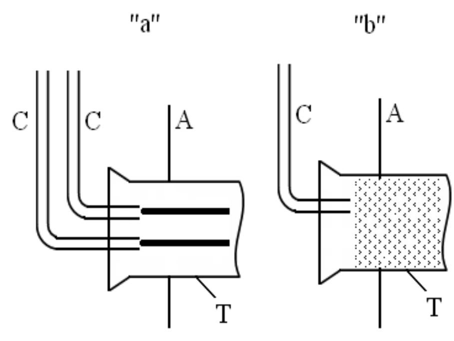
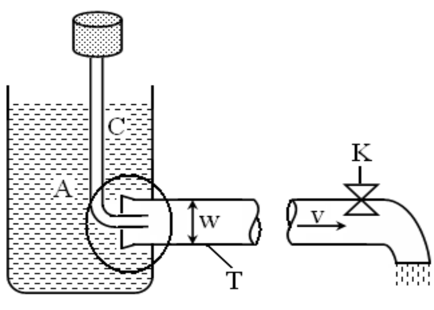
أنظمة جريان السوائل:

كان العالم الألماني هاجن (*Hugoniot*) 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 (*Reynolds*) عام (1883) حيث أثبت بالتجربة صحة افتراض هاجن كما بيّن أنه عند ظروف معينة يمكن الانتقال من أحد نظامي الجريان إلى النظام الآخر وبالعكس. ويمكن استحداث مثل هذه التجربة بواسطة جهاز رينولدز. الشكل (2.28).

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 يمرر عبر الأنبوبة (C) سائل تلوين (حبر، دهان،...) إلى مدخل الأنبوبة (T).



الشكل (3.29)، أنظمة جريان السوائل
a– الجريان الخطي، b– الجريان المضطرب



الشكل (3.29)، جهاز رينولدز

أثبتت التجارب العديدة عند سرعات متوسطة مختلفة (v) مايلي:

1) عند سرعات (v) أقل من سرعة معينة $(\mathrm{v_c})$ أي عندما $(\mathrm{v} < \mathrm{v_c})$ فإن السائل الملون يجري في الأنبوبة (T) على شكل خيط تيار (الشكل(3.29.a)). وهذا يعني أن السائل يجري بشكل طبقات لذلك يدعى هذا النظام من الجريان بالجريان الطبقي أو الصفحي أو الخطي (*Laminar Flow*).

2) عند سرعات (v) أكبر من $(\mathrm{v_c})$ أي $(\mathrm{v} > \mathrm{v_c})$ فإن السائل الملون يتشتت بشكل عشوائي داخل الأنبوبة (T) –الشكل (3.29.b)–، هذا النوع من الجريان الذي يتميز بأن تيار المادة الملونة ينقطع ويلون كافة جزيئات السائل في الأنبوبة يدعى بالجريان المضطرب (*Turbulent Flow*).

تدعى السرعة $(\mathrm{v_c})$ والتي ينتقل عندها الجريان من النظام الخطي إلى النظام المضطرب بالسرعة الحرجة (*Critical Speed*) وهي تتعلق بالعوامل التالية:

a. كثافة السائل، ρ.

b. اللزوجة التحريكية للسائل، η.

c. قطر الأنبوبة، D.

أي

$$\mathrm{v_c} \propto \rho \cdot \eta \cdot D \qquad (3.78)$$

كما يمكن كتابة المعادلة (3.78) على شكل معادلة مقاس:

$$\mathrm{v_c} = \mathrm{Re_c} \cdot \rho^x \cdot \eta^y \cdot D^z \qquad (3.79)$$

حيث $\mathrm{Re_c}$: ثابت لابعدي (تشابهي).

باستخدام طريقة التحليل البعدي يمكن معرفة الشكل النهائي للمعادلة (3.79) حيث لدينا أبعاد حدود المعادلة كمايلي:

$$, \quad [\rho] = \frac{M}{L^3}, \quad [\eta] = \frac{M}{L \cdot t}, \quad [\mathrm{v_c}] = \frac{L}{t} \; [D] = L$$

حيث إنَّ:

L : رمز واحدة الطول.

M : رمز واحدة الكتلة.

t : رمز واحدة الزمن.

وبالتالي يمكن كتابة المعادلة (3.79) على الشكل:

$$\frac{L}{t} = (\frac{M}{L^3})^x \cdot (\frac{M}{L \cdot t})^y \cdot (L)^z \qquad (3.80)$$

التي تؤول على الشكل التالي:

$$L \cdot t^{-1} = M^{x+y} \cdot L^{-3x-y+z} \cdot t^{-y} \qquad (3.81)$$

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

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

ويكون بالنتيجة:

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

بتعويض هذه القيم في المعادلة (3.79)، ينتج:

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

ومنه:

$$\mathrm{Re_c} = \frac{\mathrm{v_c} \cdot D \cdot \rho}{\eta} \qquad (3.82)$$

حيث ($\mathrm{Re_c}$) عدد تشابهي يقابل السرعة الحرجة ($\mathrm{v_c}$) ويدعى بعدد رينولدز الحرج (*Critical Reynolds Number*) وتكون قيمته من أجل الأنابيب المستديرة الملساء ($\mathrm{Re_c} = 2320$) وتدعى بالقيمة الحرجة (*Critical value*).

وقد أثبتت التجارب أنه عندما يكون ($\mathrm{Re} < 2320$) يكون نظام جريان السائل خطياً وعندما يكون ($\mathrm{Re} > 2320$) فإن الجريان يكون مضطرباً.

يمكن كتابة المعادلة (3.82) بشكلها العام:

$$\mathrm{Re} = \frac{\mathrm{v} \cdot D \cdot \rho}{\eta} = \frac{\mathrm{v} \cdot D}{\upsilon} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D \cdot \upsilon} \qquad (3.83)$$

حيث إنَّ:

Re : عدد رينولدز.

Q : غزارة السائل، m^3 / s.

D : قطر الأنبوبة، m

ρ : كثافة السائل، Kg / m^3

η : اللزوجة التحريكية للسائل، $pa \cdot s$.

υ : اللزوجة الحركية للسائل، m^2 / s.

تستخدم المعادلة (3.83) بشكل 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 الأولي للجريان (τ_o) ولها الشكل التالي:

$$\mathrm{Re}^* = \frac{\mathrm{v} \cdot D \cdot \rho}{\eta \cdot (1 + \frac{\tau_o \cdot D}{6 \cdot \eta \cdot \mathrm{v}})} \qquad (3.84)$$

حيث Re^* : عدد رينولدز المعمم (*Generalized Reynolds Number*).