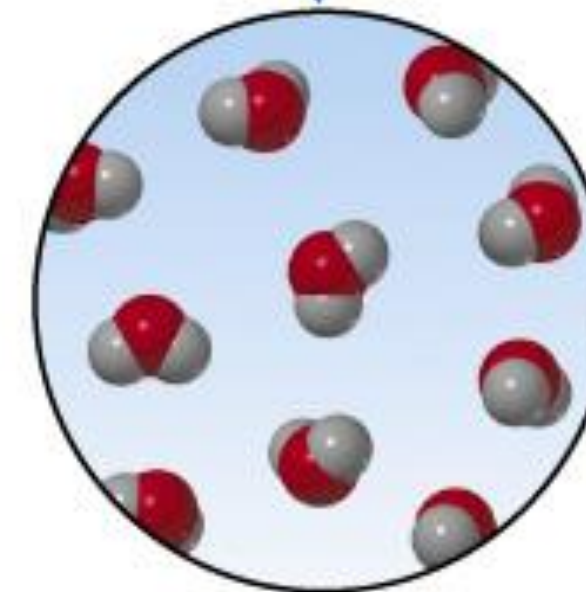
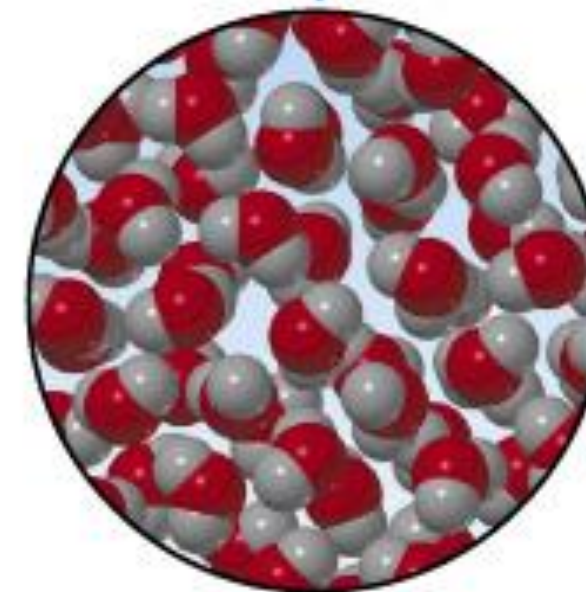
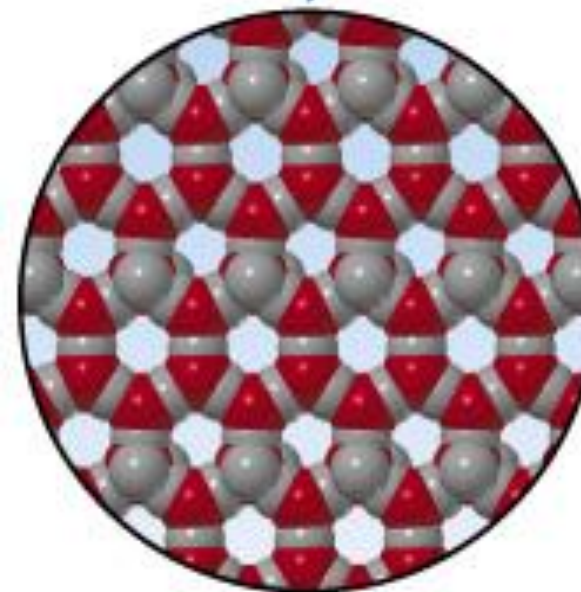


สมบัติแก๊ส

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ



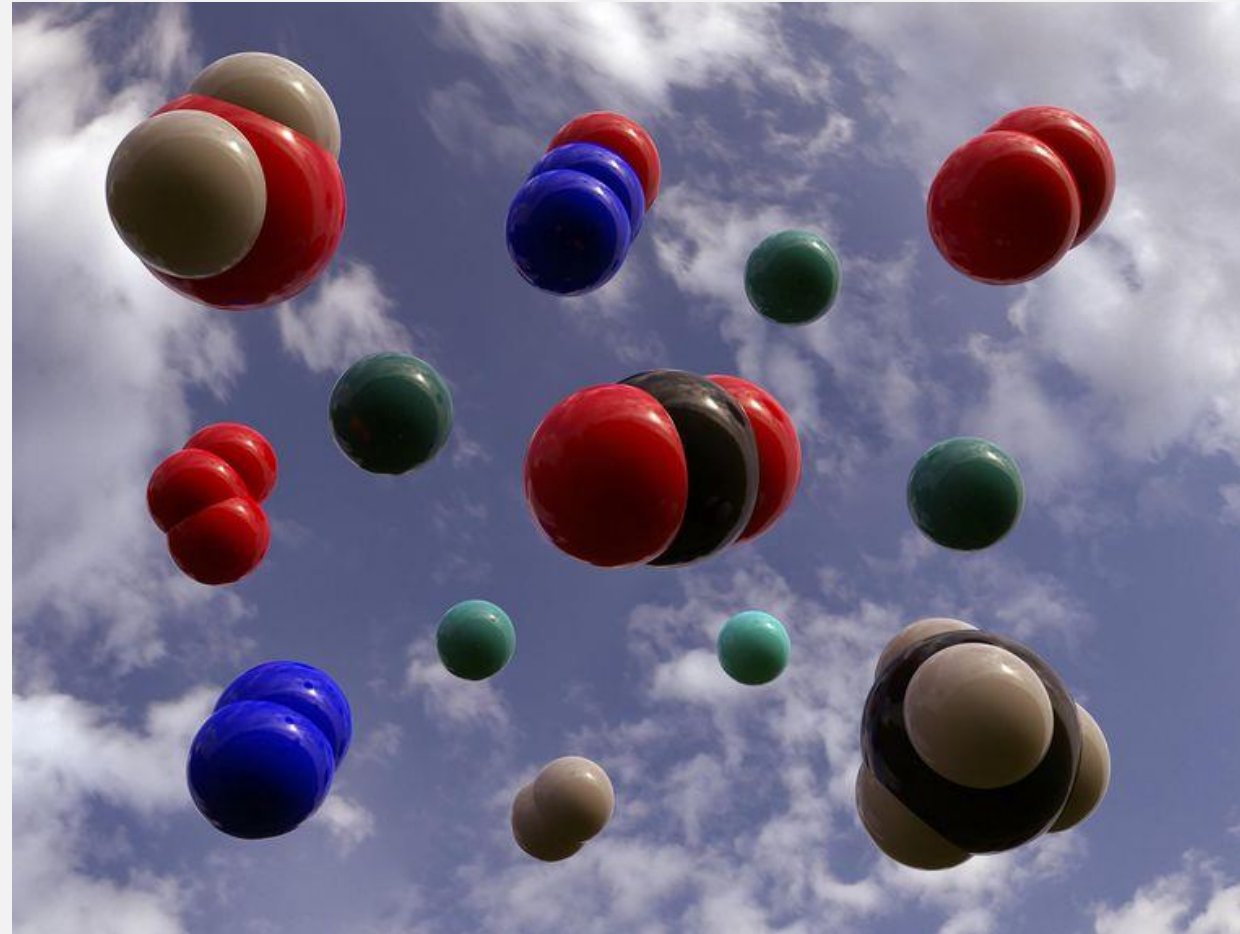
<http://wps.prenhall.com>



Download เอกสารอ่านเพิ่มเติม
เอกสารเผยแพร่เพื่อประโยชน์แก่การศึกษา
woravith.c@rmutp.ac.th

แก๊ส (Gas)

