

# สมบัติแก๊ส

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

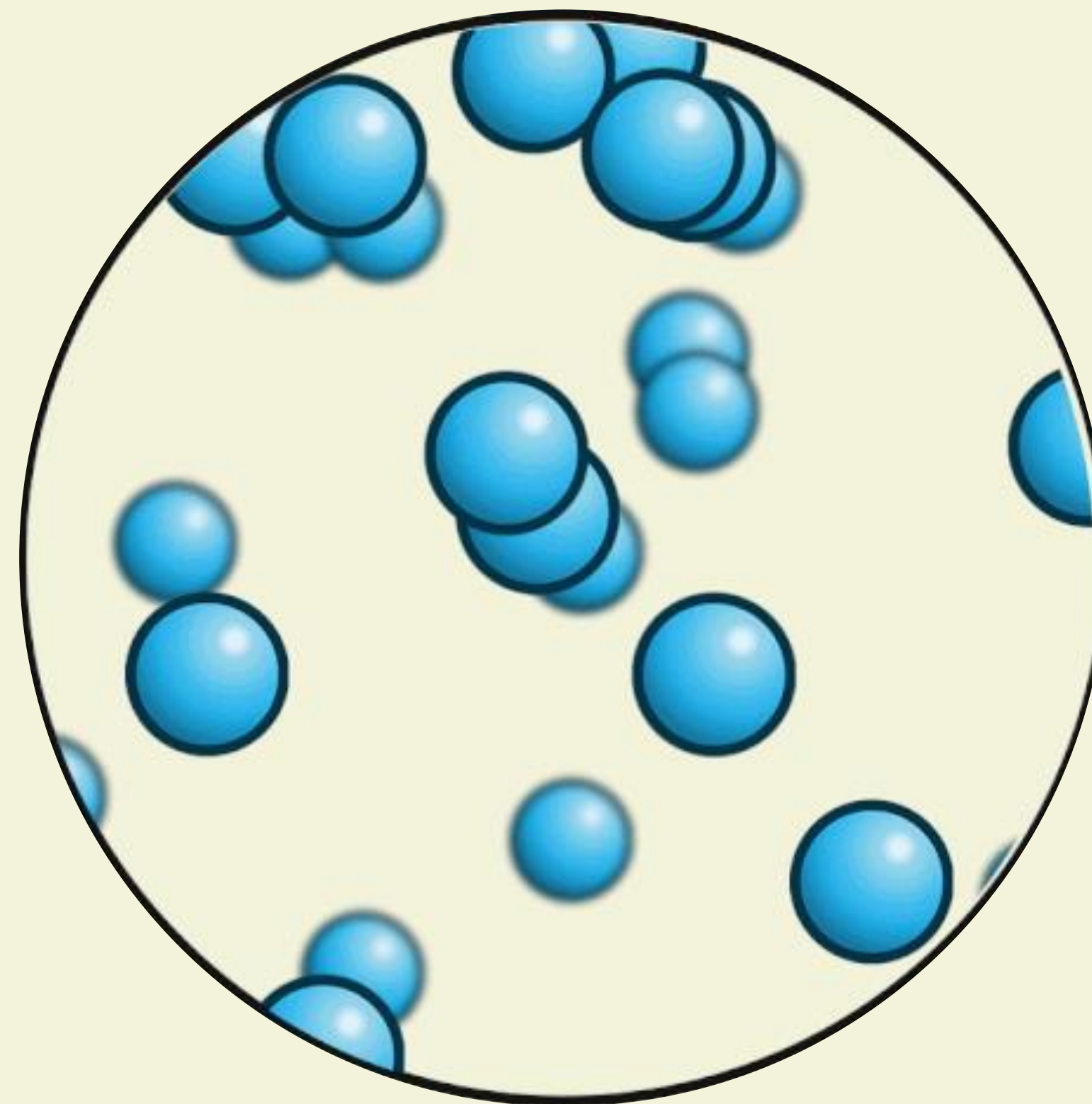


 Chemographics

  woravith

 woravith.c@rmutp.ac.th

 <http://web.rmutp.ac.th/woravith>

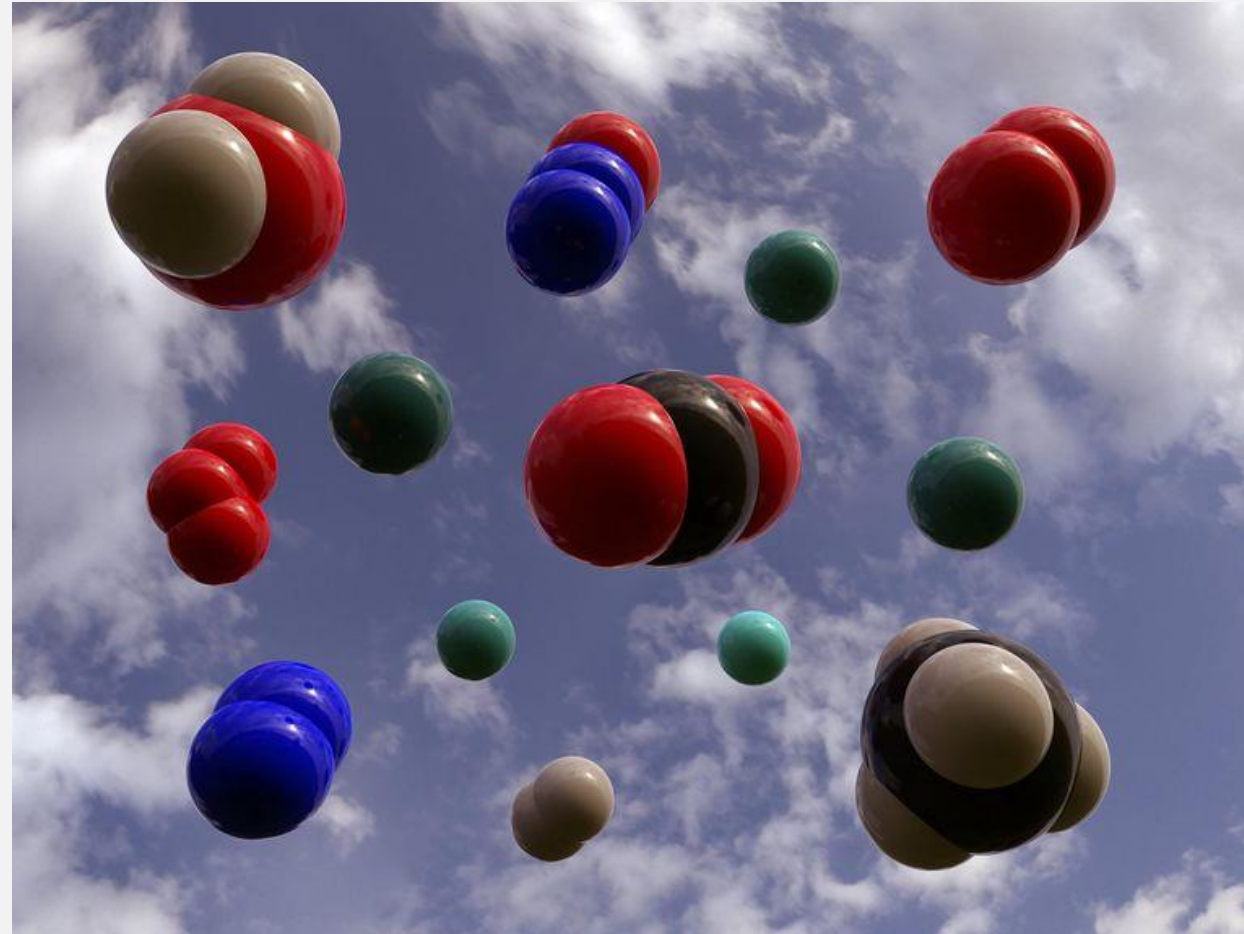


# สมบัติแก๊ส

- สมบัติแก๊ส
- กฎของแก๊ส
- ปริมาณสัมพันธ์ของแก๊ส
- ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส
- พฤติกรรมของแก๊สจริง

# แก๊ส (Gas)

สถานะของสสารที่มีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคน้อยมาก

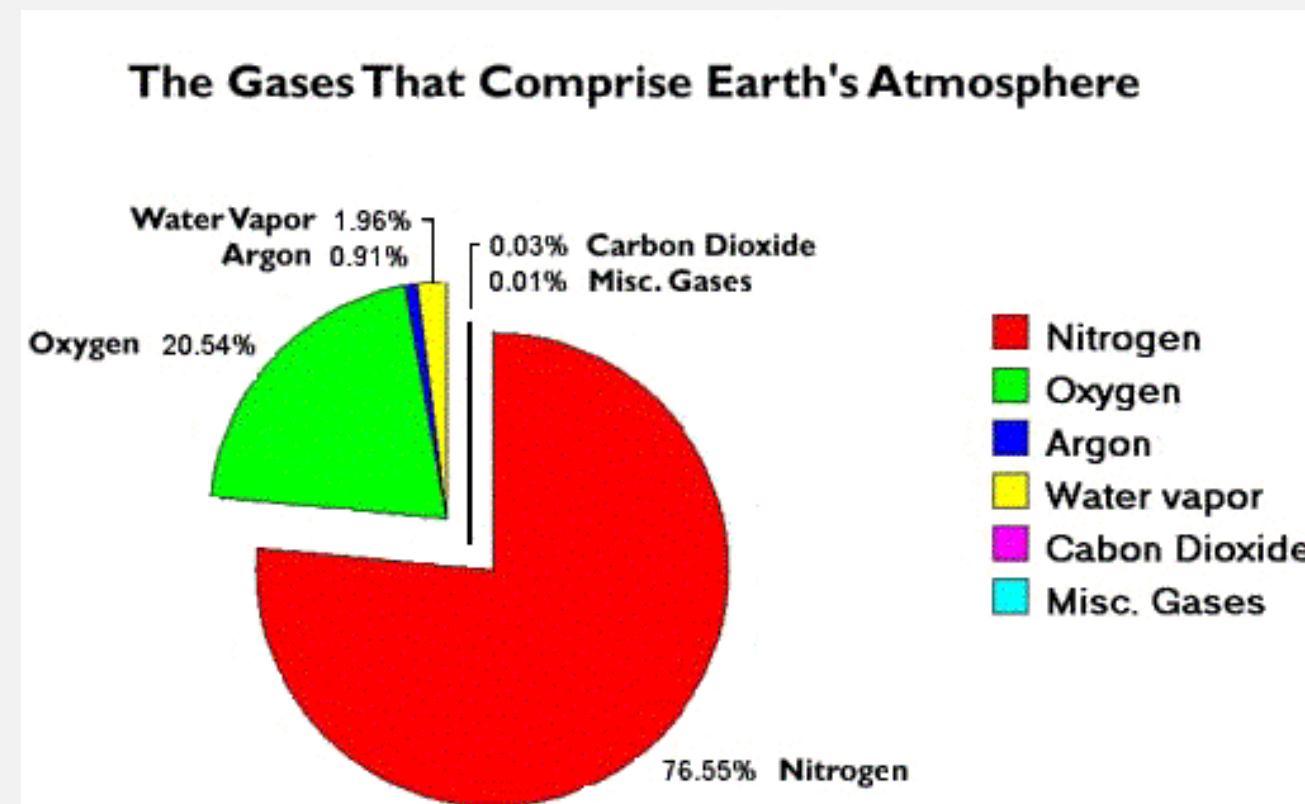


## แก๊สอุดมคติ (Ideal gas)

- เป็นแก๊สที่สมมติขึ้นมาใช้เพื่ออธิบายพฤติกรรมของแก๊ส
- ไม่มีอยู่จริงในธรรมชาติ

## แก๊สจริง (Real gas)

- เป็นแก๊สที่มีอยู่ในธรรมชาติ
- มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล
- ส่วนใหญ่มีพฤติกรรมที่ไม่เป็นไปตามกฎของแก๊ส



