الفصل الأول
الخواص الفيزيائية - الميكانيكية للسوائل

مقدمة عامة: إن معرفة الخواص الفيزيائية وخاصة الميكانيكية للسوائل لها أهمية كبيرة في تطبيقات ميكانيك السوائل، الذي يبحث في توازن وحركة وتحريك السوائل. والسوائل هي أجسام مادية مترابطة باستمرار (نظرية الوسط المستمر). ولكنها تتميز عن الأجسام الصلبة بسهولة انزياح جزيئاتها المادية فيما بينها وبالتالي بسهولة تغير أشكالها بحسب المكان الذي يحتويها.

وتختلف السوائل التي تشمل حالة المادة السائلة والغازية عن بعضها البعض بالمقاومة التي تبديها عند تغير الحجم. وعلى هذا الأساس نميز بين سوائل غير قابل للانضغاط "Incompressible" كثافته ثابتة $\rho = const$. وسوائل قابل للانضغاط "Compressible" كثافته تتغير $\rho \neq const$ أي تابعة للضغط ودرجة الحرارة $\rho = f(P,T)$.

أيضاً وقبل البدء في دراسة الخواص المميزة للسوائل لابد من التمييز بين مفهوم:
السائل المثالي والسائل الحقيقي.

السائل المثالي: يتميز بانعدام اللزوجة، غير قابل للانضغاط، أي لا تتغير حجمه عند تأثير قوى خارجية عليه، وهو غير متوفر في الطبيعة بل في كثير من الأحيان يمكن اعتماد السائل المثالي لتسهيل الدراسة أو الحسابات فقط. ويمكن اعتبار الماء أو الهواء سوائل مثالية.

السائل الحقيقي: يُعرف بأنه السائل الذي يتمتع بلزوجة معينة وقابل للانضغاط. وتعتبر كافة الموائع والغازات الموجودة في الطبيعة سوائل حقيقية.

بالإضافة لما تقدم يمكن تصنيف السوائل وفق صفات عامة إلى:

سائل متجانس: "Homogeneous" عندما تكون كل جزيئاته الحجمية تتمتع بنفس الصفات.

سائل غير متجانس: "Heterogeneous" عندما تكون للجزيئات الحجمية صفات مختلفة كماً ونوعاً.

سائل متعدد الطور: عندما يكون السائل مؤلفاً من عدة أطوار "Phase".

Scanned with CamScanner

منفصلة عن بعضها وتمثل الطور مادة (أو مزيجاً من المواد) كل أجزائها لها نفس الصفات الفيزيائية
أمثلة: أجسام صلبة في الماء، الغبار في الهواء.

1-1- الكثافة "Density": هي إحدى الخواص الفيزيائية الهامة للسوائل وتُعرف بأنها
كتلة واحدة الحجم من السائل ويرمز لها بـ ρ

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [Kg/m^3]$$

1-2- الحجم النوعي "Specific-Volume": ويعرف بأنه حجم واحدة الكتلة وبالتالي
يساوي إلى مقلوب الكثافة $\upsilon = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} \quad [m^3/Kg]$

1-3- الوزن النوعي "Specific-Weight": ويعرف بأنه وزن واحدة الحجم من السائل

$$\gamma = G/V \quad [N/m^3]$$

بحسب قانون نيوتن الأساس $G = m \cdot g$ يمكن إيجاد العلاقة ρ ، γ كما يلي:

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} = \frac{m}{V} \cdot g \Rightarrow \boxed{\gamma = \rho \cdot g}$$

أحياناً يقاس الوزن النوعي بواحدة $[Kp/m^3]$ علماً بأن:

$$1\,[Kg_f] \equiv 1\,[Kp] = g \cdot [N] = 9.81\,[N]$$

التسمية	$t[^\circ C]$	$\rho\ [Kg/m^3]$	$\gamma\ [N/m^3]$	$\gamma\ [Kp/m^3]$
ماء	0	999.87	9805.37	999.87
ماء	4	1000	9806.65	1000
بنزين	15	680 - 740	6668.52 - 7256.92	680 - 740
كيروسين	15	790 - 820	7747.25 - 8041.45	790 - 820
نفط خام	15	700 - 900	6864.65 - 8825.98	700 - 900
زئبق	0	13596	133331	13596
زئبق	20	13546	132841	13546

الجدول (1) يبين قيم ρ ، γ لبعض السوائل.

