مبادئ وتطبيقات

ميكانيكا الموائع

الجزء الأول

(WD 152 – WD 212 – WD 206)

Fluid Mechanics

fundamentals and applications

إعداد

مهندس / عمر الحمدان مدرب متخصص أ

مهندس / محمد المسماري مدرب متخصص ج

مقدمة

خلال الفترات الماضية اعتمد التطور العلمي والصناعي بشكل كبير على تطوير وتطويع النظريات العلمية التي تم التوصل الي العديد منها في نهايات القرن السابع عشر وبدايات القرن الثامن عشر، ولا يخفي على كثيرين الدور الاساسي و المحوري الذي لعبته نظريات علي ميكانيكا الموائع بجانب علوم اخري كعلم انتقال الحرارة والديناميكا الحرارية في التطور الصناعي الذي تم خلال الحقب الماضية و الي يومنا هذا.

ومن الملاحظ ان الكثيرين من الدارسين المنتسبين الي المعاهد والكليات الفنية قد لا يكون واضحا لديهم اهمية العلوم النظرية مثل ميكانيكا الموائع نظرا لتغلب الطبيعة العملية والفنية علي غالب مقررات التخصصات المختلفة، ولذلك سنحاول في كل مناسبة ممكنة توضيح العلاقة بين النظريات العلمية و بين التطبيقات العملية و التقنيات الفنية التي يتعامل معها الطالب مما سيرسخ المفهوم العلمي لدي الطلاب.

كما حاولنا تبسيط المفاهيم العلمية و النظرية دون اخلال بالهدف من تدريسها او مضمونها النظري وفي نفس السياق تتدرج الامثلة المدرجة و التدريبات الأخرى من حيث صعوبتها وتقنيات الحل لها بحيث تتدرج مع الطالب صعودا الي مستوي مقبول من الفهم و الاستخدام الجيد للقوانين الرياضية و تطبيق النظريات.

كما تم تضمين المصطلحات الاساسية لعمل ميكانيكا الموائع باللغة الانجليزية بما يفتح المجال للطلاب في البحث والتعليم الذاتي و استكمال التعمق في الدراسة لاحقا.

وقد اخذنا في الاعتبار ان يتوافق المضمون العلمي و طريقة الشرح و الامثلة و التدريبات والمواضيع المختلفة وان تغطي المخرجات التعليمية و الاهداف المختلفة المطلوبة لتخصصات المعهد العالي للطاقة كما وردت في تفاصيل البرامج المختلفة ، وكذلك روعي ان تتوافق مع المتطلبات الخاصة للاعتماد الاكاديمي وتحقيق المخرجات التعليمية المطلوبة له وتم الاخذ في الاعتبار العديد من مؤشرات الاداء وتدريب الطلاب علي تحقيقها بما سيؤدي الي سهولة تطبيق معايير الاعتماد الاكاديمي في خلال دورات المراجعة القادمة له.

ونسال الله عز و جل ان يكون ما بذلناه من جهد في سبيله و ان يكتبه لنا كعلم اعددناه راجين ان ينتفع به طلاب المعهد العالي للطاقة و المعاهد و الكليات الفنية المناظرة له.

والله الموفق.

فهرس الموضوعات

الصفحة	الموضوع
4	الوحدات و الرموز
5	الباب الاول خواص الموائع *Fluid Properties*
7	1.1 تعريف الموائع
8	1.2 اللزوجة viscosity
10	1.2.1 معامل اللزوجة Dynamic viscosity
15	1.3 الكثافة Density
17	1.4الوزن النوعي Specific weight
21	1.5 الجاذبية النوعية Specific gravity
25	الباب الثاني : الضغط و الموائع الساكنة Pressure and fluid statics
26	2.1 الضغط Pressure
27	2.1.1 الضغط الجوي Atmospheric pressure
28	2.1.2 الضغط المقاس Gauge pressure
29	2.2.4 دافع الضغط Pressure head
34	2.3 قانون باسكال Pascal law
35	2.4.1 تطبيقات علي قانون باسكال – المانومتر البسيط
38	2.4.2 المانومتر الفرقي – المانومتر المائل
40	2.4.3 قياس فارق الضغط
45	2.4.5 الرافعة الهيدروليكية Hydraulic Jack
54	الباب الثالث : سريان الموائع Fundamentals of fluid flow
55	3.1 أنواع السريان Fluid flow types
59	3.2 الفقد في الضغط Pressure loss
60	خريطة مودي Moody Chart
62	3.3 معادلة الاستمرار Continuity equation

الوحدات و الرموز ***Units and abbreviations***

سيتم الالتزام بوحدات النظام الدولي للوحدات SI units والتي سبق دراستها تفصيلا في الفصل التمهيدي .

الكمية	بالانجليزي	الرمز	المعادلة	الوحدة
الطول	Length	L	L	m
الكتلة	Mass	m	M	Kg
الزمن	Time	T	T	Sec.
المساحة	Area	A	$A = L \cdot L$	m^2
الحجم	Volume	V	$V = A \cdot L$	m^3
الكثافة	Density	ρ	$\rho = m / V$	Kg/m^3
السرعة	Velocity	υ	$\upsilon = L / T$	m/sec
التسارع	Acceleration	a	$a = \psi / T$	m/sec^2
القوة	Force	F	$F = m \cdot a$	N
الوزن	Weight	W	$W = m \cdot g$	N
الوزن النوعي	Specific Weight	γ	$\gamma = \rho \cdot g$	N/m^3
الضغط	Pressure	P	$P = F / A = \cdot h$	N/m^2
الطاقة (الشغل)	Energy (Work)	E	$E = F \cdot L$	J
القدرة	Power	IP	$IP = E / T$	W
معدل التدفق	Flow Rate	Q	$Q = V / T = v \cdot A$	m^3/sec

وخلال دراسة بعض الموضوعات سيتم الاستعانة بوحدات اخري لشيوع استخدامها في التطبيقات العملية وسيتم التنويه في حينها عن معاملات التحويل .

الباب الأول

خواص الموائع

Fluid Properties

خلال هذا الباب سيتم التعرف علي الخواص المختلفة للموائع و التي لا غني عنها في دراسة اي مواضيع تخص الموائع و التي تعتبر الاساس الاول في دراسة ميكانيكا الموائـــع *Fluid mechanics* ومن المفيد ان نتعرف علي مفهوم ومعني علم ميكانيكا الموائع لتتضح اهميته .

حيث يعرف علم ميكانيكا الموائع *fluid mechanics* بأنه علم دراسة تصرف او سلوك الموائع سواء في حالة السكون او حالة الحركة

Fluid mechanics is the science which deals with behavior of the fluids at rest or at motion

ويدخل ضمن هذا العلم اساسيات دراسة و تصميم الانظمة و المعدات المختلفة التي تتعامل مع الموائع مثل المضخات و التوربينات المائية و التوربينات الغازية و الانظمة الهيدروليكية المختلفة و الصمامات وانظمة نقل و ضخ السوائل و الغازات سواء انظمة مغلقة مثل شبكات المياه و شبكات البخار و شبكات الغازات او المجاري المائية المفتوحة مثل الانهار و المصارف

ويدخل ضمن نطاق علم ميكانيكا الموائع دراسات التصميم لوسائل النقل المختلفة مثل الطائرات و السفن و السيارات و الصواريخ و ناقلات الفضاء و العديد من التطبيقات الأخرى. واختصارا فان علم ميكانيكا الموائع يدخل في معظم مناحي الحياه المعاصرة.

Natural flows and weather
© *Glen Allison/Betty RF*

Boats
© *Doug Menuez/Getty RF*

Aircraft and spacecraft
© *Photo Link/Getty RF*

Power plants
© *Malcom Fife/Getty RF*

Human body
© *Ryan McVay/Getty RF*

Cars
© *Mark Evans/Getty RF*

Wind turbines
© *F. Schussler/PhotoLink/Getty RF*

Piping and plumbing systems
Photo by John M. Cimbala.

Industrial applications
Digital Vision/PunchStock

1.1 : تعريف الموائع *Fluids* :

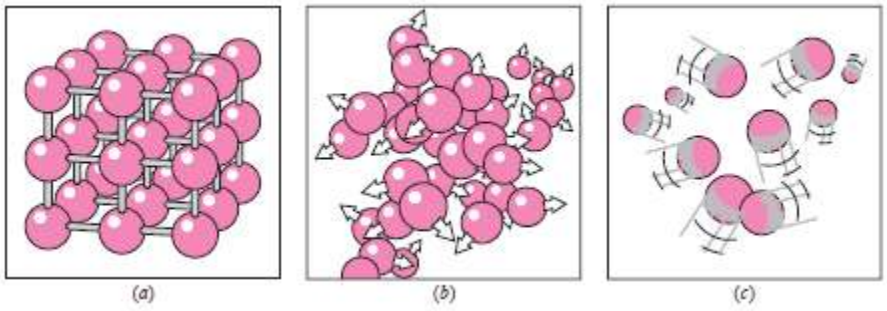
من المعروف ان للمادة ثلاثة حالات اساسية هي :

الحالة الصلبة *Solid state*

و الحالة السائلة *Liquid state*

والحالة الغازية *Gas state*

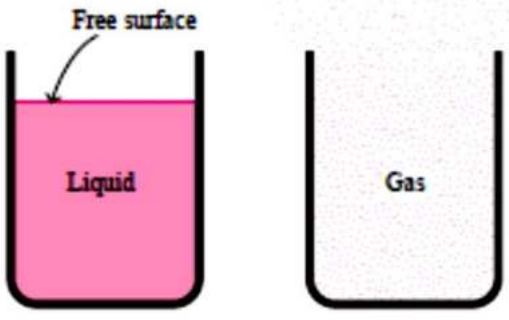
تعرف الموائع عموما من الناحية التطبيقية بأنها المادة التي تكون في الحالة السائلة او الحالة الغازية، اما من الناحية العلمية فيمكن تعريف الموائع بانها المواد التي لا تبدي مقاومة اذا تم التأثير عليها بقوة معينة .



شكل 1.1.1

وسيتم التركيز خلال دراستنا علي السوائل فسنعتبر ان الموائع التي سيتم دراستها في مختلف الابواب هي السوائل فقط .

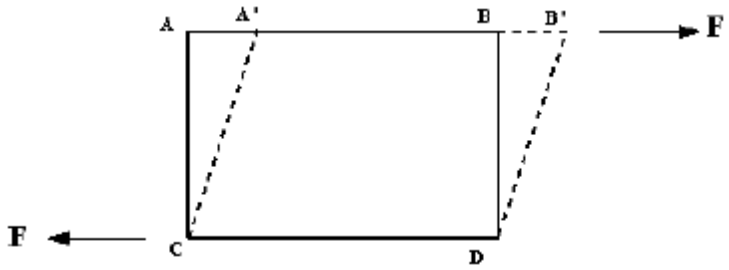
وتطبيقيا يمكن تعريف السائل بانه المائع الذي يتشكل بشكل الوعاء الذي يحتويه ويشغل من حجم الوعاء جزء حسب كميته ويمكن بوضوح تحديد سطح للسائل .



شكل 1.1.2

ومن أكثر التعريفات المستخدمة لتعريف السائل هو أنه : المادة التي لا تستطيع المقاومة اذا تم التأثير عليه بواسطة قوي قص *shear force* ويتغير شكلها باستمرار او تنساب بناءا علي تأثير القوة

A fluid is a substance which conforms continuously under the action of shearing forces.

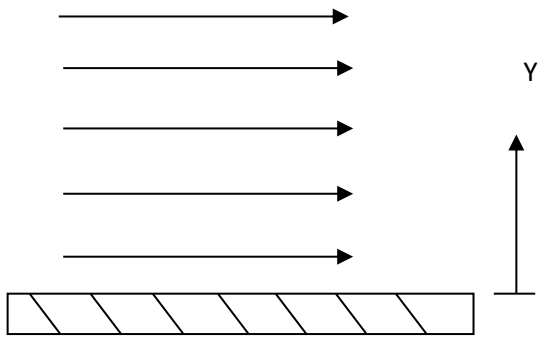


شكل 1.1.3

(يمكن للطالب ان يقوم بدراسة ذاتية وتقديم تقرير لتحديد الفارق بين حالات المادة الثلاثة).

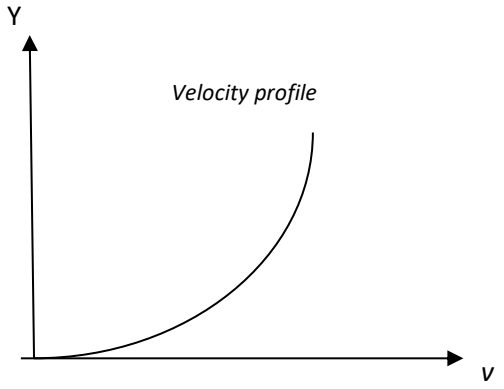
1.2 : اللزوجة *Viscosity*

اذا تخيلنا حركة طبقات من سائل علي سطح مستوي كما بالشكل فان طبقات السائل المختلفة سيكون لكل منها سرعة حيث ستكون بالتأكيد سرعة طبقة السائل الملاصقة للسطح اقل من سرعة طبقة السائل الأعلى منها وهكذا ونتيجة تحرك طبقة من السائل أسرع من الطبقة المجاورة لها سينتج بالتأكيد قوي قص او *shear forces* كما يوضحه شكل 1.2.1



شكل 1.2.1

وتكون السرعة اكبر كلما ابتعدنا عن السطح الثابت لتشكل ما يعرف بمنحني السرعة أو *Velocity Profile* كما في شكل 1.2.2

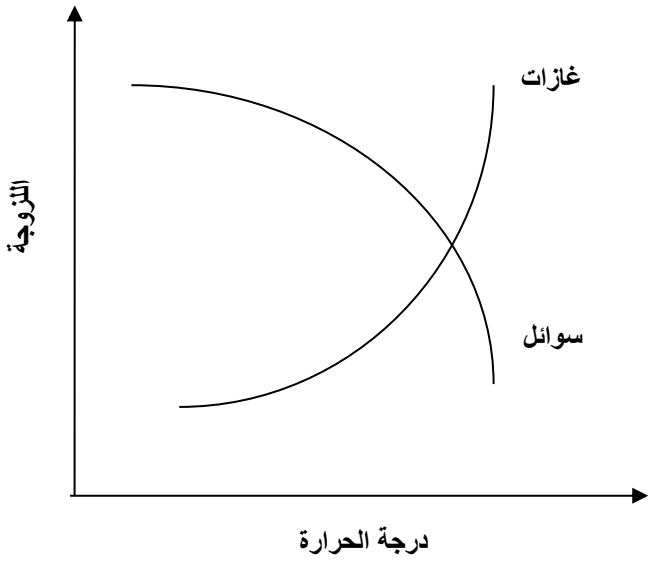


شكل 1.2.2

وتعتمد قيمة الانسيابية او مقدار سهولة حركة المائع علي خاصية تسمي اللزوجة *viscosity*

وبتعريف مبسط فان اللزوجة تعبر عن قوي الاحتكاك بين طبقات السائل اثناء حركته وهي أيضا الخاصية التي تتحكم في معدل سريان السائل . حيث نلاحظ ان بعض السوائل تنساب بسرعة اكبر من غيرها طبقا لمعامل اللزوجة الخاص بها والذي يطلق عليه اللزوجة الديناميكية.

