Image from https://w-dog.net/wallpaper/mclaren-f1-gtr-longtail-1997-mclaren-f1-supercar-racing-car-rear-view-spoiler-wing-rostrum-background/id/213090/

2304103: GEN PHYS I

Update: Sep 29, 2021

Fluid mechanics

- Pressure
- Variation of pressure with depth
- Pressure measurements
- Buoyant forces and archimedes's principle
- Fluid dynamics
- Bernoulli's equation
- Other applications of fluid dynamics

N. Srimanobhas (Norraphat.Srimanobhas@cern.ch)

https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Main/PhatSrimanobhasTeaching

ของไหลคืออะไร

ของไหลเป็นการเกาะตัวกันของโมเลกุลของสสารที่มีการเรียงตัวแบบสุ่ม และรวมกันอยู่ด้วยแรงยึดเหนี่ยวอย่างอ่อน ๆ ซึ่งรวมกันเป็นกลุ่มก้อนได้ด้วยแรงที่กระทำจากผนังของภาชนะที่ของไหลนั้นบรรจุอยู่ โดยในทั้งของเหลวและก๊าซรวมเรียกว่าของไหล

REALLY?

The Claim: Drink Plenty of Fluids to Beat a Cold

By ANAHAD O'CONNOR
Published: January 10, 2011

THE FACTS

Enlarge This Image

Christoph Niemann

The advice for conquering a cold is time-honored: Get plenty of rest and drink lots of fluids.

While it's hard to argue against getting proper rest, some scientists suspect that loading up on liquid — that is, beyond the normal amount required in a day — may not do much good.

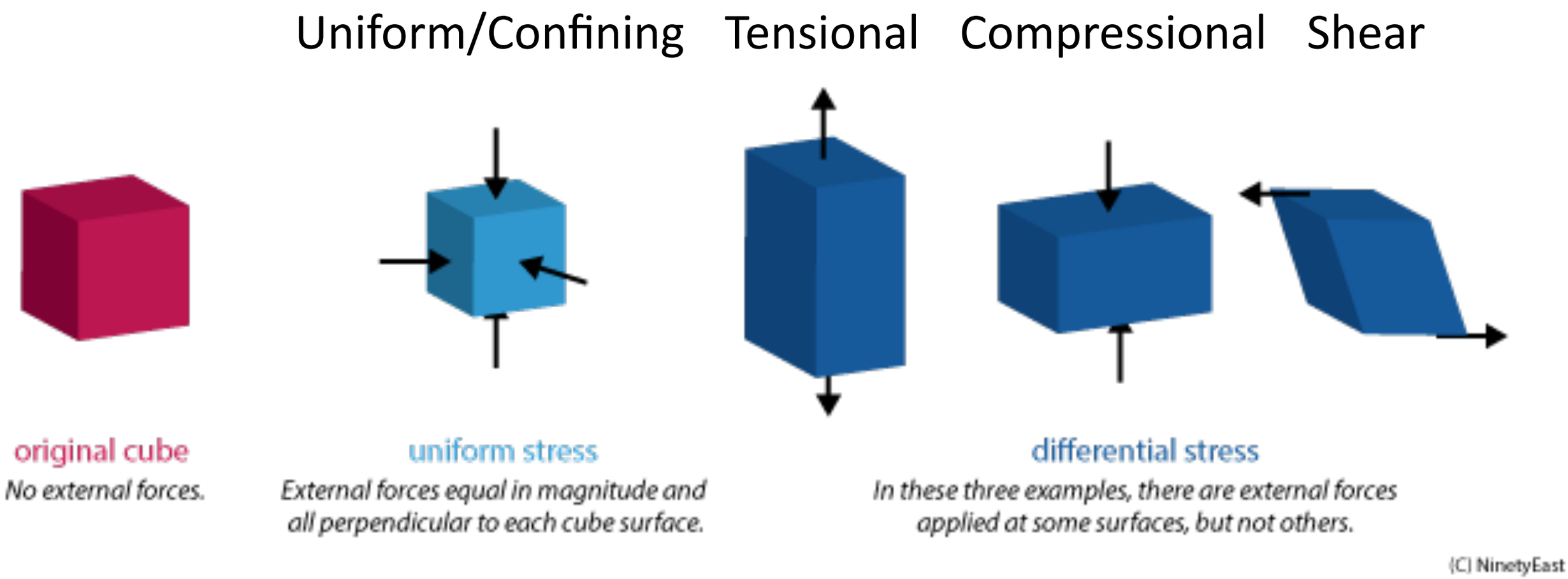
Theoretically, taking in extra beverages like water and juice

TWITTER
LINKEDIN
PRINT
REPRINTS
SHARE

http://www.nytimes.com/2011/01/11/health/11really.html

ของไหลคืออะไร

ความเค้น (Stress) เป็นการวัดแรงเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ผิวภายในวัตถุแปรรูปซึ่งมีแรงภายในกระทำ



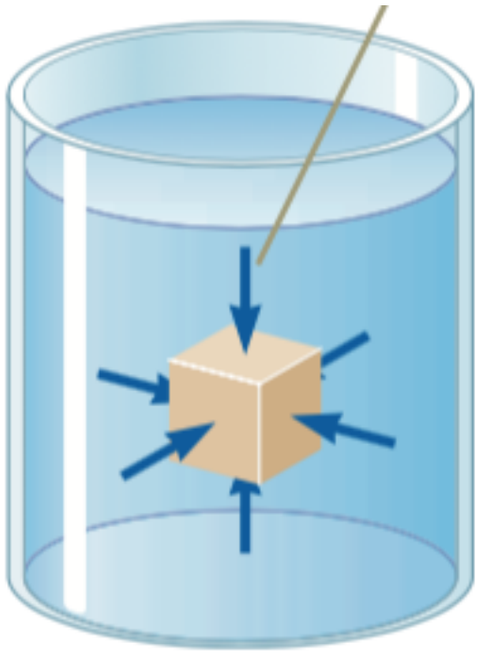
ของไหลคือสสารที่ไม่สามารถทนต่อความเค้นเฉือน (Shear) หรือความเค้นดึง (Tensional)ได้ ของไหลบางอย่างอาจมีความเหนียวสูงมาก ทำให้แยกแยะกับของแข็งได้ยาก

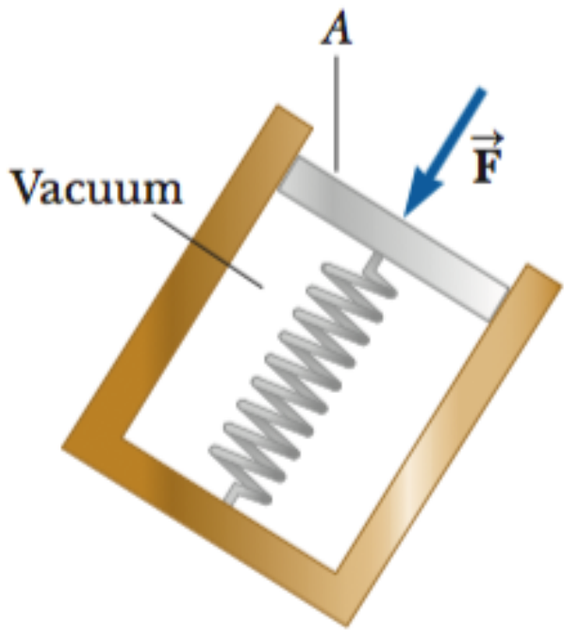
สมบัติของของไหล

ความหนาแน่น (Density) = มวลต่อปริมาตร (kg/m^3)

$$\rho = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta m}{\Delta V}$$

เนื่องจากของไหลไม่สามารถทนต่อความเค้นเฉือนหรือความเค้นดึงได้ ดังนั้น ความเค้นเพียงอย่างเดียวที่กระทำต่อวัตถุที่จุ่มอยู่ในของไหลที่อยู่นิ่ง (ของไหลสถิตย์) คือความเค้นที่พยายามจะบีบอัดวัตถุทุกทิศทุกทาง





ความดัน (Pressure) คือสัดส่วนของแรงกระทำต่อพื้นที่หน้าตัดมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร (N/m^2) หรือพาสคัล (Pascal, PA)

$$P \equiv \frac{F}{A}$$

สมบัติของของไหล

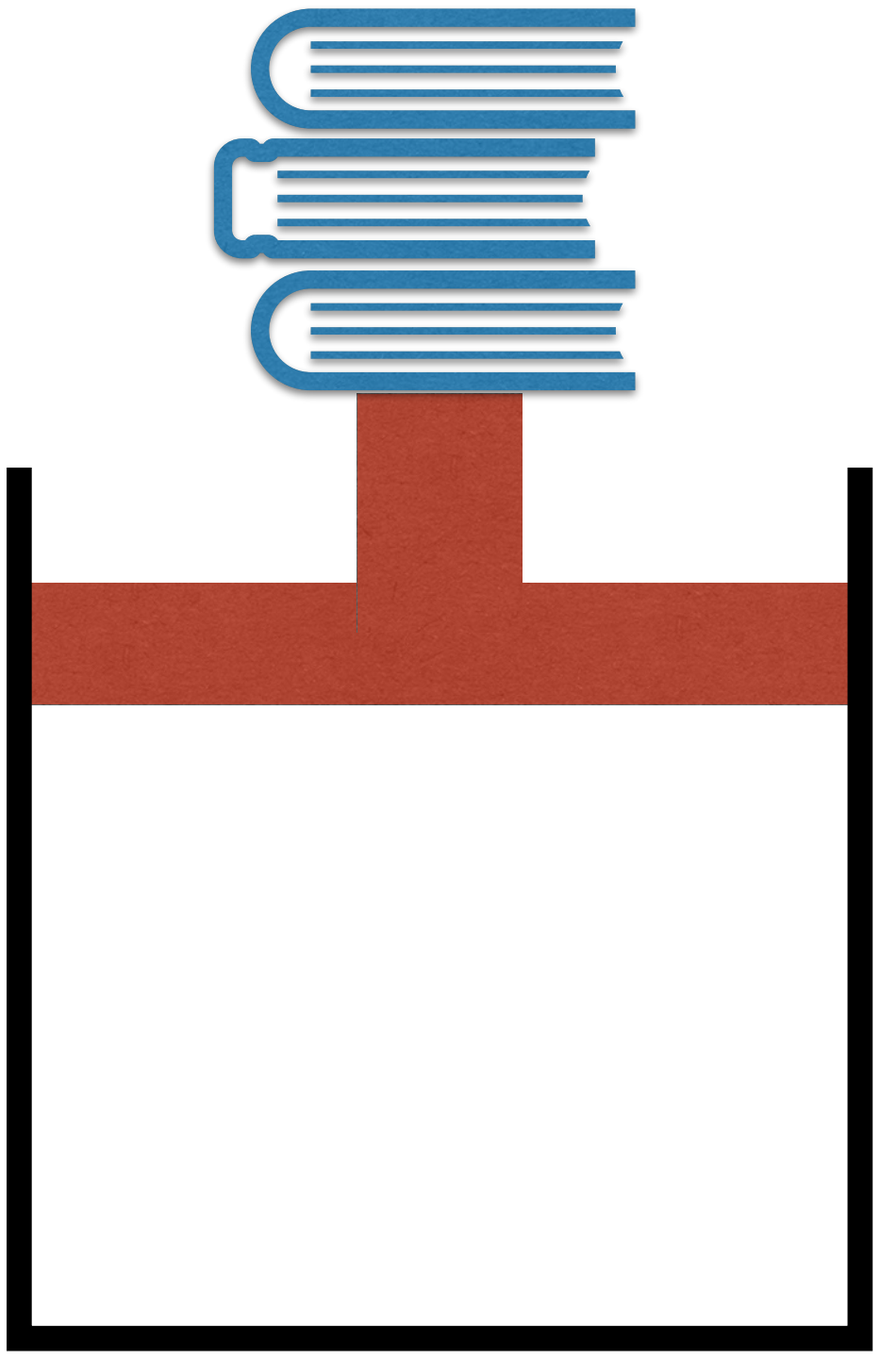
ความสามารถในการบีบอัดตัวของของไหล (Compressibility) บ่งบอกถึงว่าของไหลนั้นจะมีความหนาแน่นเปลี่ยนไปหรือไม่เมื่อความดันเปลี่ยน

- **Compressible fluid**: ก๊าซ
- **Incompressible fluid**: ของเหลวส่วนใหญ่

Compressible fluid is matter that can be compressed with the application of an external pressure	Incompressible fluid is matter that cannot be compressed with the application of an external pressure
Volume can be reduced with the application of a pressure on the fluid	Volume cannot be reduced with the application of a pressure on the fluid
Density can be changed with the application of a pressure on the fluid	Density cannot be changed with the application of a pressure on the fluid
Value of Mach number should be greater than 0.3	Value of Mach number should be less than 0.3

Visit www.pediaa.com

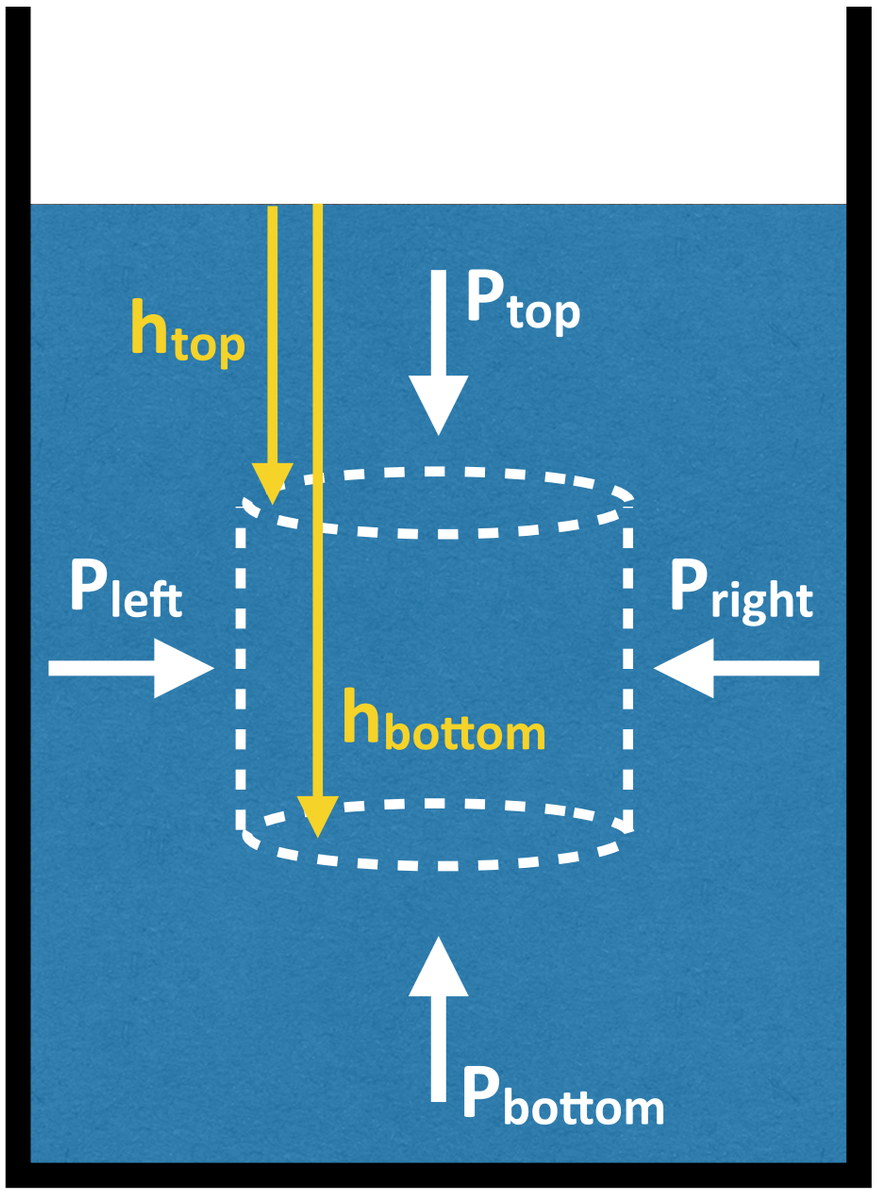
ความดันแบบต่าง ๆ: บรรยากาศ/สัมบูรณ์/เกจ



พิจารณาความดันของก๊าซในถัง

ของไหลสถิตย์

ของไหลสถิตย์ (Fluid statics or hydrostatics) คือของไหลที่พิจารณาอัตราเร็วของของไหลเป็นศูนย์ทุกที่



