Kinetic theory of gases

N. Srimanobhas
Norraphat.Srimanobhas@mail.cern.ch

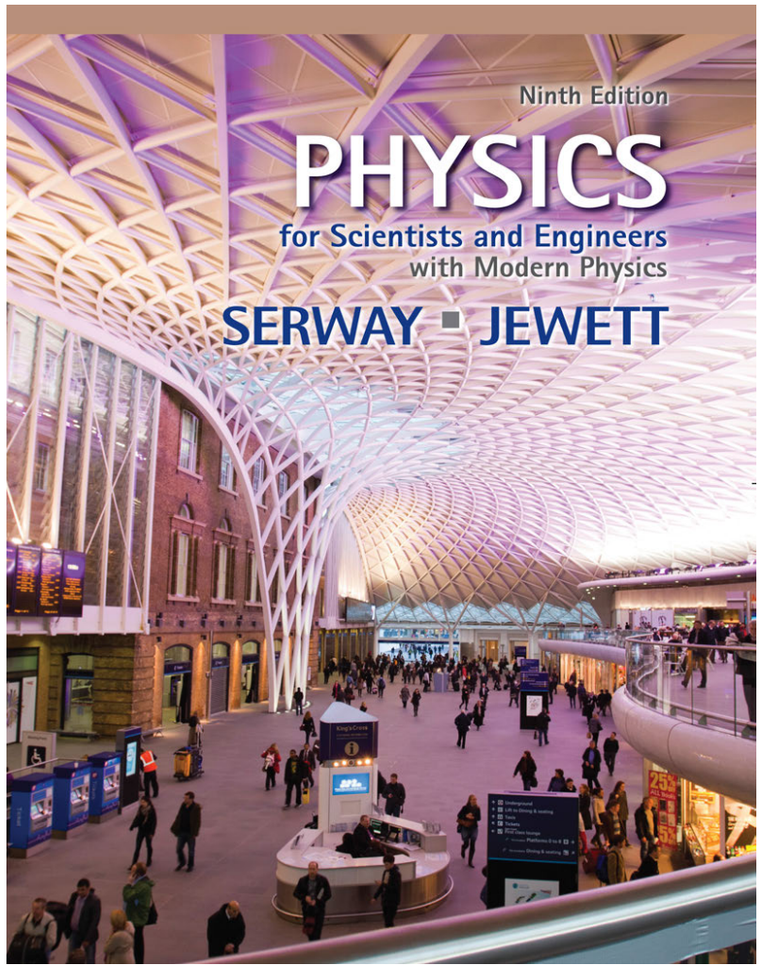
https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/Main/PhatSrimanobhasTeachingCU