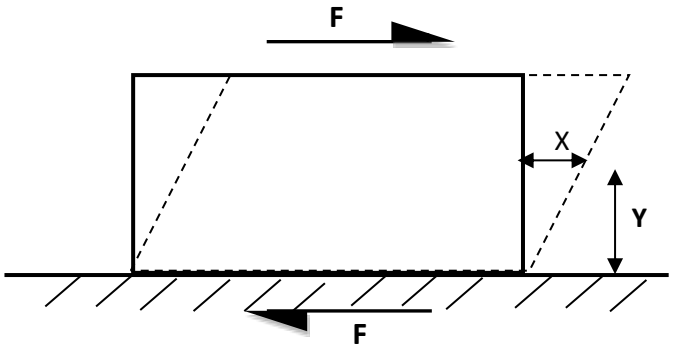
وتنخفض لزوجة السوائل عامة بارتفاع درجة الحرارة حسب خصائص كل سائل اي ان العلاقة بين اللزوجة و الحرارة للسوائل علاقة عكسية كما هو مبين بشكل



شكل 1.2.3

1.2.1 معامل اللزوجة *Dynamic Viscosity*

إذا اعتبرنا أن القوة التي تؤثر علي السائل هي F وسرعة السائل هي u فنلاحظ ان السرعة تتغير طبقا لمنحني السرعة علي الارتفاع Y فيكون طبقا لقانون نيوتن للزوجة *Newton's Law of Viscosity* إجهاد القص shear stress بين السطحين والذي يقاوم حركة السائل هو τ. (شكل 1.2.4)



شكل 1.2.4

ومع الاخذ في الاعتبار التغير في السرعة الي التغير في المسافة بين السطحين فيمكن التعبير عن إجهاد القص بالمعادلة

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \qquad 1.2.1$$

وهي المعادلة التي يطلق عليها قانون نيوتن للزوجة *Newton's Law of Viscosity*

حيث تعرف μ بأنها اللزوجة الديناميكية *dynamic viscosity* أو معامل اللزوجة

ويمكن بسهولة من المعادلة السابقة إيجاد معادلة معامل اللزوجة

حيث

$$\mu = \frac{\tau}{dv/\mathrm{dy}} \qquad 1.2.2$$

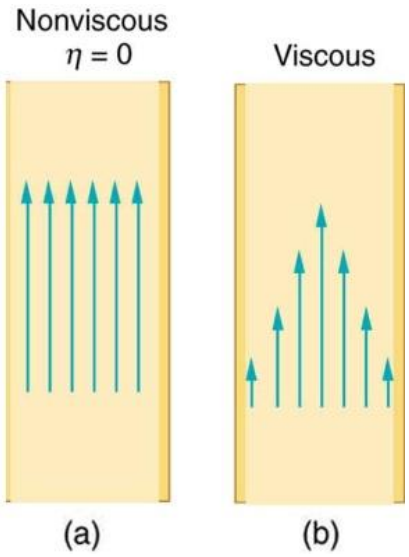
كما يوجد تعبير اخر عن اللزوجة بما يعرف اللزوجة الكينامتيكية *kinematic viscosity* والتي تعبر عنها المعادلة

$$\upsilon = \frac{\mu}{\rho}$$

حيث ρ هي كثافة السائل و سيأتي لاحقا شرح مفصل لها .

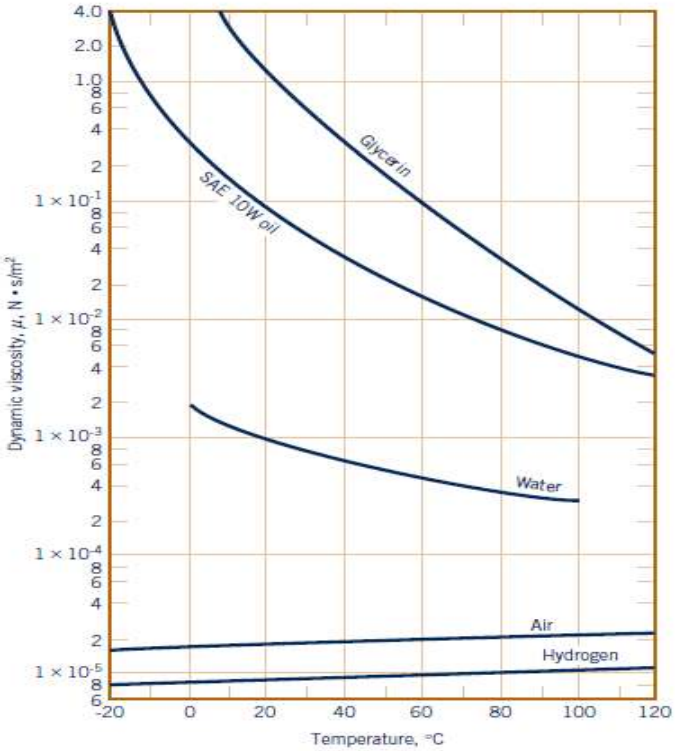
وتقاس اللزوجة الديناميكية في نظام SI بوحدات *PI poiseuille* او (Pa.sec) او بوحدة تسمي بويز P (Poise) حيث 1 P = 0.1 Pa.sec

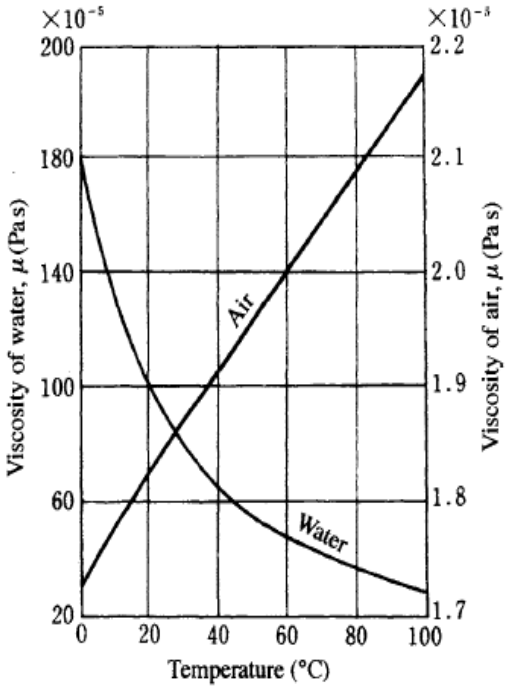
والشكل 1.2.5 يوضح تأثير اللزوجة علي منحني السرعة للسوائل حيث ان السرعة تزداد كلما ابتعد السائل عن السطح , وفي حالة عدم وجود اللزوجة وهي حالة نظرية تكون السرعة متساوية لكل طبقات السائل .



شكل 1.2.5

ويمكن بطريقة عملية وحسابات رياضية بسيطة التعبير عن اللزوجة للسوائل كما توجد خرائط ورسومات بيانية تبين لزوجة العديد مع السوائل و كذلك علاقتها بدرجات الحرارة المختلفة للسوائل و الغازات.





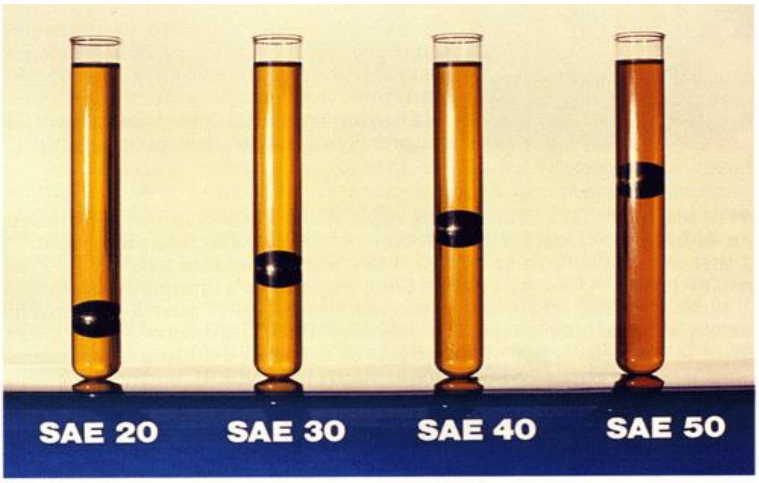
شكل 1.2.7

وتقاس اللزوجة في العمليات الصناعية و النواحي التطبيقية بواسطة أجهزة مختلفة تعطي قراءة مباشرة لقيمتها وتختلف الأجهزة حسب التطبيق المطلوب .

شكل 1.2.8

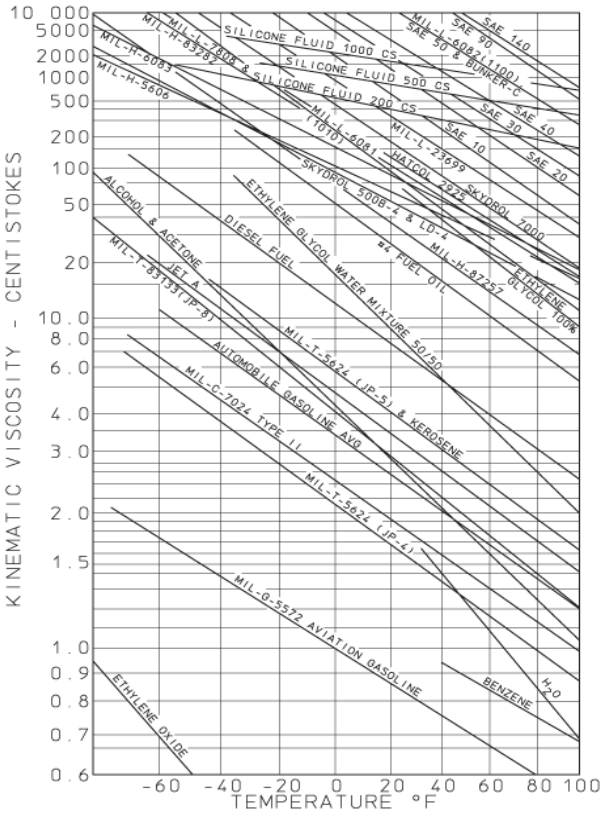
كما يمكن تعيين قيمة اللزوجة في المختبر بطرق عملية متعددة ابسطها طريقة الكرة و المخبار او ما يسمي طريقة ستوكس لقياس اللزوجة .

وتعتمد الطريقة علي حساب زمن سقوط كرة معدنية بقطر معين لمسافة معينة في السائل المراد قياس لزوجته وبتطبيق معادلة رياضية بسيطة يمكن حساب اللزوجة الديناميكية للسائل .



Steel balls of equal weight dropped into test tubes filled with motor oils fall at different rates. Their rate of fall depends on the viscosity of the oil. The ball travelling through the light SAE 20 oil has travelled farthest, while the ball in the heavy SAE 50 has travelled least.

شكل 1.2.9



شكل 1.2.10

ويمكن الاطلاع علي الصفحة التالية لمعلومات إضافية عن اللزوجة و طرق قياسها

http://www.rheosys.com/intro.html

http://www.machinerylubrication.com/Read/29451/anatomy-of-viscometer

(يقدم الطلاب تقرير عن محتوي الصفحة و بيانات اخري يمكن الحصول عليها)

1.3 : الكثافة *Density*

تعرف الكثافة لسائل معين بأنها مقدار الكتلة التي يحتويها وحدة الحجم من هذا السائل

The density of a substance is that quantity of matter contained in unit volume of the substance or The mass per unit volume of a substance.

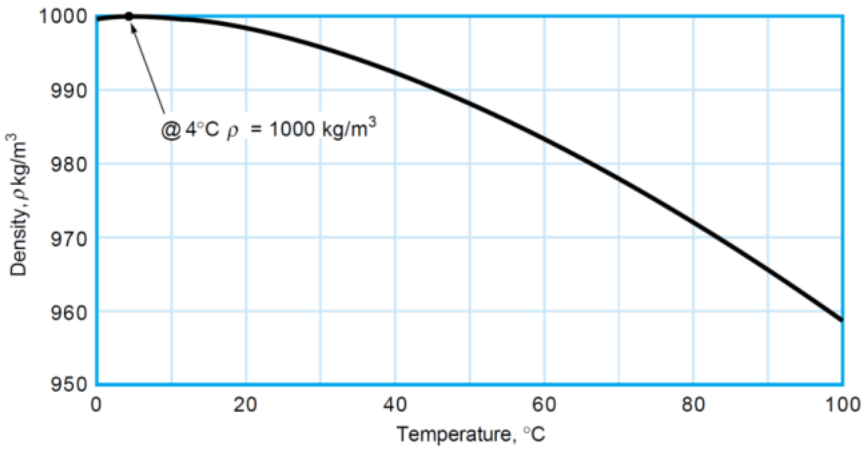
وبمعني أخر فان الكثافة عبارة عن الكتلة التي يحتويها المتر المكعب من السائل ويعبر عنها بالرمز ρ وتكون الصيغة الرياضية للكثافة هي :

$$\rho = \frac{M}{V} \qquad \text{Kg / m}^3 \qquad 1.3.1$$

مع مراعاة أن وحدات الحجم ووحدات الكتلة يجب أن تكون طبقا للنظام الدولي للوحدات

ولتبسيط مفهوم الكثافة لو افترضنا أن لدينا خزان واحد سيتم ملئه بسوائل مختلفة ففي كل الحالات سيكون الحجم ثابت وهو V في حين أن الكتلة M التي سيحتويها الخزان ستختلف طبقا لخواص السائل وبالتالي ستختلف الكثافة حسب كل سائل .

ومن القيم الشهيرة للكثافة و التي تعتبر قيمة ثابتة هي كثافة الماء *Water density* والتي سيتم اعتبارها تساوي $1000\ \text{Kg / m}^3$.



شكل1.3.1

مثال 1.1:

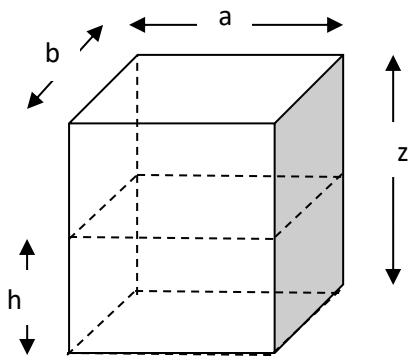
خزان علي شكل متوازي مستطيلات طول قاعدته 120 Cm وعرضها 900 mm وارتفاعه 180 Cm ممتلئ حتي ثلاثة ارباعه بسائل معين ، فاذا كانت كتلة السائل داخل الخزان 1.3 Ton احسب :...

1- حجم الخزان

2- حجم السائل

3- وزن السائل

4- كثافة السائل



$$A = a * b$$

$$= 1.2 * 0.9 = 1.08 \quad m^2$$

$$V_T = A * Z$$

$$= 1.08 * 1.8 = 1.944 \quad m^3$$

$$V_l = 1.08 * (1.8 * 0.75) = 1.458 \quad m^3$$

$$W = M * g$$

$$= 1300 * 9.81 = 3825.9 \quad KN$$

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

$$= \frac{1300}{1.458} = 891.632 \quad {Kg}/{m^3}$$

1.4 : الوزن النوعي *Specific weight*

وتعبر هذه الخاصية من خواص السوائل عن وزن وحدة الحجوم من السائل او بمعني اخر هي مقدار الوزن الذي يحتويه المتر المكعب الواحد من المائع

The specific weight of a substance is that weight of matter contained in unit volume of the substance or The weight per unit volume of a substance.

وبصورة رياضية يمكن التعبير عنها بالمعادلة التالية :

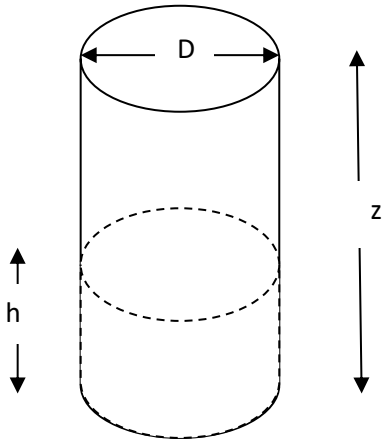
$$\gamma = W / V \qquad N / m^3 \qquad 1.4.1$$

ويمكن تفسير المعني الفيزيائي للوزن النوعي كما يلي :

بافتراض ان لدينا خزان يحتوي علي سائل معين فاذا كان حجم الخزان هو V m^3 وإذا افترضنا ان وزن السائل الذي يحتويه هذا الخزان هو W N فتكون قيمة الوزن النوعي لهذا السائل $\gamma = W / V$ N / m^3

مثال 1.2 :

خزان اسطواني قطر قاعدته 140 cm وارتفاعـــــــه 160 Cm ممتلئ حتي منتصفه بالماء احسب وزن الماء الموجود بالخـــزان .