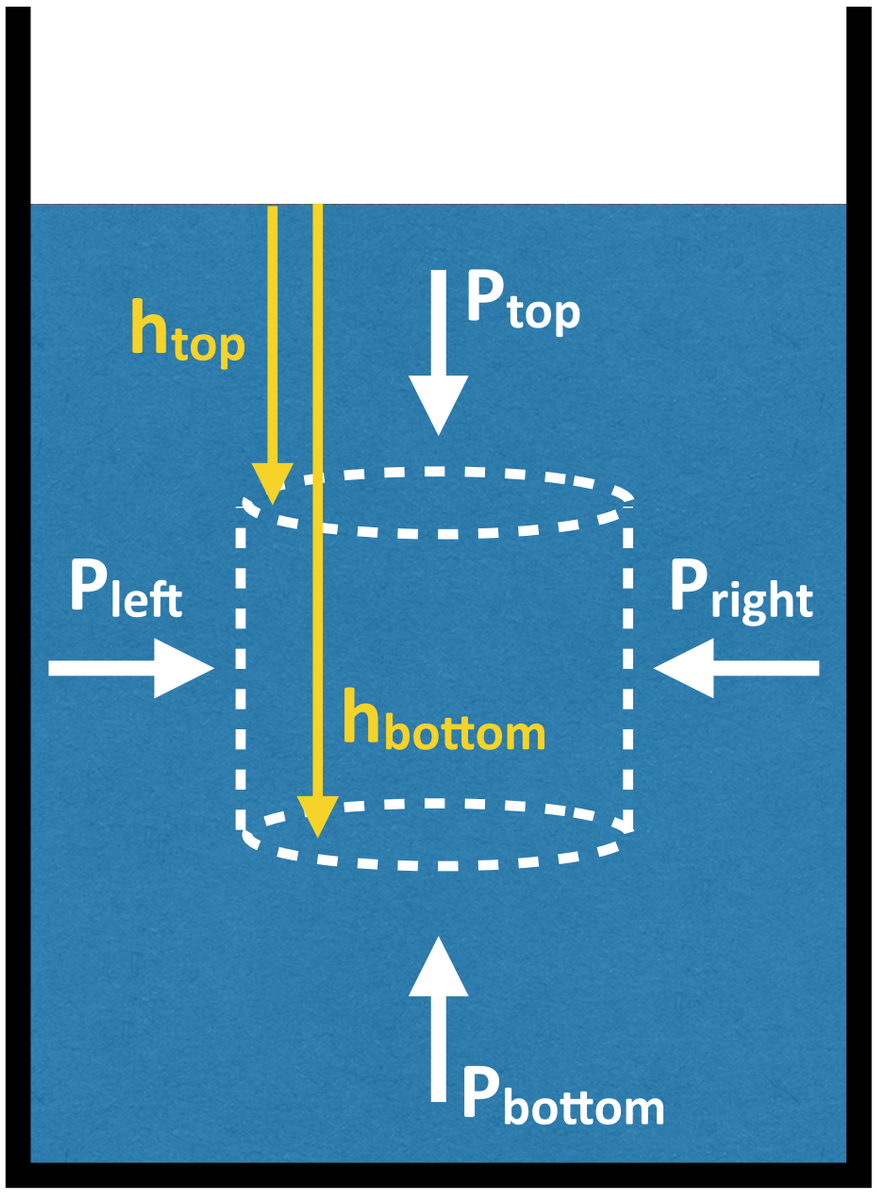
ของเหลวมีความหนาแน่น ρ

พิจารณาความดันด้านซ้ายและขวา (ในระดับเดียวกัน)

พิจารณาความดันด้านบนและล่าง

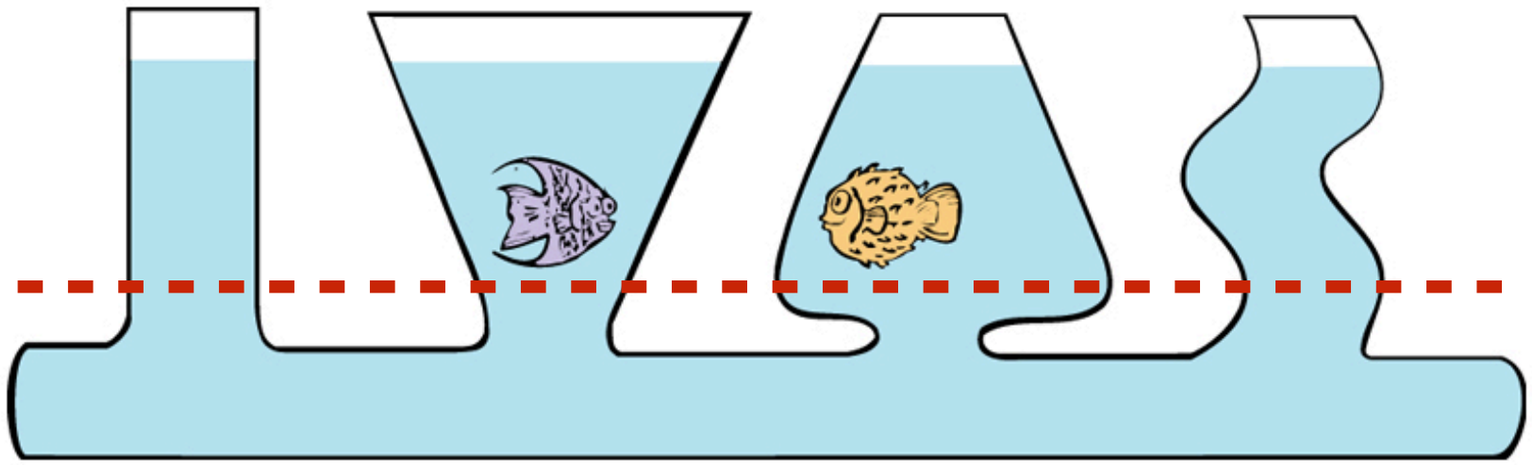
การเปลี่ยนแปลงความดันตามความลึก

จาก $P_{\text{bottom}} = P_{\text{top}} + \rho g(h_{\text{bottom}} - h_{\text{top}})$ เราได้ว่า



ของเหลวมีความหนาแน่น ρ

(1) ความดันไม่ขึ้นกับรูปร่างของภาชนะ และ
ความดันที่ระดับความลึกเท่ากันมีค่าเท่ากัน

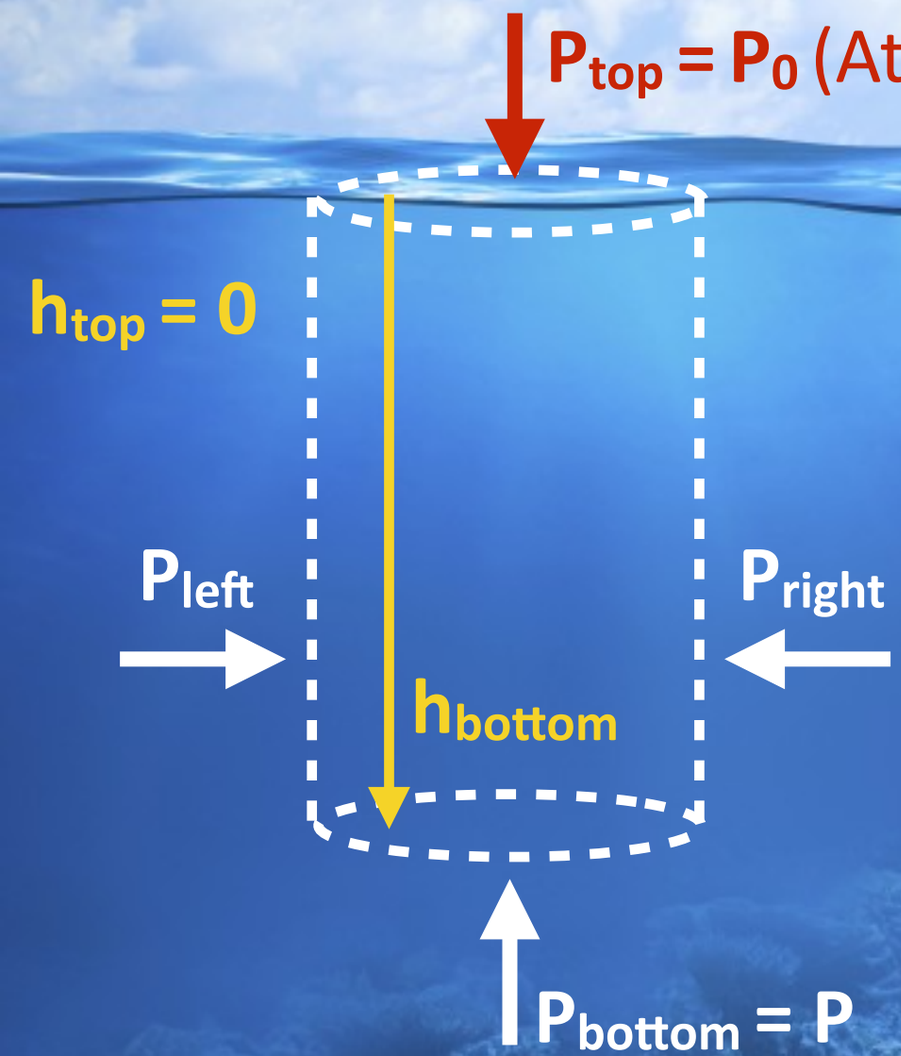


Copyright © 2006 Paul G. Hewitt, printed courtesy of Pearson Education Inc., publishing as Addison Wesley.

http://w3.shorecrest.org/~Lisa_Peck/Physics/syllabus/phases/liquids/ch19liquid_images/ch19_images.htm

ความดันใต้ผิวน้ำ

(2) เราสามารถคำนวณหาความดันใต้ระดับน้ำได้



ความสูงของชั้นบรรยากาศ

(3) เราสามารถประมาณความสูงของชั้นบรรยากาศได้

$P_{top} = 0$ (Empty space)

$h_{top} = 0$

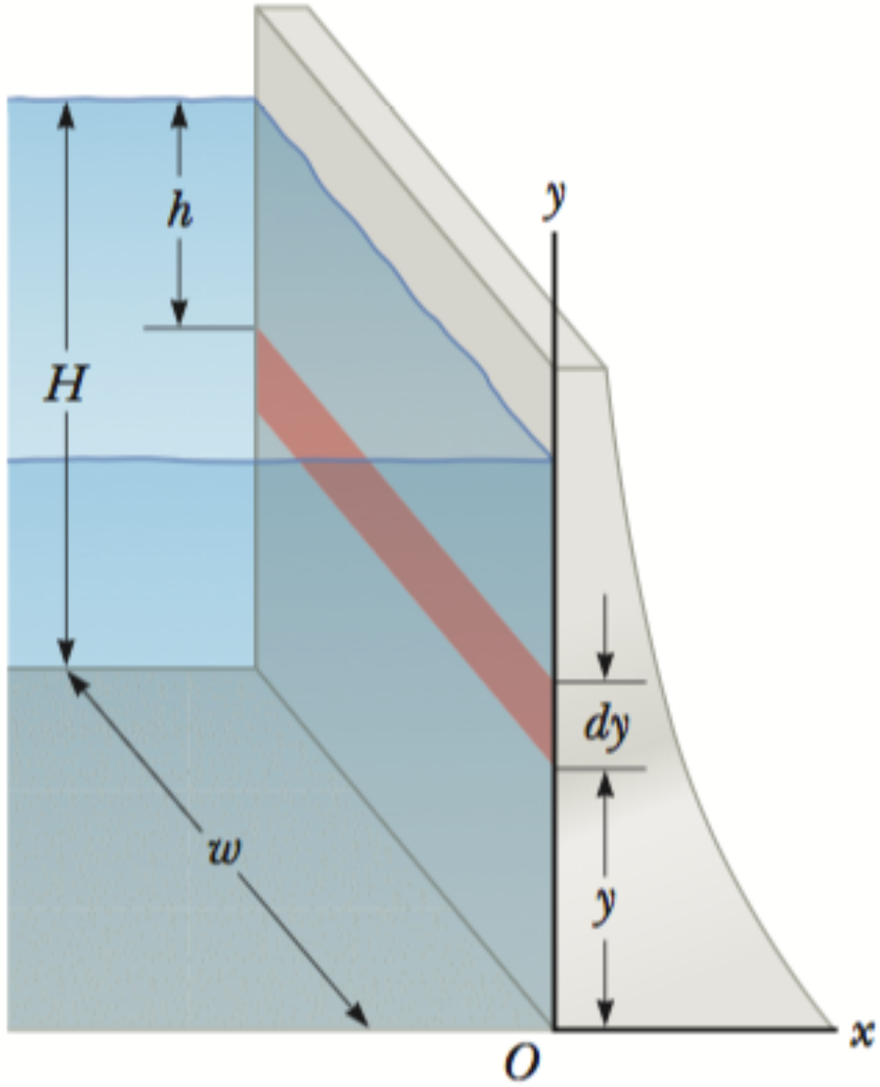
h_{bottom} = Height of the Earth's atmosphere

$P_{bottom} = P_0$

(Atmospheric pressure)

ตัวอย่าง

ด้านหลังของเขื่อนแห่งหนึ่งมีน้ำอยู่ที่ระดับความสูง H และเขื่อนกว้าง w จงหาแรงกระทำต่อเขื่อนจากน้ำที่อยู่ด้านหลังของเขื่อน

