بعد زوال تأثير القـــوة فنوصف بأنّها "عديمة المرونة" (plastic)، ومن الأجسام ما يـــستعيد حالتـــه السابقة جزئياً فيُعرّف بأنّه "مَرِن" (elastic).

والآن يمكن تعريف المرونة (Elasticity) بأنها خاصية للأجسام تمكنها من استعادة شكلها وحجمها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة عليها.

105 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — 6

الإجهاد والانفعال

ماهي تأثيرات القوى على الأجسام الصلبة:

الإجهاد (stress)

القوة المؤثرة عموديا على وحدة المساحة

$$S = \frac{F_{\perp}}{A}$$

$$Unit: \ N/m^2 \equiv \text{Pascal (Pa)}$$

يوجد ثلاثة أنواع من الإجهاد:

إجهادالطول أو الشد (إجهاد عمودي) Tensile Stress

إجهاد القص (إجهاد مماسي) Shear Stress

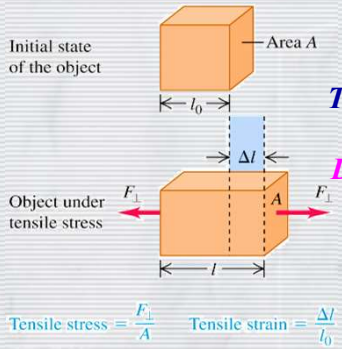
إجهاد الضغط (إجهاد حجمي) Bulk Stress

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 7

الإنفعال (Strain)

النسبة بين التغير الحادث في الجسم عند التأثير عليه بقوى خارجية الى أبعاد الجسم الأصلية

الإنفعال الطولي Tensile strain



$$Tensile\ \text{Strain} \equiv e = \frac{\Delta l}{l_0}$$

$$Dimensionless\ (\text{NO units})$$

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 8

Shear stress and strain إجهاد وإنفعال القص

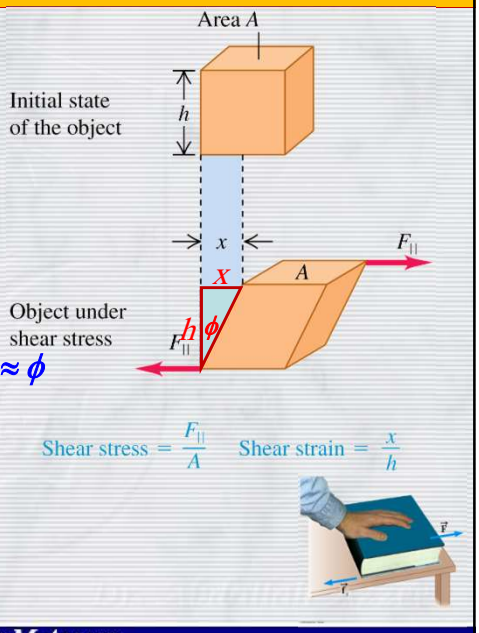
- Sheer stress is $S_s = \frac{F_{\parallel}}{A}$
- sheer strain is $e_s = \frac{x}{h}$

$\tan\phi = \frac{x}{h}$

ϕ is very small $\Rightarrow \tan\phi = \frac{x}{h} \approx \phi$

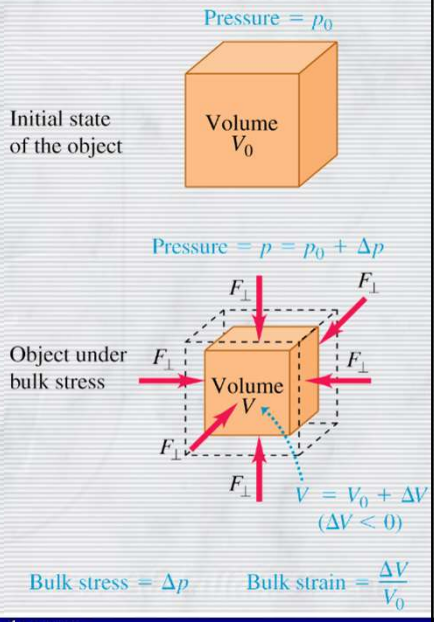
$e_s = \frac{x}{h} \approx \phi$

$\phi \equiv$ *Shear* Angle (radian)