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

$$= \frac{\pi * (1.4)^2}{4}$$

$$= 1.539 \quad m^2$$

$$V_l = A * h$$

$$= 1.539 * (1.6 * 0.5)$$

$$= 1.231 \quad m^3$$

$$as \quad \gamma_w = 9810 \quad N/m^3$$

$$as \quad \gamma = \frac{W}{V}$$

$$Then \quad W = \gamma * V$$

$$W = 9810 * 1.231$$

$$= 12076.11 \quad N$$

ملحوظة :

حيث ان تعريف الوزن كما هو معروف انه هو قوة جذب الأرض للجسم

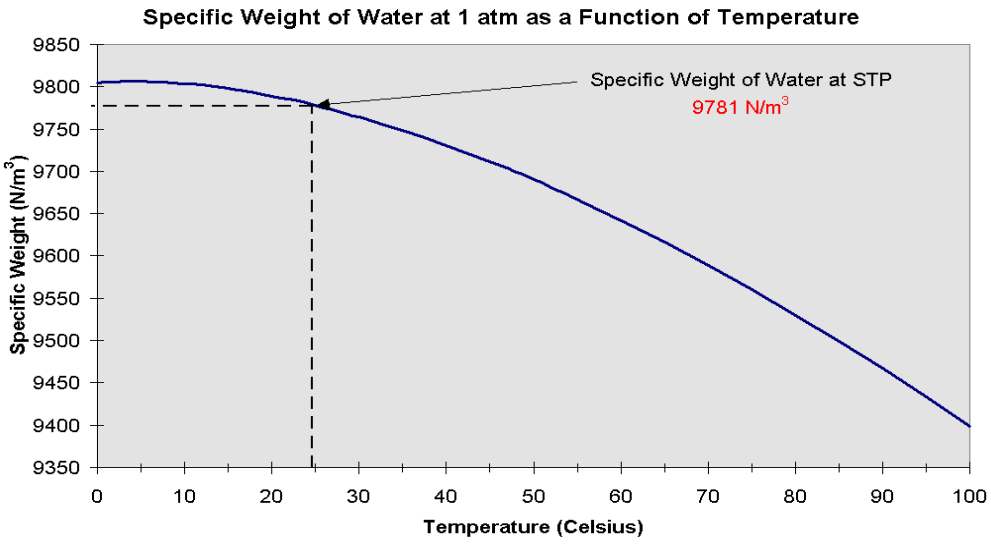
فتكون العلاقة بين الكتلة و الوزن هي $W=M*g$ 1.4.2

حيث g هي عجلة الجاذبية الأرضية و هي قيمة ثابته تساوي $9.81\ m/s^2$

بمقارنة معادلات 1.3.1 ، 1.4.1 ، 1.4.2 استنتج العلاقة بين الكثافة و الوزن النوعي

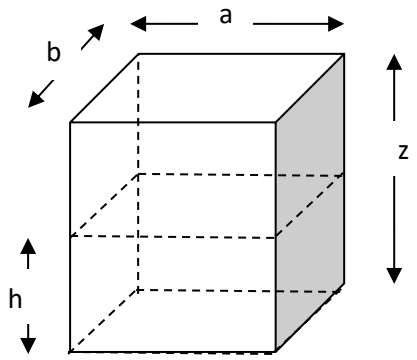
مع مراعاة ان وحدات الحجم ووحدات الوزن يجب ان تكون طبقا للنظام الدولي للوحدات

فيمكن من هذه العلاقة استنتاج قيمة للوزن النوعي للماء والتي تساوي $9810\ N/m^3$ ، وشكل 1.4.1 يوضح العلاقة بين الوزن النوعي للماء و درجة الحرارة و الضغط حيث تقل القيمة الفعلية للوزن النوعي للسوائل عموما كلما زادت درجة الحرارة و الشكل يبين هذه العلاقة للماء



شكل 1.4.1

مثال 1.3 : خزان علي شكل متـوازي مستطيلات طول قاعـــدته 2.5 m وعرضـــها 300 Cm وارتفاعه 350 Cm ممتلئ حتي منتصفه بسائل معين ، فإذا كانت كتلة السائل داخل الخزان 3.25 Ton...احسب :



1- حجم الخزان

2- حجم السائل

3- وزن السائل

4- كثافة السائل

5- الوزن النوعي

$$A = a * b$$

$$= 2.5 * 3 = 7.5 \quad m^2$$

$$V_T = A * Z$$

$$= 7.5 * 3.5 = 26.25 \quad m^3$$

$$V_L = A * h$$

$$= 7.5 * (3.5 * 0.5)$$

$$= 13.125 \quad m^3$$

$$W = M * g$$

$$= 11500 * 9.81 = 112.815 \quad KN$$

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

$$= \frac{11500}{13.125} = 876.190 \quad Kg/m^3$$

$$\gamma = \rho * g$$

$$= 876.19 * 9.81 = 8595.423 \quad N/m^3$$

1.5 : الجاذبية النوعية *Specific gravity*

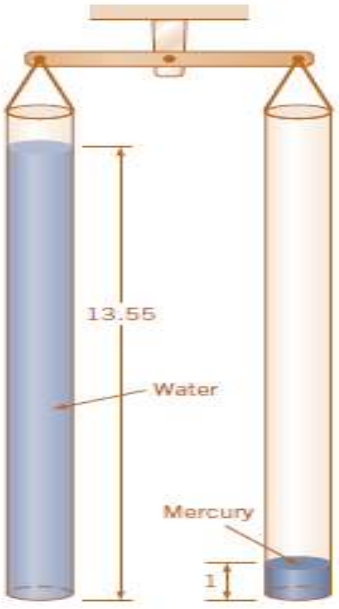
وتعبر هذه الخاصية عن النسبة بين الوزن النوعي لسائل معين الي الوزن النوعي للماء

ويمكن التعبير عنها أيضا بالنسبة بين كثافة السائل الي كثافة الماء

The specific gravity of a fluid, is the ratio of specific weight of the fluid to the specific weight of the water (or the density of the fluid to the density of water)

وبصورة رياضية فان الجاذبية النوعية للسائل $S.G$ يمكن التعبير عنها بالمعادلة :

$$S.G = \frac{\gamma}{\gamma_w} \qquad 1.5.1$$



شكل 1.5.1

ويلاحظ ان الجاذبية النوعية قيمة عددية ليس لها وحدات قياس

ويمكن أيضا تسمية الجاذبية النوعية بالكثافة النسبية *relative density* وهي النسبة بين كثافة السائل و كثافة الماء ويرمز لها بالرمز ρ_r .

ويمكن التعبير عن الكثافة النسبية بالمعادلة الرياضية التالية :

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_w} \qquad 1.5.2$$

نقاط للمناقشة :

1- العلاقة بين الجاذبية النوعية والكثافة النسبية

2- قيمة الجاذبية النوعية للماء

3- في حالة معرفة أي من الخواص الأربع لأي سائل يمكن استنتاج باقي الخواص

مصادر إضافية :

يمكن الاطلاع علي الصفحات التالية لمزيد من المعلومات عن خواص السوائل

https://www.youtube.com/results?search_query=fluid+density

http://mechteacher.com/properties-of-fluids/

http://www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/CIVE1400/Section1/Fluid_properties.htm

http://www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/FluidsLevel1/Unit00/index.html

http://www.mhhe.com/engcs/civil/finnemore/graphics/ch02.pdf

تدريبات

1- عرف كل من الكثافة و الوزن النوعي و الجاذبية النوعية

2- اذكر الفارق بين الغازات و السوائل

3- عرف اللزوجة واشرح احدي الطرق المعملية لحسابها

4- خزان علي شكل متوازي مستطيلات طول قاعدته 3 m وعرضها 2 m وارتفاع الخزان 4 m ممتلئ حتي منتصفه بسائل معين ، احسب حجم الخزان وحجم السائل .

5- خزان اسطواني قطر قاعدته 4.5 m كتلة السائل بداخله 14.8 Ton وكثافتـــــــه 850 Kg / m^3 أحسب ارتفاع السائل داخل الخزان .

6- سائل جاذبيته النوعية 0.7 احسب - الوزن النوعي - الكثافة

7- سائل كثافته $850\ Kg / m^3$ احسب جاذبيته النوعية

8- احسب كتلة السائل الموجود في خزان اسطواني قطر قاعدته 120 Cm وارتفاعه 180 Cm وارتفاع السائل الموجود به 130 Cm وكثافته النسبية 0.85

9- خزان حجمه الاجمالي 14.5 m3 ممتلئ بنسبة 63% بسائل معين جاذبيته النوعية 0.85 المطلوب :

- حجم السائل - كثافة السائل - الوزن النوعي للسائل - كتلة السائل

10- خزان اسطواني قطر قاعدته 650 mm وارتفاعه 90 Cm ممتلئ حتي ربعه بسائل وزنه النوعي $8835\ N/m^3$ احسب

- حجم السائل - وزن السائل - كتلة السائل

الباب الثاني

الضغط والموائع الساكنة

Pressure and Fluid statics

Applications and measurement

يعتبر الضغط واحد من اهم العناصر التي تؤثر علي سلوك الموائع المختلفة سواء في حالة السكون او حالة الحركة ، حيث تتواجد السوائل دائما في حالة اتصال بأسطح الاوعية التي تحتويها او الانابيب التي تتدفق خلالها او حتى اتصال اسطح وسائل النقل مثل السفن مع مياه البحر اثناء تنقلها او الطائرات مع الهواء اثناء تحليقها .وتطبق السوائل قوة ما علي الاسطح التي تتلاصق معها وتعتمد هذه القوه علي خواص المائع خاصة الوزن النوعي . وسندرس في هذا الباب تأثير الضغط الذي يمكن تطبيقه خارجيا علي السوائل وكذلك سندرس تأثير الضغط الذي ينتج عن تأثير السوائل نفسها علي الاسطح التي تتصل بها.

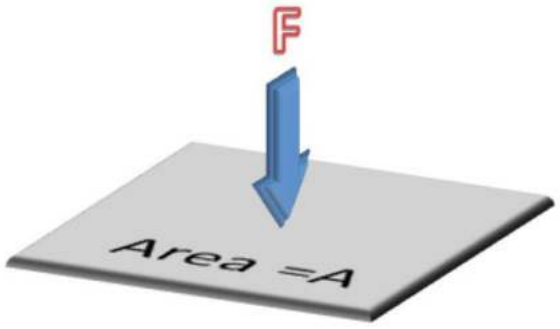
2.1 : تعريف الضغط

التعريف العام للضغط هو القوة العمودية التي تؤثر علي وحدة المساحات وفي حالة السوائل يكون الضغط هو القوة التي يؤثر بها السائل علي وحدة المساحات .

Fluid pressure is the force exerted by the fluid per unit area

$$P = \frac{F}{A} \quad N/m^2$$

2.1.1



شكل 2.1

وتسمي وحدة القياس التي تعبر عنها المعادلة N/m^2 بوحدة الباسكال Pa

ويعبر أيضا عن قيمة الضغط بوحدة قياس اكبر تسمي البار Bar حيث $1\ Bar = 10^5\ Pa$

كما يمكن التعبير عن قيم الضغط بوحدة قياس اخري هي Psi حيث $1\ Bar = 14.5\ Psi$

2.2 مصطلحات هامة :

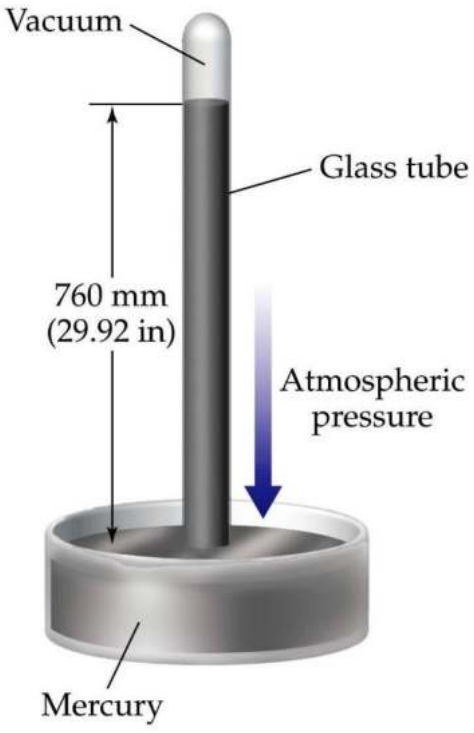
من المفيد التعرف علي اهم المصطلحات التي نحتاج اليها عند دراسة الضغط في السوائل والتي لابد من التعرف عليها ومعرفة المعني الفيزيائي لكل منها .

2.2.1 الضغط الجوي *Atmospheric Pressure*

ويعرف الضغط الجوي علي أنه القوه التي تؤثر بها وزن عامود الهواء علي سطح الأرض ويرمز له بالرمز P_{atm} .

Atmospheric Pressure. *The pressure at the surface of the earth due to the head of air above the surface .*

ويستخدم جهاز البارومیتر لقياس قيمة الضغط الجوي وكما هو موضح بالشكل فان الضغط الجوي يعبر عنه في جهاز البارومتر بارتفاع عامود قيمته 760 mm من الزئبق .



شكل 2.2

وتبلغ قيمة الضغط الجوي عند سطح البحر 101325 Pa وتقل قيمة الضغط الجوي كلما ارتفعنا عن سطح الأرض .

وكما سبق يتضح ان قيمة الضغط الجوي لها قيمتان الاولي بوحدة الباسكال Pa والثانية بدلالة عامود من الزئبق ارتفاعه 760 mm والقيمتان متكافئتان وتعبران عن نفس الكمية الفيزيائية وسياتي لاحقا اثبات بسيط لهذه العلاقة .

2.2.2 الضغط المقاس *Gauge Pressure*

وهو الضغط الذي يقاس أعلي او أقل من الضغط الجوي

***Gauge Pressure**. The pressure measured above or below atmospheric pressure.*

ويعتبر الضغط المقاس هو التعريف الاعم والأكثر شيوعا في الاستخدام عند حساب الضغط للسوائل ويرمز له بالرمز P_g او بالرمز P منفردا

2.2.3 الضغط المطلق *Absolute Pressure*

وهو الضغط المقاس بدءا من الصفر المطلق او الخلخلة ويرمز له بالرمز P_{abs}

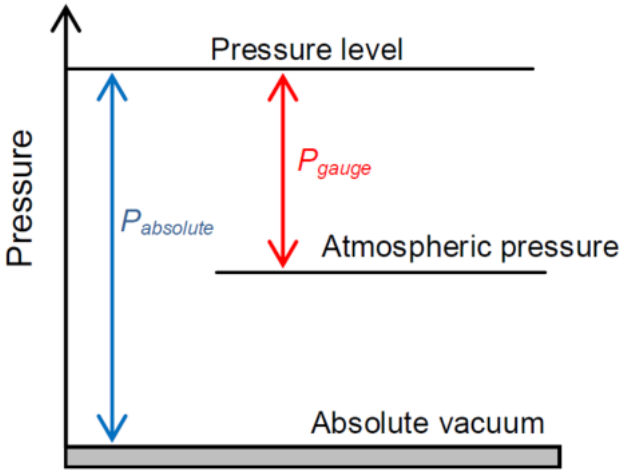
Absolute Pressure. The pressure measured above absolute zero or vacuum.

هناك علاقة رياضية تربط بين الضغط المطلق و الضغط المقاس و الضغط الجوي و التي تبينها المعادلة التالية

$$P_{abs} = P_g + P_{atm} \qquad 2.2.3$$

Absolute Pressure = Gauge Pressure + Atmospheric Pressure

والشكل التالي يوضح العلاقة بين أنواع الضغوط التي سبق توضيحها



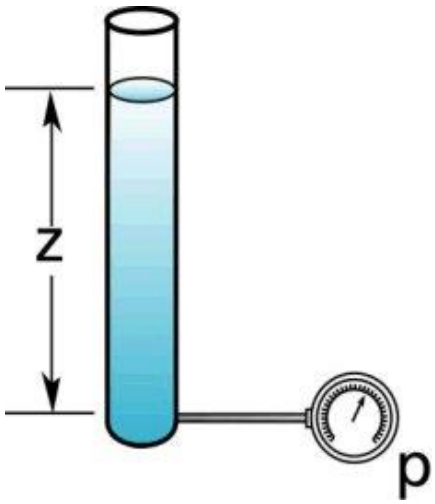
شكل 2.3

2.2.4 دافع الضغط *Pressure Head*

ويمكن تعريفه بقيمة الضغط عند قاعدة عامود ذو ارتفاع معين من السائل وتكون وحدة قياس دافع الضغط هي وحدة الاطوال المتر m .

Pressure Head. The pressure intensity at the base of a column of homogenous fluid of a given height in meters.

