

สรุปแล้วแมวเป็นของแข็งหรือของเหลว  
กันแน่



# ร์โวโลยีของ

# แมว



ประพันธ์โดย  
รีอบ แคมเบล และ แคร์ไรน์ มาทิน  
แปลโดย ร่วิศรา วัฒนา

ขอขอบคุณสมาคมรีโอลอยี หรือ the Society of Rheology,  
มาเร็ค-แอนโทนี พาร์ดิน, รวมถึงที่ปรึกษาด้านการศึกษา ได้แก่  
วิกาทองเรีย รัลสเซลและเคลซี บริเซลลี

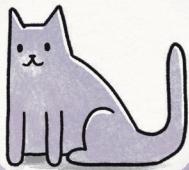


2023

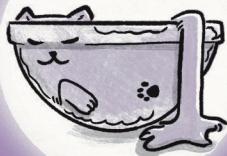
v1.1

แมวเป็นของแข็งหรือของเหลวกันแน่?  
อย่างที่รู้กันว่าสามสถานะของสารคือ

ของแข็ง



ของเหลว



แก๊ส



ของแข็งสามารถคงรูป ส่วนของเหลวและแก๊สนั้นสามารถเปลี่ยนแปลงรูปร่างตาม vazanah ที่ໄล່

แล้วสสารที่สามารถทำได้จะ  
ห่วงสองลิงนั้นละ?

เราจะวัดว่าลิงได้เป็น “ของแข็ง”  
หรือ “ของเหลว” อย่างไร  
เมื่อมันมีพฤติกรรมของ  
ทั้งสองลิง?

เราสามารถใช้  
**รีโอลาย**  
ได้!

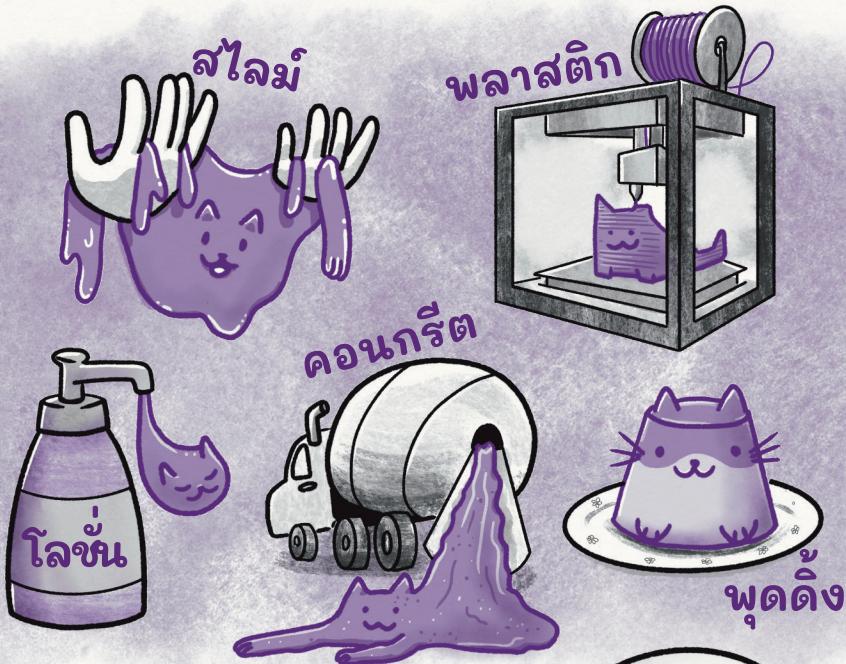


รีโอโลยีหรือวิทยาการและศึกษาด้านภาษาเกี่ยวกับวิธีการให้ผลของสาร

นักวิทยาศาสตร์รีโอโลยีศึกษาว่าสิ่งใดเป็น

“ของแข็ง” หรือ “ของเหลว”  
และใช้ข้อมูลนั้นเพื่อปรับแต่ง  
วัสดุที่มีคุณสมบัติเนื้อที่นุ่มนิ่ม<sup>เป็นพิเศษ!</sup>