Bulk stress and strain إجهاد وإنفعال الحجم

- Pressure in a fluid is force per unit area:. $p = \frac{F_{\perp}}{A}$
- *Bulk stress* is pressure change $S_B = \Delta p$
- *bulk strain* is fractional volume change $e_B = \frac{\Delta V}{V_0}$



Hooke's Law قانون هوك

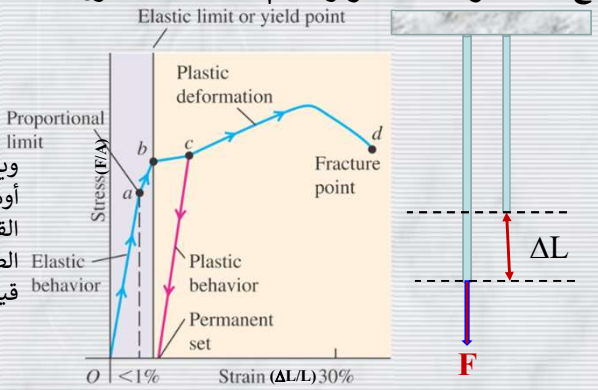
ينص قانون هوك على أن مقدار الاستطالة الناتجة في قضيب معدني أو زنبرك يتناسب طرديا مع مقدار قوة الشد المؤثرة مالم نتعدى حد المرونة.

$F \alpha \Delta L$

$F = k \Delta L$

k = *Force* constant

ويسمى الثابت **k** بثابت الزنبرك أومعامل الصلابة وهوعبارة عن القوة اللازمة لإحداث تغير في الطول مقداره الوحدة ووحدة قياسه N/m



Hooke's Law قانون هوك

Table 11.3 Approximate Breaking Stresses

Material	Breaking Stress (Pa or N/m^2)
Aluminum	2.2×10^8
Brass	4.7×10^8
Glass	10×10^8
Iron	3.0×10^8
Phosphor bronze	5.6×10^8
Steel	$5 - 20 \times 10^8$

Hooke`s law of elasticity

stress $\propto$ strain

Elasticity Modulus معاملات المرونة

Elasticity in Length : **Young's Modulus**

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

Elasticity in Shear : **Shear Modulus (Rigidity Modulus) معامل الصلابة**

$$G = \frac{Stress}{Strain} = \frac{F/A}{x/h} \approx \frac{F}{A\phi}$$

Elasticity in Bulk : **Bulk Modulus معامل الحجم**

$$B = \frac{Stress}{Strain} = -\frac{\Delta p}{\Delta V / V_0}$$

نظراً لأن التغير في الحجم يكون سالبا إذ أن الجسم ينكمش تحت تأثير الضغط ، تم وضع الإشارة السالبة لكي يكون معامل الحجم B موجبا

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 13

ويعرف مقلوب معامل الحجم ب "الانضغاطية (compressibility)"، k

$$k = \frac{1}{B} = -\frac{\Delta V / V_0}{\Delta p}$$

معاملات المرونة

معامل يونج	معامل القص	معامل الحجم
التعريف: الاجهاد الطولي / الانفعال الطولي	إجهاد القص / إنفعال القص	الضغط / الانفعال الحجمي
يرتبط بالتغير في الطول	يرتبط بالتغير في الشكل	يرتبط بالتغير في الحجم
ينطبق فقط على الجوامد	ينطبق على الجوامد والسوائل	ينطبق على الحالات الطبيعية الثلاث للمادة ويكون صغير المقدار للحالة الغازية