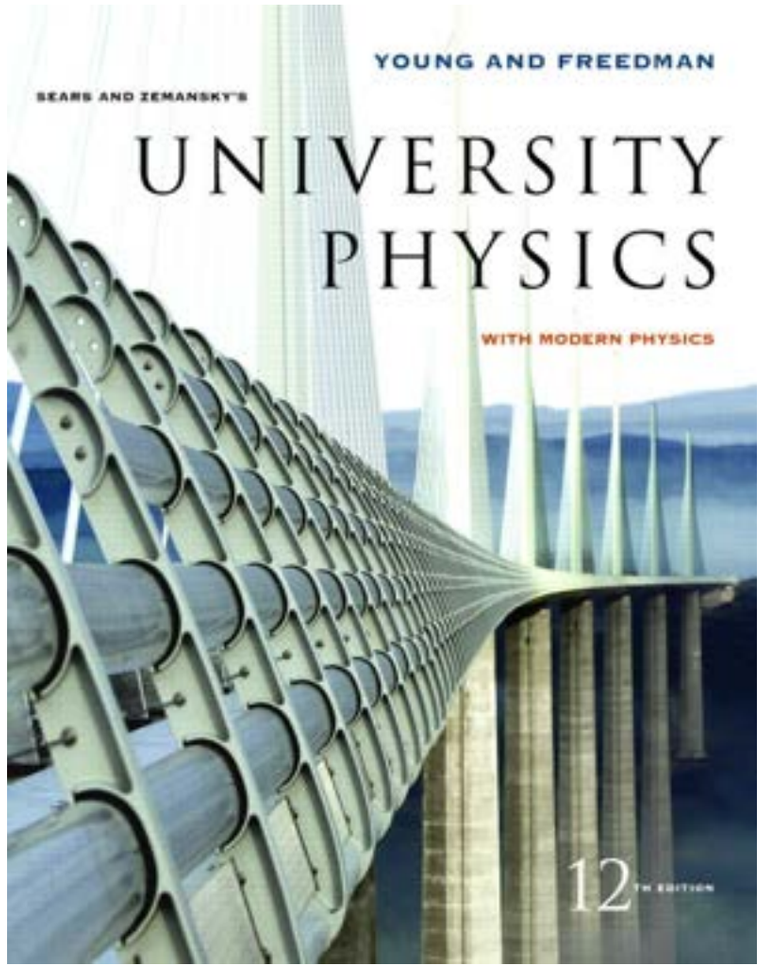
Contents

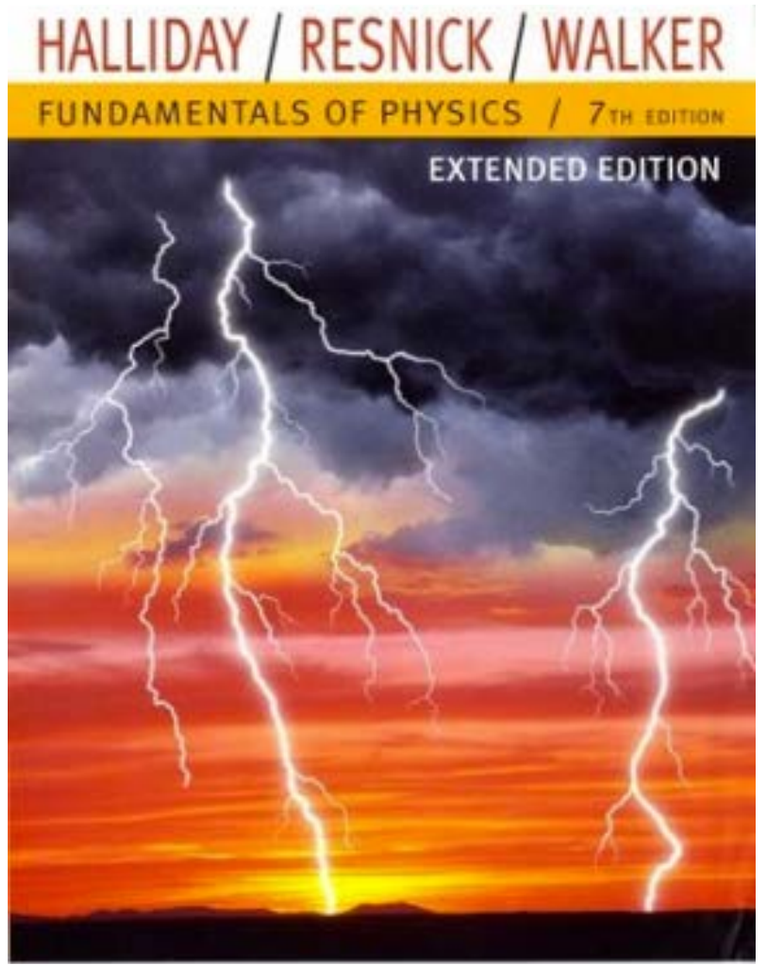
- **Kinetic theory of gases**
  - Temperature
    - ➡ Zeroth law of thermodynamics
  - Ideal gas
  - Molecular model of an ideal gas
  - Molar specific heat of an ideal gas
  - The equipartition of energy
  - Adiabatic processes for an ideal gas
  - Distribution of molecular speeds
  - .....
    - ➡ .....

