

หนังสือการ์ตูนโรโอโลยีเล่ม 1

โรโอโลจี (Rheology) คือการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการไหลของสิ่งของหรือวิทยากระแส (rheo = ไหล, logos = การศึกษา) ป็นตะ เรย์ — ทุกสิ่งล้วนไหล! ได้รับแรงบันดาลใจมาจากบทความที่ได้รับรางวัล Ig Nobel Prize ของ M.A. Fardin “On the rheology of cats” (2014) โดยหนังสือการ์ตูนนี้อธิบายหลักการพื้นฐานของโรโอโลยีด้วยการสังเกตของเหล่าแมว



ได้รับทุนจากกองทุนผู้ผลิตเคโรโอขายของ  
สมาคมโรโอโลยีของปี 2023



เรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับโรโอโลยีโดยการสแกนรหัส  
QR ด้านล่างนี้

หนังสือการ์ตูนนี้ยังมีให้เลือกใช้ใน:

English • 日本語

Ελληνικά • فارسی

العربية • Français

และอีกมากมาย



สรุปแล้วแมวเป็นของแข็งหรือของเหลว  
กันแน่



# โรโอโลยีของ



ประพันธ์โดย  
ร็อบ แคมเปิล และ เคโรโรโน่ มาทิน  
แปลโดย รัตรา วัฒนา



## อภิธานศัพท์:

**ริโอดิอีย์** - การศึกษาภาษาที่ไม่และทำไม่วิสต์จึงเปลี่ยนรูปสร้างในสถาบันการันตู่ต่าง ๆ (โดยเฉพะาวิสต์ที่ไม่ใช่ของแข็ง ของเหลว หรืออากาซึลวาม)

**ความเค้น** - ปริมาณแรงที่ใช้กับวัสดุ

**ความเครียด** - ปริมาณที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปสร้างไป

**ของแข็งยืดหยุ่น** - วัสดุที่คงรูปสร้างไว้และจะกลับคืนสู่รูปทรงเดิมหลังจากประสบกับความเค้น

**ของแข็งพลาสติก** - วัสดุที่คงรูปสร้างไว้แต่จะไม่คืนรูปเดิมหลังจากประสบกับความเค้น

**จุดความเค้นคราก** - ปริมาณความเค้นสูงสุดที่วัสดุยืดหยุ่นสามารถสัมผัสได้ก่อนที่จะกลายเป็นพลาสติก

**ของแข็งร้าว** - วัสดุที่คงรูปสร้างไว้แต่มีรอยแตก ร้าว หรือฉีกขาดออกจากกัน

**ของเหลวหนืด** - วัสดุที่ไหลและเปลี่ยนแปลงรูปสร้างของภาชนะ

**ความหนืด** - ระดับความหนืดของวัสดุเป็นตัววัดความฉืดพบนธ์ระหว่างความเค้นและอัตราความเครียด ซึ่งจะบอกได้ว่าต้องใช้ความเค้นเท่าไร จึงจะเปลี่ยนความเร็วของของเหลวที่กำลังเคลื่อนที่ใด

**อัตราความเครียด** - ระดับเปลี่ยนเร็วของความเครียดที่เปลี่ยนแปลงไป ระดับความเร็วของการเคลื่อนที่และกาปรับเปลี่ยนแปลงรูปสร้างของวัสดุ

**สมบัติพลาสติกหนืด** - มีพฤติกรรมเหมือนพลาสติกแข็งเมื่อมีความเค้นต่ำ และเหมือนของเหลวหนืดเมื่อมีความเค้นสูง (เช่น โคลน ยาสีฟัน มายองเนส)

## ขอขอบคุณที่เข้ามาอ่าน!



**สมบัติยืดหยุ่นหนืด** - มีอัตราความเครียดขึ้นอยู่กัระยะเวลาที่มีพฤติกรรมยืดหยุ่นในระยะเวลาสั้น ๆ มีการไหลแบบพหุนัดในระยะเวลาสั้น (เช่น กอถงเส้นประหมี่ ซอสมะเขือเทศ)

**สมบัติพลาสติกยืดหยุ่น** - ของแข็งที่มีความเค้นคราก: ยืดหยุ่นเมื่อมีความเค้นต่ำ พลาสติกเมื่อมีความเค้นสูง (เช่น: เหล็ก)

**สมบัติพลาสติกยืดหยุ่นหนืด** - เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมขึ้นอยู่กัทั้งปริมาณของความเครียดและอัตราความเครียด (เช่น ลาวา)