1-4 الانضغاطية "Compressibility" والمرونة "Elasticity": يعبر عن الانضغاطية بمقدار التغير في الحجم تحت
تأثير قوى الضغط على حجم معين V من السائل أو بتعبير آخر يعتبر التغير

Scanned with CamScanner

النسبي للحجم بالنسبة لواحدة الضغط كمقياس لقابلية السائل على الانضغاط ،
ويعرف معامل الانضغاطية K_C عند درجة حرارة ثابتة بالعلاقة :

$$K_C = -\frac{dV/V}{dP}\Big|_{t=const} = -\frac{1}{V}\frac{dV}{dP}\Big|_{t=const} \quad \left[\frac{1}{Pa}\right] ; \left[\frac{m^2}{N}\right] ; \left[\frac{m^2}{Kp}\right]$$

وتدل الإشارة السالبة أن زيادة الضغط تؤدي إلى نقص في الحجم .
أما المرونة فهي عكس الانضغاطية وتعرف بأنها قابلية السائل للعودة إلى حجمه الاصلي وذلك بعد إزالة قوى الضغط المطبقة عليه dP .
يحدد معامل المرونة بالعلاقة :

$$K_E = \frac{1}{K_C} = -V\frac{dP}{dV}\Big|_{t=const} \quad [Pa] ; \left[\frac{N}{m^2}\right] ; \left[\frac{Kp}{m^2}\right]$$

ملاحظات :

أ- يمكن ايجاد علاقات أخرى لمعاملي الانضغاطية والمرونة بدلالة التغير النسبي للكثافة باعتبار أن الكتلة تبقى ثابتة بفعل الانضغاط ($m=const$) وملاحظة أن :

$$V = m \cdot \upsilon \Rightarrow dV = m \cdot d\upsilon$$

وبما أن :

$$d\upsilon = d(1/\rho) = -d\rho/\rho^2$$

وبالتعويض في العلاقة الأساس :

$$K_C = -\frac{1}{m\cdot\upsilon}\frac{m\cdot d\upsilon}{dP} = \rho\frac{d\rho}{\rho^2 \cdot dP} \Rightarrow$$

$$K_C = \frac{1}{\rho}\frac{d\rho}{dP} \quad ; \quad K_E = \rho\frac{dP}{d\rho}$$

والإشارة الموجبة هنا تدل على أن الكثافة تزداد بازدياد الضغط .

ب- في حالة السوائل غير القابلة للانضغاط نسبياً $\rho \approx const$ يمكن استبدال التفاضل d بالفرق Δ فتصبح العلاقات السابقة :

$$K_C = -\frac{1}{V}\frac{\Delta V}{\Delta P}\Big|_{t=const} \quad ; \quad K_E = -V\frac{\Delta P}{\Delta V}\Big|_{t=const} .$$

فعندما يطرأ تغير في الضغط $\Delta P = P_2 - P_1$ يقابله تغير في الحجم $\Delta V = V_2 - V_1$
ومن أجل نوع معين من السائل تكون قيمة K_C ثابتة فإن :

$$V_2 \approx V_1(1 - K_C \cdot \Delta P)$$

Scanned with CamScanner

أو $$\rho_2 = \frac{\rho_1}{(1 - K_c \cdot \Delta p)}$$

حيث: p_2, p_1 تغير الضغط من الحالة (1) إلى الحالة (2)

V_1, V_2 الحجم البدائي والحجم الجديد على الترتيب

ρ_1, ρ_2 كثافة السائل عند الضغوط p_1, p_2 على الترتيب.

