Fluid Mechanics

Asst. Lec. Omran Issa

Hydrodynamics

Basics

General Concepts

Introduction:

Hydrostatics involves only a few variables: **ρ**, *g*, and *h*, and so the equations developed are relatively simple and experiment and theory closely agree. The study of fluids in motion is not as simple and accurate. The main difficulty is viscosity.

By neglecting viscosity (an ideal fluid), we do not account for the shear forces which oppose flow. Based on this, reasonably accurate and simple theories can be derived. Using experimental results, these theories can then be calibrated by using experimental coefficients. They then inherently allow for viscosity.

As we will be dealing with liquids, we will neglect the compressibility of the liquid.

This is incompressible flow. This is not a valid assumption for gases.

Classification of Flow Pattern:

There are different patterns of fluid flow, usually characterized by time and distance:

• Time: A flow is *steady* if the parameters describing it (e.g. flow rate, velocity, pressure, etc.) do not change with time. Otherwise a flow is *unsteady*.

• Distance: A flow is *uniform* if the parameters describing the flow do not change with distance. In *non-uniform* flow, the parameters change from point to point along the flow.

From these definitions almost all flows will be one of:

Steady uniform flow:

Discharge (i.e. flow rate, or volume per unit time) is constant with time and the cross section of the flow is also constant. Constant flow through a long straight prismatic pipe is an example.

Steady non-uniform flow:

The discharge is constant with time, but the cross-section of flow changes. An example is a river with constant discharge, as the cross section of a river changes from point to point.

Unsteady uniform flow:

The cross-section is constant but the discharge changes with time resulting in complex flow patterns. A pressure surge in a long straight prismatic pipe is an example.

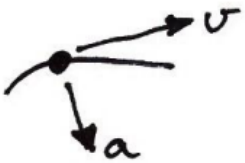
Unsteady non-uniform flow:

Both discharge and cross section vary. A flood wave in a river valley is an example. This is the most complex type of flow.

Methods to visualize fluid flow:

1- Streamlines: To picture the motion of a fluid, we start by examining the motion of a single fluid 'particle' over time, or a collection of particles at one instant. This is the flow path of the particle(s), or a streamline.

At each point, each particle has both velocity and acceleration vectors:

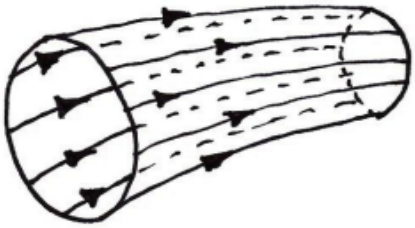


A streamline is thus tangential to the velocity vectors of the particles. Hence:

• there can be no flow across a streamline therefore, streamlines cannot cross each other.

• once fluid is on a streamline it cannot leave it.

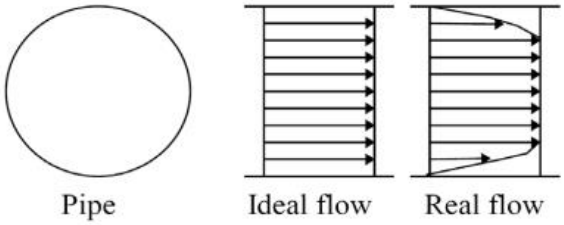
2- Streamtube: A tube formed from collection of streamlines and it impermeable where no flow normal to streamlines.



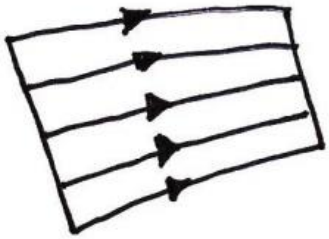
Streamlines and streamtubes are theoretical notions. In an experiment, a streakline is formed by injecting dye into a fluid in motion. A streakline therefore approximates a streamline (but is bigger because it is not an individual particle).

Dimension of Flow:

Fluid flow is in general three-dimensional in nature. Parameters of the flow can vary in the x, y and z directions. They can also vary with time. In practice we can reduce problems to one- or two-dimensional flow to simplify. For example:



One dimensional flow



A two-dimensional streamtube

Fundamental Equations:

To develop equations describing fluid flow, we will work from relevant fundamental physical laws.