**สมบัติค่าความหนืดเพิ่มขึ้นตามอัตราเฉอน** - เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นตามอัตราการเฉอนที่เพิ่มขึ้น และความเค้นหนืดใช้บอจากาให้เกิดความเครียดเลกาน้อย

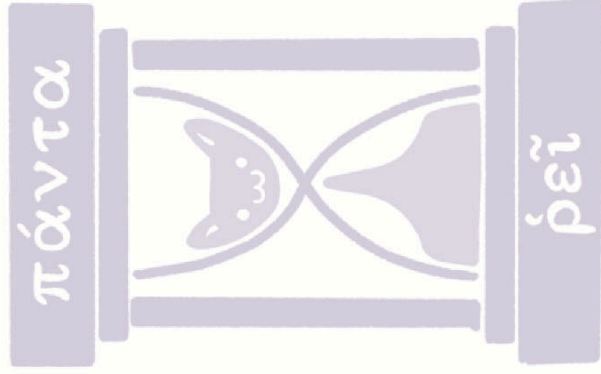
**สมบัติค่าความหนืดลดลงตามอัตราเฉอน** - เมื่อความหนืดลดลงในขณะที่อยู่อัตราเฉอนเพิ่มขึ้น และความเค้นเลกาน้อยจากาทำให้เกิดความเครียดขนาดใหญได้

**พิโซโทรปี** - เมื่อความเครียดได้ยากันทำาให้เกิดพฤติกรรมที่แตกต่างกันตามเวลา; ผลกระทบจาก "การชนวงเวลา" หรือ "ความทรงจำ" ที่เกิดจากาโครงสร้างภายในของวัสดุ

**เอฟเฟกต์ไวเซนเบิร์ก** - เมื่อป้อนกวาง วัสดุจะเกาะตามแม่ทงไปบนแทนที่จะกระจายออกไป

**การวมตัว** - เมื่อสิ่งของไหลออกจากพื้นผิวหรือภาชนะ ลิงนั้นจะเกิดการรวมของขึ้น(ปรากฏการณ์ของการผสมผสานความเค้นที่อยู่บนพอลิเมอร์หลอม)

ขอขอบคุณสมาคมริโอดิอีย์ หรือ the Society of Rheology, มาร์ค-แอนโทนี่ ฟาร์ดิน, รวมถึงที่ปรึกษาด้านการศึกษา ได้แก่ ริกทอเรีย รุสเซลและเคลลี บริเชลลี



2023

v1.1



แล้วสรุปแล้ว  
แมวคืออะไร?

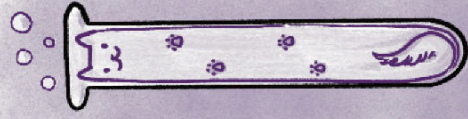
ชาวอียิปต์โบราณคิดว่า  
แมวมีพลังศักดิ์สิทธิ์!

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม!  
ผู้ที่กินหญ้า  
อาณาจักรแห่งเทพ  
และวิญญาณใน  
ประเพณีเชล  
ติก!

สัตว์ตัวที่ 4  
ในราศีของ  
เวียตนาม!



เราอาจไม่สนใจอย่างถ่องแท้ว่าทำไมแมวถึงมีพฤติกรรม  
แบบนั้น แต่เรารู้ว่าพวกมันทำตามกฎของพวกมันเอง เช่น  
เดียวกับสัตว์ต่าง ๆ มากมาย



ยังมีอีกหลายสิ่งที่เราไม่เข้าใจเกี่ยวกับ  
กับวิสัยที่อยู่ระหว่างของแข็งและ  
ของเหลว ริโอโลยีแสดงให้เห็น  
ให้เห็นว่าพฤติกรรมที่ซับซ้อนเหล่านี้  
ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง  
ความเค้นและความเครียด และมีการ  
เปลี่ยนแปลงของสิ่งเหล่านี้เมื่อ  
เวลาผ่านไป

แต่วิสัยทุกอย่างมีความแตกต่างกัน  
เล็กน้อย เช่นเดียวกับแมวทุกตัว!