ومن المسميات التي تطلق علي دافع الضغط ، "الضغط المكافئ" او" الضغط بدلالة عامود من السائل" .



شكل 2.2

ويمكن بوضوح تعريف القوة التي تؤثر بها السوائل عند أي نقطة او علي قاعدة خزان ما بانها وزن السائل في الخزان الذي يحتويه وبالتالي تكون المعادلة 2.1.1 في الصورة

$$P = \frac{W}{A} \quad N/m^2 \qquad 2.2.4.1$$

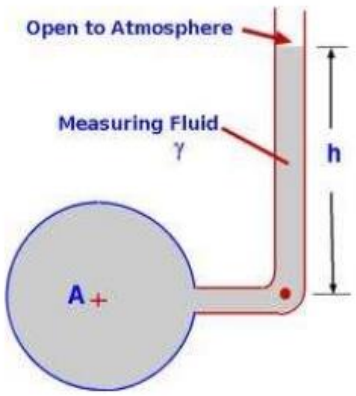
ويمكن استنتاج العلاقة الرياضية بين الضغط المقاس P ودافع الضغط h بالتعويض في المعادلة 2.2.4.1 بقيمة الوزن من المعادلة 1.4.1 فتنتج العلاقة التي تعبر عن دافع الضغط

$$h = \frac{P}{\rho g} \qquad 2.2.4.2$$

وفي شكل 2.3 يوضح احدي طرق قياس الضغط المكافئ بواسطة البيزوميتر *Piezometer*

و يمكن التعبير عن قيمة الضغط داخل خط يحتوي سائل جاذبيته النوعية γ_1 والذي يبلغ ارتفاع السائل به h_1 فيكون الضغط

$$P = \gamma_1 \, h_1 \quad \text{Pa} \qquad 2.2.4.2$$

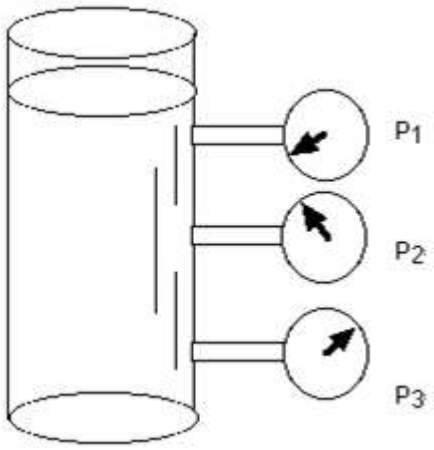


$$P_A = \gamma_1 h_1$$

شكل 2.3

ناقش :

1- يمكن حساب الضغط المقاس عند أي نقطة تبعد مسافة معينة عن سطح السائل
2- البيزوميتر لا يمكن استخدامه في حالة ان يكون الضغط اقل من الضغط الجوي
3- ما هي اعلي قيمة للضغط عند مختلف النقاط في شكل 2.3



شكل 2.3

مثال 2.1 : أذا علمت أن الجاذبية النوعية للزئبق 13.6 وأن الضغط الجوي يعادل ارتفاع عامود من الزئبق ارتفاعه 76 Cm احسب قيمة الضغط الجوي بوحدة Pa

$$\gamma = s.g * \gamma_w$$
$$= 13.6 * 9810 = 133416 \quad N/m^3$$
$$P = \gamma * h$$
$$= 133416 * 0.76 = 101365 \quad Pa$$

مثال 2.2 أذا كان الضغط داخل خط أنابيب 1.12 Bar احسب الضغط المكافئ بدلالة عامود من سائل كثافته 850 Kg /m^3

$$\gamma = \rho * g$$
$$= 850 * 9.81 = 8338.5 \quad N/m^3$$
$$P = \gamma * h$$
$$h = \frac{P}{\gamma}$$
$$= \frac{1.12 * 10^5}{8338.5} = 13.431 \quad m$$

مثال 2.5

A , B & C are three liquids of specific gravity 0.8, 0.85 and 0.95 respectively. Calculate the height of liquid column in three piezometer tubes shown in Fig. Take datum as bottom line.3

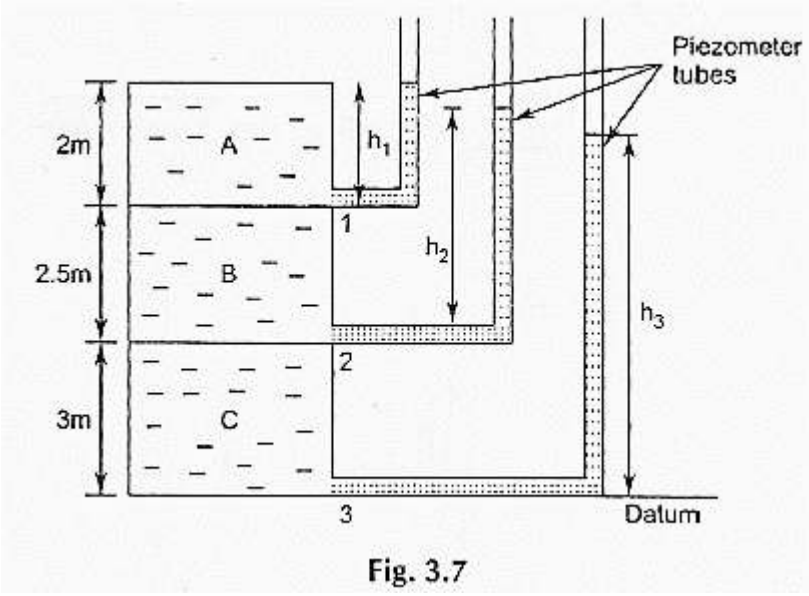


Fig. 3.7

Solution.

$P = \gamma h$, where $\gamma = sg \times 9810$ N I m^3

$P_3 = (0.95 \times 9810 \times 3) + (0.85 \times 9810 \times 2.5) + (0.8 \times 9810 \times 2)$

$P_3 = 64501$ N /m^2

$P_3 = 64501$ N/m^2,, thus pressure head in terms of liquid C

$= 64501 / 0.95 \times 9810$ m

$h_3 = 6.92$ m.

(ii) Pressure at 2, $p_2 = (0.85 \times 9810 \times 2.5) + (0.8 \times 9810 \times 2)$

$P_2 = 36542$ N/ 1112

$h_2 = p_2 \gamma_B = 36542 / 0.85 \times 1000 \times 9.81 = 4.4$ m (in terms of B)

(iii) Pressure at 1, $= p_1 = 0.8 \times 9810 \times 2$

$= 15696$ N / m^2

Pressure head in terms of liquid A

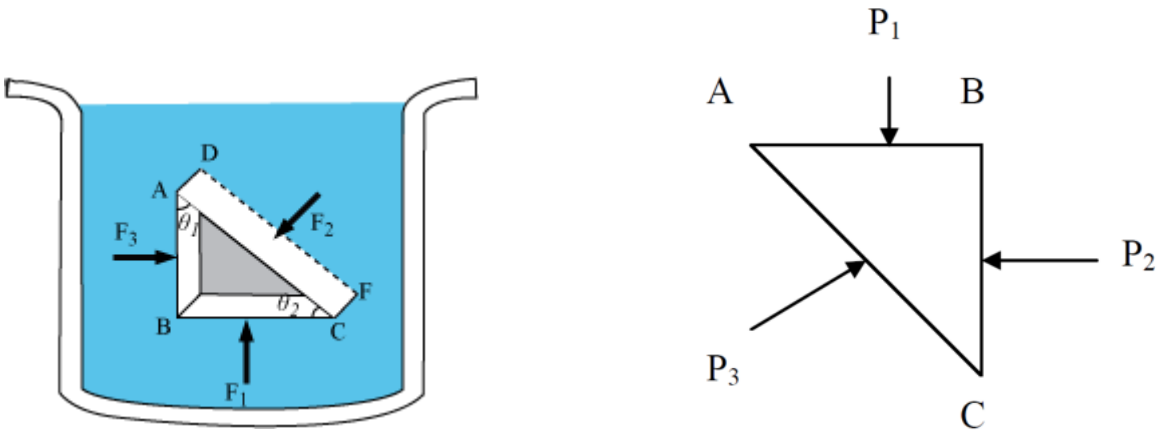
$= 15696 / 0.8 \times 1000 \times 9.81 = 2m = h_1$

2.3 قانون باسكال *Pascal's Law*

يفسر قانون باسكال قيمة الضغط في سائل معين حيث ينص علي :

" الضغط عند أي نقطة من السائل في حالة السكون يكون متساوي في جميع الاتجاهات "

The pressure at a point in a fluid at rest is the same in all directions.



شكل 2.4

ولفهم قانون باسكال نعتبر ان عينة الدراسة هي العنصر الموضح في شكل 2.4 و بحسابات التوازن للقوي المختلفة

Force on face AB = P1 x (AB x 1)
BC = P2 x (BC x 1)
AC = P3 x (AC x 1)

Resolving forces vertically :

P1 x AB = P3 x AC cos θ
But AC cos θ = AB Therefore P1 = P3

Resolving forces horizontally :

P2 x BC = P3 x AC sin θ
But AC sin θ = BC Therefore P2 = P3

Hence P1 = P2 = P3

وهو ما يفسر قانون باسكال حيث يتساوى الضغط في جميع الاتجاهات .

2.4 تطبيقات علي قانون باسكال

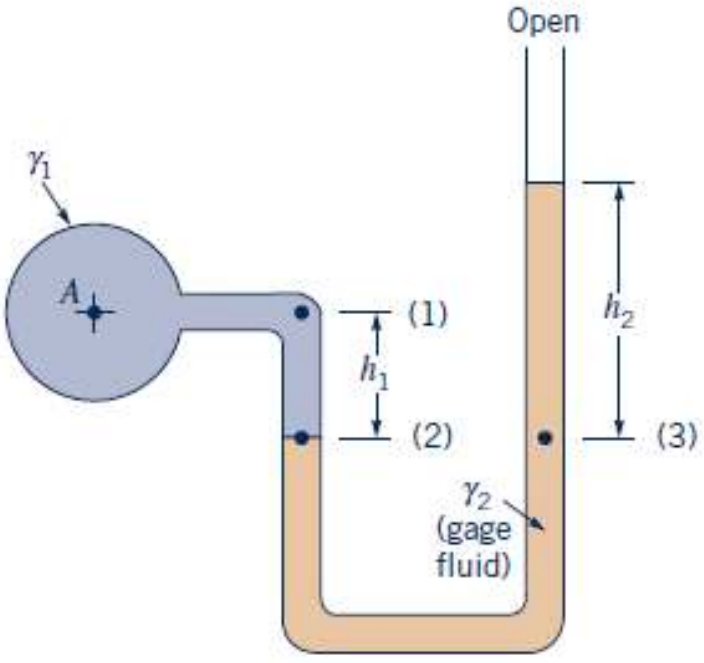
يستخدم قانون باسكال علي نطاق واسع في مختلف التطبيقات العملية في ميكانيكا الموائع سواء في مجال أجهزة القياس او التطبيقات الميكانيكية او كأحد القواعد والنظريات الأساسية التي يبني عليها تطبيقات ونظريات علمية اخري في دراسة خواص وتصرف الموائع في مختلف الظروف

2.4.1 المانومتر البسيط

المانومترات هي أجهزة بسيطة لقياس الضغوط تعتمد في عملها علي صورة تطبيقية من نظرية باسكال والتي يمكن التعبير عنها بان أي نقطتين علي نفس الارتفاع في السائل المتصل سيكون لهما نفس قيمة الضغط .

Any two points at the same elevation in a continuous mass of the same static fluid will be at the same pressure

وابسط اشكال المانومتر هو الانبوب علي شكل حرف U و يتميز المانومتر بإمكانية قياس الضغوط الأعلى و الأقل من الضغط الجوي بعكس البيزوميتر .



شكل 2-5

وبتطبيق نظرية باسكال علي النقطتين 2 ، 3 بالشكل 5-2 يمكن استنتاج قانون لحساب قيمة الضغط في حالة الضغط الأعلى من الضغط الجوي بدلالة ارتفاعات المانومتر حيث :

$$P = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 \quad Pa$$

ومن المعادلة السابقة والتي تعبر عن قيمة الضغط المقاس بواسطة الارتفاعات في المانومتر البسيط يمكن استخدام طريقة اخري يكثر استخدامها للتعبير عن قيمة الضغط بواسطة حساب الضغط المكافئ بدلالة عامود من الماء او ما يسمي الدافع الاستاتيكي او دافع الضغط *pressure head*

As $P = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1$ *Pa*

Dividing both sides by specific weight of water

Thus $$\frac{P}{\gamma_w} = \frac{\gamma_2}{\gamma_w} h_2 - \frac{\gamma_1}{\gamma_w} h_1$$

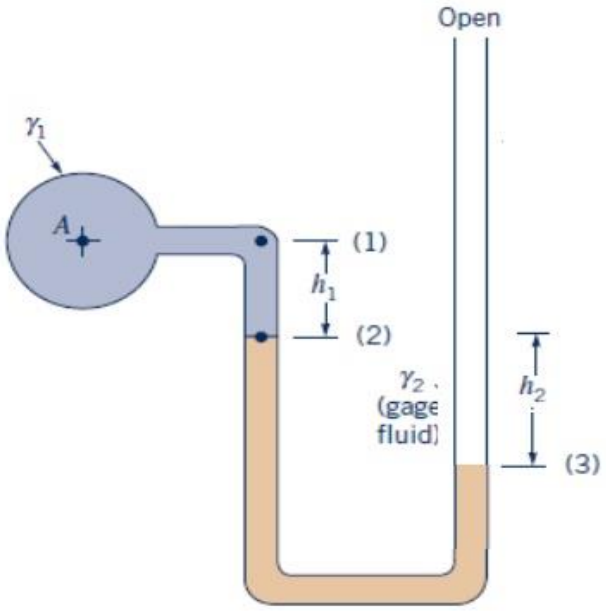
The equation becomes

$$h_w = sg_2 \ h_2 - sg_1 \ h_1 \quad mwc$$

Where h_w *is the pressure head in water column*

والمعادلات السابقة تعبر عن طرق حساب الضغط الأعلى من الضغط الجوي او الضغط الموجب *Positive pressure value*

في حالة ان يكون الضغط في نقطة القياس اقل من الضغط الجوي فتسمي هذه الحالة بحالة الضغط السالب *Negative pressure value* او بالخلخلة *Vacuum*



شكل 2-6

وبتطبيق نفس الخطوات السابقة يمكن استنتاج معادلة حساب الضغط في حالة الضغط السالب

$$_{\text{Pa}}P = -\left(\gamma_2\, h_2 + \gamma_1\, h_1\right)$$

وتكون معادلة التعبير عن الضغط بدلالة عامود من الماء او ما يسمي بالدافع الإستاتيكي او دافع الضغط *pressure head*

$$_{\text{mwc}}h_w = -(sg_2\ h_2 + sg_1\ h_1)$$

تمرين تطبيقي :

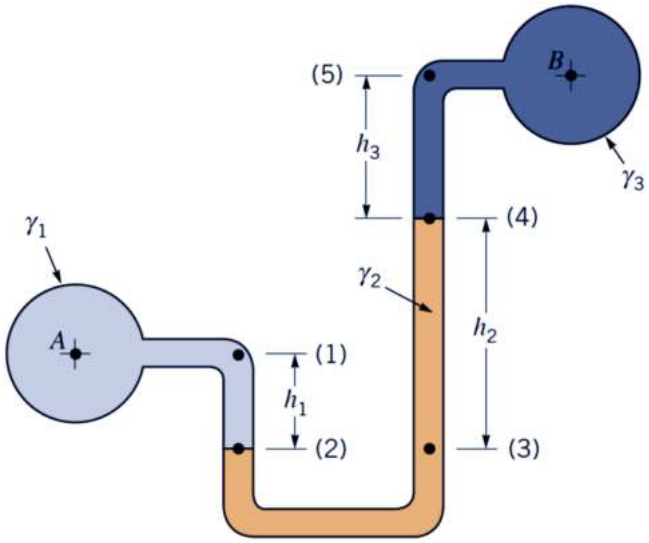
1- استنتج معادلة الضغط الموجب داخل الخط

2- استنتج معادلة الضغط السالب داخل الخط

2.4.2 المانومتر الفرقي

وهو تطبيق اخر من المانومتر البسيط الا انه يستخدم في قياس فارق الضغط بين خطي انابيب او بين خزانين او نقطتين