นิสิตควรหัดทำแบบฝึกหัดท้ายบทของหนังสืออ้างอิง

References


Ninth Edition
PHYSICS
for Scientists and Engineers
with Modern Physics
SERWAY ■ JEWETT


YOUNG AND FREEDMAN
SEARS AND ZEMANSKY'S
UNIVERSITY
PHYSICS
WITH MODERN PHYSICS
12TH EDITION

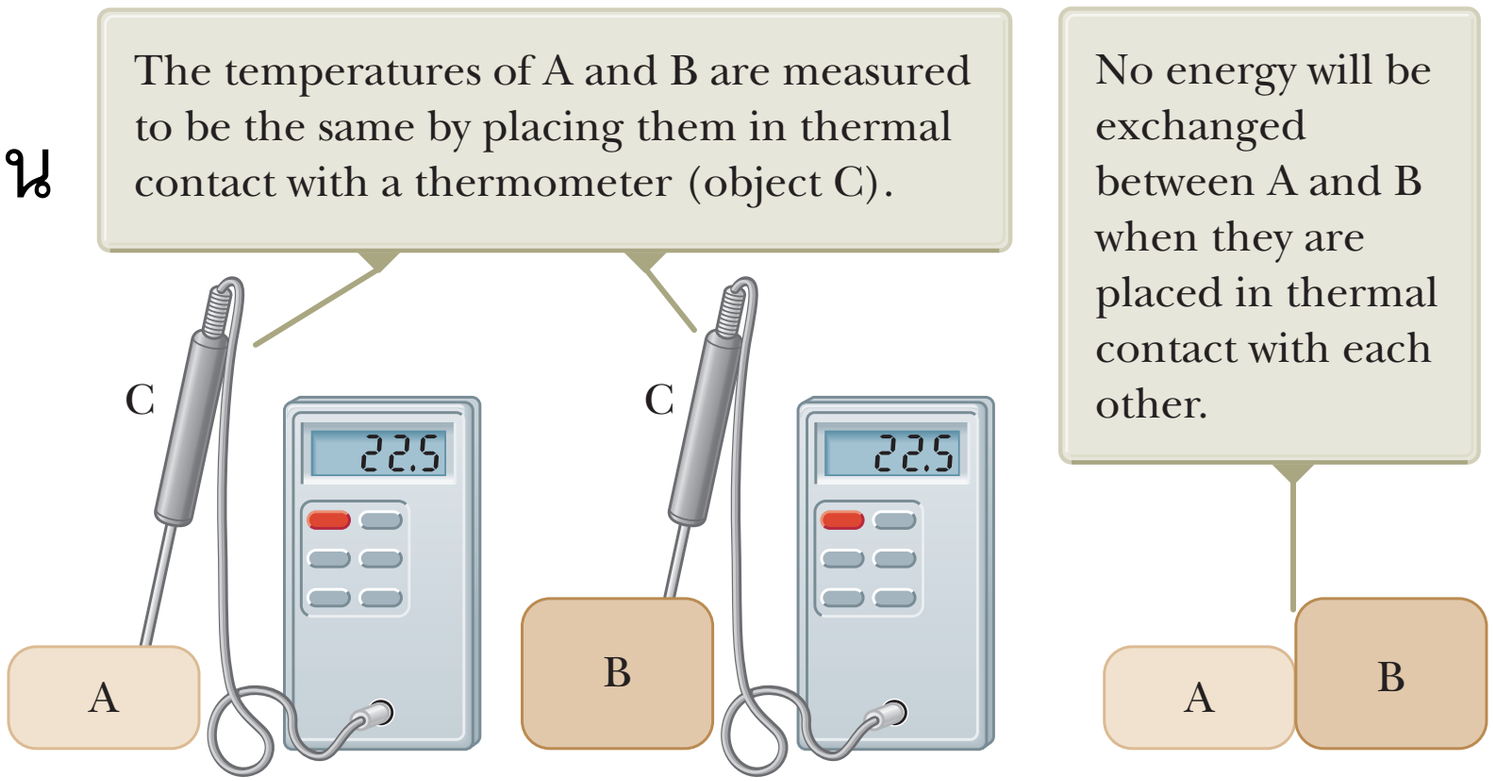

HALLIDAY / RESNICK / WALKER
FUNDAMENTALS OF PHYSICS / 7TH EDITION
EXTENDED EDITION

Temperature

อุณหภูมิคือปริมาณที่บอกถึงความร้อนหรือเย็น อาจวัดได้โดยการถ่ายเทความร้อนของวัตถุ ความเร็วของวัตถุ หรือพลังงานจลน์ของวัตถุ

