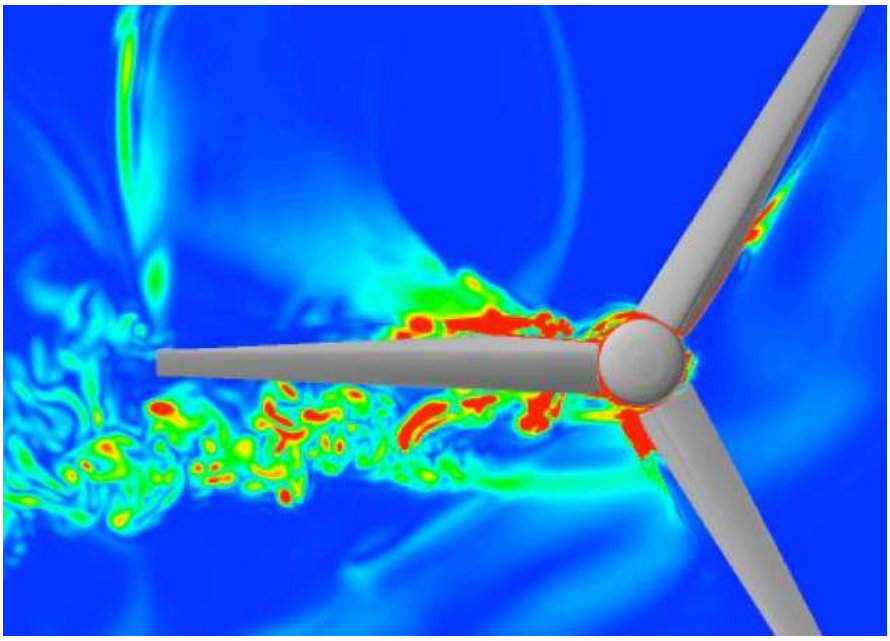


كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم القوى الميكانيكية

ميكانيك السوائل 2

تصنيف حركة السوائل"الجريانات"

الدكتور المهندس
سعيد شقير

محتوى العرض

- الجريانات غير المستقرة والمستقرة
- الجريانات الثلاثية, الثنائية, والأحادية البعد.
- الجريانات الصفائحية والمضطربة.
- الجريانات تحت الصوتية , الصوتية, فوق الصوتية.
- خط المسار, خط التيار.
- أنبوبة التيار

الجريانات غير المستقرة

- في الحالة العامة لحركة السوائل فإن شعاع السرعة (كما رأينا في المحاضرة الماضية) يتغير من حيث القيمة والاتجاه من نقطة الى أخرى في حقل الجريان, كما يتغير أيضا في نقطة محددة B(x,y,z) مع الزمن, أي أن السرعة تكون تابعا للزمن والمكان.

$$u = \frac{dx}{dt} = g_1(x,y,z,t)$$

$$v = \frac{dy}{dt} = g_2(x,y,z,t)$$

$$w = \frac{dw}{dt} = g_3(x,y,z,t)$$

- سنجد فيما بعد ان الضغط p والكثافة ρ في حالة السوائل القابلة للإنضغاط يتغيران أيضا زمانيا ومكانيا:

$$p = \mathrm{f}_1(t,\boldsymbol{r}) \equiv \mathrm{f}_1(t,x,y,z)$$

$$\rho = \mathrm{f}_2(t,\boldsymbol{r}) \equiv \mathrm{f}_2(t,x,y,z)$$

- يطلق على هذا النوع من حركة السوائل **الجريان الغير مستقر Unsteady flow** . وتظهر أمثاله :
  - عند تحريك جسم صلب في سائل ,
  - وعند تفريغ سائل خزان بواسطة فتحة جانبية,
  - وحول جناح طائرة عند اهتزازه,
  - وكذلك في إنبوب الدفع لمضخة مكبسية وفي حالات أخرى كثيرة.

الجريانات المستقرة

- اذا تميز حقل الجريان بأن السرعة في أية نقطة محددة منه تبقى ثابتة مع الزمن, وتتغير مع المكان فقط, فيطلق على هذا النوع من حركة السوائل **الجريان المستقر Steady Flow**
- في هذه الحالة فإن سرعة كل جزيء حجمي يصل الى نقطة معينة تساوي تماما الى سرعة الجزيء الذي غادر تلك النقطة لتوه. وينطبق هذا على بقية القيم الهيدروديناميكية كالضغط والكثافة. فهي كلها توابع مكانية صرفة:

$$\boldsymbol{V} = \mathrm{f}_1(\boldsymbol{r})$$

$$\mathrm{p} = \mathrm{f}_2(\boldsymbol{r})$$

$$\rho = \mathrm{f}_3(\boldsymbol{r})$$

- أو بشكل مركبات وبدلالة الاحداثيات الديكاتية:

$$u = \mathrm{f}_1(x,y,z)$$

$$v = \mathrm{f}_2(x,y,z)$$

$$w = \mathrm{f}_3(x,y,z)$$

$$\mathrm{p} = \mathrm{f}_4(x,y,z)$$

$$\rho = \mathrm{f}_5(x,y,z)$$

نلاحظ أن كافة مركبات التسارع المكاني في حالة الجريان المستقر تكون معدومة, ويصبح التسارع المادي مساويا لتسارع الجمل.

