สรุปแล้วแมวเป็นของแข็งหรือของเหลวกันแน่

รีโอโลยีของแมว

ประพันธ์โดย
ร็อบ แคมเปล และ แคโรไรน์ มาทิน
แปลโดย รวิศรา วัฒนา

หนังสือการ์ตูนรีโอโลยีเล่ม1

รีโอโลจี (Rheology) คือการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการไหลของสิ่งของหรือวิทยากระแส
(rheo = ไหล, logos = การศึกษา)
ปันตะ เรย์ — ทุกสิ่งล้วนไหล!
ได้รับแรงบัลดาลใจมาจากบทความที่ได้รับรางวัล Ig Nobel Prize ของ M.A. Fardin “On the rheology of cats” (2014)
โดยหนังสือการ์ตูนนี้อธิบายหลักการพื้นฐานของโรโอโลยีด้วยจากการสังเกตุของเหล่าแมว

ได้รับทุนจากกองทุนผู้ผลิตเครือข่ายของสมาคมโรโอโลยีของปี 2023

เรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับรีโอโลยีโดยการสแกนรหัส QR ด้านล่างนี้

หนังสือการ์ตูนนี้ยังมีให้เลือกใช้ใน:

English • 日本語
Ελληνικά • فارسی
العربية • Français
และอีกมากมาย

ขอขอบคุณสมาคมรีโอโลยี หรือ the Society of Rheology, มาร์ค-แอนโทนี ฟาร์ดิน, รวมถึงที่ปรึกษาด้านการศึกษา ได้แก่ วิกทอเรีย รัสเซลและเคลซี่ บริเซลลี่

2023

v1.1

อภิธานศัพท์:

รีโอโลยี - การศึกษาว่าทำไมและทำไมวัสดุจึงเปลี่ยนรูปร่างในสถานการณ์ต่างๆ (โดยเฉพาะวัสดุที่ไม่ใช่ของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซล้วนๆ)

ความเค้น - ปริมาณแรงที่ใช้กับวัสดุ

ความเครียด - ปริมาณที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปร่างไป

ของแข็งยืดหยุ่น - วัสดุที่คงรูปร่างไว้และจะเด้งกลับคืนสู่รูปทรงเดิมหลังจากประสบกับความเค้น

ของแข็งพลาสติก - วัสดุที่คงรูปร่างไว้แต่จะไม่คืนรูปเดิมหลังจากประสบกับความเค้น

จุดความเค้นคราก - ปริมาณความเค้นสูงสุดที่วัสดุยืดหยุ่นสามารถสัมผัสได้ก่อนที่จะกลายเป็นพลาสติก

ของแข็งร้าว - วัสดุที่คงรูปร่างไว้แต่มีรอยแตก ร้าว หรือฉีกขาดออกจากกัน

ของเหลวหนืด - วัสดุที่ไหลและเปลี่ยนแปลงรูปร่างของภาชนะ

ความหนืด - ระดับความหนืดของวัสดุ เป็นตัวชี้วัดความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและอัตราความเครียด ซึ่งจะบอกได้ว่าต้องใช้ความเค้นเท่าไร จึงจะเปลี่ยนความเร็วของของเหลวที่กำลังเคลื่อนที่ได้

อัตราความเครียด - ระดับความเร็วของความเครียดที่เปลี่ยนแปลงไป; ระดับความเร็วของการเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ

สมบัติพลาสติกหนืด - มีพฤติกรรมเหมือนพลาสติกแข็งเมื่อมีความเค้นต่ำ และเหมือนของเหลวหนืดเมื่อมีความเค้นสูง (เช่น โคลน ยาสีฟัน มายองเนส)

ขอบคุณที่เข้ามาอ่าน!

