محاضرات

في

فيزياء (١) خواص المادة

المرحلة الجامعية الأولى

كليات العلوم – التربية - الهندسة

إعداد الدكتور

بدرى النوبى محمد

المحتـــــــــــوى	ترقيم الصفحـات
الفصل الأول : الوحدات والأبعاد	٣
الوحدات والأبعاد- تقسيم الكميات الفيزيائية	٣-٥
وخدات الأبعاد – نظرية الأبعاد	٥-١٢
الفصل الثاني (خواص المواد الصلبة)	١٣
خاصية المرونة	١٣
خاصية اللزوجة	١٣-١٤
قانون هوك	١٨-١٩
معاملات المرونة	٢٠-٢٥
مسائل	٢٦-٢٧
الفصل الثالث (خواص الموائع)	٢٨
الموائع في حالة سكون	٢٨
الضغط –طرق القياس	٢٨-٣٨
التوتر السطحى	٣٨-٤٥
قااعدة الطفو لأرشميدس	٤٦-٥٠
ثانيا: الموائع في حالبة حركة	٥١-٥٢
معادلة الأستمرارية-معادلة برنولى	٥٢-٥٨
اللزوحة - مسائل	٥٩-٧٠
الفصل الرابع (الغـــــــــازات Gases)	٧٠
القوانين العامة للغازات	٧٠-٧٤
نظرية الحركة للغازات	٧٥-٧٧
خواص الغازات	٧٧-٨٥
أمثلة ومسائل	٨٥-٨٨

الفصل الأول : الوحدات والأبعاد
Units and Dimensions

تتحدد أي كمية طبيعية بعاملين اثنين هما العدد والوحدة . أي أنه لا يمكن ذكر أعداد أو أرقام مجردة دون تحديد الوحدة التي تقاس بها تلك الكمية.

فمثلاً لتحديد كتلة جسم نقول أن كتلته تساوي ٢٠كيلوجرام و لكي نقول أن الكتلة تساوي ٢٠٠٠٠ جرام يجب أن يكون هناك علاقة بين الكيلوجرام و الجرام و هي ١كجم = ١٠٠٠جرام.

١-١ الكميات الفيزيائية Physical quantities

هي التي تبني هيكل الفيزياء و بها نكتب المعادلات و القوانين الفيزيائية ، من هذه الكميات : القوة – الزمن – السرعة – الكثافة – درجة الحرارة – الشحنة و غير ذلك.

و تنقسم الكميات الفيزيائية إلى:

- **كميات أساسية:** هي الكتلة و الطول و الزمن و يرمز لها (M , L , T) على الترتيب.
- **كميات مشتقه:** هي كميات مشتقة من الكميات الأساسية مثل الحجم و السرعة و العجلة و غير ذلك من الكميات.

١-٢ وحدات الكميات الفيزيائية Units of physical quantities

أي كمية فيزيائية يجب أن يكون لها وحدة قياس إلى جانب قيمتها العددية إذ أنه لا معنى لقولنا أن المسافة بين مدينة غزة ومدينة القدس هي ٨٠ (دون ذكر وحدة القياس) لأن ٨٠ كيلو متر تختلف عن ٨٠ متر تختلف عن ٨٠ ميل حيث أن الكيلو متر والمتر والميل هي وحدات قياس الطول.

أنظمة القياس

- النظام الدولي ISU: متر – كيلوجرام – ثانيه (M K S system) و أحياناً يسمى بالنظام الفرنسي المطلق أو سنتيمتر – جرام – ثانيه (C G S system).
- النظام البريطاني: قدم – باوند – ثانيه (F B S).

الجدول (١-١) يبين وحدات القياس الأساسية والجدول (١-٢) يبين بعض وحدات القياس المشتقة.

جدول (1-1) مضاعفات وأجزاء الوحدة

الاسم	الرمز	القيمة		الاسم	الرمز	القيمة
ديسي	d	10^{-1}		ديكا	da	10
سنتي	c	10^{-2}		هيكتو	h	10^{2}
مللي	m	10^{-3}		كيلو	K	10^{3}
ميكرو	μ	10^{-6}		ميجا	M	10^{6}
نانو	n	10^{-9}		جيجا	G	10^{9}
بيكو	p	10^{-12}		تيرا	T	10^{12}
فيمتو	f	10^{-15}				

تعتبر وحدة قياس المسافة (الكيلومتر) كبيرة في بعض الأحيان فمثلاً لقياس طول غرفة الدراسة أو قياس مسافة عرض الشارع فإنه يمكن استخدام وحدات مشتقة مثل المتر أو السنتمتر أو الميليمتر. الجدول التالي يوضح قيمة وحدات المسافة المشتقة بالمتر.

جدول (1-2) مضاعفات وأجزاء المتر

الاسم	الرمز	القيمة
ديسيمتر	dm	10^{-1} m
سنتمتر	cm	10^{-2} m
مليمتر	mm	10^{-3} m
كيلومتر	km	10^{3} m

جدول (٣-١) وحدات القياس الأساسية

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
الكتلة (Mass)	كيلوجرام (Kg)	باوند
الطول أو المسافة (Length)	متر (M)	قدم
الزمن (Time)	ثانية (S)	ثانية

جدول (٤-١) وحدات القياس المشتقة

الكمية	الوحدة بالنظام الدولي (ISU)	الوحدة بالنظام البريطاني (FBS)
المساحه	متر^{٢} (m^2)	قدم^{٢}
الحجم	متر^{٣} (m^3)	قدم^{٣}
الكثافة = الكتلة / الحجم	Kg/m^3	باوند / قدم^{٣}
قوة	نيوتن (N)	ثقل باوند (LB)
الضغط = قوة / مساحة	(N/m^3 (باسكال	ثقل باوند / قدم^{٢}

١-٣ أبعاد الكميات الفيزيائية Dimensions of physical quantities

بُعد أي كمية فيزيائية يحدِد طبيعة هذه الكمية فيما إذا كانت كتلة Mass أو طول Length أو زمن Time وتكتب أبعاد أي كمية طبيعيه بدلالة الكتلة (M) والطول (L) والزمن (T) والجدول (١-٣) يوضح أبعاد بعض الكميات الفيزيائية.

جدول (٥-١) حساب أبعاد بعض الكميات الفيزيائية

الكمية الفيزيائية	بُعد الكمية الفيزيائية
الكثافة (ρ) = الكتلة / الحجم	$[\rho] = \frac{M}{L^3} = ML^{-3}$
السرعة الخطية (v) = المسافة / الزمن	$[v] = \frac{L}{T} = LT^{-1}$

السرعة الزاوية (ω) = السرعة الخطية / نصف قطر الدوران	$[\omega] = \frac{LT^{-1}}{L} = T^{-1}$
العجلة (a) = السرعة الخطية / الزمن	$[a] = \frac{LT^{-1}}{T} = LT^{-2}$
القوة (F) = الكتلة x العجلة	$[F] = M \times LT^{-2} = MLT^{-2}$
الشغل (W) = القوة x المسافة	$[W] = MLT^{-2} \times L = ML^2T^{-2}$
القدرة (P) = الشغل / الزمن	$[P] = \frac{ML^2T^{-2}}{T} = ML^2T^{-3}$

نظرية الأبعاد و تطبيقاتها:

تحتم نظرية الأبعاد على أن يكون طرفا المعادلات الرياضية متجانسين من حيث الأبعاد. لذلك نجد أن من فوائد الأبعاد ما يلي:

أ- التحقق من صحة القوانين الفيزيائية.

ب- اشتقاق وحدات الثوابت التي تعتمد عليها العلاقات الرياضية المختلفة.

ج- التحويل من وحدات النظام الدولي (النظام الفرنسي) إلى النظام البريطاني (النظام الإنجليزي).

اختبار صحة القوانين

لإثبات صحة أي معادلة يجب أن تكون أبعاد الطرف الأيسر تساوي أبعاد الطرف الأيمن ، فمثلاً قانون البندول البسيط هو:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \qquad (1\text{-}1)$$

فإذا كتبنا معادلة الأبعاد لهذا القانون فإننا نعتبر 2π عدد لا يعتمد على أي من الوحدات الأساسية و على ذلك فليس له وجود في معادلة الأبعاد.

أبعاد الطرف الأيمن هي:

$$\sqrt{\frac{L}{LT^{-2}}} = \sqrt{T^2} = T \qquad (1\text{-}2)$$

أي أن أبعاد الطرف الأيمن تساوي أبعاد الطرف الأيسر وعلى ذلك يكون القانون صحيحاً.

مسائل على الفصل الأول

١- جد أبعاد كل من السرعة (v) و العجلة (a) و القوة (F) و الشغل (W) و الكثافة (ρ) و الضغط (P).

٢- أثبت صحة العلاقة التالية من حيث الأبعاد.

$$v = v_0 + at$$

حيث v ، a ، t تمثل السرعة الخطية والعجلة والزمن على الترتيب.

٣- حدد ما إذا كانت العلاقة التالية صحيحة من حيث الأبعاد أم لا.

$$v^2 = {v_0}^2 + 2a$$

٤- اوجد وحدة قياس ثابت التنايب في قانون عوك $F= - K x$

الفصل الثاني

الخواص الميكانيكية للمادة (Mechanical Properties of Matter)

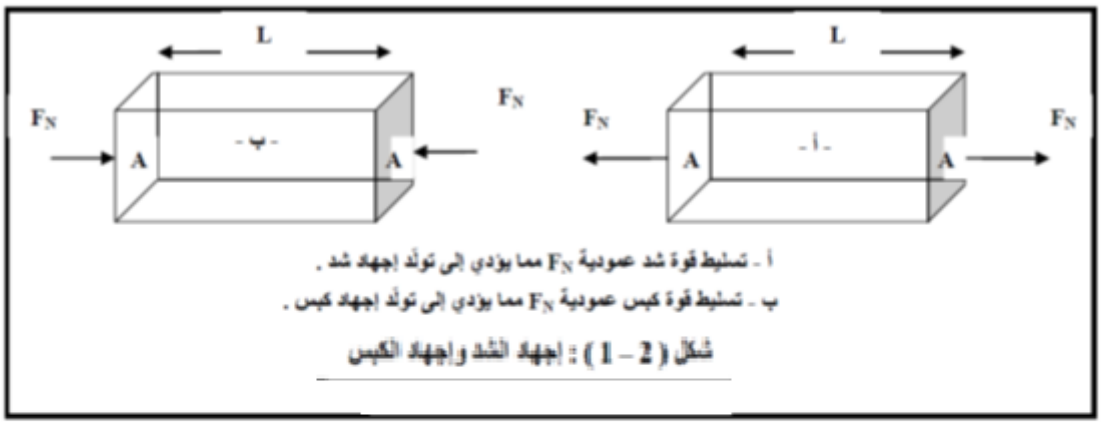
2-1 المرونة (Elasticity)

يتطرّق موضوع المرونة إلى دراسة الكيفية التي تتغيّر فيها شكل المادة وحجمها عند تسليط قوة خارجية ، والعلم الذي يدرس هذا الموضوع يعرف بمقاومة المواد (Strength of Materials) .

كما نعرف أن الجسم الصلد (Rigid Body) هو الجسم الذي لا يتغيّر شكله أو حجمه بتأثير القوى الخارجية ، ولكن في الواقع كل المواد تتأثر بالقوى المسلطة عليها ولكن بدرجات متفاوتة وتسمى المادة التي تسترجع شكلها وحجمها الأصليين عند زوال القوة بأنها مادة تامة المرونة وخلافا لذلك تسمى مادة لدنة ، وتفقد المادة خاصية المرونة هذه إذا إزدادت القوة عن مقدار معين يسمى حد المرونة ($ElasticLimit$) ، وتدرس خواص المرونة للمواد بواسطة كميتين هما الإجهاد ($Stress$) والإنفعال ($Strain$) .

2-1-1 الإجهاد (Stress)

إذا تم شد أو كبس قضيب مساحة مقطعه (A) وطوله (L) بقوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الإتجاه وتقعان على إستقامة واحدة مقدار كل منها ($\vec{F}$) وكما موضّح في الشكل (2 – 1) :



أ - تسليط قوة شد عمودية F_N مما يؤدي إلى تولّد إجهاد شد .
ب - تسليط قوة كبس عمودية F_N مما يؤدي إلى تولّد إجهاد كبس .

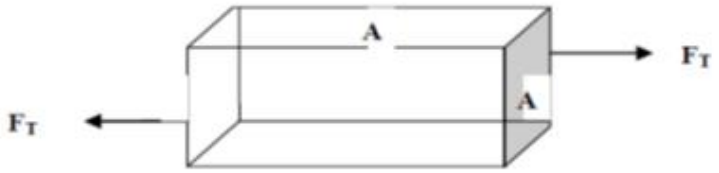
شكل (2 – 1) : إجهاد الشد وإجهاد الكبس

فإن القضيب يبقى في حالة إتزان وتسمى قوة الشد لوحدة المساحة بإجهاد الشد ($TensionStress$) ، أما قوة الكبس لوحدة المساحة تسمى بإجهاد الكبس ($CompressiveStress$) ، ويعبّر عن الإجهاد بالحالتين السابقتين بالعلاقة التالية ، وذلك تبعا لنوع القوة المؤثرة والتي تعمل على تغيير شكل وحجم الجسم :-

$$Stress(\delta) = \frac{\vec{F}}{A}(N/m^2)...(1-2)$$

قد تكون القوة مماسية لسطح الجسم فتقوم بتغيير شكله حيث تكون القوتان متساويتان في المقدار ومتعاكستان في الإتجاه ولكن تعملان على خطوط تأثير مختلفة كما مبين في الشكل (2 – 2) وتسمى القوى المماسية لوحدة المساحة بإجهاد القص (Shearing Stress) وتسمى إختصارا بالقص (Shear) ويعبّر عنه بالعلاقة .

$$ShearStress(\tau) = \frac{\vec{F}_T}{A}(N/m^2)...(2-2)$$



تسليط قوة مماسية F_T موازية للمساحة A من الأعلى والأسفل مولدة إجهاد قص

شكل (2 – 2) : إجهاد القص

هنالك إجهادات أخرى مثل إجهاد اللوي (Torsion Stress) حيث يدرس تأثير القوى المماسية للقضبان والتي تعمل على لويها . وكذلك إجهاد الصدمة (Impact Stress) الذي يدرس تأثير إصطدام الأجسام السريعة بالمادة الصلدة . وهنالك نوع آخر من الإجهاد يسمى ضغط الموائع الساكنة (P) مصدره ضغط المائع ويعرّف بالقوة العمودية المسلطة على وحدة المساحة من المائع .

2-1-2 الإنفعال أو المطاوعة (Strain)

وهو التغيّر النسبي لأبعاد أو شكل الجسم عندما يتعرّض لإجهاد معين . وهناك أنواع معينة من الإنفعال تبعا لنوع الإجهاد المسلط . فإذا كان الإجهاد المسلّط كبيرا سيبب قصرا في طول الجسم بمقدار (ΔL) وتسمى النسبة بإنفعال الكبس . وإذا كان الإجهاد المسلّط شدا سيبب زيادة في طوله بمقدار (ΔL) وتسمى النسبة بإنفعال الشد .

أ - إنفعال الكبس
شكل (2 – 3) : إنفعال الشد والكبس
ب - إنفعال الشد

كما مبيّن في الشكل (2 – 3) وغالبا ما يرمز له بالرمز (ε) .

ويعبّر عن الإنفعال بالحالتين السابقتين بالعلاقة التالية :

$$Strain(\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L_\circ} = \frac{L - L_\circ}{L_\circ} \ldots (3-2)$$

2-1-2 الإنفعال أو المطاوعة (Strain)

وهو التغيّر النسبي لأبعاد أو شكل الجسم عندما يتعرّض لإجهاد معين ، وهناك أنواع معينة من الإنفعال تبعا لنوع الإجهاد المسلط ، فإذا كان الإجهاد المسلّط كبسا سبّب قصرا في طول الجسم بمقدار (ΔL) وتسمى النسبة بإنفعال الكبس ، وإذا كان الإجهاد المسلّط شدا سبّب زيادة في طوله بمقدار (ΔL) وتسمى النسبة بإنفعال الشد ،

ـ أ ـ إنفعال الكبس ـ ب ـ إنفعال الشد

شكل (2 – 3) : إنفعال الشد والكبس

كما مبيّن في الشكل (2 – 3) وغالبا ما يرمز له بالرمز (ε) .

ويعبّر عن الإنفعال بالحالتين السابقتين بالعلاقة التالية :

$$Strain(\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L_\circ} = \frac{L - L_o}{L_\circ} \ldots (3-2)$$

أما إذا سلط إجهاد قص فإن هذا يؤدي إلى تغيير شكل الجسم وتقاس إنفعال القص (γ) (Shearing Strain) وهو يتناسب مع مقدار ظل الزاوية (θ) وتكون هذه الزاوية صغيرة وظلها يساويها بالمقدار (عند القياس النصف القطري للزوايا) :

$$ShearingStrain(\gamma) = \frac{\Delta X}{h} \ldots (4-2)$$

أما الإنفعال الناتج عن الضغط (P) فسمى بالإنفعال الحجمي والتي تساوي التغّير في الحجم نتيجة الضغط المسلط :

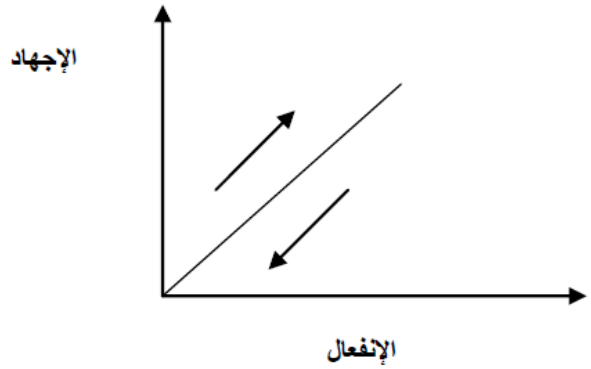
$$VolumeStrain = \frac{\Delta V}{V_\circ} \ldots (5-2)$$

ومن الجدير بالذكر أن الإنفعال يكون مجردا من الوحدات وذلك لأنه ينتج عن حاصل قسمة الإبعاد نفسها .

2-2 أنواع الإنفعال (Kinds of Strain)

2-2-1 الإنفعال المرن (Elastic Strain)

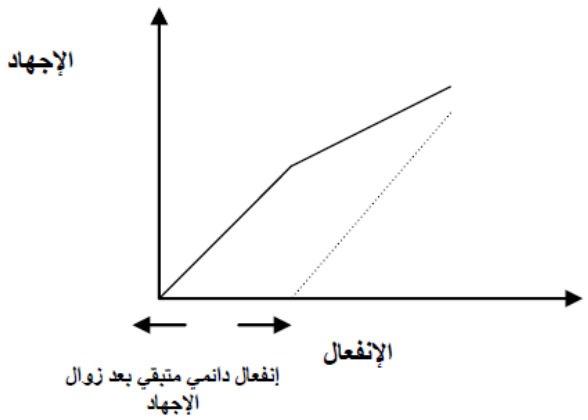
وهو إنفعال وقتي يزول بزوال المؤثر ، إذ يتلاشى الإنفعال بعد إزالة الإجهاد المسلط ، و قيمة الإنفعال المرن تتناسب طرديا مع مقدار الإجهاد المسلط وكما مبيّن في الشكل (2 – 4) .



شكل (2 – 4) : علاقة الإنفعال بالإجهاد للجسم المرن

2-2-2 الإنفعال اللدن (Plastic Strain)

وهو إنفعال ذو تأثير دائمي لا يزول عند زوال المؤثر ، إذ لا يتلاشى بعد الإجهاد المسلط ، ويحدث هذا للمادة نتيجة لتسليط إجهاد بمقدار يتجاوز حد المرونة ، وكما مبيّن في الشكل (2 – 5) .