It is used to measure the difference in pressure between two containers or two points in a given system



شكل 2-7

وبتطبيق نظرية باسكال بين النقطتين 2 ،3 بالشكل 2-6 يمكن استنتاج قانون لحساب قيمة الضغط بدلالة ارتفاعات المانومتر حيث :

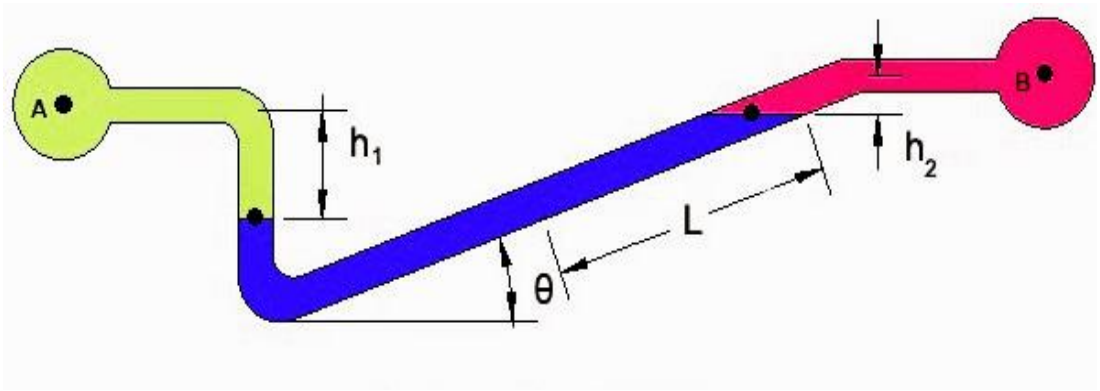
$$P_A - P_B = \gamma_2 h_2 + \gamma_3 h_3 - \gamma_1 h_1$$

تمرين تطبيقي : أستنتج العلاقة بين الضغوط في المانومتر الفرقي

2.4.3 المانومتر المائل

ويستخدم هذا النوع في قياس فارق الضغط بين نقطتين او خطي انابيب او خزانين ويتميز هذا النوع من المانومترات بقياس القيم المنخفضة من الضغط كما يبين الفروق الطفيفة الدقيقة في الضغط بين نقطتي القياس ، ويلاحظ ان الميل في هذا النوع يؤدي الي زيادة المسافة التي يتحركها سائل المانومتر بما يزيد حساسية القياس و دقتها .

It is used for the measurement of small pressures and is to measure more accurately than the vertical tube type manometer



شكل 8-2

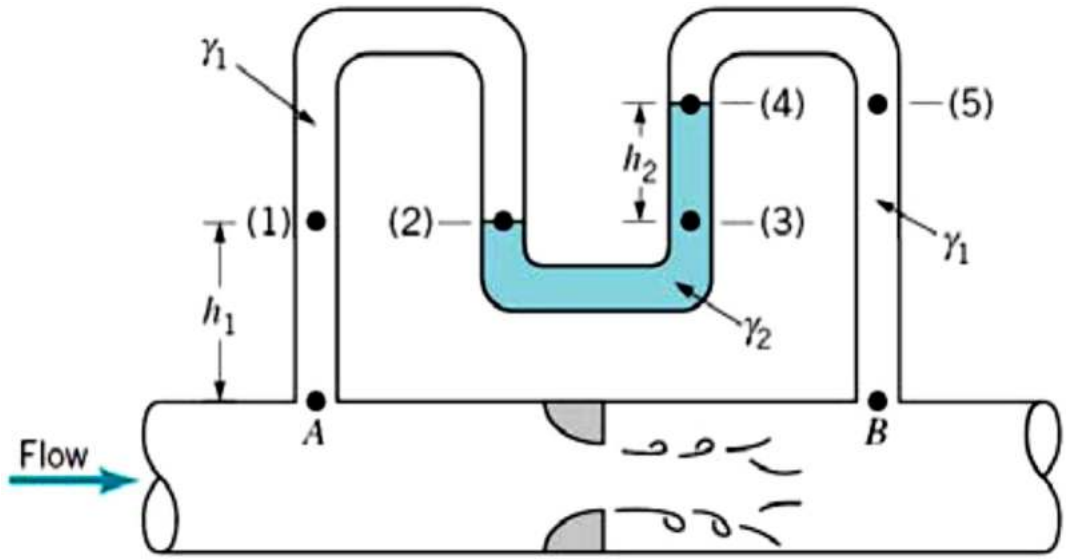
وبتطبيق نظرية باسكال تكون معادلة المانومتر المائل هي :

$$P_A - P_B = \gamma_2 h_2 - \gamma_1 h_1 + \gamma_3 L \sin\theta$$

تمرين تطبيقي : أستنتج العلاقة بين الضغوط في المانومتر المائل

2.4.4 تطبيق استخدام المانومتر لقياس فارق الضغط

في شكل 2-8 يستخدم مانومتر علي شكل حرف U لقياس فارق الضغط بين نقطتين في خط انابيب علي جانبي اختناق في الانبوب يؤدي الي اختلاف الضغط بين النقطتين A , B
ولحساب فارق الضغط بين النقطتين يتم تطبيق نظرية باسكال بين النقطتين 2 ، 3



شكل 2-9

Pressure at point A $P_A = P_1 + \gamma_1 h_1$

And Pressure at point B $P_B = P_5 + \gamma_1 (h_1 + h_2)$

Pressure at point 3 $P_3 = P_4 + \gamma_2 h_2$

Applying Pascal`s law resulting $P_1 = P_2 = P_3$

Combining equations $P_A = P_4 + \gamma_2 h_2 + \gamma_1 h_1$

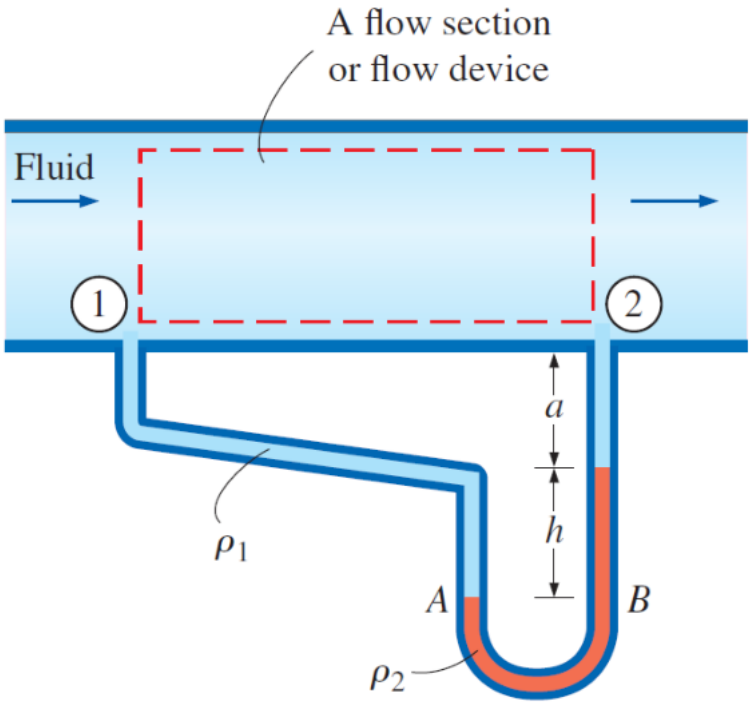
As $P_4 = P_5$

$P_A = P_B - \gamma_1 h_1 - \gamma_1 h_2 + \gamma_2 h_2 + \gamma_1 h_1$

Thus the final relation will be

$$P_A - P_B = h_2(\gamma_2 - \gamma_1)$$

وبتطبيق نفس الخطوات علي المانومتر الذي يقيس فارق الضغط او الانخفاض في الضغط Pressure drop بين نقطتي 1، 2 في شكل 2-10 يمكن استنتاج القانون الذي يمكن بواسطته حساب فارق الضغط



شكل 2-10

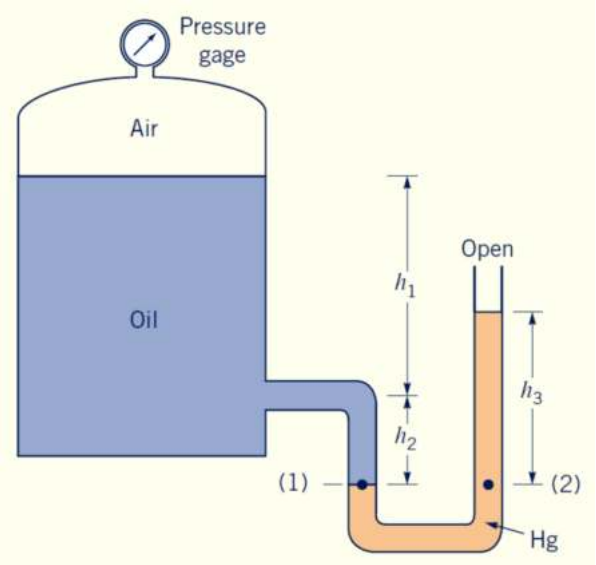
اذا بدانا من نقطة 1 مرورا بالنقاط المختلفة وحساب الضغوط يمكن الوصول الي :

$$P_1 - P_2 = h\,(\gamma_2 - \gamma_1)$$

مثال 2-6

A U-tube manometer is connected to a closed tank, shown below, containing oil having a density of 860 kg/m^3, the pressure of the air above the oil being 3500 Pa as measured by the gauge . If the pressure at point A in the oil is 14000 Pa and the manometer fluid has a SG 13.6 , while h_2=60cm, determine:

1. The depth of oil, h_1
2. The differential reading, h_2 on the manometer



Sol.

At point A in the tank:

$$P_A = \gamma_1 h_1 + P_{air}$$

$$14000 = (860 \times 9.81 \times h_1) + 3500$$

$$h_1 = 1.244 \text{ m.}$$

At datum 1-2 : equilibrium of pressure on both sides

$$P_1 = P_2$$

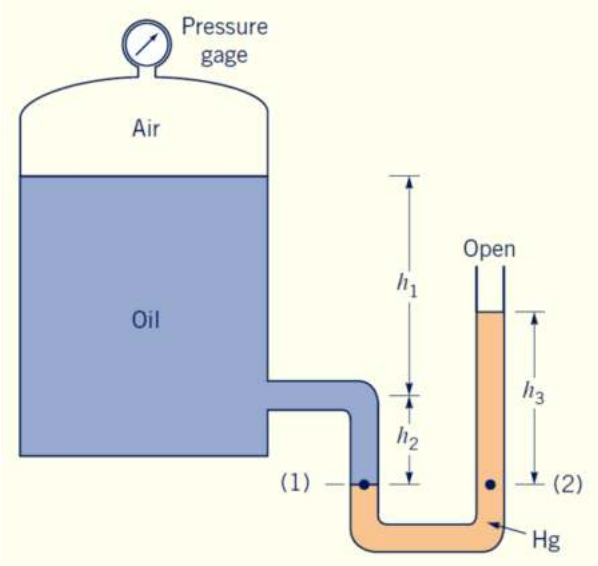
$$P_A + \gamma_{oil} \times h_2 = \gamma_{hg} \times h_3$$

$$14000 + (860 \times 9.81 \times 0.6) = 13.6 \times 9810 \times h_3$$

$h_3 =$ 0.142 m

مثال 2-7

A closed tank contains compressed air and oil $SG_{oil} = 0.902$ as is shown in Fig. A U-tube manometer using mercury $SG_{Hg} = 13.6$ is connected to the tank as shown. The column heights are $h_1 = 90$ Cm , $h_2 = 15$ Cm and $h_3 = 23$ Cm . Determine the pressure reading in psi of the gage.



Manometer equation

$P_{oil} + P_{air} = \gamma_3 h_3 - \gamma_{oil} h_2$

As $P_{oil} = \gamma_{oil} h_1$

Then $P_{air} = \gamma_3 h_3 - \gamma_{oil} h_2 - \gamma_{oil} h_1$

$= \gamma_3 h_3 - \gamma_{oil}(h_1 + h_2)$

Or other solution

At point 1 $p_1 = p_{air} + \gamma_{oil}(h_1 + h_2)$

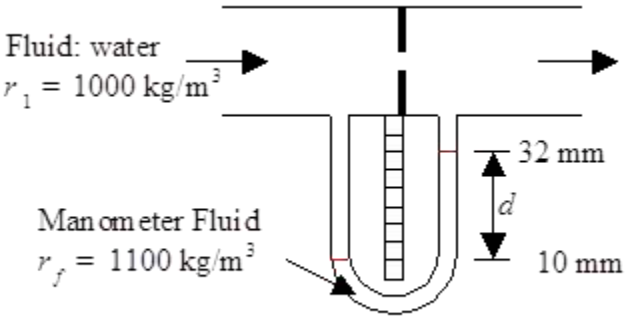
At point 2 $p_2 = \gamma_3 h_3$

$p_{air} + \gamma_{oil}(h_1 + h_2) = \gamma_3 h_3$

$p_{air} = \gamma_3 h_3 - \gamma_{oil}(h_1 + h_2)$

مثال 2-8

Determine the pressure drop across the orifice meter as shown below



Solution:

This is a differential manometer. Note that the hydrostatic pressure above the 32 mark is the same on both sides, it cancels out. The reference line to select is at the 10 mark. The manometer equation is

$$P_1 + \rho_1 g(d + l) = P_2 + \rho_f g d + \rho_1 g l$$

which simplifies to

$$P_1 + \rho_1 g d = P_2 + \rho_f g d$$

We now can write the pressure difference across the orifice from the above equation as:

$$P_1 - P_2 = \Delta P = g d(\rho_f - \rho_1)$$

Substituting the appropriate known quantities, we get:

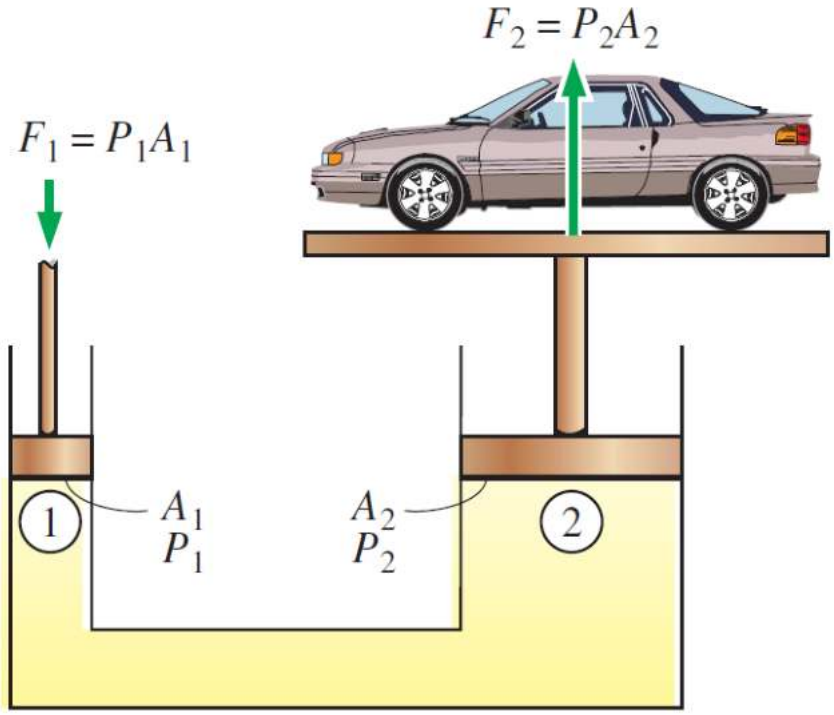
$$\Delta P = \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)(0.022\ \text{m})(1100 - 1000)\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\left(\frac{1\ \text{N}}{1\ \frac{\text{m}\cdot\text{kg}}{\text{s}^2}}\right)$$

$$= 21.6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 21.6\ \text{Pa}$$

2-4-5 الرافعة الهيدروليكية *hydraulic jack*

تعتبر الرافعة الهيدروليكية احد اشهر التطبيقات علي دراسة الضغط في السوائل والتي يتضح من خلال دراستها التطبيق العملي لنظرية باسكال و لتوزيع الضغط داخل السوائل .