1-The Law of Conservation of Matter

Matter cannot be created nor destroyed (except in a nuclear reaction), but may be transformed by chemical reaction. In fluids we neglect chemical reactions and so we deal with the conservation of mass.

2-The Law of Conservation of Energy

Energy cannot be created nor destroyed, it can only be transformed from one form to another. For example, the potential energy of water in a dam is transformed to kinetic energy of water in a pipe. Though we will later talk of 'energy losses', this is a misnomer as none is actually lost but transformed to heat and other forms.

3-The Law of Conservation of Momentum

A body in motion remains in motion unless some external force acts upon it. This is Newton's Second Law:

Force = Rate of change of momentum

The Continuity Equation:

Applying the Law of Conservation of Mass to a control volume, we see:

Rate of mass entering = Rate of mass leaving + Rate of mass increase

The rate of mass change can be expressed as:

Rate of mass change = Fluid density × flow rate

Using Q for flow rate, or volume per second (units: m^3/s, dimensions: L^3T^{-1}):

$$\rho in \; x \; Qin = \rho out \; x \; Qout$$

For **steady incompressible flow**, the rate of mass increase is zero and the density of the fluid does not change. Hence:

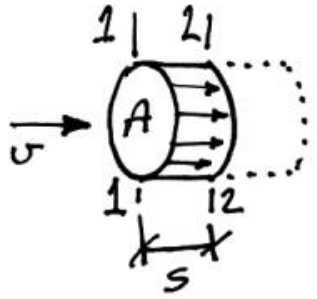
Rate of mass entering = Rate of mass leaving

$$\rho in = \rho out$$

Then assuming that the flow is incompressible:

$$Qin = Qout$$

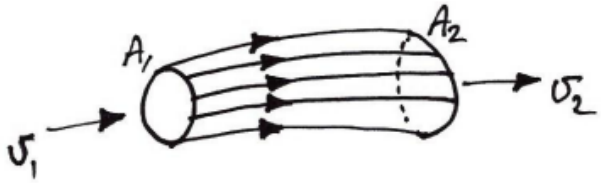
Consider a small length of streamtube:



The fluid at 1-1 moves a distance of $s = vt$ to 2-2. Therefore in 1 second it moves a distance of v. The volume moving per second is thus:

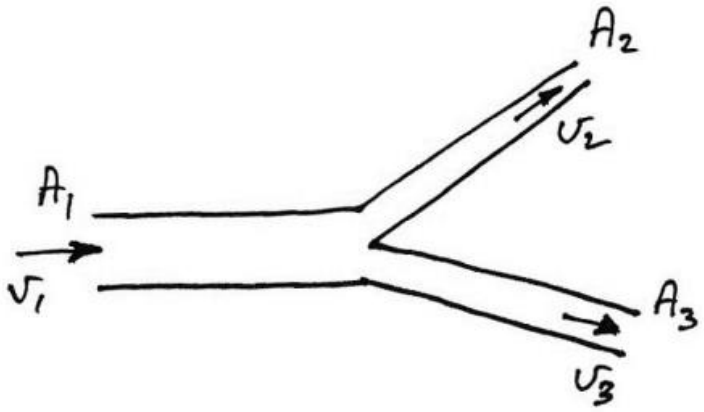
$$Q = Av$$

Thus, for an arbitrary streamtube, as shown, we have:



$$\underline{Vin \times Ain = Vout \times Aout}$$

A typical application of mass conservation is at pipe junctions:



From mass conservation we have:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

المفاهيم العامة

المقدمة:

لا تتضمن الهيدروستاتيكية سوى عدد قليل من المتغيرات: ρ و g و h ، وبالتالي فإن المعادلات التي تم تطويرها بسيطة نسبيًا وتتفق التجارب والنظرية بشكل وثيق. دراسة السوائل المتحركة ليست بسيطة ودقيقة. الصعوبة الرئيسية هي اللزوجة.