สถานะของสสารที่มีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคน้อยมาก

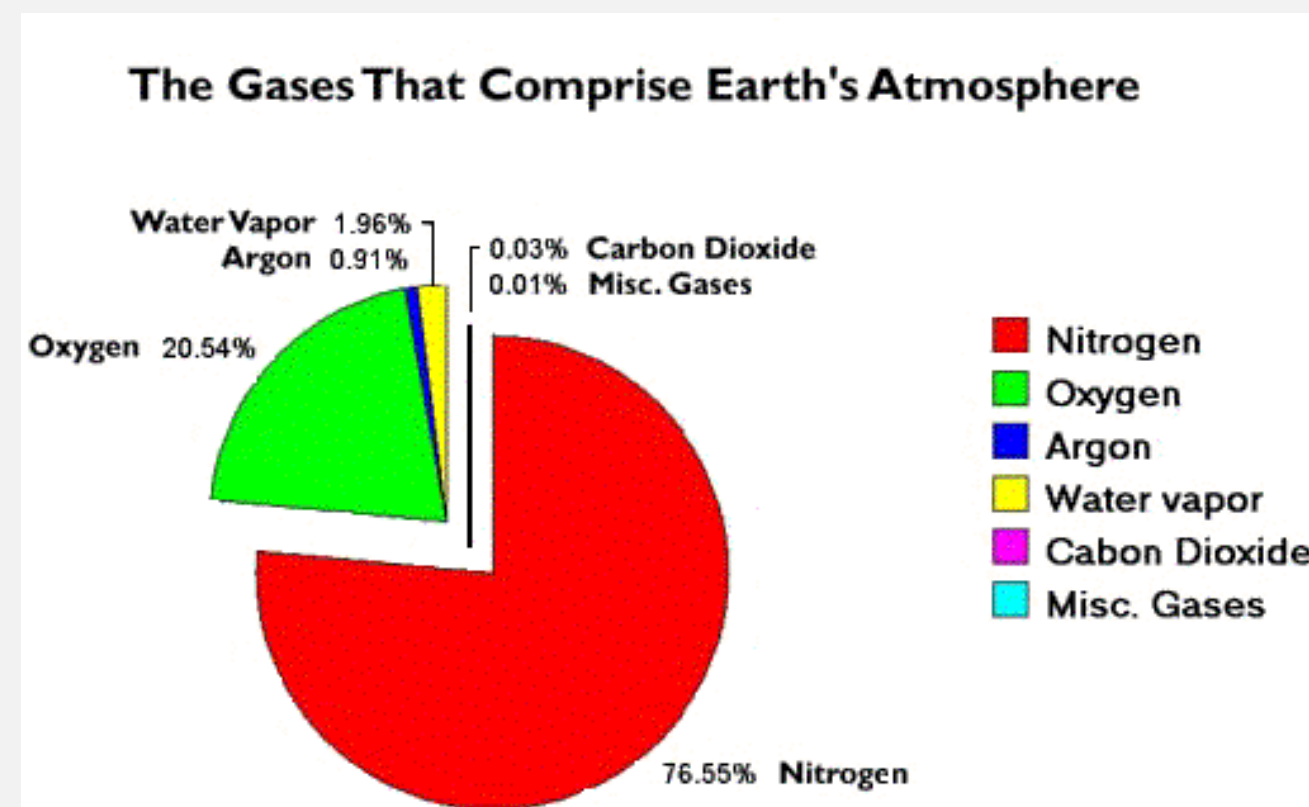


แก๊สอุดมคติ (Ideal gas)

- เป็นแก๊สที่สมมติขึ้นมาใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของแก๊ส
- ไม่มีอยู่จริงในธรรมชาติ

แก๊สจริง (Real gas)

- เป็นแก๊สที่มีอยู่ในธรรมชาติ
- มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล
- ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมที่ไม่เป็นไปตามกฎของแก๊ส



Indefinite shape
Motion particles
Expansion
Compressibility
Mixing
Low density
Low attractive force

สมบัติทั่วไป ของแก๊ส

- โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมากกว่าของเหลวและของแข็ง จึงเป็นผลให้มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยมาก หรือไม่มีแรงดึงดูดเลยในแก๊สสมบูรณ์แบบ
- แก๊สมีความหนาแน่นน้อยกว่าของเหลวและของแข็ง
- โมเลกุลแก๊สมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาในทุกทิศทาง อย่างไม่เป็นระเบียบและเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง
- แก๊สไม่มีรูปร่างและปริมาตรที่แน่นอนแต่จะมีรูปร่าง และปริมาตรตามภาชนะที่บรรจุ
- โมเลกุลของแก๊สในภาชนะเมื่อเกิดการชนกันแล้ว โมเมนตัมโดยรวมจะไม่เท่ากับศูนย์

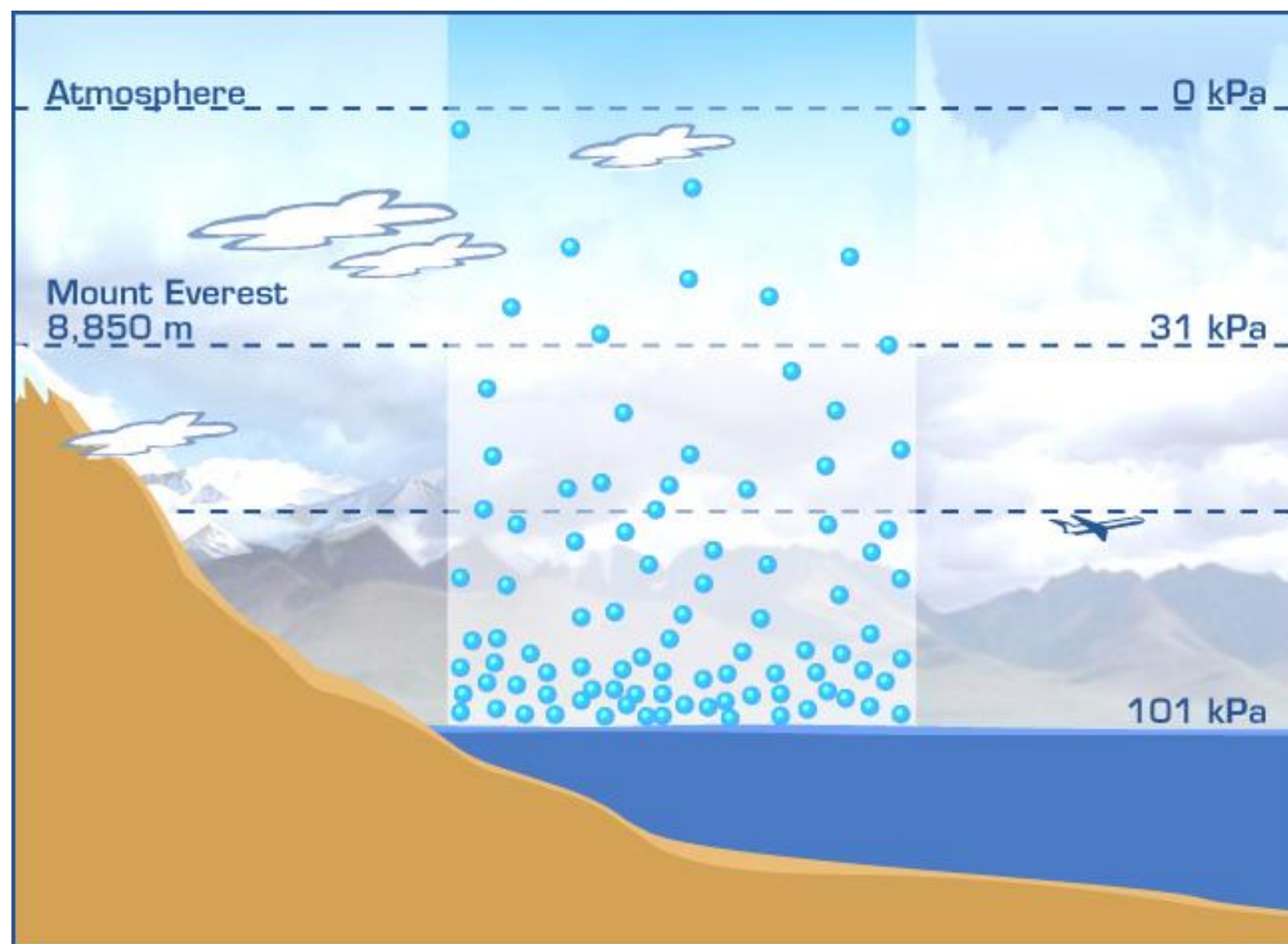


ความดันบรรยากาศ

Atmospheric Pressure: atm

P_{atm}

ความดันของบรรยากาศโลก
หรือ
ความดันของอากาศในชั้นบรรยากาศ
ต่ำสุดที่กระทำต่อพื้นผิวโลก