والرافعة الهيدروليكية في ابسط صورها هي عبارة عن اسطوانتين احدهما ذات مكبس كبير نسبيا و الأخرى صغيرة ذات مكبس صغير نسبيا ويربط بينهما خط او أنبوب ممتلئ بسائل هيدروليكي . وفي الواقع فان اشهر صور للرافعة الهيدروليكية هي تلك المستخدمة في رفع السيارات . و الشكل 2-11 يبين الصورة المبسطة للرافعة



شكل 2-11

وكما هو واضح بالرسم فإنه نتيجة تأثير القوه F_1 المؤثرة علي المكبس الصغير ينتج ضغط علي السطح الداخلي للمكبس الصغير مقداره P_1 وبتطبيق التعريف الأساسي للضغط

$$P_1 = \frac{F_1}{A_1} \quad Pa$$

وبتطبيق نظرية باسكال علي النقطتين 1 & 2

$$P_1 = P_2$$

وحيث انه بتطبيق التعريف الأساسي للضغط عند نقطة 2 ينتج أن

$$P_2 = \frac{F_2}{A_2} \qquad Pa$$

يمكن من المعادلتين استنتاج العلاقة بين القوة المؤثرة F_1 والقوة الناتجة F_2

$$F_2 = F_1 \left(\frac{A_2}{A_1}\right) \qquad N$$

ويمكن التعبير عن العلاقة بدلالة الأقطار فتكون العلاقة كما يلي :

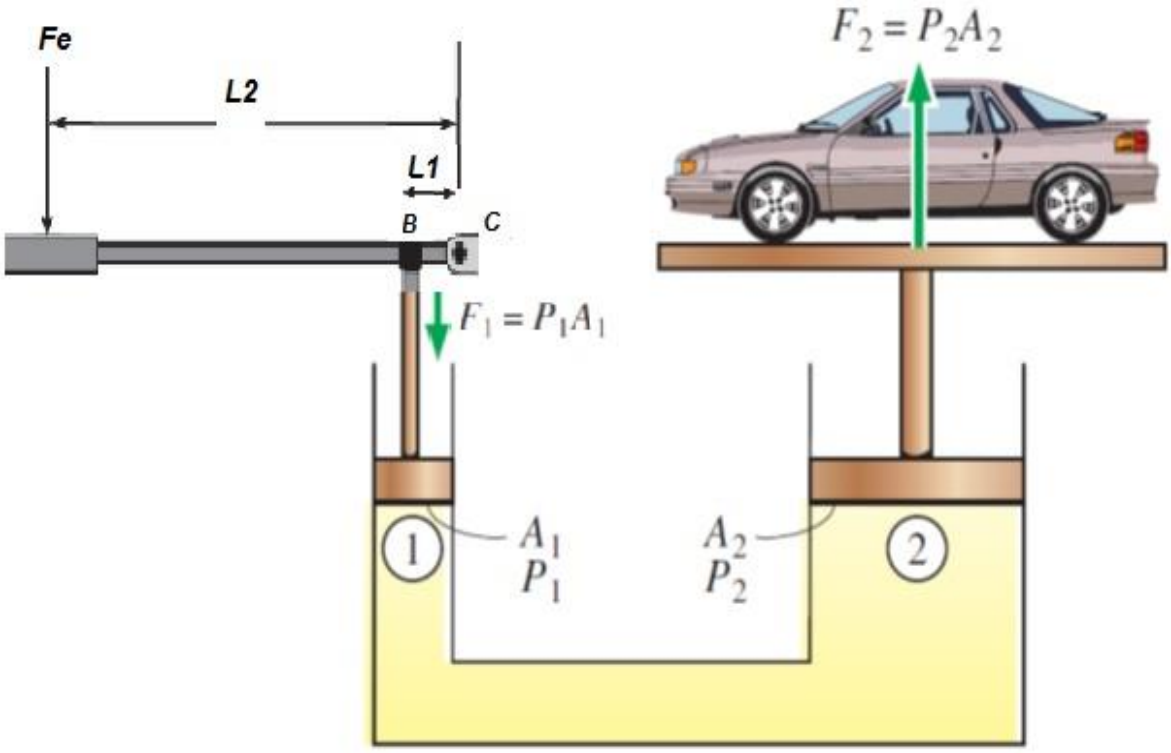
$$F_2 = F_1 \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$$

وتعتبر النسبة بين مساحة المكبس الأكبر الي مساحة المكبس الأصغر هي واحدة من القيم الأهم في حسابات الرافعة وتسمي *mechanical advantage of hydraulic jack* او الفائدة الميكانيكية للرافعة الهيدروليكية وقيمتها

$$MA_h = \frac{A_2}{A_1}$$

وهي نفسها مربع النسبة بين اقطار المكبسين $\left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2$

ولزيادة كفاءة الرافعة الهيدروليكية اليدوية يتم الاستعانة برافعة ميكانيكية بأطوال مناسبة تستخدم في نقل القوة اليدوية او القوة الخارجية الي نقطة تأثير القوة المؤثرة علي المكبس الصغير كما هو موضح بالرسم التالي :



شكل 11-2

حيث القوة F_e هي القوة الخارجية التي تؤثر علي طرف الرافعة الميكانيكية والمسافة L_1 هي المسافة بين محور ارتكاز الرافعة الميكانيكية ونقطة تأثير القوة المؤثرة علي المكبس الأصغر في حين ان المسافة L_2 هي المسافة بين محور ارتكاز الرافعة الميكانيكية و نقطة تأثير القوة الخارجية

وبتطبيق قوانين الروافع الميكانيكية :

$$\frac{F_1}{F_e} = \frac{L_1}{L_2}$$

ومنها نستنتج العلاقة بين القوة الخارجية والقوة المؤثرة حيث :

$$F_1 = F_e(\frac{L_2}{L_1}) \quad N$$

وفي هذه الحالة سيكون هناك فائدة ميكانيكية *mechanical advantage* إضافية تخص الرافعة الميكانيكية

$$MA_m = (\frac{L_2}{L_1})$$

ويمكن بسهولة استنتاج علاقة مباشرة بين القوي المختلفة

$$F_2 = F_e(\frac{L_2}{L_1})(\frac{A_2}{A_1}) \quad N$$

او بصيغة أخري :

$$F_2 = F_e(\frac{L_2}{L_1})(\frac{D_2}{D_1})^2 \quad N$$

ويمكن ان نعرف هنا الفائدة الميكانيكية العامة لمثل هذا النوع من الروافع بحيث نستخدم التعريف الاعم للفائدة الميكانيكية

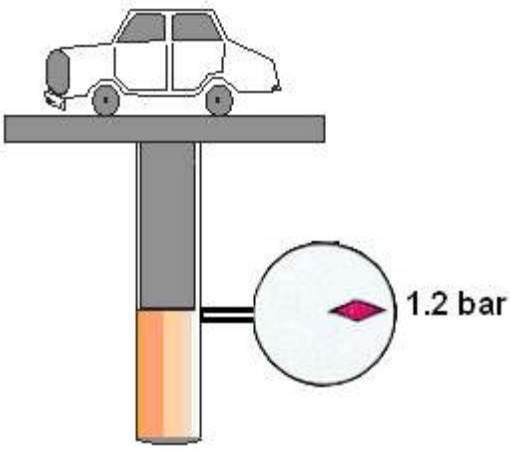
$$MA = Output\ force / Input\ force$$

وبالتالي تكون الفائدة الميكانيكية للرافعة كلها

$$MA = \frac{F_2}{F_e}$$

مثال 2-11

If the piston weighs 1000 N, determine the weight of the car which is supported by the jack when the gauge reading is 1.2 bar. Assume that the jack cylinder has a diameter of 0.4 m



Solution:

$$\sum F = o$$

$$P_a.A = F_{car} + F_{piston}$$

$$1.2x10^5\, x(\pi/4)x0.4^2 = F_{car} + 1000$$

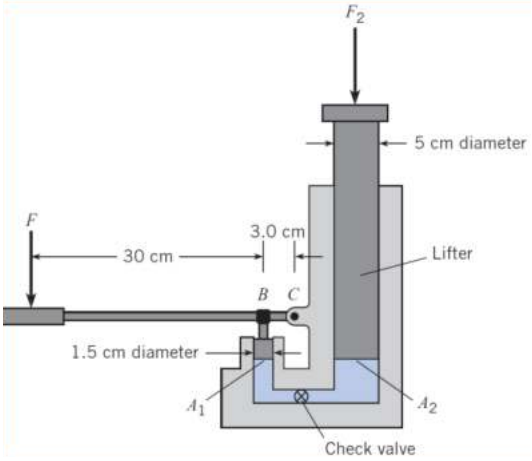
hence

$$F_{car} = 14080\ N = 1435\ kg$$

$$weight = 1.4\ tonne$$

مثال 2-12

A hydraulic jack has the dimensions shown. If one exerts a force F of 100 N on the handle of the jack, what load, F2, can the jack support? Neglect lifter weight.



1. Calculate force acting on the small piston.
2. Calculate pressure p1 in the hydraulic fluid
3. Calculate the load F2

Solution

1. Moment equilibrium

$$\sum M_C = 0$$

$$(0.33\ \text{m}) \times (100\ \text{N}) - (0.03\ \text{m}) F_1 = 0$$

$$F_1 = \frac{0.33\ \text{m} \times 100\ \text{N}}{0.03\ \text{m}} = 1100\ \text{N}$$

2. Force equilibrium (small piston)

$$\sum F_{\text{small piston}} = p_1 A_1 - F_1 = 0$$

$$p_1 A_1 = F_1 = 1100\ \text{N}$$

Thus

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} = \frac{1100\ \text{N}}{\pi d^2/4} = 6.22 \times 10^6\ \text{N/m}^2$$

3. Force equilibrium (lifter)
   - Note that $p_1 = p_2$ because they are at the same elevation (this fact will be established in the next section).
   - Apply force equilibrium:

$$\sum F_{\text{lifter}} = F_2 - p_1 A_2 = 0$$

$$F_2 = p_1 A_2 = \left(6.22 \times 10^6\ \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)\left(\frac{\pi}{4} \times (0.05\ \text{m})^2\right) = \boxed{12.2\ \text{kN}}$$

Review

The jack in this example, which combines a lever and a hydraulic machine, provides an output force of 12,200 N from an input force of 100 N. Thus, this jack provides a mechanical advantage of 122 to 1!

مصادر إضافية :

يمكن للطالب الاطلاع علي المواقع التالية لمزيد عن المعلومات عن الضغط ويقدم تقرير عن بعض المعلومات :

http://www.efm.leeds.ac.uk/CIVE/CIVE1400/Section2/Fluid_Static1.htm

http://www.uq.edu.au/_School_Science_Lessons/UNPh12.html

http://apollo.lsc.vsc.edu/classes/met130/notes/chapter8/p_measure.html

http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7d.html

/http://ap-physics.david-s.org/simple-mercury-barometer

/http://www.msubbu.in/ln/fm

http://cereference.com/book/hydraulics/manometers#sthash.0RE8ATD0.dpbs

http://benvalle.com/Pressure/Pressure_Measurement%20Manometer.jpg

http://www.mechanical-engineering-assignment.com/manometers

تدريبات علي الضغط وتطبيقاته

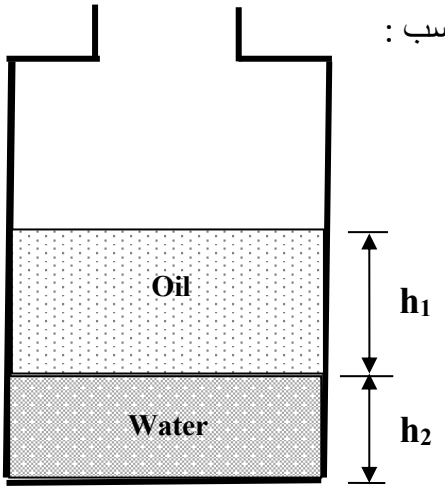
1- أحسب أقصي عمق يمكن ان تصل اليه غواصة تبحر في مياه كثافتها $1030\ Kg/m^3$ اذا كان اقصي ضغط يمكن ان يتحمله جسم الغواصة هو 12 bar .

2- قيس الضغط داخل خط أنابيب مياه فوجد أنه يعادل ارتفاع عمود من الماء مقـــداره 125 m أحسب الضغط بوحدات Psi ثم أحسب الضغط المكافـــــئ بدلالة عمود زئبق (sg =13.6)

3- عنـــد قياس الضغط داخل خط أنابيـب يسري فيه سائل كثافته 900 Kg/m3 بواسـطة مانـومتر بسيط يحـتوي علي الزئبق (sg =13.6) ،لوحظ أن الضغط في خط الأنابيب موجب وكان ارتفاع مستوي السائل في فرع المانومتر المتصل بخط الأنابيب يعادل 22 Cm وفرق ارتفاع منسوب الزنبق بين فرعي المانومتر 55 Cm

a. المطلوب
b. رســم تخـطيـطي موضـحا عليه جميع البيانات .
c. الدافع الاستاتيكي للماء بوحدة m
d. الضغط داخل خط الأنابيب بوحدة Bar ووحدة psi
e. الضغط معبرا عنه بدافع عمود من سائل كثافته 850 kg/m3

4 - خزان يحتوي علي كمية من الماء بارتفاع 90 Cm اضيف اليه كمية من الزيت بارتفاع 110 Cm فإذا علمت ان الجاذبية النوعية للزيت هي 0.85 احسب :

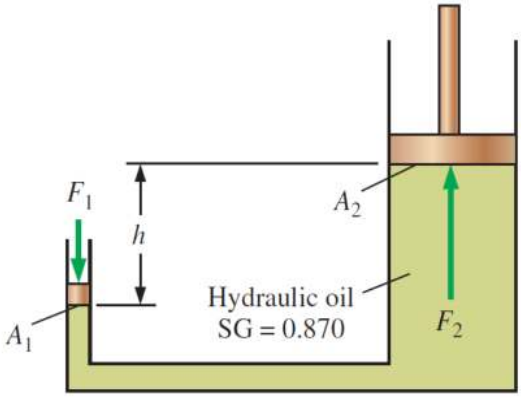


الضغط الواقع علي سطح الزيت

الضغط عند السطح الفاصل بين الماء و الزيت

الضغط علي قاع الخزان

الضغط المطلق علي قاع الخزان



Consider a hydraulic jack being used in a car repair shop, as in Fig.. The pistons have an area of A_1 = 50.8 cm^2 and A_2 50.04 =m^2. Hydraulic oil with a specific gravity of 0.870 is pumped in as the small piston on the left side is pushed up and down, slowly raising the larger piston on the right side.
A car that weighs 13,000 N is to be jacked up.
(*a*) At the beginning, when both pistons are at the same elevation (*h* 5 0), calculate the force *F*1 in newtons required to hold the weight of the car.
(*b*) Repeat the calculation after the car has been lifted two meters (*h* 5 2 m). Compare and discuss.

رافعة هيدروليكية قطر المكبس الصغير لها 10 mm وقطر المكبس الكبير 8 cm وبعد نقطة تأثير القوة المباشرة عن محور الرافعة الميكانيكية هي 24mm في حين كان بعد نقطة تأثير القوة الغير مباشرة عن محور الرافعة الميكانيكية 6.4 cm استخدمت لرفع حمل مقداره 18 طن المطلوب :

1- أرسم مخطط للرافعة 2- الفائدة الهيدروليكية 3- الفائدة الميكانيكية

4- القوة المباشرة 5- القوة الخارجية 6- الفائدة الميكانيكية العامة

7- إذا زاد الحمل بمقدار 30 % أحسب القوة المباشرة و القوة الخارجية في هذه الحالة

8- احسب اقطار الرافعة اللازم لرفع حمل مقداره 15 طن بنفس القوة الخارجية الاصلية علما بان اقصي قطر للمكبس الصغير لا يزيد عن 18ملليمتر

الباب الثالث

سريان الموائع

Fundamentals of Fluid flow

Theories, applications and measurement

سيتم في هذا الجزء دراسة بعض من خواص السريان للموائع و العوامل المؤثرة عليها وكذلك شرح ودراسة بعض النظريات الأساسية لميكانيكا الموائع و التي تبني عليها تطبيقات عملية سيتم تناولها في الجزء الثاني من الكتاب .