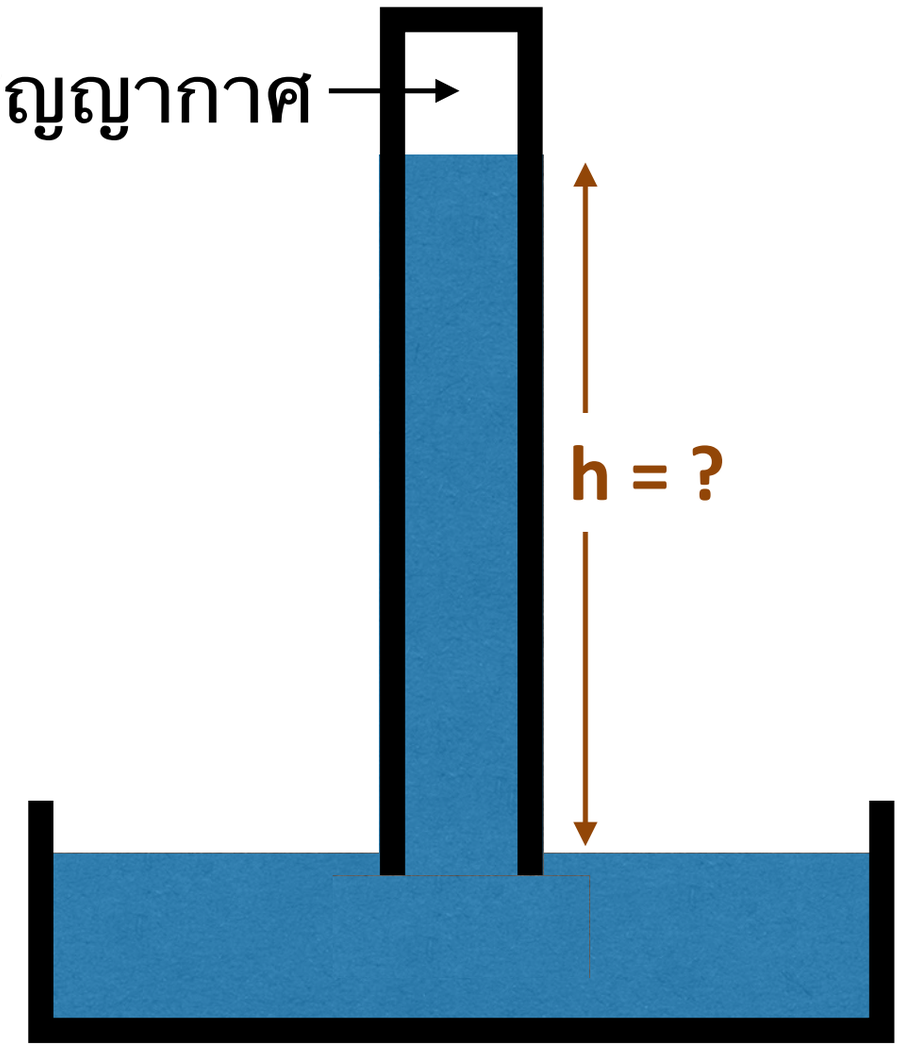


ตัวอย่าง

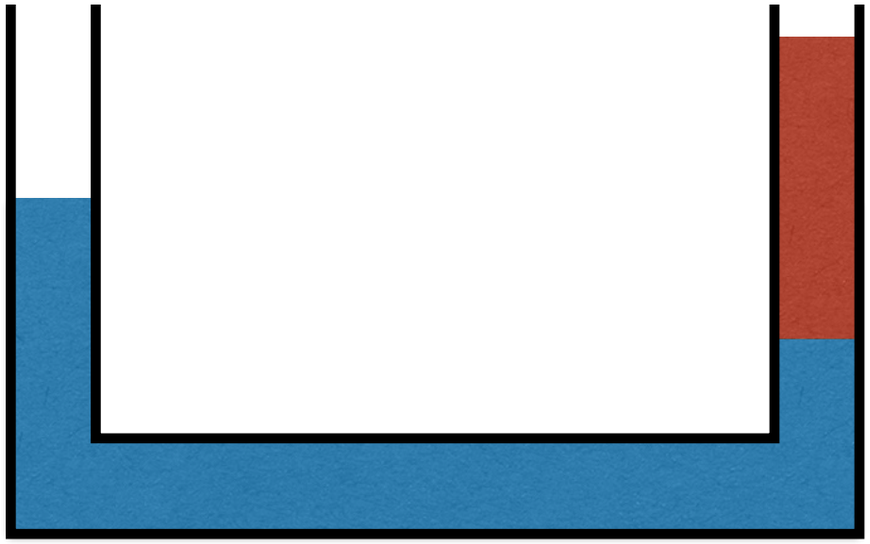
ที่ระดับความลึก h จากผิวน้ำ พบว่ามีความดันเกจ $2P_0$ โดยที่ความดันบรรยากาศเป็น P_0 และน้ำมีความหนาแน่น ρ ที่ระดับความลึก 2.5h จากผิวน้ำ ความดันสัมบูรณ์จะมีค่าเป็นกี่เท่าของความดันบรรยากาศ

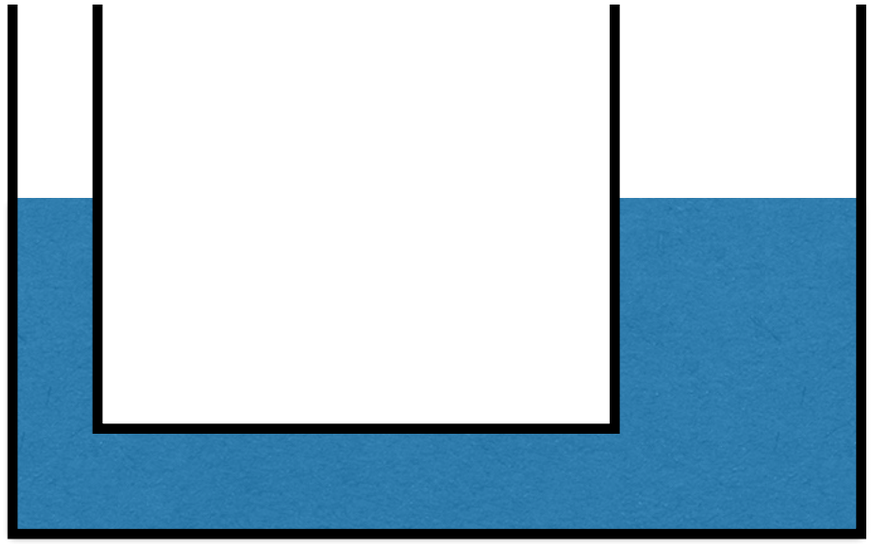
บารอมิเตอร์

บารอมิเตอร์ (Barometer) เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความดันอากาศ ส่วนมากใช้ในการพยากรณ์อากาศ



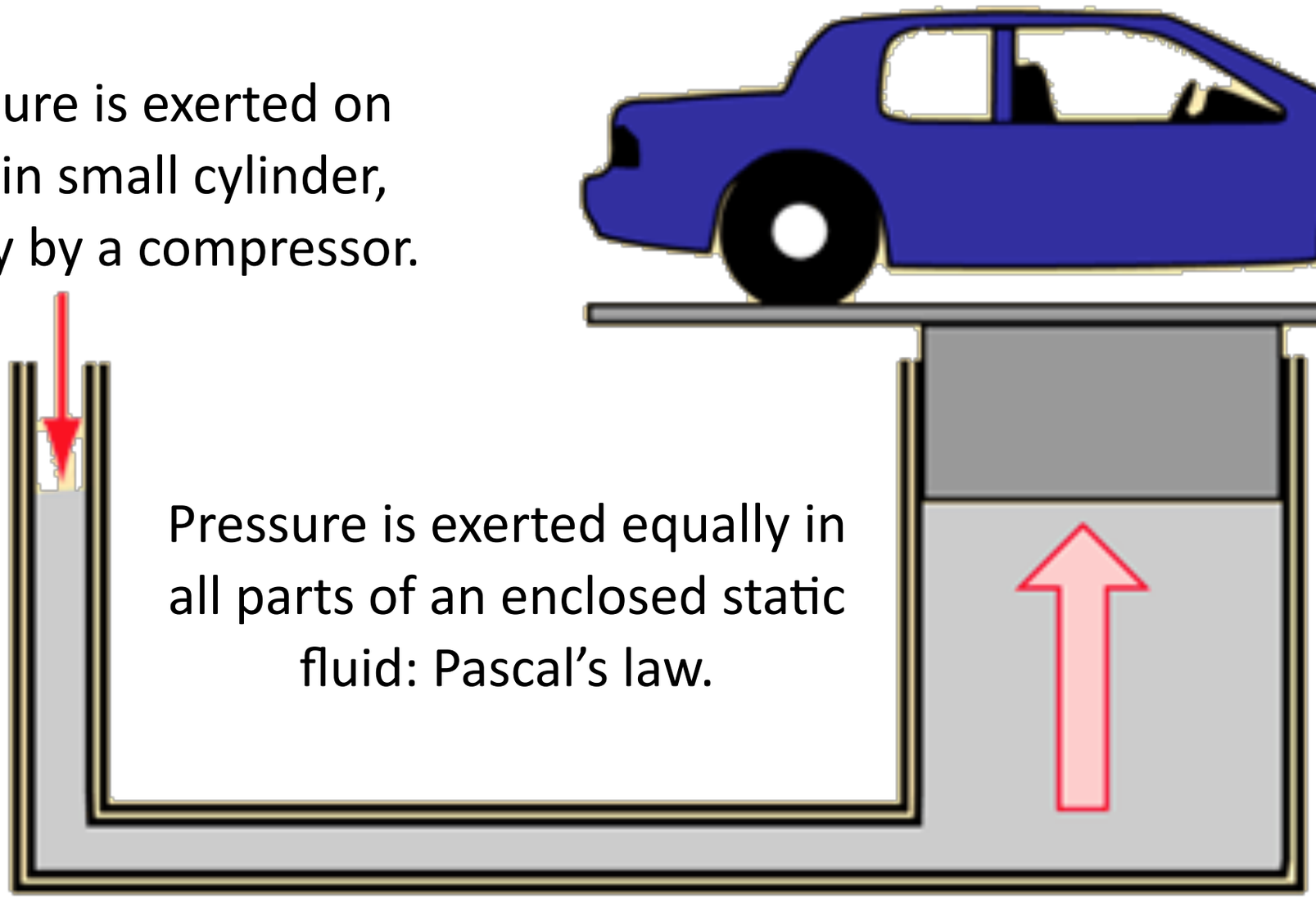
ตัวอย่าง





Hydraulic lift

Pressure is exerted on fluid in small cylinder, usually by a compressor.



Though the pressure is the same, it is exerted over a much larger area, giving a multiplication of force that lifts the car.

The force in the small cylinder must be exerted over a much larger distance. **A small force exerted over a large distance is traded for a larger force over a small distance.**

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pasc.html

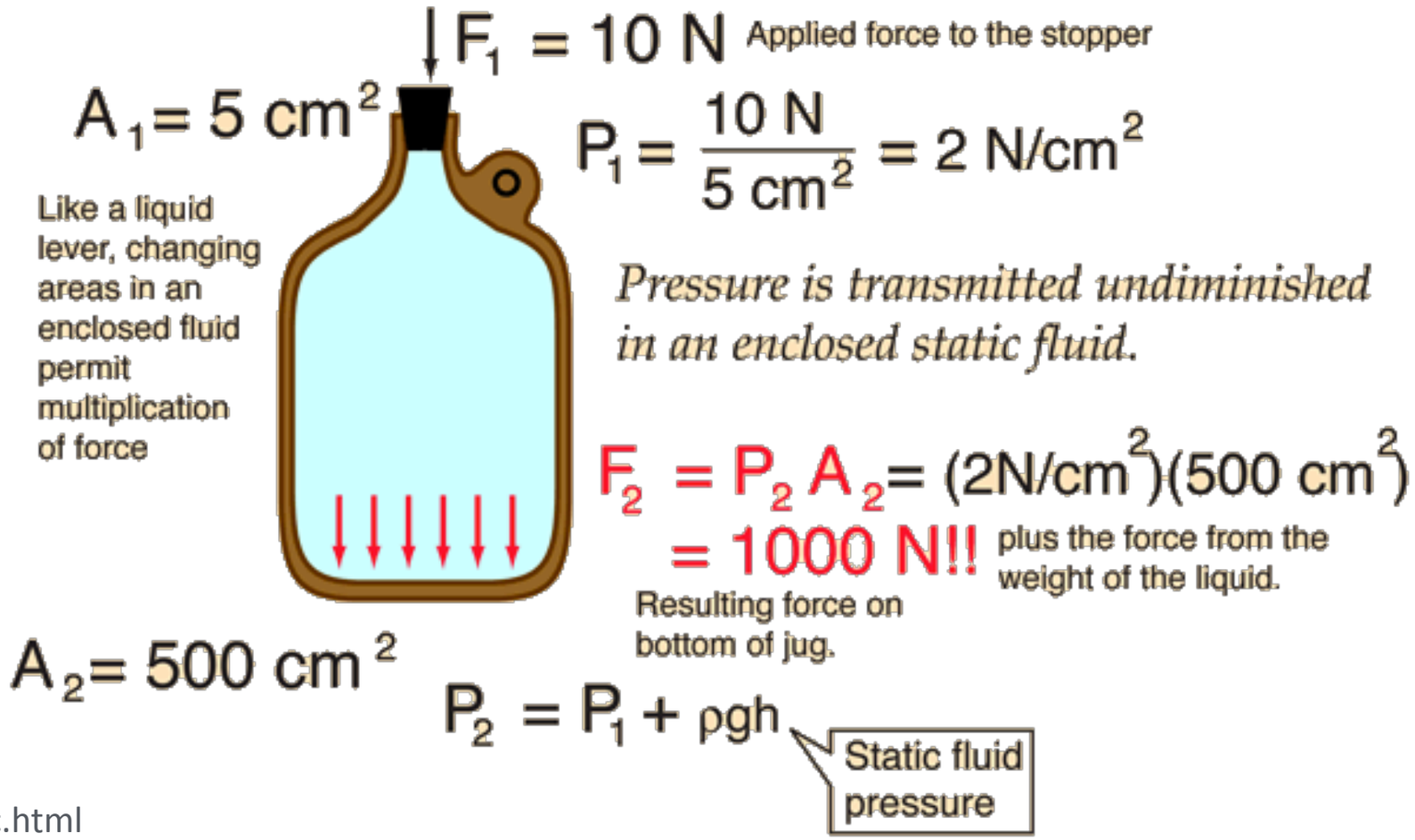
หลักการของปาสคาล

http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pasc.html

Blaise Pascal
(1623 - 1662)

A change in the pressure applied to an enclosed fluid is transmitted undiminished to every portion of the fluid and to the wall of the containing vessel

การเปลี่ยนแปลงของความดันที่กระทำกับของไหลในภาชนะจะถูกส่งต่อโดยไม่หายหกตกหล่นให้กับทุก ๆ ส่วนของของไหลนั้น รวมถึงผนังภาชนะด้วย



http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/pasc.html

ตัวอย่าง

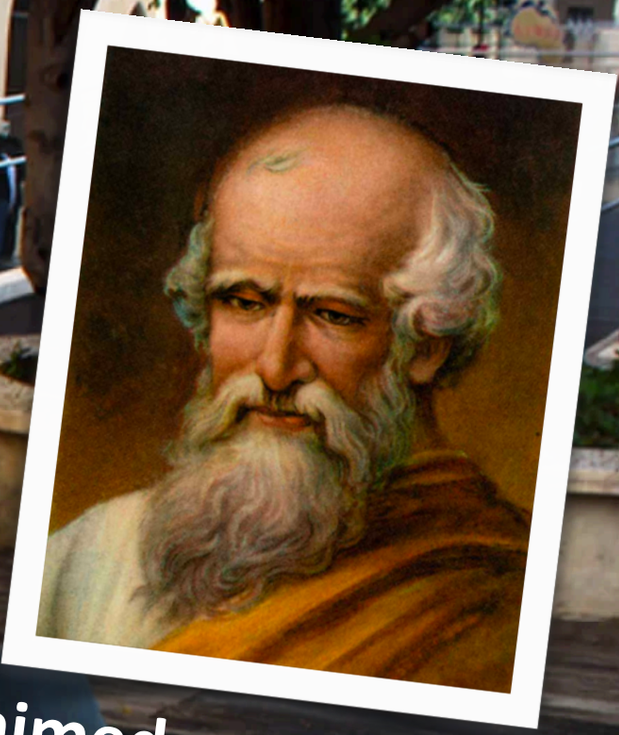
ภายในเครื่องยกรถของอู่ซ่อมรถแห่งหนึ่ง เครื่องอัดอากาศออกแรงกระทำต่อลูกสูบอันเล็กที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลม และมีรัศมี 5.00 cm จากนั้นความดันนี้จะถูกส่งผ่านโดยของเหลวไปยังลูกสูบที่มีรัศมี 15.0 cm เพื่อยกรถขึ้น

(A) จงหาว่าเครื่องอัดอากาศจะต้องออกแรงเท่าใดในการยกรถหนัก 13,300 N

(B) ความดันอากาศที่ทำให้เกิดแรงนี้มีค่าเท่าใด

Why do deep-sea fish not get crushed by pressure on the sea floor?