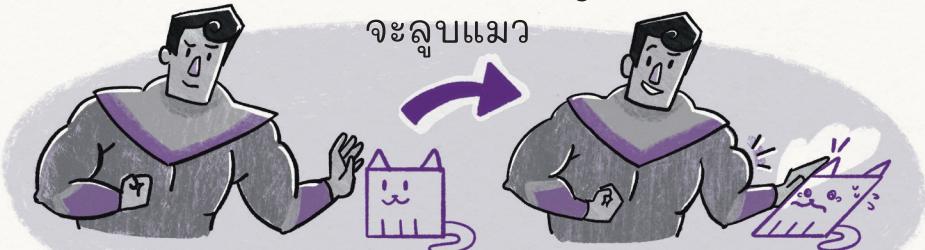
สิ่งอย่างเช่น



นักวิทยาศาสตร์รีโอโลยีวัดการ  
ทำงานของวัสดุตามกาลเวลาโดยดู  
ที่ความเด่นและความเครียด

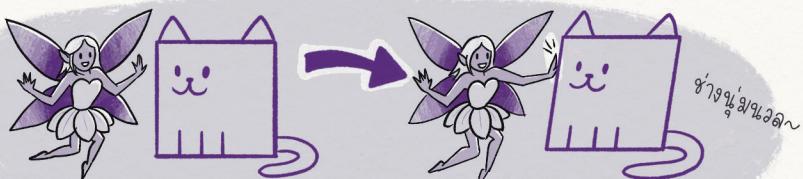
นี่คือวิธีการ  
ว่าอย่างไร

## ลองจินตนาการถึงฮีโร่ตัวใหญ่ยักษ์พยาบาล



เรื่องของการลุบนั้นเรียกว่าความเด็น เมว่าที่ถูกลุบจับบีบ(การเปลี่ยนรูปร่างของมัน)เรียกว่าความเครียด แรงความเด็นที่มากจะทำให้เกิดความเครียดที่มากด้วย

## ลองนึกภาพนางฟ้าตัวน้อยอยพยาบาลลุบเมว



เนื่องจากมีความเด็นน้อยมาก จึงมีความเครียดที่น้อยมากในเมว่า แรงเด็นเล็กน้อยจะทำให้เกิดความเครียดเพียงแค่เล็กน้อย จะเกิดอะไรขึ้นถ้าปริมาณความเครียดเปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลา?

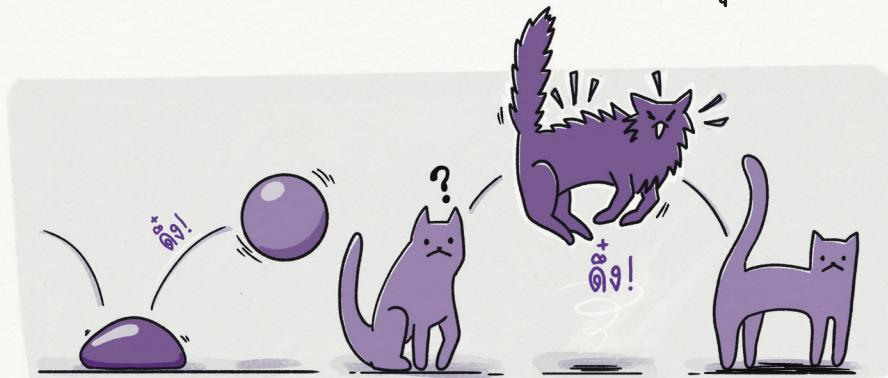
แล้วมันเกี่ยวข้องกับของแข็งและของเหลวอย่างไรล่ะ??