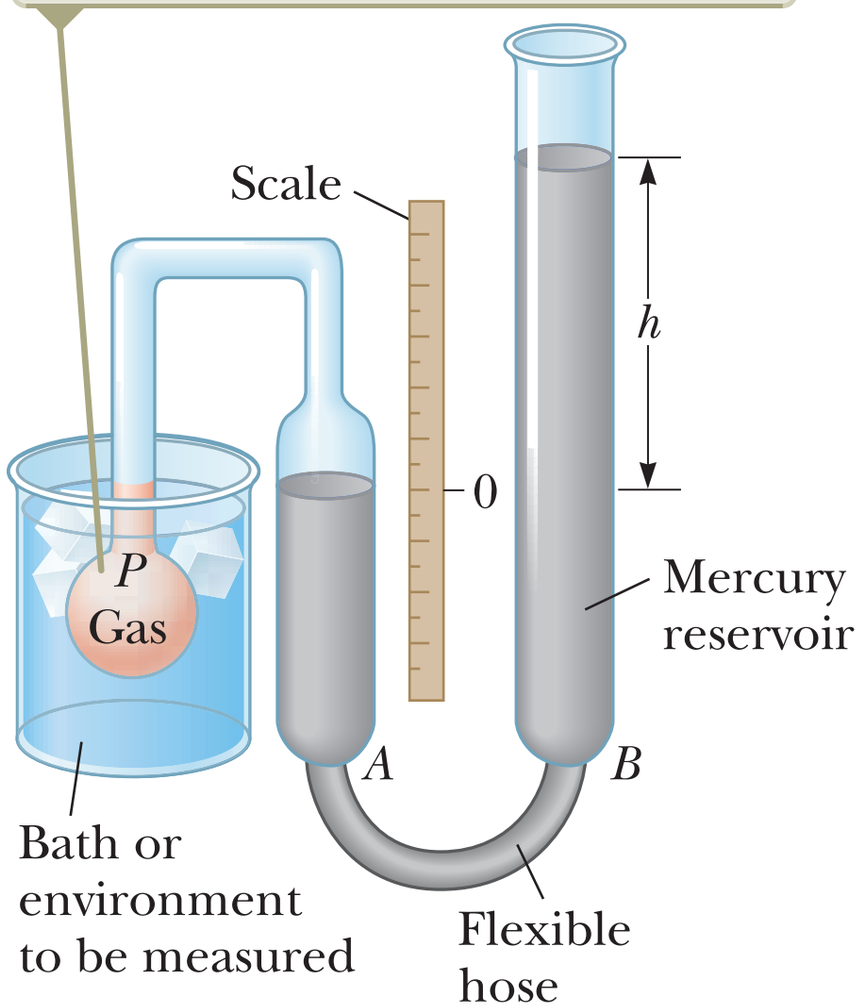
กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์ (Zeroth law of thermodynamics) “ถ้าระบบ A และ C อยู่ในภาวะสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ และระบบ B และ C อยู่ในสภาวะสมดุลทางอุณหพลศาสตร์แล้ว ระบบ A และ B จะอยู่ในภาวะสมดุลทางอุณหพลศาสตร์ด้วยเช่นกัน”

- ไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่าง A กับ B (ตามรูป)