شكل (2 – 5) : علاقة الإنفعال بالإجهاد للجسم اللدن

قانون هوك Hook's low

ينص قانون هوك على أن الإجهاد يتناسب تناسبا طرديا مع الانفعال إذا كان مدى التأثير لا يتعدى منطقة المرونة.

$$\text{Stress} = \text{constant} \times \text{Strain} \qquad (*)$$

و يسمى ثابت التناسب بين الإجهاد و الانفعال بثابت المرونة أو معامل المرونة و له نفس وحدة الإجهاد. و لهذا الثابت ثلاث أنواع حسب كيفية الإجهاد المؤثر و هي:

١- معامل المرونة الطولي (معامل ينج)

إذا أثرت قوة شد F على سلك مساحة مقطعه A و طوله L ، فإنها سوف تحدث استطالة مقدارها ΔL. و تأخذ العلاقة (*) الشكل

$$\frac{F}{A} = constant \; x \; \frac{\Delta L}{L} \qquad (1)$$

و يسمى الثابت في هذه الحالة معامل ينج (Y). حيث أن

$$Y = \frac{\left(\frac{F}{A}\right)}{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)} \qquad (2)$$

٢- معامل المرونة الحجمى

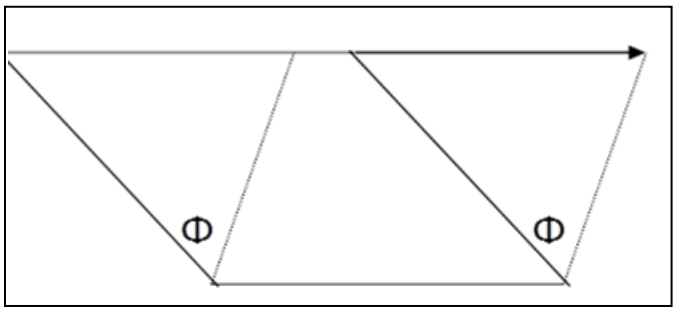
إذا أثرت قوة ضغط P (إجهاد) على حجم V من جسم، فان هذا الضغط سوف يعمل على تغير حجم الجسم (حدوث انكماش) بالمقدار ΔV و يكون معامل المرونة الحجمى هو B .

$$B = - \frac{P}{(\Delta V / V)} \qquad (3)$$

و الإشارة السالبة تعنى حدوث انكماش في الجسم (نقص في الحجم). و يسمى مقلوب معامل المرونة الحجمى بالقابلية الانضغاطية و يرمز له بالرمز K . حيث أن:

$$K = 1/B = - \frac{\Delta V / V}{P} \qquad (4)$$

٣- معامل المرونة القصي (معامل المتانة)



هو النسبة بين القوة المماسية F المؤثرة على وحدة المساحات A و زاوية القصي Φ. فإذا أثرت قوة مماسية على السطح العلوي لمكعب بحيث تسبب إزاحة صغيرة له دون أن تأثر على القاعدة (مثبت من القاعدة). و بذلك فان معامل المتانة يأخذ الصورة:

$$S = \frac{F/A}{\Phi} \qquad (5)$$

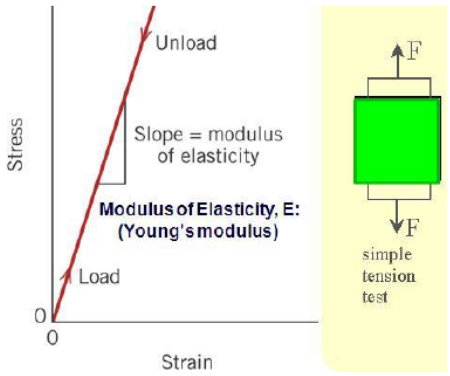
حيث S هو معامل المرونة القصي.

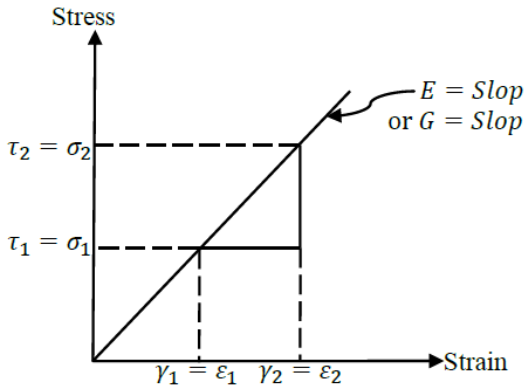
1 Elastic deformation properties:

(1) Modulus of elasticity(E) معامل المرونة

في منطقه المرونة يتناسب الإجهاد خطيا مع الانفعال الناتج عنه ويسمي ثابت التناسب بمعامل المرونة وميل هذا الخط هو معامل المرونة

$$\boxed{Slop \quad E = \frac{Stress}{Strain} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}}$$





يسمي معامل المرونة تبعا لنوع الإجهاد والانفعال

For normal stress and normal strain(E)

$$\boxed{E = \frac{\sigma}{\varepsilon}}$$

For shear stress and shear strain$(S$ or $G)$

$$\boxed{G = \frac{\tau}{\gamma}} \qquad \boxed{S = \frac{\tau}{\gamma}}$$

وحدات معامل المرونة هي نفسها وحدات الإجهاد

3-2 معاملات المرونة (Modulus of Elasticity)

تعرّف المرونة على أنها قابلية المادة على إستعادة شكلها الأصلي بعد إزالة القوة المؤثرة والمسببة للتشويه ، وهناك أنواع مختلفة من المعاملات ويعتمد نوع المعامل على نوع التشوّه الذي تتعرض له المادة كالإستطالة والإنحناء وغيرها وتمثل جميع المعاملات بإيجاد نسبة الإجهاد إلى الإنفعال :

$$Modulus of Elasticity = \frac{Stress}{Strain} ...(6-2)$$

إن وحدات معامل المرونة هي وحدات الإجهاد نفسه لأن الإنفعال لا وحدات له ، عندما يكون الإجهاد ضمن حدود المرونة فإن نسبة الإجهاد إلى المطاوعة ستكون مقدارا ثابتا ويسمى هذا الثابت بمعامل المرونة وتبقى هذه النسبة ثابتة للمادة الواحدة المتجانسة الخواص ضمن حدود المرونة حيث تكون العلاقة خطية بين الإجهاد والإنفعال ولا يعتمد على الزمن وهذا ما يعرف بقانون هوك (Hooks Law) .

1-3-2 معامل المرونة الطولي (معامل يونك) (Y) (Young's Modulus)

يعرّف معامل يونك بأنه نسبة الإجهاد إلى المطاوعة في حالتي الإستطالة والإنكماش الطوليين :

$$Young Modulus(Y) = \frac{\frac{\vec{F}}{A}}{\frac{\Delta L}{L}} ...(a7-2)$$

$$Young Modulus(Y) = \frac{\vec{F}}{A} . \frac{L}{\Delta L} (N/m^2) ...(b7-2)$$

إن وحدات معامل يونك هي وحدة الإجهاد نفسه (نيوتن / م^2) أو (داين / سم^2) ويعتمد معامل يونك على نوع المادة وليس على أبعادها .

مثـال 2 – 1 : سـلك مـن فلـز طولـه ($75cm$) وقطـره ($0.130cm$) يسـتطيل بمقـدار ($0.0350cm$) عندما يعلّق بطرفه ثقل مقداره ($8kg$) . إحسب :

1- إجهاد الشد ؟ 2- إنفعال الشد ؟ 3- معامل يونك لمادة السلك ؟

الحل :

1 - لحساب إجهاد الشد :

نوجد مساحة المقطع العرضي للسلك (πr^2) :

$$A = \pi r^2 = (3.14)(\frac{\frac{0.130}{2}}{100})^2 = (3.14)(0.4225x10^{-6}) \quad \Rightarrow A = 1.32665x10^{-6}m^2$$

$$F = mg = (8)(9.8) \quad \Rightarrow F = 78.4N$$

من المعادلة (2 – 1) :

$$Stress(\delta) = \frac{\vec{F}}{A}(N/m^2)...(1-2) \qquad Stress(\delta) = \frac{78.4}{1.32665x10^{-6}}$$

$$\Rightarrow Stress(\delta) = 5.91x10^7(N/m^2)$$

2 - لحساب إنفعال الشد :

من المعادلة (2 – 3) :

$$Strain(\varepsilon) = \frac{\Delta L}{L} = \frac{L - L_o}{L}...(3-2) \qquad Strain(\varepsilon) = \frac{0.0350cm}{75cm}$$

$$\Rightarrow Strain(\varepsilon) = 4.67x10^{-4}$$

3 - لحساب معامل يونك لمادة السلك

من المعادلة (2 – 7 a) :

$$YoungModulus(Y) = \frac{\frac{\vec{F}}{A}}{\frac{\Delta L}{L}}...(a7-2) \qquad YoungModulus(Y) = \frac{5.91x10^7}{4.67x10^{-4}}$$

$$\Rightarrow YoungModulus(Y) = 1.27x10^{11}(N/m^2)$$

مثال 2 – 2 : عمود سلبه إسطوانى طوله ($4m$) وقطره ($9cm$) . ما مقدار التغير فى الطول عندما يحمل ثقل ($80000kg$) . إذا كان معامل يونك للعمود يساوى ($1.9x10^{11}N/m^2$) ؟

الحل :

نوجد مساحة المقطع العرضى للعمود (πr^2) :

$$A = \pi r^2 = (3.14)(\frac{\frac{9}{2}}{100})^2 \quad \boxed{\Rightarrow A = 6.36x10^{-3}m^2}$$

$$F = mg = (80000)(9.8) \quad \boxed{\Rightarrow F = 784000N}$$

من المعادلة (b 7 – 2) :

$$YoungModulus(Y) = \frac{F}{A}.\frac{L}{\Delta L}(N/m^2)...(b7-2)$$

$$\Delta L = \frac{F}{A}.\frac{L}{Y} = \frac{(784000)(4)}{(6.36x10^{-3})(1.9x10^{11})} \quad \boxed{\Rightarrow \Delta L = 2.6x10^{-3}m}$$

2-3-2 معامل المرونة القصى (G) (Shear Modulus)

يعرّف معامل المرونة القصى على أنه نسبة إجهاد القص إلى إنفعال القص :

$$\boxed{G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\frac{F_T}{A}}{\frac{\Delta X}{h}}...(a8-2)}$$

$$\boxed{ShearModulus(G) = \frac{F_T}{A}.\frac{h}{\Delta X}(N/m^2)...(b8-2)}$$

إن وحدات معامل المرونة القصى هى وحدة الإجهاد نفسه (نيوتن / م^2) أو (داين / سم^2) . ويكون أقل قيمة وأقل أهمية من معامل يونك وذلك لأنه من السهل جعل الذرات للمادة الصلبة تنزلق على بعضها بينما عملية تقريب الذرات من بعضها البعض أو تفريقها تكون لها سعوبة كبيرة أكبر مما هى عليه فى حالة إنزلاق الذرات . وعموما فأن قيم معامل المرونة القصى تكون واقعة بين ($\frac{1}{2}$ إلى $\frac{1}{3}$) من قيم معامل يونك .

مثال 2 – 3 : قطعة حلوى على شكل سندوق مساحة سطحه العلوي ($15cm^2$) وإرتفاعه ($3cm$) . عندما تؤثر قوة قص مقدارها ($0.50N$) على السطح العلوي فإنه يزاح مسافة ($0.4cm$) بالنسبة للسطح السفلي . أوجد :

1 – مقدار إجهاد القص ؟ 2 – مقدار إنفعال القص ؟ 3 – معامل المرونة القصي ؟

الحل :

1 – لإيجاد مقدار إجهاد القص :

من المعادلة (2 – 2) :

$$ShearStress(\tau) = \frac{\bar{F}_T}{A}(N/m^2)...(2-2)$$

$$ShearStress(\tau) = \frac{(0.50)}{(15x10^{-4})} \Rightarrow ShearStress(\tau) = 333.33(N/m^2)$$

2 – لإيجاد مقدار إنفعال القص :

من المعادلة (2 – 4) :

$$ShearingStrain(\gamma) = \frac{\Delta X}{h}...(4-2) \qquad ShearingStrain(\gamma) = \frac{(0.40)}{(3)} \Rightarrow ShearingStrain(\gamma) = 0.13$$

3 – لإيجاد مقدار معامل المرونة القصية :

من المعادلة (2 – a8) :

$$G = \frac{\tau}{\gamma} = \frac{\frac{F_T}{A}}{\frac{\Delta X}{h}}...(a8-2) \quad G = \frac{333.33}{0.13} \Rightarrow G = 2564.07(N/m^2)$$

3-3-2 معامل المرونة الحجمي (B) (Bulk Modulus)

يسمى بالمعامل الحجمي ويعرّف بأنه النسبة بين الإجهاد في الموائع (الضغط المسلط) إلى الإنفعال المناظر له (أي التغيّر النسبي في حجم المائع) :

$$BulkModulus(B) = \frac{-P}{\frac{\Delta V}{V}} ...(9-2)$$

حيث أن الإشارة السالبة تعني أن الزيادة (أو نقصان) في الضغط المسلط على المائع يولّد نقصانا (أو زيادة) في حجم المائع . أما وحدة المعامل الحجمي فهي وحدة الضغط .

مثال 2 – 4 : معامل المرونة الحجمية للماء يساوي ($2.1x10^9 N/m^2$) . إحسب النقص في حجم ($100mL$) من الماء عندما تتعرّض لضغط مقداره ($1.5x10^6 N/m^2$) ؟

الحل :

من المعادلة (2 – 9) :

$$BulkModulus(B) = \frac{-P}{\frac{\Delta V}{V}} ...(9-2) \qquad 2.1x10^9 = \frac{-(1.5x10^6)}{\frac{\Delta V}{100}}$$

$$\Delta V = -\frac{(100)(1.5x10^6)}{(2.1x10^9)} \Rightarrow \Delta V = -0.071mL$$

4- معامل الإنضغاطية (k) (Compressibility Modulus)

يعرّف معامل الإنضغاطية بأنه مقلوب معامل المرونة الحجمي أي أنه :-

$$k = \frac{1}{B} ...(10-2)$$

مثال 2 – 5 : إذا كانت إنضغاطية الماء تساوي ($5x10^{-10} m^2/N$) . إحسب النقص في حجم ($100mL$) من الماء عندما يتعرّض لضغط مقداره ($15x10^6 N/m^2$) ؟

الحل :

من المعادلة (2 – 10) :

$$k = \frac{1}{B} ...(10-2) \Rightarrow B = \frac{1}{k} = \frac{1}{5x10^{-10}} \qquad \therefore B = 2x10^9 N/m^2$$

من المعادلة (2 – 9) :

$$BulkModulus(B) = \frac{-P}{\frac{\Delta V}{V}} ...(9-2) \qquad 2x10^9 = \frac{-(15x10^6)}{\frac{\Delta V}{100}} : \Rightarrow \Delta V = -\frac{(100)(15x10^6)}{(2x10^9)}$$

$$\therefore \Delta V = -0.75mL$$

5-2 نسبة بواسون (Poisson's Ratio)

عندما يتعرض جسم إلى تأثير قوتين متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الإتجاه (قوى سحب) فإنه يستطيل (أي يزداد طوله) بإتجاه قوى السحب وينكمش أو يتقلص بالإتجاه العمودي أي يقل عرضه أو سمكه والعكس صحيح .

إن النسبة بين التغيّر الجانبي إلى التغيّر الطولي يعبّر عنه (نسبة بواسون) وهي ثابت مرونة مهم خالي من الوحدات .

إن الإنفعال الناتج بإتجاه قوى السحب أو الكبس يسمى بالإنفعال الطولي (Longitudinal).

أما الإنفعال الناتج بالإتجاه العمودي على إتجاه القوى المسلطة يسمى بالإنفعال الجانبي أو العرضي (Lateral) .

$$Longituidinal = \frac{\Delta L}{L} ...(a11-2)$$

$$Lateral = \frac{\Delta r}{r} ...(b11-2)$$

$$PoissonRatio = \frac{LatralStrain}{LongituidinalStrain} = \frac{\frac{\Delta r}{r}}{\frac{\Delta L}{L}} ...(12-2)$$

6-2 الصلادة (H) (Hardness)

تعرّف الصلادة على أنها مقاومة المادة لإختراق سطحها من قبل الأجسام المدببة أو مقاومتها للخدش .

ويتم قياس الصلادة عن طريق إيجاد مساحة الإختراق للصرو العاسي الذي يحدثه إختراق الصرو المدبب تحت ثقل قياسي ومنها ما يعتمد على قياس عمق الإختراق لسطح المادة والذي يحدثه مثلو قياسي .

مسائل الفصل الثاني
الخواص الميكانيكية للمادة
(Mechanical Properties of Matter)
((2))

س1 : قضيب حديد طوله ($4m$) ومساحة مقطعه ($0.5cm^2$) يستطيل بمقدار ($1mm$) عندما تعلق بنهايته السفلى كتلة مقدارها ($222kg$) . إحسب معامل يونك لمادة القضيب ؟

الإجابة: $Y = 176GPa$

س2 : إحسب التغير النسبي في الحجم عندما يقل ضغط الجو ($1x10^5\ Pa$) حول قطعة معدنية إلى الصفر بوضع القطعة في الفراغ . إذا علمت أن معامل المرونة الحجمية للمعدن يساوي ($125GPa$) ؟

الإجابة : $\frac{\Delta V}{V} = 8x10^{-7}$

س3 : ثقل مقداره ($50kg$) يؤثر على الطرف السفلي لقضيب صلب طوله ($80cm$) وقطره ($0.60cm$) . ما مقدار الإستطالة في القضيب ، إذا علمت أن معامل يونك للقضيب يساوي ($190GPa$) ؟

الإجابة : $\Delta L = 73\mu m$

س4 : إحسب التغيّر الحجمي في مكعب نحاسي طول ضلعه ($40mm$) عندما يتعرض لضغط مقداره ($20MPa$) . إذا علمت أن معامل المرونة الحجمية للنحاس يساوي ($125GPa$) ؟

الإجابة : $\Delta V = -10mm^3$

س5 : قوتان متوازيتان ومتضادتان قيمة كل منهما ($4000N$) تؤثران مماسيا على وجهين متقابلين لمكعب من فلز طول ضلعه ($25cm$) . إحسب إزاحة السطح العلوي بالنسبة للسطح السفلي . إذا علمت أن معامل القص للفلز يساوي ($80GPa$) ؟

الإجابة : $\Delta x = 2x10^{-7}m$

الأسئلة والتمارين:

(١) عرف المادة المرنة وأعط مثالاً عليها ؟.

(٢) اذكر قانون هوك ثم وضح كيف يمكن تمثيله بالرسم البياني ؟.

(٣) ما هو المقصود بكل من :

(أ) حد المرونة:

(ب) نقطة الاستسلام :

(ج) قطة القطع:

(٤) زنبرك طوله ١٥ سم أثرت عليه قوة شد فأصبح طوله ٢٠سم ما مقدار تلك القوة إذا كان ثابت الصلابة ١نيوتن /متر.

(٥) زنبرك طوله ٢٥سم أثرت عليه قوة مقدارها ٠,٠٠٩ نيوتن فأصبح طوله ٢٨سم وعندما أزيلت هذه القوة عاد الزنبرك لطوله الأصلي .وعندما أثرت عليه قوة مقدارها ٠,٠٩ نيوتن وصل حد المرونة أحسب :

(أ) ثابت الصلابة لهذا الزنبرك .

(ب) أكبر طول يصله الزنبرك دون أن يفقد مرونته .

(٦) سلك معدني طوله متر وحد مرونته ٢ نيوتن في موضع رأسي ومثبت من الطرف الأعلى وتعرض طرفه الأسفل لقوة شد مقدارها نصف نيوتن فاستطال بمقدار واحد سنتمتر أحسب:

(أ) ثابت الصلابة لهذا السلك .

(ب) طول السلك عندما تصبح القوة المؤثرة عليه ١. ١ متر .

الفصل الثالث
(The Fluids) الموائع

الموائع في حالة السكون
Fluid static's

مقدمة:

إن دراسة الموائع وهي ساكنة هي دراسة القوى المؤثرة في تلك الموائع.وتختفي تماما هنا في هذا الفصل إجهادات القص ولذا يختفي تأثير اللزوجة ويقتصر التحليل والدراسة على ضغط وارتفاع وكثافة المائع.

الضغط Pressure

الضغط هو تأثير القوة العمودية على وحدة المساحة. ورياضياً

$$P = \frac{F}{A}\left(\frac{N}{m^2}\right) \qquad (3-12)$$

$$\left(\frac{N}{m^2}\right) = Pascal \quad (Pa)$$

حيث إن:

الضغط بوحدة الباسكال $P = (Pa)$

القوة العمودية المؤثرة $F = (N)$

المساحة العمودية على اتجاه تأثير القوة $A = (m^2)$

حيث:

$$1Pa = 1\left(N/m^2\right)$$
$$1bar = 100000\left(N/m^2\right) = 100kPa$$

مثال (٣ـ٥)

تم ضغط غاز بواسطة مكبس (piston) قطره 50mm بواسطة قوة عمودية قدرها 1kN . احسب الضغط على الغاز، انظر الشكل (٣- ٣).