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

## สมบัติทั่วไป ของแก๊ส

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





# ความดันบรรยากาศ

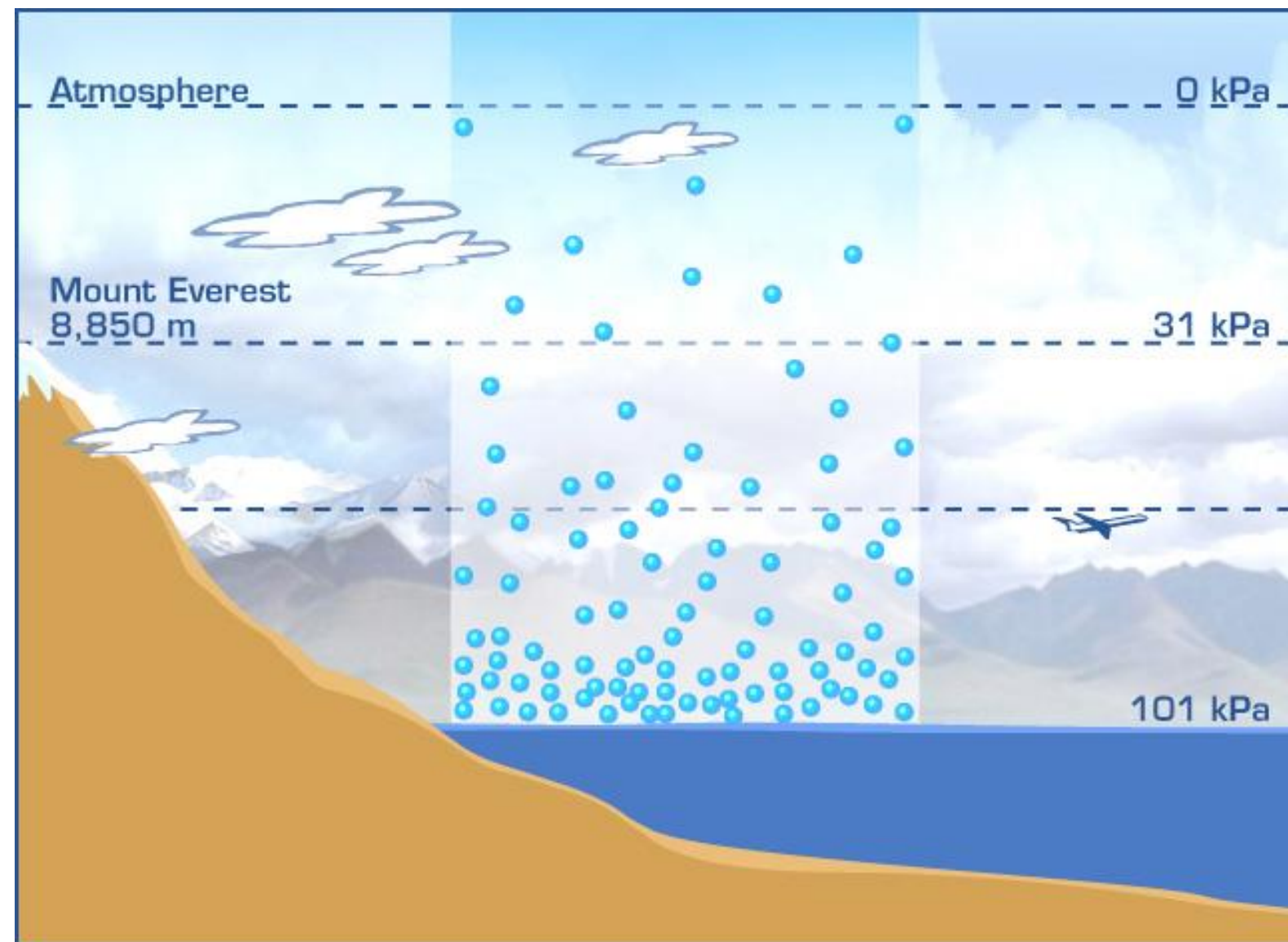
Atmospheric Pressure: atm

# P<sub>atm</sub>

## ความดันของบรรยากาศโลก

หรือ

## ความดันของอากาศในชั้นบรรยากาศ ต่ำสุดที่กระทำต่อพื้นผิวโลก

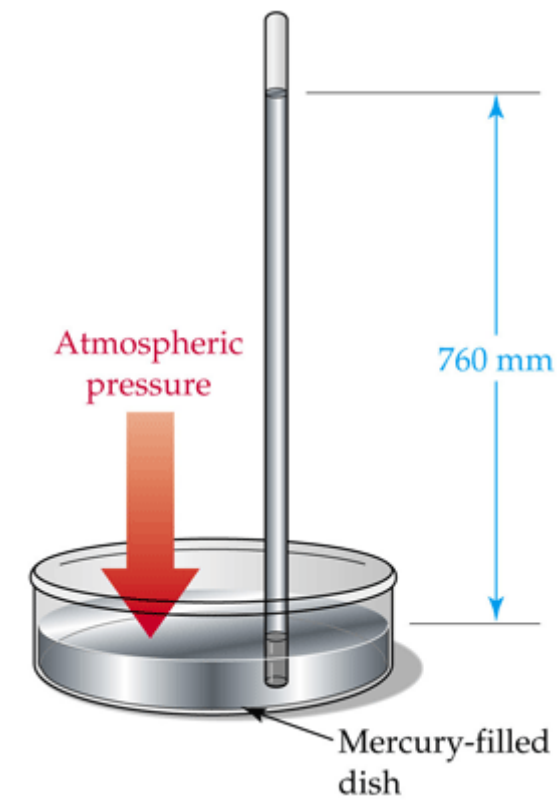


ระดับผิวน้ำทะเล ความดันบรรยากาศจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับ 101,325 Pa

1 บรรยากาศ (atm) = 1.01325 บาร์  
 = 101,325 ปาสกาล (Pa)  
 = 760 ทอร์ (Torr)  
 ≈ 760 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) ที่ 0°C

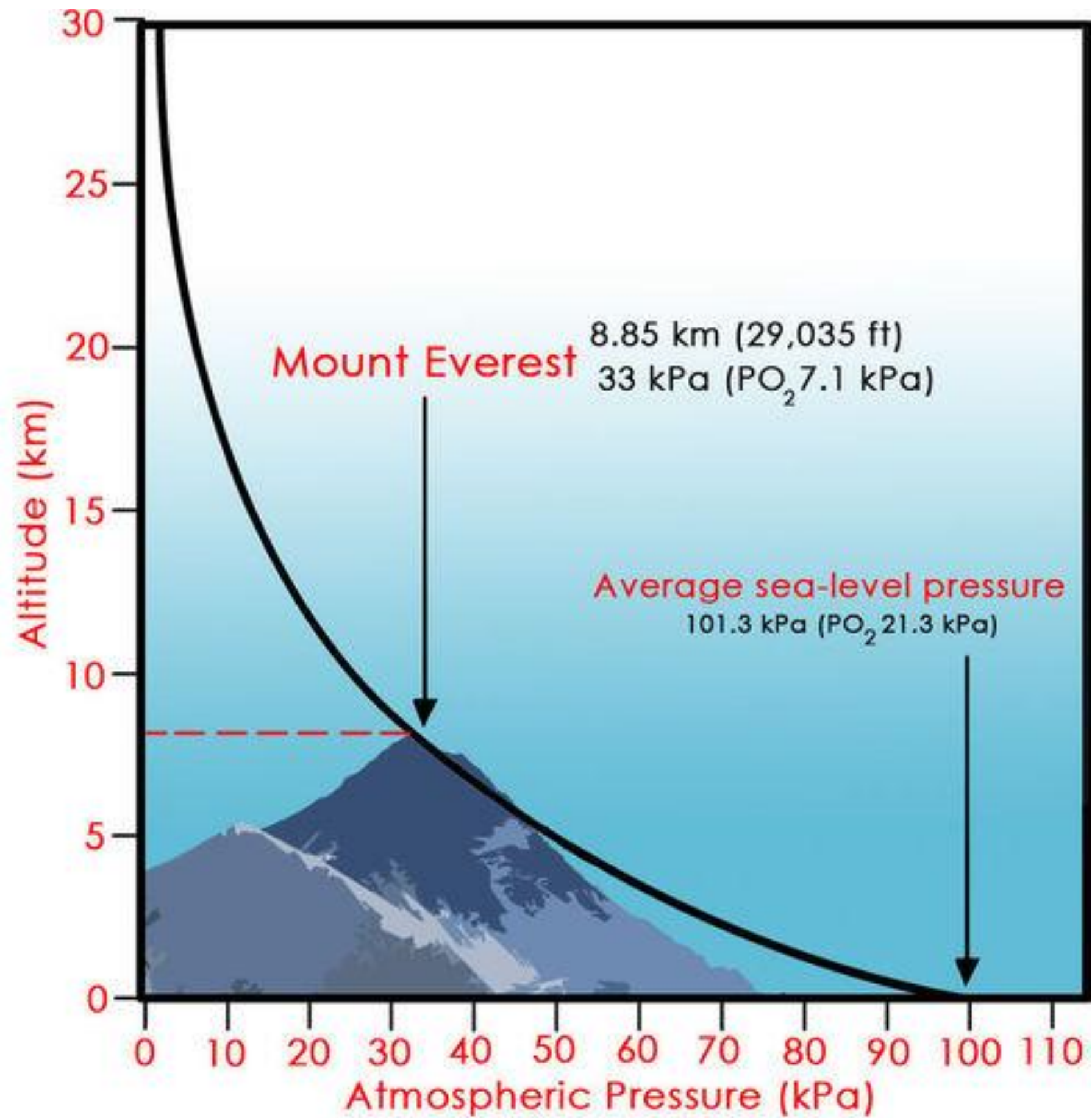


Evangelista Torricelli  
Italian Physicist (ค.ศ.1643)



ความดัน 1 atm  
ระดับปรอทสูงเท่ากับ 760 mm

บารอมิเตอร์แบบทอร์ริเชลลี



	Pa	bar	atm	torr	psi
<b>1 Pa</b>	1 N/m <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup>	9.869×10 <sup>-6</sup>	7.500×10 <sup>-3</sup>	1.450×10 <sup>-4</sup>
<b>1 bar</b>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup> dyn/cm <sup>2</sup>	0.9869	750.0	14.50
<b>1 atm</b>	1.013×10 <sup>5</sup>	1.013	1	760	14.69
<b>1 torr</b>	133.3	1.333×10 <sup>-3</sup>	1.315×10 <sup>-3</sup>	1 mmHg	1.933×10 <sup>-2</sup>
<b>1 psi</b>	6.894×10 <sup>3</sup>	6.894×10 <sup>-2</sup>	6.804×10 <sup>-2</sup>	51.71	1 lb/in <sup>2</sup>

เปลี่ยนความดัน torr เป็น atm

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{torr}} \times \left( \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ torr}} \right)$$

เปลี่ยนความดัน torr เป็น Pa

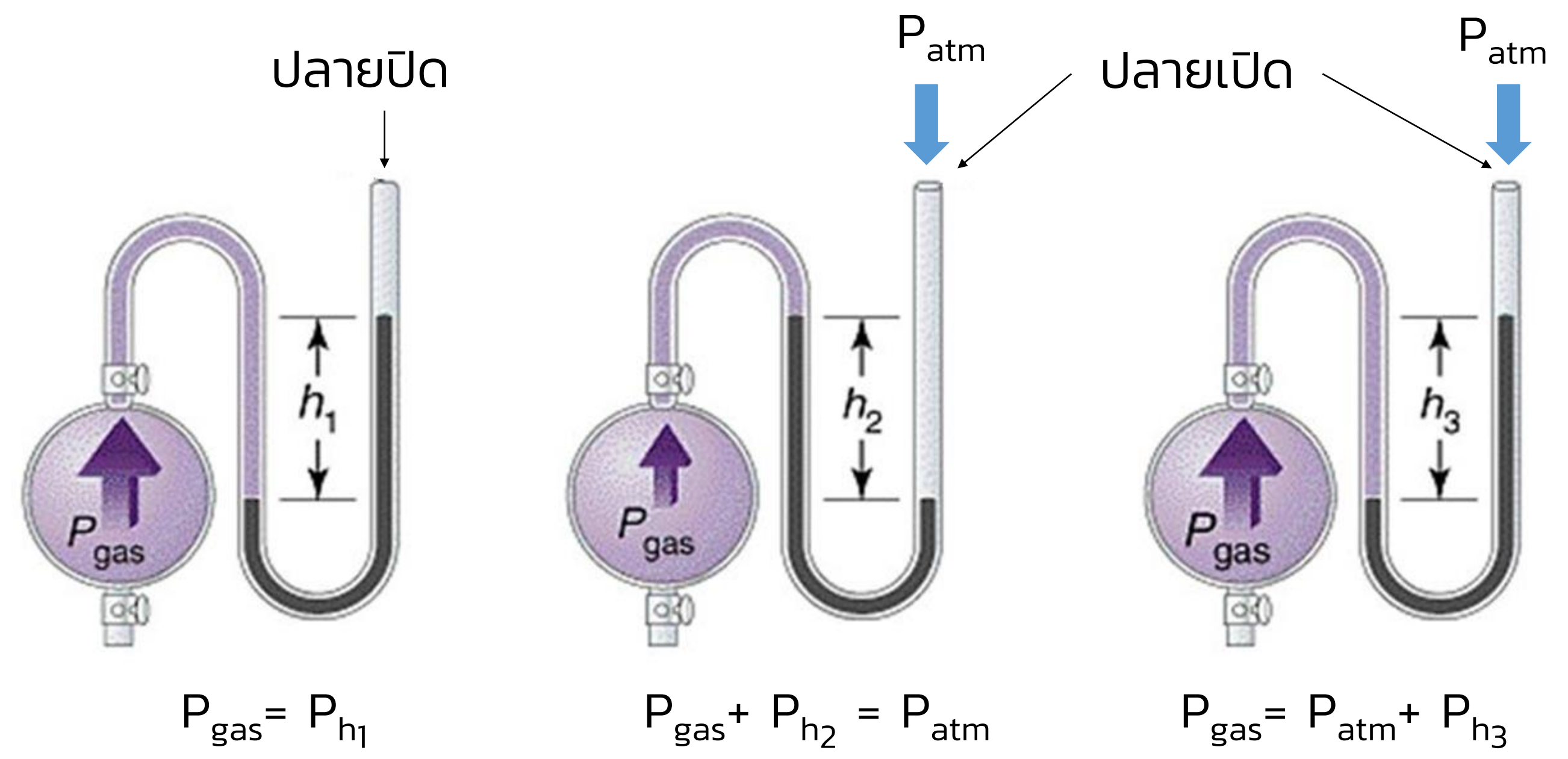
$$P_{\text{Pa}} = P_{\text{torr}} \times \left( \frac{1 \text{ Pa}}{7.50 \times 10^{-3} \text{ torr}} \right)$$