เรามาเริ่มต้นกับของแข็งกันก่อน ในช่วงเวลา  
สั้นๆ แมวจะมีพฤติกรรมเหมือนของแข็ง  
ซึ่งสามารถเป็น:



# ยืดหยุ่น พลางตัว แกร่ง กระหึ่ม

เมื่อแมวตกใจ พวากเข้าจะเหมือนกับของแข็งที่ยืดหยุ่น



เช่นเดียวกับลูกบอลงยาง แมวจะ “เต็งกลับ” กลับสู่รูป  
ร่างเดิมหลังจากประสบภัย  
ความเด็นและความเครียด



ความสามารถในการดึง  
รูปเดิมนั้นเรียกว่า  
“ความยืดหยุ่น”



ของแข็งบางชนิด เช่น ดินเหนียวจะ  
ไม่เด้งกลับ

แต่ทว่าความเด็นในของแข็ง  
พลาสติกนั้นจะยึดหรือบีบอัดดิน  
เข็นี่ยา ดินเห็นี่ยาจะคงรูปอยู่อย่าง  
นั้นจนกว่าจะได้รับความเด็นใหม่  
ความสามารถในการเปลี่ยนรูปร่าง  
นี้เรียกว่า “ความเป็นพลาสติก”

แม้วเริ่มจากความ  
ยืดหยุ่นจนกระแท้ถึง<sup>ทั้งถึง</sup>  
จุดความเด่นคราก  
ซึ่งเป็นปริมาณหรืออัตรา<sup>ๆ</sup>  
ของความเด่นที่ทำให้  
พวกราคาขายเป็นพลาสติก  
และกลับ



ແຕ່ລັດຖະບານໃຊ້ຄວາມເດືອນນາກເກີນ  
ໄປກັບຂອງເຂົ້າ...



...ໃນທີ່ສຸດມັນກົງຈະແຕກໜັກ



เมื่อเวลาผ่านไป แมวจะมีพัฒนาระบบ  
เหมือนของเหลวโดยที่มีรูปร่าง  
เปลี่ยนแปลงไปตามภาระ

เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำ  
แล้ว แมวนี้ดีมากกว่า  
— พวกลมหายใจแน่น  
กว่าเล็กน้อย



ของเหลวที่มีความหนึ่ดต่ำ  
จะเบาบางกว่า และไหลได้  
เร็วเมื่อน้ำหรือลม



มันมีความหนึ่ดสูงกว่า  
และไหลช้ากว่าดังเช่นน้ำ  
ผึ้งหรือการน้ำตาล

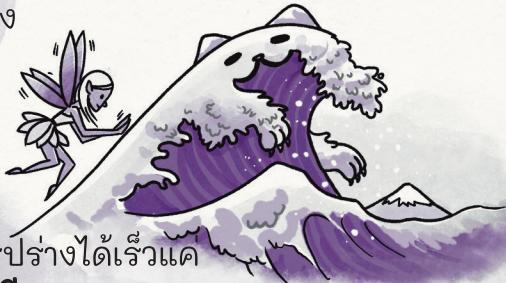


ความหนึ่ด  
ต่ำ

แล้วเราจะดูความลึกพื้นที่ระหว่างความเด็นและ  
ความเครียดในของเหลวได้อย่างไร? มันเป็นเรื่องยาก!

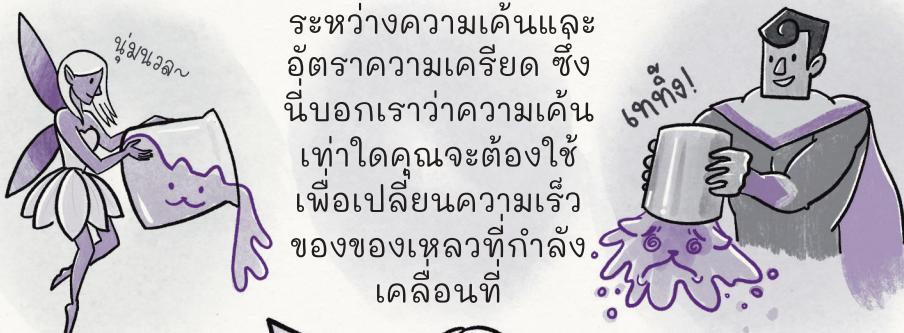
ของเหลวมีการเคลื่อนไหวอยู่เสมอ  
ดังนั่นปริมาณความเครียดจึง  
เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ

แต่เราสามารถดูว่า  
ความเครียดเปลี่ยนแปลงไป  
เร็วแค่ไหน ของเหลวเปลี่ยนรูปร่างได้เร็วแค่  
ไหน? นี่เรียกว่าอัตราความเครียด



### ความหนืดของเราก็ถือว่าความล้มเหลว

ระหว่างความเด่นและ  
อัตราความเครียด ซึ่ง  
นี่บอกเราว่าความเด่น  
เท่าใดคุณจะต้องใช้  
เพื่อเปลี่ยนความเร็ว  
ของของเหลวที่กำลัง<sup>เคลื่อนที่</sup>



ஸஸาร์ที่มีความหนืดต่ำอย่างเช่น น้ำ ไม่ต้องใช้ความ  
พยายามมากนักในการเปลี่ยนอัตราความเครียด  
แต่บางสิ่งที่มีความหนืดสูง เช่น แมว จะต้องอาศัย  
ความเด่นมากขึ้นเพื่อเปลี่ยนอัตราความเครียด

(ความหนืดอาจซับซ้อนยิ่งขึ้นเมื่อคุณเปลี่ยนสภาพ  
แวดล้อม เช่น อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง  
เหมือนน้ำผึ้งที่ร้อนจะให้เร็วกว่าน้ำผึ้งที่เย็นตัวลง)



ลิ้งต่างๆ มา妄ยายมีทั้งพุติกรรรมยีดหยุ่น พลาสติก และความหนึ่ด เช่นเดียวกับเม瓦

### สมบัติพลาสติกหนึ่ด



ของแข็งพลาสติกเมื่อมีความเสื่อมคืด ต้า และของเหลวหนึ่ดเมื่อมีความเด่นลุ้ง

(เช่น โคลน ยาสีฟัน ถ้วยของเนล)

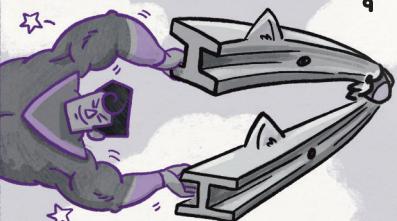
### สมบัติยีดหยุ่นหนึ่ด



อัตราความเครียดขึ้นอยู่กับเวลา: พุติกรรรมยีดหยุ่นในช่วงเวลาหนึ่ด การให้ลองแบบหนึ่ดในช่วงเวลานานๆ

(เช่น กองเส้นมะมี ซอสมะเขือเทศ)

### สมบัติพลาสติกยีดหยุ่น



ของแข็งที่มีความเด่นคราก: ยีดหยุ่นเมื่อมีความเด่นต้า พลาสติกเมื่อมีความเด่นลุ้ง (เช่น เหล็ก)

### สมบัติพลาสติก ยีดหยุ่นหนึ่ด



พุติกรรรมจะขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณของความเครียดและอัตราความเครียด

(เช่น ลาวา)

พุติกรรรมของลิงเหล่านี้นั้น ขึ้นอยู่กับความล้มพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างความเด่นและความเครียด ดังนั้nlิงเหล่านี้จึงทำลิงที่ดูเหมือนไม่คาดคิดและคาดเดาไม่ได!



บางครั้งความเด็กก็ไม่ได้แปรผันตามความเครียด



ถ้าคุณเพิ่มความเด็กให้กับ  
เมัว ความเครียดจะไม่ได้เพิ่ม  
ขึ้นด้วยเสมอไป แต่ทว่าเมัว  
จะค่อยๆเปลี่ยนจากลักษณะ  
ผ่อนคลาย...