الحل:

نحسب مساحة قاعدة المكبس التي تؤثر عليها القوة عن طريق تأثيرها على الغاز

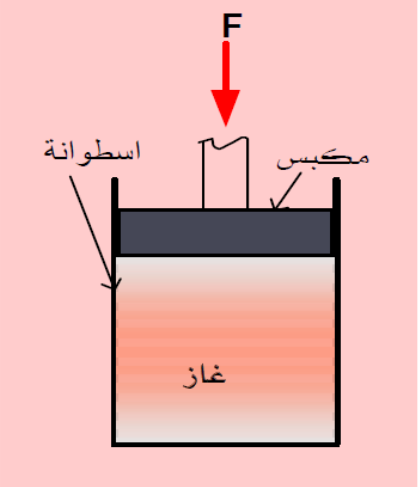
$$A = \frac{\pi}{4}d^2$$

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

$$\therefore P = \frac{1000}{\frac{\pi}{4} \times 50^2 \times 10^{-6}}$$

$$P = 509 \qquad \frac{kN}{m^2}$$

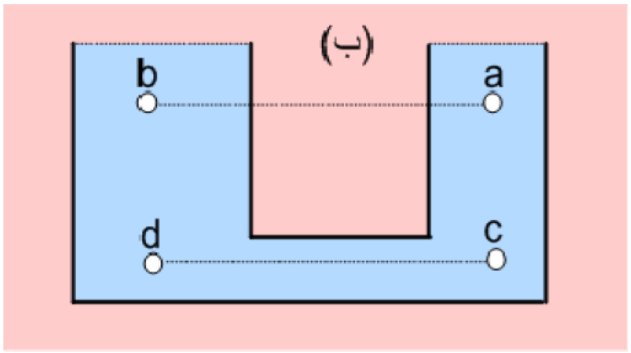
$$P = 509 \quad kPa = 5.09 \quad bar$$

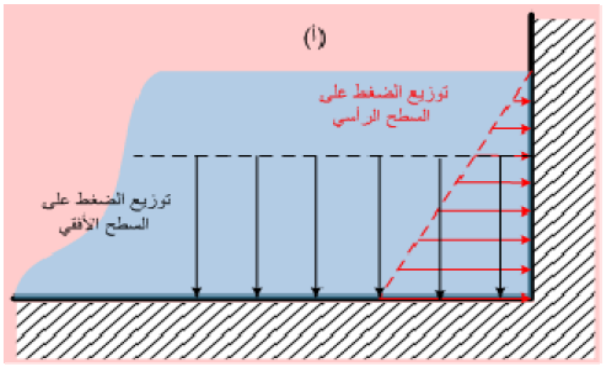


شكل(٣ ـ ٣) شكل توضيحي للمثال ٣.٥

توزيع الضغط الهيدروستاتيكي على السطوح الرأسية والأفقية

يتساوى ضغط السائل في المقدار عند أي نقطتين تقعان على نفس المستوى الأفقي بينما يزداد الضغط مع ازدياد عمق السائل. ويوضح الشكل (٣- ٤)(أ) توزيع الضغط على حائط رأسي وآخر أفقي. أما الشكل (٣- ٤)(ب) فيوضح أن الضغط عند النقطة (a) يساوي الضغط عند النقط (b) وكذلك الضغط المؤثر على النقطة (c) يساوي الضغط عند النقطة (d).



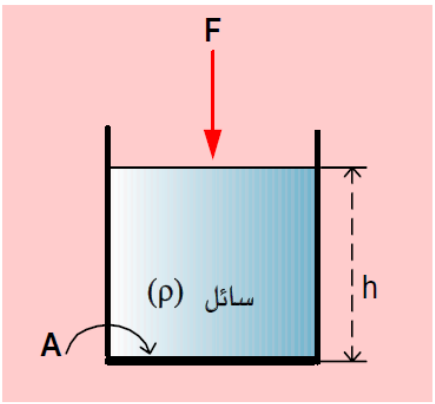


شكل (٣- ٤) توزيع الضغط على الأسطح

سمت (علو) الضغط Pressure Head

تعتمد كثافة الموائع الانضغاطية مثل الغازات على مقدار درجة الحرارة والضغط. أما في حالة الموائع غير الانضغاطية مثل السوائل فكثافتها ثابتة المقدار.

الضغط يعتمد على سمت أو ارتفاع السائل وليس على المساحة الكلية التي تحتوي السائل.



شكل ٣–٥ سمت الضغط

إذا كانت كثافة السائل الموجود داخل الإناء في الشكل (٣ ـ ٥) أعلاه هي (ρ) ومن تعريفنا للضغط بأنه هو تأثير القوة على المساحة ومن قانون نيوتن أن القوة (F) هي حاصل ضرب كتلة المادة (m) في عجلة الجاذبية (g) يمكن استنتاج أن الضغط الهيدروستاتيكي (P) يمكن أن يعبر عنه بالمعادلة التالية :

$$P = \rho \times g \times h \qquad (3-13)$$

$$\Rightarrow \Delta P = \rho \times g \times (\Delta h) \qquad (3-14)$$

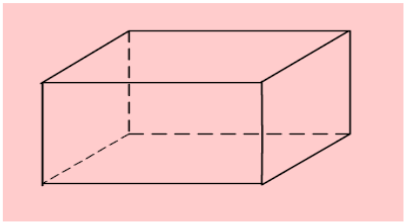
يلاحظ أن الضغط يعتمد تماما على السمت أو العلو h.

مثال: (٣ ـ ٦)

احسب القوة الكلية المؤثرة على سطح خزان أبعاده 300cm طولا و 250cm عرضا و 450cm ارتفاعا ، إذا تم ملؤه بماء كثافته 1000kg/m^3. احسب أيضا الضغط على نقطة في القاعد ، انظر الشكل (٣- ٦).

الحل:

نحسب القوة المؤثرة على القاعدة وهي وزن عمود السائل



شكل (٣ ـ ٦) المثال (٣ ـ ٦)

$$F = m \times g$$

$$F = (\rho \times V) \times g$$

$$F = \rho \times (A \times h) \times g$$

$$F = 1000 \ \frac{kg}{m^3} \times 0.25 \ m \times 0.30 \ m \times 0.45 \ m \times 9.81 \ \frac{m}{\sec^2}$$

$$F = 331 \ N$$

ولكن الضغط المؤثر على القاعدة

$$P = \frac{F}{A} = \frac{331}{0.30 \times 0.25} = 4400 \frac{N}{m^2}$$

وبطريقة أخرى يمكن استخدام المعادلة

$$P = \rho \times g \times h$$

$$P = 1000 \frac{kg}{m^3} \ 9.81 \frac{m}{\sec^2} \times 0.45 \ m$$

$$P = 4400 \frac{N}{m^2} = 4.40 \frac{kN}{m^2} = 4.40 \ kPa$$

وهي نفس النتيجة من الطريقة السابقة.

مثال(٣ ـ ٨)

حول الضغط الجوي ($101.325\ kN/m^2$) إلى ما يعادله من:

- عمود ضغط من ماء كثافته $1000\ kg/m^3$.
- عمود ضغط من زئبق كثافته النسبية(الثقل النوعى) 13.6 .

الحل: المعطيات:

الضغط الجوي($101.325kN/m^2$)، كثافة الماء($1000kg/m^3$)، الكثافة النسبية للزئبق(13.6)، عجلة الجاذبية($9.81m/sec^2$).

المطلوب:

حساب عمود ضغط الماء الذي يكافئ الضغط الجوي، وعمود ضغط الزئبق الذي يكافئ الضغط الجوي.

من معادلة سمت الضغط $p = \rho \times g \times h$

$$h_{H_2O} = \frac{p}{\rho_{H_2O} \times g} = \frac{101.325 \times 1000\ N/m^2}{1000\ kg/m^3 \times 9.81\ m/sec^2}$$

$$h_{H_2O} = 10.33\ m .$$

إذن الضغط الجوي يكافئ عمود ضغط من الماء قدره 10.33m

بالمثل يمكن حساب عمود ضغط الزئبق الذي يكافئ الضغط الجوي، ولكن هنا لابد من أن نتذكر أنه لابد من حساب كثافة الزئبق أولا:

من معادلة الكثافة النسبية والتي هي النسبة بين كثافة المادة وكثافة الماء يمكن حساب كثافة الزئبق:

$$\rho_{Hg} = \rho_{H_2O} \times 13.6$$

مثال(٣ ـ ٨)

حول الضغط الجوي ($101.325\ kN/m^2$) إلى ما يعادله من:

- عمود ضغط من ماء كثافته $1000\ kg/m^3$.
- عمود ضغط من زئبق كثافته النسبية(الثقل النوعى) 13.6 .

الحل: المعطيات:

الضغط الجوي($101.325kN/m^2$)، كثافة الماء($1000kg/m^3$)، الكثافة النسبية للزئبق(13.6)، عجلة الجاذبية($9.81m/sec^2$).

المطلوب:

حساب عمود ضغط الماء الذي يكافئ الضغط الجوي، وعمود ضغط الزئبق الذي يكافئ الضغط الجوي.

من معادلة سمت الضغط $p = \rho \times g \times h$

$$h_{H_2O} = \frac{p}{\rho_{H_2O} \times g} = \frac{101.325 \times 1000\ N/m^2}{1000\ kg/m^3 \times 9.81\ m/sec^2}$$

$$h_{H_2O} = 10.33\ m .$$

إذن الضغط الجوي يكافئ عمود ضغط من الماء قدره 10.33m

بالمثل يمكن حساب عمود ضغط الزئبق الذي يكافئ الضغط الجوي، ولكن هنا لابد من أن نتذكر أنه لابد من حساب كثافة الزئبق أولا:

من معادلة الكثافة النسبية والتي هي النسبة بين كثافة المادة وكثافة الماء يمكن حساب كثافة الزئبق:

$$\rho_{Hg} = \rho_{H_2O} \times 13.6$$

$$\rho_{Hg} = 1000 \times 13.6 \, {kg}/{m^3}$$

من معادلة سمت الضغط يمكن حساب عمود ضغط الزئبق الذي يكافئ الضغط الجوي:

$$h_{Hg} = \frac{101.325 \times 1000 \, {N}/{m^2}}{(13.6 \times 1000 \, {kg}/{m^3})(9.81 \, {m}/{\sec^2})}$$

$$h_{Hg} = 0.76 \, m$$

ولأن الزئبق أثقل من الماء فإن 0.76m من ضغط عمود الزئبق تكافئ الضغط الجوي بينما 10.33m من الماء تكافئ الضغط الجوي.

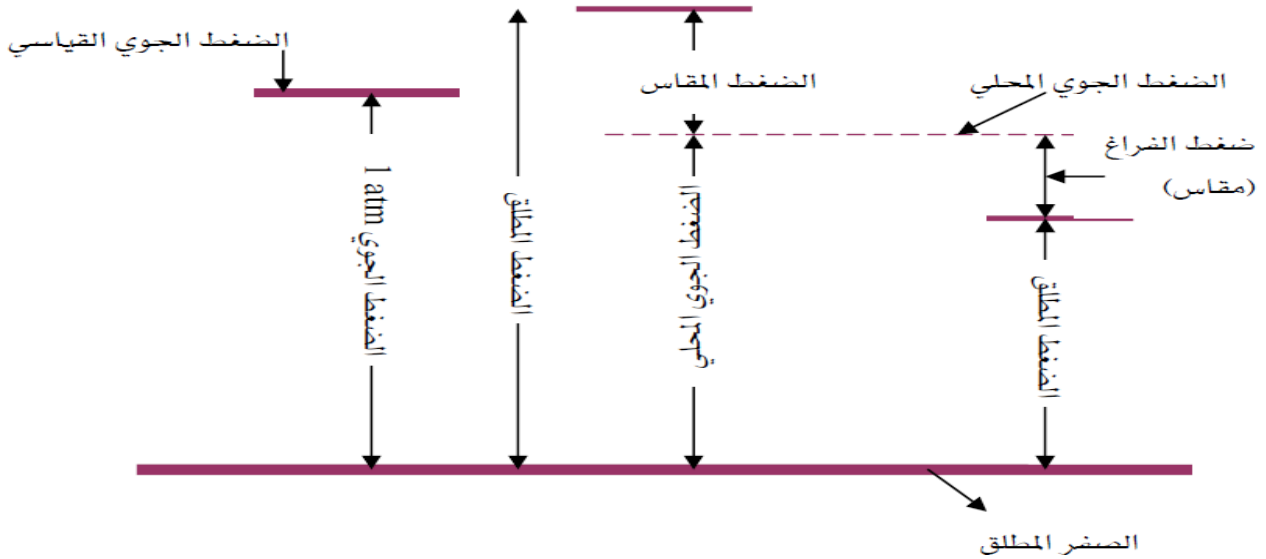
الضغط المطلق والضغط المقاس :

ومن مقاسات الضغط المعروفة الضغط المقاس والضغط المطلق والضغط السالب أو ضغط الفراغ.

يقاس الضغط دائما على مرجعية معروفة وهي إما الصفر المطلق أو الضغط الجوي المعروف.

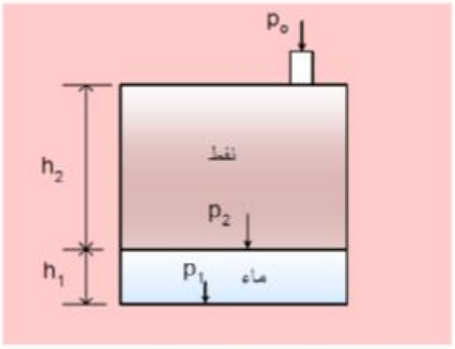
الفرق بين الضغط المقاس والضغط المطلق هو نقطة الصفر وفي الضغط المقاس أيضا تكون نقطة الصفر عند خط الضغط الجوي. وللضغط المطلق تكون نقطة الصفر هي الصفر المطلق.

يوضح الشكل (٣- ٧) مقاييس الضغط المعروفة. الضغط السالب أو ضغط الفراغ هو مقياس الضغط تحت الضغط الجوي. في كثير من الحسابات التي تعنى بالضغط هناك ما يعرف بالضغط الجوي القياسي (standard)هذا الضغط قيمته دائما 101.3 kN/m^2 أو 1.013 bar وتستخدم هذه القيمة دائما في الحسابات وذلك لأن الضغط الجوي المحلي متغير بصورة مستمرة.



شكل (٣- ٧) مقاييس الضغط

خزان ارتفاعه 3.66m يحتوي على ماء بعمق 0.61m ونفطا في الحجم المتبقي. يوجد أنبوب تنفس في غطاء الخزان العلوي.احسب الضغط المطلق المسلط على طبقة الماء والضغط المطلق المسلط على قاعدة الخزان. ثم أوجد الضغط المقاس على قاعدة الخزان. خذ كثافة الماء $1000kg/m^3$ وكثافة النفط $917kg/m^3$ والضغط الجوي $101.3\ kN/m^2$.



شكل (٣ ـ ٨) المثال (٣ ـ ٨)

الحل:

يتضح من الشكل (٣ ـ ٨) أن الضغط p_2 هو مجموع الضغط الجوي زائدا ضغط عمود النفط. والضغط p_1 على قاعدة الخزان هو مجموع الضغط p_2 زائدا ضغط عمود الماء.

$$p_2 = p_o + \rho_2 g h_2$$

$$p_2 = (101.3\times1000\ N/m^2) + (917\ kg/m^3)\times(9.81\ m/sec^2)\times(3.66-0.51)m = 128737\ N/...$$

لحساب الضغط المطلق p_1 عند قاعدة الخزان:

$$p_1 = p_2 + \rho_1 g h_1$$

$$p_1 = 128737\ N/m^2 + (1000\ kg/m^3)\cdot(9.81\ m/sec^2)\cdot(0.61m)$$

$$= 134721.1\ N/m^2$$

لحساب الضغط المقاس عند السطح يساوي الضغط المطلق عند السطح ناقصا الضغط الجوي:

$$p_{1(guage)} = p_1 - p_{0(atm)}$$

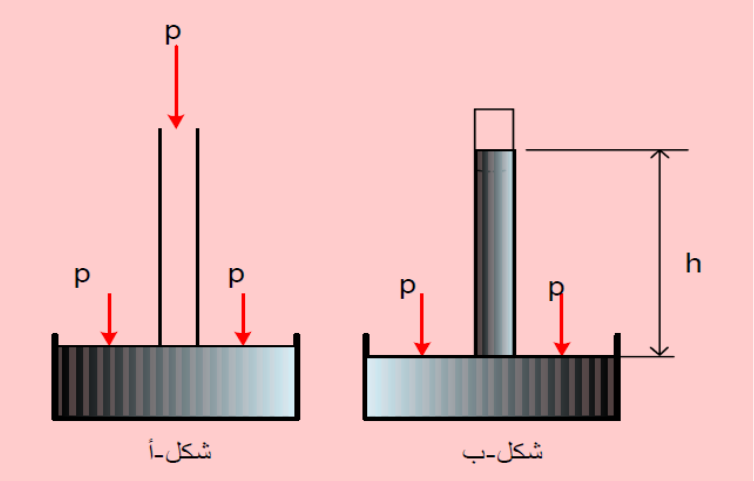
$$= 134721.1 - 101.3\times1000$$

$$= 33421.1\ N/m^2$$

بمعنى أنه لو وضع مقياس ضغط عند قاعدة الخزان لقرأ $334\ kN/m^2$

قياس الضغط Pressure Measurement

البارومیتر The Barometer



شكل (٣ ـ ٩) البارومتر

هو جهاز لقياس الضغط الجوي بوحدات ضغطه المطلقة. الشكل (٣ ـ ٩ - أ) يوضح خزانا يحتوي على سائل، وقد أدخل أنبوب زجاجي مفتوح النهاية، كما هو واضح فإن الضغط الجوي (p) سيكون مسلطاً خلال الأنبوب وعلى سطح السائل الموجود عند القاعدة عليه سيكون مستوى سطح السائل متساويا على مدى سطح السائل داخل وخارج الأنبوب. أما إذا سدت النهاية العليا من الأنبوب الزجاجي، شكل (٣-٩- ب) وأفرغ من الهواء تماما بحيث لا يوجد الآن ضغط مسلط داخل الأنبوب ولكن دائما الضغط الجوي يكون مسلطا على سطح السائل خارج الأنبوب ولذلك سوف يرتفع السائل في الاتجاه العلوي داخل الأنبوب حتى تصبح هناك كتلة من السائل فوق مستوى سطح الخزان كافية لخلق ضغط عند هذا المستوى المساوي للضغط الجوي. فإذا كانت h هي ارتفاع عمود السائل و ρ هي كثافة السائل فإن الضغط في هذه الحالة وكما أوضحنا سابقا هو :

$$p = \rho \times g \times h$$

حيث g هي عجلة الجاذبية. قياس الضغط بالطريقة السابقة هو ما عرف بالبارومتر.

إذا افترضنا أن الضغط الجوي يساوي 1.013 bar عليه يمكن حساب ارتفاع عمود الماء الذي يساوي هذا الضغط كما يلي:

$$1.013 \times 100000 = 1000 \times 9.81 \times h$$

$$h = \frac{1.013 \times 100000}{1000 \times 9.81} = 10.326\, m$$

إن عمودا من الماء ارتفاعه 10.326 m يكون كبيراً جداً للأغراض القياسية. عليه وللتقليل من هذا الارتفاع يستعمل الزئبق في البارومترات بدلا من الماء وذلك لأن الزئبق أثقل 13.6 مرة أكثر من الماء. وفي هذه الحالة فإن الارتفاع البارومتري للضغط الجوي سيكون كما يلي:

$$1.013\times100000 \;=\; 13600\times9.81\times h$$

$$\therefore h \;=\frac{1.013\times100000}{13600\times9.81} \;=\; 0.76\,m \;=\; 760\,mm$$

وعليه فغالباً ما يكتب الضغط الجوي على أنه يساوي 760 mm من الزئبق أو (760 mm Hg).

المانومترات: The Manometers

من أسهل الطرق لقياس الضغط استخدام المانومترات. المانومتر عبارة عن أنبوب زجاجي على شكل U يحتوي على سائل يعرف بسائل المانومتر يكون أثقل من المائع المراد قياس ضغطه وينبغي أن لا يمتزج سائل المانومتر مع المائع الآخر وأن لا يتفاعل معه كيميائيا..ويمكن معرفة ارتفاع السائل من التدرج الموجود على الأنبوب. تشكل علاقة الضغط بعمود الضغط أساساً لقياس الضغط بواسطة المانومتر. هناك عدة أنواع من المانومترات المستعملة سنحاول التعرف على أهمها ويمكن معرفة باقي المانومترات في مادة القياسات.