فقط في حالة الجريان الانسحابي المنتظم المستقر لسائل مثالي , الذي يتميز بسرعة ثابتة في كل نقطة من حقل الجريان قيمة واتجاها $\boldsymbol{V} = const$, تكون مركبات التسارع المادي جميعها مطابقة للصفر وكذلك التفاضلات التامة للضغط والكثافة :

$$\frac{D\boldsymbol{V}}{Dt} \equiv 0 \Rightarrow \frac{Du}{Dt} = \frac{Dv}{Dt} = \frac{Dw}{Dt} = \frac{Dp}{Dt} = \frac{\partial\rho}{\partial t} \equiv 0$$

وعليه فإن كافة المشتقات الجزئية بالنسبة للزمن لمكبات السرعة والضغط والكثافة تكون معدومة:

$$\frac{\partial u}{\partial t} \equiv \frac{\partial v}{\partial t} \equiv \frac{\partial w}{\partial t} \equiv \frac{\partial p}{\partial t} \equiv \frac{\partial \rho}{\partial t} \equiv 0$$

الجريانات الغير مستقرة والمستقرة

الجريان غير مستقر: $\boldsymbol{b} = \frac{D\boldsymbol{V}}{Dt} = \frac{D\boldsymbol{V}}{Dt} + \boldsymbol{V}\frac{\partial \boldsymbol{V}}{\partial t} : \boldsymbol{V} = \mathrm{f}(t,\boldsymbol{r})$

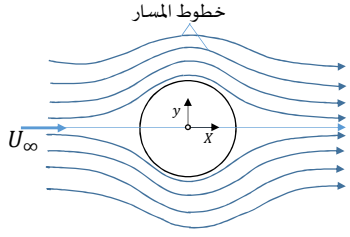
الجريان مستقر: $\boldsymbol{b} = \boldsymbol{V}\frac{\partial \boldsymbol{V}}{\partial t}; \quad \frac{\partial \boldsymbol{V}}{\partial t} = 0; \quad \boldsymbol{V} = \mathrm{f}(\boldsymbol{r})$

الجريان مستقر انسحابي ومنتظم: $\boldsymbol{b} = \boldsymbol{0}; \quad \boldsymbol{V} = \mathrm{const}$

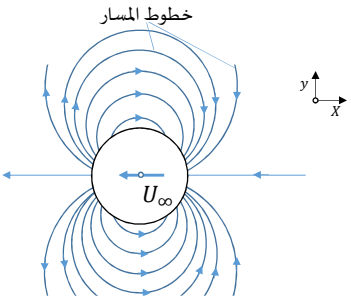
- إن صفة الاستقرار او عدم الاستقرار للجريان ليست بالضرورة من الخواص الفيزيائية المميزة، **ذلك أن نفس الجريان يمكن تحت شروط معينة أن يكون مستقرا أو غير مستقر.**

الجريانات غير المستقرة والمستقرة

- لنعتبر مثلا الجريان حول إسطوانة دائرية لا نهائية الامتداد، الشكل (2.5). فإذا كان التيار الوارد الى الاسطوانة ذا سرعة ثابتة بالاتجاه الأفقي تساوي U_∞، وراقبنا الجريان من مجموعة إحداثيات x,y مثبتة على الإسطوانة،



فإن السرعة في كل نقطة من حقل الجريان تكون ثابتة مع الزمن من حيث القيمة والاتجاه، وبالتالي يكون الجريان حول الأسطوانة بالنسبة لمجموعة الاحداثيات النسبية هذه مستقراً



حركة السائل تكون في هذه الحالة وبالنسبة لمجموعة إحداثيات مطلقة، أي مثبتة في السائل الساكن، غير مستقرة، ذلك لأن السرعة في نقطة معينة من حقل الجريان تزداد مع اقتراب الاسطوانة منها وتنقص مع ابتعادها عنها، فهي إذن تتغير مع الزمن.

الجريان مستقر في جملة إحداثيات نسبية مثبتة على الجسم الساكن الذي يمر عليه تيار بسرعة U_∞

الجريان غير مستقر في جملة إحداثيات مطلقة مثبتة على سائل ساكن بينما الجسم يتحرك بسرعة U_∞

وبما أن دراسة الجريان المستقرة أسهل من دراسة الجريانات غير المستقرة، فإنه حيث تتاح الإمكانية يتم اختيار محاور الإحداثيات، بحيث يكون الجريان بالنسبة لها مستقرا

الجريانات الثلاثية و الثنائيةالبعد

- أذا تميز حقل الجريان بأن مركبات الثلاثة لشعاع السرعة u, v, w تختلف عن الصفر , فيطلق على هذا النوع من حركة السوائل **الجريان الثلاثي المقاس (البعد) أو الفراغي**, ويمكن أن يكون غير مستقر أو مستقرا.