สมบัติยืดหยุ่นหนืด - มีอัตราความเครียดขึ้นอยู่กับระยะเวลา มีพฤติกรรมยืดหยุ่นในระยะเวลาสั้น ๆ มีการไหลแบบหนืดในระยะเวลานาน (เช่น กองเส้นบะหมี่ ซอสมะเขือเทศ)

สมบัติพลาสติกยืดหยุ่น - ของแข็งที่มีความเค้นคราก: ยืดหยุ่นเมื่อมีความเค้นต่ำ พลาสติกเมื่อมีความเค้นสูง (เช่น: เหล็ก)

สมบัติพลาสติกยืดหยุ่นหนืด - เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณของความเครียดและอัตราความเครียด (เช่น ลาวา)

สมบัติค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามอัตราเฉือน - เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นตามอัตราการเฉือนที่เพิ่มขึ้น และความเค้นขนาดใหญ่อาจทำให้เกิดความเครียดเล็กน้อย

สมบัติค่าความหนืดลดลงตามอัตราเฉือน - เมื่อความหนืดลดลงในขณะที่อัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และความเค้นเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเครียดขนาดใหญ่ได้

ทิโซโทรปี - เมื่อความเครียดเดียวกันทำให้เกิดพฤติกรรมที่แตกต่างกันตามเวลา; ผลกระทบจาก "การหน่วงเวลา" หรือ "ความทรงจำ" ที่เกิดจากโครงสร้างภายในของวัสดุ

เอฟเฟกต์ไวเซนเบิร์ก - เมื่อปั่น/กวน วัสดุจะเกาะตามแท่งปั่นแทนที่จะกระจายออกไป

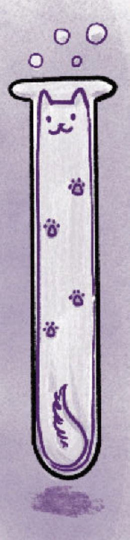
การบวมตัว - เมื่อสิ่งของไหลออกจากหัวแม่พิมพ์หรือภาชนะ สิ่งนั้นจะเกิดการบวมพองขึ้น(ปรากฏการณ์ของการผ่อนคลายความเค้นที่อยู่ในพอลิเมอร์หลอม)

แล้วสรุปแล้ว
แมวคืออะไร?

เราอาจไม่มีวันเข้าใจอย่างถ่องแท้ว่าทำไมแมวถึงมีพฤติกรรมแบบนั้น แต่เรารู้ว่าพวกมันทำตามกฎของพวกมันเอง เช่นเดียวกับวัสดุต่างๆมากมาย

ยังมีอีกหลายสิ่งที่เราไม่เข้าใจเกี่ยวกับวัสดุที่อยู่ระหว่างของแข็งและของเหลว รีโอโลยีแสดงให้เราเห็นว่าพฤติกรรมที่ซับซ้อนเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด และการเปลี่ยนแปลงของสิ่งเหล่านั้นเมื่อเวลาผ่านไป

แต่วัสดุทุกอย่างมีความแตกต่างกันเล็กน้อย เช่นเดียวกับแมวทุกตัว!



แล้วอันไหนละที่คุณชอบ?

แมวเป็นของแข็งหรือของเหลวกันแน่?
อย่างที่รู้กันว่าสามสถานะของสสารคือ

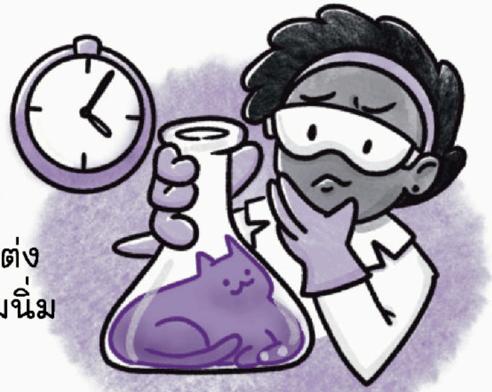
ของแข็งสามารถคงรูป ส่วนของเหลวและแก๊สนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างตามภาชนะที่ใส่

แล้วสสารที่สามารถทำได้ระหว่างสองสิ่งนั้นละ?

เราจะวัดว่าสิ่งใดเป็น “ของแข็ง” หรือ “ของเหลว” อย่างไร เมื่อมันมีพฤติกรรมของทั้งสองสิ่ง?

