كلية العلوم

القسم : الفيزياء

السنة : الثالثة

المادة : ميكانيك الموائع

المحاضرة: التاسعة/نظري/

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

٤

2026

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

2 اضطراب السوائل المرنة:

يختلف جريان السوائل غير النيوتونية التي سنأخذ مثالاً عليها المحاليل والسوائل البوليميرية، اختلافاً كلياً عن جريان السوائل النيوتونية ويتلخص الاختلاف في ظهور الخواص المرنة لهذه المحاليل التي تؤدي إلى ظواهر غير مألوفة قياساً لجريان السوائل النيوتونية لذلك فإن شرح أسباب وميكانيكية هذه الظواهر الشاذة هام جداً من أجل تطوير هيدرو ديناميكية السوائل المرنة

إن تاريخ أول بحث أجري لدراسة هذه الظاهرة كان عام (1926) حيث قام بعض العلماء بقياس لزوجة سائل هابوني لكشف في مقياس اللزوجة الدوار وملاحظة ازدياد غير متوقع لقوى المقاومة التي ظهرت على شكل نبضات قوية، عند السرعات القليلة جداً التي تنفي ظهور الاضطراب العادي.

لقد ربط العالمان أوستفلد وأورباخ هذه الظاهرة بظهور اضطراب هاما سيما وأنهم أوردوا نتائج تجريبية تشير أن مثل هذا الاضطراب يتواجد عند جريان هذه السوائل عبر الأنابيب، وبعد ذلك أصبح واضحاً أن الإضطراب الملاحظ لا يحدد بعدد رينولدز العادي

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \qquad (1)$$

بعد ذلك تم ملاحظة ظاهرة عدم اتزان جريان السوائل البوليميرية التي حازت على اهتمام كبير من قبل العلماء

ورغم أن السوائل البوليميرية تمتاز بشكل واضح بالخواص المرنة، غير أنه لم يرد في الأذهان في ذلك الوقت أن تلعب الخواص المرنة الدور الأساس في ضياع استقرارية جريان السائل البوليميري، أو ما يسمى دوما بالاضطراب المبكر" حيث دعيت هذه الظاهرة بالاضطراب المرن.

تتابعت الأبحاث بعد ذلك ووضعت عدة معادلات رياضية في محاولة لوصف جريان السوائل المرنة وقد تضمنت هذه المعادلات عاملاً مجرداً من العامة وله القيمة التالية

$$\varepsilon = \frac{\theta \cdot \gamma}{2} \qquad (2)$$

حيث أن θ : زمن تأخر السائل

$\gamma = \frac{V}{D}$: تدرج السرعة

إن أول من انتبه إلى دور هذا العامل المجرد من العامة بأن العالم ڤايسنبرغ الذي أشار إلى أن العامل المذكور يمثل الكثير من الأهمية بالنسبة للسوائل المرنة ويلعب بالنسبة لها دور مشابه لدور عدد رينولدز بالنسبة للسوائل النيوتونية اللزوجة وما اقتراح عدد رينولدز بالنسبة للسوائل النيوتونية اللزوجة وما اقتراح عدد رينولدز بالنسبة للسوائل النيوتونية اللزوجة من العالم ويت فقد تم تسمية ضعف القيمة لهذا العدد بعدد ڤايسنبرغ:

$$We = \theta \cdot \gamma = \frac{\theta \cdot V}{D} \qquad (3)$$

يمكن القول بأن عدد ڤايسنبرغ هو علاقة قوى المرونة مع قوى اللزوجة

$$We = \frac{\text{قوى المرونة}}{\text{قوى اللزوجة}}$$

بينما يعبر عدد رينولدز عن العلاقة بين قوى العطالة وقوى اللزوجة

$$Re = \frac{\text{قوى العطالة}}{\text{قوى اللزوجة}}$$

يمكن تفسير ظهور الاضطراب المبكر وضياع استقرارية الجريان إلى اختلاف في اتزان جريان قوى اللزوجة وقوى العطالة وقوى المرونة علماً أن هذه القوى منفصلة عن بعضها البعض.

