جامعة الانبار

كلية التربية للعلوم الصرفة

قسم الفيزياء

محاضرات

خواص مادة

البروفيسور الدكتور

وليد بديوي

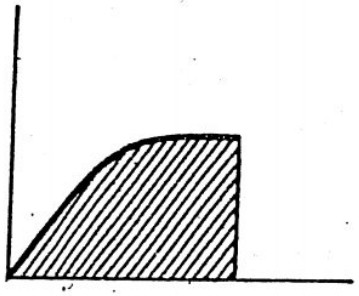
الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

5 – 6 الصلادة Hardness

وتعرف على انها مقاومة المادة لأختراق سطحها. تستخدم طرق مختلفة لتقدير الصلادة. يعتمد قسم من هذه الطرق على ايجاد مساحة الثلم الذي يحدثه اختراق مثلم تحت ثقل قياسي، ومنها مايعتمد على قياس عمق الأختراق لسطح المادة والذي يحدثه مثلم قياسي.

5 – 7 العسو Toughness

ويعرف على انه الطاقة اللازمة لكسر (تمزيق) المادة. ويمكن ايجاد الطاقة من حاصل ضرب القوة × المسافة، ولها علاقة قوية مع المساحة الموجودة تحت منحني الأجهاد والانفعال. انظر الشكل (5.12).



الشكل (5.12) : ايجاد طاقة الكسر (العسو).

5 – 8 معامل المرونة Modulus of Elasticity

تعرّف المرونة على انها قابلية المادة على استعادة شكلها الاصلي بعد إزالة القوة المؤثرة والمسببة للتشوه. هناك انواع مختلفة من المعاملات، يعتمد نوع المعامل على نوع التشوه الذي تتعرض له المادة. كالاستطالة والانحناء وغيرها. وتمثل جميع المعاملات بايجاد نسبة الاجهاد الى الانفعال.

ان وحدات المعامل هي وحدات الاجهاد نفسه لان الانفعال لا وحدات له. وعندما يكون الاجهاد ضمن حدود المرونة، فان نسبة الاجهاد الى المطاوعة ستكون مقداراً ثابتاً، ويسمى هذا الثابت بمعامل المرونة Modulus of elasticity، اي ان :

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$$\text{معامل المرونة} = \frac{\text{الاجهاد}}{\text{الانفعال}}$$

$$= \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}} \qquad \ldots\ldots 5.10$$

يعرف الحد المرن على انه أقل قيمة للاجهاد المسبب لانفعال (مطاوعة) ثابت في المادة. وضمن حدود المرونة تكون العلاقة خطية بين الاجهاد والانفعال ولا يعتمد على الزمن ، وهذا مايعرف بقانون هوك (Hook's Law). الذي ينطبق على معظم المواد المرنة في حالة حصول الانفعالات الصغيرة.

ان العلاقة بين معامل المرونة ودرجة الحرارة علاقة عكسية ، اذ يقل معامل المرونة بارتفاع درجة الحرارة ، والسبب في ذلك يعود الى ان ارتفاع درجة الحرارة يزيد الطاقة الحركية للذرات او الجزيئات والتي تؤدي الى التغلب على قوى الترابط بينها وبالتالي زيادة حجمها.

9–5 معامل يونك Young's Modulus (Y)

يعرف معامل يونك بانه نسبة الاجهاد الى المطاوعة في حالتي الاستطالة والانكماش الطوليين اي ان

$$\text{معامل يونك} = \frac{\text{الاجهاد الخطي}}{\text{الانفعال الخطي}}$$

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} \qquad \ldots\ldots 5.11$$