المانومتر البسيط:

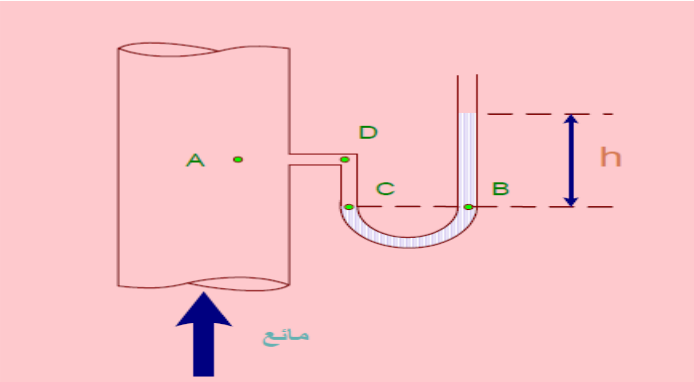
يبين الشكل(٣- ٩) المانومتر وهو ما يعرف بالمانومتر البسيط. وهو عبارة عن سائل يسري في أنبوب متصل بمانومتر على شكل حرف U . يحتوي المانومتر سائلاً ثقيلاً كالزئبق الذي يندفع بسبب الضغط إلى ارتفاع معين يحسب منه مقدار الضغط على النحو الموضح بالشكل (٣ ـ ١٠).

الضغط عند B يساوي الضغط عند C.

ولكن الضغط عند B يساوي الضغط الجوي زائدا ضغط عمود الزئبق h.

والضغط عند C هو ضغط السائل الذي يسري داخل الأنبوب.

$$p_B \;=p_C \;=p_0 \;+\rho_{Hg}gh \qquad (3-15)$$



شكل (٣ ـ ١٠) المانومتر البسيط

المانومتر التباينى Differential Manometer

هذا المانومتر يستخدم لقياس الفرق بين ضغطين لنقطتين في مائع يسري خلال أنبوب معين. الشكل (٣-١١) يوضح المانومتر التباينى.يحسب فرق الضغط بين النقطتين بدلالة ارتفاع السائل (h).

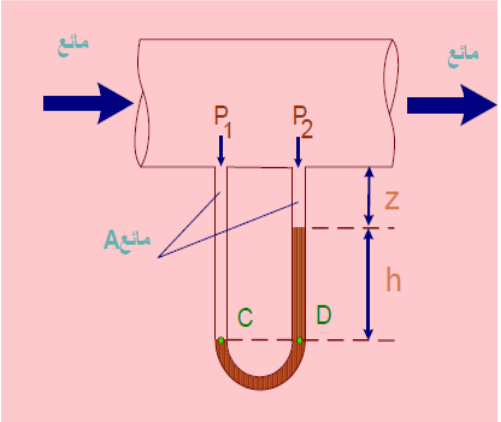
الضغط عند D يساوي الضغط عند C.

الضغط عند D يساوي الضغط p_2 زائدا ضغط عمود سائل المانومتر h زائد ضغط عمود سائل الأنبوب z.

الضغط عندC يساوي الضغطp_1 زائدا ضغط عمود سائل الأنبوب (h + z).

$$p_1 + (h+z)\rho_A g = p_2 + \rho_B gh + \rho_A gz$$

$$p_1 - p_2 = \rho_B hg + \rho_A gz - \rho_A gz - \rho_A gh$$



شكل (٣ ـ ١١) المانومتر التباينى

$$p_1 - p_2 = (\rho_B - \rho_A)gh \qquad (3-16)$$

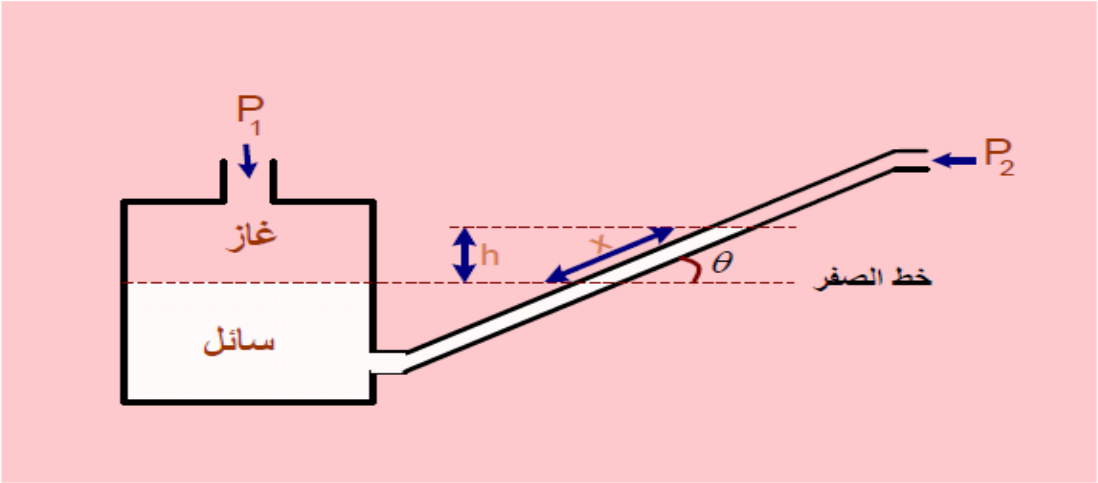
إذا كان المائع الذي يسري في الأنبوب غازاً فيمكن إهمال ضغط عمود المائع A وذلك لصغر كثافة المائع A مقارنة بمائع المانومتر B. وبالتالي يمكن كتابة المعادلة (3-12) كالتالي:

$$p_1 - p_2 = \rho_B \times g \times h \qquad (3-17)$$

المانومتر المائل: inclined manometer

يستخدم المانومتر المائل في الحالات التي يقاس فيها الضغط بصورة دقيقة كمجاري الهواء. إذا أنه يقرأ فروقاً في الضغط صغيرة جداً. وفي هذه الحالة فإن ارتفاع سائل المانومتر h يعوض عنه بـ x sinθ حيث x هي الارتفاع المائل لسائل المانومتر و θ هي زاوية ميل المانومتر.

$$p_1 - p_2 = \rho g x \sin\theta \qquad (3-18)$$



شكل (٣ ـ ١٢) المانومتر المائل

- التوتر السطحي

المقدمة

- **١- تعريف ظاهرةالتوتر السطحي: هي ظاهرة فيزيائية يمكن ملاحظتها بكثرة في الطبيعة .**
- **و التي من خلالها يمكننا تفسير تجمع قطرات الندى على ورق الأشجار ، ما الذي يجعل الطبقة السطحيّة لأي سائل تتصرف كورقة مرنة. وما الذي يسمح للحشرات بالسير على الماء ، وتطفو الأشياء المعدنية الصغيرة كالإبر، أو أجزاء ورق القصدير على سطح الماء.**
- **ولماذا تميل السوائل للتكور فى صورة قطرات و الماء مثلا يبلل سطح بعض المواد مثل الزجاج بينما يتكور ولا يبلل أسطح مواد أخرى مثل الشمع.**
- **و أيضاً لماذا الماء يرتفع فى الأنابيب الشعرية و هو ما يسمى بالخاصيّة الشعريّة بينما ينخفض مستوى سطح الزئبق فى الأنبوبة الشعرية التى تغمر فيه وكذلك هناك العديد العديد من الظواهر التى يمكن تفسيرها وفق ظاهرة التوتر السطحى.**

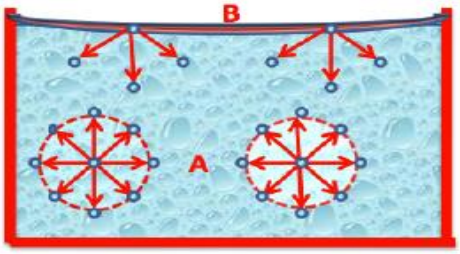
النظرية الجزيئية للتوتر السطحي

و قبل تفسير ظاهرة التوتر السطحي لابد من التعرف على نوعين من القوى :

١- قوى التماسك : و هي قوى التجاذب الناشئة بين جزيئات السائل نفسه

٢- قوى التلاصق : و هي قوى التجاذب الناشئة بين جزيئات السائل و جزيئات الإناء الحاوي على السائل.

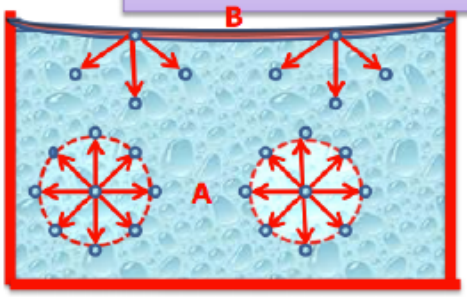
٢- تفسير ظاهرة التوتر السطحي :يتم تفسير ظاهرة التوتر السطحي وفق النظرية الجزيئية



▪يحدث التوتر السطحي بسبب التجاذب بين جزيئات السائل بواسطة التغير في قوى الجزيئات الداخليّة. في معظم السوائل كل جزيء (A) داخل السائل يتأثر بقوى تجاذب متساوية من جميع الإتجاهات بواسطة جزيئات السائل المحيطة به ، ولذا تكون القوى المؤثرة عليه متزنة أى تكون محصّلة هذه القوى تساوى صفر.

▪وعند سطح السائل تسحب الجزيئات (B) بواسطة الجزيئات الأخرى داخل السائل. لماذا؟

▪لان القوى المؤثرة على هذا الجزىء تصبح غير متوازنة و السبب فى ذلك هو أن جزىء من نصف الكرة العلوى يقع فوق سطح السائل و بذلك يكون عدد الجزيئات الجاذبة فيه أقل من تلك الموجودة فى النصف الأسفل و تكون هناك محصلة لقوة الجذب إلى داخل السائل



▪و كلما زاد اقتراب الجزيء من سطح السائل فإن حالة عدم الإتزان تزداد حتى تبلغ قيمتها العظمى عندما يكون الجزيء على سطح السائل . و لذلك فإن الجزيئات الموجودة على سطح السائل تتعرض إلى قوى جذب كبيرة فى اتجاه داخل السائل . هذه القوى تجعل سطح السائل يميل إلى التقلص ليصغر فى المساحة. وهذه القوى تسبب قوى التوتر لسطح السائل والتى تعرف بقوى التوتر السطحى ٢

▪ومما سبق تستنتج أنه لزيادة سطح السائل لابد من بذل شغل لكى ندفع بعض الجزيئات من داخل السائل إلى سطحه و هذا الشغل سيبذل ضد القوى الجاذبة التى تجذب هذه الجزيئات إلى داخل السائل أي ضد قوى التوتر السطحى. وعليه فإن أي جزيء من الجزيئات الموجودة على السطح تكون له طاقة وضع إضافية بالإضافة إلى تلك التي للجزيء المغمور تحت السطح. (طاقة الجزيئات على سطح السائل أكبر من طاقة الجزيئات داخل السائل، و تسمى بالطاقة السطحية)

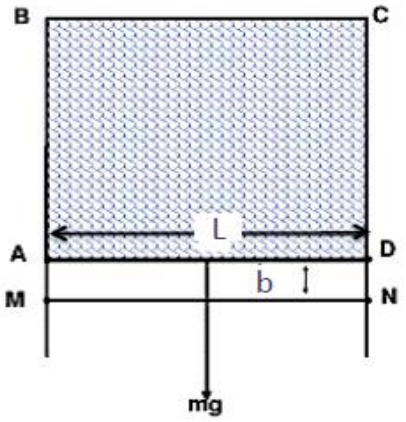
مما سبق يمكن تعريف **التوتر السطحي ٢ :**

القوة التي تؤثر في اتجاه عمودي على وحدة الاطوال من سطح السائل.

$$\Upsilon = F/L$$

طاقة السطح

طاقة السطح: طاقة الجزئيات على سطح السائل أكبر من طاقة الجزئيات في داخله و يطلق على هذه الزيادة في الطاقة اسم طاقة السطح.



إذا أزيح السلك MN كما فى الشكل مسافه قدرها b مع ثبوت درجة الحراره، فإن الشغل المبذول W لإزاحة السلك يعطى بالمعادله

$$W=F\,b$$

وبالتعويض عن F بدلالة التوتر السطحى فإن

$$W=2\Upsilon Lb$$

بصورةعامة $W=2\Upsilon A$

حيث $2Lb$ هى الزياده فى مساحة سطح الغشاء من الوجهين ، والشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة المساحات

$\Upsilon=W/2Lb$ ....

بصورة عامة $\Upsilon=W/2A$

أى أن الشغل المبذول لزيادة مساحة السطح بمقدار وحدة المساحات (وهو ما يعرف بـ طاقة السطح ويرمز له بالرمز E ووحداته جول/متر^2) يساوى التوتر السطحى ووحداته نيوتن/مترولذلك عند ثبوت درجة الحراره.

لاحظ إن السائل عندما يزدد مساحته تنخفض درجة حرارته وللحفاظ على درجة حرارة السائل ثابته فإنه يمتص طاقة حرارية من الوسط المحيط به و هذا يعني عند زيادة مساحة سطح الغشاء فإننا نحتاج إلى طاقة أعلى من الطاقة الميكانيكية التي بذلك لتحريك السلك من AB إلى AB فإذا كانت الحرارة المكتسبة لزيادة وحدة المساحة هي Q فإن اجمالي طاقة السطح اللازمة لزيادة مساحته بمقدار ΔA هي

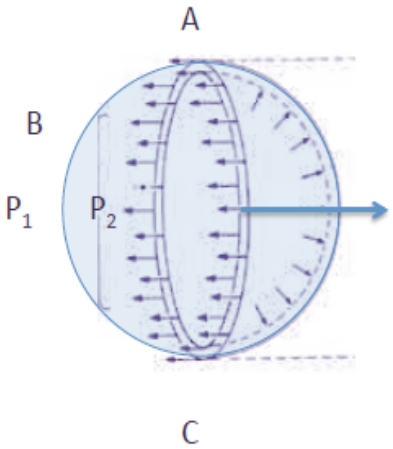
$$E=(\Upsilon+Q)\Delta A$$

العلاقة بين التوتر السطحي و الشكل الكروي

- شرط التوازن المستقر لأي نظام فيزيائي : لابد أن تكون طاقة الجهد عند حدها الأدنى
- نظرا لان الجزئيات عند سطح السائل ذات طاقة أعلى من طاقة الجزئيات الموجودة في داخله
- من شرط التوازن المتسقر يفترض عدد الجزئيات على سطح السائل أقل مايمكن هذا يعني أن مساحة سطح السائل أصغر مايكن لحجم معين من السائل

و بما أن الشكل الهندسي الذي تكون مساحته أصغر ما يمكن لحجم معين لذا السوائل تتخذ شكلا كرويا(التوتر السطحي) كما هو الحال في قطرات المطر أو قطرات الزئبق عند سكبه على سطح .

- مقدار الانحناء لقطرة السائل أو لفقاعة متكونة داخل السائل يعتمد على مقدار التوتر السطحي للسائل فإذا افترضنا أن فقاعة نصف قطرها r تكونت داخل سائل كما في الشكل فإن نصف الكرة B تقع تحت تأثير القوى التالية :



- ١- القوة الواقعة عليه نتيجة للضغط الخارجي P_1و هي $\pi r^2 P_1$ حيث
- AC هي مساحة الوجه الدائري πr^2

٢- القوة الواقعة عليه نتيجة للضغط داخل الفقاعةP_2و هي $\pi r^2 P_2$

٣-القوة الناجمة عن" التوترالسطحي" وهي $2\pi r\gamma$حيث $2\pi r$ هي محيط الدائرةC

نظرا لاتزان الدائرة AC فإن القوى المؤثرة عليها متوازنة وبالتالي فإن

$$2\pi r\gamma+\pi r^2 P_1=\pi r^2 P_2$$

$$2\gamma=r(P_2-P_1)$$

$$P_2-P_{1=}2\gamma/r$$

$$\Delta P=2\gamma/r$$

حيث ΔP هو الفرق بين الضغط داخل الفقاعة و الضغط خارجها.

فقاعةالصابون

- فقاعة الصابون لها سطحين متصلين بالهواء
- بالتالي القوة الناجمة عن التوتر السطحي $2\pi r\Upsilon\times2$
- معادلة توازن الفقاعة

$$4\pi r\Upsilon+\pi r^2P_1=\pi r^2P_2$$

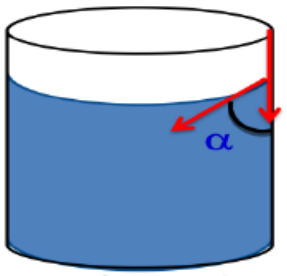
$$P_2-P_{1=}4\Upsilon/r$$

$$\Delta P=4\Upsilon/r$$

قوي التلاصق والتماسك وزاوية التلامس "زاوية التماس":

فيما سبق درسنا التوتر السطحي لسائل بمفردة كقطرة المطر، والآن سندرس سائل موجود داخل إناء.

جزيئات السائل التي تكون عند السطح وقريبة من جدار الإناء فإنها تتعرض لقوة أخري هي قوة التلاصق مع مادة الإناء. وهناك حالتين هما:

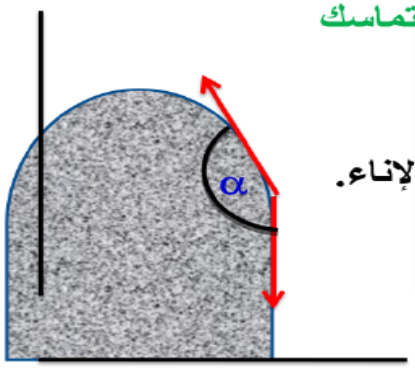


أولاً: محصلة قوى التلاصق > من محصلة قوى التماسك

١. فإن سطح السائل يأخذ شكلاً مقعراً.
٢. يكون في هذه الحالة السائل مبلل لمادة الإناء.
٣. زاوية التلامس "التماس" α حادة.

كما في حالة الزجاج والماء، (لاحظ أن زاوية التلامس في هذه الحالة تكون صغيرة جداً بحيث يمكن إعتبارها مساوية للصفر). وكما في حالة الزئبق والنحاس.

ثانياً: محصلة قوى التلاصق < من محصلة قوى التماسك



١. فإن سطح السائل يأخذ شكلاً محدباً.
٢. يكون في هذه الحالة السائل غير مبلل لمادة الإناء.
٣. زاوية التلامس α منفرجة.

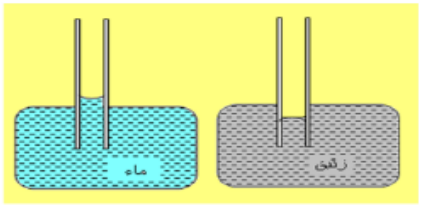
كما في حالة الزئبق والزجاج.

زاوية التلامس "التماس" α:- هي زاوية داخل السائل تكون محصورة بين جدار الإناء والمماس لسطح السائل.

وتتوقف زاوية التلامس α على نوع السائل ونوع مادة الإناء والوسط الموجود فوق السائل.فمثلا زاوية التلامس بين الزئبق والزجاج فى حالة وجود الهواء فوق الزئبق تختلف عن زاوية التلامس بين الزئبق والزجاج اذاكان الوسط المحيط بالزئبق هو الماء .

الخاصية الشعرية:

تلعب ظاهرة الخاصية الشعرية دوراً هاماً فى سريان الماء فى النباتات الحية. فهى التى تمكن جذور النبات من امتصاص الماء بما فيه من مواد مغذية ذائبة من التربة.

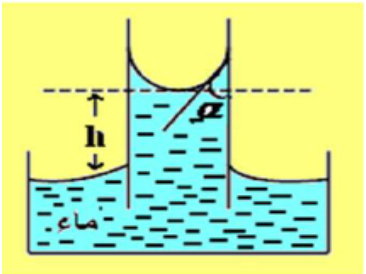


إذا غمرنا طرف أنبوبة زجاجية ذات قطر داخلى صغير رأسيا فى سائل فإننا نلاحظ تغير ارتفاع السائل فى الأنبوبة الشعرية.

و يعتمد هذا التغير على زاوية التماس بين السائل و الزجاج.

فإذا كانت زاوية التماس حادة - كما فى حالة الماء فى الزجاج (المفروض أن زاوية التماس فى حالة الزجاج النظيف و الماء النقى تساوى الصفر) - فإن السائل يرتفع فى الأنبوبة الشعرية.

أما إذا كانت الزاوية أكبرمن ٩٠ درجة - كما فى حالة الزئبق و الزجاج - فإن السائل ينخفض فى الأنبوبة الشعرية.