**แล้วอันไหนล่ะที่คุณชอบ?**



แมวเป็นของแข็งหรือของเหลวกันแน่?  
อย่างไรก็รู้กันว่าสถานะของสสารคือ

ของแข็ง



ของเหลว



แก๊ส



ของแข็งสามารถคงรูป ส่วนของเหลวและแก๊สนั้นสามารถ  
เปลี่ยนแปลงรูปร่างตามภาชนะที่ใส่

แล้วสสารที่สามารถทำได้ระ  
หว่างสองสิ่งนั้นล่ะ?

เราจะคิดว่าสิ่งใดเป็น “ของแข็ง”  
หรือ “ของเหลว” อย่างไร  
เมื่อมันมีพฤติกรรมของ  
ทั้งสองสิ่ง?

เราสามารถใช่  
**ริโอโลยี**  
ได้!





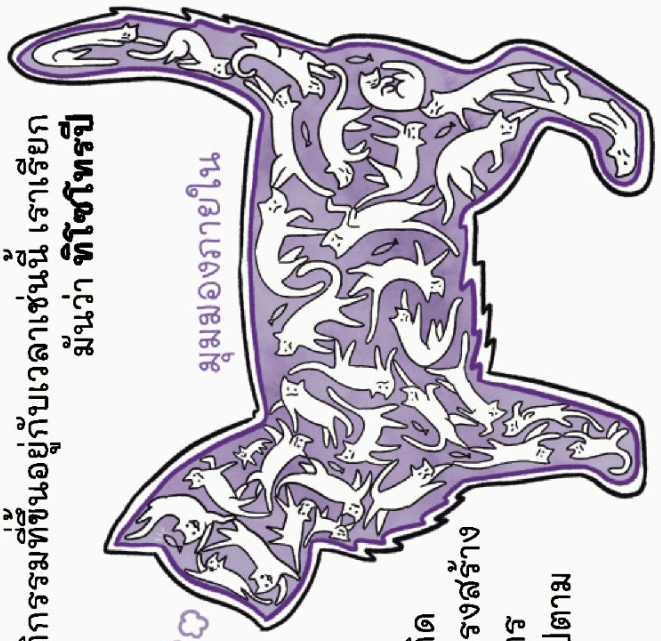




หากคุณใช้ความเค้นแบบเดิมในอัตราเท่าเดิมเป็นเวลานาน บางครั้งพฤติกรรมของแมวก็เปลี่ยนไป! เหมือนมี การห้วงเวลาในขณะที่แมวตัดสินใจว่าจะตอบสนองต่อ ความเค้นอย่างไร



เมื่อวัสดุมีพฤติกรรมที่ขึ้นอยู่กัเวลาเช่นนี้ เราเรียกมันว่า **ทีไซโทรปี**



ทีไซโทรปีมักเกิดขึ้นเนื่องจากโครงสร้างภายในวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา

ลองจินตนาการถึงฮีโร่ตัวใหญ่ยักษ์พยายาม



แรงของการลูบนั้นเรียกว่า**ความเค้น** แมวที่ถูกลูบจับบีบ(การเปลี่ยนแปลงของมัน)เรียกว่า**ความเครียด** แรงความเค้นที่มากเกินไปทำให้เกิดความเครียดที่มากด้วย

ลองนึกภาพนางฟ้าตัวน้อยพยายามลูบแมว



เนื่องจากมีความเค้นน้อยมาก จึงมีความเครียดที่น้อยมากในแมว แรงเค้นเล็กน้อยจะทำให้เกิดความเครียดเพียงแค่อะเล็กน้อย

จะเกิดอะไรขึ้นถ้าปริมาณความเครียด

เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา?



วิธีที่ความเค้นและความเครียดเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา และการที่กิตติชนอย่างรวดเร็ว หรือช้าๆนั้น ล้วนเป็นสิ่งสำคัญในรีโอโลยี โดยปกติแล้วความเค้นและความเครียดจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน— ยิ่งมีความเค้นมาก ความเครียดก็มากขึ้นด้วย—แต่ไม่ใช่ทุกครั้งเสมอไป! เดียวจะขยายเพิ่มเติมนะ



แล้วมันเกี่ยวข้องกับของแข็งและของเหลวอย่างไรละ??