$$Y = \frac{F}{A} \cdot \frac{L}{\Delta L} \qquad \ldots\ldots 5.12$$

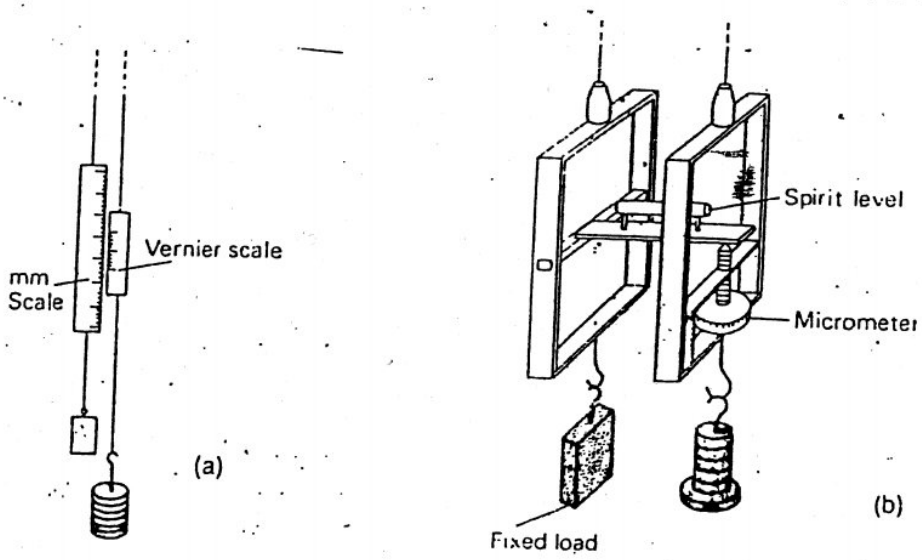
ان وحدة معامل يونك هي وحدة الاجهاد نفسه اي نيوتن / م^2 او داين / سم^2. يعتمد معامل يونك على نوع المادة وليس على ابعادها.

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

10 – 5 قياس معامل يونك لسلك
Determination of Young Modulus for a Wire

وتسمى هذه الطريقة بطريقة سيرل Searle's Method

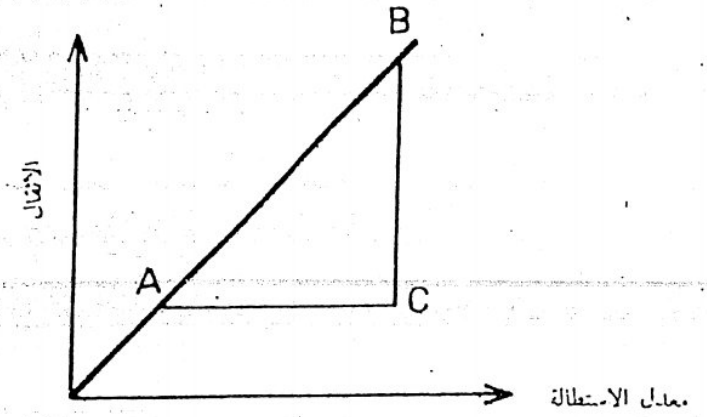
يتكون جهاز قياس معامل يونك لسلك من سلكين طويلين من المادة نفسها متماثلين، ويتدليان من مكان مرتفع وليكن السقف. يحمل أحد السلكين في نهايته تدريجات ويعلق في نهايته ثقل لجعله متوتراً. اما السلك الثاني فيحمل ورنية تتحرك امام مسطرة ثابتة، ومعلق به حامل لحمل الاثقال من فئة $\frac{1}{2}$ اوكيلوغرام واحد. الشكل (5.13) يوضح تخطيطاً لهذا الجهاز كذلك يحتوي الجهاز على قبان كحولي. عند وضع اي ثقل فان مستوى القبان يظهر حالة عدم التوازن، التي يمكن الحصول عليها بتدوير لولب المايكروميتر.



الشكل (5.13): تجربة قياس معامل يونك لسلم (طريقة سيرل).