เปลี่ยนความดัน atm เป็น Pa

$$P_{\text{Pa}} = P_{\text{atm}} \times \left( \frac{1 \text{ Pa}}{9.869 \times 10^{-6} \text{ atm}} \right)$$



อุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันของแก๊ส เรียกว่า แมนอมิเตอร์ (manometer)

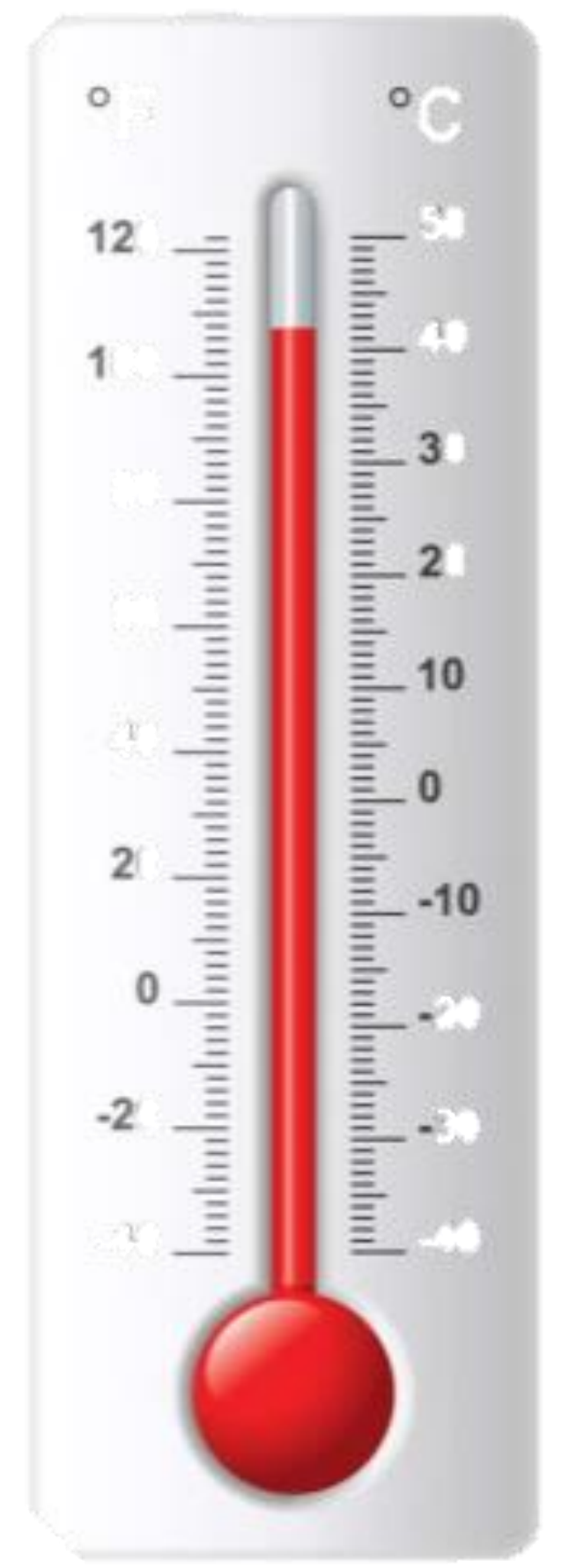


อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature)

- องศาเซลเซียส (°C)
- อุณหภูมิเคลวิน (Kelvin, K)

$$K = °C + 273$$

$$°C = K - 273$$



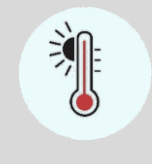




ความดันบรรยากาศ



ความดันแก๊ส



อุณหภูมิ



ปริมาตร

V

ปริมาตรของแก๊ส (V) จะขึ้นกับภาชนะที่บรรจุ  
ปริมาตรของแก๊ส หมายถึง ปริมาตรของ  
ภาชนะของแก๊สที่บรรจุแก๊สนั้น ๆ

1) หน่วยเอสไอ คือ ลูกบาศก์เมตร ( $m^3$ )

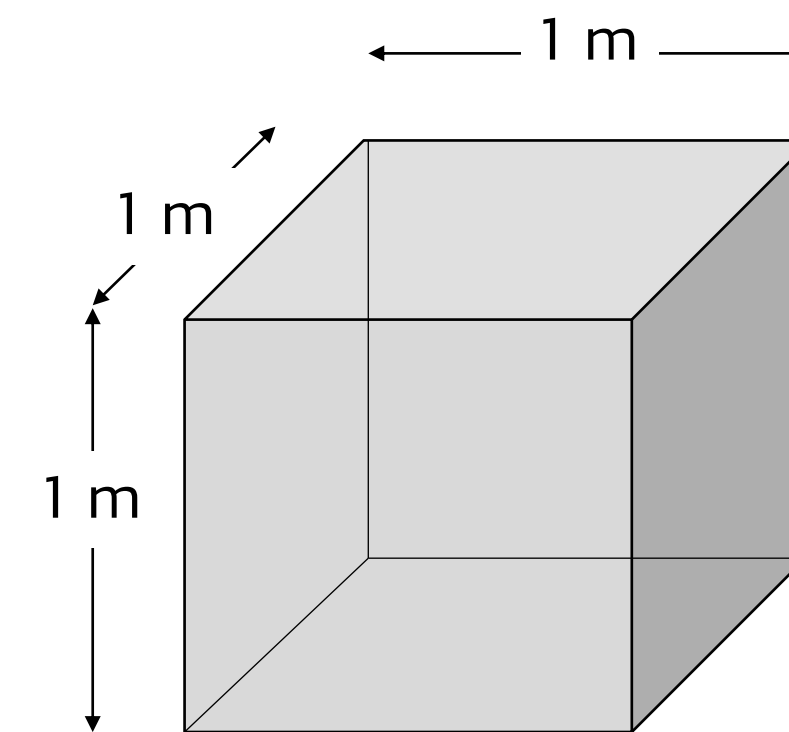
$$1 m^3 = 1.0 \times 10^6 cm^3$$

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

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

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

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



# อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน

---

standard temperature and pressure ; STP

เนื่องจากปริมาตรของแก๊ส  
เปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิและความ  
ดันที่เปลี่ยนไป เพื่อให้การเปรียบเทียบ  
ปริมาตรของแก๊สถูกต้องตรงกัน จึงมี  
การกำหนดอุณหภูมิมาตรฐานและ  
ความดันมาตรฐาน

— “ —

สภาวะที่อุณหภูมิ 273 เคลวิน  
และ  
ความดัน 1 บรรยากาศ



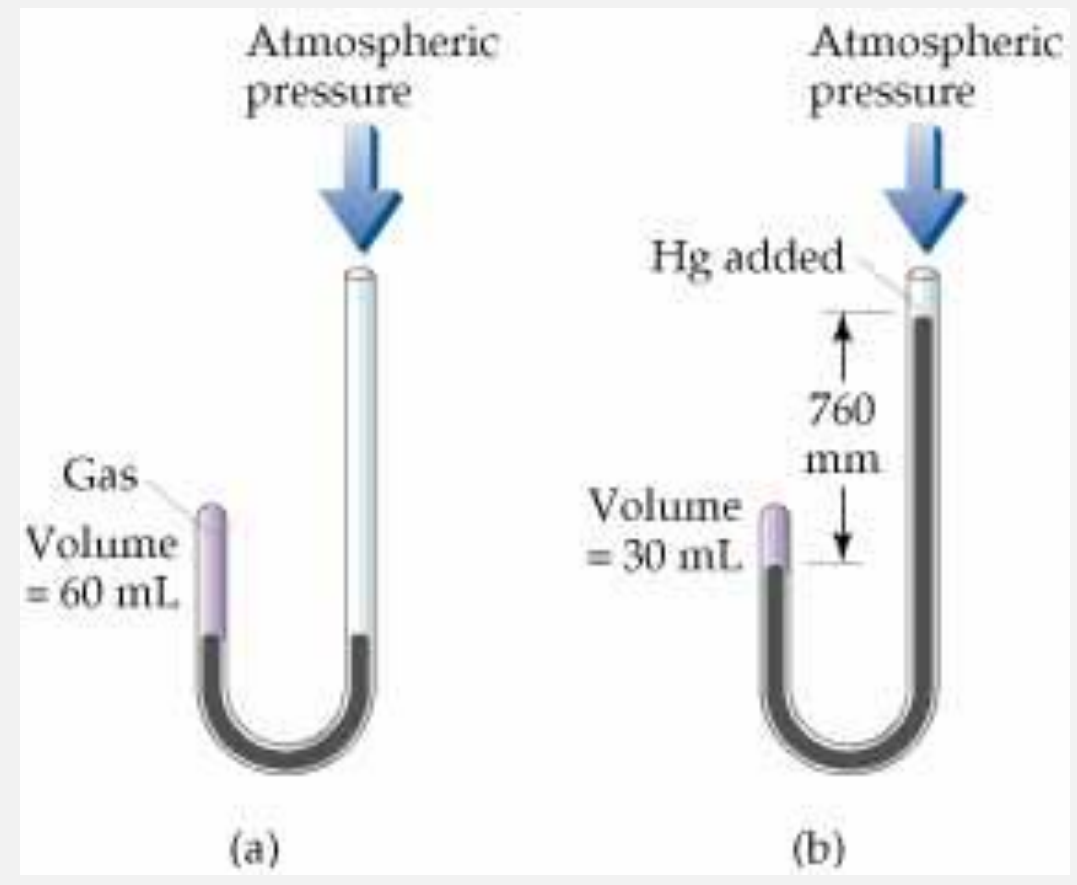
# กฎของบอยล์

(Boyle's law, 1662)