عندما تفقد قوى اللزوجة توازنها يظهر الاضطراب العادي الذي شاهده لأول مرة العالم رينولدز حيث دعي باضطراب العطالة وحققه القانون رينولدز.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \qquad (4)$$

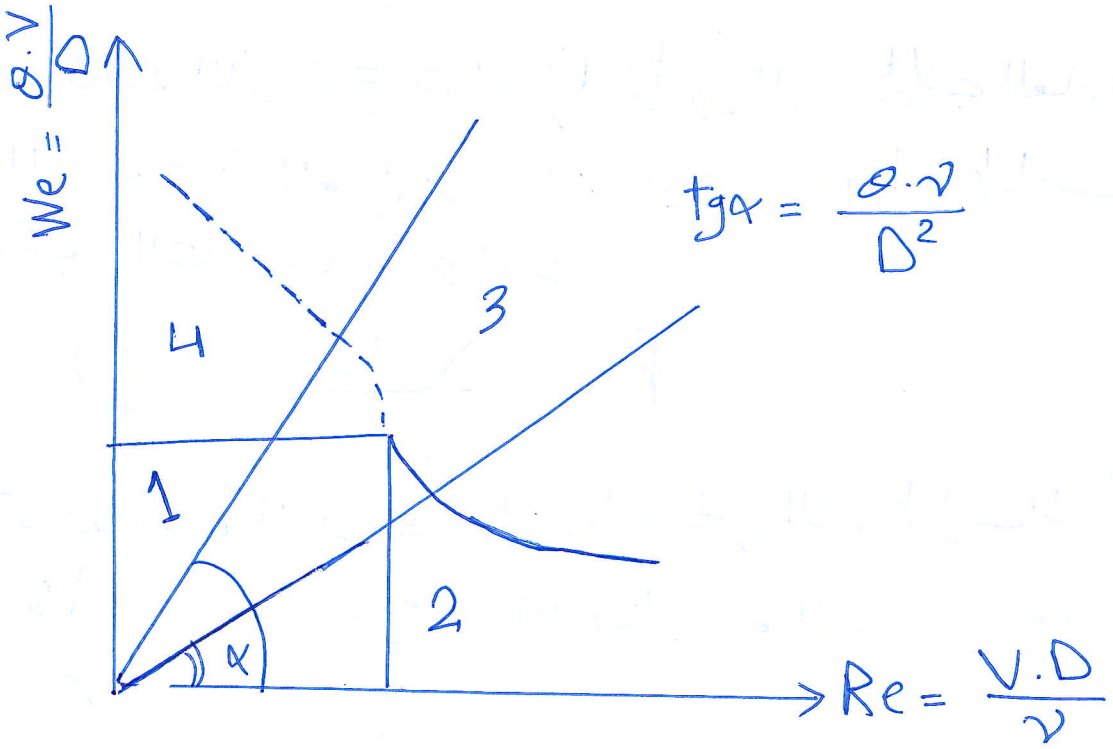
أما عندما تفقد قوى المرونة توازنها فيظهر الاضطراب المبكر الذي شاهده ماخ ينبرغ ويدعى بالاضطراب المرن وحقق قانون ماخ ينبرغ التالي:

$$We = \frac{\sigma \cdot V}{D} \qquad (5)$$

أثبتت التجارب العديدة التي أجريت على البوليميرات المذابة وسوائلها اللزجة أن الاضطراب المرن يحدث عند أعداد رينولدز الصغيرة جداً وظهوره يحدد عن طريق معرفة عدد ماخ ينبرغ الذي تتراوح قيمته بين (10-1)، وهنا يبرز السؤال التالي: ماذا يحدث فيما لو ازدادت كل من قوى المرونة وقوى العطالة، علماً أنه لتحقيق ذلك يكفي فقط أن نزداد سرعة الجريان؟. إن المعطيات التجريبية الموسعة والمتوفرة حتى الوقت الحاضر قد أثبتت أنه بالإضافة إلى اضطراب العطالة واضطراب المرونة يوجد نظام ثالث وذلك عندما تكون قيم قوى العطالة وقوى المرونة كبيرة جداً.