تقرأ الورنية بعد كل اضافة للاثقال، وعندما يصبح الثقل معقولاً (اقل من 10 كغم) تقرأ الورنية بعد كل رفع أو تقليل للاثقال بنفس معدل زيادتها، ويؤخذ معدل القرائتين. كما يقاس طول السلك من نقطة التعليق الى الورنية، وكذلك يقاس قطر السلك باستخدام المايكروميتر في عدة نقاط مختلفة ويؤخذ معدل القراءات. وترسم العلاقة بين معدل الزيادة او النقصان في الطول على المحور السيني والاثقال المقابلة على المحور الصادي فنحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل، كما في الشكل (5.14).

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner



الشكل (5.14) : علاقة الثقل مع مقدار الاستطالة.

ان معامل يونك (Y) يعطى بالعلاقة الاتية

$$Y = \frac{\text{الاجهاد}}{\text{المطاوعة}}$$

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L} = \frac{F.L}{A\,\Delta L} \quad \text{..... 5.11}$$

$$F = mg$$

$$\therefore Y = \frac{mg.L}{\frac{1}{4}\pi d^2 \Delta l} = \frac{4g.L}{\pi d^2}\,\frac{m}{\Delta L} \quad \text{..... 5.13}$$

ان معدل قيمة $\frac{m}{\Delta L}$ يمكن الحصول عليه من ميل الخط المستقيم ويساوي $\frac{BC}{AC}$.
وبالتعويض بالقيم المناسبة لكل من الطول L والتعجيل الارضي g والقطر d يمكن ايجاد قيمة معامل يونك.

11 – 5 معامل القص (معامل الجساءة) Shear Modulus (S)

يعرف معامل القص على انه نسبة اجهاد القص الى انفعال القص ، اي ان :

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$$S = \frac{F/A}{\phi} \quad \text{.....} \quad (5.14)$$

$$= \frac{F/A}{\Delta x/d} \quad \text{.....} \quad (5.15)$$

ووحدة (S) هي نيوتن/م^2 او داين/سم^2 او باوند/انج^2 .

يكون معامل القص أقل قيمة وأقل اهمية من معامل يونك وذلك لانه من السهل جعل ذرات المادة الصلبة تنزلق على بعضها ، بينما تلاقي عمليتا تقريب او تفريق الذرات من بعضها صعوبات كبيرة ، اكبر بكثير مما هي عليه في حالة انزلاق الذرات. ان قيم معامل القص تكون واقعة بين $\frac{1}{2}$ الى $\frac{1}{3}$ من قيم معامل يونك.

5 – 12 معامل تغير الحجم (معامل بولك) Bulk Modulus (B)

ويسمى ايضا بالمعامل الحجمي ويعرف على انه النسبة بين الاجهاد في الموائع (اي التغير في الضغط المسلط عليها) الى الانفعال الناظر له (اي التغير النسبي في حجم المائع) ، اي ان:

$$B = \frac{-\Delta P}{\Delta V / V} \quad \text{.....} \quad (5.16)$$

ليس باستطاعتنا ايجاد قيم معاملات يونك ومعامل القص للموائع ، لان الموائع تستطيع فقط مقاومة الانكباس. الاشارة السالبة تعني ان زيادة (او نقصان) الضغط المسلط على المائع يولد نقصاناً (او زيادة) في حجم المائع. اما وحدة المعامل الحجمي فهي وحدة الضغط.

5 – 13 معامل الانضغاطية Compressibility (K)

ويعرف على انه مقلوب معامل بولك ، اي ان:

$$K = \frac{1}{B} \quad \text{.....} \quad (5.17)$$

الجدول (5.1) يحتوي على قيم معاملات يونك ومعامل القص ومعامل بولك لبعض المواد المعروفة .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الجدول (5.1) : معاملات يونك والقص وبولك لبعض المواد.

المادة	معامل يونك $(\times 10^{10} N/m^2)$	معامل القص $\times 10^{10} N/m^2$	معامل بولك $\times 10^{10} N/m^2$
الالمنيوم	7.1	2.4	7.7
النحاس	12	4.5	14
الزجاج	5.5	2.3	5
الرصاص	1.8	0.8	4.3
النيكل	21	7.6	18
بوليستيرين	0.14		
حديد الصلب	20		
حديد مطاوع	19		
تكستن	35		

اما الجدول (5.2) فيبين قيم معامل بولك لبعض السوائل عند درجة حرارة (20°C).