Robert William Boyle  
(1627-1691)  
Iris Chemist

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



“

เมื่ออุณหภูมิคงที่

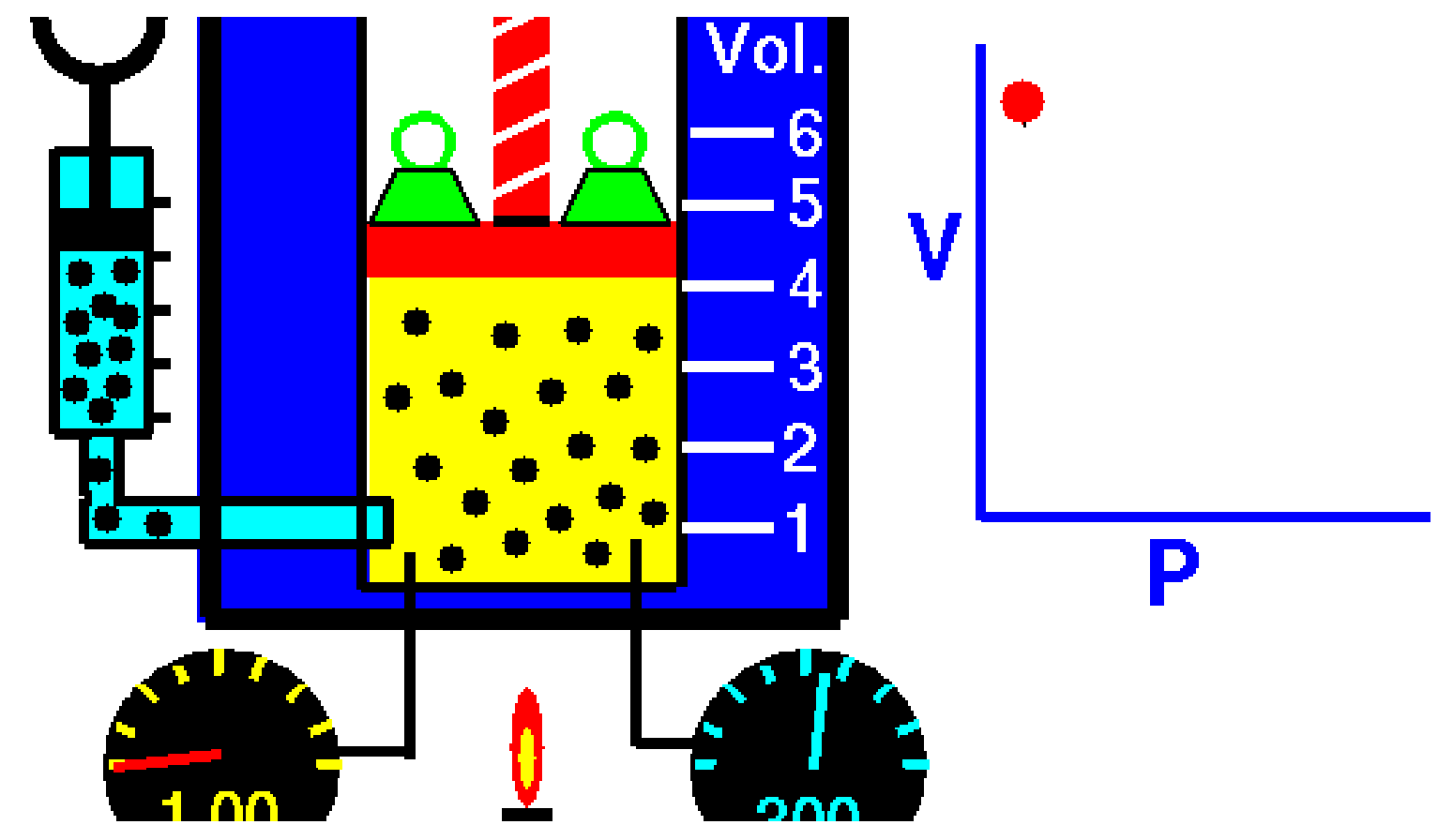
ปริมาตรแก๊ส  
แปรผกผันกับ  
ความดัน

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

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

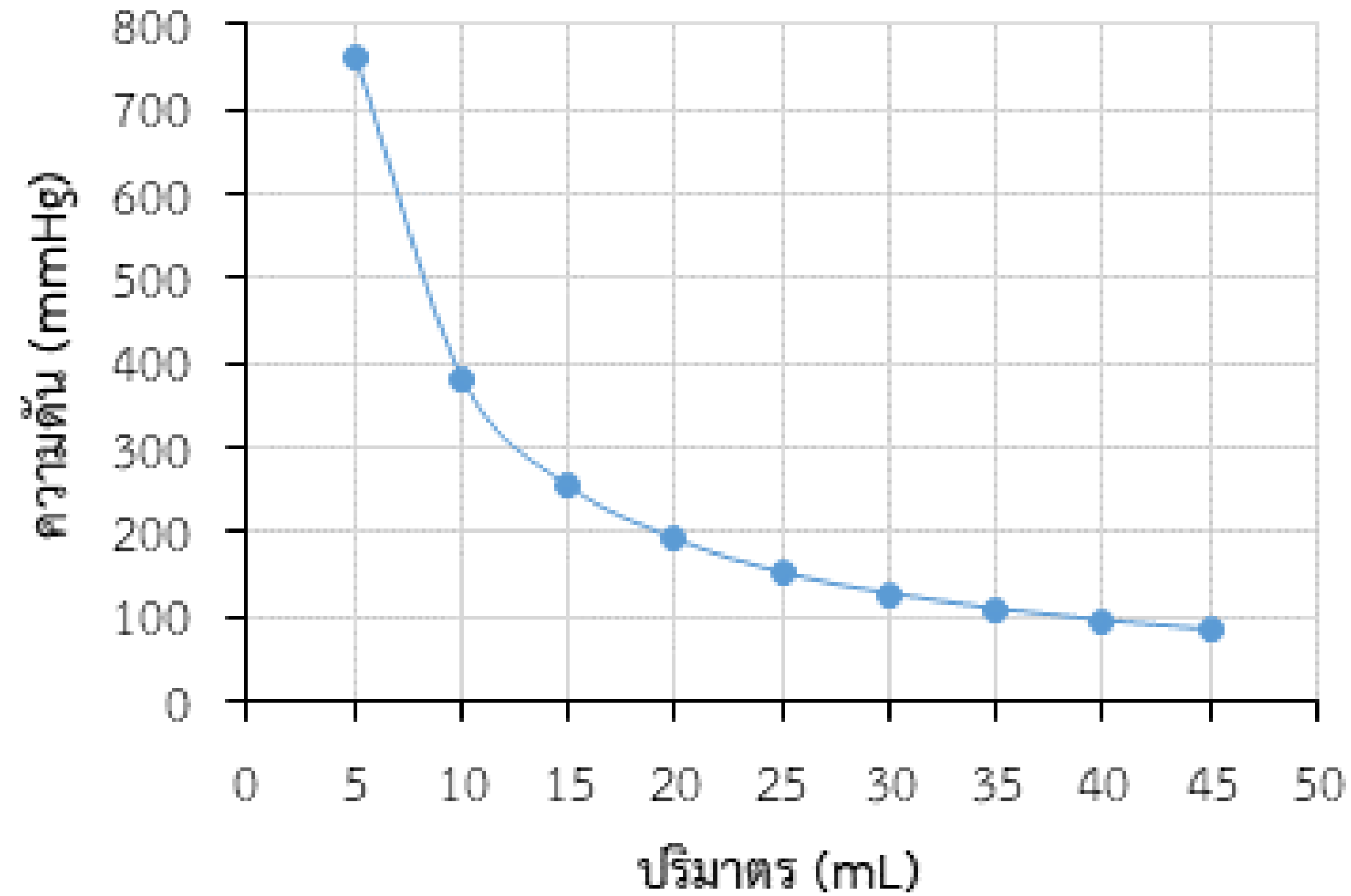
$$PV = k$$

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

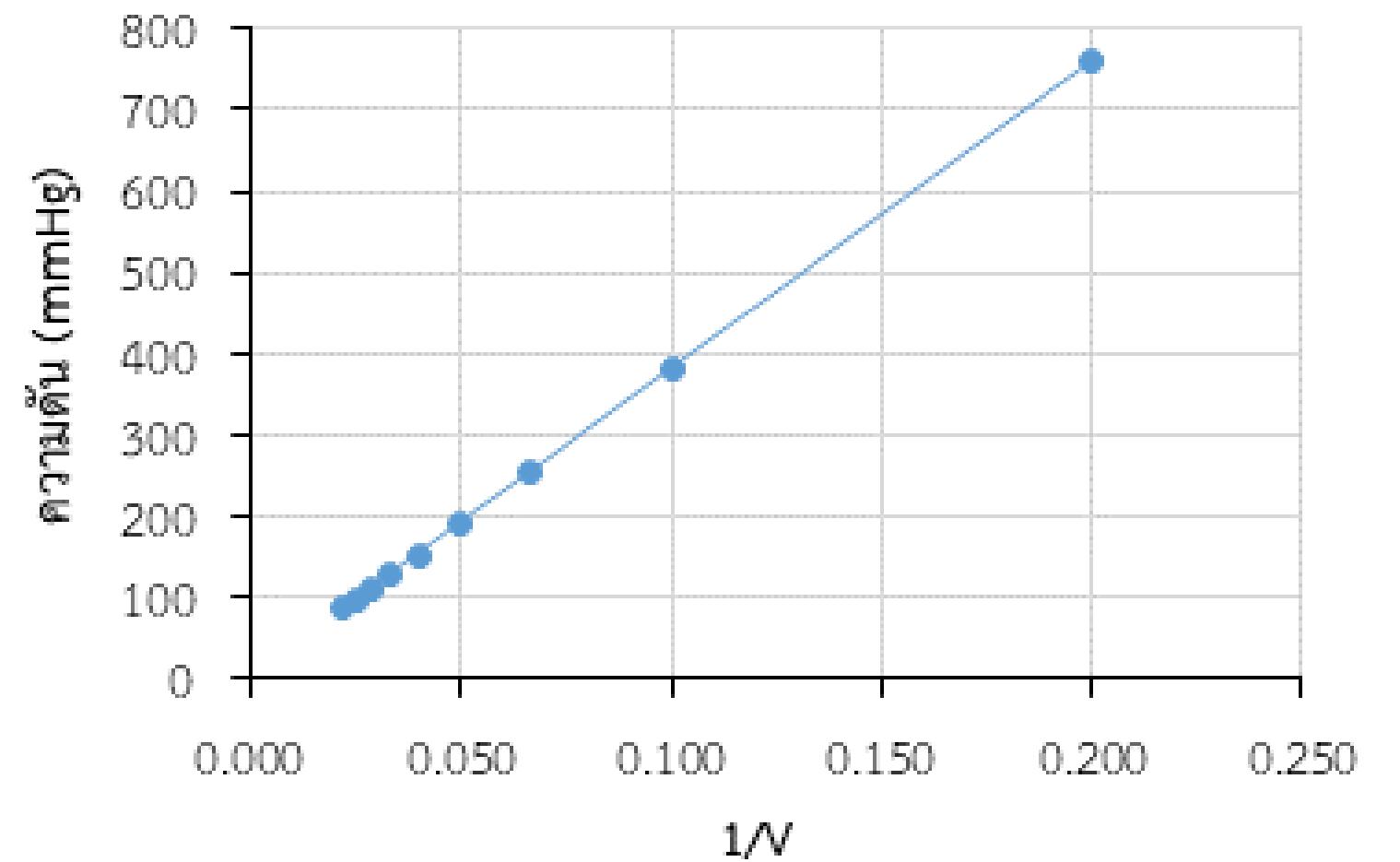
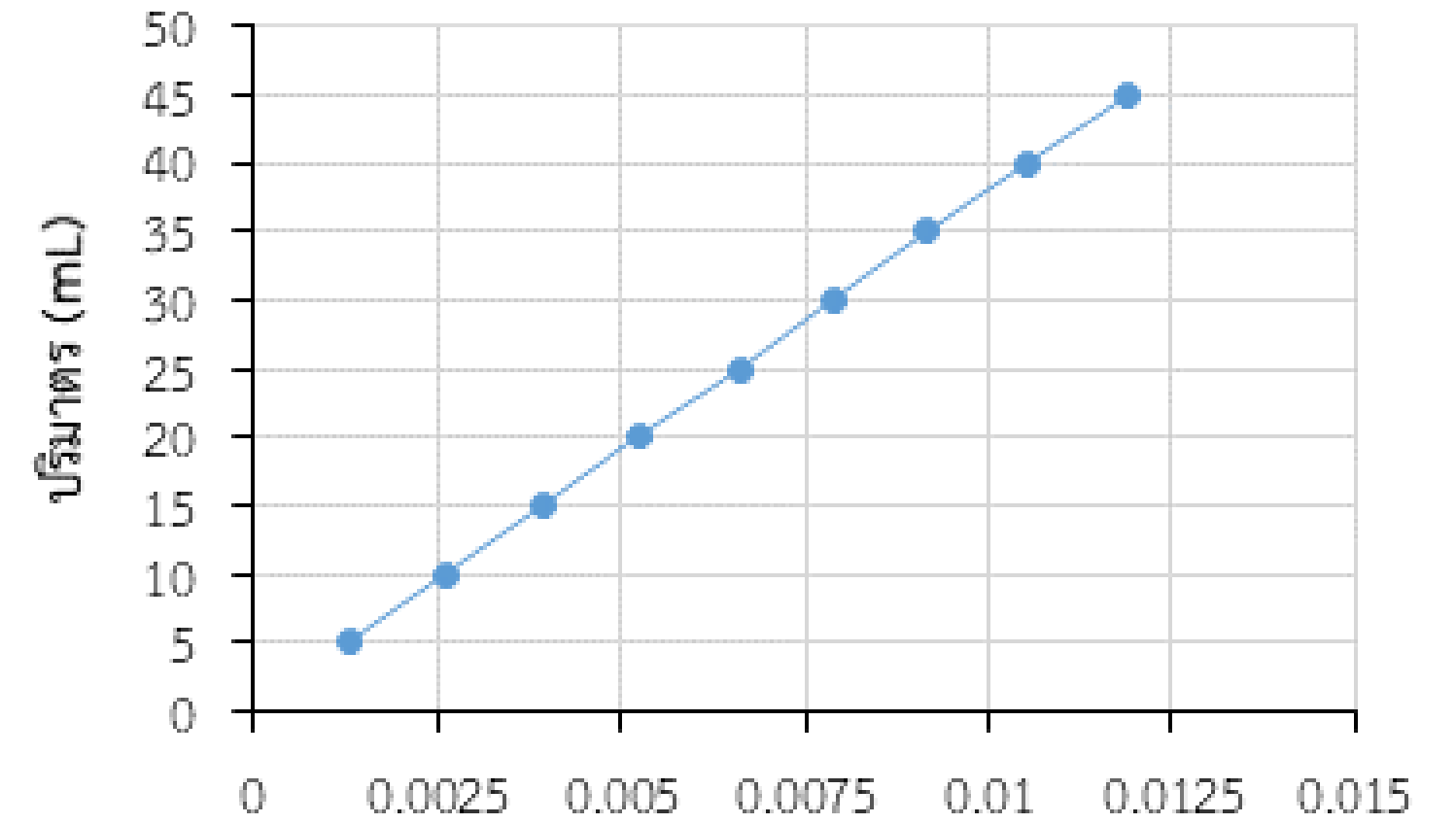