- وعندما يتميز حقل الجريان بأن كافة الجزيئات الواقعة في مستويات موازية لمستو ثابت يتم تحديده تقوم بنفس الحركة تماما, وبالتالي تكون صورة الجريان في هذه المستويات المتوازية واحدة, وكافة جزيئات جزيئات السائل الواقعة على اي مستقيم عمودي عليها تتعرض لنفس المصير ولا تقوم بأية حركة باتجاهه, فنسمي هذا النوع من حركة السوائل **الجريان الثنائي المقاس أو المستوي** , لأنه يكتفى بدراسة الجريان في مستو واحد فقط مثل المستوى xy. ويتحدد حقل السرعة بمركبتين فقط لشعاع السرعة u, v مختلفتين عن الصفر, بينما تنعدم المركبة الثالثة في كامل حقل الجريان وعليه يكون في حالة الجريان المستقر:

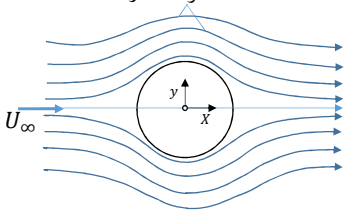
$$u = f_1(x, y)$$
$$v = f_2(x, y)$$
$$w \equiv 0$$
$$\frac{\partial u}{\partial z} \equiv \frac{\partial v}{\partial z} \equiv 0$$

الجريانات الثنائيةالبعد

- هناك حالات مختلفة وهامة من مسائل الجريان العملية يمكن معالجتها على أساس اعتبارها جريانات مستوية.

✓ فالجريان العمودي على الخط المولد لأسطوانة لا نهائية الامتداد هو جريان ثنائي المقاس وتكفي دراسة الجريان حول دائرة في المستوي x, y

خطوط المسار



✓ كما أن الجريان حول الجناح الحامل لطائرة Airofoil, والذي امتداده أكبر بكثير من طول وتر مقطعه, يمكن اعتباره بالنسبة للمقاطع البعيدة نسبيا عن نهايتيه جريانا مستويا , وبالتالي الاكتفاء بدراسة الجريان حول بروفيل (مقطع) Profileمنه.

الجريانات أحادي البعد

- وعندما يتميز حقل الجريان بأن شعاع السرعة يتعلق باتجاه محور واحد فقط (xمثلا), بينما تكون الحركة معدومة في الاتجاهين المتعامدين مع هذا المحور(x,y), فنسمي هذا **الجريان وحيد المقاس أو خطيا**. وتكون المعادلة الحركية لهذا الجريان في الحالة المستقرة:

$$u = f(x)$$

$$v \equiv w \equiv 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} \equiv \frac{\partial u}{\partial z} \equiv 0$$

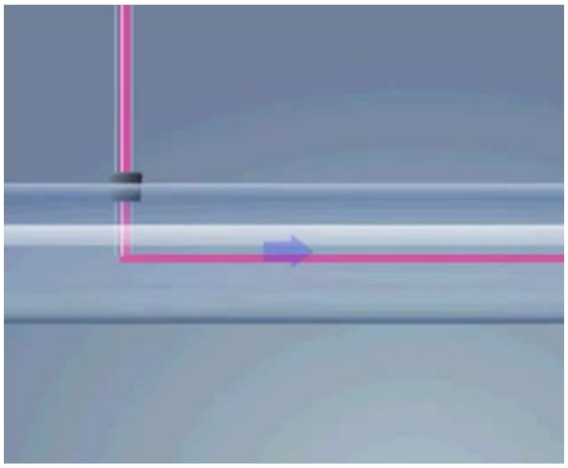
- إن الجريان في الأنابيب والأقنية والمجاري المشابهة, يتم بصورة أساسية في إتجاه محاور هذه الأنابيب والأقنية, وبالتالي تمكن دراسته كجريان خطي, اذا اعتبرنا المحور X منطبقا على محور الأنبوب S والسرعة U تمثل سرعة التيار الحجمي الموزعة بانتظام على كامل مقطع الأنبوب المتعامد مع محوره, والذي يمكن ان يتغير باتجاه S.
- في واقع الأمر فان كافة الجريانات هي ثلاثية المقاس. ولكن إهمال إحدى مركبات السرعة, بسبب كونها أصغر بكثير من المركبتين الأخريتين, ودراسة الجريان على أساس أنه مستو, يؤدي لتسهيلات رياضية كبيرة, ويسمح بتطبيق طرق خاصة لميكانيك السوائل تقدم حلولا عملية تكون أقرب الى الواقع, كلما أمكن اعتبار الجريان مثاليا (عديم الاحتكاك).
- أما دراسة الجريانات على أساس أنها خطية فينتظر الها كخطوة تقريبية أولية فقط. فالسرعة المحورية في الأنابيب لا تتغير فقط في اتجاه المحور وانما في الاتجاه العرضي ايضا. لذلك يعمد الى ادخال قيم تجريبية في القوانين المستخدمة لحساب مثل هذه الجريانات كجريانات خطية بهدف تقريب النتائج قدر الامكان من الواقع والاستفادة من سهولة الدراسة على هذا الاساس.