الجدول (5.2) : معامل بولك لبعض السوائل

السائل	معامل بولك $10^{-10} N/m^2$
الكحول الاثيلي	0.9
النيترين	1.05
الكيروسين	1.3
الماء	2.3
الزئبق	26

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

5–14 نسبة بواسون Poisson's Ratio (σ)

عندما يتعرض جسم الى تأثير قوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه (قوى سحب) فانه يستطيل (اي يزداد طوله) باتجاه قوى السحب وينكمش او يتقلص بالاتجاه العمودي اي يقل عرضه او سمكه ، والعكس صحيح. ان النسبة بين التغير الجانبي الى التغير الطولي يعبر عنه بـ نسبة بواسون. وهي ثابت مرونة مهم، وتكون خالية من الوحدات.

ان الانفعال الناتج باتجاه قوى السحب او الكبس يسمى بالانفعال الطولي Longitudinal اما الانفعال الناتج باتجاه عمودي على اتجاه القوى المسلطة فيسمى بالانفعال الجانبي او العرضي Lateral . والانفعالان كلاهما يعتمدان على الاجهاد المسلط ونوع مادة الجسم.تكون النسبة بين المطاوعة الجانبية والمطاوعة الطولية لمادة ما ثابتة ويطلق عليها اسم نسبة بواسون ، اي ان :

$$\sigma = \frac{-\Delta\omega/\omega o}{\Delta L / L_o} \qquad \ldots\ldots 5.18$$

$$\Delta\omega = \omega - \omega o$$

$$\Delta L = L - Lo$$

تشير الاشارة السالبة الى حقيقة ان الزيادة الحاصلة في طول الجسم نتيجة قوى السحب يصاحبها دائماً نقصان في عرض او سمك الجسم والعكس صحيح. ان وجود الاشارة السالبة بضمن الحصول على القيم الموجبة لنسبة بواسون. تكون القيمة العددية لنسبة بواسون لمعظم المواد حوالي (0.3). الجدول (5.3) يوضح قيم نسبة بواسون لعدد من المواد المعروفة.

5–15 قياس نسبة بواسون Determination of Poisson's Ratio

يمكن تحديد قيمة نسبة بواسون للمطاط باستخدام الجهاز المبين في الشكل (5.18) ، والذي يتكون من انبوب من المطاط ذي سمك قليل طوله حوالي 100 cm وقطره حوالي 2cm. يتصل بنهايته السفلى المغلقة قاعدة لحمل الاثقال. اما النهاية العليا فغالباً ما تغلق بقطعة مطاط يمر خلالها انبوبة شعرية ذات مقطع عرضي منتظم. يملأ الانبوب وجزء من الانبوبة الشعرية بالماء. يثبت الجهاز على مسند صلب. عند وضع الاثقال على الحامل

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

الجدول (5.3) : نسبة لوايون لبعض المواد.

المادة	نسبة بواسون
الالمنيوم	0.33
النحاس	0.36
الرصاص	0.40
الزجاج العادي	0.23
الفولاذ (اللتين)	0.26
المطاط الصلب	0.43

يزداد طول الانبوب ، وسيزداد تبعاً لذلك الحجم الداخلي للانبوب ، وينخفض مستوى الماء في الانبوبة الشعرية . يمكن تحديد مقدار الزيادة في طول الانبوب بوضع علامة عند النقطة x وقياس المسافة بين النقطتين x و x قبل وبعد وضع الاثقال . كما يمكن تحديد قيمة انخفاض الماء في الانبوبة الشعرية C باستخدام الميكروسكوب المتحرك .