وهذا الاضطراب يدعى الاضطراب المشترك.

من أجل فهم ظهور الأنظمة المختلفة لجريان، ندرس وضع نقاط الجريان في (Re, We)، ونقدم للتبسيط جريان السائل المرن كما في الشكل:



1- جريان صفائحي (خطي)، 2- اضطراب عطالي، 3- اضطراب عطالي - مرن، 4- اضطراب مرن

وهكذا فعند جريان السوائل المرنة يكون هناك أربعة أنظمة للجريان (جريان صفائحي وثلاثة جريانات مضطربة)، وأما حدود هذه الأنظمة في المستوي (Re, We) فيحددها خطان منحنيان يقسمان المستوي إلى أربعة مجالات هي:

1- مجال الجريان الصفائحي: وهو يقابل قيماً صغيرة جداً لكل من (We) و (Re)

2- مجال الاضطراب العطالي عندما تكون قيم Re كبيرة وقيم (We) صغيرة

3- مجال الاضطراب العطالي - المرن: وفيه تكون قيم كل من (We) و (Re) كبيرة

4- مجال الاضطراب المرن: ويقابل القسم الذي تكون فيه قيم (Re) صغيرة وقيم (We) كبيرة.

يمكن الوصول إلى الجريان العطالي - المرن عند زيادة سرعة الجريان وذلك إما بواسطة الاضطراب المرن أو بواسطة الاضطراب العطالي وإمكانية تجسيد ذلك تحددها قيمة المعامل $Z=\frac{\theta \cdot \nu}{D^2}$ الذي يمثل ميل شعاع الجريان في النقطة المدروسة في المستوي (Re,We) وذلك عند زيادة السرعة فإذا كان هذا المعامل (وهو عبارة عن النسبة $Z=\frac{We}{Re}$) كبيراً فيظهر الاضطراب المرن أولاً وبعدها يتم الانتقال إلى الاضطراب العطالي - المرن.

أما عندما تكون قيمة العامل المذكور صغيرة فيظهر أولاً الاضطراب العطالي ومن ثم يتم الانتقال إلى الاضطراب العطالي - المرن وحيث الانتقال إلى الجريان العطالي - المرن المضطرب بسبب ضعف استقرار الجملة أو بسبب نظام الجريان العطالي أو الجريان المرن.

تدل دراسة جريان السوائل المرنة في الأنابيب الدائرية الملساء أنه من أجل أقطار كبيرة (D)، أو لزوجات قليلة (ν) وعند زمن تأخر (θ) قليلاً أي بعبارة أخرى عندما يكون العامل $Z=\frac{\theta \cdot \nu}{D^2}$ صغيراً فإن جزيئات السائل المرن في المجال الهفائي وبداية الجريان المضطرب يطابق تماماً جريان السائل النيوتوني، والانحراف لا يحدث إلا عند ارتفاع بسيط في عدد رينولدز، وهذا الانتقال من الاضطراب العطالي إلى الاضطراب العطالي - المرن يترافق في هذه الحالة

بانخفاض المقاومة الهيدروليكية بالمقارنة مع السائل النيوتوني.

أما إذا كان العامل (Z) كبيراً فإنه في البداية وبعد الجريان الصفائحي يلاحظ ارتفاع بسيط في المقاومة وذلك بسبب الاضطراب المبكر، وهذا ما يشكل الاضطراب المرن مع زيادة السرعة فإن الاضطراب المرن يتحول إلى الاضطراب العطالي - المرن ويظهر انخفاض في المقاومة الهيدروليكية

مكتبة A to Z