



مفاهيم أساسية في الهيدروليك

1-1. تعاريف:

ميكانيك الموائع: هو علم يعنى بدراسة سلوك الموائع من سوائل وغازات في حالة الحركة والسكون. وهو علم واسع جداً يجيب على عدد كبير من التساؤلات.

المائع: هو مادة يمكن لها أن تندفق، أي أن لكل جزء من جزيئاتها القدرة على الحركة بالنسبة لجزء آخر. وهو لا يمتاز بالمرنات تجاه إجهادات القص التي يتعرض لها. لذلك فهو يتشوه تحت تأثيرها، ولا يملك إمكانية الرجوع إلى هيئته الأصلية عند زوال هذا التأثير.

يمكن تقسيم الموائع إلى قسمين :

- **السوائل:** لها حجم ثابت من أجل كتلت معينة وقابليتها للانضغاط ضئيلة، وتشكل دوماً سطحاً حراً (سائياً) فيما لو تم حصرها في وعاء.
- **الغازات:** تتميز بقابليتها للانضغاط، وفي حال حصرها ضمن وعاء تتمدد لتملأ كامل الوعاء دون أن تشكل سطحاً سائياً محددًا.

2-1. ميكانيك السوائل (الهيدروليك):

هو فرع من ميكانيك الموائع يهتم بحركة وتوازن السوائل فقط، ويعتمد في تحليل سلوك سائل معين على القوانين الأساسية للميكانيك التطبيقي، مثل معادلات انحفاظ الكتلة والطاقة وكمية الحركة وغيرها من المفاهيم والمعادلات. إلا أنه يوجد خاصيتين رئيسيتين للهيدروليك تختلف عن ميكانيك الأجسام الصلبة وهما:

- طبيعت السائل نفسه وصفاته التي تختلف اختلافاً كبيراً عن تلك العائدة للجسم الصلب.
- عوضاً من التعامل مع أجسام منفردة أو عناصر محددة الكتلة فنحن بصددراسة سلوك جريان لسائل مستمر بدون بدايت أو نهايت.

يصعب مجمل اهتمام المهندسين المدنيين على سائل وحيد هو الماء وذلك بسبب استخدامه في أغلب المنشآت الهيدروليكية.

3-1. الأبعاد والواحدات:

نظم الأبعاد: يوجد عملياً نظامان للأبعاد هما:

- النظام الأول MLT ويشير إلى الكتلة M والطول L والزمن T ، إضافة لدرجة الحرارة θ .
- النظام الثاني FLT وهو نظام مشتق من النظام الأول ويشير إلى القوة F والطول L والزمن T ، إضافة لدرجة الحرارة θ .

حيث أن أبعاد القوة حسب النظام الأول هي $F = \frac{M \cdot L}{T^2}$ ، وأبعاد الكتلة حسب النظام الثاني هي $M = \frac{F \cdot T^2}{L}$.

نظم الوحدات:

يستعمل في الهندسة نظاما قياس هما : النظام العالمي (SI) والنظام البريطاني (BS) حيث يعبر في النظام العالمي عن الطول بالمتر، والزمن بالثانية، والكتلة بالكيلو غرام، والقوة بالنيوتن، والعمل بالجول،.... وبالنسبة لدرجة الحرارة فيعبر عنها بالكيلفن الذي يعطى بالعلاقة :

$$K = C^{\circ} + 273.15$$

ورغم أن مقياس السيليسوس لا ينتمي للوحدات الدولية إلا أنه يستخدم بشكل شائع ضمنها. أما النظام البريطاني فيعبر عن الطول بالقدم، والزمن بالثانية والقوة بالباوند... وسوف نستخدم في هذا المقرر وحدات النظام العالمي. حيث الوحدات الأساسية هي المتر والثانية والكتلة، ويمكن اشتقاق كافة الوحدات الأخرى منها.