يمكن كتابة الحجم الداخلي للانبوب V بالصيغة الاتية :

$$V = AL$$

اذ ان A تمثل مساحة المقطع العرضي الداخلي للانبوب و L تمثل طول الانبوب فاذا فاضلنا الحجم V والمساحة A نسبة الى الطول L نجد ان

$$\frac{dV}{dL} = \frac{dA}{dL} L + A \qquad \ldots\ldots 5.19$$

ان الاشارة السالبة تعني ان A تقل بزيادة L .

وبما ان

$$A = \pi r^2$$

حيث ان r تمثل نصف قطر الانبوب

فان

$$dA = 2\pi r\, dr$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

وبقسمة الطرفين على المساحة A نجد ان :

$$\frac{dA}{A} = \frac{2\pi r dr}{\pi r^2} = \frac{2dr}{r}$$

اي ان

$$dA = 2A\frac{dr}{r} \qquad \text{..... 5.20}$$

وبالتعويض عن قيمة dA في المعادلة (5.19) وترتيبها نحصل على

$$\frac{dV}{dL} = \frac{-(2Adr/r)}{dL/L} + A \qquad \text{..... 5.21}$$

وبما ان

$\frac{dr}{r}$ يمثل الانفعال العرضي

و

$\frac{dL}{L}$ يمثل الانفعال الطولي

وان

$$\text{نسبة بواسون} = \frac{\text{الانفعال العرضي}}{\text{الانفعال الطولي}}$$

اي ان

$$\frac{dr/r}{dL/L} = \sigma \qquad \text{..... 5.22}$$

اي ان

$$\frac{1}{A}\frac{dV}{dL} = -2\sigma + 1$$

$$\sigma = \frac{1}{2}\left[1 - \frac{1}{A}\frac{dV}{dL}\right] \qquad \text{..... 5.23}$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

يمكن ايجاد مقدار التغير في الحجم dV من معرفة نصف قطر الانبوبة الشعرية ، ولتكن $\dot{r}$ ومقدار هبوط مستوى الماء في الانبوبة الشعرية ولتكن dx ، اي ان

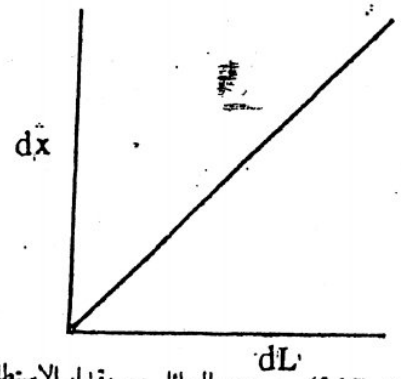
$$dV = \pi \dot{r}^2 dx$$

وعليه فان

$$\sigma = \frac{1}{2}\left[1 - \frac{1}{\pi r^2}\,\frac{\pi \dot{r}^2 dx}{dL}\right]$$

$$\sigma = \frac{1}{2}\left[1 - \frac{\dot{r}^2}{r^2}\,\frac{dx}{dL}\right] \qquad \ldots\ldots 5.24$$

المعادلة الاخيرة توضح امكانية استخدام معدل عدة قراءات بين مقدار هبوط مستوى السائل في الانبوبة الشعرية dx ومقدار استطالة الانبوب dL وذلك من رسم العلاقة بينها وكما في الشكل (5.15) . ان ميل الخط المستقيم يمثل معدل $\frac{dx}{dL}$ ومن معرفة قيمة $\dot{r}$ و r يمكن ايجاد قيمة نسبة بواسون (σ) .



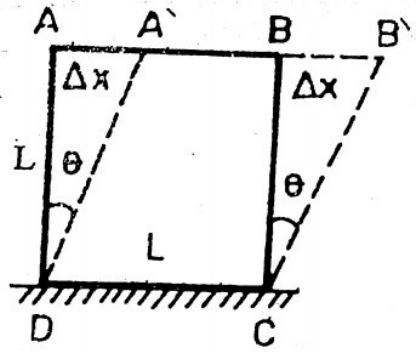
الشكل (5.15) . مستوى السائل مع مقدار الاستطالة .