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 14

Table 10.1
Some Elastic Constants

Substance	Young's Modulus		Shear Modulus		Bulk Modulus		Elastic Limit		Ultimate Tensile Stress	
	$N/m^2 \times 10^{10}$	$lb/in.^2 \times 10^6$	$N/m^2 \times 10^{10}$	$lb/in.^2 \times 10^6$	$N/m^2 \times 10^{10}$	$lb/in.^2 \times 10^6$	$N/m^2 \times 10^{10}$	$lb/in.^2 \times 10^6$	$N/m^2 \times 10^8$	$lb/in.^2 \times 10^4$
Aluminum	7.0	10	3	3.8	7	10	1.4	1.9	1.4	3.1
Bone	1.5		8.0						1.30	
Brass	9.1	14	3.6	5.1	6	8.5	3.5	5.5	4.5	6.5
Copper	11.0	17	4.2	6.0	14	17	1.6	2.2	4.1	4.9
Iron	9.1	13	7.0		10	15	1.7	2.5	3.2	4.6
Lead	1.6	2.3	0.56		0.77	1.1			0.2	0.29
Steel	21	30	8.4	12	16	24	2.4	3.7	4.8	7.0

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 15

مـــثال (١٢-١):

أثّرت قوة مقدارها 2500 N على ســـلك معدني طوله 10 m، وقطْره 3.5 mm، فاستطال بمقدار 0.5 cm. احسب:

(أ) الإجهاد (ب) الانفعال (ج) معامل يونج للسلك

الحـــل:

أ) يُعطى "الإجهاد" بالعلاقة:

$$S = \frac{F}{A}$$

وحيث أنّ:

$$A = \pi r^2$$
$$= (1.75 \times 10^{-3})^2 \pi$$
$$= 0.096 \times 10^{-4}\ m^2$$
$$S = \frac{2500}{0.096} \times 10^{4}$$
$$= 2.6 \times 10^{8}\ N/m^2$$

ب) يُعطى "الانفعال" بالعلاقة:

$$e = \frac{\Delta L}{L_o}$$
$$= \frac{0.5 \times 10^{-2}}{10}$$
$$= 0.5 \times 10^{-3}$$

جـ) يُعطى "معامل يونج" بالعلاقة:

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

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 16

مـــثال (١٢-٢):

إذا علمت أنّ مقدار "معامـــل يونج" للحديد الصلب هو $2x10^{11}\ Nm^{-2}$، فاحسب "قوة الشدّ" اللازمة للتأثير على سلك من الحديد الصلب طوله 6 cm ، وقطْره 1.6 mm، ليستطيل بمقدار 1 mm.

الحـــل:

يُعطى "معامل يونج" بالعلاقة:

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

$$\therefore \quad F = YA\,\frac{\Delta L}{L_o}$$

ونظراً لأنّ:

$$Y = 2 \times 10^{11}\ Nm^{-2}$$
$$\Delta L = 1\ mm = 1 \times 10^{-3}\ m$$
$$L_o = 6\ cm = 6 \times 10^{-2}\ m$$
$$A = \pi r^2 = (0.8 \times 10^{-3})^2\ \pi = 2 \times 10^{-6}\ m^2$$

فإنّنا نحصل على:

$$F = 2x10^{11} \times 2 \times 10^{-6} \times \frac{10^{-3}}{6x10^{-2}}$$
$$= 6666.7\ N$$

105 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — 17

مـــثال (١٢-٣):

عند تعليق كتلة وزنها 45 N بنابضٍ فإنّ طـــوله يصبح 32 cm . أمّا عند إقصاء هذه الكتلة وتعليق كتلة أخرى وزنها 55 N، فإنّ النابض يستطيل بمقدار 13 cm . احسب:

أ) ثابت النابض. ب) الطول الأصلي للنابض.