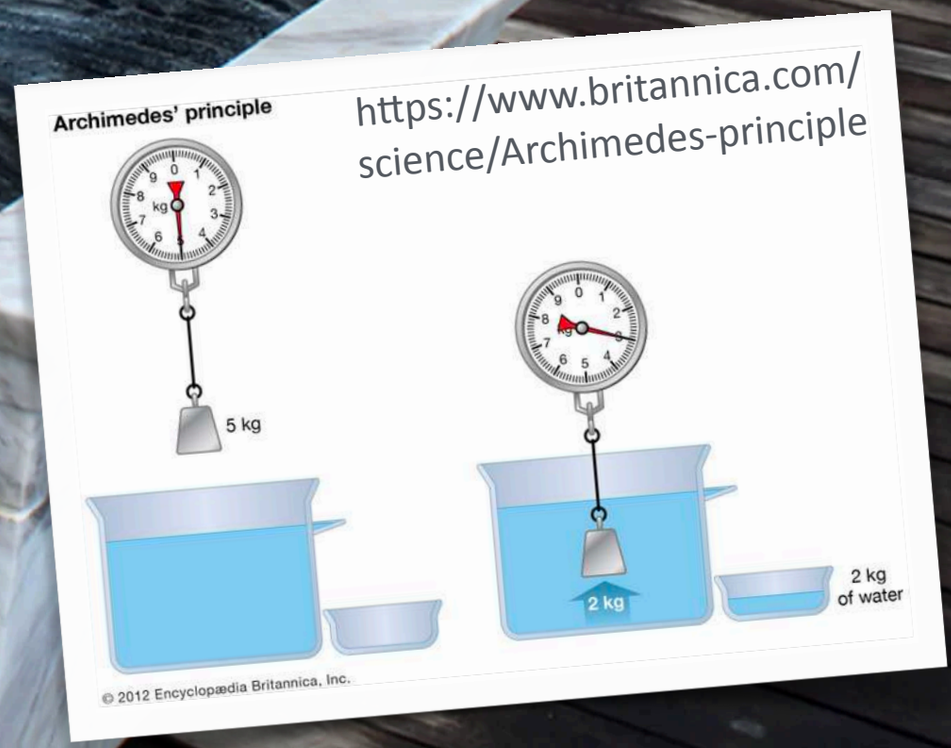
หลักการของอาร์คิมิดีส



Archimedes of Syracuse
(c. 287 – c. 212 BC)

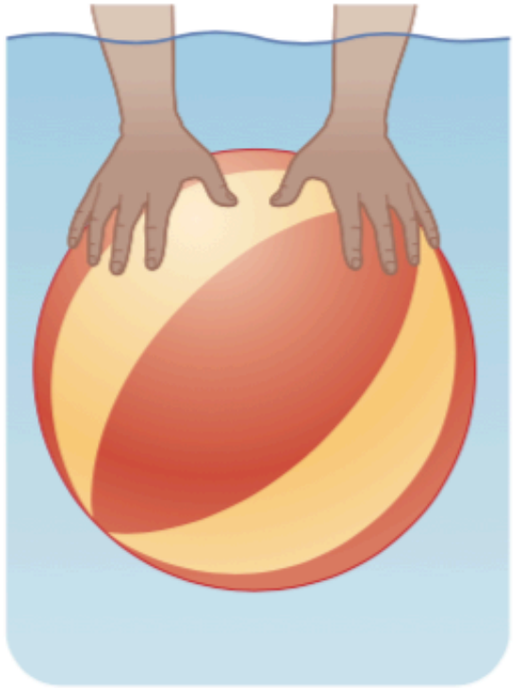
The buoyant force on a submerged object is equal to the weight of the fluid displaced.

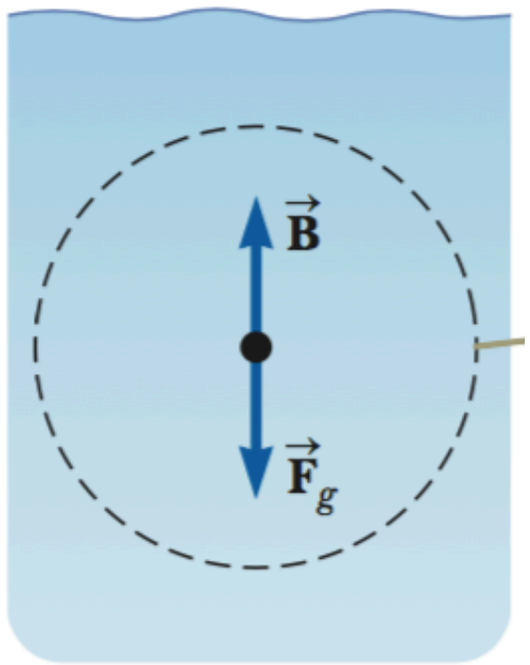
แรงลอยตัวของวัตถุที่จมอยู่ในของไหลจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่ถูกแทนที่ด้วยวัตถุนั้น



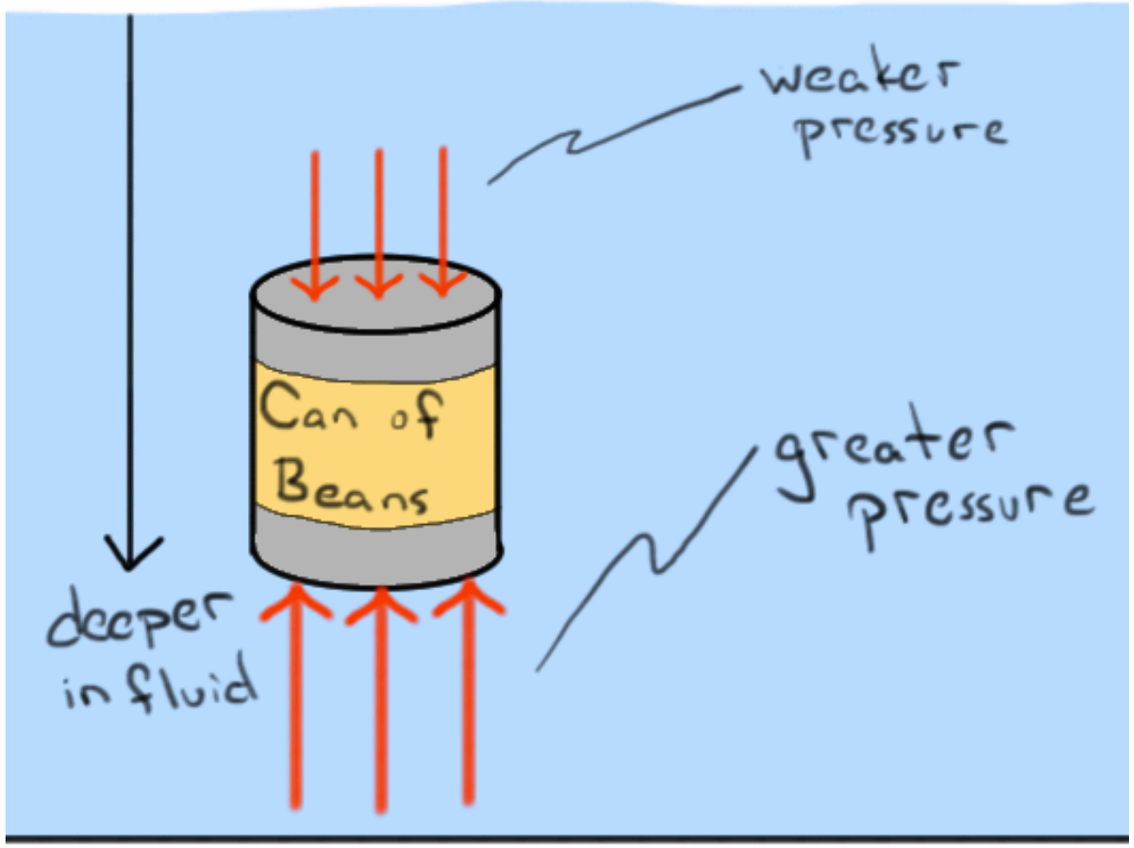
https://www.livescience.com/58839-archimedes-principle.html

หลักการของอาร์คิมิดีส



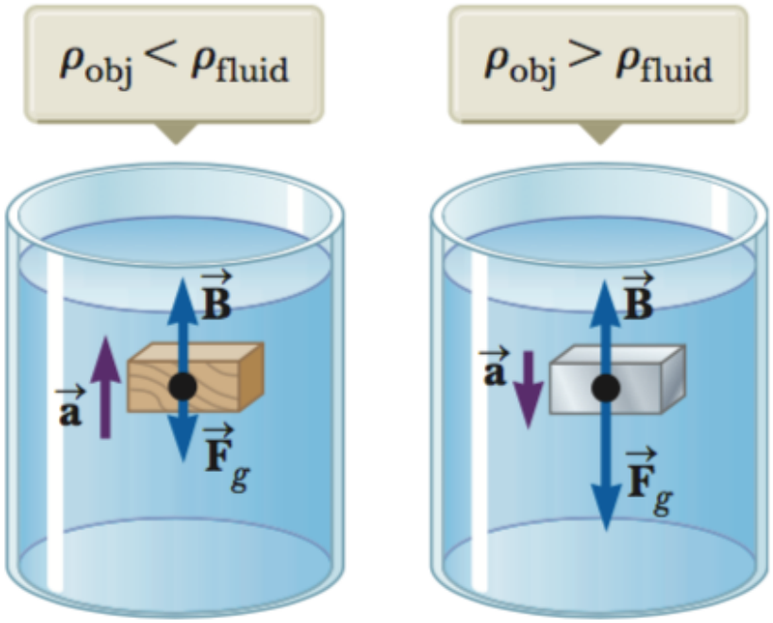


แรงลอยตัวบน**ลูกบอล**ที่มาแทนที่**ลูกบอลน้ำ**จะมีค่าเท่ากับแรงลอยตัวที่กระทำต่อ**ลูกบอลน้ำ**

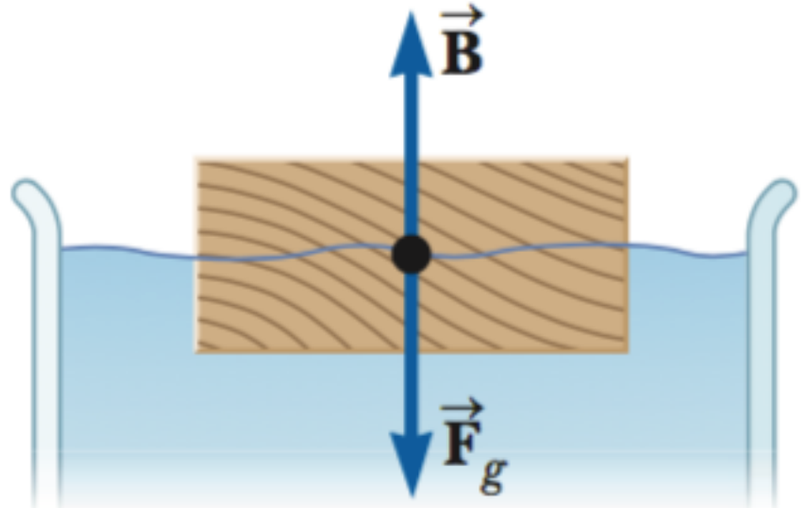


สถานการณ์ของจมของลอย

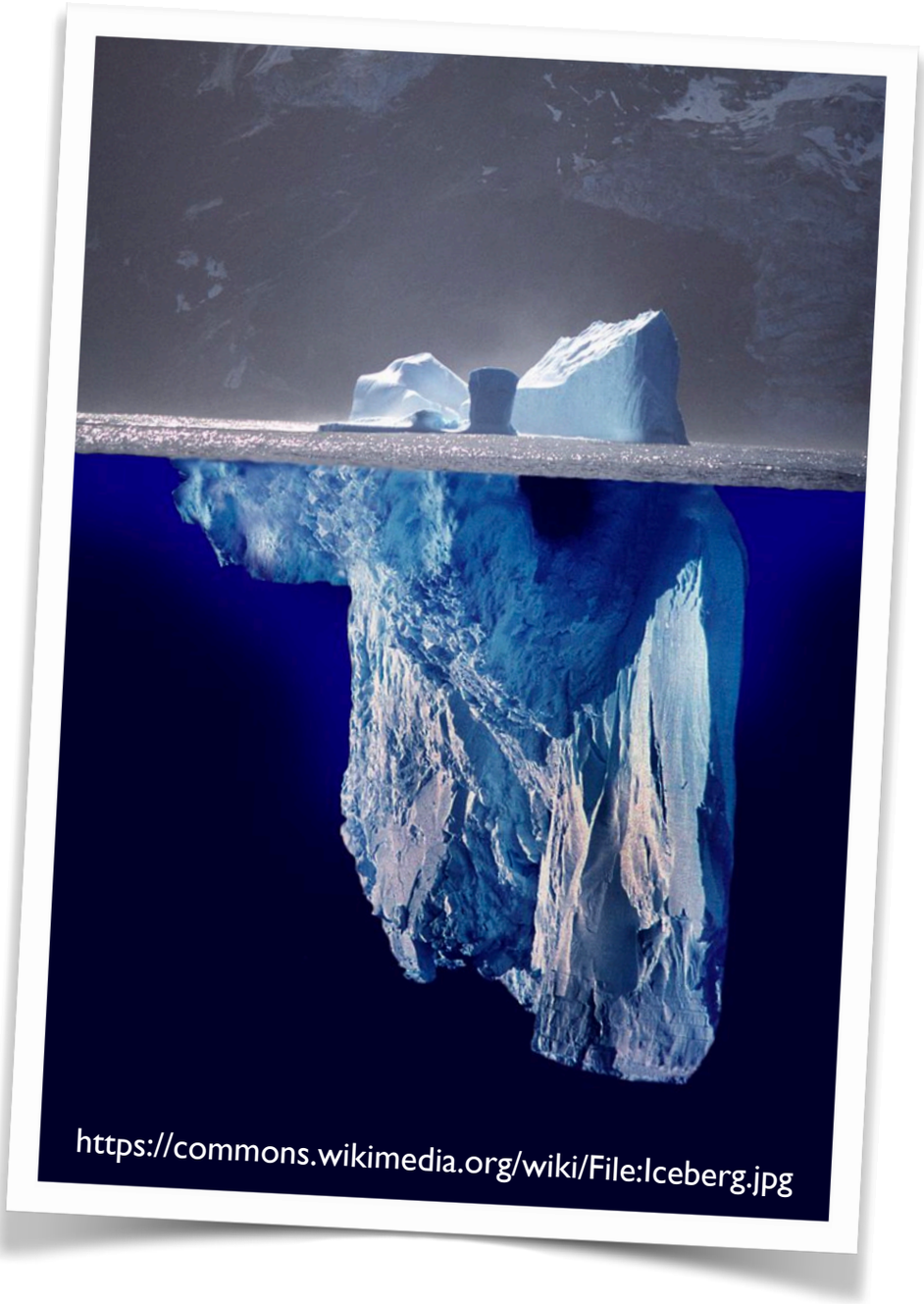
วัตถุจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมด



วัตถุลอยปริ่มน้ำ (มีบางส่วนอยู่ใต้น้ำ)



ตัวอย่าง: ภูเขาน้ำแข็ง



ภูเขาน้ำแข็งมีปริมาตรในส่วนที่อยู่เหนือน้ำ และส่วนที่อยู่ใต้น้ำคิดเป็นอัตราส่วนเท่าไหร่ของปริมาตรทั้งหมด ?

At 0 °C:

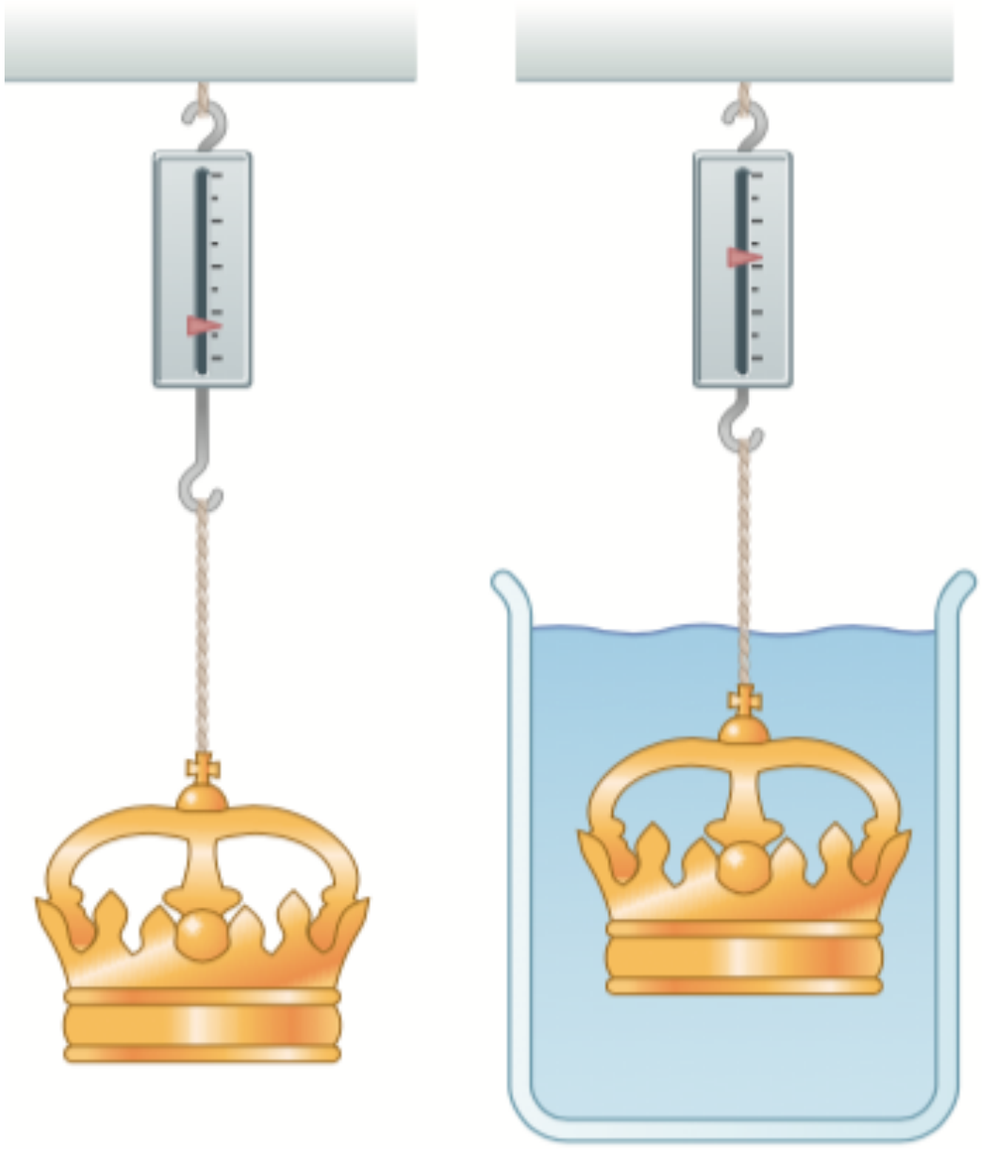
Density of ice = ~0.92 g/cm^3

Density of water = ~1.00 g/cm^3

ตัวอย่าง

สมมติว่าอาคีมิดิสถูกถามว่ามงกุฎของพระราชาทำด้วยทองคำแท้หรือไม่ จากในตำนานอาคิมีดิสแก้ปัญหานี้ด้วยการชั่งน้ำหนักของมงกุฎครั้งแรกในอากาศและชั่งครั้งที่สองในน้ำ ตามรูป สมมติว่าชั่งครั้งแรกอ่านได้ 7.84 N และ 6.84 N เมื่อชั่งในน้ำ อาคิมีดิสจะรายงานพระราชาอย่างไร

[ให้ $\rho_{น้ำ} = 10^3$ kg/m^3, $\rho_{ทอง} = 19.3 \times 10^3$ kg/m^3]



ตัวอย่าง

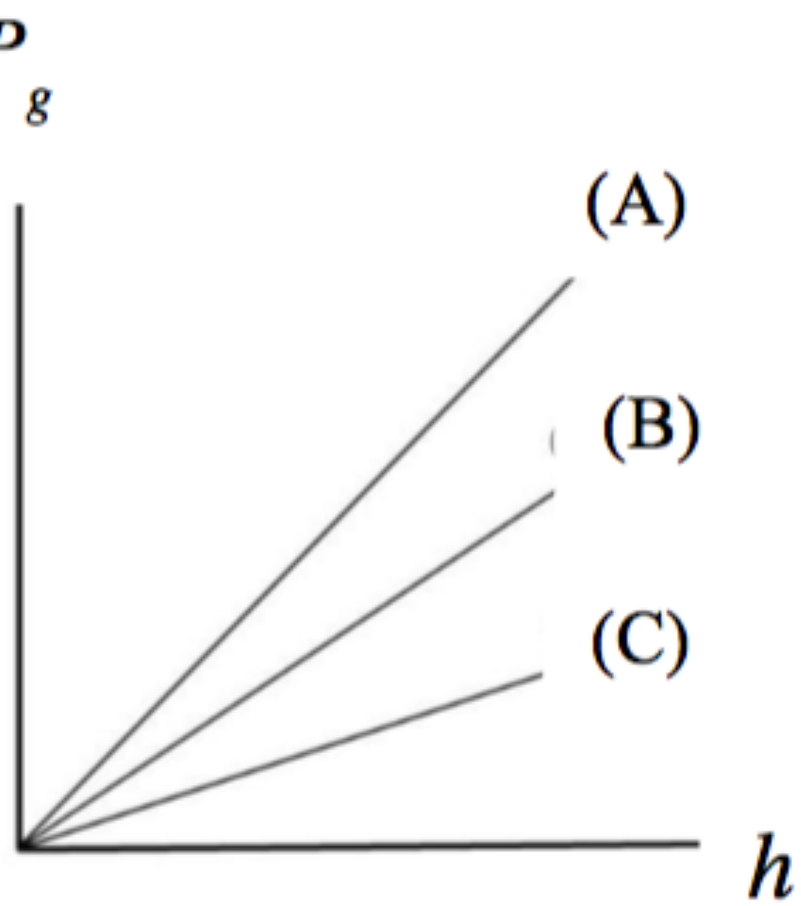
ไม้รูปลูกบาศก์มีขนาดแต่ละด้าน 20.0 cm และมีความหนาแน่น 650 kg/m^3 ลอยอยู่ในน้ำ

(a) จงหาระยะห่างจากผิวหน้าของฝาบนของลูกบาศก์ที่อยู่ในแนวระนาบไปจนถึงผิวน้ำ

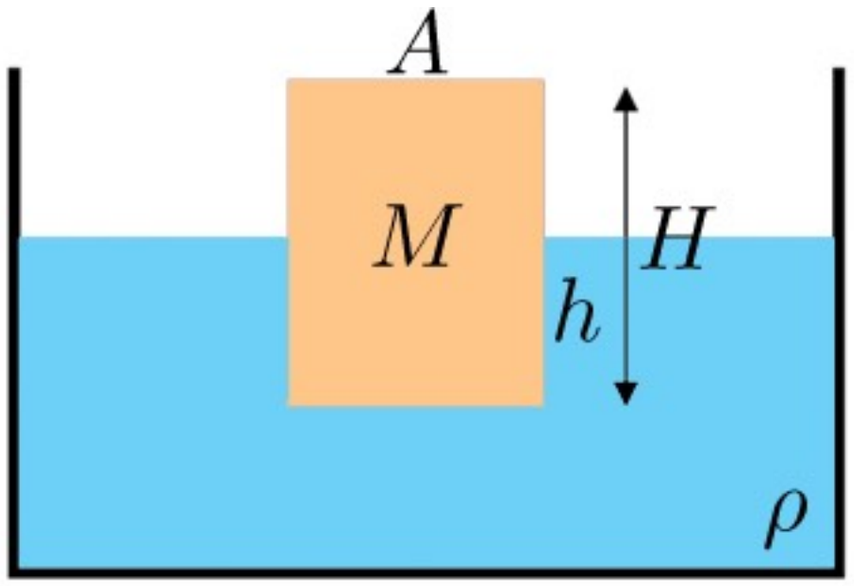
(b) จงหามวลของตะกั่วที่วางทับไม้แท่งนี้แล้วทำให้ผิวหน้าของฝาบนของแท่งไม้ปริ่มน้ำพอดี

ตัวอย่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันเกจ (Pg) และความลึก (h) ในของเหลว (A), (B) และ (C) แสดงด้วยกราฟดังรูป จงเรียงลำดับขนาดของแรงลอยตัวที่กระทำต่อก้อนโลหะปริมาตรเท่ากันในของเหลวทั้งสามชนิด เมื่อก้อนโลหะจมมิดอยู่ในของเหลว จากน้อยไปมาก



ของจมของลอย + Simple harmonic motion

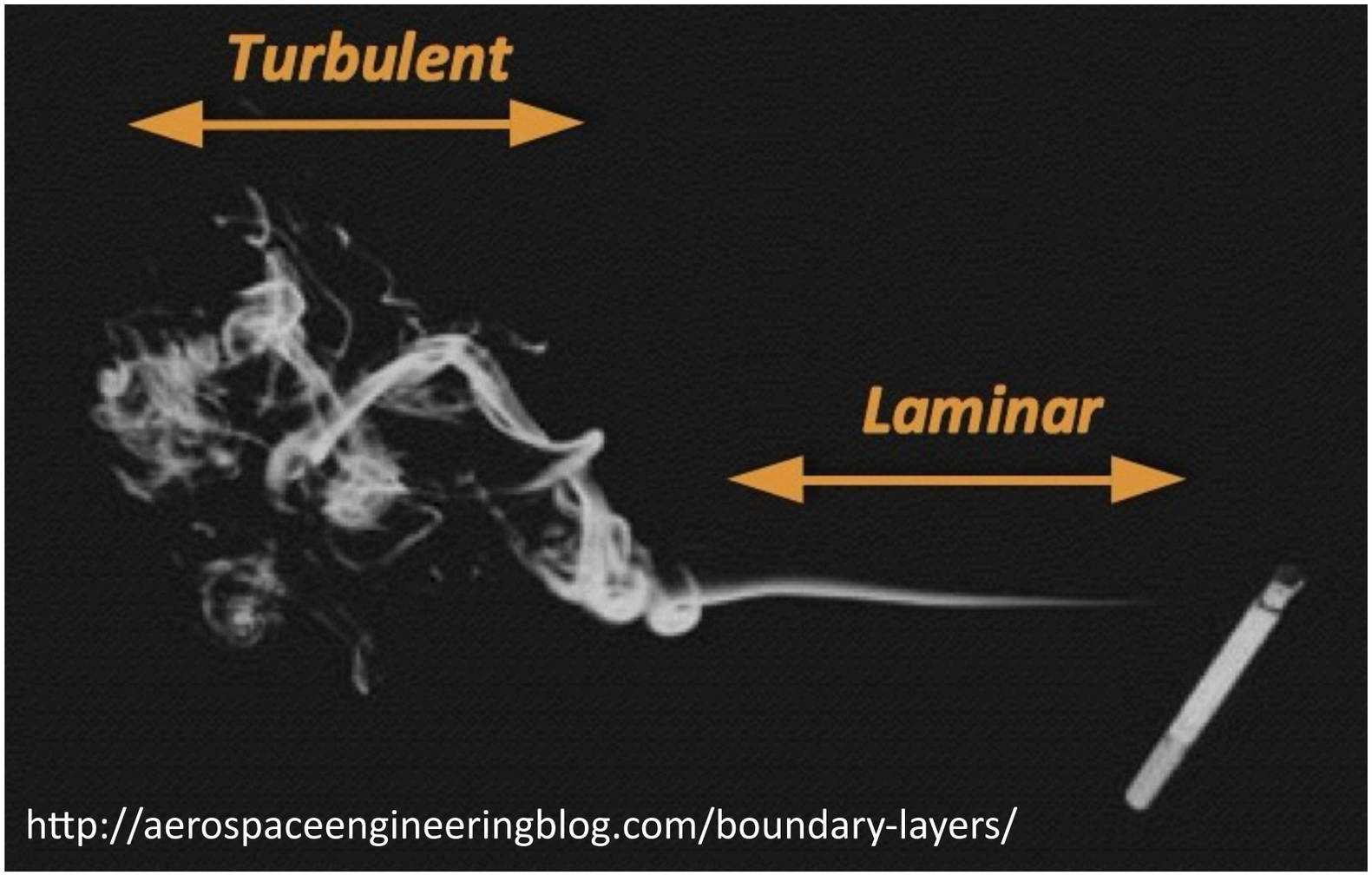


วัตถุปริ่มน้ำดังรูป เมื่อเราออกแรงกดเล็กน้อยให้วัตถุจมน้ำมากขึ้นแล้วปล่อย จงพิสูจน์ว่าวัตถุจะสั่นแบบ Simple Harmonic