5–16 معامل الصلابة Modulus of Rigidity (n)

يعرف معامل الصلابة على انه نسبة القوة المماسية المسلطة على جسم لوحدة المساحة الى التشوة الزاوي الذي سببته تلك القوة .

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

لو اخذنا المكعب المبين في الشكل (5.16) ABCD . فاذا ثبت الوجه الاسفل DC بقوة الى قاعدة ثابتة ، وسلطت قوة مماسية مقدارها F على الوجه الاعلى للمكعب AB . فإن المكعب ABCD سيعاني تشوهاً وسيأخذ شكل متوازي الاضلاع $\grave{A}\grave{B}CD$. فاذا كان الطول الاصلي لطول ضلع المكعب يساوي L وان Δx تمثل الازاحة $\grave{A}A$ والتي تساوي الازاحة $\grave{B}B$ ، فانه يمكن التعبير عن الانفعال القصي بالمعادلة الآتية :



الشكل (5.16): حساب معامل الصلابة.

$$\theta = \frac{\Delta x}{L}$$

اما الاجهاد المماسي فانه يمكن كتابته بالصيغة الآتية :

$$= \frac{F}{L^2}$$

وعليه فان معامل الصلابة سيكون مساوياً الى

$$n = \frac{F/L^2}{\theta} \qquad \ldots\ldots\ldots 5.25$$

$$= \frac{F/L^2}{\Delta x/L}$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$$n = \frac{F/L^2}{\Delta x/L}$$

وبالتعويض في المعادلة عن قيمة n نحصل على قيمة القوة المماسية لوحدة المساحة ، اي ان

$$F/L^2 = \frac{n\Delta x}{L} \qquad \text{..... 5.26}$$

اما قيمة عزم المزدوج G المسلط على جهتي قطعة اسطوانية طولها L ونصف قطرها r فانه يعطى بالعلاقة الآتية :

$$G = \frac{\pi r^4}{2L}\theta$$

وقد ترك الإشتقاق كتمرين محلول (مثال رقم 5.9) .

17 – 5 ثابت الليّ Torsional Constant (τ)

ويعرف على انه عزم الدوران اللازم لانجاز برم (لي) لاحدى نهايتي المادة بمقدار زاوية نصف قطرية واحدة نسبة الى النهاية الاخرى الثابتة . الشكل (5.17) يوضح قضيباً او اسطوانة طولها (L) وقطرها (d) تثبت احدى نهايتيها بصورة محلدة ، يؤثر على نهايتها الاخرى عزم ليّ مقداره G ، فتدور النهاية السفلى للقضيب خلال زاوية قتل مقدارها (θ) . اي ان الخط الشعاعي (AB) سوف يتحرك الى الوضع الجديد الممثل بالخط AC . تعتمد زاوية الفتل (θ)° على طول القضيب وقطره وعلى معامل الجسوة لمادته . يمكن حساب ثابت الليّ في حالة الدوران (التشويه) الصغير من المثلث (ABC) . وحسب المعادلة الاتية :

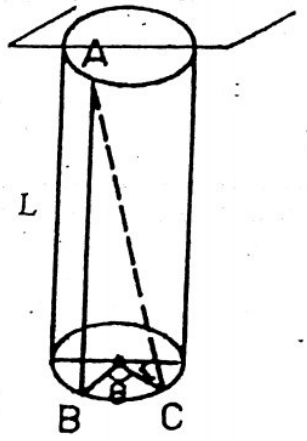
$$G = \tau\theta \qquad \text{..... 5.28}$$

حيث ان τ تمثل ثابت الليّ للاسطوانة Torsional Constant

ان لثابت الليّ علاقة بطول الاسطوانة ونصف قطرها وثابت الصلابة لمادة الاسطوانة تعطى بالعلاقة الآتية :

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

$$= \frac{\pi n r^4}{2L} \qquad \ldots\ldots 5.29$$



الشكل (5.17): حساب ثابت اللّي.