أمثلة:

واحد الضغط في النظام العالمي	واحدة القوة في النظام العالمي
$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{Kg}{m * s^2}$	$N = \frac{Kg * m}{s^2}$
واحدة العزم في النظام العالمي	واحدة الاستطاعة في النظام العالمي
$J = N * m = \frac{Kg * m^2}{s^2}$	$W = \frac{J}{s} = \frac{N * m}{s} = \frac{Kg * m^2}{s^3}$

4-1. الخواص الفيزيائية للسائل:

الكتلة النوعية (الكثافة) Density:

تعرف بأنها كتلة واحدة الحجم من السائل، ويرمز لها بـ ρ وتعطى بالعلاقة:

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

حيث : M هي كتلة السائل أما V هي حجم السائل ويعبر عن الكثافة في جملة الوحدات الدولية بالوحدة Kg/m^3 .

تتأثر الكتلة النوعية للغازات بشكل كبير بتغير درجة الحرارة والضغط المطبق، أما في السوائل فأن تأثيرهما يكون ضئيلاً جداً حيث تبلغ الكتلة النوعية للماء $\rho = 1000Kg/m^3$ وذلك عند درجة الحرارة $C = 4^{\circ}$ في حين تصبح حوالي

$$\rho = 960Kg/m^3 \text{ وذلك عند درجة الحرارة } C = 100^{\circ}.$$

الكثافة النسبية (الثقل النوعي) SG:

وهي تساوي النسبة ما بين الكتلة النوعية للسائل والكتلة النوعية للماء عند درجة الحرارة $C = 4^{\circ}$ وتعطى بالعلاقة:

$$SG = \rho / \rho_{H_2O}$$

الكثافة النوعية للماء $\rho = \rho_{H_2O} / \rho_{H_2O} = 1$ ، الكثافة النوعية للزئبق $\rho = \rho_{Hg} / \rho_{H_2O} = 13.6$ وبناءً على ما سبق فإنه إذا كان:

- $SG < 1$ فالسائل أخف من الماء.

- $SG > 1$ فالسائل أثقل من الماء.

الوزن النوعي Specific Weight:

يعرف بأنه وزن وحدة الحجم من السائل ويرمز له بـ γ ويعطى بالعلاقة: $\gamma = \frac{W}{V} (N/m^3)$ حيث W وزن السائل.

يرتبط الوزن النوعي γ مع الكتلة النوعية ρ بالعلاقة: $\gamma = \rho * g$

إن الكتلة النوعية للسائل ρ قيمة مطلقة بالنسبة لسائل عند درجة حرارة معينة، حيث أنها تعتمد على الكتلة ولا تعتمد على الموقع، في حين أن الوزن النوعي يعتمد قيمته على تسارع الجاذبية الأرضية لذلك فهو يتغير من موقع لآخر تبعاً لخط العرض والارتفاع عن سطح البحر، وبفرض أن $g = 9.81 m/s^2$ فإن الوزن النوعي للماء عند $C = 4^0$ يساوي:

$$\gamma = \rho * g = 9.81 * 1000 = 9810 N/m^3$$

اللزوجة Viscosity:

هي الخاصية التي يقاوم بها السائل قوى القص أو التشوه الزاوي الذي يتعرض لهما. وتناثر لزوجة السائل تأثيراً كبيراً بدرجة حرارته. فمع زيادة الحرارة تنخفض لزوجة جميع السوائل، لأن قوى التماسك تتناقص مع ارتفاع الحرارة، ويعطى إجهاد القص وفق الدستور:

$$\tau = \mu * \frac{du}{dy}$$

الذي يميز السوائل النيوتونية عن غيرها (في السوائل النيوتونية يتناسب الإجهاد المماسي مع تدرج السرعة بشكل خطي ومن السوائل النيوتونية لدينا الماء والهيوث ...).

حيث يقاس τ بـ $(Pa, N/m^2)$ أما بالنسبة لوحد μ اللزوجة التحريكية فسنعوم باستنتاج واحدتها كما يلي:

$$\tau = \mu * \frac{du}{dy} \Rightarrow \frac{N}{m^2} = \mu * \frac{m/sec}{m} \Rightarrow \mu = \frac{N * sec}{m^2} = \frac{Kg}{m * sec} = Pa * sec$$

ويوجد علاقة بين اللزوجة التحريكية واللزوجة الحركية هي: $U = \frac{\mu}{\rho}$: $U (m^2/sec)$

مسألة: إذا علمت أن اللزوجة الحركية للنفط هي $U = 7.6 * 10^{-6} m^2/sec$ وأن الكتلة النوعية $\rho = 786 Kg/m^3$ والمطلوب حساب اللزوجة التحريكية μ .