بإهمال اللزوجة (مائع مثالي) ، لا نأخذ في الاعتبار قوى القص التي تعارض التدفق. وبناءً على ذلك ، يمكن اشتقاق نظريات دقيقة وبسيطة. باستخدام النتائج التجريبية ، يمكن بعد ذلك معايرة هذه النظريات باستخدام المعاملات التجريبية. ثم يسمحون بطبيعتها باللزوجة.

بينما سنتعامل مع السوائل ، سنهمل انضغاط السائل.

تدفق السوائل غير قابل للضغط. هذا افتراضًا غير موجود في الغازات.

تصنيف نمط التدفق:

هناك أنماط مختلفة لتدفق السوائل ، تتميز عادةً بالوقت والمسافة:

- **الوقت:** يكون التدفق ثابتًا إذا لم تتغير المعلمات التي تصفه (مثل معدل التدفق والسرعة والضغط وما إلى ذلك) بمرور الوقت. وإلا فإن التدفق غير ثابت.
- **المسافة:** التدفق المنتظم إذا لم تتغير المعلمات التي تصف التدفق مع المسافة. في التدفق غير المنتظم ، تتغير المعلمات من نقطة إلى أخرى على طول التدفق.

من هذه التعريفات ، ستكون جميع التدفقات تقريبًا واحدة من:

تدفق موحد ثابت:

يكون التفريغ (أي معدل التدفق أو الحجم لكل وحدة زمنية) ثابتًا مع الوقت كما أن المقطع العرضي للتدفق ثابتًا أيضًا. التدفق المستمر من خلال أنبوب منشوري مستقيم طويل مثال على ذلك.

تدفق ثابت غير منتظم:

التصريف ثابت مع مرور الوقت ، ولكن المقطع العرضي للتدفق يتغير. مثال على ذلك نهر ذو تصريف مستمر ، حيث يتغير المقطع العرضي لنهر من نقطة إلى أخرى.

تدفق موحد غير مستقر:

المقطع العرضي ثابت ولكن التصريف يتغير مع الوقت مما يؤدي إلى أنماط تدفق معقدة. يعد ارتفاع الضغط في أنبوب منشوري مستقيم طويل مثالاً على ذلك.

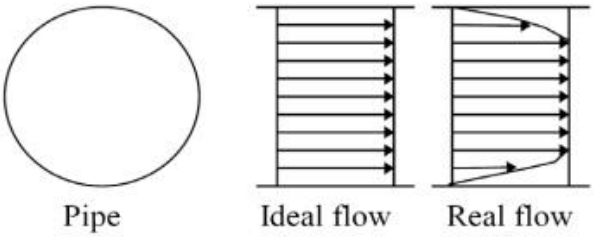
تدفق غير منتظم غير مستقر:

يختلف كل من التفريغ والمقطع العرضي. إن موجة الفيضان في وادي النهر هي مثال على ذلك. هذا هو النوع الأكثر تعقيدًا من التدفق.

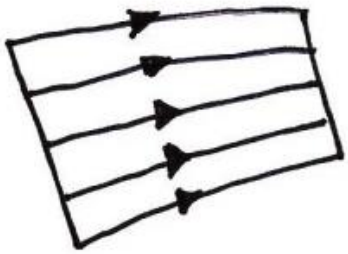
طرق تصور تدفق السوائل:

1- **الانسيابية:** لتصور حركة مائع ، نبدأ بفحص حركة "جسيم" مائع واحد مع مرور الوقت ، أو مجموعة من الجسيمات في لحظة واحدة. هذا هو مسار التدفق للجسيم (الجسيمات) ، أو تبسيط.

عند كل نقطة ، يكون لكل جسيم ناقلات السرعة وتعجيل:



تدفق بعد واحد



دفق أنبوب ثنائي الأبعاد

المعادلات الأساسية:

لتطوير معادلات تصف تدفق السوائل ، سنعمل من القوانين الفيزيائية الأساسية ذات الصلة.