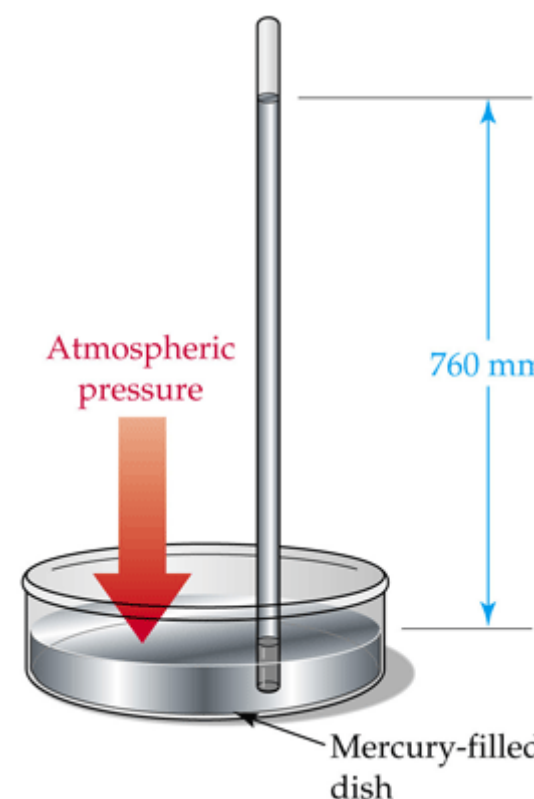


ระดับผิวน้ำทะเล ความดันบรรยากาศจะมีค่าโดยเฉลี่ย
เท่ากับ 101,325 Pa

1 บรรยากาศ (atm) = 1.013 25 บาร์
= 101325 ปาสกาล (Pa)
= 1013.25 มิลลิบาร์ (mbar)
= 760 ทอร์ (Torr)
≈ 760 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) ที่ 0°C
≈ 76 เซนติเมตรปรอท (cmHg) ที่ 0°C



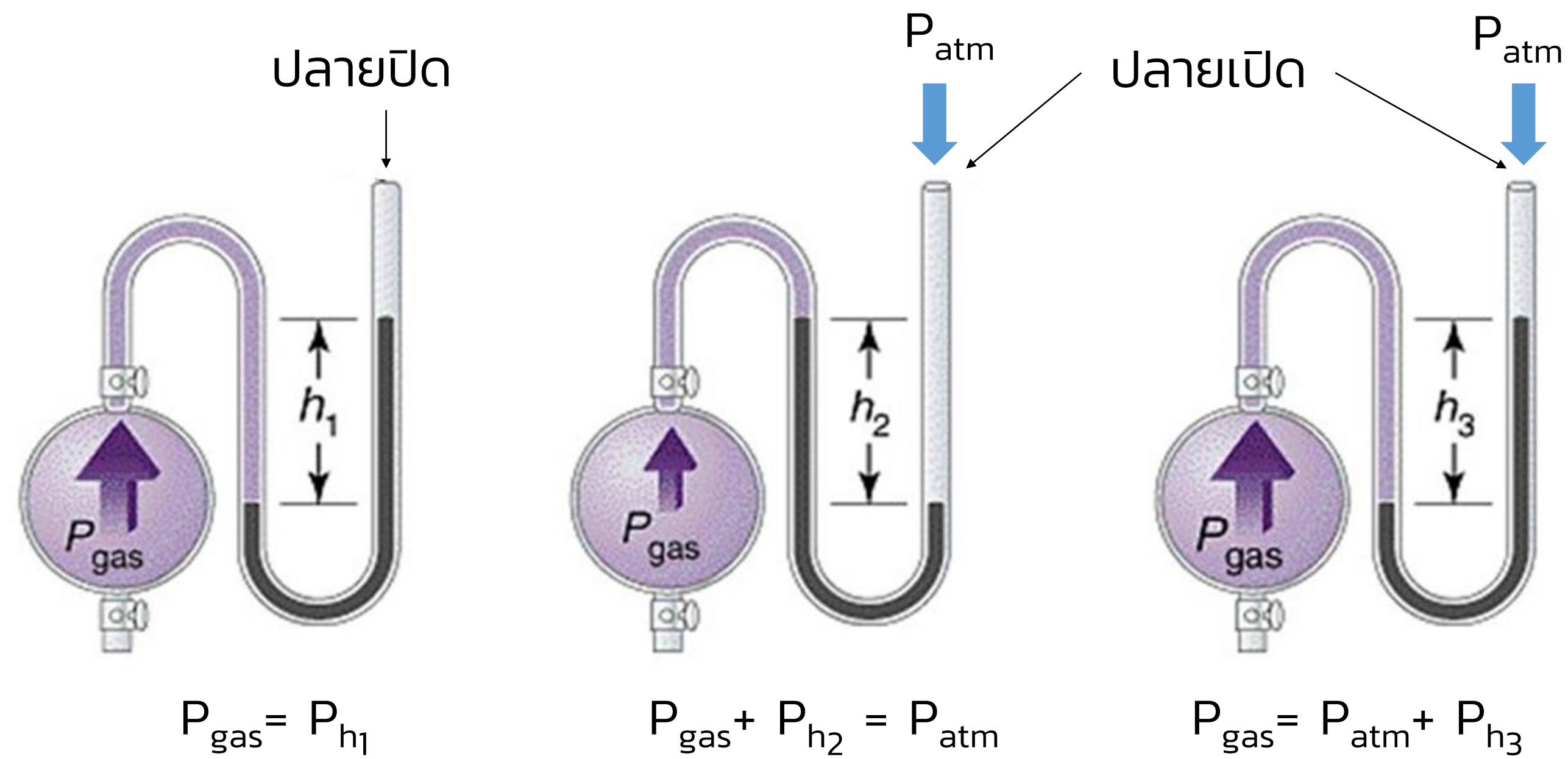
Evangelista Torricelli
Italian Physicist (ค.ศ.1643)



ความดัน 1 atm
ระดับปรอทสูงเท่ากับ 760 mm

บารอมิเตอร์แบบทอร์ริเชลลี

อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันของแก๊ส เรียกว่า แมนอมิเตอร์ (manometer)





ความดันบรรยากาศ



ความดันแก๊ส



อุณหภูมิ

T

อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature)

- องศาเซลเซียส ($^{\circ}\text{C}$)
- อุณหภูมิเคลวิน (Kelvin, K)

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$$





ความดันบรรยากาศ



ความดันแก๊ส



อุณหภูมิ



ปริมาตร



ปริมาตรของแก๊ส (V) จะขึ้นกับภาชนะที่บรรจุ
ปริมาตรของแก๊ส หมายถึง ปริมาตรของ
ภาชนะของแก๊สที่บรรจุแก๊สนั้น ๆ

1) หน่วยเอสไอ คือ ลูกบาศก์เมตร (m^3)