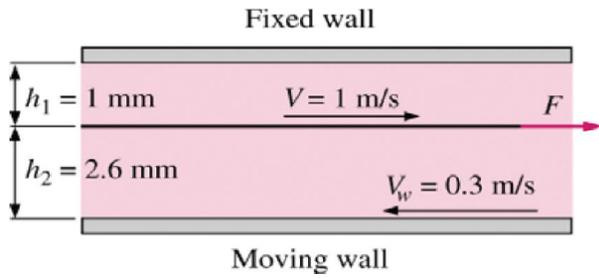
الحل:

نقوم بتطبيق علاقة اللزوجة التحريكية التالية:

$$U = \frac{\mu}{\rho} \Rightarrow \mu = U * \rho = 7.6 * 10^{-6} * 786 = 597 * 10^{-5} Kg/m * sec$$

مسألة: (تشبه المسألة 6 صفحة 50)

صفحة رقيقة أبعادها $20 * 20 cm$ تتحرك أفقياً بسرعة $v = 1 m/sec$ حيث أن الصفحة العلوية ثابتة والسطح السفلي متحرك بسرعة $v = 0.3 m/sec$ والفراغ بين الصفحتين مملوء بسائل لزوجة التحريكية $\mu = 0.027 pa * sec$ وبفرض أن توزيع السرعة خطي والمطلوب:



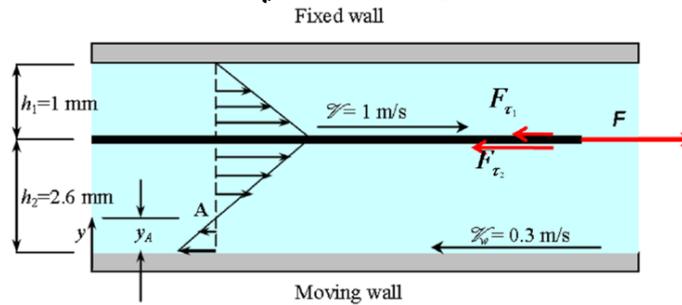
- رسم مخطط توزيع سرعت الجريان، وإيجاد مكان انعدام السرعة.
- أوجد القوة الواجب تطبيقها (\vec{F}) على الصفيحة لتتمكن من الحركة وفق السرعة المذكورة سابقاً.

قبل الحل:

في السوائل النيوتونية: - يتناسب الإجهاد المماسي مع تدرج السرعة بشكل خطي
- يمكن تطبيق قانون الإجهاد الموجود بالمخاضرة.

الجريئات الملامسة لصفيحة تتحرك بنفس سرعتها (سواء كانت متحركة أو ساكنة).
الحل:

نرسم أولاً مخطط توزيع السرعة. وذلك وبفرض أن توزيع السرعة خطي (من نص المسألة)



إيجاد نقطة انعدام السرعة: (ارتفاع النقطة أو بعدها عن المحور x): وسيتم ذلك بالاعتماد على تشابه المثلثات.

$$\frac{1}{2.6 - y} = \frac{0.3}{y} \Rightarrow y = 0.78 - 0.3y \Rightarrow y = 0.6mm$$

إيجاد القوة الواجب تطبيقها على الصفيحة لتتمكن من الحركة وفق السرعة المذكورة.

بما أن السرعة ثابتة فالتسارع معدوم وبممكننا أن نكتب عندها من قانون نيوتن مايلي:

$$\sum F = m * a ; a = 0 \Rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\Rightarrow F - (F_{\tau_1} + F_{\tau_2}) = 0 \Rightarrow F = F_{\tau_1} + F_{\tau_2}$$

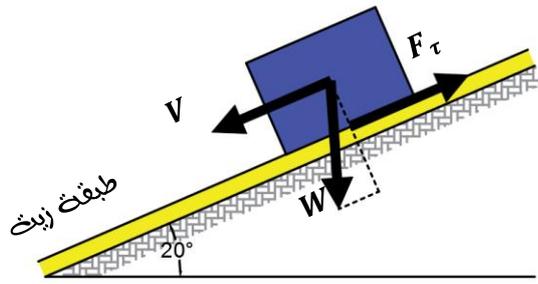
$$F_{\tau_1} = \tau * A ; \tau = \mu * \frac{du}{dy}$$

$$F_{\tau_1} = 0.027 * \frac{1 - 0}{1 * 10^{-3}} * (0.2 * 0.2) = 1.08 N$$

$$F_{\tau_2} = 0.027 * \frac{1 - (-0.03)}{2.6 * 10^{-3}} * (0.2 * 0.2) = 0.54 N$$

$$\Rightarrow F = 1.08 + 0.54 = 1.62 N$$

مسألة:



مكعب وزنه $W = 1.1 \text{ KN}$ طول حرفه $l = 250 \text{ mm}$ ينزلق على طبقة رقيقة من الزيت سماكتها 0.006 mm موضوعة على سطح يميل بزاوية 20° عن الأفق، افترض توزيع السرعة على طبقة الزيت خطي والمطلوب:
 • حساب سرعة انزلاق المكعب v . علماً أن اللزوجة التريبيكية للزيت $\mu = 7 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m}\cdot\text{sec}$.

الحل:

بما أن سرعة المكعب ثابتة فالتسارع معدوم ويمكننا أن نكتب عندها من قانون نيوتن مايلي:

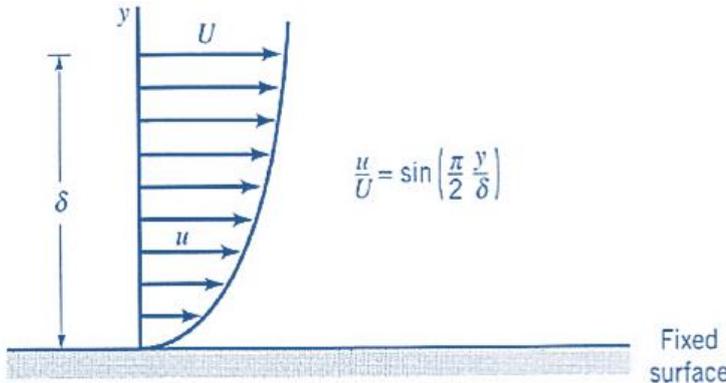
$$\sum F = m \cdot a ; a = 0 \Rightarrow \sum F_x = 0$$

$$\Rightarrow F_\tau = W \cdot \sin 20 = 1.1 \cdot 10^3 \cdot \sin 20 = 376.2 \text{ N}$$

$$F_\tau = \tau \cdot A = \mu \cdot \frac{du}{dy} \cdot A \Rightarrow 3.762 = 7 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{u - 0}{0.006 \cdot 10^{-3}} \cdot (0.25 \cdot 0.25)$$

$$\Rightarrow u = 5.16 \text{ m/sec}$$

مسألة: (5 صفحات 50)



سائل يتدفق على صفيحة ثابتة، توزيع سرعة الجريان كما في الشكل فإذا علمت أن:
 $\rho = 920 \text{ Kg/m}^3$ ، $\nu = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{sec}$
 أثبت أن إجهاد القص المؤثر على الصفيحة هو

$$\tau = 0.578 \left(\frac{U}{\delta} \right)$$

حيث معادلت المنحني: $\frac{u}{U} = \sin \left(\frac{\pi y}{2 \delta} \right)$
 u : السرعة عند أي الارتفاع.

الحل:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} (*)$$

السائل نيوتوني لذلك يمكننا كتابة مايلي:

$$\mu = \nu \cdot \rho = 920 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0.368 \frac{\text{N} \cdot \text{sec}}{\text{m}^2}$$

وبما أن معادلت منحنى السرعة معطاة عندنا لذلك نقوم باشتقاقها ونعوض بالعلاقة (*) حيث:

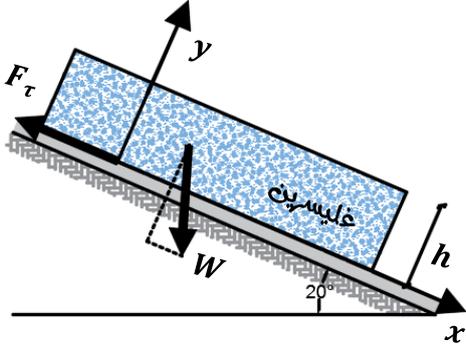
$$\frac{du}{dy} = U \frac{\pi}{2 \cdot \delta} \cdot \left(\cos \frac{\pi y}{2 \delta} \right)$$