กราฟระหว่าง  $V$  กับ  $1/P$  หรือ  $P$  กับ  $1/V$  จะได้กราฟเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับค่าคงที่ ( $k$ ) และมีจุดตัดแกนที่จุด  $0$



กราฟไฮเปอร์โบลา (hyperbola) เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $P$  กับ  $V$  โดยพบว่าปริมาตรจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อมีความดันเพิ่มขึ้น 2 เท่า

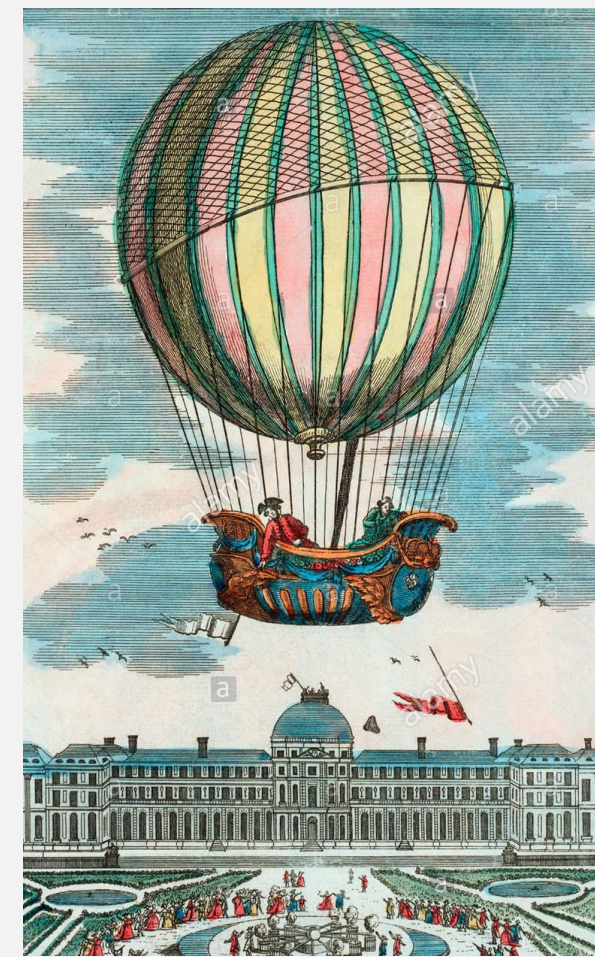


(Charles' law, 1787)



Jacques Charles  
(1746–1823)  
French Physics

ศึกษาถึงความสัมพันธ์  
ระหว่างปริมาตรกับ  
อุณหภูมิของแก๊ส



Hydrogen balloon (1783)

“

เมื่อความดันคงที่

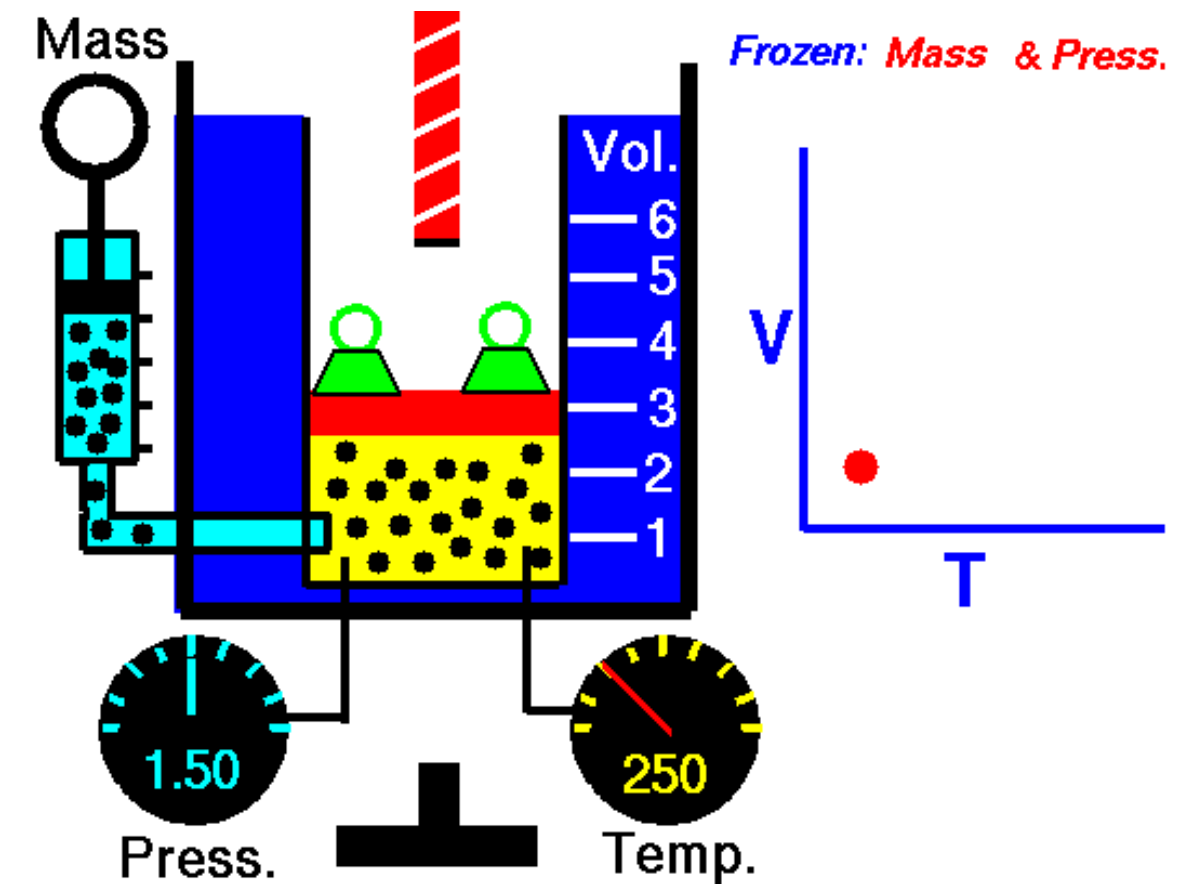
ปริมาตรแก๊ส  
แปรผันกับ  
อุณหภูมิสัมบูรณ์