وفي حالة السوائل المبللة لمادة الأنبوبة الشعرية، يعتمد ارتفاع السائل h داخل الأنبوبة الشعرية على:

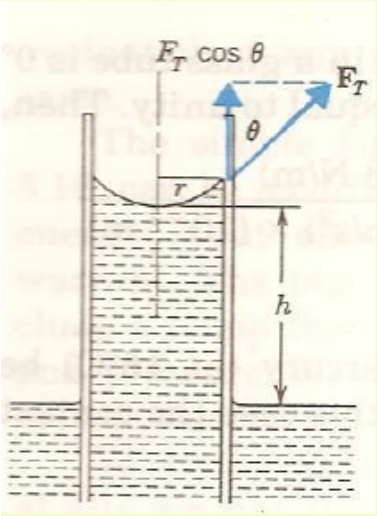
١ - نوع السائل:
- a- كثافته ρ.
- b- معامل توتره السطحي γ.
- c- زاوية التماس α.

٢ - نصف قطر الأنبوبة الشعرية r.

العلاقة بين ارتفاع السائل في الأنبوبة الشعرية و الشد السطحي للسائل

- تفسير ارتفاع الماء في الأنبوبة الشعرية:
عندما يغمر طرف الأنبوبة الشعرية في الماء يتقعر سطح الماء المواجه للهواء. و نتيجة لذلك يكون الضغط على الجانب المواجه للهواء عند النقطة M أكبر من الضغط على الجانب الآخر في باطن السائل عند النقطة N فعندما يوضع الأنبوب الزجاجي في الماء تنجذب بعض جزيئات الماء لجزيئات السطح الداخلي للأنبوب بفعل قوة تسمى قوة التلاصق، وتشد جزيئات الماء هذه بدورها جزيئات الماء الأخرى المجاورة لها بفعل قوة تسمى قوة التماسك، مما يؤدي إلى ارتفاع الماء في الأنبوب الزجاجي، ويستمر ارتفاع الماء إلى أعلى في الأنبوب الزجاجي إلى أن يصبح وزنه مساوياً لقوة الشد تلك، فيتوقف عندها ارتفاع الماء في الأنبوب ويزداد أثر هاتين القوتين في الأوعية أو الأنابيب الضيقة عنها في الواسعة، وبذا يكون مستوى سطح السائل في الأنبوب الشعري أعلى منه في الحوض.

- **حالة التوازن (القوة نحو الأعلى الناتجة من الشد السطحي = وزن عمود الماء الذي ارتفاعه h**
- **نفرض إن الشد السطحي Tيؤثر بزاوية Θمع جدار الأنبوبة حيث Θنمثل زاوية التماس بين سطح السائل والجدار العمودي للأنبوبة**
- **TcosΘ: القوة المؤثرة على وحدة طول غشاء الماء الملامس للجدران ويتجه نحو الأعلى**
- **2πr:محيط سطح الماء**
- **r: نصف قطر الأنبوبة الشعرية**
- **إذن القوة الناتجة من الشد السطحي والمؤثرة نحو الأعلى هي**



$$F = T\cos\Theta * 2\pi r$$

- **وزن عمود الماء يتجه نحو الأسفل**

$$w = mg = \rho Vg = \rho\pi r^2 hg$$

- **وعند التوازن**

$$F = w$$

- **أو**

$$T\cos\Theta * 2\pi r = \rho\pi r^2 hg$$

- **إذن**

$$T = \frac{\rho r h g}{2\cos\Theta}$$

- في حالة استخدام الماء النقي والزجاج النظيف فانΘ=صفرا وعليه فان معامل الشد السطحي هو $T = \frac{\rho r h g}{2}$
- وهذه هي الصيغة المألوفة التي تستخدم لإيجاد الشد السطحي للسوائل التي تبلل الزجاج
- (الماء ، الكحول ، الكلوروفورم)

- ومن العلاقة $h = \frac{2T\cos\Theta}{\rho r g}$
- نجد أن ارتفاع السائل يتوقف على :
- 1. نصف قطر الأنبوبة الشعرية حيث يزداد ارتفاع السائل كلما نقص نصف قطر الأنبوبة . أي العلاقة بينهما علاقة عكسية .

2. زاوية التماس حيث:

أ) يرتفع السائل في الأنبوبة عن سطحه الخالص خارجها إذا كانت زاوية التماس بين السائل و مادة الأنبوبة حادة و بذلك يكون جيب تمامها أي المقدار كمية موجبة. cosΘ

ب) ينخفض السائل في الأنبوبة عن سطحه خارجها إذا كانت زاوية التماس منفرجة حيث أن جيب تمامها يكون سالبا.

3) كثافة السائل حيث يزداد الارتفاع أو الانخفاض كلما قلت الكثافة و العكس صحيح .

الخاصية الشعرية بالتربة

- تنتج من قوتين هما :

1.التجاذب (Cohesion) : ويحدث بين جزئيات الماء.

2.الالتصاق (Adhesion) : ويحدث بين جزئيات الماء وجزيئات التربة المختلفة.

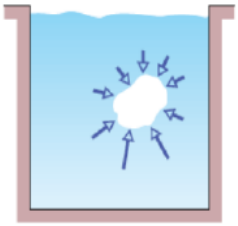
كنتيجة لهذه القوى فان المياه تسحب في المسامات ذات الأقطار الصغيرة في اتجاه معاكس للجاذبية فوق مستوى المياه الجوفية لتشكل منطقة رطبة تسمى منطقة الشعيرات المائية، , يرمز لسمك الحافة الرطبة ب (hc) عادة ما تكون هذه المنطقة ذات سمك أكبر في التربة ذات الحبيبات الناعمة منها في التربة ذات الحبيبات الخشنة لان قطر المسامات يكون أصغر.

- وللخاصية الشُّعرية فوائد عديدة؛ فعن طريقها يسري الماء داخل التربة إلى جذور النبات، وعبرها إلى سيقان وقمم الأشجار. والخاصية الشُّعرية في الملابس تمتص الرطوبة وتريح الجسم. وقد تحسنت جودة منتجات عديدة بفضل التقدم في تصميم الأنابيب الشُّعرية، خاصة فيما يتصل بالسلع المنتجة من الخامات المصنعة. وفي الملابس الواقية من الأمطار، تطرد الأنابيب الشُّعرية الماء عن الجسم، بينما تسمح للهواء بالوصول إلى الجسم فإن الشُّعرية في هذه الحالة، تطرد السائل.

6. قوى الطفو ومبدأ ارخميدس Buoyant Forces and Archimedes Principle:

عندما يغمر جسم ما في مائع بشكل جزئي او كلي ، فان هناك قوة تسمى قوة الطفو (Buayant Force) ستعمل على رفعة الى الاعلى بمقدار مساوي لوزن المائع المزاح بواسطة ذلك الجسم.

- افرض ان جسم وضع في الماء كما في الشكل فأن هذا الجسم سيقوم بازاحة كمية من الماء مساوية تماماً لحجمه (شكله غير ضروري) و لذا سوف يلاحظ ارتفاع سطح الماء الى الاعلى من مستواه السابق (قبل وضع الجسم).



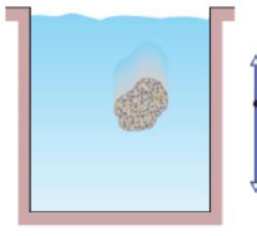
(a)

- هنالك مجموعة من القوة الناجمة عن تأثير الماء سوف تأثر على الجسم من جميع جوانبه و لكن هذه القوى الناجمة عن ضغط الماء على الجسم ستؤدي الى :

1- ستكون محصلة القوى الافقية تساوي صفر اي ان ($\sum F_{Horizontal} = 0$).
2- بما ان الضغط هو دالة لعمق الجسم فسيكون تأثير القوى في اسفل الجسم أكبر منه في أعلى الجسم ، ولذا سيكون صافي القوى العمودية بأتجاه الاعلى و التي سميت بقوة الطفو و مقدارها

حيث m_{fluid} كمية السائل المزاح (الماء).

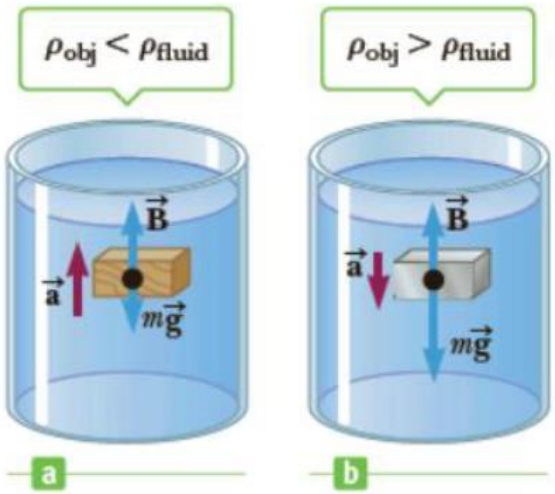
- الان لنفرض ان الجسم (عبارة عن صخرة Stone) فعندما تغمر هذه الصخرة (الجسم) نلاحظ غرق هذه الصخرة و ذلك لان صافي القوى المؤثرة سيكون اكبر بأتجاه الاسفل ((وذلك بسبب ان كثافة الجسم هنا اكبير من كثافة المائع (الماء))وكما بالشكل المدرج ادناه.



(b)

(c)

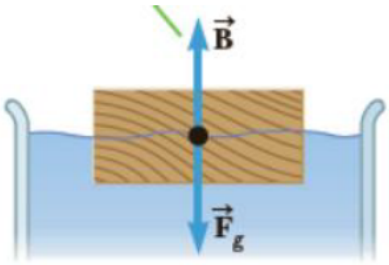
- اما اذا كان الجسم عبارة عن قطعة من الخشب فأن الجسم بعد وضعه في السائل سوف يتجه نحو الاعلى وذلك لأن قوة الطفو F_b ستكون اكبر من قوة وزن الجسم الخشبي(او لان كثافة الخشب اقل من المائع) و لذا سيكون صافي القوى نحو الاعلى .



- مماتقدم سيكون لدينا **حالتين** للتعامل مع القوى المؤثرة على الجسم:

(1) المغمور تماماً في المائع (السائل).

(2) مغمور جزئياً(اي ان – يطفو على السطح).



F_b

الحالة الاولى Case-1 :

في هذه الحالة ينغمر الجسم جزئياً ، و في حالة التوازن فأن الجسم سيطفو على السطح المائع . قوة الط حالة تكون مساوية لوزن الجسم

W=mg

$$F_b = W =$$

$$or$$

$$\rho_{fluid} V_{flu}$$

حيث V_{obj} هو حجم الجسم .

الحالة الثانية Case-2 :

عندما يغمر الجسم تماما في المائع (يغرق)و ان قوة الطفو تعطى كما يلي:

$$F_b = \rho_{flui}$$

حيث ان وزن الجسم المغمور يعطى بالعلاقة:

$$W = \rho_{obj}$$

7. الوزن الظاهري في المائع Apparent Weight in Fluid:

هناك فرق بين وزن الجسم الحقيقي ووزنه عندما يوضع في المائع و الفرق سببه تأثير قوة الطفو. ولحساب الوزن الظاهري نستخدم العلاقة التالية:

الوزن الظاهري = الوزن الحقيقي للجسم – مقدار قوة الطفو

الخلاصة من مبدأ ارخميدس الاتي:

1- عندما يغمر الجسم في المائع فأنه ينقص من وزنه بمقدار قوة دفع الماء له (قوة الطفو).

2- حجم المائع المزاح=حجم الجزء المغمور من الجسم.

3- قوة الطفو=وزن الجسم الحقيقي –وزن الجسم الظاهري

مثال: تم شراء تاج مصنوع من الذهب الخالص ، قيمة وزنه في الهواء T_{air}=7.84 N ، بعد ذلك تم وزنه بعد غمره في وعاء ماء ليكون وزنه الظاهري T_{water}=6.86 N ، هل التاج صحيح مصنوع من الذهب الخالص؟

الحل :

1- بتطبيق قانون نيوتن الاول على الناج عند وزنه في الهواء

F=ma

T_{air}-mg=0 ----------(1)

2– عند غمر التاج في الماء فأن قراءة الميزان Twater تساوي قوة الطفو –وزن التاج

$T_{water}-mg+F_b=0$ ----------(2)

بتعويض معادلة (1) في (2) نحصل على:

$T_{water}- T_{air} +F_b=0$ ----------(3)

اذن

$$\therefore \quad Fb = Tair$$

$$\because F_b = m_{wate}$$

$$V_{water} = \frac{}{\rho_{wa}}$$

$$m = \frac{\text{Tair}}{g} = \cdot$$

حسب قاعدة ارخميدس ، حجم الجسم يساوي حجم الماء المزاح و باستخدم تعريف $m = \rho V$

$$\rho_{crown} = \frac{m_{crown}}{V_{crown}} = \frac{0.8}{10^{-4}} = 8 \times 10^3 (\frac{kg}{m^3})$$

مثال: قطعة خشب له كثافة 6×10^2 kg/m^3 و مساحتها السطحية 5.7 m^2 وحجمها 0.6 m^3 ، عند وضعها في مياه نقية الى اي عمق h سوف يغمر الجزء السفلي منها؟

الحل: قطعة الخشب تقع تحت تأثير قوة الطفو (متجه نحو الاعلى) و قوة الجاذبية mg (متجه نحو الاسفل) و عند الاتزان

$F_b=m_{wood}g$ ----------(1)

الحجم المغمور من قطعة الخشب يساوي V_{water} =(Ah)

وبما ان قوة الطفو تساوي وزن الماء المزاح .

$$F_b = m_{water}$$

نعوض معادلة (2) في (1) نحصل على:

الأسئلة والتمارين:

١) ضع علامة (✓) أمام الإفادة الصحيحة وعلامة (✗) أمام الإفادة الخطأ في الآتي :

(١) سير وتحرك الحشرات الصغيرة فوق سطح الماء دليل علي :
(أ) قوة التوتر السطحي ( )
(ب) وجود الخاصة الشعرية ( )
(ج) قوة دفع الماء لهذه الحشرات ( )
(د) كل ما ذكر صحيح ( )

(٢) صعود الماء والأملاح المعدنية إلي أعلي عبر ساق النبات دليل علي :
(أ) التوتر السطحي ( )
(ب) مرونة المادة ( )
(ج) الخاصة الشعرية ( )
(د) كل ما ذكر صحيح ( )

(٣) ميل سطح السائل إلي التقعر بسبب تأثير :
(أ) الخاصية الشعرية ( )
(ب) التوتر السطحي ( )
(ج) قوي التماسك بين الجزيئات ( )
(د) قوي الالتصاق بين جزيئات مادتين ( )

(٤) الظاهرة الأسموزية هي انتقال المذيب عبر غشاء شبه منفذ :
(أ) من المحلول المخفف إلي المحلول المركز ( )
(ب) من المحلول المركز إلي المحلول المخفف ( )
(ج) من محلول آخر مساوٍ له في درجة التركيز ( )
(د) كل الاحتمالات المذكورة غير صحيحة ( )

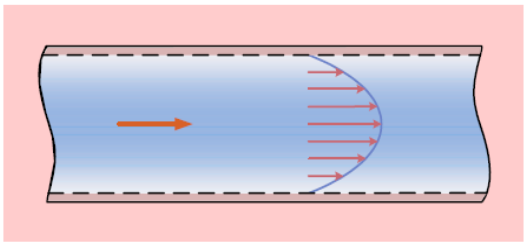
(٥) الخاصة الشعرية هي :
(أ) ميل سطح السائل إلي التكور ( )
(ب) انتقال السائل من محلول لآخر ( )
(ج) ارتفاع أو انخفاض السائل عن مستواه ( )
(د) التصاق السائل بجدران الإناء ( )

٢) لديك نبتتان وضعت إحداهما في كأس به ماء ووضعت الأخرى في كأس به محلول . أيهما تذبل قبل الأخرى ؟ولماذا ؟

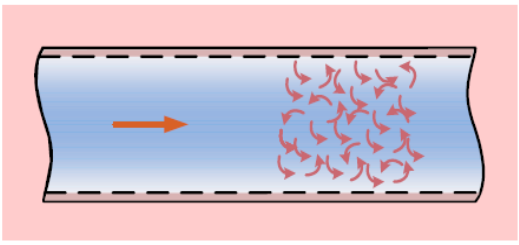
الموائع في حالة الحركة
Fluids in Motion

أنواع انسياب الموائع Types of Fluid Flow

يعرف الانسياب بأنه حركة الموائع والموائع هي مجموعة المواد القابلة للسريان والانتشار كالغازات والسوائل. عند انسياب مائع خلال ماسورة فإنه يتعرض إلى مقاومة سببها الاحتكاك واللزوجة. إذا كان متوسط سرعة المائع خلال الماسورة منخفضاً فإن المائع سوف يسري في خطوط متوازية على طول الماسورة وفي هذه الحالة فإن جسيمات (particles)المائع تتحرك بصورة منتظمة وتحتفظ بمواقعها النسبية على مختلف المقاطع أثناء حركتها. في هذه الحالة يعرف انسياب المائع بأنه انسياب هادئ أو انسياب رقائقي أو طبقي (laminar flow) شكل (٣ ـ ١٣ ـ أ)، وفي حالة زيادة السرعة المتوسطة إلى قيمة معينة فإن جسيمات المائع ستتحرك بصورة غير منتظمة وستنشأ تيارات دوامية. في هذه الحالة يسمى انسياب المائع بالانسياب الدوامي أو الانسياب المضطرب (turbulent flow)، شكل (٣ ـ ١٣ ـ ب).



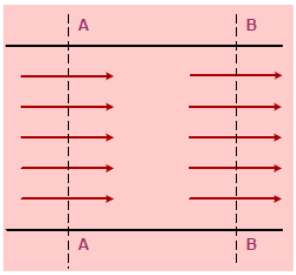
شكل (٣ ـ ١٣ ـ أ) السريان الرقائقي



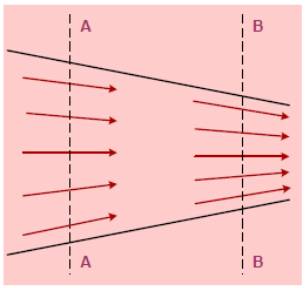
شكل (٣ ـ ١٣ ـ ب) السريان المضطرب

حركة الموائع Fluids in Motion

بافتراض أن جسيمات السائل تتحرك في خطوط متوازية فإن حالة الضغط والسرعة عند أي مقطع ستكون متطابقة. هذه الحالات توجد في المواسير المتوازية وعندما تكون سرعة الانسياب منخفضة. هذا النوع من الانسياب يسمى انسياباً منتظماً ومستقراً steady uniform flow، انظر الشكل (٣ ـ ١٤ ـ أ). أما إذا انساب السائل في ماسورة متقاربة أو لامة (convergent) فإن سرعة جسيمات المائع سوف تزيد في اتجاه السريان (انظر الشكل (٣ ـ ١٤ ـ ب) وعليه فإن حالة الضغط و السرعة عند أي مقطع لن تتطابق. ولكن وطالما أن الضغط والسرعة ستكون ثابتة عند المقطع المعين فإن الانسياب في هذه الحالة يسمى انسياباً غير منتظم ومستقر (steady non-uniform flow).



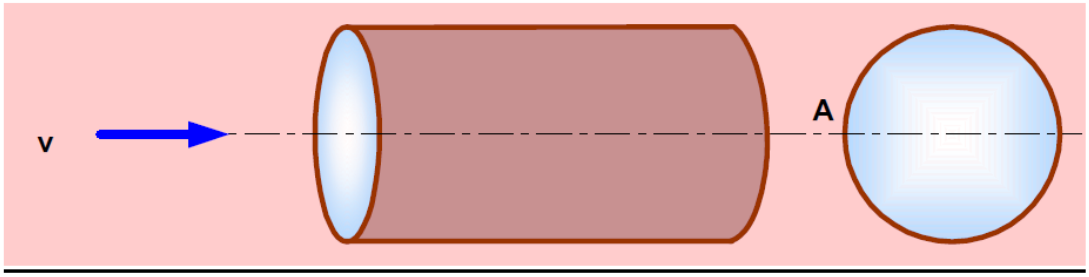
شكل (٣ ـ ١٤ ـ أ) سريان مستقر ومنتظم



شكل (٣ ـ ١٤ ـ ب) سريان مستقر وغير منتظم

معدل السريان: Rate of Flow

عندما ينساب مائع في ماسورة (شكل ٣- ١٥)، فإن حجم المائع الذي يقطع المساحة العمودية على اتجاه السريان في وحدة زمنية معينة يعبر عنه بمعدل السريان الحجمي $\dot{Q}$.