ينشأ إجهاد القص عن احتكاك السائل بالصفيحة لذلك يمكننا أن نحسب قيمته عند سطح الصفيحة ($y = 0$).

$$\tau = 0.368 * U \frac{\pi}{2 * \delta} * \left(\cos \frac{\pi y}{2 \delta} \right) \Big|_{y=0} \Rightarrow \tau = 0.368 * U \frac{\pi}{2 * \delta}$$

$$\Rightarrow \tau = 0.578 \frac{U}{\delta}$$

مسألة: (7 صفحة 50)



طبقت رقيقة من الغليسيرين سماكتها $h = 7.5 \text{ mm}$ تتدفق على صفيحة ملساء، تميل عن الأفق بزاوية $\alpha = 20^\circ$ ، احسب السرعة U عند سطح الغليسيرين إذا علمت أن معادلت توزيع سرعة الجريان يعطى بالعلاقة: $\frac{u}{U} = 2 \frac{y}{h} - \frac{y^2}{h^2}$. ادرس المسألة في وحدة العرض.

الحل:

نأخذ حجم تحكم بأبعاد $(7.5 * 1 * 1)$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_\tau = W * \sin 20 \Rightarrow \tau * A = \gamma * V * \sin 20$$

$$\Rightarrow \tau * (1 * 1) = \gamma * (h * 1 * 1) * \sin 20 \Rightarrow \tau = \gamma * h * \sin 20 \quad (*)$$

$$\tau = \mu * \frac{du}{dy} \quad (**)$$

ولدينا أيضاً:

ومن نص المسألة يمكننا أن نكتب $u = 2 \frac{U*y}{h} - \frac{U*y^2}{h^2}$ وإذا قمنا بالاشتقاق نحصل على:

$$\frac{du}{dy} = 2 \frac{U}{h} - 2 \frac{U * y}{h^2}$$

$$y = 0 \Rightarrow \frac{du}{dy} = 2 \frac{U}{h} \quad \text{وسنحسب قيمة المشتق عند } y = 0 \text{ (لماذا؟)}$$

وبالتعويض في (**), (*) سنجد:

$$\mu * 2 \frac{U}{h} = \gamma * h * \sin 20 \Rightarrow U = \frac{\gamma * h^2 * \sin 20}{2 * \mu}$$

قوى التوتر السطحي:

هي القوى التي تمكن قطرة الماء من التكوّر، وهي سبب صعود الماء بالخاصية الشعرية "ارتفاع أو هبوط سائل ضمن أنبوب شعري"، يرمز للتوتر السطحي بالرمز σ أما واحدته فهي (N/m) .

إذا أردنا حساب الارتفاع الشاقولي لصعود المياه بالخاصية الشعرية عندها يمكننا استخدام القانون التالي:

$$h = \frac{4 * \sigma * \cos \alpha}{\gamma * d}$$

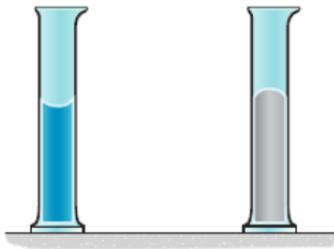
α : زاوية التبلل

d : قطر الأنبوب

حيث: h : ارتفاع الماء في الأنبوب الشعري

مسألة:

نغمس أنبوت شعيرة قطرها 1 mm مرتين، مرة في حوض من الماء ومرة في حوض من الزئبق والمطلوب:



• احسب h ، علماً أن ($\alpha_{\text{الماء}} = 0$ و $\alpha_{\text{للزئبق}} = 130$) وهل يتغير الارتفاع

إذا كانت الأنبوت مائلت. علماً أن: $\sigma_{H_2O} = 0.0751 \text{ N/m}$

$\rho_{Hg} = 13.6 * 10^3 \text{ Kg/m}^3$, $\sigma_{Hg} = 0.45 \text{ N/m}$

الحل:

$$h_{H_2O} = \frac{4 * \sigma * \cos \alpha}{\gamma * d} = \frac{4 * 0.075 * \cos 0}{10^3 * 9.81 * 1 * 10^{-3}}$$

$$h_{H_2O} = 0.031 \text{ m} = 31 \text{ mm}$$

$$h_{Hg} = \frac{4 * 0.45 * \cos 130}{13.6 * 10^3 * 9.81 * 1 * 10^{-3}}$$

$$h_{Hg} = -0.0086 \text{ m} = -8.6 \text{ mm}$$

لا يتغير الارتفاع إذا قمنا بتميل الأنبوت وذلك لأن α زاوية التماس لا علاقت لها بميل الأنبوت، وهذا الأمر مفيد لأن الفراغات في الترت ليست شاقوليت وإنما ذات مسارات متعرجت.