٢- يستفاد من خاصية المرونة للسوائل في النوابض الهيدروليكية أو الهوائية (البنيوماتيكية) وتشبه من حيث تخنيها المميز النوابض المعدنية (القاسية أو اللينة) ويبين الجدول (2) قيم معامل المرونة لبعض السوائل والأجسام الصلبة:

السائل أو الجسم الصلب	K_E [KP/cm²]
البنزين	9100
الماء	21100
الكيروسين	14050
الزئبق	330000
الألمنيوم	700 000
الفولاذ	2 300 000

الجدول (2) قيم معامل المرونة K_E

بمقارنة قيم K_E للسوائل والأجسام الصلبة في الجدول السابق نستنتج أن السوائل المائعة أكثر مرونة من الأجسام الصلبة والسوائل الغازية هي أكثر مرونة من السوائل.

1-5- التمدد الحراري للسوائل: إن السوائل والغازات شأنها شأن الأجسام الصلبة تتمدد بالحرارة وتتقلص بالبرودة. ويعبر عن ذلك بمعامل التمدد الحراري K_T وهو عبارة عن مقدار التغير في حجم المائع أو الغاز عند تغير درجة حرارته بمقدار درجة مئوية واحدة وذلك من أجل قيمة معينة للضغط:

$$K_T = \frac{1}{V} \frac{dV}{dT}\Big|_{P=const} \quad \left[\frac{1}{C^0}\right]$$

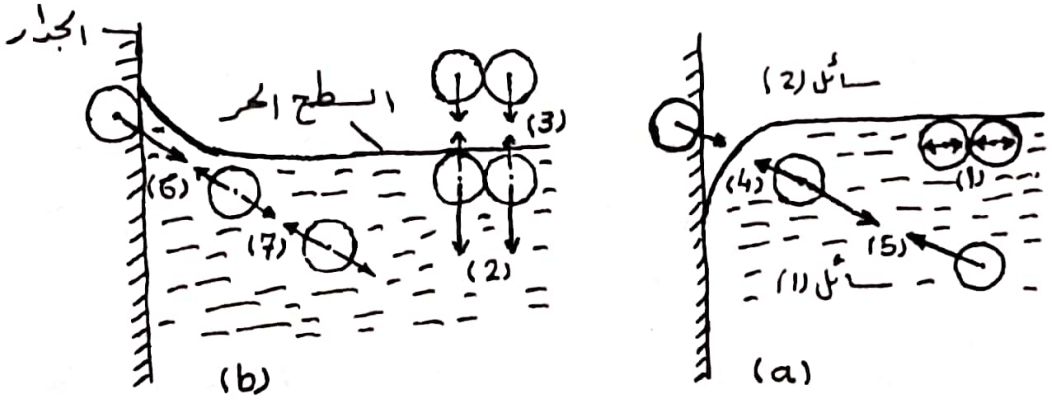
من أجل تغيرات معينة في درجة الحرارة $\Delta T = T_2 - T_1$، تقابلها تغيرات في الحجم $\Delta V = V_2 - V_1$ ولنفرض أن K_T ثابت القيمة من أجل سائل معين نجد من العلاقة السابقة: $V_2 \approx V_1(1 + K_T \cdot \Delta T)$.

تجدر الإشارة هنا أن الماء يخالف الموائع الأخرى بظاهرة تدعى شذوذ الماء، حيث أنه يتمدد بالبرودة ويتمتع بحجم أصغري عند الدرجة $+4\,C^0$.

Scanned with CamScanner

١-٦- التوتر السطحي "Surface Tension" - الخاصية الشعرية "Capillarity" :

إن السطح الحر المتشكل كحد فاصل بين سائلين متلامسين غير متمازجين (ماء - زيت ، ماء - هواء) يسعى دائماً ليكون أصغرياً تماماً، كما يفعل غشاء مطاطي رقيق مشدود بانتظام . وسبب هذا السلوك يعود لكون كل ذرة من السائل ، سواء كانت في الداخل أو على السطح الخارجي الحر تخضع لتأثير قوى جذب الذرات المحيطة بها والمسماة قوى الترابط الذرية Molecular Cohesion Forces . إذاً هذا السطح الحر الفاصل يتألف من مجموعة من الجزيئات الضرورية المتراصة والتي تتجاذب فيما بينها مما يجعل اختراقه يحتاج إلى قوة معينة للتغلب على قوى الشد السطحي هذه . وهذا يفسر سهولة حركة بعوض الماء على وجه الماء في الأنهار أو البحيرات ، وكذلك طفو شفرة أو دبوس على السطح الحر للماء .