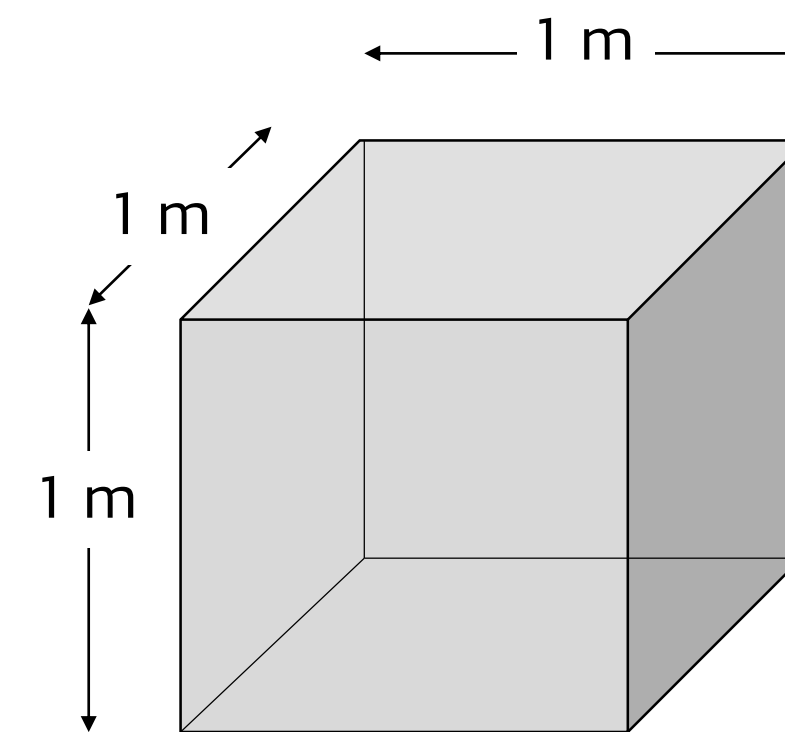
$$1 \text{ m}^3 = 1.0 \times 10^6 \text{ cm}^3$$

2) หน่วยระบบเมตริก คือ ลิตร (L) หรือ มิลลิลิตร (mL)

$$\text{โดย } 1 \text{ L} = 1000.027 \text{ cm}^3 = 1 \text{ dm}^3 \text{ (โดยประมาณ)}$$

$$1 \text{ mL} = 1.000027 \text{ cm}^3 = 1 \text{ cm}^3 \text{ (โดยประมาณ)}$$

$$\text{ดังนั้น } 1 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ cm}^3 = 1 \text{ L} = 10^3 \text{ mL}$$



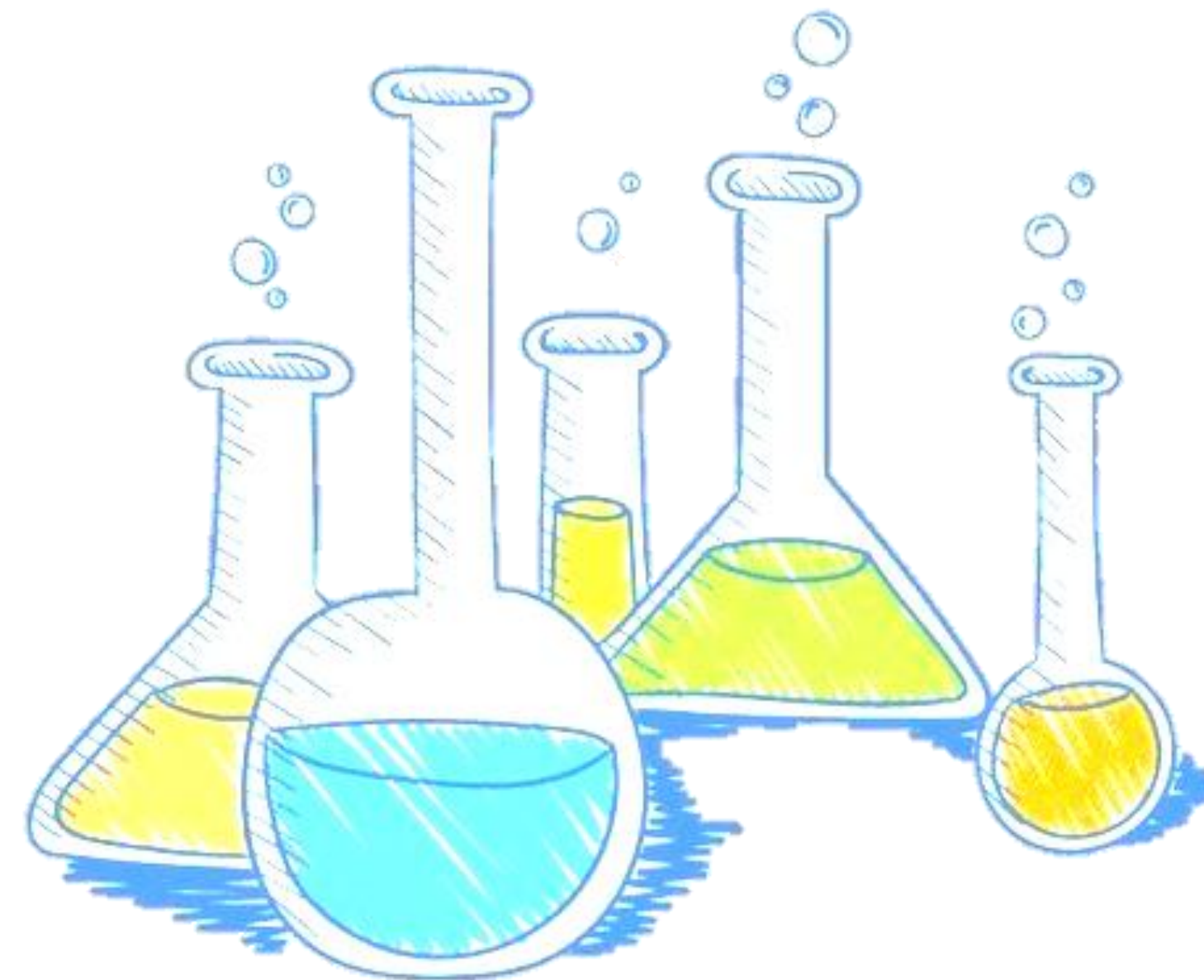
อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน

standard temperature and pressure ; STP

เนื่องจากปริมาตรของแก๊ส
เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความ
ดันที่เปลี่ยนไป เพื่อให้การเปรียบเทียบ
ปริมาตรของแก๊สถูกต้องตรงกัน จึงมี
การกำหนดอุณหภูมิมาตรฐานและ
ความดันมาตรฐาน

—— “ ——

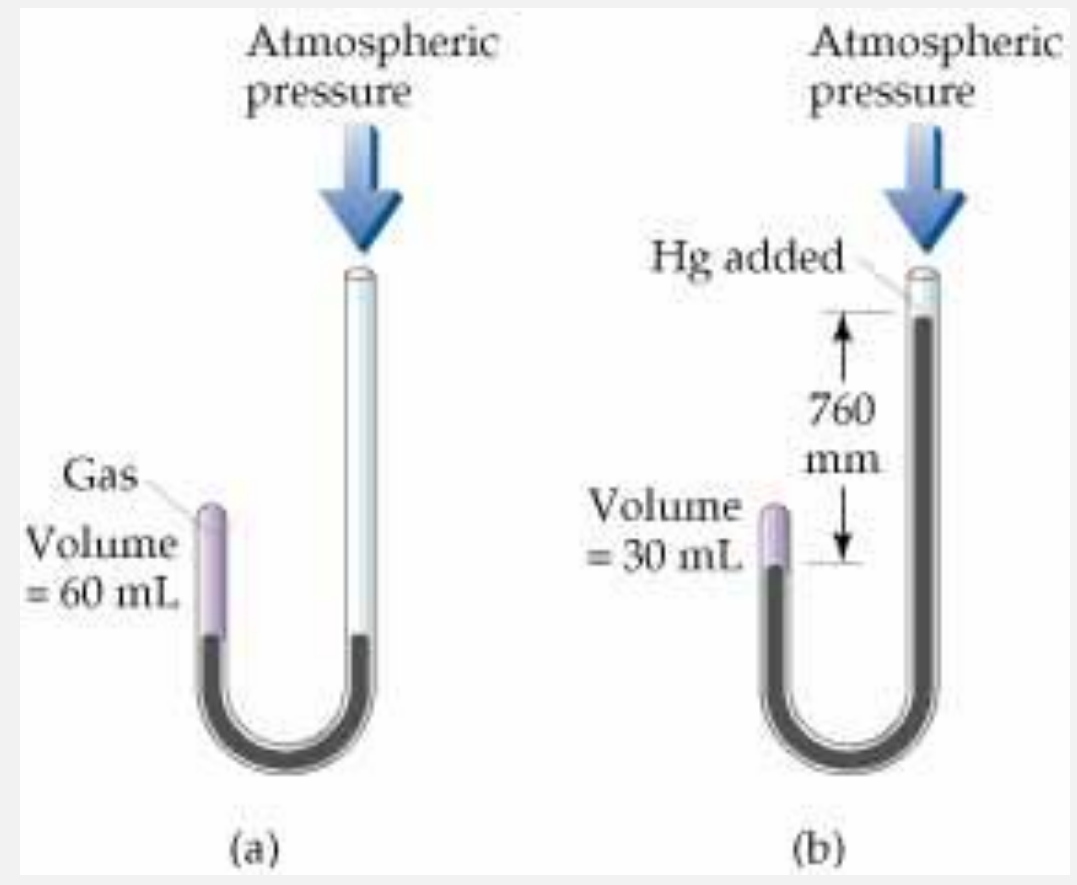
สภาวะที่อุณหภูมิ 273 เคลวิน
และ
ความดัน 1 บรรยากาศ