สมบัติค่าความหนึ่งเด็ก  
สูนตามอัตราเฉือน

...แล้วจู่ๆก็แข็งทื่อและพร้อม  
ที่จะจ่อจอม! ความหนึ่งจะ  
เพิ่มขึ้นเมื่ออัตราเฉือนเพิ่ม  
ขึ้น และความเด็กขนาดใหญ่  
ทำให้เกิดความเครียดเล็ก  
น้อย เรียกว่า **สมบัติค่าความ  
หนึ่งเด็กขึ้นตามอัตราเฉือน**



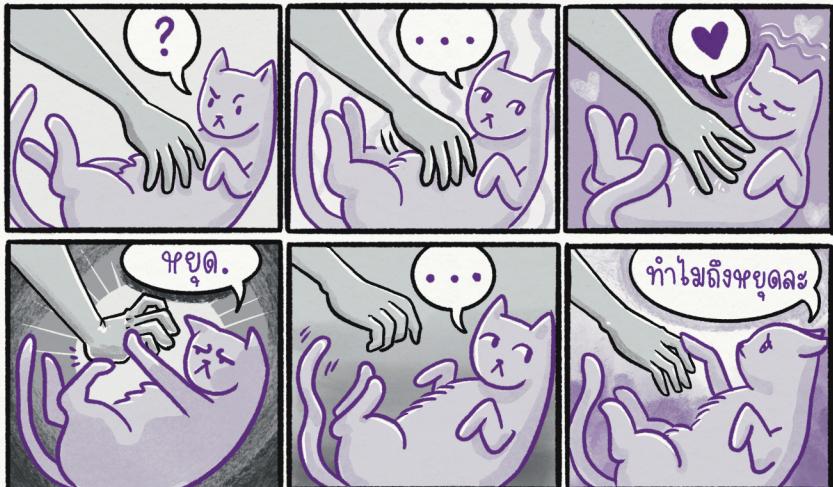
แต่การใช้ความเด็กหรือการล้มผื้ส สามารถช่วยให้เมัว  
เปลี่ยนจากตัวแข็งทื่อไปเป็นชิลแบบสุดๆได้...

สมบัติค่าความหนึ่งเด็กลด  
ลงตามอัตราเฉือน"

"ยกสะบัด

ความหนึ่งของมันจะลดลงเมื่ออัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และ  
ความเด็กเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเครียดมาก เรียกว่า  
**สมบัติค่าความหนึ่งเด็กลงตามอัตราเฉือน**

หากคุณใช้ความเด็นแบบเดิมในอัตราเท่าเดิมเป็นเวลา  
นาน บางครั้งพฤติกรรมของแมวก็เปลี่ยนไป! เมื่อฉันมี  
การหน่วงเวลาในขณะที่แมวตัดสินใจว่าจะตอบสนองต่อ  
ความเด็นอย่างไร



เมื่อวัสดุมีพฤติกรรมที่ขึ้นอยู่กับเวลา เช่นนี้ เราเรียก  
มันว่า **ทิโซโทรป์**



โดยปกติแล้วเมื่อคุณป่นของเหลว  
อย่างรวดเร็ว มันจะกระเจาๆ ออกไป  
ทุกทิศทาง (เช่น ไข่ในเครื่องผสม)  
แต่ว่าสุดบางอย่างจะติดหนึบอยู่กับ<sup>ก</sup>  
เครื่องป่น อย่างเช่นแมว และอาจ  
ถังขี้นป่นขึ้นไปด้วย!

สิ่งนี้เรียกว่า

## เอฟเฟกต์ไวเซน เบร์ก



ลองนึกภาพน้ำไหลลอก  
จากก้อนน้ำ ขณะเดียวกัน  
ของเหลวบางอย่างที่มีสมบัติ  
ยึดหยุ่นนี่ดี จะเปลี่ยน  
ชูนาด และจะขยายตัวให้ญี่  
ปุ่นทันทีเมื่อออกจากภาชนะ

สิ่งนี้เรียกว่า

## การบวมตัว



แล้วสรุปแล้ว  
แมวคืออะไร?

ชาวอียิปต์โบราณคิดว่า  
แมวมีพลังดักถล่ม!

ลัตต์ว์เลี้ยงลูกด้วยนม!

ผู้พิทักษ์แห่ง  
อาณาจักรแห่งเทพ  
และวิญญาณใน  
ประเพณีเซลติก!

ที่น่ารัก  
สุดๆ!

ลัตต์ว์ตัวที่ 4  
ในราชสีของ  
เวียดนาม!

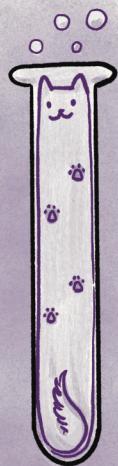


เราอาจไม่เข้าใจอย่างถ่องแท้ว่าทำไว้แมวถึงมีพฤติกรรม  
แบบนั้น แต่เรารู้ว่าพวกล้มทำตามกฎของพวกล้มเอง เช่น  
เดียวกับวัสดุต่างๆมากมาย

ยังมีอีกหลายลิงที่เราไม่เข้าใจเกี่ยวกับวัสดุที่อยู่ระหว่างของแข็งและของเหลว รีโอลอยส์แสดงให้เราเห็นว่าพฤติกรรมที่ซับซ้อนเหล่านี้ขึ้นอยู่กับความล้มเหลวน์ระหว่างความเด็นและความเครียด บุคลากรเปลี่ยนแปลงของลิงเหล่านั้นเมื่อเวลาผ่านไป

แต่ว่าสุดท้ายอย่างมีความแตกต่างกัน เล็กน้อย เช่นเดียวกับแมวทุกตัว!

แล้วอันไหนจะที่คุณชอบ?



## อภิธานศัพท์

**รีโวโลจี** - การศึกษาว่าทำไงและทำไม่ว่าสุดจึงเป็นรูปประจำในสถานภาพณ์ต่างๆ (โดยเฉพาะวัสดุที่ไม่ใช่องแข็งของเหลว หรือกากซึ่ลวนๆ)

**ความเด่น** - ปริมาณแรงที่ใช้กับวัสดุ

**ความเครียด** - ปริมาณที่วัสดุเปลี่ยนแปลงรูปประจำไป

**ของแข็งยืดหยุ่น** - วัสดุที่คงรูปร่างไว้แต่จะเด้งกลับคืนสู่รูปที่เดิมหลังจากประสบกับความเด่น

**ของแข็งพลาสติก** - วัสดุที่คงรูปร่างไว้แต่จะไม่คืนรูปเดิมหลังจากประสบกับความเด่น

**จุดความเด่นคราก** - ปริมาณค่าความเด่นสูงสุดที่วัสดุยืดหยุ่นสามารถล้มพลั่วได้ก่อนที่จะถลายเป็นพลาสติก

**ของแข็งร้าว** - วัสดุที่คงรูปประจำไว้แต่เมื่อร้อยแตก ร้าว หรือแตกขาดออกจากราก

**ของเหลวหนืด** - วัสดุที่เหลวและเปลี่ยนแปลงรูปประจำของathan

**ความหนืด** - รูดดับความหนืดของวัสดุ เป็นตัวชี้วัดความล้มเหลวของวัสดุ ความเครียด ซึ่งจะบอกได้ว่าต้องใช้ความเด่นเท่าไร จึงจะเปลี่ยนความเร็วของของเหลวที่กำลังเคลื่อนที่ได้