شكل (٣ ـ ١٥) معدل السريان الحجمي يساوي السرعة في مساحة المقطع

يحسب معدل السريان الحجمي على النحو التالي:

$$\dot{Q} = A \times v \qquad (3-19)$$

ووحدات معدل السريان الحجمي هي m^3/sec

يمكن استنتاج معدل السريان الكتلي $\dot{m}$

من تعريفنا للكثافة بأنها هي كتلة وحدة الحجم ، أي أن:

$$\rho = \frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$$

$$\therefore \text{الكتلة} = \text{الحجم} \times \text{الكثافة}$$

$$\therefore m = V \times \rho$$

$$\dot{m} = \rho \times \dot{Q} \qquad (3-20)$$

مثال (٣ ـ ١١)

ينساب الماء في ماسورة قطرها 15mm وبسرعة قدرها 0.6 m/sec. احسب معدل السريان الحجمي ومعدل السريان الكتلي.

الحل:

باستخدام معادلة معدل السريان الحجمي:

$$\dot{Q} = A \times v \qquad \dot{Q} = \tfrac{\pi}{4}(0.015)^2 \times 0.6 = 106.02 \times 10^{-6}\ m^3/sec$$

وباستخدام معادلة السريان الكتلي:

$$\dot{m} = \rho \times \dot{Q} \qquad \dot{m} = 1000 \times (106.02 \times 10^{-6}) = 0.106\ kg/sec$$

معادلة الاستمرار(الاستمرارية) Continuity Equation

وعندما يكون الحجم هو معدل السريان الحجمي أي حجم المادة (بالأمتار المكعبة مثلا) في الثانية الواحدة فإن الكتلة لابد أن تصير هي معدل السريان الكتلي أي عدد الكيلوجرامات من المادة في الثانية وعليه فإن:

$$\dot{m} = \rho_1 \times A_1 \times v_1 = \rho_2 \times A_2 \times v_2 \qquad (3-21)$$

المعادلة (٣ ـ ٢١) هي ما يعرف بمعادلة الاستمرار(الاستمرارية ، الاتصال) continuity equation أو قانون حفظ الكتلة law of conservation of mass .

أي أن معدل السريان الكتلي يكون ثابتا عند جميع المقاطع. وفي حالة الموائع غير القابلة للانضغاط تكون الكثافة ثابتة أي أن:

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho$$

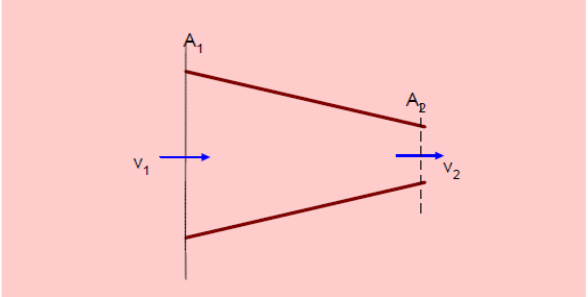
وبالتالي فإن:

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 \qquad (3-22)$$

$$\therefore Q_1 = Q_2$$

مثال (٣ ـ ١٢):

مائع غير قابل للانضغاط يسري في أنبوبة لامة converging pipe ذات مقطع دائري قطره عند المدخل 0.46m وقطره عند المخرج 0.15m ، إذا كان معدل السريان الحجمي 0.3 m^3/sec ، احسب السرعة عند المدخل والسرعة عند الخرج.



شكل (٣ ـ ١٦) المثال (٣ـ ١٢)

الحل:

بالرجوع لمعادلة معدل السريان الحجمي:

$$Q = A_1 \times v_1$$

يمكن حساب السرعة عند مقطع الدخول كما هو موضح في الشكل.

$$v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

ولكن المساحة عند مقطع الدخول A_1 يمكن حسابها كالتالي:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} d_1^2 = \frac{\pi}{4}\left(0.46^2\right) = 166.19 * 10^{-3}\ m^2$$

$$\therefore v_1 = \frac{0.3}{1.66019 * 10^{-3}} = 1.8\ {}^{m}\!/_{\sec}$$

يمكن حساب السرعة عند مقطع الخروج بنفس الطريقة.

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.3}{\frac{\pi}{4}\left(0.15^2\right)} = 16.98 \cong 17\ {}^{m}\!/_{\sec}$$

يمكن ملاحظة الفرق الكبير بين السرعتين. ولكن يظل معدل السريان الحجمي ثابتاً عند المقطعين.

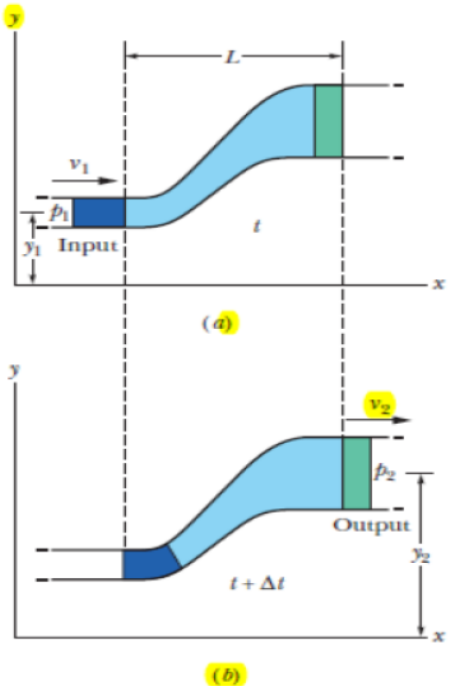
يمكن حل المثال السابق باستخدام معادلة الاستمرار.

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2$$

$$\therefore v_2 = \frac{A_1 \times v_1}{A_2} = \frac{\frac{\pi}{4} \times d_1^2 \times v_1}{\frac{\pi}{4} \times d_2^2}$$

$$\therefore v_2 = \frac{\frac{\pi}{4} \times 0.46^2 \times 1.8}{\frac{\pi}{4} \times 0.15^2} = 16.93 \quad \frac{m}{\sec}$$

4- معادلة برنولي
Bernoulli's Equation:



توضيح للطلبة..الشكل يوضح تدفق المائع بمعدل ثابت خلال انبوب طوله L من فتحة الدخول باتجاه اليسار نحو فتحة الخروج الى اليمين . من الوقت t(كما في الشكل a الى وقت t+dt في b, كمية المائع الداخلة للانبوب تساوي كمية المائع الخارجة

افرض ان y1 ، v1 و p1 هي موقع و سرعة و ضغط المائع الداخل للانبوب من اليسار ، بالمثل فان y2 ، v2 و p2 هي معاملات المائع الخارج من الانبوب من جهة اليمين.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2 \quad \text{.....(1)}$$

و ممكن اعادة كتابة معادلة 1 كمايلي:

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = Constant \quad \text{.....(2)}$$

- المعادلة(2) اعلاه تسمى معادلة برنولي Bernoulli's Equation و هي نتيجة لقانون حفظ الطاقة Energy conservation و التي تطبق على المائع المثالي (Ideal Fluid).
- الحد الثاني من المعادلة اعلاه يسمى كثافة الطاقة الحركية للمائع (kinetic energy density) معدل الطاقة الحركية لوحدة الحجم.
- اما الحد الثالث من المعادلة اعلاه يسمى كثافة الطاقة الكامنة للمائع (Gravetational potential energy density) , والتي تتولد بسبب الجاذبية الارضية.
- ملاحظة : نستنتج من معادلة برنولي الاتي :

((عندما يتحرك المائع خلال الانبوب الذي يتغير مقطعه العرضي وكذلك ارتفاعه فأن الضغط سوف يتغير على طول الانبوب))

5- اشتقاق معادلة برنولي *Bernoulli's Equation*:

لاشتقاق معادلة برونولي سوف نفرض ان المائع غير قابل للانضغاط (incompressible) ، غير لزج nonviscous و ينساب بشكل خالي من الدوامات nonturbulent و بحالة مستقرة، حسب قانون حفظ الطاقة من صيغة فان الشغل المنجز على النظام= التغير بالطاقة الحركية:

$$W = \Delta K \quad \textbf{(1)}$$

المعادلة اعلاه توضح التغير في الطاقة الحركية للنظام ، و الذي يجب ان يساوي الشغل المنجز على النظام، التغير بالطاقة الحركية للنظام ينشىء من التغير في سرعة المائع بين نهايتي الانبوب (النهاية التي يدخل بها المائع للانبوب و التي يخرج منها المائع) و يعبر عنها كمايلي:

$$\Delta K = \frac{1}{2}\Delta m v_2^2 - \frac{1}{2}\Delta m v_1^2$$

$$\Delta K = \frac{1}{2}\rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2) \qquad (2)$$

حيث ان $\Delta m (= \rho \Delta V)$ تمثل كتلة المائع التي تدخل من مدخل الانبوب و التي تخرج من النهاية الاخرى خلال فاصلة زمنية صغير مقدارها Δt.

الشغل المنجز على النظام ينشئ من مصدرين ، الاول: الشغل المنجز بواسطة قوة الجاذبية $(\Delta m \overline{g})$ على كتلة المائع خلال الارتفاع العمودي من منفذ الدخول الى منفذ الخروج للانبوب و يعرف بالطاقة الكامنة بالمعادلة التالية:

$$\begin{aligned} W_g &= -\Delta m g (y_2 - y_1) \\ &= -\rho g \Delta V (y_2 - y_1) \end{aligned} \qquad (3)$$

<u>الاشارة السالبة</u> في المعادلة اعلاه تشير الى ان الازاحة التي ينتقلها العنصر الحجمي من المائع نحو الاعلى معاكسة لاتجاه قوة الجاذبية الارضية و التي تكون نحو الاسفل. ، و المصدر الثاني للشغل هو الشغل المنجز بواسطة قوة تؤثر على مائع محجوز في انبوب مساحته A لدفع push المائع مسافة Δx من نهاية الدخول (input end) للمائع باتجاه النهاية الاخرى (output end) يعطى كما يلي:

$$F\Delta x = (pA)(\Delta x) = p(A\Delta x) = p\,\Delta V$$

الشغل المنجز على النظام يعرف $p_1\,\Delta V$ و الشغل المنجز بواسطة النظام $-p_2\,\Delta V$ و مجموعهما هو

$$\begin{aligned} W_p &= -p_2\,\Delta V + p_1\,\Delta V \\ &= -(p_2 - p_1)\,\Delta V \end{aligned} \qquad (3)$$

جزء من الشغل سوف يذهب الى تغيير في الطاقة الحركية و الجزء الاخر يذهب الى تغيير الطاقة الكامنة لنظام الموائع و الارض.

الان نظرية الشغل و الطاقة الحركية تصبح

$$W = W_g + W_p = \Delta K \qquad (4)$$

الان ممكن اعادة كتابة المعادلة (1) باستخدام معادلات 2–4 بالشكل التالي:

$$-\rho g \Delta V (y_2 - y_1) - (p_2 - p_1)\,\Delta V = \frac{1}{2}\rho \Delta V (v_2^2 - v_1^2) \qquad (5)$$

بالقسمة على ΔV و اعادة ترتيب المعادلة اعلاه ، نحصل على معادلة برنولي

$$-\rho g (y_2 - y_1) - (p_2 - p_1) = \frac{1}{2}\rho (v_2^2 - v_1^2) \qquad (5)$$

$$\boxed{P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g y_2} \quad \text{.....(6)}$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = Constant \quad \text{.....} \quad \text{...(7)}$$

معادلة برونولي يعبر عنها نصيا : مجموع الضغط P، و الطاقة الحركية لوحدة الحجم $\frac{1}{2}\rho v^2$ و الطاقة الكامنة لوحدة الحجم $\rho g y$ لها القيمة نفسها في كل النقاط على طول التدفق المنساب Stream line .

اللزوجـــــة

هي خاصية للمادة تتـــسبب في وجود مقاومة أو احتكاك بين طبقات السائل بحيث تعوق انزلاق ف بعضها فوق بعض وحركة الأجسام فيها.

ويمكن إدراك مفهوم اللزوجة من التجارب الآتية:

١-عند صب حجمين متساويين من الماء والجلسرين في قمعين متماثلين وقياس سرعة الانسياب نجد أن سرعة انسياب الماء تكون أكبر منها للجلسرين.

٢-اذا كان لدينا كأسان متماثلان يحويان حجمين متساويين من الماء والعسل نلاحظ أنه عند تقليب كل من السائلين بساق زجاجيـــة نجد أن حركة الساق في الماء تكون أسهل ،وهذا يعني أن مقاومة الماء لحركة الساق أقل من العسل ،كما يستمر الماء في الحركة لمدة أطول بعد رفع الساق.

٣-عند إسقاط كرتين معدنيتين متماثلتين كل منهما علي حدة في مخبارين متماثلين بهما حجمان متساويان من الماء

والجلسرين ،وحساب الزمن الذي تستغرقه كل منهما للوصول للقاع .نجد أن الزمن في حالة الماء يكون أقل ،وهذا يعني أن الجلسرين يقاوم حركة الكرة خلاله أكبر من الماء.

الاستنتاج:

(أ) بعض السوائل كالماء و الكحول قابليتها للانسياب كبيرة ،بينما مقاومتها لحركة الأجسام فيها صغيرة ،لأن لزوجتها صغيرة.

(ب) بعض السوائل كالعسل و الجلسرين قابليتها للانسياب صغيرة، بينما مقاومتها لحركة الجسام فيها كبيرة ،لأن لزوجتها كبيرة.

كيف نفسر خاصية اللزوجة؟

١- نتصور طبقة من السائل محصورة بين لوحين مستويين أحدهما ساكن بسرعة .

٢- السائل الملامس للوح الساكن يكون ساكنا أما السائل الملامس للوح المتحرك ،فإنه يتحرك بسرعة v ، أما باقي السائل بين اللوحين فيتحرك بسرعات تتراوح بين صفر، v

يمكن تصور أن السائل يتحرك في طبقات بحيث تكون سرعة كل طبقة أقل من سرعة الطبقة التي تعلوها.

سبب الاختلاف النسبى فى السرعة :

(أ) وجود قوي احتكاك بين طبقة السائل الملامسة للوح السفلي ،وسببها قوي الالتصاق بين السطح الصلب ،وجزيئات السائل اللاصقة لها فتعوق انزلاقها فتبدو هذه الطبقة ساكنة.

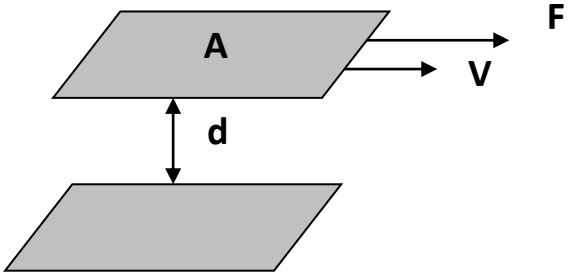
(ب) وجود قوي شبيهة بقوي الاحتكاك بين كل طبقتين متجاورتين للسائل تعوق انزلاقها فوق بعضها ،وهذا يعمل علي وجود الفرق النسبي في السرعة بين كل طبقتين متجاورتين يسمي هذا النوع من السريان، السريان الطبقي أو السريان اللزج.

ملحوظة لكي نجعل اللوح المتحرك يبقي متحركا بسرعة ثابتة ،وجد عمليا أنه لابد من التأثير عليه بقوة(F) مماسية لطبقة السائل

هذه القوة تتوقف على العوامل التالية:

(أ) مساحة اللوح المتحرك (A) حيث $F \alpha A$ عند ثبوت باقي العوامل .

(ب) فرق السرعة بين الطبقتين (V)



$F \alpha V$ عند ثبوت باقي العوامل.

(ج) البعد العمودي بين الطبقتين d

$$F \alpha \frac{1}{d}$$ **عند ثبوت باقي العوامل.**

من العلاقات السابقة

$$F \alpha \frac{A V}{d} \qquad F = \frac{\eta A V}{d}$$

ملحوظة :- الضغط الناشى عن قوة اللزوجة على طبقة السائل = صفر لان قوة اللزوجة دائما مماسية لطبقة السائل

معامل اللزوجة لمائـــــع: (η)

هوالقوة المماسية المؤثرة علي وحدة المساحات بحيث ينتج عنها فرق في السرعة مقداره الوحدة بين طبقتين من السائل المسافة العمودية بينهما الوحدة.

$$\eta = \frac{F\,d}{A\,V}$$

ملاحظات:

١- وحدة قياس معامل اللزوجة $N.S/m^2$ او $J.S/m^3$ او $Pa\,.\,s$ او $kg\,m^{-1}\,s^{-1}$

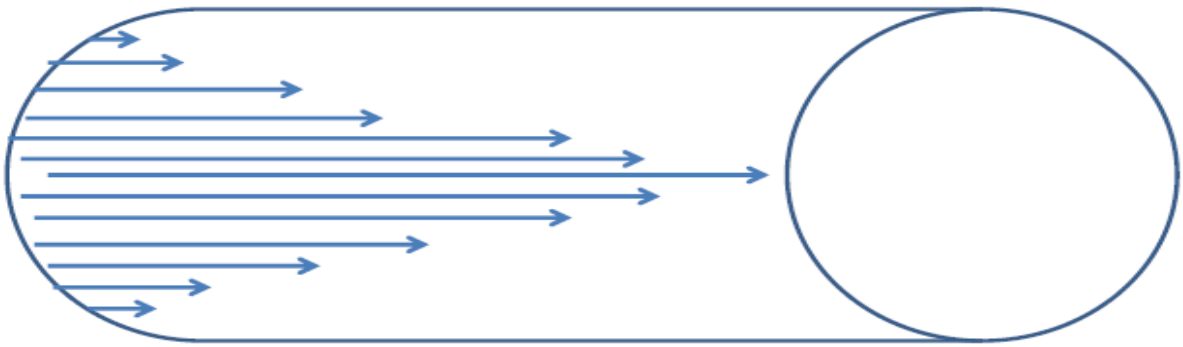
٢- وحدة قياس الضغط × وحدة قياس المساحة = وحدة قياس القوة

وحدة قياس الضغط × وحدة قياس الزمن = وحدة قياس معامل اللزوجة

وحدة قياس الضغط × وحدة قياس الحجم = وحدة قياس الطاقة

٣- معامل اللزوجة خاصية فيزيائية تتوقف علي:

١-نوع مادة المائع. ٢-درجة الحرارة.



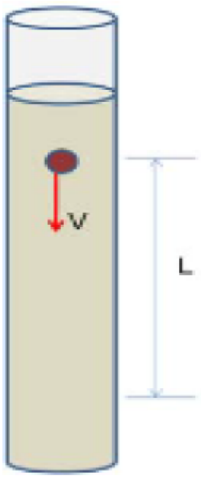
قانون ستوكس

- عند سقوط كرة معدنية في سائل لزج تحت تاثير وزنها فقط
- ولا تدور حول اي من محاورها اثناء السقوط ف
- فان الكرة تؤثر علي طبقات السائل الملامسة لها وبالتالي ازاحة للطبقات.
- وبالتالي فان السائل يؤثر بقوة F تعتمد علي سرعة الكرة v ونصف قطرها r ومعامل اللزوجة η
- وباستخدام الوحدات والابعاد نستنتج ان القوة هي

$$F = 6\,\pi\,\eta\,r\,v$$

دراسة حركة كرة تسقط بسائل لزج

ولحساب معامل اللزوجة لكرة معدنية في سائل لزج فانها تقع تحت تأثير مجموعة قوي هي:



- وزن الكرة F_1 وتؤثر رأسياً لاسفل

$$F_1 = \frac{4}{3}\,\pi\, r^3 \rho_s\, g$$

- قوة دفع السائل وتساوي وزن السائل المزاح F_2 وتؤثر رأسياً إلي أعلي

$$\boldsymbol{F_2 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_L\, g}$$

- قوة لزوجة السائل F3 وتكون معاكسة لأتجاه حركة الكرة (إلي أعلي) وتزداد هذه القوة بزيادة سرعة الكرة

$F_3=6p\,\eta\, r\, v$

وعندما تصل سرعة الكرة إلي سرعة منتظمة V_T فأن هذه القوي تتوازن أي أن مجموع القوي المؤثرة إلي أعلي يساوي مجموع القوي إلي أسفل. أي أن

$F_1 = F_2 + F_3$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s\, g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_L\, g + 6\pi\eta r v_T$$

ويمكن كتابة المعادلة السابقة علي الشكل:

$$\eta = \frac{2}{9}\frac{r^2}{v_T}(\rho_s - \rho_L)g$$

حيث g عجلة الجاذبية الارضية، كثافة ρ_s الكرة المعدنية، r كثافة السائل اللزج، ρ_L هي نصف قطر الكرة المعدنية، v_T السرعة المنتظمة للكرة و η هي معامل اللزوجة.