الشكل (١) قوى التجاذب بين جزيئات السائل وقوى الشد السطحي

لندرس الآن حالة سائل ما موجود في وعاء كما هو مبين في الشكل (a,b-١) . إن قوى التجاذب بين الجزيئات الموجودة داخل الكتلة تفني بعضها بعضاً . ونجد أن الجزيئات التي تشكل السطح الحر تتجاذب فيما بينها فتنشأ قوى الشد السطحي (القوى 1) . كذلك نجد أن هذه الجزيئات تخضع لقوى جذب من قبل الجزيئات التي تقع أسفلها (القوى 2) أكبر من قوى الجذب التي تقوم بتطبيقها جزيئات السائل (2) الذي يعلو السطح الحر (القوى 3) . هذا الأمر يؤدي إلى زيادة إرهاقية في ضغط السائل ، فنلاحظ أن طاقة الجزيئات المحيطية لقطرة الماء تنجذب إلى الداخل مما يجعلها تأخذ الشكل الكروي . ويمكن حساب الضغط الإضافي أو ضغط التقوس ΔP_c بالنسبة لقطرة من السائل بالعلاقة :

$$\Delta P_c = \frac{2\sigma}{r}$$

Scanned with CamScanner

حيث: Δp_c $\left[\frac{N}{m^2}\right]$ - الفرق بين ضغط السائلين داخل وخارج القطرة.

r [m] - نصف قطر القطرة.

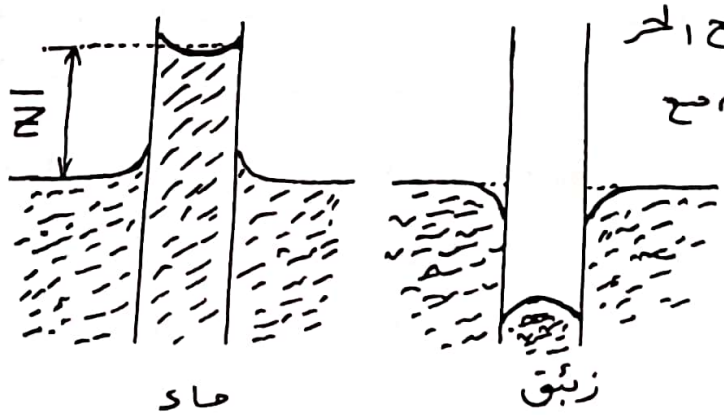
σ $\left[\frac{N}{m}\right]$ - قوة الشد السطحي أو التوتر السطحي.

مما سبق يتضح أن السطح الحر للسائل لا يحتفظ إلا بالجزيئات الضرورية جداً اللازمة لتكوين قشرة السطح بأصغر مساحة ممكنة وهذا السبب كما ذكرنا تكون قطرات المطر وفقاعات الصابون ذات شكل كروي لأن سطحها الخارجي في هذه الحالة بالنسبة لحجم معين يكون أصغرياً.

بالعودة للشكل (1) نلاحظ وجود قوى تجاذب بين جزيئات السائل وجزيئات الجدار. فإذا كانت قوى جذب الجزيئات الداخلية (القوى 5) للجزيئات المحيطية أكبر من قوى تجاذبها مع جزيئات الجدار (القوى 4) أي أن قوى التماسك أكبر من قوى الالتصاق نجد أن السطح الحر للسائل قريباً من الجدار يأخذ شكلاً محدباً شكل (a-1)، أما إذا كانت قوى التجاذب بين الجزيئات المحيطية وجزيئات الجدار (القوى 6) أكبر من قوى التجاذب مع الجزيئات الداخلية المجاورة (القوى 7) يلتصق السائل بالجدار ويأخذ السطح الحر للسائل قرب الجدار شكلاً مقعراً شكل (b-1).