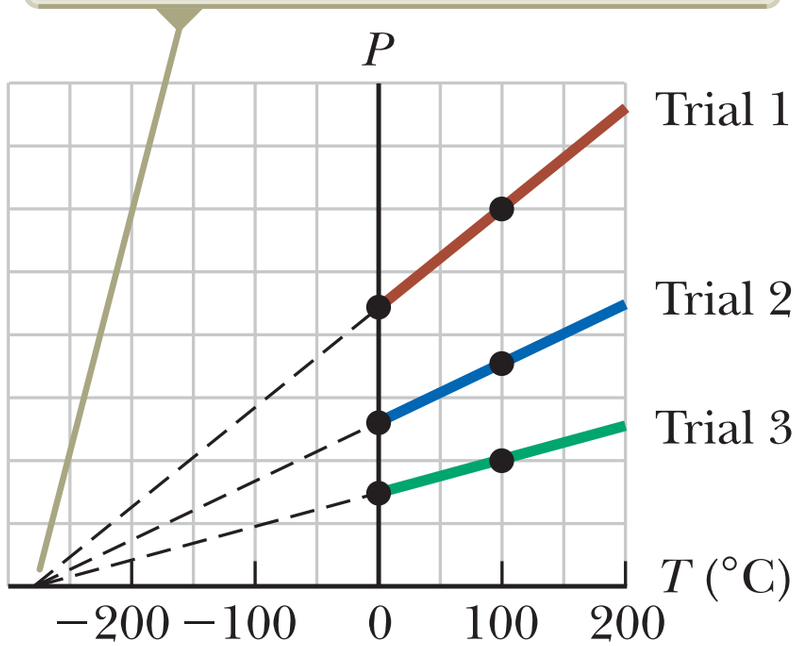


The absolute temperature scale

The volume of gas in the flask is kept constant by raising or lowering reservoir *B* to keep the mercury level in column *A* constant.



For all three trials, the pressure extrapolates to zero at the temperature −273.15°C.



Avogadro's number

ในบางครั้ง เราจะบอกจำนวนอะตอมหรือโมเลกุลเป็นโมล (mole, *n*) ถ้าเราให้จำนวนโมเลกุลเป็น N จำนวนโมลก็จะสามารถหาได้โดย

$$n = \frac{N}{N_A}$$

N_A (Avogadro's number) = 6.023 x 10^{23} molecules/mole

หรือถ้าเราบอกเป็นมวลของธาตุต่าง ๆ

$$n = \frac{m}{M}$$

โดยที่ M คือ molar mass ของธาตุชนิดต่าง ๆ (หรือ atomic mass) ในหน่วย g/mole เช่นมวลของ He หนึ่งอะตอมคือ 4.00 u molar mass ของ He คือ 4.00 g/mole

Ideal gas

พิจารณาก๊าซที่ความดันต่ำ ๆ ไม่มีแรงกระทำระหว่างโมเลกุลของก๊าซ

(Boyle's law)
เมื่อ ให้อุณภูมิของก๊าซคงที่ ความดันจะแปรผกผันกับปริมาตร

(Charles's law)
เมื่อ ให้ความดันของก๊าซคงที่ ปริมาตรจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ

(Gay-Lussac's law)
เมื่อ ให้ปริมาตรของก๊าซคงที่ ความดันจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิ

(Avogadro's law)
ที่อุณหภูมิและความดันเท่ากัน ถ้าปริมาตรของก๊าซชนิดใด ๆ เท่ากัน ก๊าซเหล่านั้น ๆ ก็จะมีจำนวนโมเลกุลเท่ากัน

Ideal gas

$$PV = nRT$$ ← เป็น Empirical law

R (universal gas constant) = 8.314 J/mol K

ลองคำนวณปริมาตรของก๊าซ ใด ๆ 1 โมลที่อุณหภูมิห้อง (25 C) ที่ความดันหนึ่งบรรยากาศ (1 atm, 1.013×10^5 Pa) เราจะได้ว่าปริมาตรจะมีค่า

$$V = \frac{nRT}{P}$$
$$= \frac{(1)(8.314)(298.15)}{1.013 \times 10^5}$$

ซึ่งมีค่าประมาณ 24.5 ลิตร <u>โดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ</u>

ตัวอย่าง

กระป๋องสเปรย์บรรจุก๊าซชนิดหนึ่งไว้ที่ความดันสองเท่าของความดันบรรยากาศ และมีปริมาตร 125.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส กระป๋องสเปรย์นี้ถูกโยนเข้ากองไฟทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 195 องศาเซลเซียส จงหาความดันที่เกิดขึ้นข้างในกระป๋อง (โดยสมมติให้การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของกระป๋องมีค่าน้อยมาก)