Robert William Boyle
(1627-1691)
Iris Chemist

ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่าง
ความดัน และปริมาตรของแก๊ส
ที่อุณหภูมิคงที่ โดยใช้
หลอดแก้วตัวเจ (J-shape) ที่
ปลายด้านหนึ่งปิด



“

เมื่ออุณหภูมิคงที่

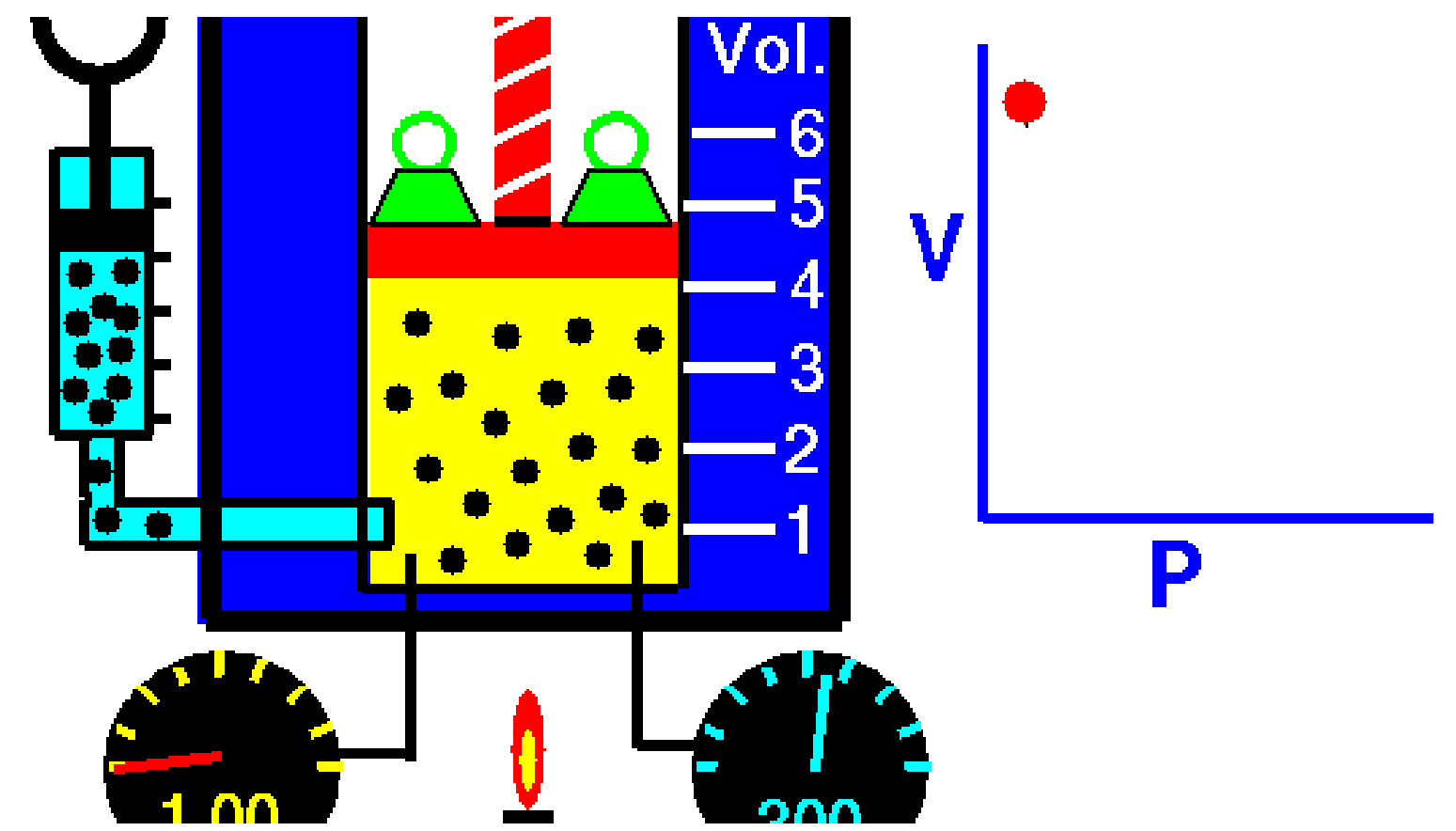
ปริมาตรแก๊ส
แปรผกผันกับ
ความดัน

$$V \propto \frac{1}{P}$$

$$V = \frac{k}{P}$$

$$PV = k$$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$





Jacques Charles
(1746–1823)
French Physics

ศึกษาถึงความสัมพันธ์
ระหว่างปริมาตรกับ
อุณหภูมิของแก๊ส



Hydrogen balloon (1783)

“

เมื่อความดันคงที่

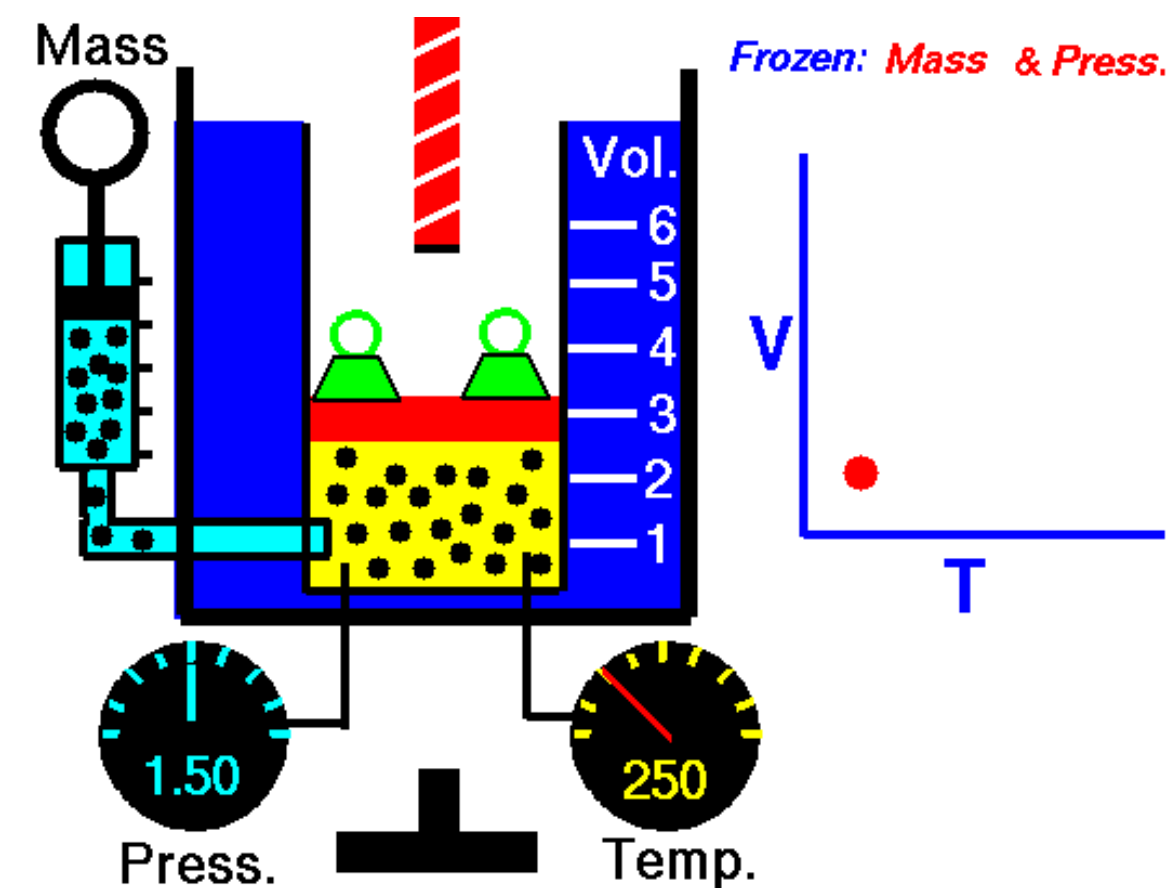
ปริมาตรแก๊ส
แปรผันกับ
อุณหภูมิสัมบูรณ์

$$V \propto T$$

$$V = kT$$

$$\frac{V}{T} = k$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$





Joseph-Louis Gay-Lussac
(1808)
French Chemist

ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิ

— “ —

เมื่อจำนวนโมลแก๊สและปริมาตรคงที่

ความดันแก๊ส
แปรผันกับ
อุณหภูมิสัมบูรณ์

$$P \propto T$$
$$P = kT$$
$$\frac{P}{T} = k$$
$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

(Avogadro's law, 1811)



Amedeo Avogadro
(1776–1856)
Italian Scientist

ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนโมลของแก๊ส พบว่าแก๊สที่มีปริมาตรเท่ากันจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากัน

“
แก๊สใด ๆ จำนวน 1 โมล จะมีจำนวน
อนุภาคเท่ากับ 6.02×10^{23} อนุภาค จะมี
ปริมาตรเท่ากับ 22.4 L ที่ STP
”

—— “ ——

เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่

ปริมาตรแก๊ส
แปรผันกับ
จำนวนโมลของแก๊ส

$$V \propto n$$
$$V = kn$$
$$\frac{V}{n} = k$$
$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

กฎรวมแก๊ส (Combined gas law)

กฎของบอยล์

กฎของชาร์ลส์

กฎของเก ลูสแซก

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน (STP) หมายถึง “สภาวะที่อุณหภูมิ 273 K และความดัน 1 atm”

สมการของแก๊สสมบูรณ์แบบ

สมการสถานะของแก๊สอุดมคติ
สมการแก๊สอุดมคติ (*ideal gas*)

อธิบายความสัมพันธ์
ระหว่าง P, V, n, T ของ
แก๊สอุดมคติ

กฎของบอยล์

กฎของชาร์ลส์-เก ลูสแซก

กฎของอาโวกาโดร

$$PV = nRT$$

$$R = 0.082 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{K}\cdot\text{mol}$$

$$R = 8.314 \text{ J}/\text{K}\cdot\text{mol}$$

ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant)

จากสมการแก๊สสมบูรณ์แบบ

$$PV = nRT$$

$$R = \frac{PV}{nT}$$

เมื่อพิจารณาจาก
แก๊สใด ๆ จำนวน 1 โมล ซึ่งมีปริมาตร
22.4 ลิตรที่ STP
และสภาวะ STP คือ ความดัน 1 atm
อุณหภูมิ 0 °C

$$\begin{aligned}n &= 1 \text{ mol} \\V &= 22.4 \text{ L} \\P &= 1 \text{ atm} \\T &= 273 \text{ K}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R &= \frac{(1 \text{ atm})(22.4 \text{ L})}{(1 \text{ mol})(273 \text{ K})} \\&= 0.082 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{K}\cdot\text{mol}\end{aligned}$$

หมายเหตุ

ค่า R ยังมีอีกหลายค่าขึ้นอยู่กับหน่วยของ
P, V, T เช่น

$$R = 8.314 \text{ J}/\text{K}\cdot\text{mol}$$

$$R = 1.987 \text{ cal}/\text{K}\cdot\text{mol}$$

$$R = 62.36 \text{ L}\cdot\text{torr}/\text{K}\cdot\text{mol}$$

แก๊สออกซิเจนมีปริมาตร 5.00 L ภายใต้ความดัน 740 mmHg จงหาปริมาตรของแก๊สจำนวนนี้ที่ความดันบรรยากาศ เมื่ออุณหภูมิคงที่

$$\begin{array}{ll} P_1 = 740 \text{ mmHg} & P_2 = 760 \text{ mmHg} \\ V_1 = 5.00 \text{ L} & V_2 = ? \end{array}$$

$$\begin{aligned} P_1 V_1 &= P_2 V_2 \\ V_2 &= \frac{(740 \text{ mmHg})(5.00 \text{ L})}{760 \text{ mmHg}} \\ &= 4.87 \text{ L} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรแก๊สจะลดลงเหลือ 4.87 ลิตร

แก๊ส H_2 1.00 L บรรจุในลูกบอลลูนที่ 25°C จงคำนวณปริมาตรบอลลูนเมื่ออุณหภูมิลดลงที่เป็น -78°C

$$\begin{array}{ll} V_1 = 1.00 \text{ L} & \\ V_2 = ? & \\ T_1 = 273 + 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K} & \\ T_2 = 273 + (-78^\circ\text{C}) = 195 \text{ K} & \end{array}$$

$$\begin{aligned} \frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_2} \\ V_2 &= \frac{(1.00 \text{ L})(195 \text{ K})}{298 \text{ K}} \\ &= 0.654 \text{ L} \end{aligned}$$

ดังนั้น ปริมาตรแก๊สจะลดลงเหลือ 0.654 ลิตร

แก๊สฮีเลียม (He) บรรจุในถังขนาด 2.5 L ที่ 27°C วัดความดันได้ 0.80 atm ถ้าเปลี่ยนถังบรรจุเป็น 1.5 L และลดอุณหภูมิลงเหลือ 10°C ความดันแก๊สจะเป็นกี่ atm

$$\begin{aligned} P_1 &= 0.80 \text{ atm} & P_2 &= ? \\ T_1 &= 300 \text{ K} & T_2 &= 283 \text{ K} \\ V_1 &= 2.5 \text{ L} & V_2 &= 1.5 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{P_1 V_1}{T_1} &= \frac{P_2 V_2}{T_2} \\ P_2 &= \frac{(0.80 \text{ atm})(2.5 \text{ L})(283 \text{ K})}{(300 \text{ K})(1.5 \text{ L})} \\ &= 1.26 \text{ atm} \end{aligned}$$

ดังนั้น ความดันแก๊สเท่ากับ 1.41 atm

จงคำนวณโมลของแก๊ส H₂ ที่ปริมาตร 8.56 L ณ สภาวะที่อุณหภูมิ 0°C และความดัน 1.5 atm

$$\begin{aligned} P &= 1.5 \text{ atm} \\ V &= 8.56 \text{ L} \\ T &= 0^\circ\text{C} + 273 = 273 \text{ K} \\ R &= 0.082 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{K}\cdot\text{mol} \end{aligned}$$

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{(1.5 \text{ atm})(8.56 \text{ L})}{(0.082)(273 \text{ K})} \\ &= 0.57 \text{ mol} \end{aligned}$$

แก๊ส O_2 ที่ STP บรรจุในภาชนะปิดที่มีปริมาตร 1.00 L เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิเป็น $100^\circ C$ ความดันของแก๊สจะเป็นเท่าไร