$$V \propto T$$

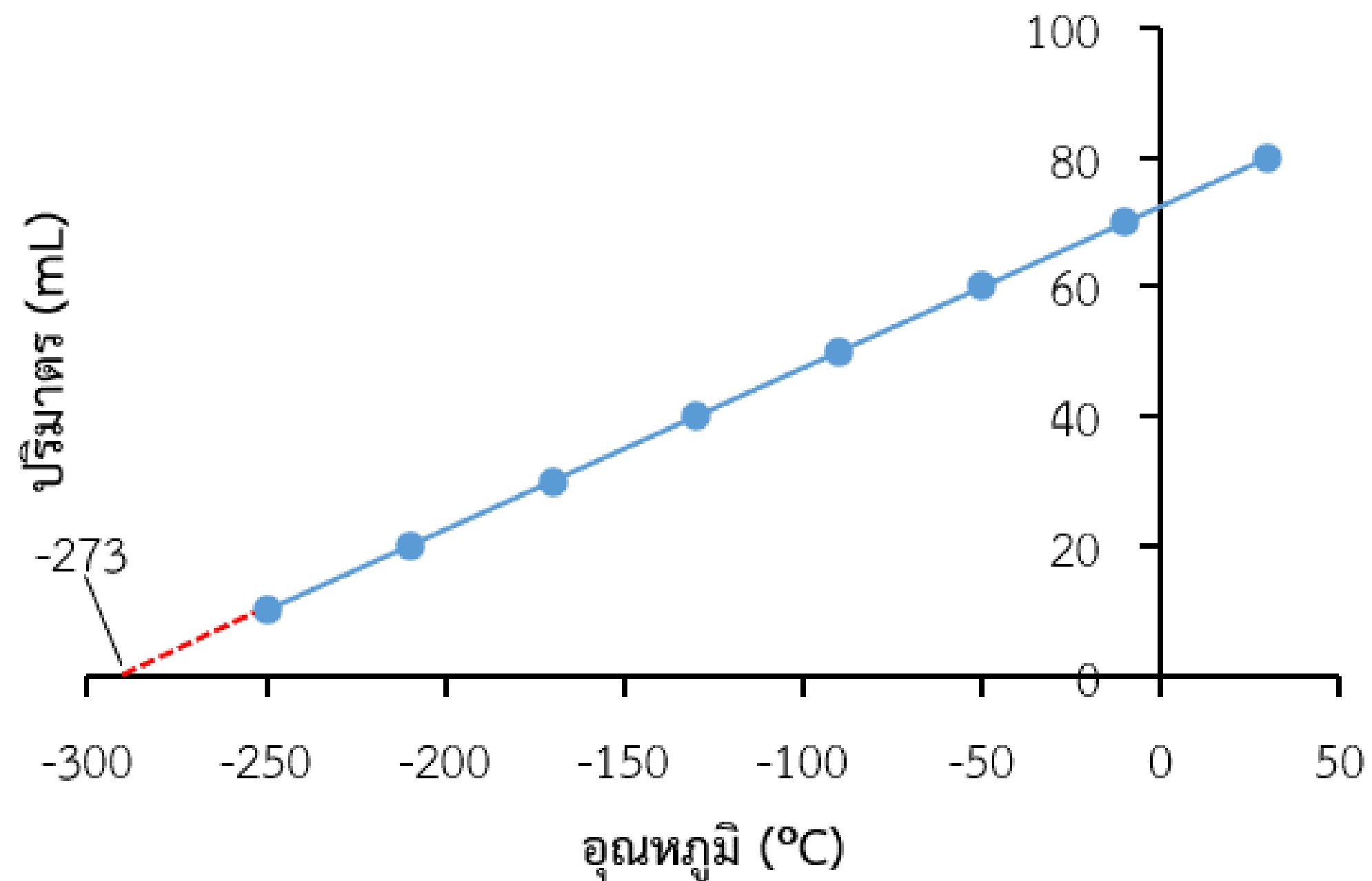
$$V = kT$$

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

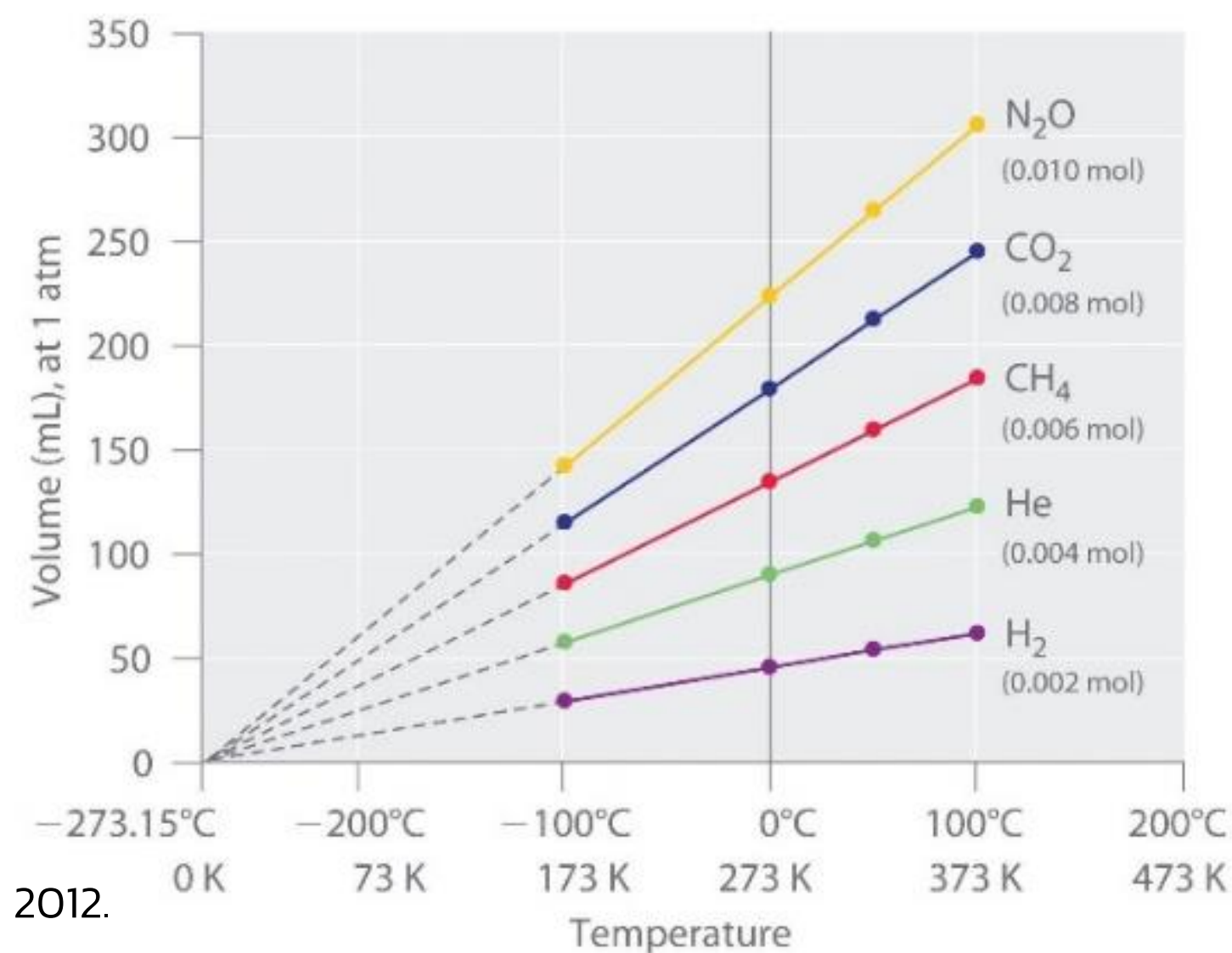
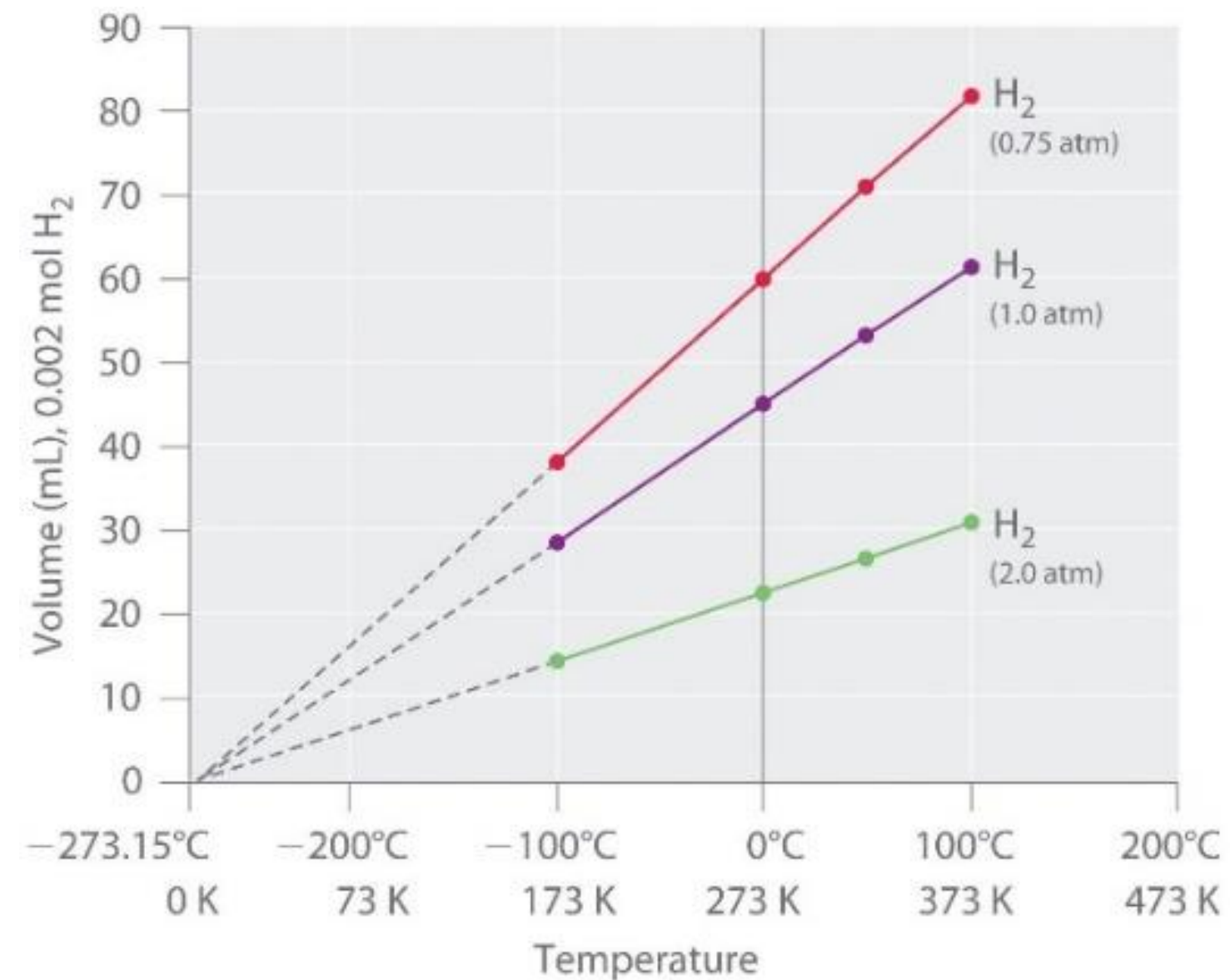
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$



$$V = kT$$



เขียนกราฟระหว่าง  $V$  กับ  $T$  แล้วลากเส้นตรงมาตัดกับแกนอุณหภูมิ พบว่าแก๊สทุกชนิดจะตัดตรงจุดเดียวกันที่อุณหภูมิ  $-273^{\circ}\text{C}$  แสดงว่าที่อุณหภูมินี้แก๊สทุกชนิดจะมีปริมาตรเท่ากับศูนย์





กฎของบอยล์

กฎของชาร์ลส์

กฎของเก ลูสแซก

(Gay Lussac's law, 1808)



Joseph-Louis Gay-Lussac  
(1808)  
French Chemist

ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับอุณหภูมิ

— “ —

เมื่อจำนวนโมลแก๊สและปริมาตรคงที่

ความดันแก๊ส  
แปรผันกับ  
อุณหภูมิสัมบูรณ์

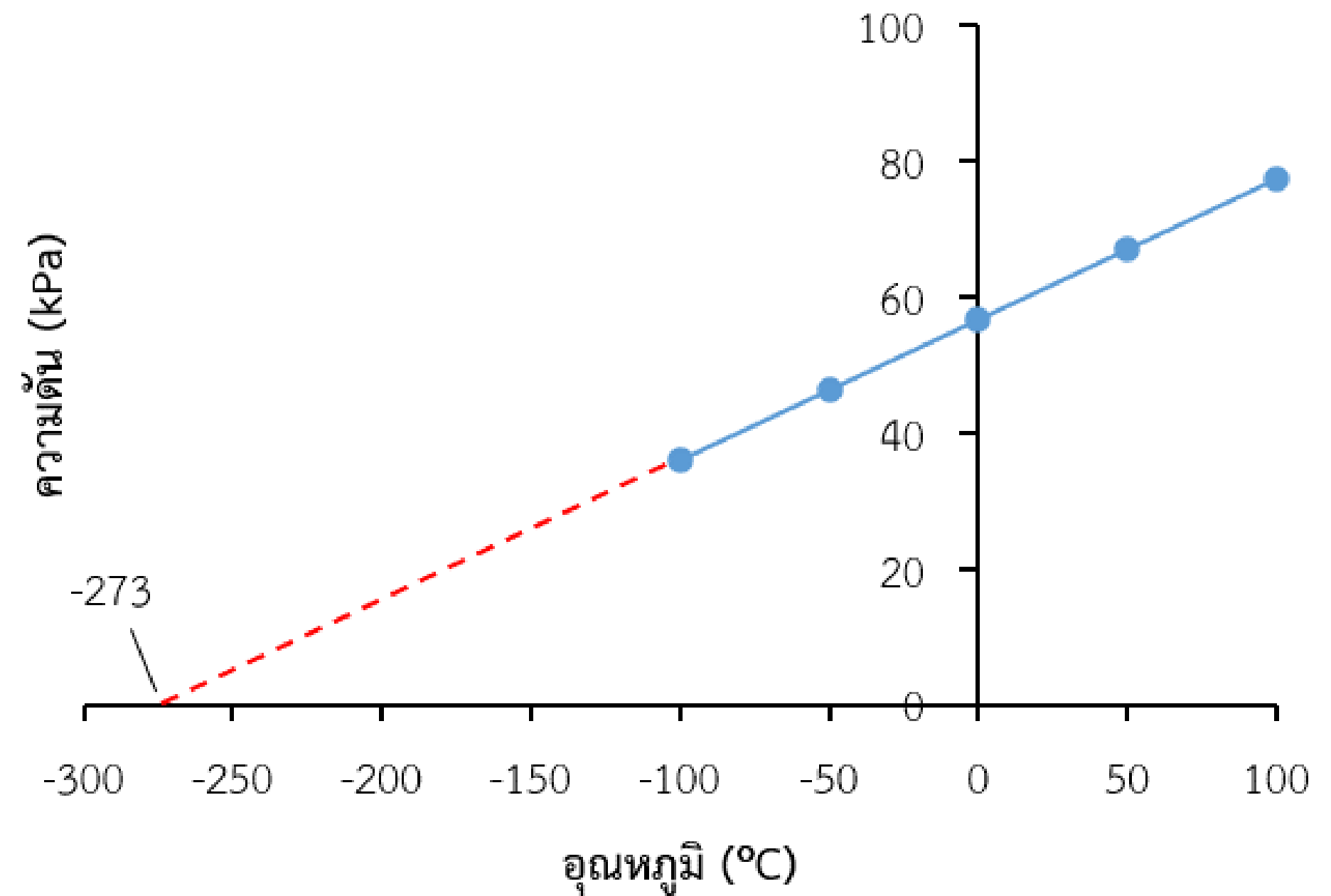
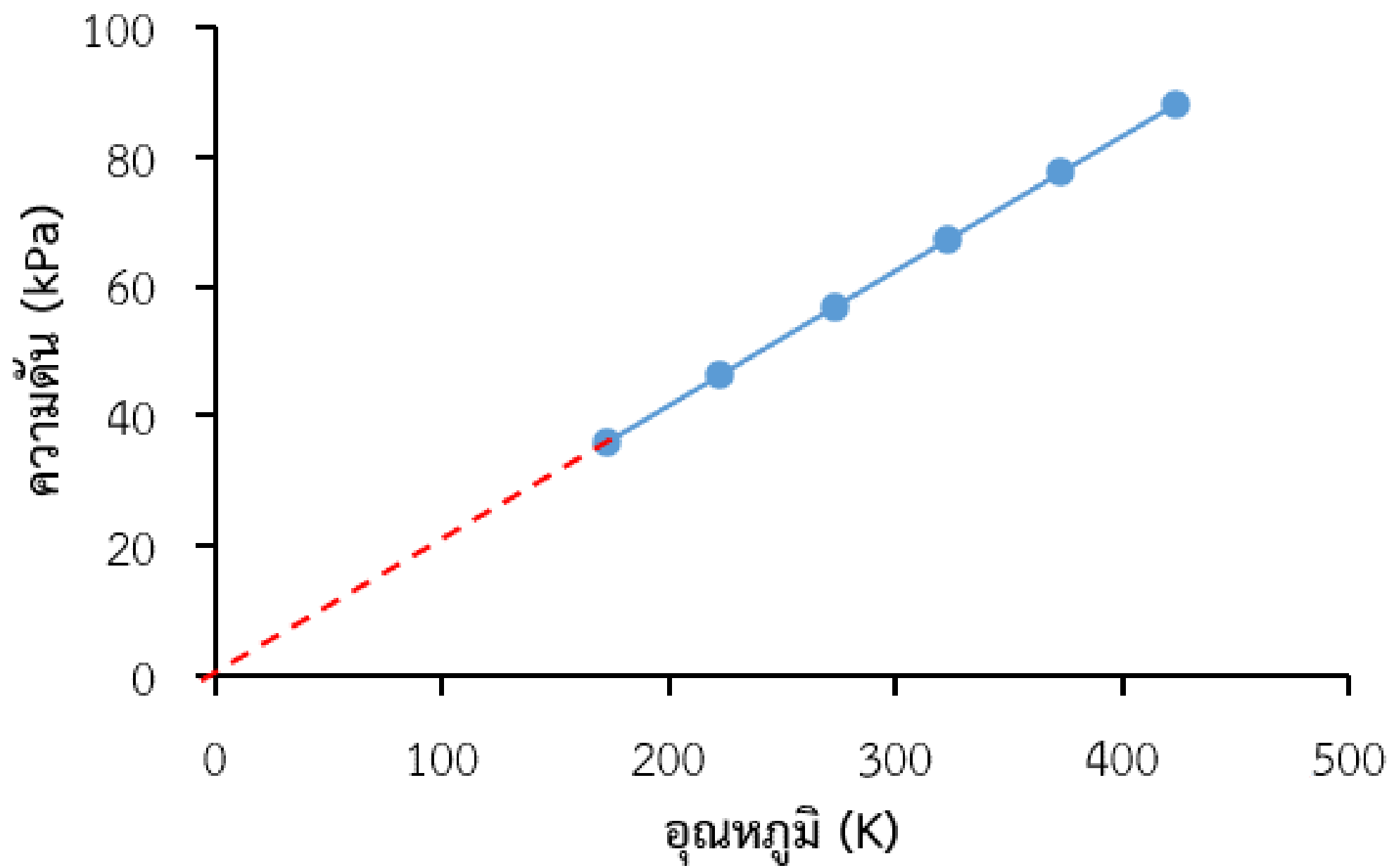
$$P \propto T$$

$$P = kT$$

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

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

$$P = kT$$



กราฟระหว่าง P กับ T (หน่วย K) หรือ P กับ T (หน่วย °C) จะมีความชันเท่ากับ k

(Avogadro's law, 1811)