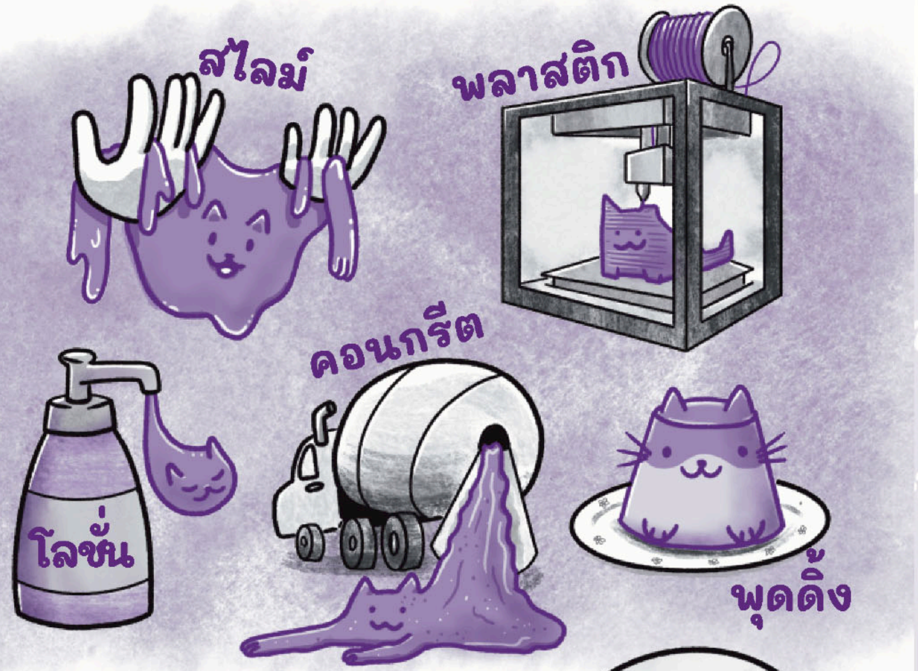
เราสามารถใช้ **รีโอโลยี** ได้!

รีโอโลยีหรือวิทยากระแสคือการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการไหลของสสาร



นักวิทยาศาสตร์รีโอโลยีศึกษาว่าสิ่งใดเป็น "ของแข็ง"หรือ"ของเหลว" และใช้ข้อมูลนั้นเพื่อปรับแต่งวัสดุที่มีคุณสมบัติเนื้อที่นุ่มนิ่มเป็นพิเศษ!

สิ่งอย่างเช่น



นักวิทยาศาสตร์รีโอโลยีวัดการทำงานของวัสดุตามกาลเวลาโดยดูที่**ความเค้น**และ**ความเครียด**

โดยปกติแล้วเมื่อคุณปั่นของเหลวอย่างรวดเร็ว มันจะกระจายออกไปทุกทิศทาง (เช่น ไข่ในเครื่องผสม) แต่วัสดุบางอย่างจะติดหนึบอยู่กับเครื่องปั่น อย่างเช่นแมว และอาจถึงขั้นปีนขึ้นไปด้วย!

สิ่งนี้เรียกว่า

เอฟเฟกต์ไวเซนเบิร์ก

ลองนึกภาพน้ำไหลออกจากก๊อกน้ำ ขณะเดียวกันของเหลวบางอย่างที่มีสมบัติยืดหยุ่นหนืด จะเปลี่ยนขนาด และจะขยายตัวใหญ่ขึ้นทันทีเมื่อออกจากภาชนะ

สิ่งนี้เรียกว่า

การบวมตัว

หากคุณใช้ความเค้นแบบเดิมในอัตราเท่าเดิมเป็นเวลานาน บางครั้งพฤติกรรมของแมวก็เปลี่ยนไป! เหมือนมีการหน่วงเวลาในขณะที่แมวตัดสินใจว่าจะตอบสนองต่อความเค้นอย่างไร

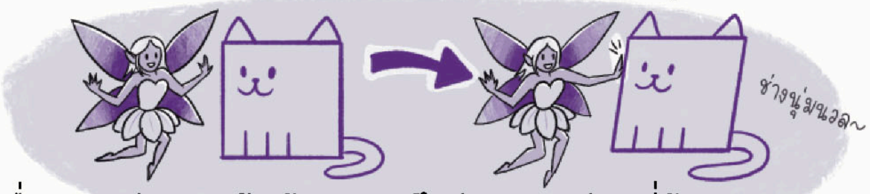
เมื่อวัสดุมีพฤติกรรมที่ขึ้นอยู่กับเวลาเช่นนี้ เราเรียกมันว่า **ทิโซโทรปี**

ทิโซโทรปีมักเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างภายในวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา

ลองจินตนาการถึงฮีโร่ตัวใหญ่ยักษ์พยายามจะลูบแมว

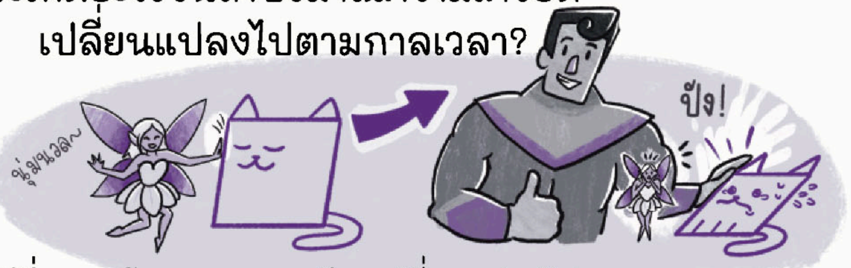
แรงของการลูบนั้นเรียกว่า**ความเค้น** แมวที่ถูกลูบจับบีบ(การเปลี่ยนรูปร่างของมัน)เรียกว่า**ความเครียด** แรงความเค้นที่มากจะทำให้เกิดความเครียดที่มากด้วย

ลองนึกภาพนางฟ้าตัวน้อยพยายามลูบแมว



เนื่องจากมีความเค้นน้อยมาก จึงมีความเครียดที่น้อยมากในแมว แรงเค้นเล็กน้อยจะทำให้เกิดความเครียดเพียงแค่เล็กน้อย

จะเกิดอะไรขึ้นถ้าปริมาณความเครียดเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา?



วิธีที่ความเค้นและความเครียดเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา และการที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว หรือช้าๆนั้น ล้วนเป็นสิ่งสำคัญในรีโอโลจี

โดยปกติแล้วความเค้นและความเครียดจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน— ยิ่งมีความเค้นมาก ความเครียดก็มากขึ้นด้วย—แต่ไม่ใช่ทุกครั้งเสมอไป! เดี๋ยวจะมาอธิบายเพิ่มเติมนะ

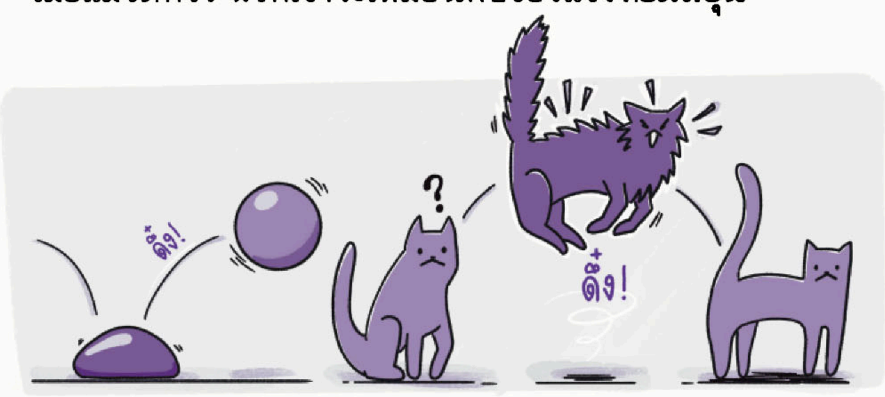
แล้วมันเกี่ยวข้องกับของแข็งและของเหลวอย่างไรละ??