1- قانون حفظ المادة

لا يمكن إنشاء المادة أو تدميرها (باستثناء التفاعل النووي) ، ولكن يمكن تحويلها عن طريق التفاعل الكيميائي. في السوائل ، نتجاهل التفاعلات الكيميائية ونتعامل مع الحفاظ على الكتلة.

2- قانون حفظ الطاقة

لا يمكن إنشاء الطاقة أو تدميرها ، لا يمكن تحويلها إلا من شكل إلى آخر. على سبيل المثال ، تتحول الطاقة الكامنة للمياه في السد إلى طاقة حركية للمياه في الأنبوب. على الرغم من أننا سنتحدث لاحقًا عن "فقدان الطاقة" ، إلا أن هذا خطأ في التسمية حيث لا يتم فقدان أي شيء في الواقع ولكنه يتحول إلى حرارة وأشكال أخرى.

3-قانون حفظ الزخم

يظل الجسم المتحرك في حالة حركة ما لم تعمل بعض القوى الخارجية عليه. هذا هو قانون نيوتن الثاني:

القوة = معدل تغير الزخم

معادلة الاستمرارية:

بتطبيق قانون حفظ الكتلة على حجم التحكم ، نرى:

معدل دخول الكتلة = معدل ترك الكتلة + معدل زيادة الكتلة

يمكن التعبير عن معدل التغير الشامل على النحو التالي:

معدل تغير الكتلة = كثافة السوائل × معدل التدفق

باستخدام Q لمعدل التدفق أو الحجم في الثانية (الوحدات: m3 / s ، الأبعاد: :(L3T-1)

$$\rho in \times Qin = \rho out \times Qout$$

بالنسبة للتدفق الثابت غير القابل للانضغاط ، يكون معدل زيادة الكتلة صفرًا ولا تتغير كثافة السائل. بالتالي:

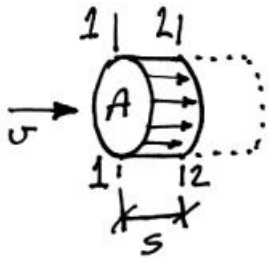
التصريف الداخل = التصريف الخارج

$$\rho in = \rho out$$

ثم بافتراض أن التدفق غير قابل للانضغاط:

$$Qin = Qout$$

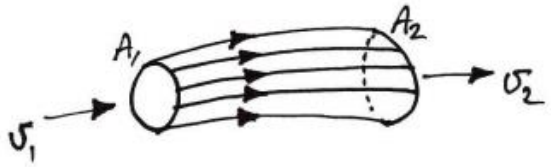
النظر في طول تيار صغير:



يتحرك السائل عند 1-1 على مسافة s = vt إلى 2-2. لذلك في ثانية واحدة يتحرك مسافة v وبالتالي فإن الحجم المتحرك في الثانية هو:

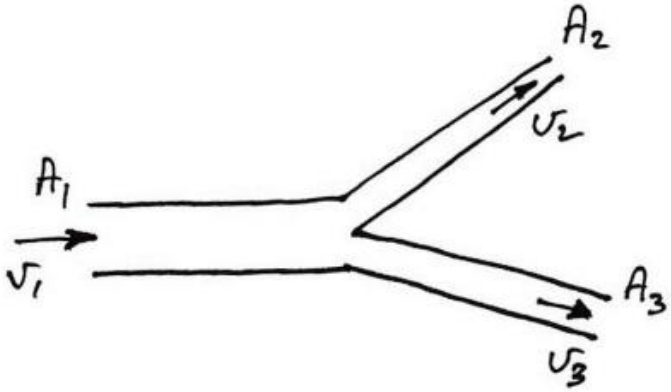
$$Av = Q$$

وبالتالي ، بالنسبة إلى streamtube التعسفي ، كما هو موضح ، لدينا:



Vin x Ain = Vout x Aout

يوجد تطبيق نموذجي لحفظ الكتلة عند تقاطعات الأنابيب:



من قانون حفظ الكتله لدينا:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$