- من المعادلة السابقة نجد ان العجلة التي يتحرك بها الجسم في بداية الحركة هي:
- $a = g\,\frac{(\rho_s - \rho)}{\rho_s}$

- وبالتالي السرعة النهائية للكرة هي:
- $v_t = 2\,r^2\,g\,\frac{(\rho_s - \rho)}{9\,\eta}$

ولقد وجد أن سرعة سقوط الكرة تتأثر بنصف قطر الأنبوبة R المحتوية علي السائل اللزج والعلاقة التي تربط بين سرعة الكرة بالانبوبة v ونصف القطر R وسرعة الكرة v_T يمكن إعطاؤها علي الصورة :

$$v_T = v\left(1 + 2.4\frac{r}{R}\right)$$

وهذه العلاقة تسمي تصحيح لادنبرج

Ladenburg correction

بشرط حيث D قطر الانبوبة و ρ كثافة السائل

$$\left(\frac{\rho\,v\,D}{\eta}\right) \leq 2000$$

مثال 1

كرة سقطت من السكون في سائل لزج اوجد قيمة العجلة عندما تكون سرعتها ربع السرعة النهائية؟

$$mg - U - F = ma$$

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s\, g - \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_L\, g - 6\pi\eta r \frac{v_T}{4} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s\, a$$

اي ان العجلة تنقص بزيادة سرعة الكرة
وعند السرعة النهائية تكون a=0

علاقة بوازيل للانسياب لسائل خلال انبوبة افقية

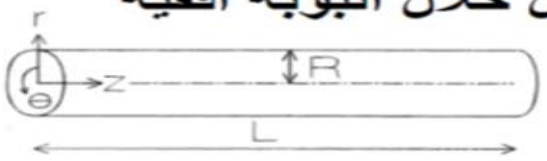
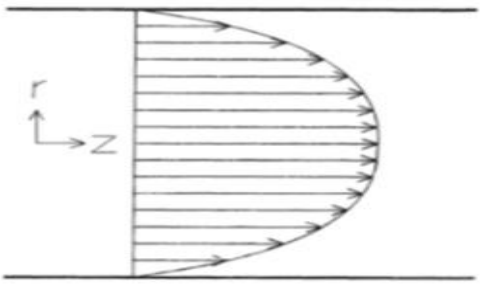


Figure 1. Poiseuille flow geometry.

يعتمد معدل التدفق علي :
1- نصف قطر الانبوبة R
2- فرق الضغط بين طرفيها P
3- طول الاسطوانة L



$$Q = \frac{\pi R^4 P}{8 \eta L}$$

تطبيقات على خاصية اللزوجة

(أ)- التزييت و التشحيم وفائدته:

١- تقليل كمية الحرارة المتولدة نتيجة احتكاك أجزاء الآلة ببعضها.

٢- حماية أجزاء الآلة من التآكل.

المواد المستخدمة فى التزييت و التشحيم يجب أن تتميز بصفات منها:

١-أن تكون ذات لزوجة كبيرة.

٢-لها قدرة علي الالتصاق بأجزاء الآلة.فلا تنساب بعيدا عن أجزاء الآلة.

علل: لا يصلح الماء فى عملية التزييت و التشحيم

١-لزوجته صغيرة. ٢-ضعف قوة التصاقه بالأجزاء المعدنية فينساب بعيدا عن اجزاء الآلة.

(ب)- تحديد سرعة السيارات (المركبات المتحركة) لتوفير استهلاك الوقود:

١-فى السرعات الصغيرة والمتوسطة:

تكون مقاومة الهواء للأجسام المتحركة فيه والناتجة عن لزوجة الهواء تتناسب طرديا مع سرعة الأجسام المتحركة خلاله.

٢-فى السرعات الكبيرة :

فإن مقاومة الهواء والناتجة عن اللزوجة تتناسب طرديا مع مربع السرعة ،وهذا يعني زيادة الشغل الكلي الذي تبذله الآلة وبالتالي زيادة استهلاك الوقود ،وذلك إذا زادت سرعة السيارة عن حد معين ،لذا ينصح سائقو السيارات بالحد من السرعة لتوفير استهلاك الوقود.

(ج)- فى الطب (لقياس سرعة ترسيب الدم):

سرعة الترسيب هى السرعة النهائية لسقوط كرات الدم الحمراء فى بلازما الدم

وذلك لمعرفة إذا كان حجم كرات الدم الحمراء طبيعيا أو غير طبيعي.

الأساس العلمى لقياس سرعة ترسيب الدم : هو أن السرعة النهائية التي تكتسبها كرات الدم الحمراء عند سقوطها خلال البلازما نتيجة لزوجتها تزداد بزيادة حجمها ،حيث من المعلوم أنه عند سقوط كرة سوطا حرا رأسيا في سائل

،فإنها تتأثر بثلاث قوى،هى:

١-وزنها لأسفل . ٢-قوة دفع السائل لها إلي أعلي.

٣-قوة الاحتكاك بينها وبين السائل لأعلي نتيجة لزوجة السائل وبحساب محصلة القوي وجد أنها تتحرك بسرعة نهائية تزداد بزيادة نصف قطرها.

(أ) في بعض الأمراض:

مثل : الحمي الروماتيـــزمية و النقرس تتلاصق كرات الدم الحمراء فيزيد حجمها ونصف قطرها و بالتالي تزيد سرعة ترسيبها عن المعدل الطبيعي.

(ب) في أمراض أخري . مثل: فقر الدم(الأنيميا) و تتكسر كرات الدم الحمراء أي يقل حجمها ونصف قطرها وتقل بالتالي سرعة ترسيبها عن المعدل الطبيعي.

(ج) المعدل الطبيعي لسرعة الترسيب لدم الإنسان 15m m بعد ساعة 30m m بعد ساعتين.

بقياس سرعة الترسيب يمكن تشخيص بعض الأمراض.

ملاحظات:

١-إذا تحرك جسم صلب خلال المائع، فإن كمية تحركه تقل:

وسبب ذلك هو وجود لزوجة للمائع ينتج عنها قوي احتكاك بين سطح هذا الجسم الصلب وجزيئات السائل الملامسة له تعوق حركته ،فتقل سرعته و بالتالي تقل كمية تحركه (كمية الحركة لجسم=السرعة ×الكتلة).

٢-تتوهج النيازك عند دخولها الغلاف الجوي للأرض ،واقترابها منها :

لأن سرعتها تزيد باقترابها من الأرض فتزيد المقاومة الناتجة عن لزوجة الهواء حيث تتناسب مع مربع السرعة ،فتزيد كمية الحرارة المتولدة نتيجة الاحتكاك فتتوهج.

٣- - تتواجد النباتات الطافية قرب الشواطىء (علل)

لتلافى السرعات العالية فى منتصف النهر حيث تقل قوى الاحتكاك التى تعوق الماء عن الانسياب بسبب لزوجة الماء $F \alpha v$

٤- يصعب السباحة فى وسط النهر ضد التيار بسبب لزوجة الماء لأن سرعة حركة طبقات الماء تزداد كلما ابتعدنا عن الطبقة الساكنة الملامسة لجدار النهر لذلك تكون سرعة الماء فى الوسط أكبر ما يمكن.

٥-يستخدم الباراشوت للقفز من الطائرة.

✹ للعمل على انتظام سرعة الهبوط للأرض وذلك لأنه عندما يهبط يكون وزنه أكبر من قوة دفع الهواء عليه فتزداد سرعته وعندما تزداد سرعته تزداد قوة مقاومة الهواء لحركته (اللزوجة) فتقل سرعة هبوطه وفى هذه الحالة يتساوى وزنه مع مجموع قوتى دفع الهواء واللزوجة.

٦- عندما يشتد الهواء يلجأ السائق الذكى لإبطال موتور السيارة.

لأنه فى السرعات العالية تتناسب مقاومة الهواء والناشئة عن لزوجته طرديا مع مربع سرعة السيارة مما يؤدى الى زيادة استهلاك الوقود للتغلب على مقاومة الهواء الكبيرة .

٧- بعض السوائل لزوجتها كبيرة.

لأنه يتولد بين طبقات السائل قوة شبيهة بقوة الاحتكاك تعوق انزلاق طبقاته فوق بعضها البعض.

٨- تنتظم سرعة هبوط قطرات المطر قبل وصولها لسطح الأرض.

لأنها عندما تهبط يكون وزنها أكبر من قوة دفع الهواء عليها فتزداد سرعتها وعندما تزداد سرعتها تزداد قوة مقاومة الهواء لحركتها (اللزوجة) فتقل سرعة هبوطها وفى هذه الحالة يتساوى وزنها مع مجموع قوتى دفع الهواء واللزوجة.

٩- لا يستخدم الماء فى تزييت الآلات ويفضل استخدام الزيت.

لأن الماء لزوجته أقل فلا يلتصق بأجزاء الآلة بينما الزيت لزوجته أكبر فيلتصق بأجزاء الآلة.

١٠- فى مرض فقر الدم تقل سرعة الترسيب وفى الحُمى الروماتزمية تزداد.

لأن كرات الدم الحمراء تتكسر فيقل حجمها وبالتالى تقل سرعة الترسيب أما فى الحمى الروماتيزمية تتلاصق كرات الدم فيزداد حجمها وتزداد سرعة الترسيب.

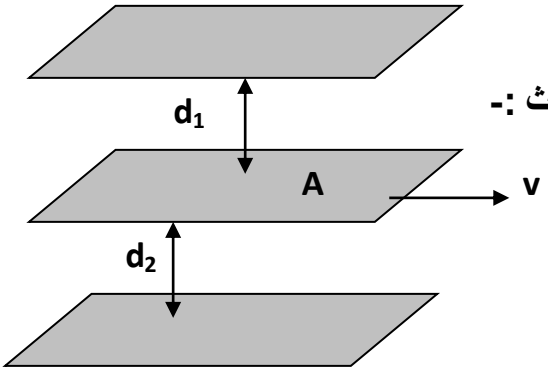
١١-يشعر سكان الادوار العليا بسرعة الرياح اكثر من سكان الادوار السفلى .

لان الادوار العليا بعيدة عن الارض اى بعيدة عن الطبقة الساكنه و الملامسة لسطح الارض فتزداد سرعة الهواء حيث تقل قوى الاحتكاك والناشئة عن لزوجة الهواء $v \alpha d$

ملاحظات عند حل المسائل

أ- عند وجود طبقة سائل بين طبقتين

من السائل فان الطبقة الوسطى تتاثر عند تحركها



بقوة لزوجة الطبقة العلوية وقوة لزوجة الطبقة السفلية حيث :-

$$F_1 = \frac{\eta A V}{d_1}$$

$$F_2 = \frac{\eta A V}{d_2}$$

وتصبح القوة الكلية المؤثرة على الطبقة الوسطى

$$F_T = F_1 + F_2$$

ب- عند ادارة اسطوانة داخل اسطوانه اخرى بها سائل لزج وعند حساب القوة اللازمة لادارة الاسطوانه الداخلية فان:-

١- مساحة طبقة السائل المتحركة والتى تتاثر باللزوجة = مساحة الاسطوانة التى يتم تحريكها (الداخلية)

= مساحة القاعدة (مساحة الدائرة) × ارتفاع الاسطوانه = $2 \pi r h$

٢- البعد بين الطبقة الساكنة (الملاصقة للجدار الداخلى للاسطوانه الخارجية) والطبقة المتحركة (الملاصقة للطبقة الخارجية من الاسطوانة الداخلية) = نصف قطر الاسطوانه الخارجية - نصف قطر الاسطوانة الداخلية

س1 : إحسب الكثافة والوزن النوعي للكحول الأثيلي إذا كان ($63.3g$) منه تشغل حجما مقداره ($80mL$) ؟

الإجابة: $\rho = 791kg/m^3$ $w = 0.791$

س2 : إذا كان قطر المكبس الأكبر لآلة ضغط هيدروليكية هو ($20cm$) ومساحة المكبس الصغير هي ($0.50cm^2$) ، إذا أثرت قوة مقدارها ($400N$) على المكبس الصغير ، إحسب :

1- مقدار القوة المؤثرة على المكبس الكبير ؟

2- مقدار الزيادة في الضغط تحت المكبس الصغير ؟

3- مقدار الزيادة في الضغط تحت المكبس الكبير ؟

الإجابة : $F_2 = 2.5x10^5 N$ $P_1 = 8MPa$ $P_2 = 8MPa$

س3 : يجري الماء خلال أنبوبة أفقية قطرها إضّيق بمقدار النصف عنه في موقع آخر ، فإذا كانت سرعة جريان الماء ($3m/s$) والضغط ($2x10^5 Pa$) عند القطر الواسع فإحسب مقدار الضغط عند القطر الضيق ؟

الإجابة : $P_1 = 1.325x10^5 Pa$

س4 : إذا كانت كتلة قطعة من الألمنيوم تساوي ($25g$) ، فإذا علمت أن كثافة الألمنيوم تساوي ($2700kg/m^3$) ، إحسب :

1- حجم قطعة الألمنيوم ؟

2- مقدار الشد في خيط يحمل قطعة الألمنيوم عندما تكون مغمورة كليا في الماء ؟

الإجابة : $V = 9.26x10^{-6} m^3$ $T = 0.154N$

س5 : إحسب الضغط الناتج من وزن عمود المائع عند عمق ($76cm$) ، إذا كان هذا المائع :

1- ماء ($\rho_{Water} = 1g/cm^3$) ؟

2- زئبق ($\rho_{Mercury} = 13.6g/cm^3$) ؟

الإجابة : $P_{Water} = 7448N/m^2$ $P_{Mercury} = 1.01x10^5 N/m^2$

الفصل الرابع : الغازات Gases

أولا: القوانين العامة للغازات

يمكن تقسيم الغازات إلى نوعين هما

أ- **غازات مثالية : Ideal Gases** هى غازات تتميز بان لها :

١. لها كثافة منخفضة.
٢. اصطدام جزيئاتها اصطدام مرن وتعتبر إلى حد ما غازات مخففة.
٣. ينطبق عليها القانون العام للغازات.

ويلاحظ أن معظم الغازات في درجة حرارة الغرفة وتحت الضغط الجوى العادي يمكن اعتبارها والتعامل معها على أنها غازات مثالية.

ب- **غازات حقيقية Real Gases** هى غازات تتميز بان لها :

١. لها كثافة عالية. 2. اصطدام جزيئاتها اصطدام غير مرن.
3 .كما أنها تعتبر غازات مركزة ولها ضغط عالي.

وعموما فان لتقدير العلاقة بين الحجم ، الضغط ، درجة الحرارة ، الكتلة لغاز ما وحتى يكون لهذه العلاقة قيمة هامة فانه يتم الربط بينها جميعا في معادلة تسمى : معادلة الحالة المثالية " Equation of State " ومن الجدير بالملاحظة أن هذه المعادلة التى سيتم شرحها واخذ فكرة عنها فيما بعد تنطبق على الغاز المثالي.

القانون الأول: " قانون بويل Boyle's Law":

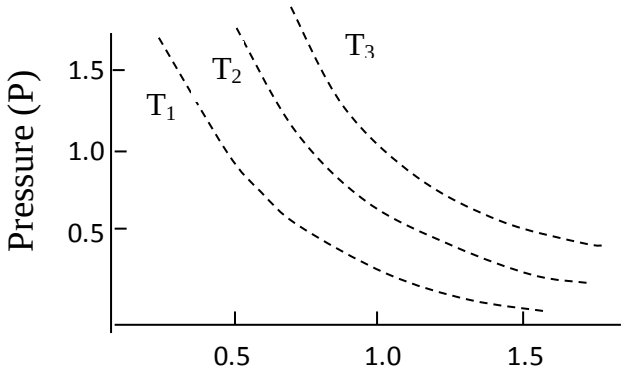
لأى كمية من الغاز : فان حجم هذا الغاز يتناسب عكسيا مع الضغط الواقع علية عند ثبوت درجة الحرارة وكذلك عند ثبوت كتلته ، ويمكن التعبير رياضيا عنه كما يلى :-

عند ثبوت درجة الحرارة والكتلة فان : $V \propto \frac{1}{P}$ حيث أن :- V = حجم الغاز ، P = ضغط الغاز أي يمكن القول بصورة أخرى أن : الضغط × الحجم لغاز = ثابت

$$P\,V = Constant$$

بمعنى على سبيل المثال: اذا زاد الضغط لغاز إلى الضعف فان حجم هذا الغاز يقل إلى النصف عند المقارنة بالحجم الأصلي ، أي بتوضيح أكثر : أذا سمح لأى من المتغيرين الضغط أو الحجم لغاز أن يتغير أي منهما فان الأخر لابد وان يتغير عكسيا طبقا لذلك بحيث يكون الناتج دائما ثابتا، هذا ويمكن تمثيل هذه العلاقة بيانيا كما في الرسم السابق، ويسمى توقيع هذه العلاقة بالايزوثيرم Isotherm ، ويمكن وضع هذا القانون على صورة أخرى عند ثبوت درجة الحرارة وكتلة الغاز والذى يتغير فقط هو حجم وضغط الغاز كما يلى :-

$$P_1\,V_1 = P_2\,V_2$$



القانون الثاني : " قانون شارلز Law ' ;

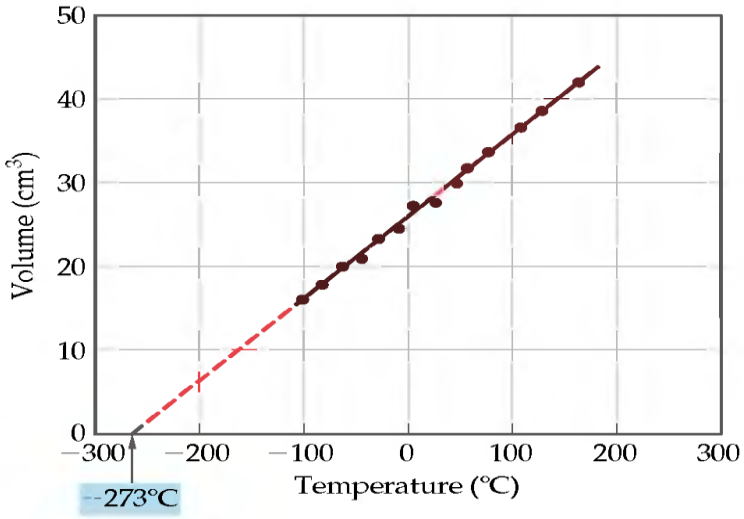
لأى كمية من الغاز : فان حجم هذا الغاز يتناسب طرديا مع درجة الحرارة عند ثبوت ضغطه وكذلك ثبوت كتلته ، ويمكن التعبير رياضيا عنه كما يلى :-

عند ثبوت الضغط والكتلة فان : $V \propto T$

حيث أن :- V = حجم الغاز ، T = درجة الحرارة المطلقة

وهذه معناها أن حجم كتلة معينة من الغاز يزداد بزيادة درجة الحرارة وينقص بنقصها بشرط هام وهو ثبات الضغط وكتلة الغاز.

وإذا أردنا تمثيل هذه العلاقة فأنها تكون كالآتي :-



$$\text{constant} = T / V$$

ملاحظة : يجدر الإشارة هنا إلى أن هناك تقديرين لدرجة الحرارة أحدهما مئوى (℃) ويسمى Celsius والأخر مطلق يسمى Absolute أو يسمى Kelvin Scale (K) وهذا الأخير هو الأكثر شيوعا واستخداما وهو يساوى الآتى:-

$$T\,(K) = T\,(℃) + 273.15$$

القانون الثالث: " قانون جي لوساك Gay-Lussac "

لأى كمية من الغاز : فان ضغط هذا الغاز يتناسب طرديا مع درجة الحرارة المطلقة له وذلك عند ثبوت حجمه و كتلته ، أي أن :-

عند ثبوت الحجم والكتلة فان : $P \propto T$

حيث أن :- P = ضغط الغاز ، T = درجة الحرارة المطلقة

والمثال الواقعى على ذلك هو:

أذا قذفنا إناء محكم القفل أو علبة أيروسول مثلا في النار فأنها تنفجر وهذا يرجع إلى الزيادة في ضغط الغاز بداخل الإناء أو العلبة ، كما أن هذه العلاقة أيضا هى الأساس في فكرة الترمومتر الغازي ذو الحجم الثابت.

ملاحظة هامة :–

في الواقع والحقيقة فان قوانين : بويل ، شارلز ، لوساك ما هى إلا قوانين ليست ذات معنى في هذه الأيام أذا أردنا الدقة والعناية الفائقة في الدراسات ولكن هى في الواقع تقريبات تستخدم للغازات المثالية ، وعلى كل حال فهى محاولات لا بأس بها وأعتاد الناس على استخدامها بمسمياتها المختلفة.