وكبداية يمكن التعرف علي بعض التعريفات الأساسية في مجال حركة الموائع و سريانها

ويعتبر مصطلح ديناميكا الموائع *Fluid Dynamics* احد هذه المصطلحات الأساسية والذي يمكن تعريفه بأنه دراسة الموائع اثناء حركتها

Fluid Dynamics is The study of fluids in motion.

3.1 أنواع السريان *Fluid Flow Types*

ويمكن كبداية التعرف علي الأنواع المختلفة من السريان للسوائل والتي قد يختلف التعريف المفصل لها من مصدر الي اخر الا ان التعريف الأساسي لا يختلف كثيرا .

ويمكن تعريف الأنواع الأساسية من سريان السوائل في الأنواع التالية :

a) السريان المستقر او الثابت *Steady flow*

ويمكن تعريفه بأن خواص السائل المتدفق عند نقطة معينة مثل الضغط والسرعة تكون ثابته مع الزمن

A steady flow is one in which the conditions (velocity, pressure and cross-section) may differ from point to point but do not change with time.

b) السريان الغير مستقر *Unsteady Flow*

وهو السريان الذي تتغير خلاله خواص السائل مع الزمن

In unsteady flow the properties vary with time

c) السريان الطبقي او الرقائقي *Laminar Flow*

السريان الطبقي الذي لا تختلط طبقات السائل المتجاورة خلاله

In Laminar flow the layers do not mix macroscopically

d) السريان المضطرب *Turbulent flow*

وفي هذا النوع من السريان تختلط طبقات السائل اثناء التدفق وتتغير خواص السائل مثل الضغط او السرعة او الحرارة عند نقطة معينة مع الزمن

In turbulent flow the fluid layers mix macroscopically and the fluid properties like velocity and temperature at any point vary with time.

e) السريان المنتظم *Uniform flow*

يعرف هذا النوع من السريان عندما تكون السرعة ثابتة في كل نقاط السائل ويمكن تعريفه أيضا بأن خواص السائل لا تتغير من نقطه الي اخري عند مقطع معين .

In uniform flow , velocity is the same magnitude and direction at every point in the fluid . Another words , A uniform flow is one in which properties do not vary from point to point over a given cross-section.

ويمكن ان يكون هناك خليط من الأنواع السابقة من التعريفات لتصف سريان الموائع .

(للطالب ان يقوم ببحث ذاتي عن الأنواع المختلفة من السريان للسوائل و يقدم تقرير عنها).

ويمكن تحديد نوعية السريان للمائع من خلال حساب قيمة تسمي رقم رينولدز Reynolds Number حيث اتضح من خلال التجارب العملية أن نوع سريان المائع لا يعتمد فقط علي سرعة السريان و لكن يدخل في تحديده أيضا الكثافة و اللزوجة وقطر الانبوب الذي يسري به السائل ، ويمكن التعبير عن رقم رينولدز بالمعادلة التالية :

$$R_e = \frac{\rho \, \nu \, D}{\mu}$$

و القيمة الناتجة عن هذه المعادلة تكون قيمة بدون وحدات وتعبر قيمتها عن نوع السريان

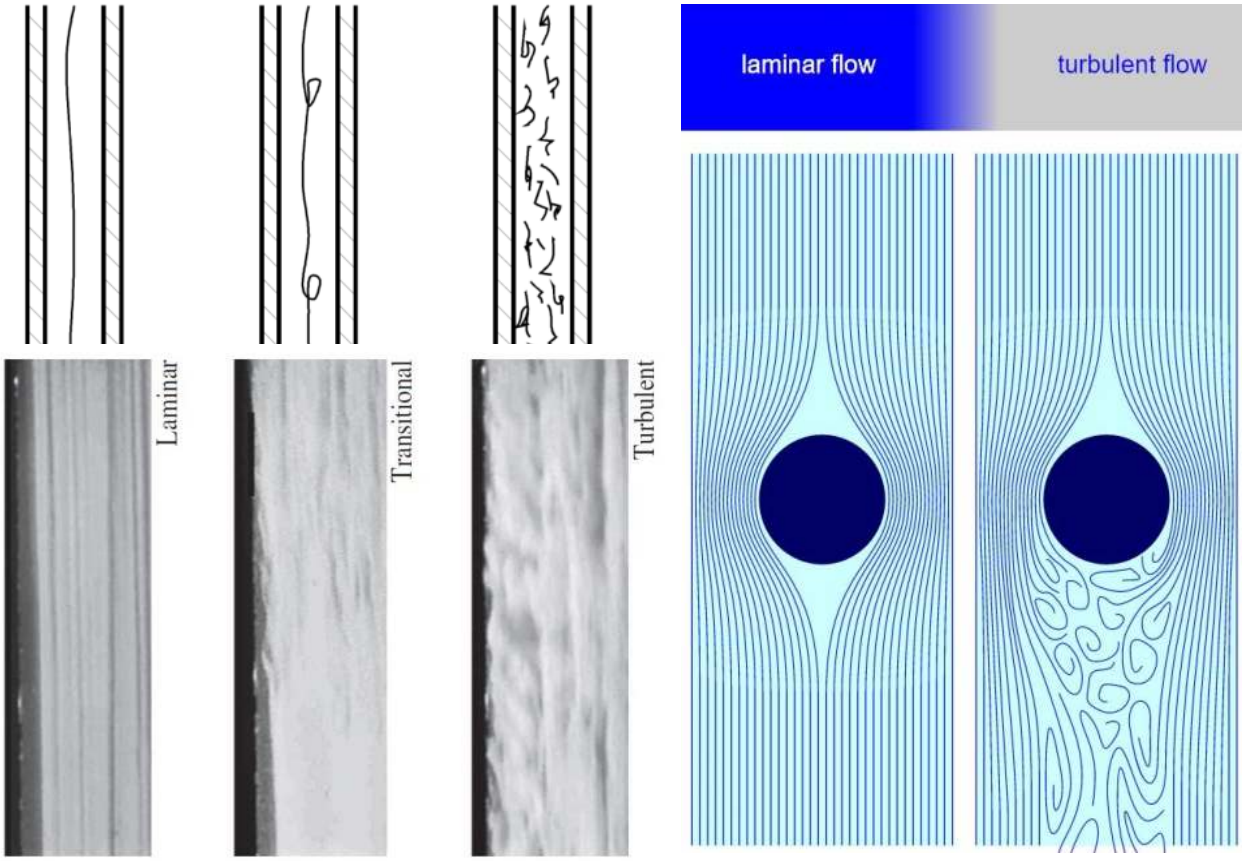
وتحدد نوعية السريان الطبقي او الرقائقي او المضطرب حسب رقم رينولدز الناتج عن الحسابات بما يلي :

Laminar if Re < 2000

Transitional if 2000 < Re < 4000

Turbulent if Re > 4000

Re = 2000 , 4000 are the lower and upper critical values



شكل 3.1

مثال 3-1 : يتدفق سائل كثافته $1050\ kg/m^3$ و اللزوجة له $995*10^{-6}\ Pa.s$ خلال أنبوب قطره $25\ mm$ فكانت سرعة السائل $0.2\ m/s$ احسب رقم رينولدز وحدد نوع السريان

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$= \frac{1050 * 0.2 * 25 * 10^{-3}}{995 * 10^{-6}}$$

$$\mathrm{Re} = 5276.381$$

as Re *greater than* 4000 *the flow is turbulent*

مثال 3-2 : يتدفق الماء خلال أنبوب قطره $0.05\ m$ ، اذا كانت اللزوجـــة الديناميكية للماء $0.55x10^{-3}\ Ns/m^2$ احسب سرعة الماء التي يكون عندها السريان طبقي .

As required , the flow is laminar

So we will assume Re = 1800

water density $\rho = 1000\ kg/m^3$

pipe diameter $d = 0.5m$

dynamic viscosity, $\mu = 0.55x10^{-3}\ Ns/m^2$

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu}$$

$$v = \frac{\mathrm{Re}\,\mu}{\rho D}$$

$$= \frac{1800 * 0.55 * 10^{-3}}{1000 * 0.05}$$

$$v = 0.0198 \quad m/s$$

3.2 الفقد في الضغط *Pressure loss* :

عند دراسة سريان السوائل في الانابيب لابد من الاخذ في الاعتباران خشونة السطح الداخلي للأنابيب وهو ما يسمي surface roughness يؤثر علي خواص السريان للسائل ويكون التاثير واضحا في الفقد في الضغط داخل خط الانابيب Pressure Drop .

ويمكن حساب الفقد في الضغط عن طريق دراسة الضغط بين مقطعين من الانبوب لنصل الي المعادلة التالية والتي تسمي معادلة دارسي Darcy equation

$$h_l = f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$$

حيث f هو معامل الاحتكاك Friction factor ويمكن الحصول علي قيمة معامل الاحتكاك أما عن طريق الحسابات او عن طريق ما يعرف بمخطط مودي Moody chart

ولاستخدام مخطط مودي لابد من حساب رقم رينولدز ومعرفة قيمة تسمي الخشونة المطلقة Absolute Roughness ويرمز لها بالرمز ε ومنها حساب قيمة اخري تسمي الخشونة النسبية لسطح الانبوب relative roughness وتعبر عن النسبة بين الخشونة المطلقة وقطر الانبوب $\frac{\varepsilon}{D}$

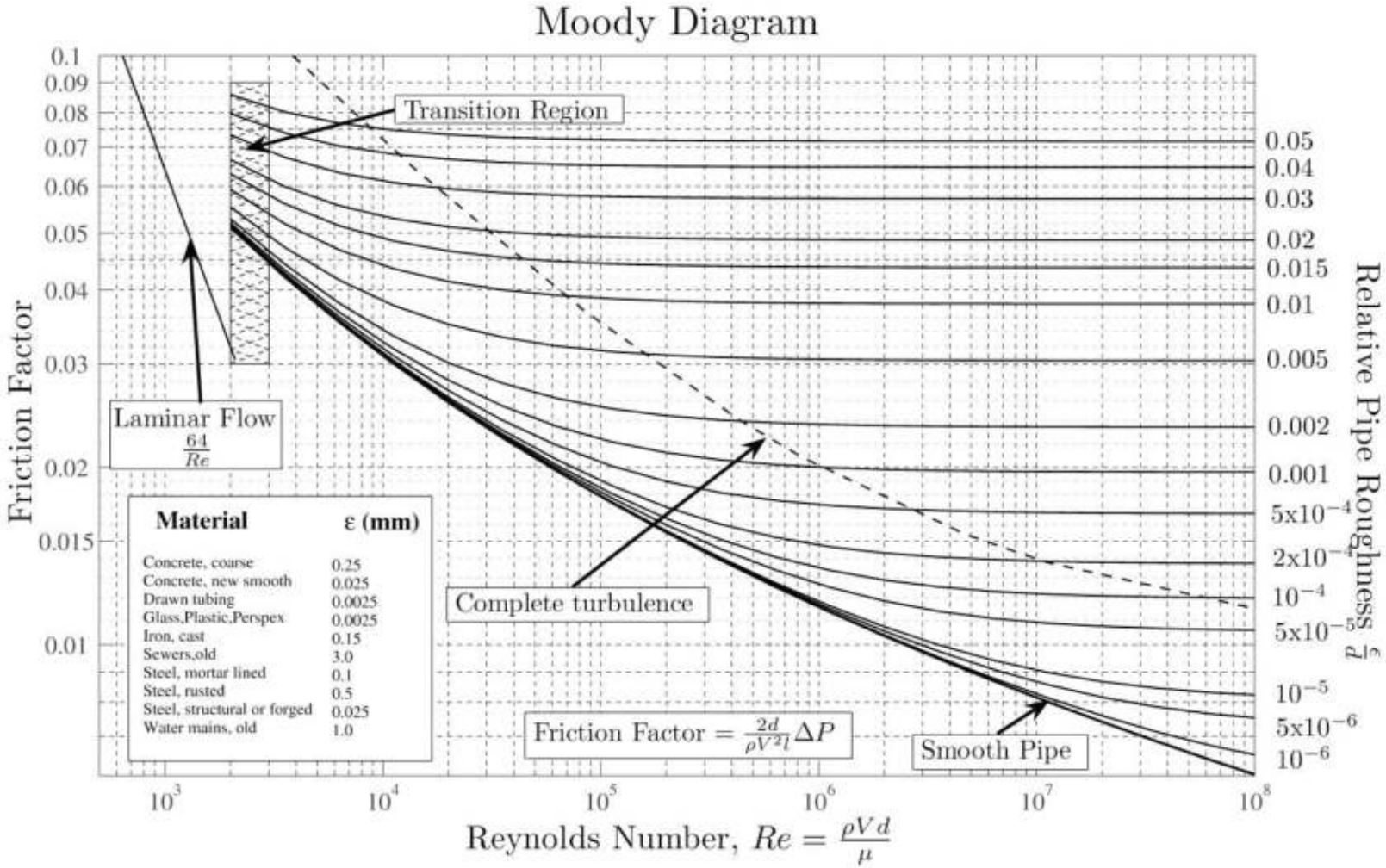
وبمعرفة القيمتين السابقتين يمكن من مخطط مودي معرفة معامل الاحتكاك .

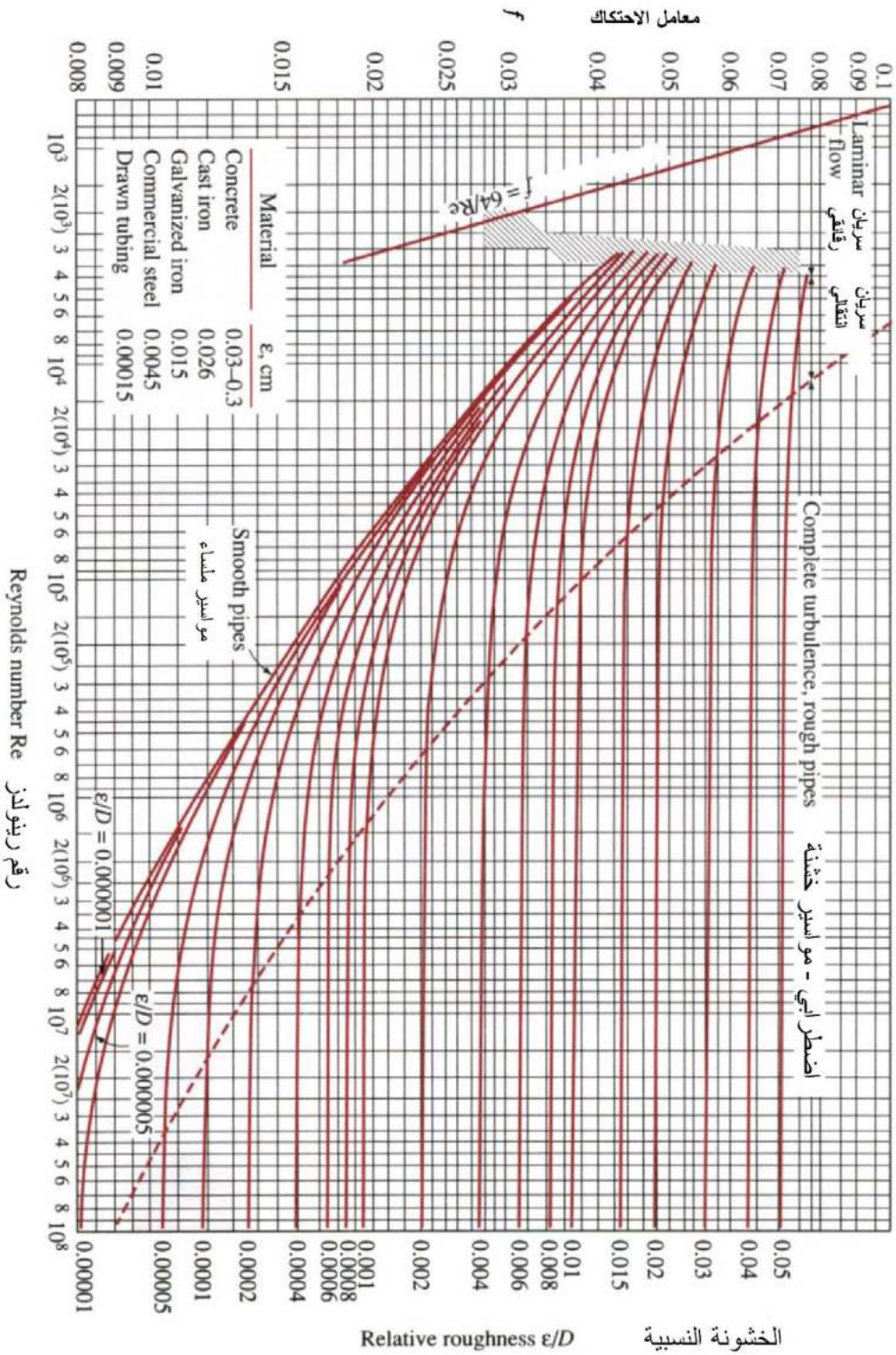
ومن الناحية العملية فأنه في حالة السريان الطبقي او الرقائقي laminar flow فأن معامل الاحتكاك لا يعتمد علي الخشونة النسبية وفي هذه الحالة يمكن حساب معامل الاحتكاك من المعادلة