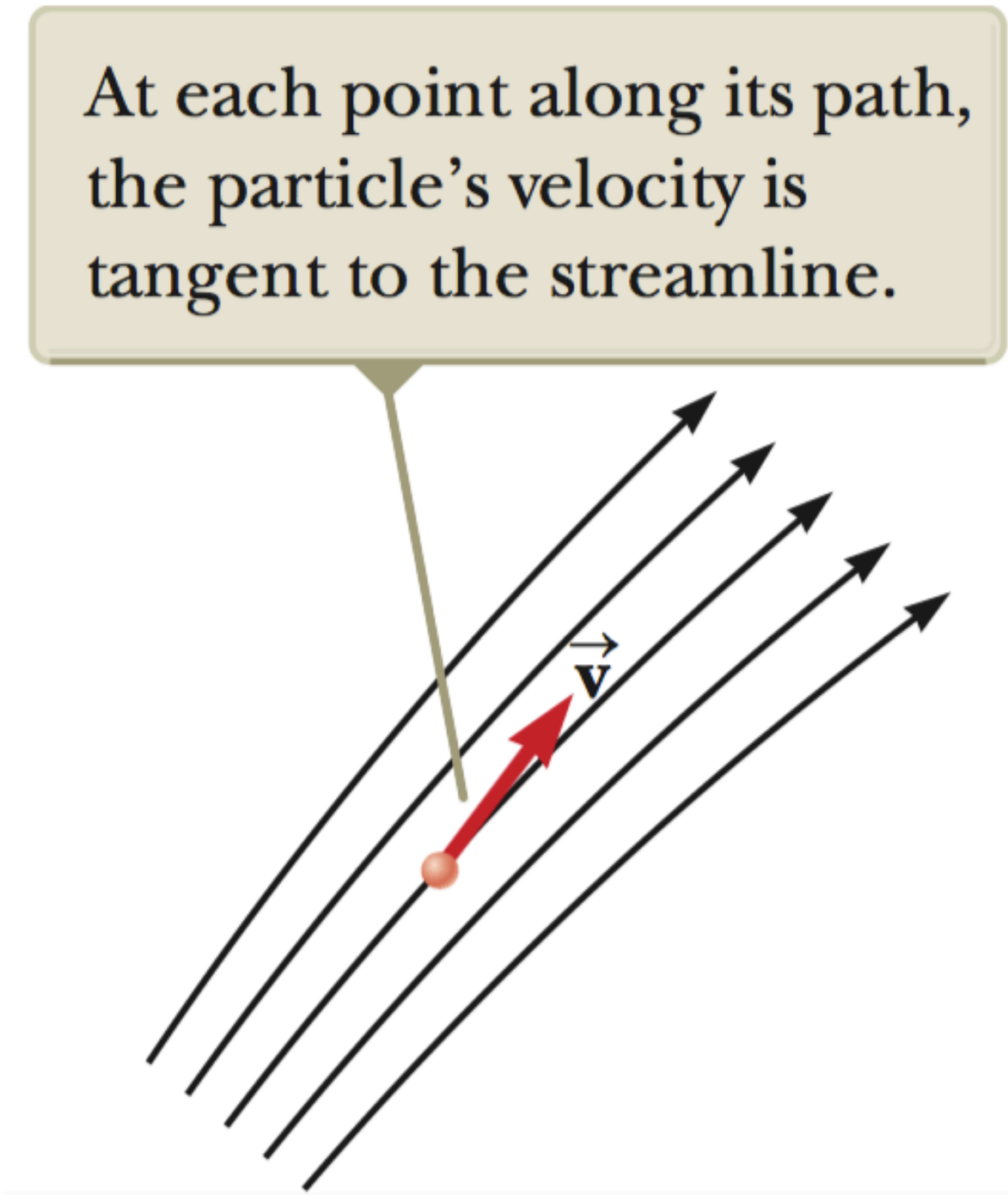
พลศาสตร์ของไหล

ในความเป็นจริง การเคลื่อนที่ของของไหลมีความซับซ้อนมาก ในชั้นเรียนนี้เราจึงสมมติเงื่อนไขต่าง ๆ เพื่อให้แก้ปัญหาได้ง่ายขึ้น โดยเราให้การไหลของของไหลประกอบด้วยสมมติฐาน 4 ข้อคือ

- **ของไหลไม่มีความหนืด (Nonviscoud flow)** ทำให้เราไม่ต้องพิจารณาแรงเสียดทานภายใน
- **มีการไหลอย่างสม่ำเสมอ (Steady flow, laminar)** อนุภาคทุกตัวเคลื่อนที่ผ่านจุด ๆ หนึ่งจะมีความเร็วเท่ากันเสมอ
- **ของไหลนั้นไม่สามารถถูกบีบอัดได้ (Incompressible flow)**
- **ของไหลไม่เกิดการหมุนวน (Irrotational flow)**



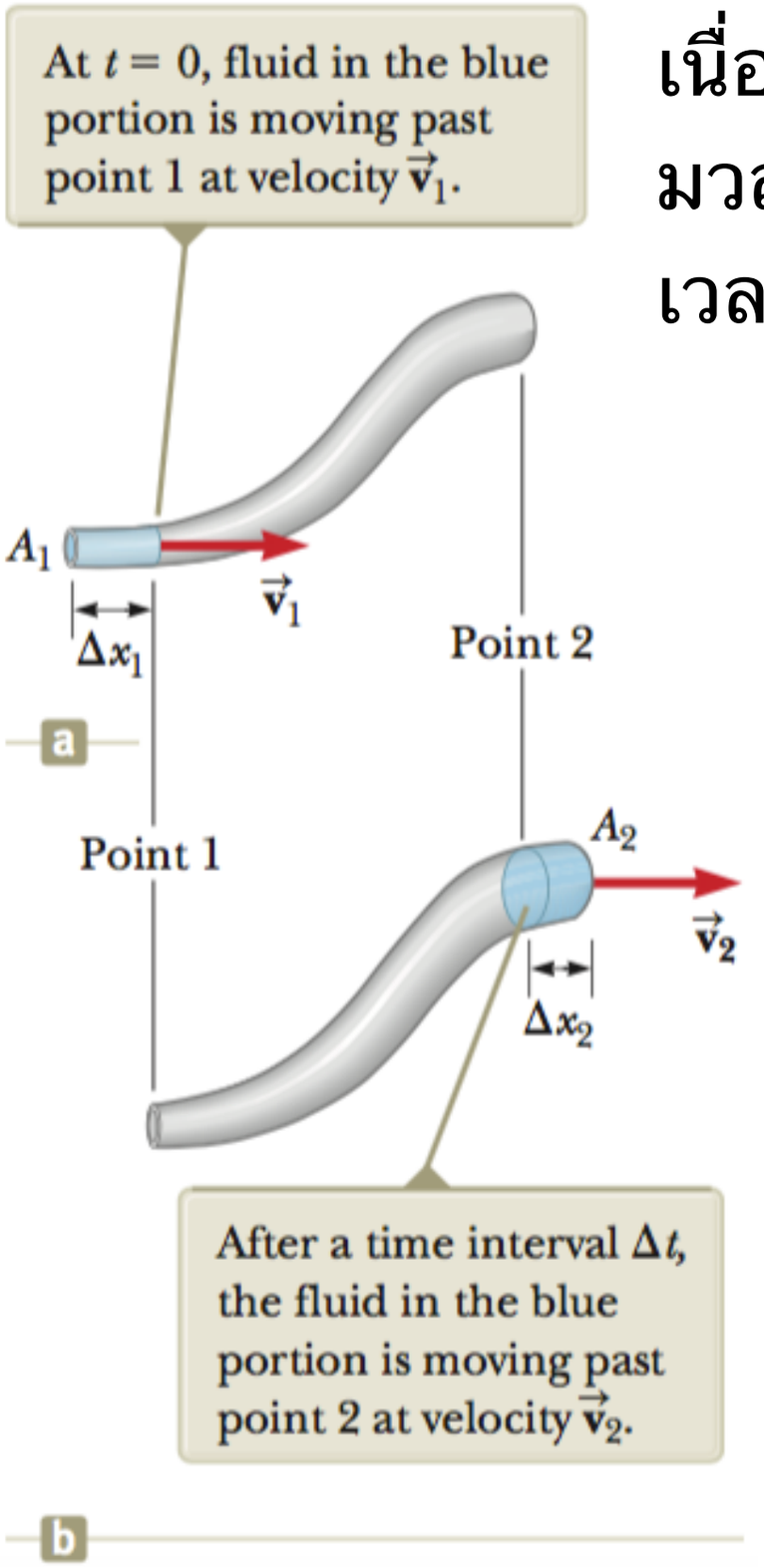
เส้นทางการไหล (สายกระแส)



เส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของไหลที่มีการไหลอย่างสม่ำเสมอเรียกว่า**เส้นทางการไหลหรือสายกระแส (streamline)** โดยความเร็วจะมีทิศทางเดียวกับเส้นสัมผัสกับสายกระแสเสมอ

เราเรียกกลุ่มของสายกระแสว่า**ท่อการไหล (Tube of flow)** อนุภาคของไหลจะไม่สามารถเข้าหรือออกจากทางด้านข้างของท่อกระแสได้ ถ้าหากเข้าได้จะต้องเกิดการตัดกันของสายกระแสเกิดขึ้น

Equation of continuity of fluids



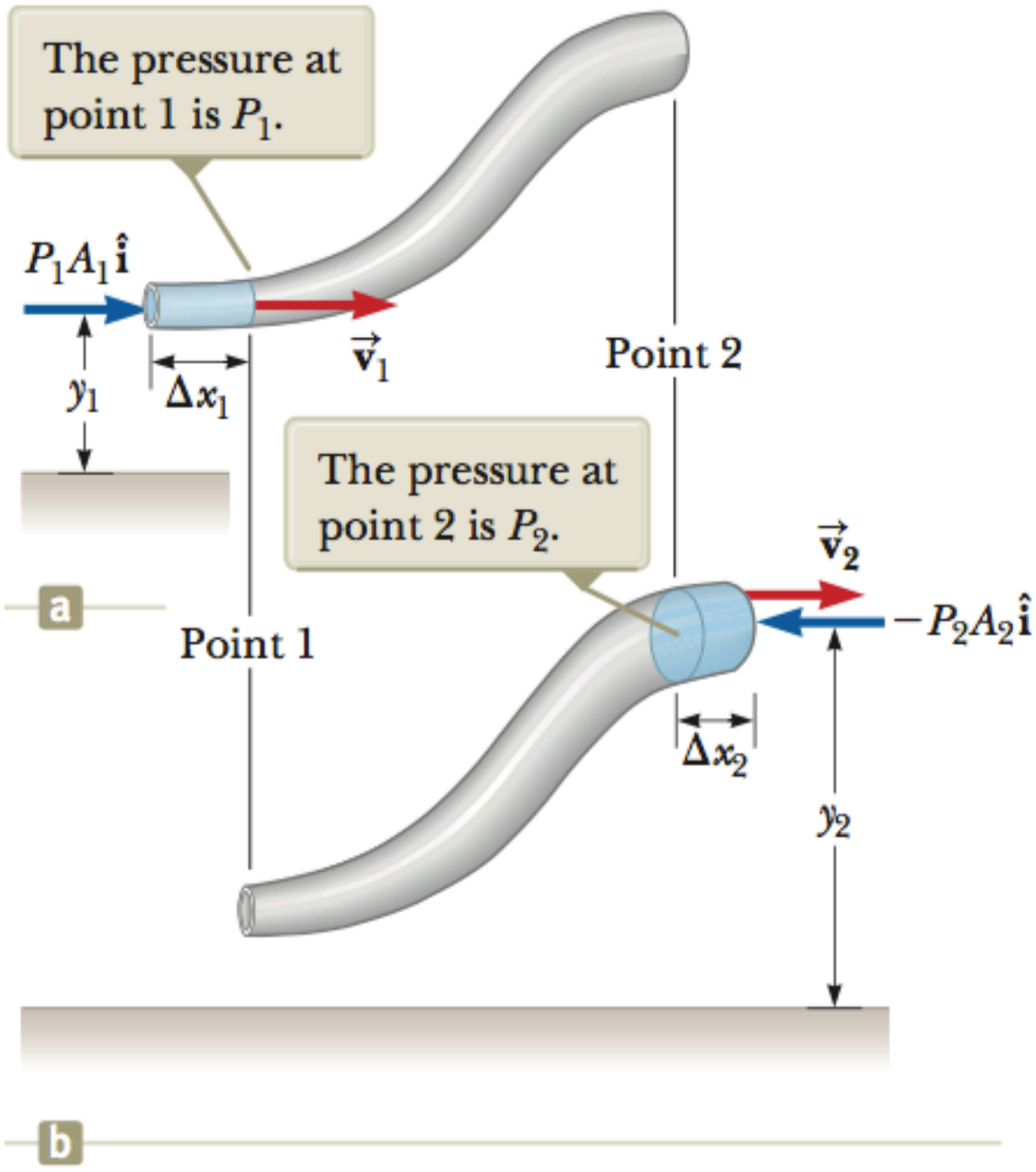
เนื่องจากไม่มีของไหลเข้าหรือออกจากหลอดของการไหล มวลของของไหลที่ผ่านภาคตัดขวางใด ๆ ต่อหนึ่งหน่วยเวลาจะมีค่าคงที่เสมอ

ตัวอย่าง

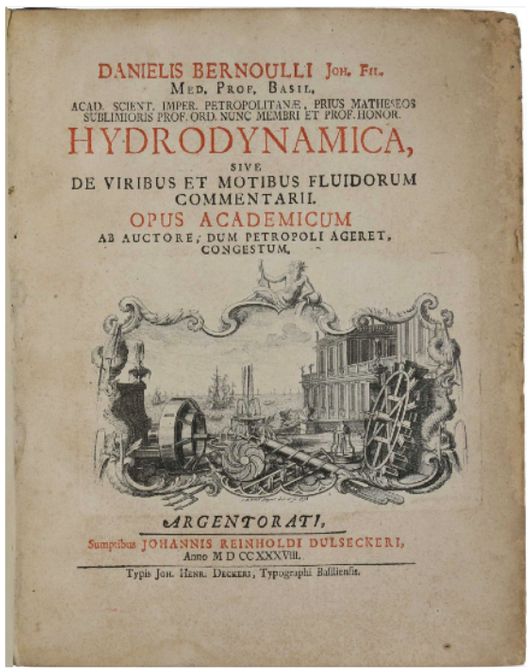
ขณะรดน้ำต้นไม้ นิสิตถือสายยางเส้นหนึ่งในแนวระดับ หากต้องการให้น้ำที่พุ่งออกจากสายยางไปตกที่ตำแหน่งไกลกว่าเดิม 4 เท่า ต้องบีบให้พื้นที่หน้าตัดของสายยางลดลงเหลือกี่เท่าของพื้นที่หน้าตัดเดิม

ก๊อกน้ำตัวหนึ่งเปิดน้ำลงในแนวดิ่ง ลำน้ำจากปากก๊อกแคบลงเมื่อตกในแนวดิ่ง ให้พื้นที่ภาคตัดขวางที่ปากก๊อกเป็น 1.2 ตารางเซนติเมตร พิจารณาที่ตำแหน่ง h ที่ต่ำกว่าปากก๊อกลงไป 45 มิลลิเมตร พบว่าพื้นที่ภาคตัดขวางเป็น 0.35 ตารางเซนติเมตร และอัตราเร็วน้ำที่ตำแหน่งนี้เป็น 98.06 เซนติเมตรต่อวินาที จงหาอัตราเร็วน้ำที่ปากก๊อก

สมการของแบร์นูลลี

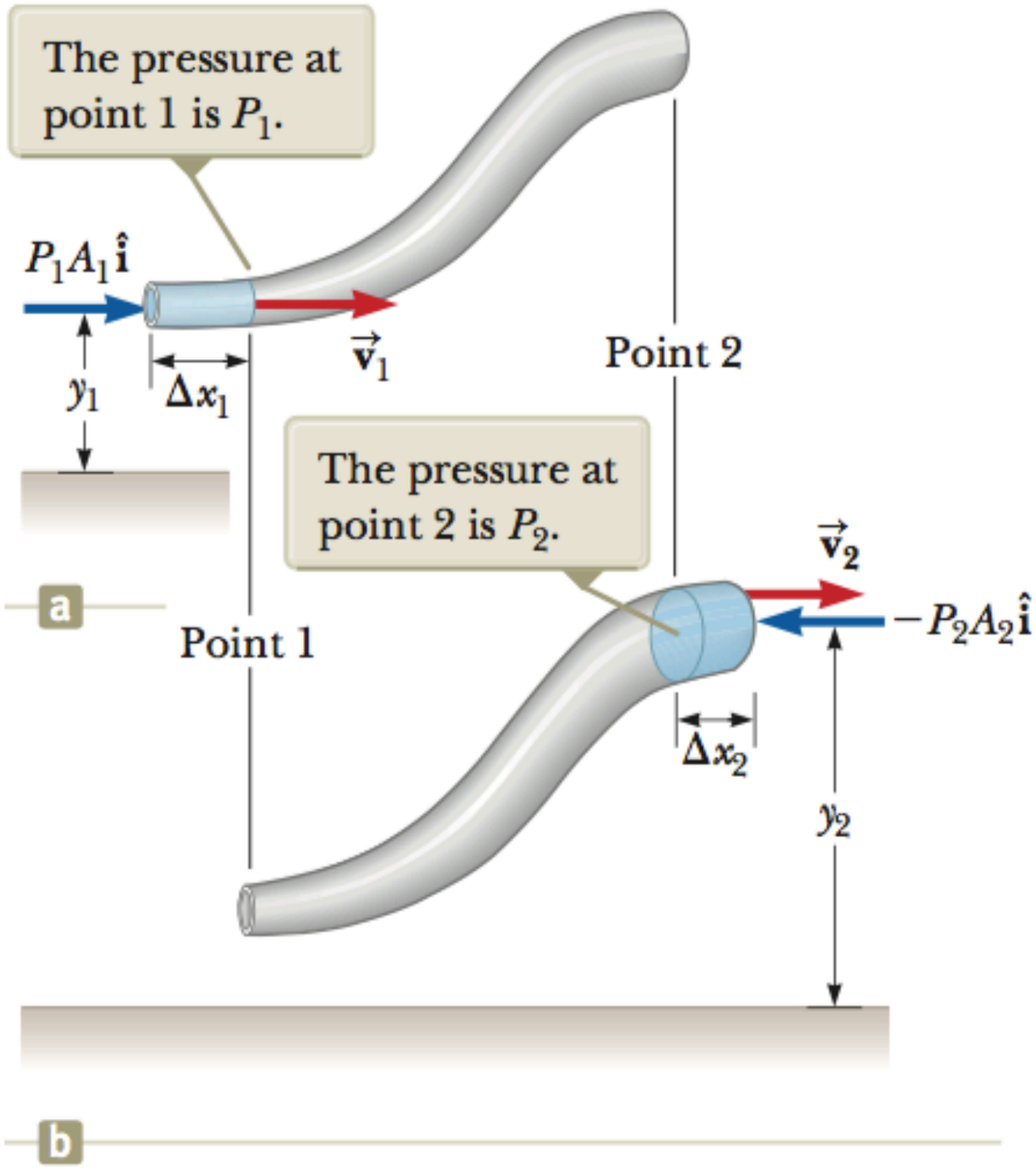


ขณะที่ของไหลเคลื่อนที่ผ่านบริเวณใด บริเวณหนึ่งแล้วอัตราเร็ว หรือระดับความสูงจากผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป ความดันก็จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไป ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร็วของของไหล ความดัน และระดับความสูง ถูกพิสูจน์โดยนักฟิสิกส์ชาวสวิส Daniel Bernoulli ในปี 1738


DANIELIS BERNOULLI Joh. Fil.
Med. Prof. Basil.
Acad. Scient. Imper. Petropolitanæ, prius Matheseos Sublimioris Prof. Ord. nunc Membri et Prof. Honor.
HYDRODYNAMICA,
sive
DE VIRIBUS ET MOTIBUS FLUIDORUM
COMMENTARII.
OPUS ACADEMICUM
Ab Auctore, dum Petropoli ageret, Congestum.
ARGENTORATI,
Sumptibus Johannis Reinholdi Dulseckeri,
Anno M D CC XXXVIII.
Typis Joh. Henr. Deckeri, Typographi Basiliensis.

สมการของแบร์นูลลี

หลักการของงาน-พลังงาน



เราสามารถจัดกลุ่มพลังงานได้ 2 ชนิด คือ

พลังงานจล์ (Kinetic energy)

พลังงานศักย์ (Potential energy)

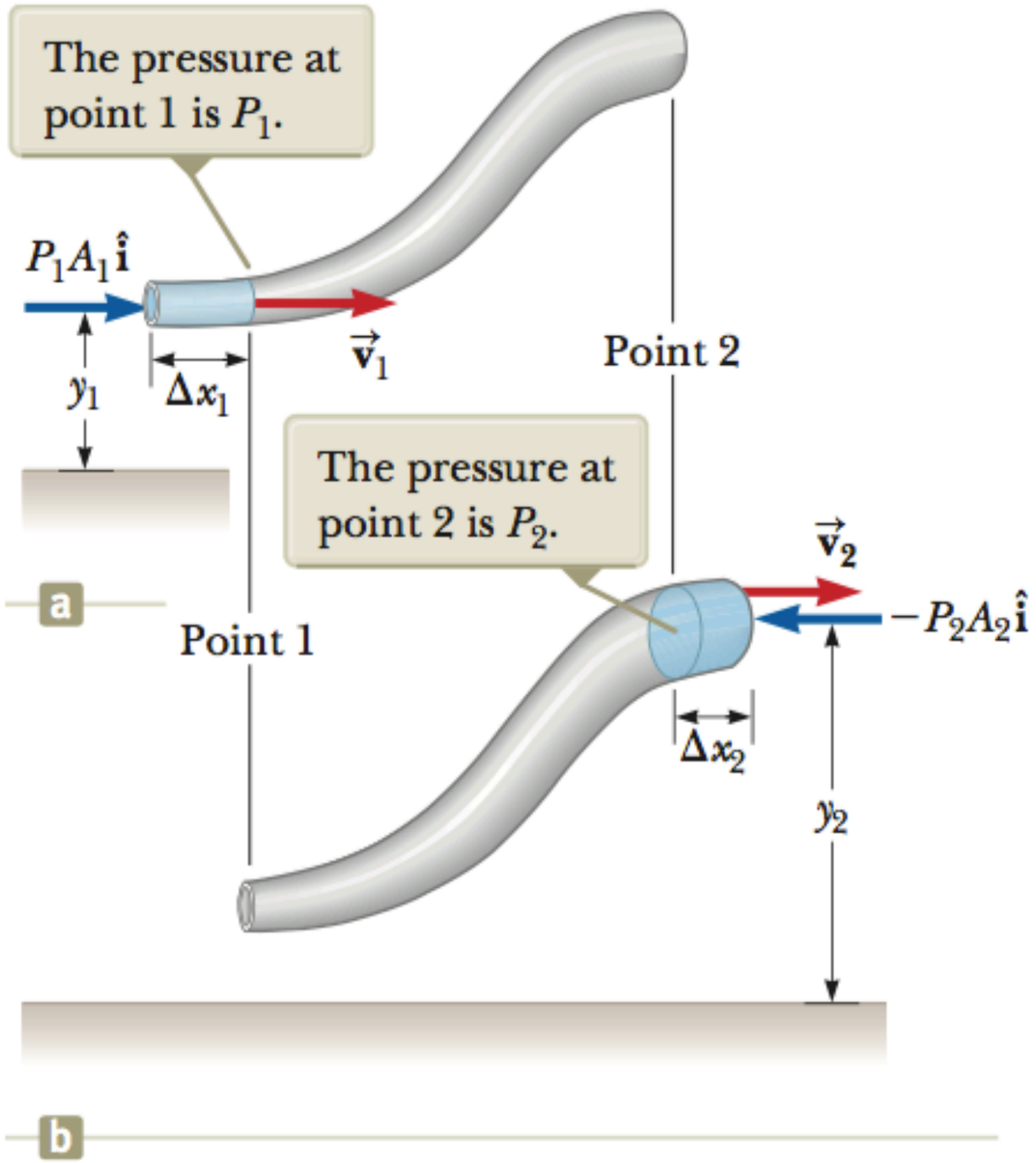
งานที่กระทำในการย้ายมวลก้อนน้ำจาก Point 1 ไป Point 2 คือ