ตัวอย่าง

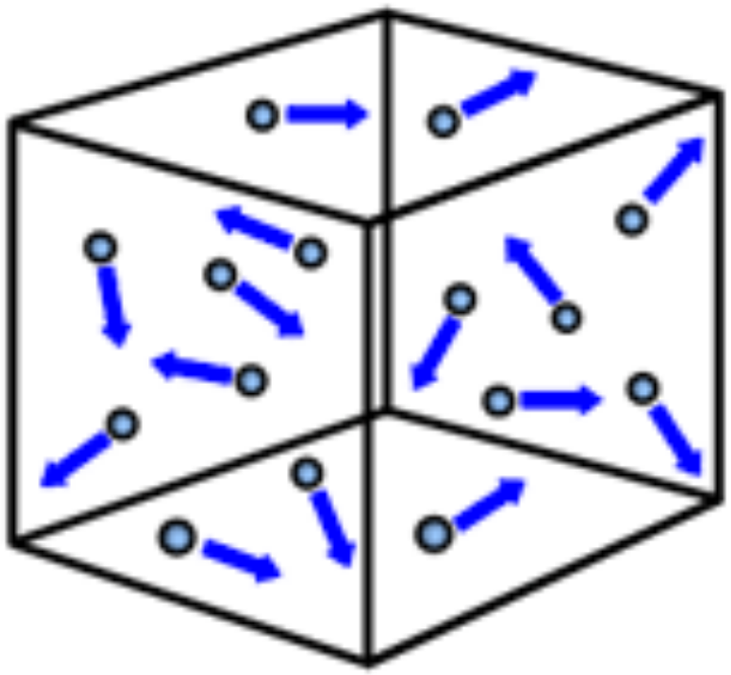
มวลของบอลลูนลูกหนึ่งกับตะกร้ามีค่าเท่ากับ 200 กิโลกรัม (ไม่รวมอากาศภาย ใน) อากาศภายนอกมีอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสและความดันหนึ่งบรรยากาศ ถ้าปริมาตรของบอลลูนคือ 400 ลูกบาศก์เมตร ระดับอุณภูมิเท่าไหร่ที่อากาศภาย ในบอลลูนควรถูกทำ ให้ร้อนขึ้นก่อนปล่อยขึ้นฟ้า (ให้ความหนาแน่นของอากาศที่ 10 องศาเซลเซียสมีค่าเท่ากับ 1.244 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

Molecular model of an ideal gas

ในบทนี้เราจะศึกษาถึงโมเดลที่เรา ใช้ในการบรรยายก๊าซ โดย วัตถุประสงค์คือการหาความสัมพันธ์ระหว่าง