$$f = \frac{64}{\mathrm{Re}}$$

اما في حالة السريان المضطرب وفي حالة اهمال خشونة السطح او اعتبار الانبوب املس فتكون

$$f = \frac{0.316}{\mathrm{Re}^{0.25}}$$

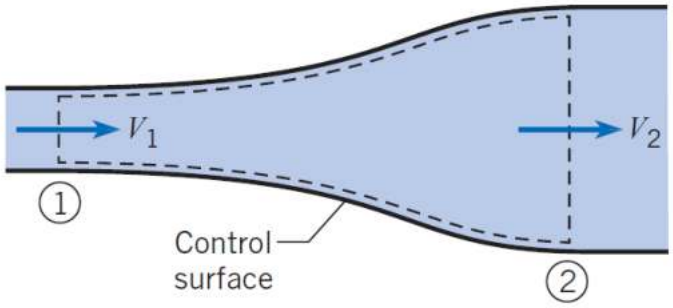

Moody Diagram
Friction Factor
Reynolds Number, $Re = \frac{\rho V d}{\mu}$
Relative Pipe Roughness $\frac{\varepsilon}{d}$
Transition Region
Laminar Flow
$\frac{64}{Re}$
Complete turbulence
Friction Factor = $\frac{2d}{\rho V^2 l}\Delta P$
Smooth Pipe
Material
ε (mm)
Concrete, coarse 0.25
Concrete, new smooth 0.025
Drawn tubing 0.0025
Glass,Plastic,Perspex 0.0025
Iron, cast 0.15
Sewers,old 3.0
Steel, mortar lined 0.1
Steel, rusted 0.5
Steel, structural or forged 0.025
Water mains, old 1.0

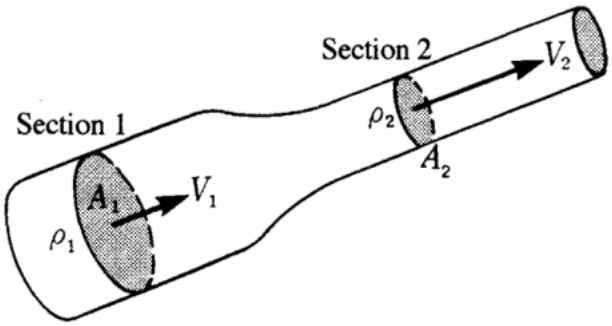

معامل الاحتكاك
f
سريان رقائقي
Laminar flow
سريان انتقالي
$f = 64/Re$
Complete turbulence, rough pipes
اضطرابي - مواسير خشنة
Smooth pipes
مواسير ملساء
Material
ε, cm
Concrete 0.03–0.3
Cast iron 0.026
Galvanized iron 0.015
Commercial steel 0.0045
Drawn tubing 0.00015
ε/D = 0.000001
ε/D = 0.000005
Relative roughness ε/D
الخشونة النسبية
Reynolds number Re
رقم رينولدز

3.3 معادلة الاستمرار *Continuity equation*

تطبق معادلة الاستمرار مبدأ الحفاظ علي الكتلة عند دراسة سريان سائل في أنبوب متغير المقطع كما بالرسم ، وبفرض ان السريان المستقر او الثابت فيكون معدل السريان عند المدخل لابد ان يساوي معدل السريان عند المخرج تطبيقا لمبدا الحفاظ علي الكتلة .

The continuity equation applies the principle of conservation of mass to fluid flow. If the flow is steady i.e no accumulation of fluid within the tank, then the rate of fluid flow at entry must be equal to the rate of fluid flow at exit for mass conservation.





ويمكن بمعرفة قطر أي مقطع في الانبوب و سرعة السائل المار خلالها حساب ما يسمي معدل التدفق الحجمي *volume flow rate* وسنرمز له خلال دراستنا بالرمز Q_V

$$Q_V = A\,v \qquad \text{m}^3/\text{sec} \qquad \text{حيث}$$

وبتطبيق المعادلة علي المقطعين 1 & 2 نجد أن

$$Q_V = A_1\,v_1 \qquad \text{وبنفس المعادلة} \qquad Q_V = A_2\,v_2$$

وهناك تعريف اخر مرادف لمعدل التدفق الحجمي وهو معدل التدفق الكتلي *mass flow rate* ويمكن تعريفه بأنه كمية الكتلة التي تمر خلال مقطع معين خلال وحدة الزمن ورمزه Q_m

The mass flow rate is the amount of mass flowing through a cross section per unit time.

$$Q_m = \rho\, Q_V \qquad Kg/sec$$ حيث

$$Q_m = \rho\, A\, v \qquad Kg/sec$$ وبصيغة أخري

وبتطبيق مبدأ الحفاظ علي الكتلة بين مقطعين 1 & 2

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

وفي حالة السوائل اللا انضغاطية *Incompressible fluids* تكون الكثافة ثابتة و بالتالي يمكن استنتاج العلاقة التالية

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

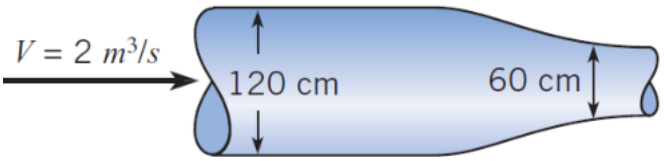
مثال 3-3 :

في الشكل المقابل اذا كان السائل كثافته 900 Kg/m^3 احسب :

1- سرعة السائل في المخرج

2- معدل التدفق الحجمي

3- معدل التدفق الكتلي



from energy conservation principle

$$A_1 = \frac{\pi D^2_1}{4}$$

$$= \frac{\pi * 1.2^2}{4} = 1.13 \quad m^2$$

$$A_2 = \frac{\pi D^2_2}{4}$$

$$= \frac{\pi * 0.6^2}{4} = 0.282 \quad m^2$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

$$= \frac{1.13 * 2}{0.282} = 8.0141 \quad m/s$$

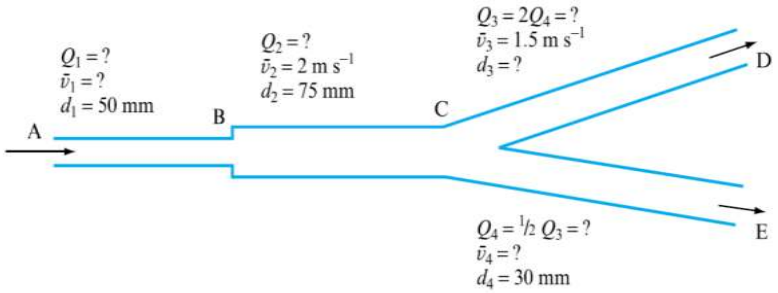
$$Q_V = A_1 v_1$$

$$= 1.13 * 2 = 2.26 \quad m^3/s$$

$$Q_m = \rho A_1 v_1$$

$$= 900 * 1.13 * 2 = 2034 \quad Kg/s$$

مثال 3-4 في الشكل الموضح ، احسب القيم المجهولة



PIPE	DIAMETER (mm)	FLOW RATE ($m^3 s^{-1}$)	VELOCITY (m s^{-1})
AB	$d_1 = 50$	$Q_1 = ?$	$\bar{v}_1 = ?$
BC	$d_2 = 75$	$Q_2 = ?$	$\bar{v}_2 = 2.0$
CD	$d_3 = ?$	$Q_3 = 2Q_4$	$\bar{v}_3 = 1.5$
DE	$d_4 = 30$	$Q_4 = 0.5Q_3$	$\bar{v}_4 = ?$

Solution

Adding area $A = (22/7)d^2/4$ to the data table and noting that $Q = A\bar{v}$ and that $Q_1 = Q_2 = (Q_3 + Q_4) = 1.5Q_3$ allows the table to be completed as (additions in **bold**),

DIAMETER (mm)	AREA (m^2)	FLOW RATE ($m^3 s^{-1}$)	VELOCITY (m s^{-1})
$d_1 = 50$	$\mathbf{1.9643 \times 10^{-3}}$	$Q_1 = Q_2 = \mathbf{8.839 \times 10^{-3}}$	$\bar{v}_1 = \bar{v}_2 A_2/A_1$ $= 2.0 \times 4.4196/1.9643$ $= 4.27$
$d_2 = 75$	$\mathbf{4.4196 \times 10^{-3}}$	$Q_2 = \mathbf{2.0 \times 4.4196 \times 10^{-3}}$ $= \mathbf{8.839 \times 10^{-3}}$	$\bar{v}_2 = 2.0$
$\mathbf{d_3 = [Q_3/(\bar{v}_3 \pi/4)]^{0.5}}$ $= \mathbf{(5.893 \times 10^{-3}/1.5 \times 0.786)^{0.5}}$ $= \mathbf{0.707}$		$Q_3 = Q_2/1.5$ $= \mathbf{5.893 \times 10^{-3}}$	$\bar{v}_3 = 1.5$
$d_4 = 30$	$\mathbf{0.707 \times 10^{-3}}$	$Q_4 = 0.5Q_3$ $= \mathbf{0.5 \times 5.893 \times 10^{-3}}$ $= \mathbf{2.947 \times 10^{-3}}$	$\bar{v}_4 = Q_4/A_4$ $= \mathbf{2.947/0.7071}$ $= \mathbf{4.17}$

(The calculation route is as follows: calculate areas where possible and then Q_2 and hence Q_1 and $\bar{v}_1$. From Q_2 calculate Q_3 and Q_4 and hence $\bar{v}_4$. Calculate d_3 from Q_3 and $\bar{v}_3$.)

تدريبات علي سريان الموائع

يتدفق سائل جاذبيته النوعية 0.9 خلال أنبوب متغير المقطع قطر مدخله 12 cm وكانت سرعة السائل عند المدخل 1.1 m/s , احسب :

a. معدل التدفق الحجمي b. معدل التدفق الكتلي

c. وزن السائل المار خلال 3 دقائق

d. احسب سرعة السائل إذا كان هناك اختناق قطره 6 cm

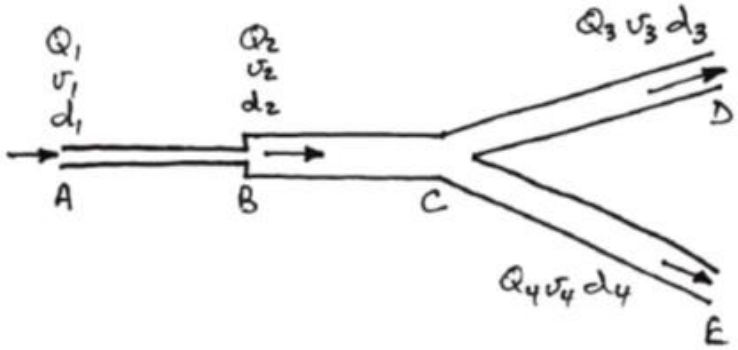
e. احسب قطر الأنبوب الذي يجعل السرعة 3 أمثال السرعة عند المدخل .

f. الزمن اللازم لتدفق 560 Kg

g. ارسم العلاقة بين الأقطار و السرعات و ماذا تستنتج ؟

2- في الشكل المقابل ،احسب القيم المجهولة

Water flows from point *A* to points *D* and *E* as shown. Some of the flow parameters are known, as shown in the table. Determine the unknown parameters.



Section	Diameter (mm)	Flow Rate (m^3/s)	Velocity (m/s)
AB	300	?	?
BC	600	?	1.2
CD	?	$Q_3 = 2Q_4$	1.4
CE	150	$Q_4 = 0.5Q_3$	?

3- يتدفق الماء خلال أنبوب متغير المقطع قطر مدخله 2.54 cm وخلال دقيقتين تدفق 35 Ton من الماء , احسب :

a. معدل التدفق الكتلي b. معدل التدفق الحجمي

c. وزن السائل المار خلال 4 دقائق

d. احسب سرعة السائل عند المدخل

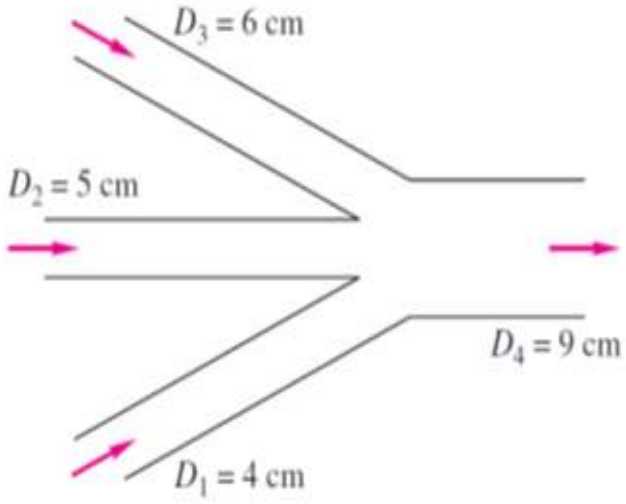
e. احسب قطر الأنبوب الذي يجعل السرعة 3 أمثال السرعة عند المدخل .

f. الزمن اللازم لتدفق 560 Kg

g. ارسم العلاقة بين الأقطار و السرعات و ماذا تستنتج ؟

4.

Three pipes steadily deliver water at 20°C to a large exit pipe in Fig. P3.8. The velocity $V_2 = 5$ m/s, and the exit flow rate $Q_4 = 120$ m^3/h. Find (*a*) V_1, (*b*) V_3, and (*c*) V_4 if it is known that increasing Q_3 by 20 percent would increase Q_4 by 10 percent.



5- يتدفق سائل جاذبيته النوعية 0.85 خلال أنبوب متغير المقطع قطر مدخله 33 cm وخلال ثلاث دقائق تدفق 6500 N من السائل , احسب :

b. معدل التدفق الكتلي b. معدل التدفق الحجمي

c. حجم السائل المار خلال 6 دقائق

d. احسب سرعة السائل عند المدخل

e. الزمن اللازم لتدفق 3 Ton

Notation

Symbol	definition
A	area
D	diameter
F	force
g	gravitational acceleration
h	head or height
L	length
m	mass
P	pressure
ΔP	pressure difference
Q	volume flow rate
r	radius
t	time
V	velocity
z	height above arbitrary datum

Subscripts

a	atmospheric
c	cross-sectional
f	pipe friction
o	obstruction
p	pump
r	relative
s	surface
t	turbine
x	x-direction
y	y-direction
z	elevation

Dimensionless numbers

C_d	discharge coefficient
f	friction factor (pipes)
K	obstruction loss factor
k	friction coefficient (blades)
Re	Reynolds number

θ, α, ϕ	angle	degrees
μ	dynamic viscosity	kg/ms
ν	kinematics viscosity	m^2/s
ρ	density	kg/m^3
τ	shear stress	N/m^2
η	efficiency	%

References :

- Fundamentals of fluid mechanics seventh edition , Munson
- Fluid mechanics , fundamentals and applications , Yuns A Cangel
- Engineering fluid mechanics , T. Al-shemmeri
- Engineering Fluid mechanics , ninth edition, Clayton T. Crowe
- Introduction to fluid mechanics , Robert W. Fox
- Fluid mechanics , Victor L Streeter
- Fluid mechanics , Wylie
- Schaum's outline of fluid mechanics and hydraulics