الجريانات الصفائحية والمضطربة

- أن تصنيف الجريانات حسب ينطبق على الجريانات المثالية($\eta = 0$) والحقيقية ($\eta > 0$)
- تصنف الجريانات الحقيقة , التي سنعالجها بالتفصيل بعد دراسة الجريانات المثالية, حسب طبيعة الجريان الى نوعين أساسيين: الجريانات **الصفائيحية والمضطربة**
- يتميز الجريان الصفائحي بأن جزيئات السائل تتحرك بشكل طبقات او صفائح رقيقة منوضعة فوق أو داخل بعضها البعض, بحيث لا يحدث اثناء الحركة اي تمازج أو اختلاط بين جزيئات الطبقات . وتنزلق كل طبقة على الاخرى بسرعة تزداد كلما ابتعدنا عن جدار الجسم .
- وبالعكس من ذلك يتميز الجريان المضطرب بأن جزيئات السائل تقوم بحركة اعتباطية لا تخضع لنظام معين تؤدي لعملية إختلاط وتمازج مستمر بين الجزيئات وفي كل الاتجاهات. وينجم عن ذلك أن قيم السرعة وكذلك الضغط في نقطة محددة من حقل الجريان تتغير باستمرار مع الزمن.
- ان الغالبية العظمى من الجريانات العملية تكون ذات طبيعة مضطربة. ويكون الجريان في الانابيب اوالاقنية مثلا صفائحيا عندما يكون السائل في الحالة العامة ذا لزوجة كبيرة أو أن سرعته في اتجاه محور الانبوب أو القناة صغيرة نسبيا.

الجريانات الصفائحية والمضطربة

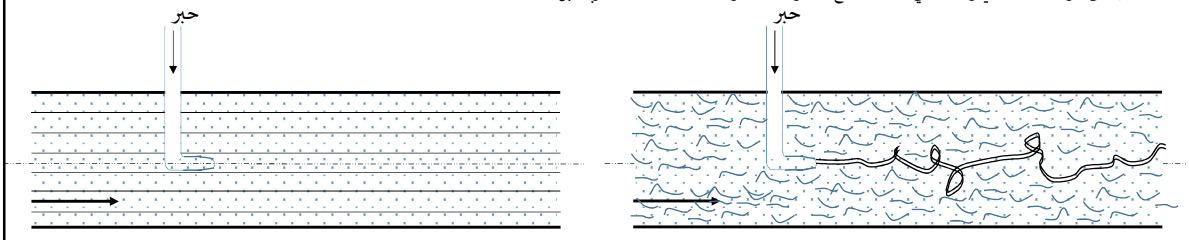
- وتؤكد التجارب , التي قام بها لأول مرة "رينولدز" عام 1883, أن الجريان يبقى صفائحيا طالما ان السرعة لم تتجاوز قيمة معينة يطلق عليها السرعة الحرجة V_{cr} وتصبح حركته مضطربة عندما تتجاوز السرعة قيمة V_{cr}.



تجربة رينولدز لتوضيح الجريان الصفائحي حيث $V < V_{cr}$

الجريانات الصفائحية والمضطربة

- ويمكن إثبات ذلك تجريبيا اذا جعلنا خيطا رفيعا من سائل ملون بالحبر ينبعث من فوهة نفاثة صغيرة المقطع داخل انبوب يجري فيه ماء, فنلاحظ أن خيط الحبر يأخذ اتجاها مستقيما في حالة الجريان الصفائحي ($V < V_{cr}$) أما اذا زادت سرعة الماء في الانبوب عن قيمة معينة , يمكن تحديدها, فان خيط الحبر يتفكك بعد مسافة قصيرة من فوهة النفاثة ويلون الماء في كامل مقطع الانبوب, مما يؤكد طبيعته اللمضطربة $V > V_{cr}$



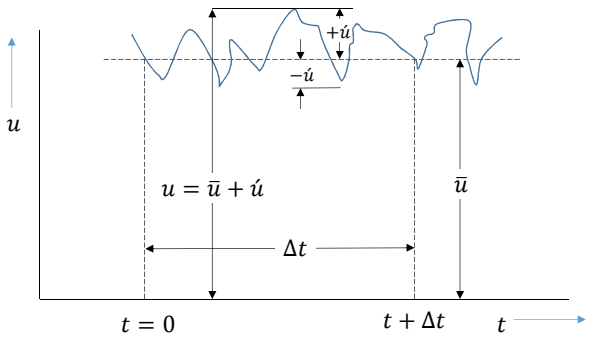
تجربة رينولدز لتوضيح الجريان المضطرب حيث $V > V_{cr}$

تجربة رينولدز لتوضيح الجريان الصفائحي حيث $V < V_{cr}$

الجريانات الصفائحية والمضطربة

- على أساس ما تقدم فان الجريان الصفائحي يمكن أن يكون مستقرا أو غير مستقر.
- أما الجريان المضطرب فهو دائما غير مستقر.
- ولكن اذا نظرنا الى الجريان المضطرب ككل ولاحظنا انه ذو اتجاه رئيسي دائما , فبالامكان , كما سنرى عند الدراة التفصيلية للجريانات المضطربة, ان نتصور نموذجا حركيا لهذا الجريان يعتمد على تحليل الحركة المضطربة الى حركة رئيسية وحركات عرضانية عليها مشوشة

- فاذا حسبنا سرعة الجريان الرئيسي خلال فترة زمنية طويلة نسبيا Δt فان هذه السرعة الوسطية زمنيا $\overline{V}$ في نقطة معينة تكون ثابتة مع الزمن