จงหาปริมาตรของแก๊ส Cl_2 น้ำหนัก 100 g ที่อุณหภูมิ $45^\circ C$ และความดัน 760 mmHg

การประยุกต์สมการของแก๊สสมบูรณ์แบบ

หาความหนาแน่น และ
น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส

g = น้ำหนักของแก๊ส (g)
 M = น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส (g/mol)
 d = ความหนาแน่นของแก๊ส (g/mL)

$$PV = nRT$$

$$PV = \frac{g}{M} RT$$

$$M = \left(\frac{g}{V} \right) \left(\frac{RT}{P} \right)$$

$$M = \frac{dRT}{P} \quad \text{หรือ} \quad d = \frac{MP}{RT}$$

การหาปริมาณสัมพันธ์ของ
แก๊สในปฏิกิริยา

รายละเอียดในเรื่องการคำนวณ
ปริมาณสัมพันธ์

แก๊สผสมและความดันย่อย (Gas Mixtures and Partial Pressures)

ถ้านำแก๊สสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน โดยแก๊สเหล่านั้นต้องไม่ทำปฏิกิริยากัน

_____ “ _____

กฎความดันย่อยของดาลตัน
(Dalton's law of partial pressure)

ดาลตัน (ค.ศ.1801) พบว่า “**ความดันรวม**ของแก๊สผสมจะเท่ากับผลรวมของ**ความดันย่อย**ของแก๊สแต่ละชนิดที่ผสมกัน”

$$P_t = P_A + P_B + P_C + \dots$$

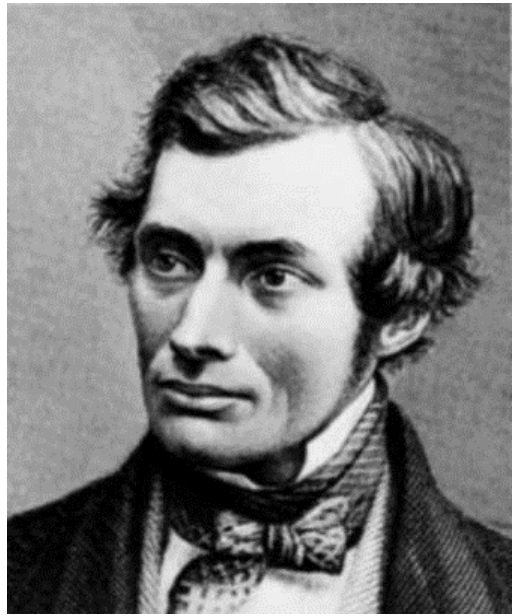
P_t = ความดันรวม

P_A , P_B และ P_C = ความดันย่อยของแก๊ส A, B และ C ในแก๊สผสม



กฎการแพร่ของเกรแฮม (Graham's law of diffusion)

การแพร่ของแก๊ส (diffusion of gas) เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สชนิดหนึ่งเคลื่อนที่กระจายออกไปจากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากไปหาบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า



Thomas Graham (1805–1869)
นักเคมีชาวสก็อต

เกรแฮม (ค.ศ.1846) พบว่า อัตราการแพร่ของแก๊สที่เบากว่า (แก๊สที่มีความหนาแน่นของโมเลกุลน้อยกว่า) จะแพร่ได้เร็วกว่าแก๊สที่หนักกว่า (แก๊สที่มีความหนาแน่นของโมเลกุลมากกว่า)

“

ภายใต้ความดันและอุณหภูมิเดียวกัน
อัตราการแพร่ของแก๊ส

แปรผกผันกับ

รากที่สองของความหนาแน่นของโมเลกุลแก๊ส

”

$$R \propto \frac{1}{\sqrt{d}}$$

$$R = \frac{k}{\sqrt{d}}$$

ความหนาแน่นของแก๊ส (d) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับน้ำหนักโมเลกุลแก๊ส (M)

$$R = \frac{k}{\sqrt{d}} = \frac{k}{\sqrt{M}}$$

R = อัตราการแพร่ของแก๊ส
d = ความหนาแน่นของแก๊ส
M = น้ำหนักโมเลกุลแก๊ส

จากกฎการแพร่ของเกรแฮม

เมื่อเปรียบเทียบการแพร่ของแก๊ส A และ B
ภายใต้สภาวะเดียวกัน

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\sqrt{d_B}}{\sqrt{d_A}} = \frac{\sqrt{M_B}}{\sqrt{M_A}}$$

R_A และ R_B = อัตราการแพร่ของแก๊ส A และ B ตามลำดับ

d_A และ d_B = ความหนาแน่นของโมเลกุลแก๊ส A และ B ตามลำดับ

M_A และ M_B = น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส A และ B ตามลำดับ

คำนวณอัตราส่วนของอัตราการแพร่ของแก๊ส H_2
และ UF_6 ซึ่งเป็นแก๊สที่ใช้ในกระบวนการผลิตแท่ง
เชื้อเพลิงสำหรับเครื่องปฏิกรณ์นิวเคลียร์

$$\frac{R_{H_2}}{R_{UF_6}} = \sqrt{\frac{M_{UF_6}}{M_{H_2}}}$$

M_{H_2} = น้ำหนักโมเลกุลของ H_2 (2.01 g/mol)

UF_6 = น้ำหนักโมเลกุลของ UF_6 (352.0 g/mol)