สมการของแบร์นูลลี

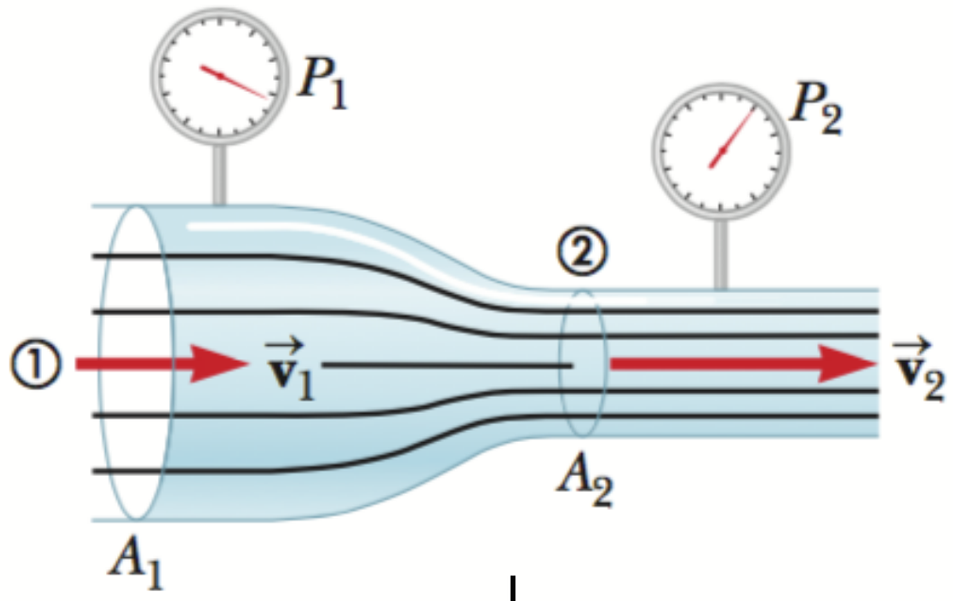
$W_{1->2}$ =

จากนั้นเมื่อเรานำทุกเทอมที่คิดไว้มารวมกัน

หรือเรายังสามารถสรุปได้ว่า



สรุปหลักการสำคัญ

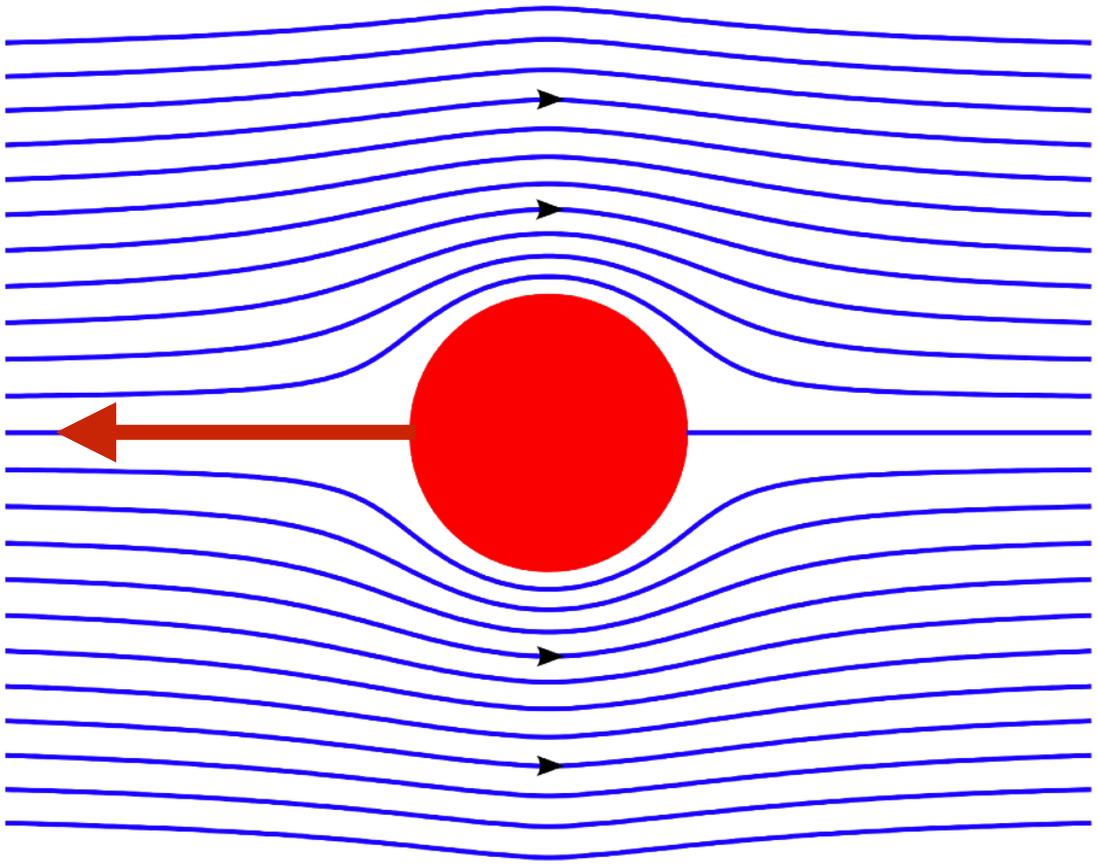


จากสมการความต่อเนื่อง

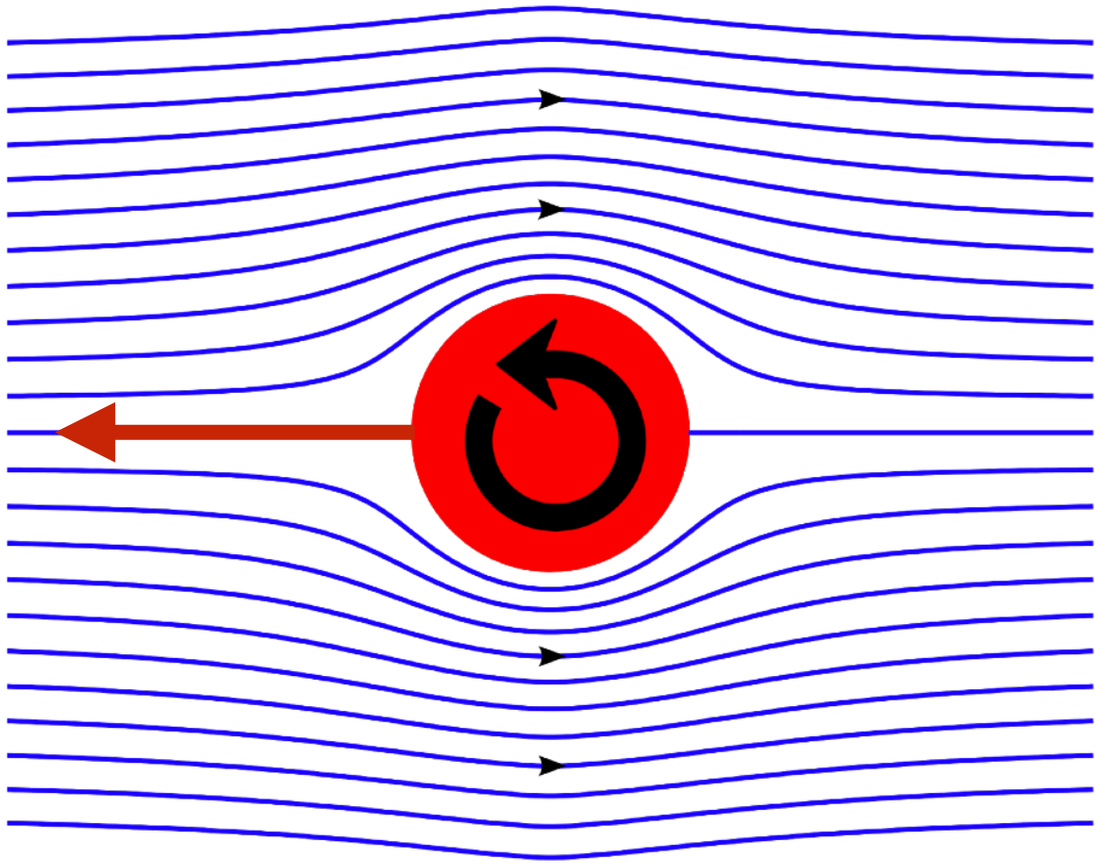
จากสมการแบร์นูลลี

Ball spinning

บอลไม่สปิน



บอลสปิน เกิดอะไรขึ้น



แรงยกของปีกเครื่องบิน

ในการออกแบบปีกเครื่องบิน เราต้องการให้**เกิดแรงยก**ที่ปีก
นั่นคือเราพยายามทำให้

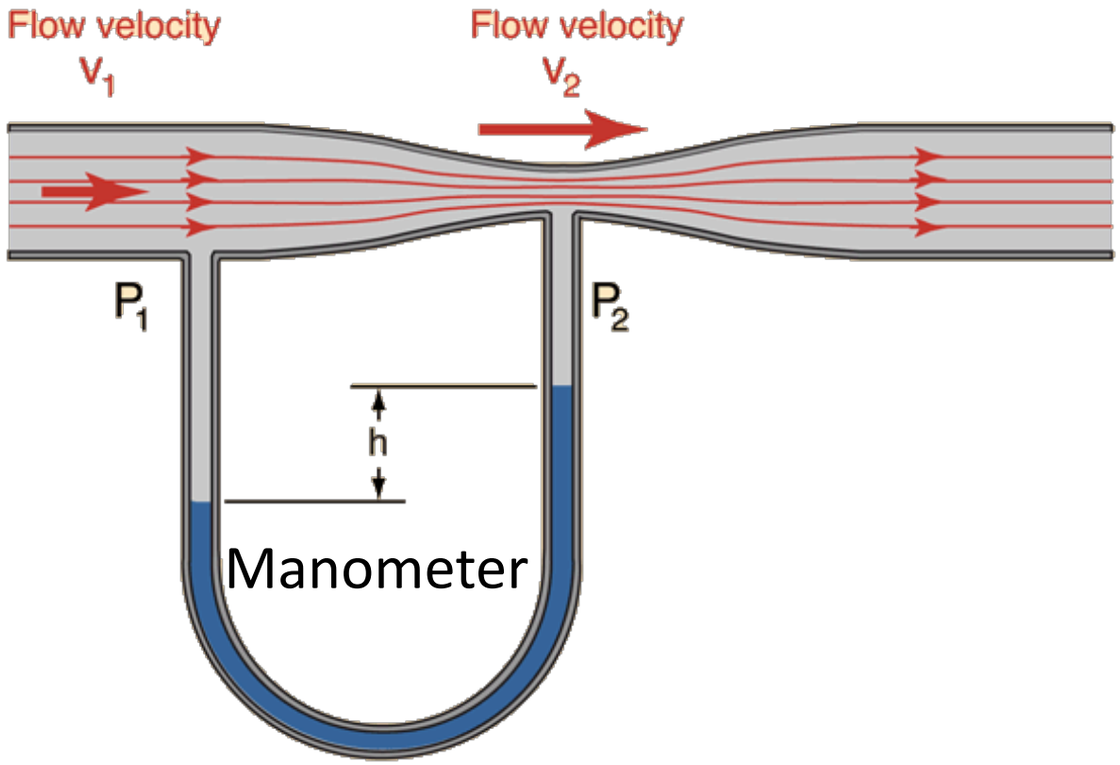
- ความดันเหนือปีก ..... กว่าความดันใต้ปีก
- หรือ ความเร็วลมเหนือปีก ..... กว่าความเร็วลมใต้ปีก

สปอยเลอร์ติดรถยนต์ ติดไว้ทำไม?

Credit: PxHere

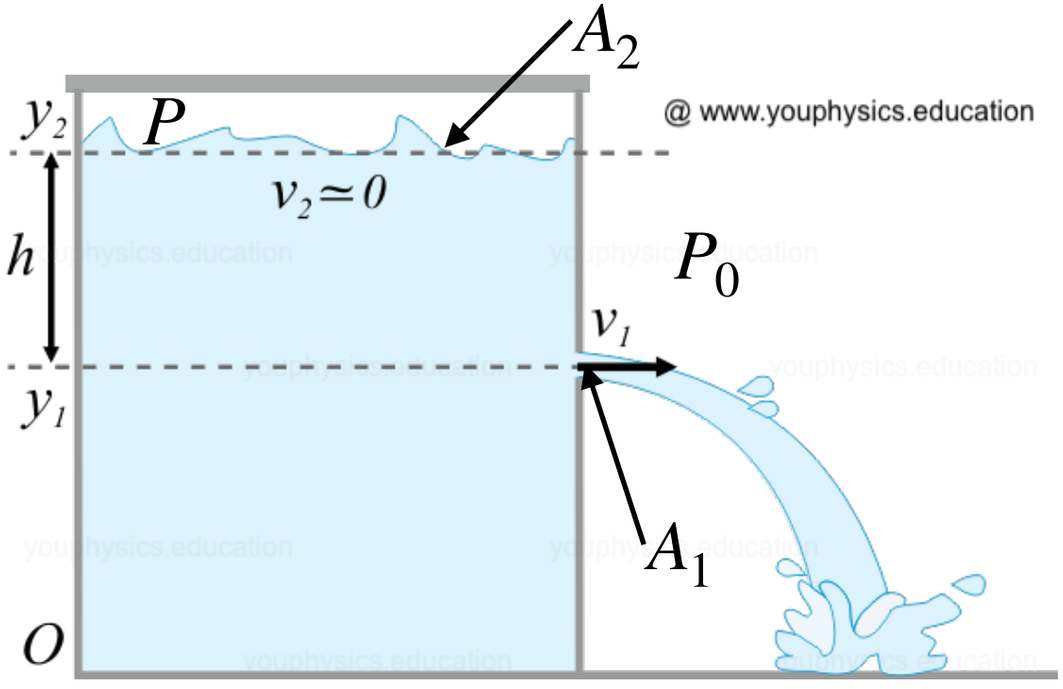
ตัวอย่าง: Venturi meter

มาตรเวนทูริเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดอัตราเร็วของของเหลวในท่อ ถ้าของเหลวมีความหนาแน่น ρ ไหลผ่านท่อซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด A_1 และที่คอคอดมีพื้นที่หน้าตัด A_2 มีมาโนมิเตอร์รูปตัวยูติดกับท่อ เราจะสามารถหาความดันระหว่างจุด 2 และ 1 ได้อย่างไร



ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานมาตรเวนทูริ:

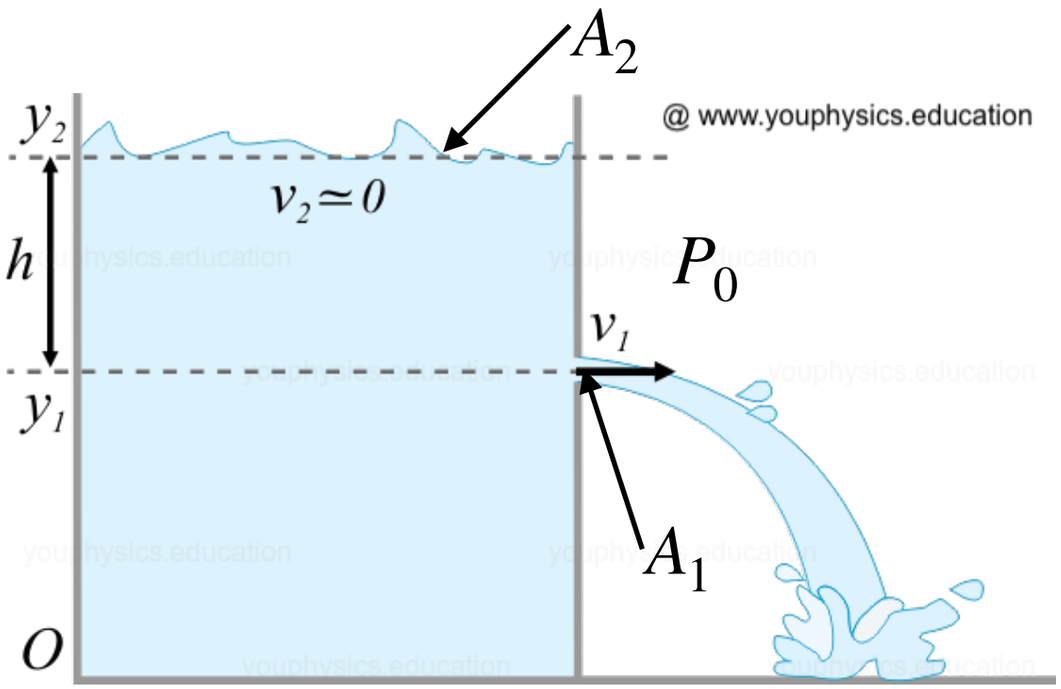
ตัวอย่าง Torricelli's Law



ถังบรรจุน้ำดังรูปถูกทำให้เป็นรูที่จุดซึ่งอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำเป็นระยะทาง h อัตราเร็วของน้ำขณะที่พุ่งออกมาจากถังน้ำจะมีค่าเท่าใด เมื่อกำหนดให้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเล็กกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของถังมาก ๆ
- ความดันของอากาศในถังถูกทำให้มีค่าคงที่เท่ากับ P

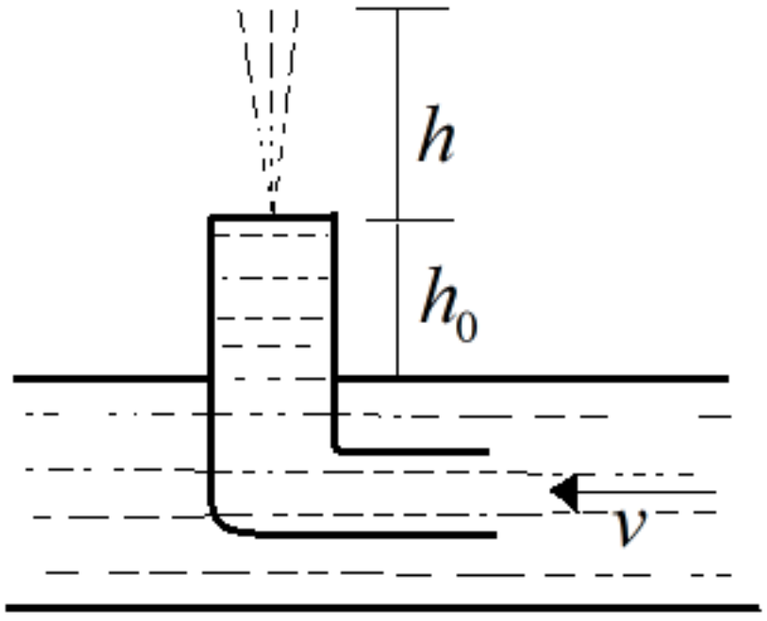
ตัวอย่าง Torricelli's Law



หากถังนี้ไม่มีฝาปิดเราจะได้ว่า

และหากเราสามารถเลื่อนรูให้ขึ้นหรือลงได้ ณ ความสูงเท่าใดที่น้ำจะพุ่งไกลสุด

ตัวอย่าง



ท่องอตามรูปถูกหย่อนลงไปในน้ำที่ไหลด้วยอัตราเร็ว 2.5 เมตรต่อวินาที ระดับปลายท่อด้านที่อยู่เหนือน้ำ อยู่เหนือผิวน้ำเล็กน้อยเป็นระยะ h_0 และมีรูเล็ก ๆ ให้น้ำพุ่งออกมาได้ จงหาว่าน้ำจะพุ่งขึ้นไปได้สูงสุดกี่เมตร