التذبذب المضطرب لمركبة السرعة u في الجريانات حول قيمة السرعة الوسطية زمنيا $\bar{u}$.
نفس الشيء ينطبق على المركبتين v ,w والضغط p

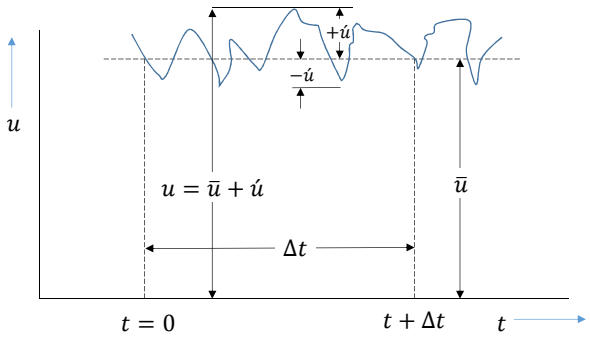
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم الميكانيك العام

الجريانات الصفائحية والمضطربة

- فاذا حسبنا سرعة الجريان الرئيسي خلال فترة زمنية طويلة نسبيا Δt فان هذه السرعة الوسطية زمنيا $\overline{V}$ في نقطة معينة تكون ثابتة مع الزمن, وبالتالي يمكن اعتبار الجريان الرئيسي شبه مستقر ,
- بينما تتذبذب قيمة السرعة الآنية V في تلك النقطة حول قيمة $\overline{V}$ و $\acute{V}$.
- اذا فرضنا $\overline{w},\overline{v},\overline{u}$, مركبات $\overline{V}$ في نقطة معينة $\acute{w},\acute{v},\acute{u}$ تمثل تذبذبات السرعة *Velocity fluctuation* التي يمكن أن تكون سالبة أو موجبة ؛ w,v,u مركبات السرعة الآنية فتكون حسب الشكل التالي:

$$u = \bar{u} + \acute{u} \quad : \quad v = \bar{v} + \acute{v} \quad : \quad w = \bar{w} + \acute{w}$$

- ويكون بالنسبة للضغط أيضاً: $p = \bar{p} + \acute{p}$
- على هذا الأساس تتبسط دراسة الجريانات المضطربة, ولكنها تبقى أعقد بكثير من دراسة الجريانات الصفائحية.



التذبذب المضطرب لمركبة السرعة u في الجريانات حول قيمة السرعة الوسطية زمنيا $\bar{u}$.
نفس الشيء ينطبق على المركبتين v ,w والضغط p

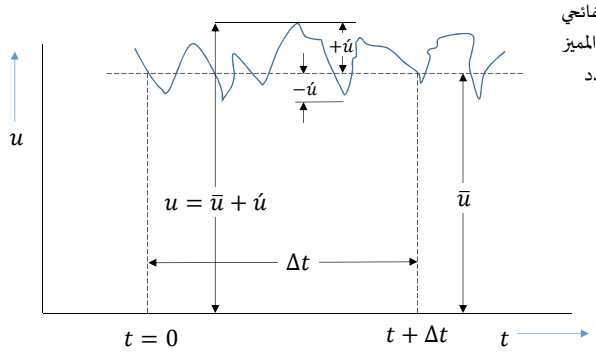
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم الميكانيك العام

الجريانات الصفائحية والمضطربة

- ويجدر التنويه هنا, كنتيجة مسبقة, أن الانتقال من الجريان الصفائحي إلى المضطرب لا يتعلق بسرعة الجريان فقط, وإنما أيضاً بالطول المميز للجسم L وبلزوجة السائل الحركية ν. وبالتحديد فهو يتعلق بالعدد التشابهي (اللابعدي):

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

الجريان صفائحيا	عندما	$Re < Re_{cr}$
الجريان مضطربا	عندما	$Re > Re_{cr}$



التذبذب المضطرب لمركبة السرعة u في الجريانات حول قيمة السرعة الوسطية زمنيا $\bar{u}$.
نفس الشيء ينطبق على المركبتين v, w والضغط p

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم الميكانيك العام

الجريانات تحت الصوتية , الصوتية, فوق الصوتية

- حسب قابلية السائل للانضغاط أو التمدد وبالتالي لتغيير كثافته تحت تأثير الضغط ودرجة الحرارة نميز بين:
  - ✓ جريانات غير قابلة للانضغاط Incompressible flows
  - ✓ جريانات قابلة للانضغاط. Compressible flows
- في حدود السرعات الصغيرة جدا والصغيرة فان تغير الكثافة في حالات عملية عديدة للجريانات يكون صغيرا لدرجة يمكن إهماله ومعالجة هذه الجريانات كأنها غير قابلة للانضغاط.
- أما عند سرعات متوسطة أو كبيرة وخاصة كبيرة جدا فان تغير الكثافة يكون كبيرا ويؤثر بشكل حاسم على حركة جزيئات السائل في حقل الجريان وبالتالي لا يجوز إهماله.
- كمقياس لتحديد مدى الإنضغاطية على القيم الأيروديناميكية والغازديناميكية لحقل الجريان يستخدم العدد التشابهي:

$$M_a = \frac{V}{a}$$

المعروف باسم عدد ماخ والذي يمثل النسبة بين السرعة الموضعية للجريان V وسرعة الصوتa.

