كلية العلوم

القسم : **الفيزياء**

السنة : **الثالثة**

المادة : ميكانيك الموائع

المحاضرة: الثامنة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

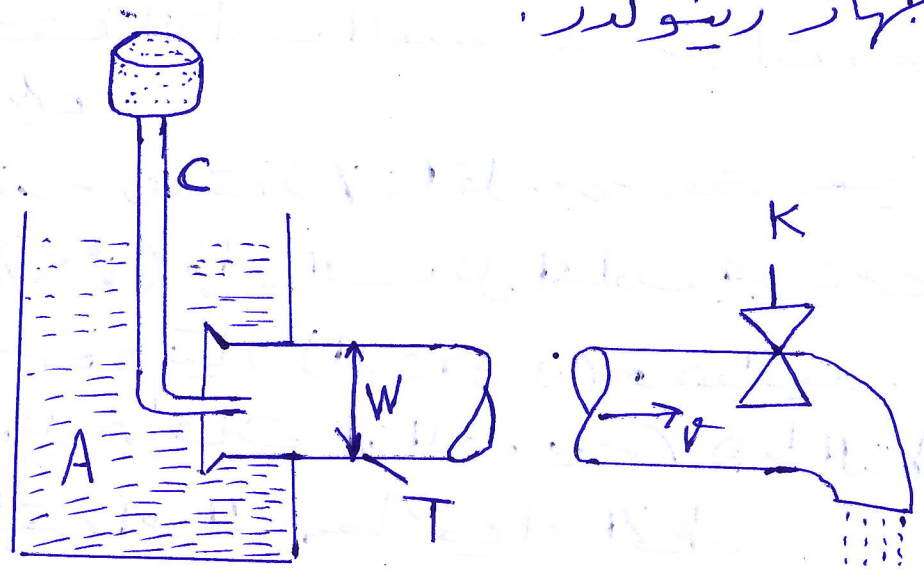
2026

٤

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

أنظمة جريان السوائل

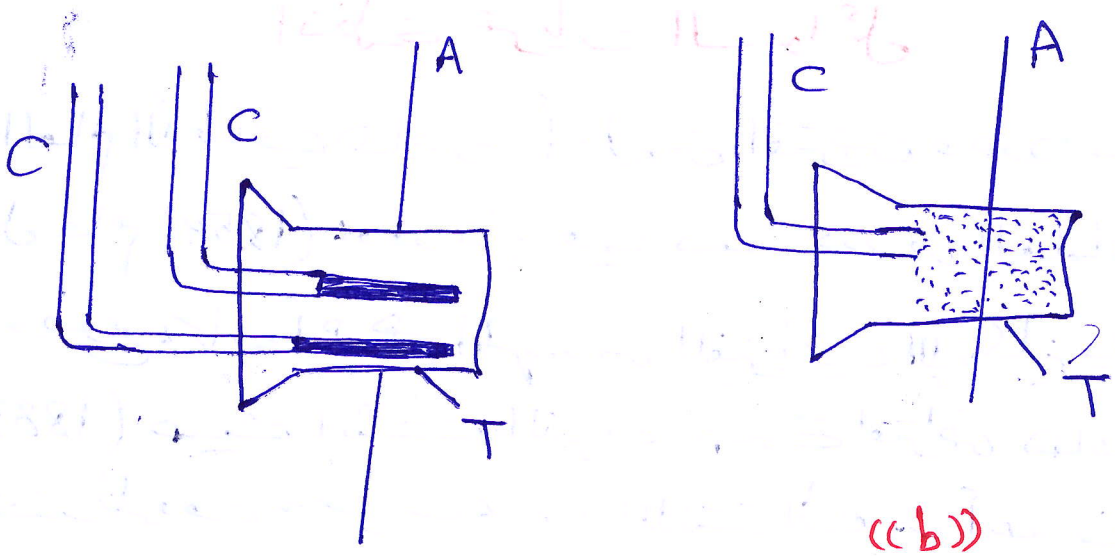
كان العالم الألماني هاجن أول من افترض وجود نظامين لحركة السائل عام (1854) وقد قام فيما بعد عدد من العلماء بدراسة هذا الموضوع، كان آخرهم المهندس الفيزيائي الإنكليزي رينولدز عام (1883) حيث أثبت بالتجربة صحة افتراض هاجن كما بين أنه عند ظروف معينة يمكن الانتقال من أحد نظامي الجريان إلى نظام آخر وبالعكس. ويمكن استحداث مثل هذه التجربة بواسطة جهاز رينولدز.



(جهاز رينولدز)

يملأ الإناء A بالسائل المراد إجراء التجربة عليه، حيث يجري هذا السائل عبر الأنبوبة الشفافة (T) المتصلة مع الوعاء والتي تنتهي بصمام (K) للتحكم في سرعة التيار ويحافظ على منسوب السائل في الإناء عن طريق تزويده بالسائل من مصدر آخر خارجي. ومن إناء صغير في

الأعلى يمر عبر الأنبوب C سائل تلوين (حبر دهان) إلى مدخل الأنبوبة (T)



((a))
((الجريان الخطي))

((b))
((الجريان المضطرب))

أثبتت التجارب العديدة عند سرعات متوسطة مختلفة ($\bar{v}$) ما يلي:

1) عند سرعات ($\bar{v}$) أقل من سرعة معينة ($\bar{v}_c$) أي عندما ($\bar{v} < \bar{v}_c$) فإن السائل الملون يجري في الأنبوبة (T) على شكل خطوط تيار (الشكل a) وهذا يعني أن السائل يجري بشكل طبقات لذلك يدعى هذا النظام من الجريان بالجريان الطبقي أو الصفائحي أو الخطي

2) عند السرعات ($\bar{v}$) أكبر من ($\bar{v}_c$) أي ($\bar{v} > \bar{v}_c$) فإن السائل الملون يتشتت بشكل عشوائي داخل الأنبوبة (T) هذا النوع من الجريان الذي يتميز بأن تيار المادة الملونة ينقطع ويلون كافة جزيئات السائل في الأنبوبة يدعى بالجريان المضطرب.