حين نغمس أنبوباً شعرياً مفتوحاً من طرفين في سائل معين فإن السطح الحر للسائل في الأنبوب الشعري لا يقع على مستوى واحد مع السطح الحر خارج الأنبوب. بعض السوائل ترتفع صاعدة في الأنابيب الشعرية كالماء (السوائل المبللة للجدران)، وبعضها الآخر ينخفض عن مستوى السطح الحر الخارجي كالزئبق (السوائل غير المبللة للجدران). - تفسر هذه الظاهرة بخاصيتي التماسك والالتصاق! -

ويبين الشكل (2) السطح الحر لكل من الماء والزئبق، مع الصعود الشعري، والانكماش الشعري.



الشكل (2) الصعود والانكماش الشعري - السطح الحر.

Scanned with CamScanner

يتم حساب الارتفاع أو الانخفاض الشعري من العلاقة :

$$\bar{Z} = \frac{2\,\bar{b}_o \cos\theta}{\rho \cdot g \cdot r} \quad [m]$$

حيث :

ρ - كثافة السائل $[Kg/m^3]$

$\bar{b}_o$ - التوتر السطحي $[N/m]$

r - نصف قطر الانبوب $[m]$

θ - زاوية التماس [درجة]

g - التسارع الأرضي $[m/s^2]$

يمكن احياناً استخدام علاقات تقريبية لحساب الارتفاع أو الانخفاض الشعري

ماء $\bar{Z} = \frac{30}{d}$ [mm]

كحول $\bar{Z} = \frac{10}{d}$ [mm]

زئبق $\bar{Z} = -\frac{10.15}{d}$ [mm]

حيث: d قطر الانبوب مقدراً بـ [mm]

ملاحظات: ١- التوتر السطحي $\bar{b}_o$ يمثل قوة الشد F الموازية للسطح الخارجي للسائل بالنسبة لكل واحدة طول من خط الحد S لهذا السطح :

$$\bar{b}_o = \frac{dF}{dS} = const \quad [\vec{dF} \perp \vec{ds}] \qquad \left[\frac{N}{m}\right], \left[\frac{Kp}{m}\right]$$

٢- قيمة $\bar{b}_o$ تبقى ثابتة في كل نقطة من السطح الخارجي للسائل بالعتبر وفي كل الاتجاهات ولا تتغير مع تغير السطح بعكس اجهاد الشد للغشاء المطاطي، لذا فإن التوتر السطحي يمثل إحدى الخواص الفيزيائية للسائل، وتتعلق قيمته بدرجة الحرارة وبقوة جذب الوسط المتاخم للسطح الخارجي.

إن ظاهرة الخاصية الشعرية معروفة منذ القديم حيث أن كثير من الظواهر الطبيعية تمثل عملية امتصاص سائل جذور النباتات للمواد المنحلة في التربة، وصعود السوائل في الأجسام المسامية كالورق والاسفنج وغيرها من الظواهر الأخرى تعتمد على الخاصية الشعرية

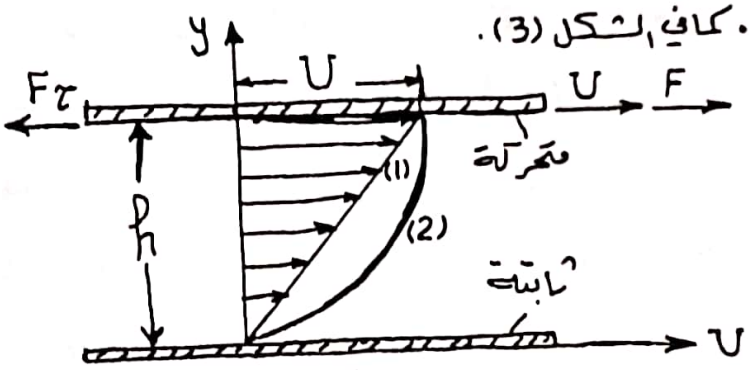
Scanned with CamScanner

١-٧- اللزوجة "Viscosity" :

تعتبر اللزوجة من أهم الصفات الفيزيائية المميزة للسوائل الحقيقية وتلعب دوراً هاماً عند دراسة جريانها.

وتعرف اللزوجة بأنها مقاومة السائل لتغير شكله. لذلك فإن كل جسم يتحرك في سائل حقيقي يلقى مقاومة تستلزم بذل قوى خارجية للتغلب عليها، وكل سائل حقيقي يجري ضمن أجسام كالأنابيب مثلاً يخسر جزءاً من قدرته الميكانيكية.