الحـــل:

وفْق "قانون هوك" فإنّ:

$$F = k\,x$$

وبالاستفادة من المعلومات المُعطاة في الوضع الثاني نجد أنّ:

أ)

$$k = \frac{F_2}{X_2} = \frac{55}{0.13} = 423\ N/m^2$$

ب) أمّا بالنّسبة للوضع الأوّل، فإنّ:

$$k = \frac{F_1}{X_1}$$

أيّ أنّ:

$$X_1 = \frac{45}{423} = 0.106\,m = 10.6\ cm$$

وبالتالي فإنّ طول النابض الأصلي هو:

$$L_o = 32 - 10.6 = 21.4\ cm$$

105 PHYS — Dr. Abdallah M.Azzeer — 18

مـثال (١٢-٥):

تمّ التأثير على مكعّب من الحديد الصلب طول حافّته 4 cm بقوة قصّ مقدارها 3000 N بينما كان أحد وجوه المكعّب مُثبّتاً على المنضدة. احـسب "الانفعال القصّي" لهذا المكعّب عـلماً بأنّ "معامـل الـقص" للحديد الصلب هو $8.4 \times 10^{10}\ N/m^2$.

الحـل:

يُعطى "الإجهاد" بالعلاقة:

$$S = \frac{F}{A}$$

وحيث أنّ مساحة سطح المكعّب هي:

$$A = L_0^2 = (0.04)^2 = 16 \times 10^{-4}\ m^2$$

فإنّ مقدار S هو:

$$S = \frac{3000}{16 \times 10^{-4}} = 187.5 \times 10^4\ N/m^2$$

وحيث أنّ "معامل القصّ" يُعطى بالعلاقة:

$$G = \frac{S}{e}$$

فإنه يُمكن حساب "انفعال القصّ"، e ، على النحو التالي:

$$e = \frac{S}{G} = \frac{187.5 \times 10^4}{8.4 \times 10^{10}} = 22.3 \times 10^{-6}$$

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer 19

Elevator Safty

While working with an engineering company during the summer, you are assigned to check the safety of an elevator system in a new office building. The elevator has a maximum load of 1000 kg including its own mass, and is supported by a steel cable 3.0 cm in diameter and 300 m long at full extension. There will be safety concerns if the steel stretches more than 3.0 cm. Your job is to determine whether or not the elevator is safe as planned, given a maximum acceleration of the system of 1.5 m/s².

1. The amount the cable is stretched, ΔL, is found from Young's modulus:

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} \quad \text{so} \quad \Delta L = \frac{FL}{AY}$$

2. To find the force acting on the cable we apply Newton's second law to the elevator. There are two forces on the elevator, the force F of the cable and the weight:

$$F - mg = ma_y$$

so

$$F_{max} = m(g + a_{y,max})$$
$$= (1000\ kg)(9.81\ N/kg + 1.5\ N/kg)$$
$$= 1.13 \times 10^4\ N$$

3. Substitute into the step 1 result and obtain the maximum amount of stretch:

$$\Delta L = \frac{F_{max}L}{AY} = \frac{F_{max}L}{\pi r^2 Y}$$
$$= \frac{(1.13 \times 10^4\ N)(300\ m)}{\pi(0.015\ m)^2(2.0 \times 10^{11}\ N/m^2)}$$
$$= 2.40\ cm$$

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer

Example

A solid brass sphere is initially under normal atmospheric pressure of $1.0\times10^5 N/m^2$. The sphere is lowered into the ocean to a depth at which the pressures is $2.0\times10^7 N/m^2$. The volume of the sphere in air is $0.5m^3$. By how much its volume change once the sphere is submerged?

Since bulk modulus is $$B = -\frac{\Delta P}{\Delta V / V_i}$$

The amount of volume change is $$\Delta V = -\frac{\Delta P V_i}{B}$$

From table 12.1, bulk modulus of brass is $6.1\times10^{10}\ N/m^2$

The pressure change ΔP is $$\Delta P = P_f - P_i = 2.0\times10^7 - 1.0\times10^5 \approx 2.0\times10^7$$

Therefore the resulting volume change ΔV is $$\Delta V = V_f - V_i = -\frac{2.0\times10^7 \times 0.5}{6.1\times10^{10}} = -1.6\times10^{-4} m^3$$

The volume has decreased.

105 PHYS Dr. Abdallah M.Azzeer