เรามาเริ่มต้นกับของแข็งกันก่อน ในช่วงเวลานี้  
สั้นๆ แมวจะมีพฤติกรรมเหมือนของแข็ง

ซึ่งสามารถเป็น:

# ยึดหยุ่น แข็งแรง บดขี้หนู

เมื่อแมวตกใจ พวกเขาจะเหมือนกับของแข็งที่**ยึดหยุ่น**



เช่นเดียวกับลูกบอลยาง แมวจะ “ดิ่งกลับ” กลับสู่รูปร่างเดิมหลังจากประสบกับความเค้นและความเครียด

ความสามารถในการคืนรูปร่างนั้นเรียกว่า “ความยืดหยุ่น”



บางครั้งความเค้นก็ไม่ได้แปรผันตามความเครียด

ถ้าคุณเพิ่มความเค้นให้กับแมว ความเครียดจะไม่เพิ่มขึ้นด้วยเสมอไป แต่ทว่าแมวจะค่อยๆเปลี่ยนจากสภาวะผ่อนคลาย...



สัมพันธ์กับความเครียดเพิ่มขึ้น  
ขึ้นอยู่กับอัตราและอื่น ๆ

โหมดใจทีเดียว!!

...แล้วจู่ๆก็แข็งท้อและพร้อมที่จะจู่โจม! ความเครียดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเพิ่มขึ้น และความเร็วขนาดใหญ่ทำให้เกิดความเครียดเล็กน้อย เรียกว่า**สัมพันธ์ความเค้นเพิ่มขึ้นตามอัตราเงิน**



แต่การใช้ความเค้นหรือการสัมผัสสามารถช่วยให้แมวเปลี่ยนจากตัวแข็งท้อไปเป็นซิลแบบบอบสุดได้...



ความเหน็ดของแมวจะลดลงเมื่ออัตราเงินเพิ่มขึ้น และความเค้นเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเครียดมาก เรียกว่า**สัมพันธ์ความเหน็ดลดลงตามอัตราเงิน**



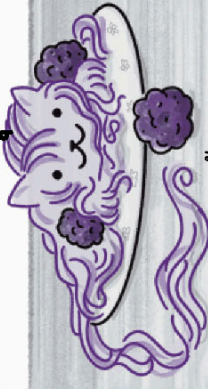
สิ่งต่างๆ มากมายมีทั้งพฤติกรรมยืดหยุ่น พลลลลติก และ ความเหน็ด เช่นเดียวกับแมว

**สมบัติพลลลลติกเหน็ด**



ของแข็งพลลลลติกเมื่อมีความเค้น ตัก และของเหลวเหน็ดเมื่อมีความเค้นสูง (เช่น โคลน ยกลิ้น มายองเนส)

**สมบัติยืดหยุ่นเหน็ด**



อัตราความเครียดขึ้นอยู่กับเวลา พฤติกรรมยืดหยุ่นในช่วงเวลาสั้นๆ การไหลแบบบัพเหน็ดในช่วงเวลานาน (เช่น กองเส้นเบะหมี่ ซอลมะเจือเทศ)

**สมบัติพลลลลติกยืดหยุ่น**



ของแข็งที่มีความเค้นแตกหัก: ยืดหยุ่นเมื่อมีความเค้นต่ำ พลลลลติกเมื่อมีความเค้นสูง (เช่น เหล็ก)

**สมบัติพลลลลติกยืดหยุ่นเหน็ด**



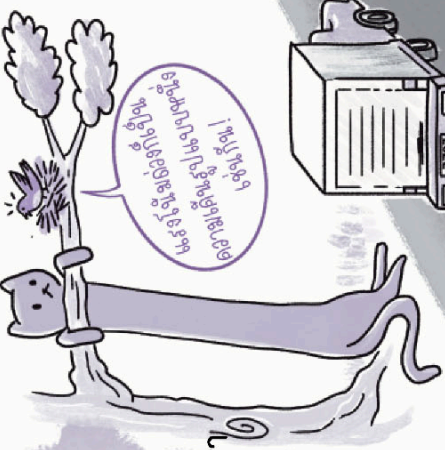
พฤติกรรมจะขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณของความเค้นและความเค้นแตกหัก (เช่น ลาวา)



พฤติกรรมของสิ่งเหล่านั้นขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างความเค้นและความเค้นแตกหัก ดังนั้นสิ่งเหล่านี้มันจึงทำสิ่งที่คุณเหมือนไม่ได้คิดและคาดเดาไม่ได้!