เรามาเริ่มต้นกับของแข็งกันก่อน ในช่วงเวลาสั้นๆ แมวจะมีพฤติกรรมเหมือนของแข็ง

ซึ่งสามารถเป็น:

ยืดหยุ่น พลาสติก แตกร้าว

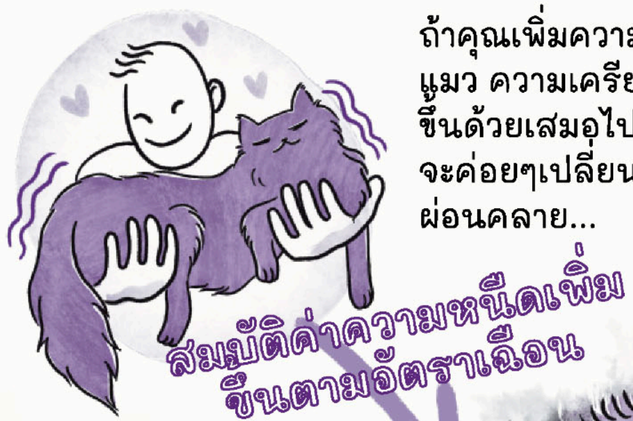
เมื่อแมวตกใจ พวกเขาจะเหมือนกับของแข็งที่**ยืดหยุ่น**



เช่นเดียวกับลูกบอลยาง แมวจะ “เด้งกลับ” กลับสู่รูปร่างเดิมหลังจากประสบกับความเค้นและความเครียด

ความสามารถในการคืนรูปเดิมนั้นเรียกว่า “ความยืดหยุ่น”

บางครั้งความเค้นก็ไม่ได้แปรผันตามความเครียด



ถ้าคุณเพิ่มความเค้นให้กับแมว ความเครียดจะไม่ได้เพิ่มขึ้นด้วยเสมอไป แต่ว่าแมวจะค่อยๆเปลี่ยนจากสภาวะผ่อนคลาย...

...แล้วจู่ๆก็แข็งทื่อและพร้อมที่จะจู่โจม! ความหนืดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และความเค้นขนาดใหญ่ทำให้เกิดความเครียดเล็กน้อย เรียกว่า**สมบัติค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามอัตราเฉือน**

แต่การใช้ความเค้นหรือการสัมผัส สามารถช่วยให้แมวเปลี่ยนจากตัวแข็งทื่อไปเป็นชิลแบบสุดๆได้...

ความหนืดของมันจะลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และความเค้นเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเครียดมาก เรียกว่า **สมบัติค่าความหนืดลดลงตามอัตราเฉือน**

สิ่งต่างๆ มากมายมีทั้งพฤติกรรมยืดหยุ่น พลาสติก และความหนืด เช่นเดียวกับแมว

สมบัติพลาสติกหนืด

ของแข็งพลาสติกเมื่อมีความเค้นต่ำ และของเหลวหนืดเมื่อมีความเค้นสูง

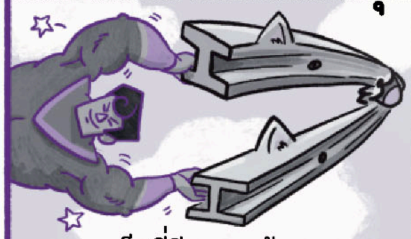
(เช่น โคลน ยาสีฟัน มายองเนส)

สมบัติยืดหยุ่นหนืด

อัตราความเครียดขึ้นอยู่กับเวลา: พฤติกรรมยืดหยุ่นในช่วงเวลาสั้นๆ การไหลแบบหนืดในช่วงเวลานาน

(เช่น กองเส้นบะหมี่ ซอสมะเขือเทศ)

สมบัติพลาสติกยืดหยุ่น



ของแข็งที่มีความเค้นคราก: ยืดหยุ่นเมื่อมีความเค้นต่ำ พลาสติกเมื่อมีความเค้นสูง

(เช่น เหล็ก)

สมบัติพลาสติกยืดหยุ่นหนืด

พฤติกรรมจะขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณของความเครียดและอัตราความเครียด

(เช่น ลาวา)

พฤติกรรมของสิ่งเหล่านั้นขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างความเค้นและความเครียด ดังนั้นสิ่งเหล่านั้นจึงทำสิ่งที่ดูเหมือนไม่คาดคิดและคาดเดาไม่ได้!