อุณหภูมิและความดัน กับ การเคลื่อนที่ของโมเลกุล

Macroscopic Microscopic

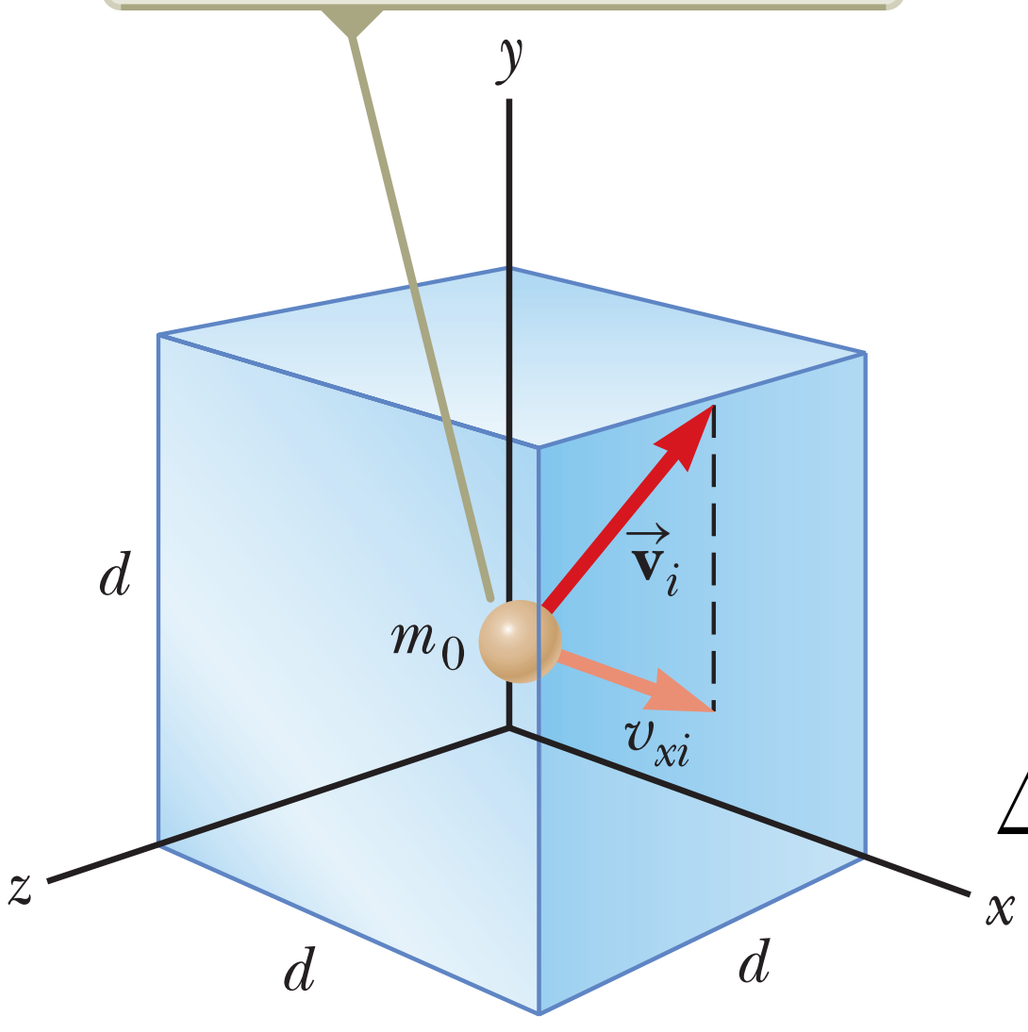


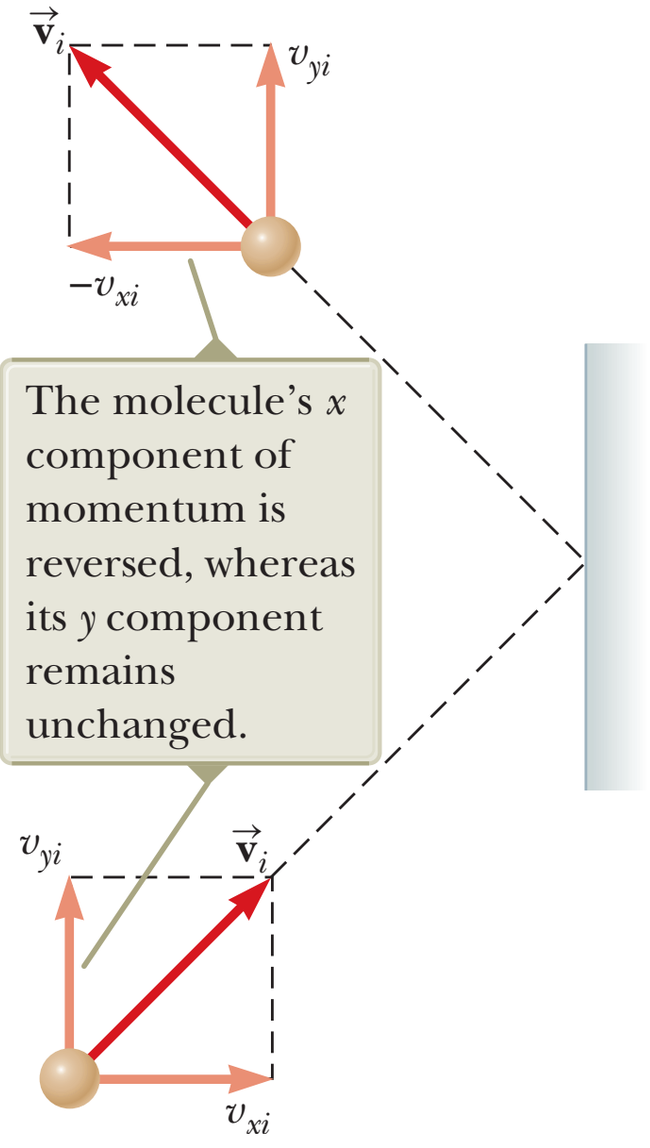
พิจารณาระบบของก๊าซ ให้ประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก ๆ (เช่นโมเลกุลหรืออะตอม) โดยอนุภาคเหล่านี้

- ประพฤติตนตามกฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
- ไม่สน ใจอันตรกิริยาระหว่างอนุภาค
- เหมือนกัน ในทุกทิศทาง (Isotropic)
- ชนแบบยืดหยุ่นกับกำแพง

Molecular model of an ideal gas

One molecule of the gas moves with velocity $\vec{\mathbf{v}}$ on its way toward a collision with the wall.





$$\Delta p_{xi} = -m_0 v_{xi} - (m_0 v_{xi}) = -2m_0 v_{xi}$$

โมเมนตัมหลังชน โมเมนตัมก่อนชน

Molecular model of an ideal gas

เราสามารถเขียนแรงเฉลี่ยที่กำแพงกระทำต่อโมเลกุลได้ว่า

$$\bar{F}_{i,\text{on molecule}} = -\frac{2m_0 v_{xi}}{\Delta t} = -\frac{m_0 v_{xi}^2}{d}$$

$$\Delta t = \frac{2d}{v_{xi}}$$

ระยะเวลาระหว่างการชนสองครั้งบนด้านเดียวกันของกำแพง

แรงเฉลี่ยที่โมเลกุลแต่ละตัวกระทำต่อกำแพง ตามกฎข้อที่สามของนิวตัน

$$\bar{F}_{i,\text{on wall}} = \frac{m_0 v_{xi}^2}{d}$$

แรงเฉลี่ยที่โมเลกุลทั้งหมดกระทำต่อกำแพง

$$F = \frac{m_0}{d}\sum_{i=1}^{n} v_{xi}^2$$

ค่าเฉลี่ยของแรง ในแต่ละช่วงเวลามีค่าเท่า ๆ กัน

Molecular model of an ideal gas

เรามาพิจารณาค่าเฉลี่ยของ (ค่าความเร็วตามแนวแกน x ยกกำลังสอง) สำหรับ N โมเลกุล

$$\sum_{i=1}^{n} v_{xi}^2 = N\overline{v_x^2}$$

แทนค่ากลับไปที่แรงเฉลี่ยของโมเลกุลทั้งหมดที่กระทำต่อกำแพง

$$F = \frac{m_0}{d} N\overline{v_x^2}$$

พิจารณาความเร็วทั้งสามแกน (x, y, z)

$$v_i^2 = v_{xi}^2 + v_{yi}^2 + v_{zi}^2$$

ค่าเฉลี่ยของทุก ๆ โมเลกุล →

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$$

$$\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2}$$ ← Isotropic

Molecular model of an ideal gas

พิจารณาความดัน

$$P = \frac{F}{A} = \frac{F}{d^2} = \frac{1}{3}\left(\frac{N}{V}\right) m_0 \overline{v^2}$$

$$= \frac{2}{3}\left(\frac{N}{V}\right) (\frac{1}{2} m_0 \overline{v^2})$$

เหมือนว่าความดันกับปริมาตรจะขึ้นอยู่กับจำนวนของโมเลกุล และชนิดของก๊าซ (m_0) แต่สำหรับก๊าซในอุดมคติที่จะเรียนมาแล้วเราพบว่า PV นั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของก๊าซ สำหรับก๊าซในอุดมคติ