لتوضيح مفهوم اللزوجة نتصور التجربة البسيطة التالية والمسماة بجريان كوئيت "Couette-flow". نعتبر صفيحتين متوازيتين أفقيتين البعد بينهما h مملوء بسائل لزج. كما في الشكل (3).



الشكل (3) جريان كوئيت

العلوية متحركة والأخرى ثابتة (السفلية). إذا سحبت الصفيحة العلوية في مستويها بسرعة U فإن التجربة تبين أن السائل يبقى ملتصقاً بكلتي الصفيحتين. وبالتالي فإن سرعته على سطح الصفيحة السفلية تساوي الصفر بينما تساوي على سطح الصفيحة العلوية سرعة هذه الصفيحة نفسها U، أي يتحقق شرط الالتصاق

$$y = 0 \Rightarrow u(y) = 0$$

$$y = h \Rightarrow u(y) = U$$

لتحريك الصفيحة العلوية يلزم تطبيق قوة جرمماسية F باتجاه حركتها كافية للتغلب على قوة احتكاك السائل المماسية F_τ المساوية لها وطبعاً معاكسة بالاتجاه. إذا أجريت عدة تجارب بسرعات U وأبعاد h مختلفة فإن النتائج تؤكد بأن القوة المماسية بالنسبة لواحدة السطح المبلل تتناسب طرداً مع U

Scanned with CamScanner

وعكساً مع h أي أن: $\tau \sim \frac{U}{h}$ ونميز هنا بين حالتين:

أ- في حالة h صغير جداً يمكن اعتبار توزع السرعة خطياً فإن [المنحني (1)]:

$\tau = \frac{F\tau}{A} = \mu \frac{U}{h}$ حيث A مساحة سطح المبلل

هذه العلاقة تمثل قانون نيوتن البسيط للاحتكاك.

ب- في حالة h كبير نسبياً فإن توزع السرعة غير خطي [المنحني (2)]، نبدل في العلاقة السابقة تغير السرعة باتجاه الناظم $\frac{U}{h}$ بتدرج السرعة $\frac{dU}{dn}$

فنحصل على العلاقة: $\tau = \mu \frac{dU}{dn}$

يطلق عليها قانون نيوتن للاحتكاك بصيغته العامة، الذي ينطبق على كافة الجريانات الحقيقية.

بما أن τ يمثل قوة على سطح فهو إذاً إجهاد يطلق عليه إجهاد الاحتكاك أو اجهاد القص Shear Stress، أو الاجهاد المماسي. واضح من العلاقة الأخيرة أن اجهادات القص τ تناسب طرداً مع سرعة تغير شكل الجسم $\frac{dU}{dn}$، بينما في حالة الجسم الصلب تناسب اجهادات القص طرداً مع مقدار تغير الشكل. كافة السوائل التي تخضع للعلاقة السابقة تدعى بالسوائل النيوتونية.

- إن معامل التناسب μ يمثل ثابتة مادية لها قيمة محددة بالنسبة لسائل معين ويطلق عليها اللزوجة التحريكية (الديناميكية) Dynamic-Viscosity، وتقاس بـ: $\left[\frac{N \cdot s}{m^2}\right]$ في الجملة الدولية.

$\left[\frac{Kp \cdot s}{m^2}\right]$ في الجملة التكنيكية.

(Poise) [P]، [cP] في الجملة الغيزيائية

حيث أن: سنتبواز $[cP] = 10^3$ بواز $[P] = 10$

$1\left[\frac{N \cdot s}{m^2}\right] = \frac{1}{9,81}\left[\frac{Kp \cdot s}{m^2}\right]$

- تستخدم في ميكانيك السوائل اللزوجة الحركية وهي عبارة عن النسبة: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$، حيث يتم استخدامها عادة في السوائل غير القابلة للانضغاط وتقدر بـ $\left[\frac{m^2}{s}\right]$ في الجملة الدولية، أو بواحدة [St] ستوكس Stokes في الجملة السغثية. حيث أن:

$1\left[\frac{m^2}{s}\right] = 10^4 [St] = 10^6 [cSt]$

Scanned with CamScanner

• الملاحظات :

أ - تنعدم الاجهادات المماسية (اجهادات القص) وفقاً لقانون نيوتن للاحتكاك $\tau = \mu \frac{du}{dn}$ في الحالات التالية :

ب - السائل المثالي : $\mu = 0 \Rightarrow \tau = 0$

ج - السائل الساكن : $u = 0 \Rightarrow du = 0 \Rightarrow \tau = 0$

د - الجريان المنتظم : $u = const \Rightarrow du = 0 \Rightarrow \tau = 0$

ج - تغيرات μ ، ν مع تغيرات الضغط و درجة الحرارة :

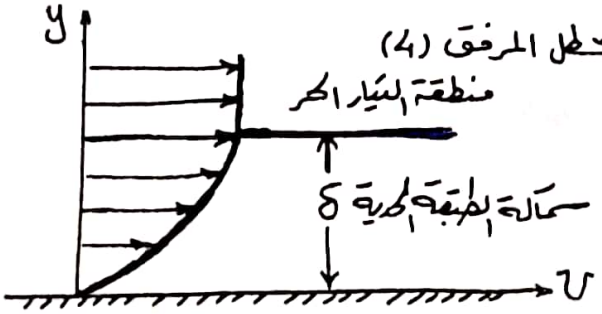
• السوائل غير القابلة للانضغاط — μ لا تتعلق تقريباً بالضغط . تتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة

ν " " " " . " " " " " " " .

• السوائل القابلة للانضغاط — μ لا تتعلق تقريباً بالضغط تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة .

ν تتناقص مع زيادة الضغط " " " " " .

٢ - لدى جريان سائل نزج على سطح معين ، فإن سرعته تتغير من الصفر (السائل الملامس للسطح) إلى قيمة اعظمية U_{max} (منطقة التيار الحر) . الشكل المرفق (4)



الشكل (4) الطبقة الحدية .

بالتالي فإن سرعة طبقات السائل متفاوتة وكل طبقة تحاول أن تجر معها الطبقة التي تقع أسفلها والتي بدورها تعيق الأولى عن حركتها . وهذا مايؤدي إلى نشوء إجهادات مماسة لسطوح هذه الطبقات تعرف بأسم إجهادات القص (المماسية) .

تعرف الطبقة الحدية بأنها المنطقة من الجريان المجاورة للسطح والتي تتزايد فيها سرعة الجزيئات من الصفر حتى قيمة مساوية لـ $0,99\,U_{max}$ (U_{max} سرعة التيار الحر) .

تتعلق سماكة الطبقة الحدية δ بلزوجة السائل وخشونة السطح وطبيعة الجريان ، ولها أهمية كبيرة في دراسة الجريانات حول الأجسام وخاصة حول الجناح الحامل للطائرات .

Scanned with CamScanner

أسئلة ومسائل

• أولاً : أجب بكلمة صح أو خطأ فقط على الأسئلة التالية :

أ- عندما تتمتع كل الجزيئات الحجمية لسائل ما بنفس الصفات فهو سائل متجانس .

ب- يتناسب معامل الانضغاطية K_c لسائل معين طرداً مع التغير النسبي لكثافته .

ج- الفرق بين الضغط داخل وخارج قطرة ماء ينقص كلما صغر حجمها .

د- يتناسب ارتفاع السائل في انبوب شعري طرداً مع قطره d .

ه- إن اللزوجة التحريكية لسائل مثالي لا تتعلق بتغيرات درجة الحرارة .

و- كلما زاد الضغط على سائل غير قابل للانضغاط فإن لزوجته التحريكية سوف تتناقص .

ز- يعتبر التوتر السطحي σ من الخواص الفيزيائية المميزة للسوائل .

ح- اجهاد القص للسوائل النيوتونية يتناسب طرداً مع سرعة تغير الشكل .

• ثانياً : اجب على الأسئلة التالية :

أ- عرّف رياضياً مع ذكر واحدة القياس ما يلي : الكثافة - الوزن النوعي - معامل الانضغاطية - معامل التمدد الحراري - التوتر السطحي .