$$\frac{R_{H_2}}{R_{UF_6}} = \sqrt{\frac{352.0}{2.02}} = 13.2$$

อัตราการแพร่ของ H_2 จะมีอัตราการแพร่ได้เร็ว
กว่า UF_6 ประมาณ 13 เท่า

พฤติกรรมของแก๊สจริง

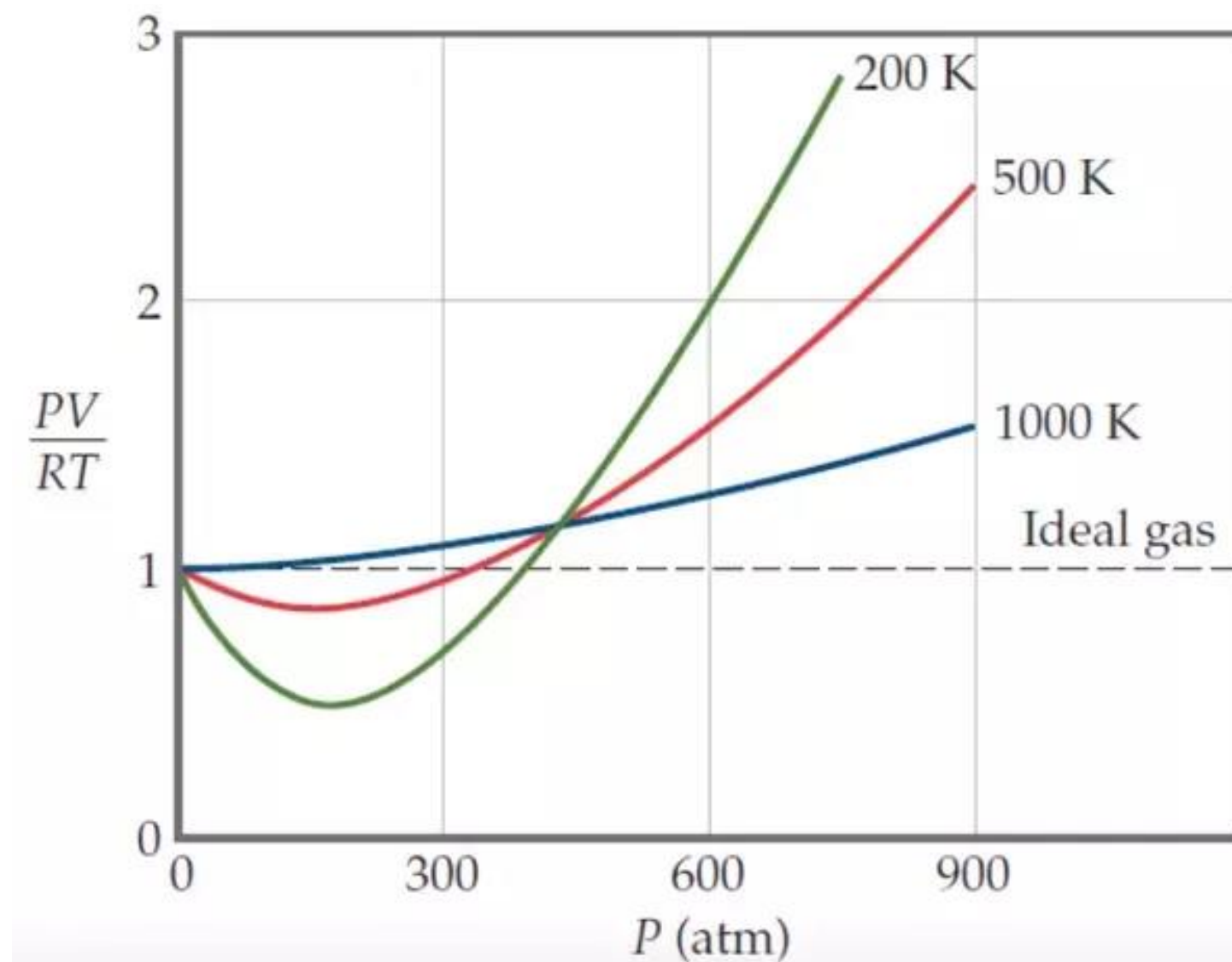
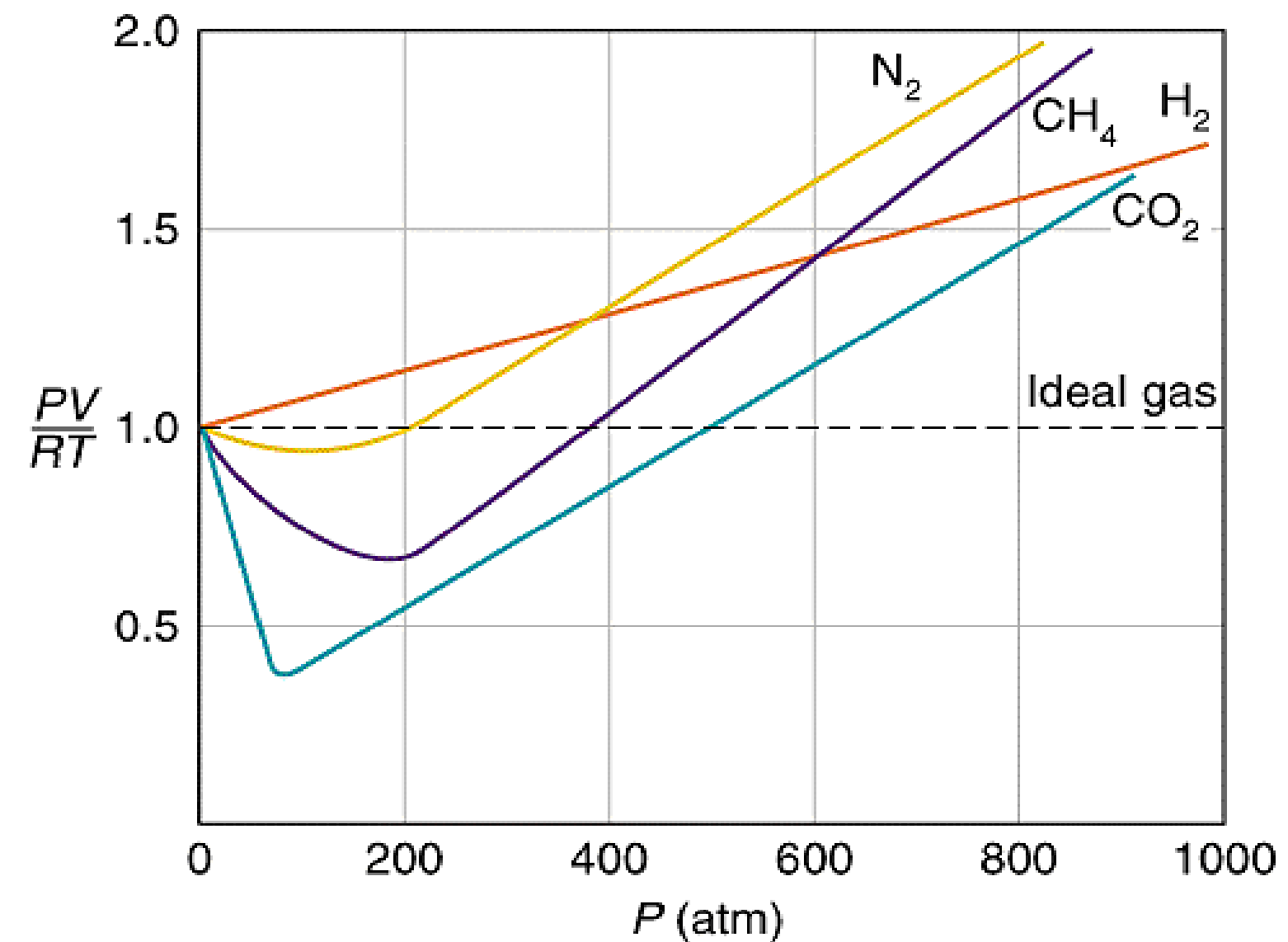
จากสมการแก๊สสมบูรณ์แบบ $PV = nRT$

สำหรับแก๊สสมบูรณ์แบบ 1 โมล ($n=1$)
ดังนั้น

$$\frac{PV}{RT} = 1$$

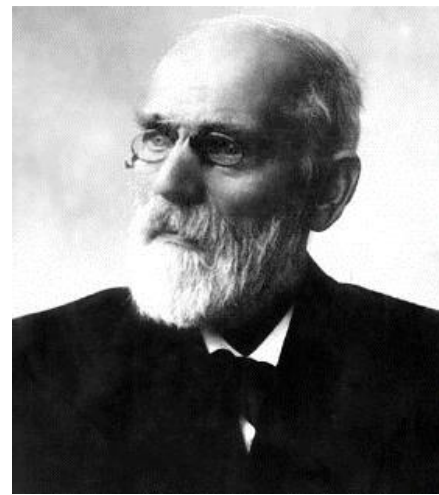
แต่จากการศึกษาพฤติกรรมของแก๊สจริงที่
ความดันและอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่า
อัตราส่วนนี้ไม่เท่ากับ 1

———— “ ————
แก๊สจริงมีพฤติกรรมเป็น
แก๊สสมบูรณ์แบบ
เมื่อความดันต่ำมากและอุณหภูมิสูง



สมการแวนเดอร์วาลส์

สมการสำหรับใช้อธิบายพฤติกรรม
ของแก๊สจริง



Johannes Diderik van der Waals
(1837–1923)
Dutch Physicist
Noble Prize in Physics, 1910

$$P = \frac{nRT}{(V-nb)} - a\left(\frac{n}{V}\right)^2$$

หรือ

$$\left[P + a\left(\frac{n}{V}\right)^2 \right] (V - nb) = nRT$$

P = ความดันแก๊ส (atm)

V = ปริมาตรแก๊ส (L)

T = อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

n = จำนวนโมลของแก๊ส (mol)

a และ b = ค่าคงที่แวนเดอร์วาลส์

ค่าคงที่แวนเดอร์วาลส์ของแก๊สจริง

แก๊ส	a (atm L ² /mol ²)	b (L/mol)
He	0.034	0.02370
Ne	0.211	0.0171
Ar	1.35	0.0322
Kr	2.32	0.0398
Xe	4.19	0.0511
H ₂	0.244	0.0266
N ₂	1.39	0.0391
O ₂	1.36	0.0318
Cl ₂	6.49	0.0562
CO ₂	3.59	0.0427
CH ₄	2.25	0.0428
NH ₃	4.17	0.0371
H ₂ O	5.46	0.0305