مسألة:

احسب قيمة الضغط ΔP داخل قطرة قطر نصف قطرها R وتوترها السطحي σ .

$$P * A = \sigma * 2\pi R \Rightarrow P * \pi R^2 = \sigma * 2\pi R \Rightarrow P = \frac{2\sigma}{R}$$

انضغاطية السوائل :

تعبّر عن تغير حجم السائل نتيجة تغير الضغط المؤثر فيه، فإذا تعرض السائل لزيادة بالضغط مقدارها ΔP فننتجت لذلك سوف يتغير حجمه بالمقدار dV ، حيث V هو حجم السائل ويمكننا كتابة العلاقة التالية: $dp = -K \frac{dV}{V}$

حيث يمثل K ثابت التناسج ويدعى بمعامل انضغاطية السائل، أما الإشارة السالبة فتوضح أن الحجم يتناقص بازدياد الضغط. كما أن التغير في الحجم من أجل كتلة معطاة سوف ينتج عن التغير في الكثافة النوعية للسائل

$$dp = +K \frac{d\rho}{\rho}$$

وبالتالي تصبح العلاقة السابقة بالشكل :

ملاحظة : إن قابلية السوائل للانضغاط أقل بكثير من قابلية الغازات للانضغاط.

مسألة:

ماهو حجم الماء الذي يمكن أن يوضع إلى خزان ضغط حجمه $V = 0.5 \text{ m}^3$ علماً أن الزيادة في الضغط يجب ألا تتجاوز 1MPa وأن معامل الانضغاطية للماء هو $K = 2.2 * 10^9$.

الحل:

$$(1\text{Mpa} = 10^6\text{pa})$$

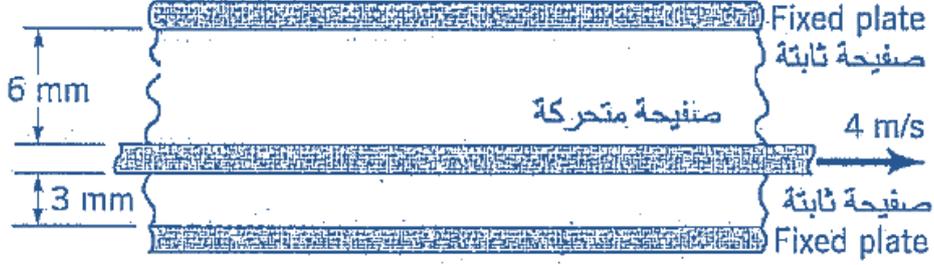
$$dV = \frac{dp * V}{K} = \frac{1 * 10^6 * 0.5}{2.2 * 10^9} = 0.227 * 10^{-3}$$

$$\Rightarrow V = 0.5 + 0.227 * 10^{-3} = 0.500227 \text{ m}^3$$

ملاحظة: المسألة الأخيرة من (المسائل المحلولة و المسائل غير المحلولة) محذوفتان.

تدريب المسائل (6) صفحة 50 في الكتاب

تتحرك صفيحة مستوية بسرعة $u = 4m/s$ بين صفيحتين ثابتتين، كما في الشكل. فاذا علمت أن الفراغ بين الصفيحة العلوية والعلوية والصفيحة المتحركة يساوي $6mm$ ومملوء بسائل لزجته التريكية $\mu_1 = 0.02 Kg/m.s$ أما الفراغ بين الصفيحة السفلية والصفيحة المتحركة فيساوي $3mm$ ومملوء بسائل لزجته التريكية $\mu_2 = 0.01 Kg/m.s$. وبفرض أن توزع السرعة خطي، يطلب حساب إجهاد القص المؤثر على الصفيحتين الثابتتين.



نهاية المحاضرة