ان الانفعال القصي في حالة اللّيّ يساوي $(\frac{BC}{AB})$ ، اذ تمثل AB طول القضيب و BC الطول الذي فتل بوساطته القضيب ، وهذا الطول يساوي $(r \times \theta)$ و r تمثل نصف القطر، وعليه فان الانفعال هنا

$$N_s = \frac{\theta}{L} r \qquad \ldots\ldots 5.30$$

ان الزاوية المستخدمة هنا هي زاوية نصف قطرية . وسنتطرق الى هذا الموضوع بشيء من التفصيل في الفقرات اللاحقة .

5 – 18 الشغل والانفعال The Work and Strain

تعتمد علاقة الشغل الذي يبذل لاحداث إنفعال ماعلى نوع الانفعال . وسنتناول الحالات الرئيسة الآتية :

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

وتتمثل هذه الحالة في سحب (شد) سلك مابقوة . ان القوة المعاكسة للشد تتناسب مع مقدار الاستطالة . فاذا كان مقدار الاستطالة (δL) والقوة المعاكسة (F) ، فان الشغل المبذول لزيادة الطول من(L) الى ($L+\delta L$) يعطى بالصيغة الآتية :

$$\delta W = F\,\delta L \qquad \ldots\ldots 5.31$$

فاذا كانت L تمثل الطول الاصلي للسلك و A تمثل مساحة المقطع العرضي له فانه يمكن التعبير عن معامل يونك Y بالمعادلة الآتية :

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

أو

$$F = Y\,.\,\frac{A\Delta L}{L}$$

وعليه فان الشغل δW سيكون

$$\delta W = \frac{YA}{L}\,\Delta L\;dL \qquad \ldots\ldots 5.32$$

يمكن ايجاد مقدار الشغل المبذول في زيادة الطول بمقدار ΔL من تكامل المعادلة (5.32) ، اي ان

$$\int \delta W = \frac{YA}{L}\int_0^{\Delta l} \Delta L\;dL$$

$$W = \frac{YA}{L}\,\frac{(\Delta L)^2}{2}$$

$$W = Y\,.\,\frac{A\Delta L}{L}\,.\,\frac{\Delta L}{2}$$

$$W = \frac{1}{2}\,F\,\Delta L \qquad \ldots\ldots 5.33$$

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner

وهذا يعني ان الشغل المبذول عند تسليط قوة مقدارها F وتحدث استطالة مقدارها ΔL يكون مساوياً الى نصف القوة مضروباً في مقدار الاستطالة .

اما الشغل المنجز لوحدة الحجم W_v فانه يمكن ايجاده بالقسمة على حجم السلك والمساوي الى (AL) أي ان :

$$W_v = \frac{1}{2} F \cdot \Delta L/aL$$

$$W_v = \frac{1}{2} \quad \frac{F}{a} \quad \frac{\Delta L}{L} \qquad \text{..... 5.34}$$

وبما ان $\frac{F}{A}$ و $\frac{\Delta L}{L}$ تمثلان الاجهاد والانفعال على الترتيب فان الشغل المبذول لوحدة الحجم سيكون مساوياً الى

$$= \frac{1}{2} \text{ الاجهاد} \times \text{الانفعال}$$

اي ان

$$W_v = \frac{1}{2} \text{ Strees} \times \text{ Strain} \qquad \text{..... 5.35}$$

5 – 18 – 2 الانفعال الحجمي The Volume Strain

اما في حالة الانفعال الحجمي فان الاجهاد الذي يسببه الضغط المنتظم على الجسم ، P سوف يتناسب طردياً مع مقدار الانكماش δV في الحجم ، اي ان

$$\delta W = P \delta V \qquad \text{..... 5.36}$$

فاذا اثر ضغط مقداره P على مساحة مقدارها A وازيحت هذه المساحة مسافة مقدارها dx ، فان مقدار الشغل المنجز، سيكون مساوياً الى

$$W = PAdx = P\,\delta V$$

فاذا كان الحجم الاصلي V فان معامل بولك سيأخذ الصيغة الآتية :

الممسوحة ضوئيا بـ CamScanner