ของแข็งบางชนิด เช่น ดินเหนียวจะไม่แตงกลับ แต่ทว่าความเค้นในของแข็ง **พลลลลติก**นั้นจะยืดหรือบีบอัดดินเหนียว ดินเหนียวจะคงรูปอยู่อย่างนั้นจนกว่าจะได้รับความเค้นใหม่ ความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่างนี้เรียกว่า “ความเป็นพลลลลติก”



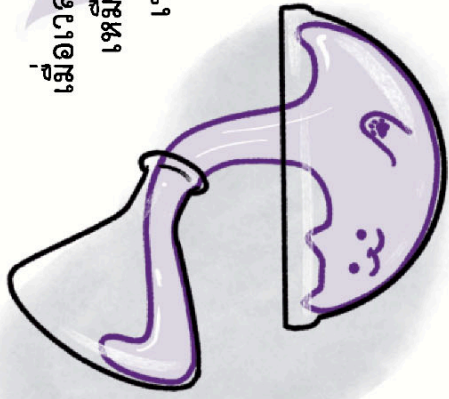
แมวเริ่มจากความยืดหยุ่นจนกระทั่งถึง **จุดความเค้นแตกหัก** ซึ่งเป็นปริมาณหรืออัตราของความเค้นที่ทำให้พวกเขาหยุดแตงกลับ และกลายเป็นพลลลลติก

แต่ถ้าคุณใช้ความเค้นมากเกินไปกับของแข็งใดๆ...



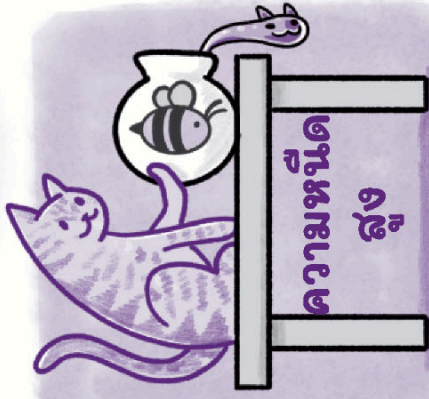
...ในที่สุดมันก็จะแตกหัก





เมื่อเวลาผ่านไป แมวจะมีพฤติกรรมเหมือนของเหลวโดยที่มีรูปร่างเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะ

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำแล้ว แมวหนักมากกว่า — พวกมันหนาแน่นกว่าเล็กน้อย



ของเหลวที่มีความหนืดต่ำจะเบาบางกว่า และไหลได้เร็วเหมือนน้ำหรือนม

แล้วเราจะดูความหนืดระหว่างความเค็มและน้ำตาลเคี้ยวได้ในของเหลวได้อย่างไร? มันเป็นเรื่องยาก!



ความหนืดบอกเราถึงความลึ้มพันธ์

ระหว่างความเค็มและอัตราความเคี้ยว ซึ่งนี่บอกเราว่าความเค็มเท่าใดคุณจะต้องใช้เพื่อเปลี่ยนความเร็วของของเหลวที่กำลังเคลื่อนที่



สสารที่มีความหนืดต่ำอย่างเช่น น้ำ ไม่ต้องใช้ความพยายามมากนักในการเปลี่ยนอัตราความเคี้ยว แต่บางสิ่งที่มีความหนืดสูง เช่น แมว จะต้องอาศัยความเค็มมากขึ้นเพื่อเปลี่ยนอัตราความเคี้ยว

(ความหนืดอาจซับซ้อนยิ่งขึ้นเมื่อคุณเปลี่ยนสภาพน้ำตาลเคี้ยว เช่น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงเหมือนน้ำผึ้งที่ร้อนจะไหลเร็วกว่าน้ำผึ้งที่เย็นตัวลง)

ของเหลวมีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอ ดังนั้นปริมาณความเคี้ยวจึงเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ



แต่เราสามารถดูว่าความเคี้ยวเปลี่ยนแปลงไปเร็วแค่ไหน ของเหลวเปลี่ยนรูปร่างได้เร็วแค่ไหน? นี่เรียกว่า**อัตราความเคี้ยว**