تدعى السرعة $\bar{v}_c$ والتي ينتقل عندها الجريان من النظام الخطي إلى النظام المضطرب بالسرعة الحرجة وهي

تتعلق بالعوامل التالية:

a. كثافة السائل، ρ

b: اللزوجة الحركية للسائل η

c: قطر الأنبوبة، D

أي ① $V_c \sim \rho \cdot \eta \cdot D$

كما يمكن كتابة المعادلة ① على شكل معادلة أبعاد كالتالي:

$$V_c = Re_c \cdot \rho^x \cdot \eta^y \cdot D^z \quad ②$$

حيث Re_c: ثابت لا بعدي (بلا أبعاد)

باستخدام طريقة تحليل الأبعاد يمكن معرفة الشكل النهائي للمعادلة ② حيث لدينا أبعاد وحدد المعادلة كما يلي:

$$[\rho] = \frac{M}{L^3}, \quad [\eta] = \frac{M}{L.t}, \quad [V_c] = \frac{L}{t}$$

$$[D] = L$$

حيث أن:

L: رمز وحدة الطول

M: رمز وحدة الكتلة

t: رمز وحدة الزمن

وبالتالي يمكن كتابة المعادلة ② على الشكل:

$$\frac{L}{t} = \left(\frac{M}{L^3}\right)^x \cdot \left(\frac{M}{L.t}\right)^y \cdot (L)^z \quad ③$$

التي تؤول على الشكل التالي:

$$L.t^{-1} = M^{x+y} \cdot L^{-3x-y+z} \cdot t^{-y} \quad ④$$

من أجل تجانس الأبعاد فإن قوة الأس لكل بعد يجب أن تتطابق في طرفي المعادلة

$$x+y=0\ ,\quad -3x-y+z=1,\quad -y=-1$$

ويكون بالنتيجة:

$$x=-1\ ,\quad y=+1\ ,\quad z=-1$$

بتعويض هذه القيم في المعادلة (2) ينتج:

$$V_c = Re_c \cdot \rho^{-1} \cdot \eta^{+1} \cdot D^{-1} = \frac{Re_c \cdot \eta}{\rho \cdot D}$$

ومنه

$$Re_c = \frac{V_c \cdot D \cdot \rho}{\eta} \qquad (5)$$

حيث (Re_c) عدد بدون أبعاد يقابل السرعة الحرجة V_c ويدعى بعدد رينولدز الحرج وتكون قيمته من أجل الأنابيب المستديرة الملساء $Re_c = 2320$ وتدعى بالقيمة الحرجة.

وقد أثبتت التجارب أنه عندما يكون $(Re<2320)$ يكون نظام جريان السائل غطيا وعندما يكون $(Re>2320)$ فإن الجريان يكون مضطربا

يمكن كتابة المعادلة (5) بشكلها العام:

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\eta} = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{4 \cdot \varphi}{\pi D \cdot \nu} \qquad (6)$$

حيث أن:

Re: عدد رينولدز

φ: غزارة السائل، m^3/s

D: قطر الأنبوبة D

$\eta = \rho \nu$

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

ρ: كثافة السائل Kg/m^3

η: اللزوجة الحركية للسائل $Pa.s$

ν: اللزوجة الحركية للسائل m^2/s

تستخدم المعادلة (6) وبشكل عام لتحديد عدد رينولدز (Re) الذي يفيد في الحكم على نوعية جريان السوائل النيوتونية، أما من أجل السوائل غير النيوتونية فتستخدم معادلة رينولدز المعممة لحساب عدد رينولدز التي تأخذ بعين الاعتبار فرق الجهد الأدنى للجريان (τ_0) والتي لها الشكل التالي:

$$Re^* = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\eta \cdot \left(1 + \frac{\tau_0 \cdot D}{6 \cdot \eta \cdot V}\right)}$$

حيث Re^*: عدد رينولدز المعمم.

السوائل غير النيوتونية

1 الخواص المرنة للسوائل غير النيوتونية:

لقد أثبتت الدراسات والبحوث الحديثة أهمية الدور الذي تلعبه الخواص المرنة للسائل عند الجريان وخاصة السوائل غير النيوتونية التي تظهر خواصها المرنة بشكل واضح ويؤدي في بعض الأحيان إلى شذوذ واضح في سلوكية السائل، وسوف نتناول هنا أهم هذه الخواص التي تتمثل في ذاكرة السائل (زمن التأخر زمن الاستجابة).

عندما يتعرض السائل لمؤثر ما فإنه وبعد فترة زمنية معينة تختلف من سائل إلى آخر، يستجيب لهذا المؤثر ويظهر نتيجة لذلك الأثر المناسب في السائل المذكور

يدعى الزمن اللازم حتى يبدأ الأثر بالظهور بعد تطبيق المؤثر بزمن استجابة أو زمن تأخر السائل. وقد اتضح مؤخراً أن زمن تأخر السائل يعبر عن مدى استقرار وتوازن الجملة المدروسة وكلما كان زمن تأخر الجملة كبيراً كانت الجملة أقل استقراراً من الناحية الهيدروليكية وتسلك بالتالي سلوكاً غير عادي حيث تنخفض المقاومة الهيدروليكية للجريان أو ترتفع لدرجة أي قبل أن تصل السرعة إلى السرعة الحدية.

مكتبة A to Z