ของแข็งบางชนิด เช่น ดินเหนียวจะไม่เด้งกลับ

แต่ทว่าความเค้นในของแข็ง**พลาสติก**นั้นจะยืดหรือบีบอัดดินเหนียว ดินเหนียวจะคงรูปอยู่อย่างนั้นจนกว่าจะได้รับความเค้นใหม่

ความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่างนี้เรียกว่า "ความเป็นพลาสติก"

แมวเริ่มจากความยืดหยุ่นจนกระทั่งถึง**จุดความเค้นคราก** ซึ่งเป็นปริมาณหรืออัตราของความเค้นที่ทำให้พวกเขาหยุดเด้งกลับและกลายเป็นพลาสติก

แต่ถ้าคุณใช้ความเค้นมากเกินไปกับของแข็งใดๆ...

...ในที่สุดมันก็จะ**แตกหัก**

เมื่อเวลาผ่านไป แมวจะมีพฤติกรรม
เหมือนของเหลวโดยที่มีรูปร่าง
เปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะ

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ
แล้ว แมว**หนืด**มากกว่า
— พวกมันหนาแน่น
กว่าเล็กน้อย

มันมี**ความหนืด**สูงกว่า
และไหลช้ากว่าดังเช่นน้ำ
ผึ้งหรือกากน้ำตาล

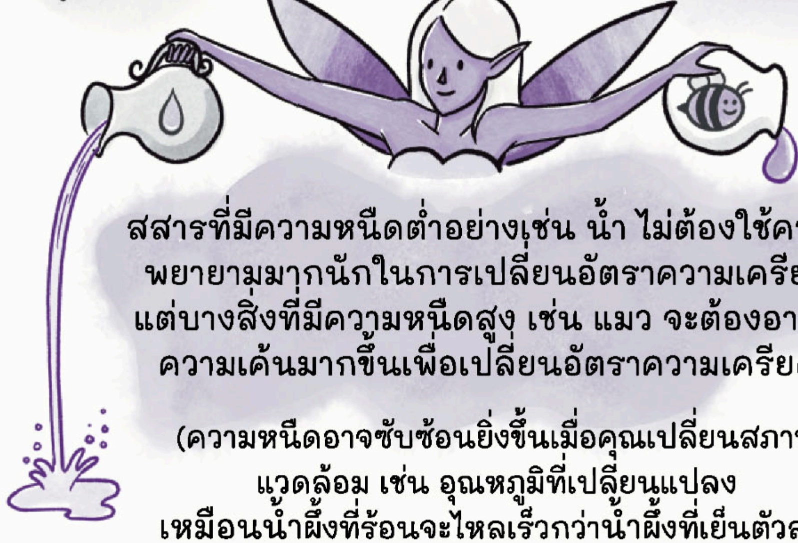
ของเหลวที่มีความหนืดต่ำ
จะเบาบางกว่า และไหลได้
เร็วเหมือนน้ำหรือนม

แล้วเราจะดูความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและ
ความเครียดในของเหลวได้อย่างไร? มันเป็นเรื่องยาก!

ของเหลวมีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอ
ดังนั้นปริมาณความเครียดจึง
เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ

แต่เราสามารถดูว่า
ความเครียดเปลี่ยนแปลงไป
เร็วแค่ไหน ของเหลวเปลี่ยนรูปร่างได้เร็วแค่
ไหน? นี่เรียกว่า**อัตราความเครียด**

ความหนืดบอกเราถึงความสัมพันธ์
ระหว่างความเค้นและ
อัตราความเครียด ซึ่ง
นี่บอกเราว่าความเค้น
เท่าใดคุณจะต้องใช้
เพื่อเปลี่ยนความเร็ว
ของของเหลวที่กำลัง
เคลื่อนที่



สสารที่มีความหนืดต่ำอย่างเช่น น้ำ ไม่ต้องใช้ความ
พยายามมากนักในการเปลี่ยนอัตราความเครียด
แต่บางสิ่งที่มีความหนืดสูง เช่น แมว จะต้องอาศัย
ความเค้นมากขึ้นเพื่อเปลี่ยนอัตราความเครียด

(ความหนืดอาจซับซ้อนยิ่งขึ้นเมื่อคุณเปลี่ยนสภาพ
แวดล้อม เช่น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง
เหมือนน้ำผึ้งที่ร้อนจะไหลเร็วกว่าน้ำผึ้งที่เย็นตัวลง)