ب- برهن أن معامل الانضغاطية K_c لسائل ما يتناسب طرداً مع التغير النسبي لكثافته ρ .

ج- هل يتغير ارتفاع أو انخفاض الصعود الشعري في انبوب شعري مغموس في سائل ما بتغير درجة حرارته ولماذا ؟ .

د- كيف يمكن تفسير إمكانية طفو شفرة أو دبوس على وجه الماء ؟

ه- شكل السطح الحر للزئبق في أنبوب شعري يكون محدباً والماء مقعراً . علل ذلك مع الرسم .

و- ما هي الخاصية الشعرية وما هو تفسيرها؟

ز- عرّف اللزوجة ثم اشرح تجربة كوئيت مستخرجاً قانون نيوتن للاحتكاك بصيغته العامة .

ح- متى تنعدم الاجهادات المماسية (اجهادات القص) في السائل ؟ .

ط- كيف تتغير اللزوجة الحركية للسوائل القابلة للانضغاط تبعاً لتغيرات الضغط ودرجة الحرارة .

ي- كيف تتغير اللزوجة التحريكية للسوائل الغير قابلة للانضغاط تبعاً لتغيرات الضغط ودرجة الحرارة

Scanned with CamScanner

• ثالثاً : حل المسائل التالية

1- إذا كان حجماً متساوياً من الماء والنفط مقداره [ℓ] 10 يحتوي عند درجة حرارة 4°C ، كتلة [Kg] 10 ، 8,2 [Kg] على الترتيب . ما هي كثافة كلاً من الماء والنفط .

الاجوبة : $\rho_w = 10^3 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$ ؛ $\rho_N = 820 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

2- وعاء اسطواني قطره $d=3[m]$ ، وطوله $\ell = 6[m]$ يحتوي نفط كثافته $\rho = 850 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$ ، ما هي كتلة النفط في الوعاء الجواب : $m = 3,6 \cdot 10^4 [Kg]$

3- مزيج مؤلف من 30% كيروسين ، 70% مازوت ، فإذا كانت كثافة الكيروسين $\rho_K = 790 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$ ، والمازوت $\rho_m = 900 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$. ما هي كثافة المزيج

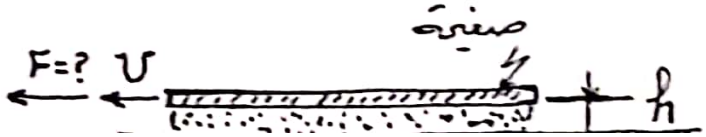
الجواب : $\rho = 867 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$

4- خزان اسطواني الشكل قطره $d = 10[m]$ ، يحتوي نفط كثافته $\rho = 900 \left[\frac{Kg}{m^3}\right]$ ، بارتفاع $H = 12[m]$ عند درجة حرارة $t = 15°C$. فإذا تغيرت درجة الحرارة لتصبح 40°C ، ما هو مقدار تغير ارتفاع النفط داخل الخزان ، إذا كان معامل التمدد الحراري للنفط $K_T = 6,4 \cdot 10^{-4} \left[\frac{1}{C°}\right]$. يهمل تمدد جدران الخزان .

الجواب : $h \equiv \Delta H = 0,192 [m]$

5- انبوب قطره $d = 0,3[m]$ وطوله $\ell = 100[m]$ يستخدم للتجارب الهيدروليكية مملوء بماء ضغطه ساكن للضغط الجوي ، فإذا أردنا أن يكون مقدار تغير الضغط داخل الانبوب ساكن $5 [MPa]$ ، وأن معامل الانضغاطية للماء $K_C = 0,5 \cdot 10^{-9} \left[\frac{1}{Pa}\right]$. ما هي كمية الماء الواجب حقنها في الأنبوب . يهمل تمدد جدران الأنبوب الجواب $\Delta V = 1,77 \cdot 10^{-2} [m^3]$

6- وضعت صفيحة معدنية رقيقة وخفيفة مساحتها $A = 600[cm^2]$ فوق مستوى



Scanned with CamScanner