**อัตราความเครียด** - รูดดับความเร็วของความเครียดที่เปลี่ยนแปลงไป รูดดับความเร็วของเคลื่อนที่และการเปลี่ยนแปลงรูปประจำของวัสดุ

**สมบัติพลาสติกหนืด** - มีพฤติกรรมเหมือนพลาสติกแข็ง เมื่อมีความเด่นต่ำ และเมื่อยื่นของเหลวหนืดจะหายใจออก (เช่น โคลน ยางฟัน หมายองเนื้)



**สมบัติยืดหยุ่นหนืด** - มีอัตราความเครียดขึ้นอยู่กับระยะเวลา มีพฤติกรรมยืดหยุ่นในระยะเวลาสั้นๆ มีการไหลแบบหนืดในระยะเวลานาน (เช่น กองเล่นบะหมี่ ซอสเมืองเวียดนาม)

**สมบัติพลาสติกยืดหยุ่น** - ของแข็งที่มีความเด่นต่ำ ยืดหยุ่นเมื่อมีความเด่นต่ำ พลาสติกเมื่อมีความเด่นสูง (เช่น เหล็ก)

**สมบัติพลาสติกยืดหยุ่นหนืด** - เปลี่ยนแปลงพฤติกรรมขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณของความเครียดและอัตราความเครียด (เช่น ลาวา)

**สมบัติถูร้าความหนืดเพิ่มขึ้นตามอัตราเฉือน** - เมื่อความหนืดเพิ่มขึ้นตามอัตราการเฉือนที่เพิ่มขึ้น และความเด่นของน้ำดูไชญูอาจทำให้เกิดความเครียดเล็กน้อย

**สมบัติถูร้าความหนืดลดลงตามอัตราเฉือน** - เมื่อความหนืดลดลงในขณะที่อัตราเฉือนเพิ่มขึ้น และความเด่นเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเครียดขนาดใหญ่ได้

**ทิโซ่ไทรปี** - รูเมื่อความเครียด เดียวทันทีให้เกิดพฤติกรรมที่แตกต่างกันตามเวลา; ผลกระทบจาก “การชนหัววงศ์เวลา” หรือ “ความทรงจำ” ที่เกิดจากโครงสร้างภายในของวัสดุ

**เอฟเฟกต์ไวเซนเบิร์ก** - เมื่อปั๊น/กวน วัสดุจะหายใจตามแท่งปั๊น แทนที่จะหายใจออกໄไป

**การบวมตัว** - เมื่อลิงของไชลออกจาหัวแม่พิมพ์หลังจากหัวแม่พิมพ์หัก ลิงจะบวมพองขึ้น (ปรากฏการณ์ของ การผ่อนคลายความเด่นที่อยู่ในผลิตเมอร์ลอม)

## หนังสือการ์ตูนเรื่อโลลี่เล่ม 1

รีโอลอลี่ (Rheology) คือการศึกษาเกี่ยวกับวิธีการให้เหลวของสิ่งของหรือวิทยากระดับ (rheo = ให้เหลว, logos = การศึกษา)  
ปั๊นตะะ เรย์ — ทุกสิ่งล้วนไหล!

ได้รับแรงบัลดาลใจมาจากการความที่ได้รับรางวัล Ig Nobel Prize ของ M.A. Fardin “On the rheology of cats” (2014)

โดยหนังสือการ์ตูนนี้อธิบายหลักการพื้นฐานของรีโอลอลี่ด้วยจากการสังเกตของเหล่าแมว



ได้รับทุนจากการของทุนผู้ผลิตเครื่องข่ายของสมาคมรีโอลอลี่ของปี 2023

เรียนรู้เพิ่มเติมเกี่ยวกับรีโอลอลี่โดยการลากเมาส์ QR ด้านล่างนี้

หนังสือการ์ตูนนี้ยังมีให้เลือกใช้ใน:

English • 日本語

ភាគិទ្ធិការា • فارسی

العربية • Français

และอีกมากมาย