- **قانون الغاز المثالي The Ideal Gas Law:**

وقد يسمى معادلة الحالة لغاز مثالي Equation of state حيث يمكن دمج هذه القوانين الثلاثة في علاقة شاملة تربط بينهم ، أي علاقة تربط بين الحجم ، الضغط ، درجة الحرارة بكمية ثابتة من غاز وهى :-

$$PV \propto T$$

ولكن يلاحظ انه لابد من إدخال كمية (كتله) الغاز في الحسبان فإذا لاحظنا مثلا عند نفخ البالون فإذا زادت كمية الهواء داخل البالون فأننا نحصل على بالون اكبر في الحجم وعلى ذلك فان المعادلة السابقة يمكن وضعها

كما يلى بعد الأخذ في الاعتبار كمية الغاز أو بمعنى أصح كتله الغاز وتكون كما يلى :- $PV \propto mT$

وهذه المعادلة معناها انه في ظروف بها ضغط ثابت ودرجة حرارة ثابتة فان حجم الغاز الموجود في حيز ما يزداد طرديا مع كتلة هذا الغاز الموجود في الحيز ويمكن الحصول على هذا التناسب في صورة معادلة رياضية وذلك بإدخال ثابت مناسب للتناسب ، وقد أثبتت التجارب أن هذا الثابت له قيمة مختلفة للغازات المختلفة ، وفى الوقت نفسه لوحظ أن هذا التناسب يكون متساويا لكل الغازات أذا استخدم عدد المولات (n) بدلا من الكتلة (m) للغازات ، وبذلك تكون المعادلة كما يلى :- ($PV = nRT$)

حيث أن :- V = حجم الغاز ، P = ضغط الغاز

n تعبر عن عدد المولات وهى ببساطة الوزن الجزيء معبرا عنه بالجرامات (مثال الوزن الجزيء للكربون = ١٢ فيكون n له = ١٢ جراما).

R = الثابت العام للغازات = ثابت التناسب وقد وجد انه يساوى ٨.٣١٤ جول/ (مول . كلفن)

$$R = 8.314 \ J / (mol. K)$$

والمعادلة السابقة تسمى معادلة الغاز المثالي أو معادلة الحالة لغاز مثالي :

$$\boxed{PV = nRT}$$

ويعتبر هذا القانون أو هذه المعادلة صالحا ومفيدا ومنطقيا فقط في الحالة الخاصة بالغازات المثالية، وكذلك دائما يتم الإشارة إلى مصطلح خاص بالحالات المثالية أو القياسية Standard Conditions وتختصر إلى : S T P أى اختصار للأتى Standard Temperature and Pressure أي معدلات الضغط ودرجة الحرارة.

حيث يكون كل من الضغط ودرجة الحرارة تحت الظروف المثالية كما يلي:

١ـ درجة الحرارة (T) هى درجة الحرارة المطلقة = 273 K أو تساوى $0\ ^0C$.

٢ـ الضغط (P) = واحد ضغط جوى (1.00 atm.) أو يساوى $1.01x\ 10^5\ N/m^2$،

وإذا كان لدينا متغيرات T_1 ، V_1 ، P_1 ثم حدث أنهم في أي نظام تغيروا إلى : T_2 ، V_2 ، P_2 فانه يمكن وضع القانون السابق على الصورة التالية :-

$$\frac{P_1\ V_1}{T_1} = \frac{P_2\ V_2}{T_2}$$

وعلى هذا الأساس أذا علمنا خمسة متغيرات فانه بسهولة يمكن تقدير المتغير السادس.

ثانيا : نظرية الحركة للغازات The Kinetic Theory of Gases

هذه النظرية وضعت للتعرف على خواص الغازات وفى هذه النظرية تطبق قوانين الميكانيكا على حركة جزيئات الغاز داخل الإناء الذى يحتويه.

وهذه النظرية تبنى على فروض وأسس كما يلى :

١ - يتكون الغاز من عدد من الجسيمات ألمتشابهه تسمى الجزئيات (عدد كبير جدا).

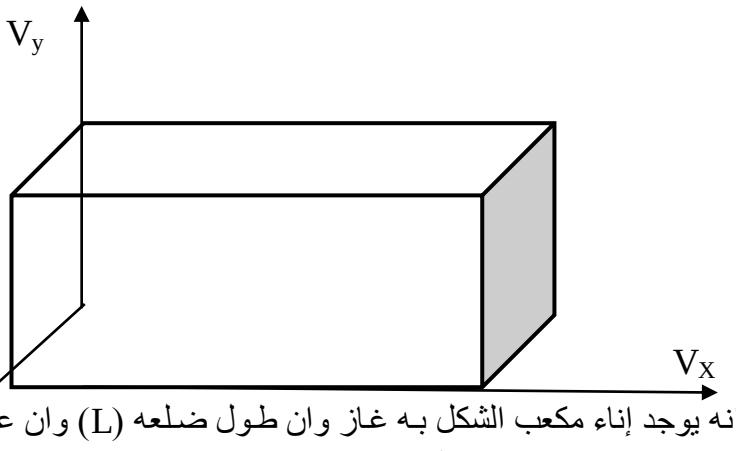
٢ - كل جزئ من جزئيات هذا الغاز يمكن إهماله من حيث الحجم أو الكتلة أذا قورن ذلك بحجم الإناء الذى يحتويه.

٣ - جزيئات الغاز الواحد تامة المرونة ولذا يمكن إهمال زمن تصادمها ببعضها أو بجدار الإناء وعلية يمكن اعتبار سرعة هذه الجزيئات منتظمة.

٤ - متوسط طاقة جزيئات الغاز تتناسب طرديا مع درجة حرارته المطلقة.

وبناءاً على تلك الأسس السابقة تم عمل محاولة لشرح بعض خواص الغازات المثالية ويستخدم في ذلك نموذج مبسط وبعض قوانين الميكانيكا والتى تصف حركة الغازات وهو كما يلى:-

- **نتيجة لدراسات : "ماكسويل"** J. C. Maxwell



فانه أذا افترضنا انه يوجد إناء مكعب الشكل به غاز وان طول ضلعه (L) وان عدد جزئ[illegible] هو (n) ، وان هذه الجزيئات تتحرك في جميع الاتجاهات وأنها تصطدم بجدار الإناء حيث يهمل تصاد[illegible]ع بعضها مع ملاحظة أن ذلك ينطبق فقط على الغازات المثالية فقط كما أوضحنا فيما سبق (انظر الشكل السابق).

**من الشكل يلاحظ الآتى :-

لو افترضنا أن سرعة الجزئ في اتجاه ما هو (V) فان كمية حركته (التى هى عبارة عن كتلة × سرعة) هى ------ m v حيث أن m هى كتلة الجزئ ، V هى سرعته .

فإذا كانت هذه هى كمية حركة الجزئ قبل اصطدامه بأى وجه من أوجه المكعب فانه يرتد بنفس هذه السرعة ولكن في عكس اتجاهه ويكون له نفس كمية الحركة ولكن بإشارة مختلفة لأنه يرتد عكس اتجاه التصادم ، وعلية فان كمية حركته عند ارتداده تكون هى : - m v ، ويكون التغير في كمية حركه الجزئ هو :-

$$m\,v - (-m\,v) = 2\,m\,v$$

(لان معنى كلمة التغير يقصد بها الفرق بين كمية الحركة قبل التصادم وبعد التصادم)

ويمكن التعبير عن الزمن بين كل اصطدامين متتاليين بما يلى :-

$$\text{الزمن} = \frac{\text{المسافة}}{\text{السرعة}} \qquad \text{أي أن} \qquad t = \frac{L}{v}$$

حيث أن : L = المسافة التى يسيرها الجزئ وهى تساوى طول ضلع المكعب (L).

v = سرعة الجزئ التى يسير بها.

وطبقا لقانون نيوتن الثاني في الميكانيكا فان القوة (F) تساوى معدل التغير في كمية الحركة لجزئ بالنسبة لمعدل التغير في زمنه ، ويعبر عنها رياضيا كما يلى :-

$$F\ (\text{القوة}) = \frac{\text{معدل التغير فى كمية حركة الجزئ}}{\text{معدل التغير فى الزمن}}$$

$$F = \frac{2\,m\,v}{\frac{L}{v}} = \frac{2\,m\,v^2}{L}$$

وبما أن ذلك يحدث في اتجاه وجه واحد وأيضا بما أن للمكعب ستة أوجه وهو به غاز عدد جزيئاته (n) ، أذا لوجه واحد يكون $\frac{n}{6}$ أذا تكون كمية الحركة للجزيء على وجه واحد مضروبا في $\frac{n}{6}$ وتؤول المعادلة السابقة للقوة إلى :-

$$F = \frac{2\,m\,v^2}{L} \times \frac{n}{6} = \frac{1}{3}\,\frac{n\,m\,v^2}{L}$$

ولحساب ضغط الغاز (P) في هذا الإناء فانه :-

$$\text{من المعروف ان الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}} \qquad P = \frac{F}{A}$$

والمساحة هنا لأى وجه من أوجه المكعب هى $L^2 = L \times L$ أذن : -

$$\therefore \quad P = \frac{F}{A} = \frac{\frac{1}{3}\,\frac{n\,m\,v^2}{L}}{L^2}$$

$$= \frac{1}{3}\,\frac{n\,m\,v^2}{L^3}$$

ولكن يلاحظ أن حجم المكعب يرمز له بالرمز V والتى تساوى $L^3 = L \times L \times L$ أذا يمكن التعويض في المعادلة السابقة عن L^3 باستخدام V وتكون المعادلة على الشكل التالى :-

$$P = \frac{1}{3}\,\frac{n\,m\,v^2}{V}$$

$$\therefore \quad P\,V = \frac{1}{3}\,n\,m\,v^2$$

* وهذا هو نموذج نظرية الحركة للغازات

** وعند مقارنة هذا النموذج بمعادلة الحالة لغاز مثالي السابق ذكرها والتى هى :

$$P\,V = n\,R\,T$$

إذن نتيجة المقارنة نجد أنهما يتطابقان تماما وهذا مما يؤكد لنا أن النظرية الخاصة بحركة الغازات صحيحة.

ثالثا: بعض خواص الغازات

١– الضغط الجزئي لغاز: Partial Pressure

يعبر عن الضغط الجزئي لغاز بأنه عبارة عن ضغط غاز موجود في خليط من مجموعة غازات حيث انه :-

من معادلة الغاز المثالي نجد أن :-

$$P\,V = n\,R\,T$$

$$P = \frac{n\,R\,T}{V}$$

فإذا كان لدينا خليطا من مجموعة غازات حيث لبعض مكوناته عدداً من المولات (n) هى (n_1) للغاز الأول ، (n_2) للغاز الثاني ، (n_3) للغاز الثالث ، وهكذا ....

لذا نجد أن :-

$$\therefore P = \frac{n_1\,R\,T}{V} + \frac{n_2\,R\,T}{V} + \ldots\ldots$$

$$P = P_1 + P_2 + \ldots..$$

ويسمى ذلك بقانون دالتون للضغوط الجزيئية.

* كما يلاحظ الضغط الجزئي يساوى جزئ المول من الغاز مضروبا في الضغط الكلى للمخلوط ، ويعبر عنه بالمعادلة الآتية :-

$$P_1 = X_1\,P$$

حيث أن : $X_1 = \frac{n_1}{n}$ وحيث أن X_1 جزء المول من الغاز.

٢– انتشار الغازات: Gas Diffusion

عند مرور أي غاز من خلال جدار مسامي فانه يقال أن الغاز انتشر ، وان سرعة انتشار أو انسياب مرور أي غاز خلال هذا الجدار المسامي تتناسب عكسيا مع الجذر التربيع لكثافته ويسمى ذلك بقانون جراهام لانتشار الغازات.

* فإذا افترضنا وجود غازين محبوسين في إناءين مساميين متشابهين وان حجم كل منهما V ، ضغط كل منهما P وان كثافة الأول ρ_1 كثافة الثاني ρ_2 وان كلا من الغازين في نفس درجة الحرارة T.

** وإذا كانت C_1 هى السرعة التى تنساب بها جزيئات الغاز الأول خلال مسام جدار الإناء ، C_2 هى السرعة التى تنساب بها جزيئات الغاز الثاني خلال مسام.

*** فلذا نجد أن قانون جراهام ينص على الآتى :-

$$\frac{C_1}{C_2} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

ويسمى ذلك قانون جراهام لانتشار الغازات.

● **الحرارة النوعية للغازات:** عندما يسخن جسم ما وهو معرض للضغط الجوى المعتاد آو لأي ضغط أخر فان التمدد الحادث يستدعى عمل شغل وذلك لان سطح الجسم يتحرك عند قوى الضغط الخارجي، وهذا بدورة يستلزم بذل مقدار من الطاقة. وبما أن الحرارة نفسها من أنواع الطاقة وهى مصدر موجود فعلا لتسخين الجسم فان الجسم يجب أن يمتص الحرارة اللازمة للتسخين ومعها أيضا حرارة أضافية للتغلب على الضغط الخارجي.
وهذه الطاقة الإضافية تكون صغيرة جدا في حالة الأجسام الصلبة والسائلة لدرجة انه يمكن إهمال تأثيرها على قيمة الحرارة النوعية . أما في حالة الغازات فان الكمية الإضافية تكون محسومة جدا ولذا فان الحرارة النوعية للغاز تعتمد على الكيفية التي يسخن بها . وتوجد طريقتان لتسخين الغاز.

الأولى: عندما يحفظ حجم الغاز ثابتا ، وذلك بتسخين الغاز في وعاء مقفل.

الثانية: عندما يحفظ ضغط الغاز ثابتا وذلك بوضعه في أناء اسطواني في مكبس يتحرك بأحكام وبدون احتكاك داخل الاسطوانة

فلهذا تكون للغاز حرارتان نوعيتان هما : الحرارة النوعية تحت حجم ثابت C_V وتعرف بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الغاز درجة واحدة مئوية تحت ثبوت حجمه وهى لا تعمل أكثر من زيادة طاقة الحركة المتوسطة الجزئيات الغاز.

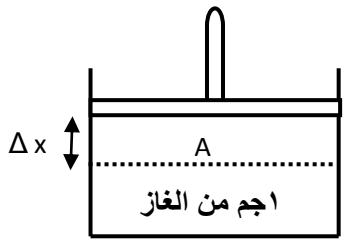
١- الحرارة النوعية تحت ضغط ثابت C_P وتعرف بأنها كمية الحرارة اللازمة لرفع درجة حرارة جرام واحد من الغاز درجة واحدة مئوية عند ثبوت ضغطة.

وكما هو واضح في حالة الحرارة النوعية لغاز تحت ضغط ثابت C_P فان الغاز يتمدد ولهذا فأنة يمتص مقدار من الحرارة C_V كما لو كان حجمه ثابتا لرفع درجة حرارة جزئياته درجة واحدة مئوية ويمتص في نفس الوقت بالإضافة إلى ذلك كمية حرارة أخرى يحيلها إلى شغل مكيانيكى لكي يتغلب على الضغط الخارجي .

وذلك فان C_P تكون اكبر دائما C_V كما تسمى النسبة بينهما γ بنسبة ثابت الغاز وتساوى $\frac{CP}{CV}$.

العلاقة بين C_P ، C_V (الحرارة النوعية للغاز تحت ضغط ثابت / الحرارة النوعية للغاز تحت حجم ثابت)

لنعتبر جرام واحد من الغاز موضوع في اسطوانة معدنية لها مكبس خفيف متحرك ليس به احتكاك، وكان حجمه الغاز C_1 وضغطة P_1 ودرجة حرارته المطلقة T_1 .



لكي ترفع درجة حرارته درجة واحدة مئوية مع تثبيت حجمه فأنة تلزمه كمية من الحرارة قدرها C_V أما إذا بقى ضغط الغاز ثابتا وأعطى كمية من الحرارة لرفع درجة حرارته درجة مئوية فان هذه الكمية حسب التعريف تساوى C_P . ولكن في هذه الحالة يتمدد الغاز تحت الشفط الثابت إلى حجم V_2 ويرتفع المكبس مسافة X .
ويكون الشكل الذي يبذله الغاز في رفع المكبس مسافة X 5 = القوة ×المسافة
وحيث أن الضغط هو القوة على وحدة المساحات فان:
الشغل المبذول = الضغط ×مسافة المقطع × المسافة

$$\Delta x \cdot A \cdot P_1 = (V_2 - V_1) P_1$$

وبذلك تكون C_P اكبر من C_V بمقدار هذا الشغل، أى أن $C_V = P_1 (V_2 - V_1) - C_P$:

وبتطبيق القانون العام للغاز فان : $P_1 V_1 = \bar{R} T_1$

وبعد تسخين الغاز درجة واحدة مئوية بثبوت الضغط يكون : $P_1 V_2 = \bar{R} (T_1 + 1)$

وبطرح هاتين المعادلتين ينتج أن الشغل المبذول $\bar{R} = P1 (V2 - V1)$ ارجا

حيث $\bar{R}$ هو ثابت الغاز للجرام الواحد وإذا كان J هو المكافئ الميكانيكي الحراري فان قيمة الشغل المبذول بالسعرات هو $\frac{\bar{R}}{J}$ سعرا. وينتج من ذلك أن العلاقة بين C_P ، C_V للغاز هي $C_P - C_V = \frac{\bar{R}}{J}$.

ويلاحظ أننا استخدما واحد جرام من الغاز ولهذا فان ثابت الغاز $\bar{R}$ محسوب بالنسبة للجرام الواحد.

مثال (١): أذا علمت أن C_P الهواء = ٠,٠٢٣٧٥ ، C_V = ٠,١٦٩ سعر/ جم /°م وكثافة الهواء في معدل الضغط ودرجة الحرارة هي ١٢٩ × ١٠$^{-٥}$ جم/سم^{٣} . فاحسب قيمة المكافئ الميكانيكى الحراري.

الحـل : بتطبيق القانون العام للغازات يكون :

$$\bar{R} = \frac{P V}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_0 \times 1}{T_0 \times d}$$

حيث d كثافة الغاز عند معدل الضغط ودرجة الحرارة . ويكون :

$$R = \frac{}{237 \times 129 \times 10^{-5}}$$

وبالتعويض في المعادلة $C_P - C_V = \frac{\bar{R}}{J}$ يمكن حساب J = 4.14 x 10^7 ارج/سعر

مثال (٢): أذا علمت أن C_V للأكسجين = ٠,١١٥ سعر/جم/°م، C_P = ٠,١٧٩ سعر/جم/°م وكانت كتلة اللتر من الغاز عند معدل الضغط درجة الحرارة هي ١,٤٣٣جم احسب قيمة المكافئ الميكانيكي الحراري.

الحـل : حجم جرام واحد عند معدل الضغط ودرجة الحرارة = $\frac{1000}{1,433}$ سم^{٣}

ومن المعادلة العامة للغازات ينتج أن

$$\frac{PV}{T}\bar{R} = \frac{76 \times 13.6 \times 980 \times 1000}{273 \times 1.433} = C_P - C_V = 0.064 = \frac{\bar{R}}{J}$$

$$J = \frac{R}{0.064} = 4.04 \times 10^7 \text{ erg / calory}$$

أمثلة ومسائل

١. قدر حجم واحد مول من غاز في معدل الضغط ودرجة الحرارة (S T P) مفترضا انه يسلك سلوك الغاز المثالي.
٢. ما هو الضغط الجزئي للأكسجين (O_2) في الضغط الجوى عند مستوى سطح البحر ؟ أذا علمت أن حجم الهواء الجاف يحتوى على ٢١ % أكسجين.
٣. اوجد كثافة النتروجين (N_2) في ضغط الهواء الجوى العادي ودرجة الحرارة ٢٠ ^{0} م .
٤. وعاء مرن يحتوى على الأكسجين (O_2) في معدل الضغط ودرجة الحرارة (S T P) وله حجم ١٠ م^{٣} ، ما هى كتلة الغاز الموجود في الوعاء.
٥. أذا كانت السرعة التى تنساب بها جزيئات الغاز الأول خلال مسام إناء ما تساوى ٢ سم/ث ، وسرعة انسياب الغاز الثاني خلال المسام تساوى ١ سم/ث. فاحسب كثافة كل من الغازين مع العلم بان كثافة الغاز الثاني تساوى مكعب كثافة الغاز الأول.

احسب السرعة التى تنساب بها جزيئات الغاز الأول من خلال مسام الإناء أذا كانت سرعة انسياب جزيئات الغاز الثاني خلال المسام تساوى ٣.٢ سم/ث وحجم الغاز الأول يساوى ٠.٨ سم^{٣} ، حجم الغاز الثاني يساوى ٠.٢ سم^{٣} مع العلم بان كتلة الغازين متساوية.