Amedeo Avogadro  
 (1776-1856)  
 Italian Scientist

ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับจำนวนโมลของแก๊ส พบว่าแก๊สที่มีปริมาตรเท่ากันจะมีจำนวนอนุภาคเท่ากัน

“  
 แก๊สใด ๆ จำนวน 1 โมล จะมีจำนวน  
 อนุภาคเท่ากับ  $6.02 \times 10^{23}$  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 2.00 L ภายใต้ความดัน 700 mmHg จงหาปริมาตรของแก๊สจำนวนนี้ที่ความดันบรรยากาศ เมื่ออุณหภูมิคงที่

$$P_1 = 700 \text{ mmHg} \quad P_2 = 760 \text{ mmHg}$$

$$V_1 = 2.00 \text{ L} \quad V_2 = ?$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

$$V_2 = \frac{(700 \text{ mmHg})(2.00 \text{ L})}{760 \text{ mmHg}}$$

$$= 1.84 \text{ L}$$

ดังนั้น ปริมาตรแก๊สจะลดลงเหลือ 1.84 ลิตร

แก๊ส  $H_2$  3.00 L บรรจุในลูกบอลลูนที่  $25^\circ\text{C}$  จงคำนวณปริมาตรบอลลูนเมื่ออุณหภูมิลดลงที่เป็น  $-58^\circ\text{C}$

$$V_1 = 3.00 \text{ L}$$

$$V_2 = ?$$

$$T_1 = 273 + 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K}$$

$$T_2 = 273 + (-58^\circ\text{C}) = 215 \text{ K}$$

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

$$V_2 = \frac{(3.00 \text{ L})(215 \text{ K})}{298 \text{ K}}$$

$$= 2.16 \text{ L}$$

ดังนั้น ปริมาตรแก๊สจะลดลงเหลือ 2.16 ลิตร



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

$$P_1 = 0.80 \text{ atm} \quad P_2 = ?$$

$$T_1 = 300 \text{ K} \quad T_2 = 283 \text{ K}$$

$$V_1 = 2.5 \text{ L} \quad V_2 = 1.5 \text{ L}$$

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

$$P_2 = \frac{(0.80 \text{ atm})(2.5 \text{ L})(283 \text{ K})}{(300 \text{ K})(1.5 \text{ L})}$$

$$= 1.26 \text{ atm}$$

ดังนั้น ความดันแก๊สเท่ากับ 1.26 atm

จงคำนวณโมลของแก๊ส H<sub>2</sub> ที่ปริมาตร 8.56 L ณ สภาวะที่อุณหภูมิ 0°C และความดัน 1.5 atm

$$P = 1.5 \text{ atm}$$

$$V = 8.56 \text{ L}$$

$$T = 0^\circ\text{C} + 273 = 273 \text{ K}$$

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

$$PV = nRT$$

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

$$n = \frac{(1.5 \text{ atm})(8.56 \text{ L})}{(0.082 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{K}\cdot\text{mol})(273 \text{ K})}$$

$$= 0.57 \text{ mol}$$

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



จงหาปริมาตรของแก๊ส  $O_2$  น้ำหนัก 100 g ที่อุณหภูมิ  $45^\circ C$  และความดัน 800 mmHg

# การประยุกต์สมการของแก๊สสมบูรณ์แบบ

---

หาความหนาแน่น และ  
น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส

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

การหาปริมาณสัมพันธ์ของ  
แก๊สในปฏิกิริยา

รายละเอียดในเรื่องการคำนวณ  
ปริมาณสัมพันธ์

$$PV = nRT$$

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

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

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

#ตัวอย่าง

แก๊สชนิดหนึ่งมีความหนาแน่น 1.95 g/L ที่ความดัน 1.50 atm อุณหภูมิ 27°C  
จงคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส

จากสมการ  $M = \frac{dRT}{P}$

$$d = 1.95 \text{ g/L}$$

$$T = 27^\circ\text{C} + 273 = 300 \text{ K}$$

$$P = 1.50 \text{ atm}$$

$$M = \frac{(1.95 \text{ g/L})(0.082 \text{ L}\cdot\text{atm/K}\cdot\text{mol})(300 \text{ K})}{1.50 \text{ atm}}$$

$$M = 32.0 \text{ g/mol}$$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 32.0 g/mol

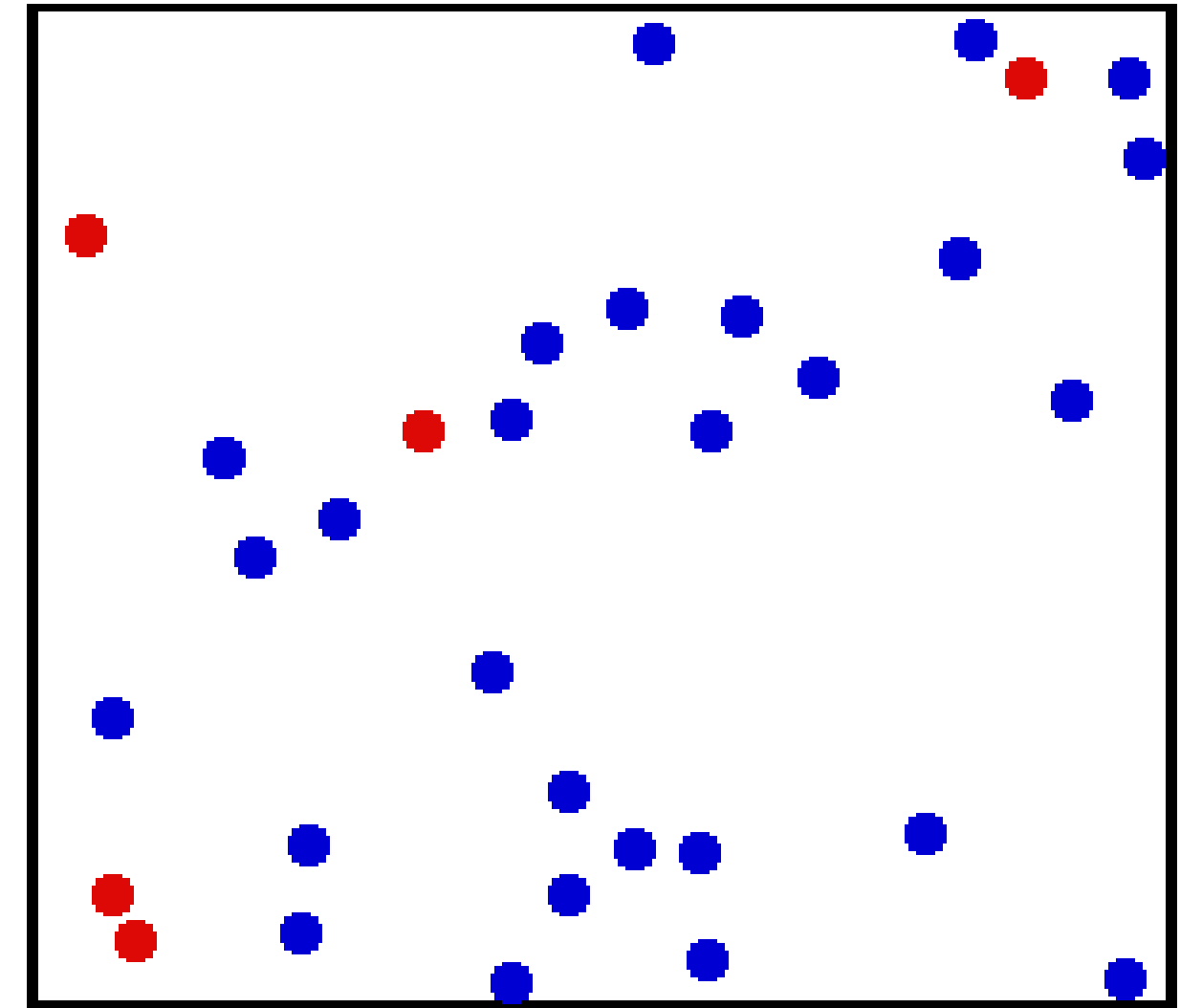


## ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส

ทฤษฎีเพื่อใช้อธิบายพฤติกรรมของแก๊สโดยใช้แบบจำลอง หรือ ทฤษฎีในระดับจุลภาค กล่าวคือ เป็นการศึกษามอเลกุลของแก๊ส เพียงหนึ่งหรือสองโมเลกุลเพื่อเป็นตัวแทนของโมเลกุลล้าน ๆ โมเลกุลในระดับมหภาค

แนวคิดที่สำคัญคือ

“อนุภาคของแก๊สมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา  
เมื่อแก๊สมีการเคลื่อนที่ย่อมมีพลังงานจลน์ในโมเลกุลด้วย”



- 1) แก๊สประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมากที่มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดภาชนะที่บรรจุ จนถึงได้ว่าอนุภาคของแก๊สไม่มีปริมาตร
- 2) โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก ทำให้แรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างโมเลกุลน้อยมาก จนถึงได้ว่าไม่มีแรงกระทำต่อกัน
- 3) โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วในแนวเส้นตรง เป็นอิสระด้วยอัตราเร็วคงที่ และไม่เป็นระเบียบ
- 4) โมเลกุลของแก๊สที่ชนกันเอง หรือชนกับผนังภาชนะจะเกิดการถ่ายโอนพลังงานให้แก่กันได้ แต่พลังงานรวมของระบบคงที่
- 5) แก๊สแต่ละโมเลกุลมีพลังงานจลน์ต่างกัน แต่พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลทั้งหมดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ของแก๊ส ( $KE \propto T$ ) และพลังงานจลน์เฉลี่ยของแก๊สใด ๆ จะเท่ากันที่อุณหภูมิเดียวกัน

$$\frac{\bar{v}_A}{\bar{v}_B} = \sqrt{\frac{m_B}{m_A}} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

---

# แก๊สผสมและความดันย่อย

## (Gas Mixtures and Partial Pressures)

ถ้านำแก๊สสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน โดยแก๊สเหล่านั้นต้องไม่ทำปฏิกิริยากัน

\_\_\_\_\_ “ \_\_\_\_\_

กฎความดันย่อยของดาลตัน  
(Dalton's law of partial pressure)

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

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

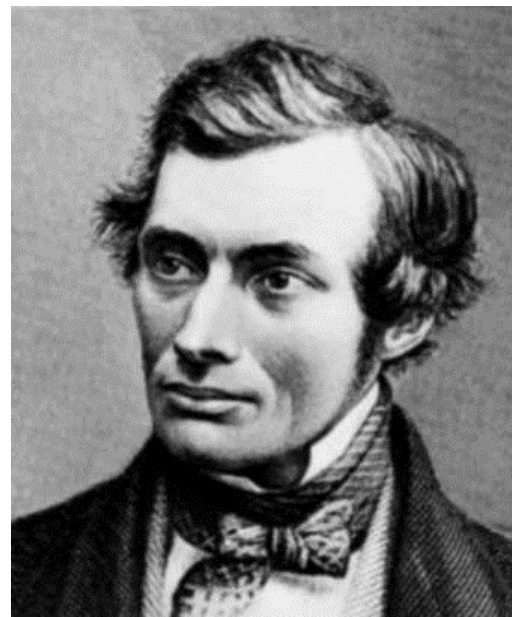
$P_t$  = ความดันรวม

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

---

# กฎการแพร่ของเกรแฮม (Graham's law of diffusion)

การแพร่ของแก๊ส (diffusion of gas) เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สชนิดหนึ่งเคลื่อนที่กระจายออกไปจากบริเวณที่มีความหนาแน่นมากไปหาบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า