- وحسب القيم العددية ل Ma فاننا نميز بين:
  - ✓ الجريانات تحت الصوتية ويكون $Ma < 1$,
  - ✓ الجريانات الصوتية ويكون $Ma = 1$
  - ✓ الجريانات فوق الصوتية ويكون $Ma > 1$

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم الميكانيك العام

الجريانات تحت الصوتية , الصوتية, فوق الصوتية

- وبتقسم أدق نميز حسب المجالات :

$Ma < 0.3$ ⇐ تأثير الانضغاطية مهمل, الجريان يعالج كانه غير قابل للأنضغاط

$0.3 < Ma < 0.5$ ⇐ جريان تحت صوتي منخفض

$0.5 < Ma < 0.8$ ⇐ جريان تحت صوتي عال

$0.8 < Ma < 1.2$ ⇐ جريان قرب صوتي يظهر فيه مجال تحت وفوق صوتي

$1.2 < Ma < 3$ ⇐ جريان فوق صوتي بالمعنى الضيق للكلمة

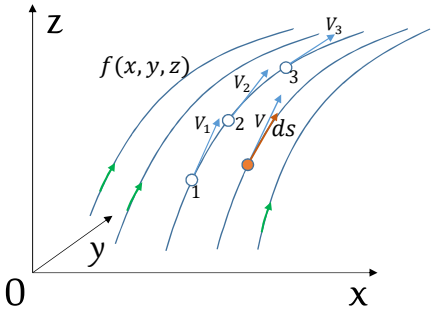
$Ma > 3$ ⇐ جريان فوق صوتي عال

خط المسار, خط التيار

- إن طريقة لاغرانج المادية لدراسة حركة السوائل تعتمد على معرفة الطريق التي تسلكها كل جزيئة سائلية, أي **خط المسار** Path line.

- فإذا رسمنا عدد, من هذه الخطوط لجزيئات مختلفة, بعد استخراج معادلة خط المسار , أو بعد تصويرها فوتوغرافيا باستخدام طرق الترئية Visualization methods كالتلوين بالحبر أو الدخان أو رش ندف من المواد الصلبة الخفيفة مثل بر ش وريقات الالمنيوم بقياس 0.2-0.5mm فنحصل على صورة واضحة للجريان نطلق عليها **صورة خطوط المسار**.

خط المسار يمثل الطريق الفعلية التي تسلكها الجزيئة السائلية في حقل الجريان , ويبين اتجاهات السرعة التي تأخذها الجزيئة تباعا مع الزمن

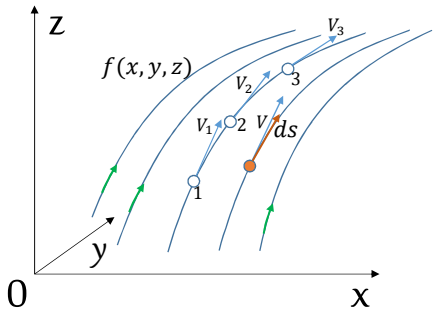


تعريف خط التيار واستخراج معادلته التفاضلية

خط المسار, خط التيار

- وبموجب طريقة أويلر المكانية, التي تعتمد على تحديد حقل السرعة من حيث القيمة والاتجاه, يمكن الحصول على صورة واضحة للجريان برسم مجموعة من المنحنيات المتجاورة,
- بعد حسابها نظريا أو تحديدها تجريبيا بالتصوير الفوتوغرافي, التي تكون في لحظة زمنية معينة أشعة سرعة لكافة الجزيئات السائلية الواقعة عليها مماسة لها في كل نقطة .
- أمثال هذه المنحنيات تسمى خطوط التيار ,Stream line ويطلق على مجموعها صورة خطوط التيار أو باختصار صورة الجريان ,

خط التيار يمثل في لحظة زمنية معينة المنحني الذي يكون المماس عليه في كل نقطة منطبقا على شعاع السرعة في تلك النقطة.

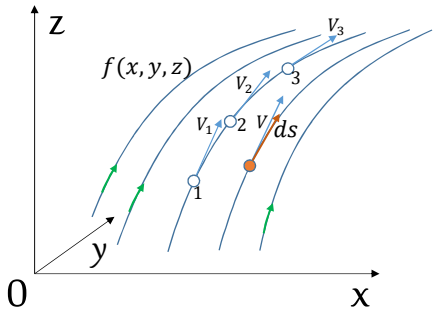


تعريف خط التيار واستخراج معادلته التفاضلية

خط المسار, خط التيار

- إن خطوط التيار تمثل اذن واسطة هندسية لتوضيح حركة السائل.
- تستخدم لتبيان الفرق بين الجريانات المستقرة غير المستقرة .
- يتضح أنه من معرفة صورة خطوط التيار يمكن تحديد اتجاه الجريان في كل نقطة. أذ يكون مطابقا لاتجاه شعاع السرعة ,
- تماما كما الحال بالنسبة **لخطوط القوة** لحقل مغناطيسي مثلا, التي توشر على اتجاه القوة الموضوعية في كل نقطة.
- من الناحية الرياضية فإن خط التيار يمثل المنحني التكاملي لميل شعاع السرعة. فإذا كان ds عنصراً خطياً من خط التيار المار في النقطة B, $\boldsymbol{V}$ شعاع السرعة في تلك النقطة , الشكل التالي , فيكون تعريفاً $\boldsymbol{V}||\boldsymbol{ds}$, وبالتالي يكون الجداء الشعاعي:

$$\boldsymbol{V} \times \boldsymbol{ds} = 0$$

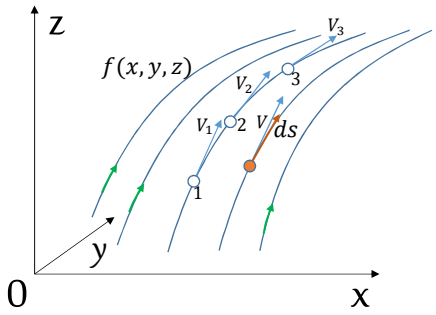


تعريف خط التيار واستخراج معادلته التفاضلية

خط المسار, خط التيار

- إن خطوط التيار تمثل اذن واسطة هندسية لتوضيح حركة السائل.
- تستخدم لتبيان الفرق بين الجريانات المستقرة غير المستقرة .
- يتضح أنه من معرفة صورة خطوط التيار يمكن تحديد اتجاه الجريان في كل نقطة. أذ يكون مطابقا لاتجاه شعاع السرعة ,
- تماما كما الحال بالنسبة **لخطوط القوة** لحقل مغناطيسي مثلا, التي توشر على اتجاه القوة الموضوعية في كل نقطة.
- من الناحية الرياضية فإن خط التيار يمثل المنحني التكاملي لميل شعاع السرعة. فإذا كان ds عنصراً خطياً من خط التيار المار في النقطة B, $\boldsymbol{V}$ شعاع السرعة في تلك النقطة , الشكل التالي , فيكون تعريفاً $\boldsymbol{V}||d\boldsymbol{s}$, وبالتالي يكون الجداء الشعاعي:

$$\boldsymbol{V} \times d\boldsymbol{s} = 0$$



تعريف خط التيار واستخراج معادلته التفاضلية

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم الميكانيك العام

خط المسار, خط التيار

- من الناحية الرياضية فإن خط التيار يمثل المنحني التكاملي لميل شعاع السرعة. فإذا كان ds عنصراً خطياً من خط التيار المار في النقطة B, $\boldsymbol{V}$ شعاع السرعة في تلك النقطة , الشكل التالي , فيكون تعريفاً $\boldsymbol{V}||d\boldsymbol{s}$, وبالتالي يكون الجداء الشعاعي:

$$\boldsymbol{V} \times d\boldsymbol{s} = 0$$

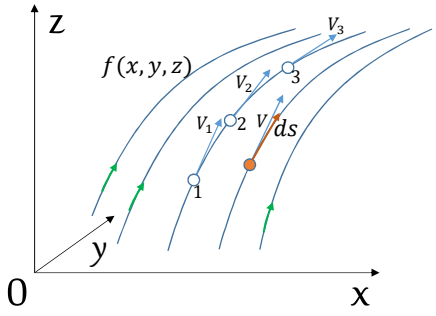
يمثل المعادلة الشعاعية لخط التيار.

- فإذا حللنا $\boldsymbol{V}$ إلى مركباته , وكذلك $d\boldsymbol{s}$, حيث

$$d\boldsymbol{s} = \mathbf{i}\,dx + \mathbf{j}\,dy + \mathbf{k}\,dz$$

$$\begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ u & v & w \\ dx & dy & dz \end{vmatrix} = 0 \Rightarrow \frac{dx}{u} = \frac{dy}{v} = \frac{dz}{w}$$

تمثل المعادلة التفاضلية لخط التيار بصيغتها العامة



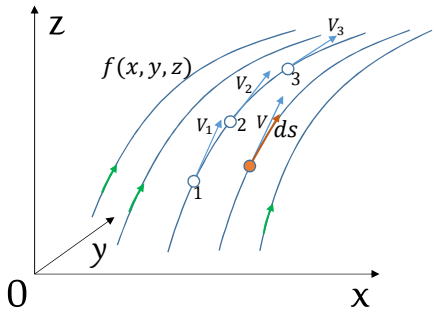
تعريف خط التيار واستخراج معادلته التفاضلية

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم الميكانيك العام

خط المسار, خط التيار, أنبوبة التيار

- في حالة الجريانات غير المستقرة تكون مركبات السرعة تابعة للمكان والزمان, وبالتالي فإن خطوط التيار تغير شكلها مع الزمن, ولكن يمكن الحصول على صورة آنية للجريان في لحظة زمنية معينة, وذلك بتكامل العلاقة السابقة على أساس اعتبار الزمن ثابتاً.
- واضح ان خطوط التيار الآنية لا تكون متطابقة مع خطوط المسار.
- أما في حالة الجريان المستقر, وباعتبار أن مركبات السرعة لا تغير قيمتها مع الزمن في كل نقطة من حقل الجريان. فإن خطوط التيار تبقى محافظة على شكلها وموضعها وتكون متطابقة مع خطوط المسار:

في الجريان المستقر تكون صورة خطوط التيار متطابقة مع صوورة خطوط المسار

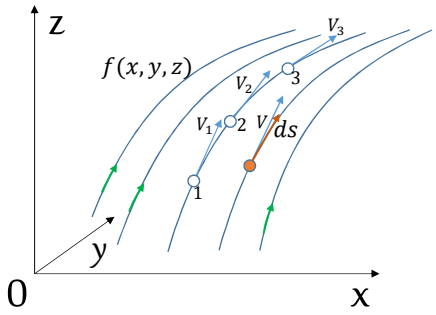


تعريف خط التيار واستخراج معادلته التفاضلية

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم الميكانيك العام

خط المسار, خط التيار

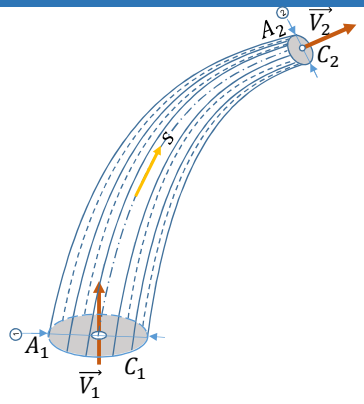
- أن صفة الاستقرار أو عدم الاستقرار لنفس الجريان تتعلق باختيار جملة الاحداثيات,
- بالتالي فان صورة الجريان تتغير وفقاً لهذا الاختيار .
- المهم هنا هي الحركة النسبية بين جملة الاحداثيات المختارة هذه والجسم المعتبر. وعليه لا فرق بين صورة الجريان حول جسم ساكن في تيار يجري حوله, وبين صورة الجريان حول جسم يتحرك في سائل ساكن, إذا راقبنا الحركة في الحالة الأولى من جملة احداثيات ثابتة, وفي الحالة الثانية من جملة احداثيات تتحرك مع الجسم بنفس السرعة؛ ففي الحالتين يكون الجسم ساكنا بالنسبة لجملة الاحداثيات.



تعريف خط التيار واستخراج معادلته التفاضلية

كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية الثانية
قسم الميكانيك العام

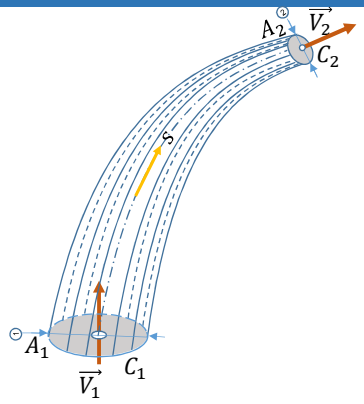
أنبوبة التيار



تتشكل انبوبة التيار من خطوط التيار المارة من نقاط المنحني المغلق C_1 و C_2

- من مفهوم خط التيار نصل بسهولة الى مفهوم انبوبة التيار Stream tube
- فاذا اعتبرنا داخل حقل الجريان منحنيا مغلقا C_1 وأخذنا كافة خطوط التيار التي تمر من نقاط هذا المنحني فنحصل على سطح انبوبي الشكل يطلق عليه: **انبوبة أو سطح التيار**.
- إن انبوبة التيار لا تسمح بنفوذ السائل عبر جدارها, لان ذلك سيعني وجود مركبة للسرعة عمودية على خط التيار, وهذا يتناقض مع تعريفه.
- عليه فان كل انبوبة تيار يمكن النظر اليها كانبوب ذي جدران صلبة.
- فاذا قسمنا كامل حقل الجريان الى عدد محدود من انبوبة التيار نحصل على تصور مجسم عن الجريان دون ان تتغير صورته. وتبقى في حالة الجريان المستقر كل انبوبة تيار محافظة على شكلها وموضعها في حقل الجريان.
- أما في حالة الجريان غير المستقر فيكون لأنبوبة التيار شكل آني فقط, ذلك انه بين لحظة وأخرى تتبدل الجزيئات السائلية التي تكون أنبوبة التيار.

أنبوبة التيار



تتشكل انبوبة التيار من خطوط التيار المارة من نقاط المنحني المغلق C_1 و C_2

- يطلق على كمية السائل داخل انبوبة التيار اسم **خيط التيار Stream filament** وتتحرك جزيئاته في اتجاه وحيد منطبق على محور انبوبة التيار المسمى **خط التيار المركزي** .
- من هنا جاءت تسمية دراسة الجريانات وحيدة البعد, كالجريان في الأنابيب مثلا , باسم **نظرية خيط التيار** حيث يفترض ان السرعة (المثالية أو الوسطية) تكون موزعة بانتظام على كامل مقطع الانبوبة وتتغير في اتجاه الجريان فقط.
- باعتبار ان السائل لا يمكن ان يتسرب عبر جدار انبوبة التيار فان كتلة السائل التي تعبر اي مقطع من مقاطعها في واحدة الزمن تبقى ثابتة . وهذا ما يعبر عنه **بشرط الاستمرار** لانبوبة التيار Continuity condition

وظيفة

المطلوب حل الاسئلة من 1-6 من الصفحة 193

نهاية المحاضرة

أسئلة؟