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

Thomas Graham (1805-1869)  
นักเคมีชาวสก็อต

“

ภายใต้ความดันและอุณหภูมิเดียวกัน  
อัตราการแพร่ของแก๊ส

**แปรผกผัน**กับ

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

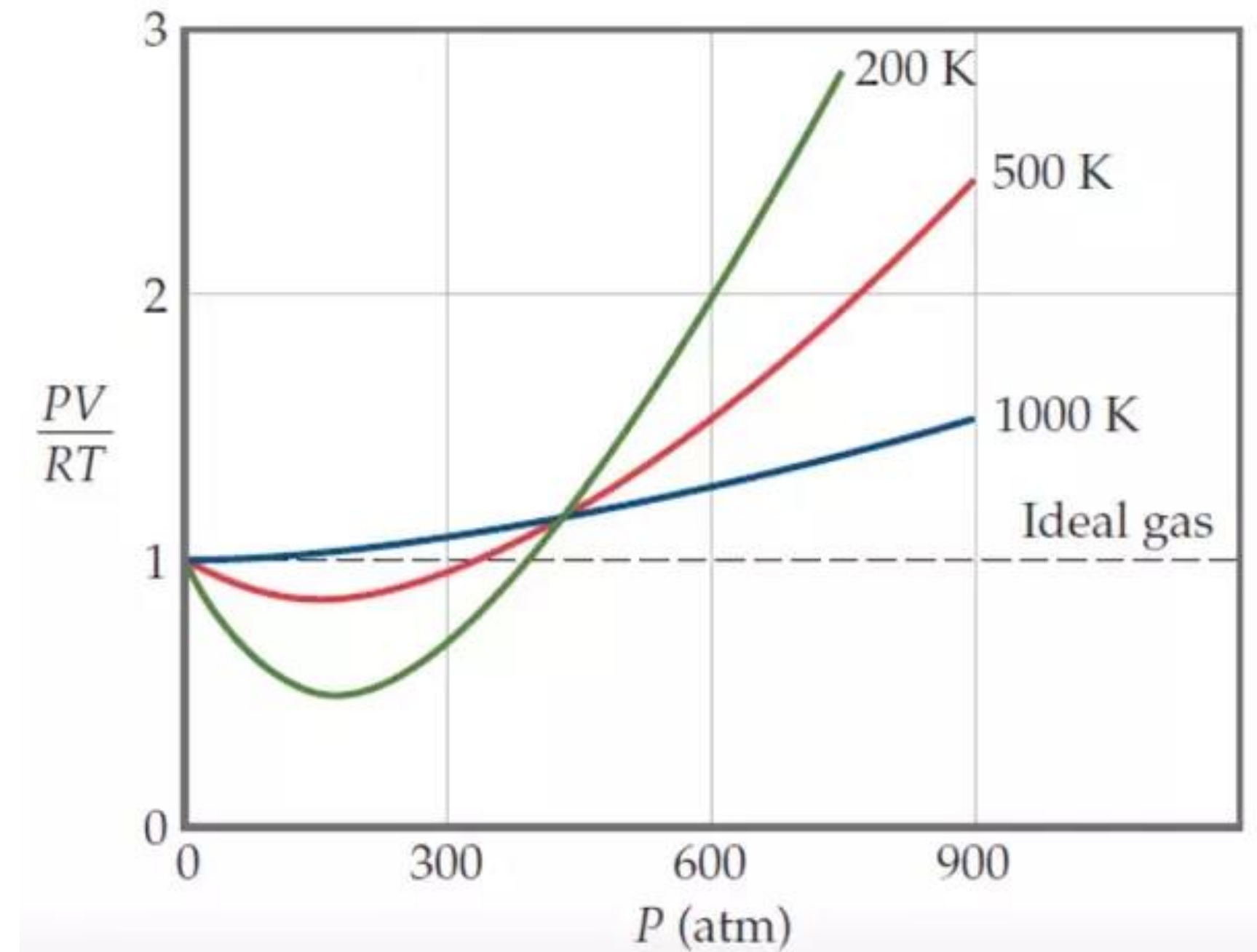
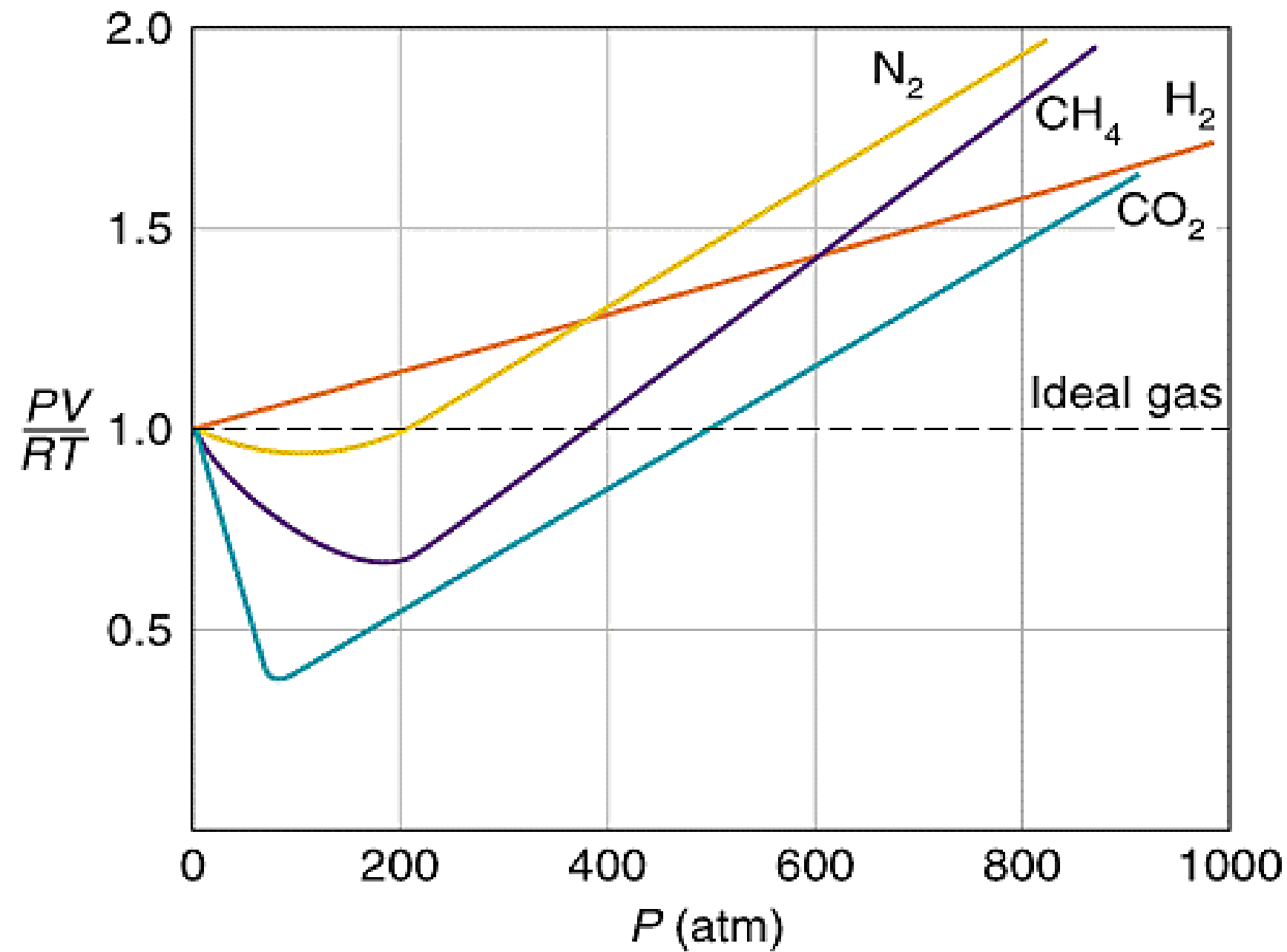
$$\frac{PV}{RT} = 1$$

แต่จากการศึกษาพฤติกรรมของแก๊สจริงที่ความดันและอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าอัตราส่วนนี้ไม่เท่ากับ 1

ค่าอัตราส่วน  $PV/RT$  เรียกว่า ค่าแฟกเตอร์การอัดของแก๊ส (compressibility factor)

———— “ ————

แก๊สจริงมีพฤติกรรมเป็น  
แก๊สสมบูรณ์แบบ  
เมื่อความดันต่ำมากและอุณหภูมิสูง

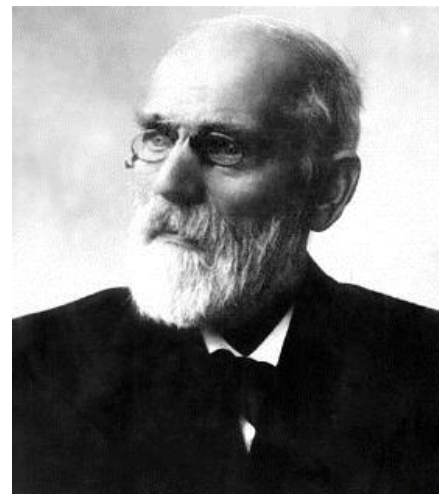


แก๊สจริง 4 ชนิดคือ  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$  และ  $CO_2$  ที่อุณหภูมิ  $0^\circ C$  ถ้าแก๊สเหล่านี้ประพฤติตนเช่นเดียวกับแก๊สอุดมคติ เส้นกราฟจะเป็นเส้นตรงเหมือนเส้นประ แต่จากการทดลองพบว่าแก๊สทุกชนิดไม่เป็นเช่นนั้น ในช่วงความดันน้อย ๆ ( $<1$  atm) แก๊สเหล่านี้มีค่า  $PV/RT$  ใกล้เคียงกับ 1 นั่นคือ ผลคูณของ  $PV$  ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่เมื่อความดันสูงขึ้น จะเกิดการเบี่ยงเบนไปเรื่อย ๆ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อโมเลกุลอยู่ใกล้กันมากขึ้น ที่ความดันสูงๆ แก๊สจะมีความหนาแน่นสูงขึ้นและโมเลกุลอยู่ใกล้ชิดกันมากขึ้น

กราฟหาค่าของ  $PV/RT$  กับ  $P$  ของแก๊ส  $N_2$  ที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะพบว่ายิ่งอุณหภูมิสูงขึ้น ค่าของ  $PV/RT$  ของ  $N_2$  จะมีค่าเข้าใกล้แก๊สอุดมคติมากขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า เมื่อความดันยิ่งต่ำและอุณหภูมิยิ่งสูง แก๊สจริงจะมีพฤติกรรมใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติ

# 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 <sup>2</sup> /mol <sup>2</sup> )	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 <sub>2</sub>	0.244	0.0266
N <sub>2</sub>	1.39	0.0391
O <sub>2</sub>	1.36	0.0318
Cl <sub>2</sub>	6.49	0.0562
CO <sub>2</sub>	3.59	0.0427
CH <sub>4</sub>	2.25	0.0428
NH <sub>3</sub>	4.17	0.0371
H <sub>2</sub> O	5.46	0.0305

แก๊สมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) 5,000 โมล ในภาชนะ 1,000 L ที่  $25^\circ\text{C}$  ทำให้ร้อนถึง  $1,000^\circ\text{C}$  ความดันแก๊ส  $\text{CH}_4$  นี้เป็นเท่าใด ถ้าสมมติให้แก๊ส  $\text{CH}_4$  มีพฤติกรรมเป็นแบบ ก) แก๊สจริง และ ข) แก๊สอุดมคติ

$$T = 1,000^\circ\text{C} + 273 = 1,273 \text{ K}$$

$$V = 1,000 \text{ L}$$

$$n = 5,000 \text{ mol}$$

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

จากตาราง  $a = 2.25 \text{ atm L}^2/\text{mol}^2$

$$b = 0.0428 \text{ L/mol}$$

ก) ความดันของแก๊สจริง หาได้จากสมการแวนเดอร์วาลส์

$$P = \frac{(5,000 \text{ mol})(0.082 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{K}\cdot\text{mol})(1,273 \text{ K})}{(1,000 \text{ L} - (5,000 \text{ mol})(0.0428 \text{ L/mol}))} - 2.25 \text{ L}^2\text{atm}/\text{mol}^2 \left( \frac{5,000 \text{ mol}}{1,000 \text{ L}} \right)^2$$
$$= 608.1 \text{ atm}$$

ข) ถ้าแก๊ส  $\text{CH}_4$  นี้มีพฤติกรรมแบบแก๊สอุดมคติ ความดันของแก๊สหาได้จาก  $P = nRT/V$

$$P = \frac{(5,000 \text{ mol})(0.082 \text{ L}\cdot\text{atm}/\text{K}\cdot\text{mol})(1,273 \text{ K})}{1,000 \text{ L}}$$
$$= 522.3 \text{ atm}$$



# #กิจกรรม work@class

## แบ่งกลุ่มทำกิจกรรม 1.1

มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่ม  
ระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการ  
ร่วมแสดงความคิดเห็น

ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา

- 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง
- 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง
- 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง

โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย