บันทึกคำบรรยายสรุปวิชาฟิสิกส์อุณหภาพ (PH 314) ครั้งที่ 8

เสียงจากผู้ประกาศนำ "การบันทึกแถบคำบรรยายสรุปกระบวนวิชาของมหาวิทยาลัยรามคำแหง มุ่งส่งเสริมการศึกษาด้วยตนเองและบริการความรู้มายังนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์พระราชบัญญัติจัดตั้งมหาวิทยาลัยรามคำแหง เป็นตลาดวิชา..... ผลิตโดยสำนักเทคโนโลยีการศึกษามหาวิทยาลัยรามคำแหง ท่านผู้ฟังครับ ต่อไปนี้เป็นการบรรยายสรุปวิชาฟิสิกส์อุณหภาพ หรือ (PH 314) ครั้งที่ 8 ในหัวข้อ

1. ทฤษฎีจลน์สำหรับก๊าซอุดมคติ
2. การหาค่าทางอุณหพลศาสตร์หรือเทอร์โมไดนามิกส์ โดยทฤษฎีจลน์สำหรับก๊าซอุดมคติ
3. เทอร์โมไดนามิกส์เชิงสถิติ
4. การแจกแจงโบส-ไอน์สไตน์

โดย รศ.อัจฉรา พันธุ์อำไพ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

**********บันทึกแถบคำบรรยายสรุปนี้ประกอบการบรรยายด้วยการฉายแผ่นภาพโปร่งใสตลอดคำบรรยาย**********

ทฤษฎีจลน์สำหรับก๊าซอุดมคติ

บทที่ว่าด้วยทฤษฎีจลน์สำหรับก๊าซจะเป็นบทที่เชื่อมโยงระหว่าง เทอร์โมไดนามิกส์แผนเดิมกับเทอร์โมไดนามิกส์เชิงสถิติ ซึ่งจะศึกษาเกี่ยวกับระบบจุลภาค โดยสร้างขึ้นจากสมมติฐานเบื้องต้นหลายประการด้วยกัน คือ

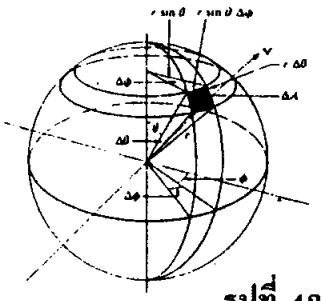
สำหรับก๊าซอุดมคติใด ๆ จะเป็นระบบมหภาค ซึ่งในปริมาตรเพียง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร จะมีอนุภาคของก๊าซมากมายหลาย ๆ ล้านตัว คือ 3×10^{19} ตัวที่สามารถแสดงให้เห็นจริงได้ด้วยการคำนวณตามที่ทราบกันแล้ว

ถึงแม้จะมีอนุภาคอยู่อย่างแออัดเป็นจำนวนมากมายมหาศาล ภายในปริมาตรเล็ก ๆ ขนาด 1 ลบ.ซม.นั้น แต่จะตั้งสมมติฐานว่าไม่มีปฏิกิริยาใด ๆ ระหว่างอนุภาคของก๊าซอุดมคติ ซึ่งจัดเป็นสมมติฐานที่ตั้งขึ้นโดยพิจารณาจาก ขนาดของอนุภาคก๊าซซึ่งเล็กมากเพียงประมาณ 1 ใน 100 ล้านของเซนติเมตร หรือ 10^{-8} เซนติเมตร จึงทำให้ระยะห่างระหว่างอนุภาคจะไกลมากด้วยจนไม่สามารถทำปฏิกิริยาใด ๆ กันได้

ตามสมมติฐานข้อที่สองถือว่า อนุภาคของก๊าซอุดมคติไม่มีปฏิกิริยาใด ๆ ซึ่งกันและกันนั้น นอกเสียจากว่าอาจจะเคลื่อนที่ชนกัน แต่การชนกันของอนุภาคจะถือว่าเป็นแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ นั่นคือโมเมนตัมหลังชนเท่ากับก่อนชนและไม่มีการถ่ายทอดพลังงานจลน์แก่กัน

อีกประการหนึ่งอนุภาคของก๊าซอุดมคติจะกระจายกันอย่างสม่ำเสมอภายในก๊าซนั้นจนถือว่าความหนาแน่นเท่ากับทุกจุด

และในการเคลื่อนที่ของอนุภาคก๊าซอุดมคติจะไปในทิศต่าง ๆ กัน โดยมีอัตราการเคลื่อนที่ซึ่งตั้งสมมติฐานว่าอาจเป็นไปได้ตั้งแต่ 0 ถึงอนันต์



รูปที่ 42

จากสมมติฐานเหล่านี้จะนำไปพิจารณาอนุภาคจำนวนหนึ่ง ภายในก๊าซอุดมคติซึ่งเป็นระบบมหภาคตามสมมติฐานข้อแรก โดยจะให้อนุภาคแต่ละตัวมีจุดเริ่มต้นเดียวกัน ในมิติของความเร็ว (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 42) ซึ่งตามสมมติฐานข้างต้น อนุภาคจะเคลื่อนที่ไปทุกทิศทุกทางโดยกระจายไปอย่างสม่ำเสมอ และทิศทางของการเคลื่อนที่ของอนุภาคแต่ละตัวแสดงด้วยลูกศร โดยที่ขนาดของลูกศรคืออัตราเร็วของอนุภาคนั้น ส่วนหัวลูกศรที่พุ่งออกไปแสดงถึงทิศทางของการเคลื่อนที่นั้น

เมื่อสร้างทรงกลมที่มีจุดศูนย์กลางคือจุดเริ่มต้นในมิติความเร็ว (ดังรูปที่ 42) และมีรัศมีเท่ากับขนาดความเร็วของอนุภาคต่าง ๆ ซึ่งเคลื่อนที่ ดังนั้น บนผิวของทรงกลมนี้จะประกอบด้วยหัวลูกศร ซึ่งหมายถึงอนุภาคหนึ่ง ๆ และถ้าพิจารณาพื้นที่เล็ก ๆ dA บนผิวนี้ตามพิกัดทรงกลม (v,θ,ϕ) จะได้ว่า $dA = v^2 \sin\theta \, d\theta d\phi$ จะมีจำนวนอนุภาคหรือโมเลกุลของก๊าซที่มีขนาดความเร็ว v อยู่เป็นจำนวน $dN = \frac{N}{4\pi} \sin\theta \, d\theta d\phi$ โดยที่ N คือจำนวนโมเลกุลทั้งหมดภายในปริมาตร V ของก๊าซ ซึ่งจำนวนโมเลกุลต่อตารางพื้นที่ทั้งหมดของผิวทรงกลม คือ $N/4\pi V^2$ เมื่อพิจารณาบนพื้นที่เล็ก ๆ dA จึงมีจำนวนโมเลกุล $dN = \frac{N}{4\pi v^2} \times dA = \frac{N}{4\pi} \sin\theta \, d\theta d\phi$

ถ้าหากความหนาแน่นของโมเลกุลเป็นจำนวนโมเลกุลต่อปริมาตร $= \frac{N}{V}$ จะได้ว่าเท่ากับ $\frac{n}{4\pi} \sin\theta \, d\theta d\phi$ เมื่อ n คือจำนวนโมเลกุลต่อปริมาตร

เมื่อพิจารณาอนุภาคที่มีความเร็วต่าง ๆ กันอาจจะพิจารณาจากทรงกลมนี้ที่มีรัศมี v และถ้าความเร็วต่างไปจากนี้เพียงเล็กน้อยเป็น $v + dv$ จะมีทรงกลมที่มีรัศมีซ้อนกันอยู่ เมื่อพิจารณาเฉพาะทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ในกรณีของทรงกลมจะต้องพิจารณาเป็นมุมตัน คือ $d\Omega = \sin\theta \, d\theta d\phi$ โดยที่มุมตันกางออกด้วยรัศมีโดยมีส่วนหนึ่งของทรงกลมรองรับ จึงเท่ากับพื้นที่หารด้วยกำลังสองของรัศมี ดังนั้นจำนวนอนุภาคที่มีความเร็วระหว่าง v กับ $v+dv$ เฉพาะทิศ $d\Omega$ คือ dN_v จึงได้ว่า

$$\text{ความหนาแน่นของโมเลกุล} = \frac{1}{4\pi} dn_v \sin\theta \, d\theta d\phi$$

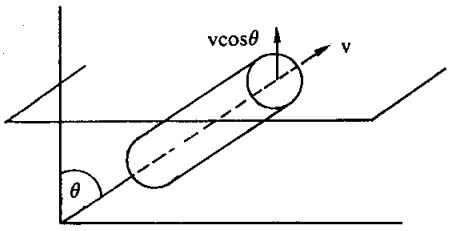
จากสมมติฐานทั้งหมดที่กล่าวแล้ว จนกระทั่งได้นำมาสร้างภาพของก๊าซอุดมคติในมิติความเร็ว จะสามารถนำไปหาค่าต่าง ๆ ทางเทอร์โมไดนามิกส์ต่อไป

การหาค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยทฤษฎีจลน์ของก๊าซอุดมคติ

ในที่นี้จะกล่าวถึงการหาค่าความดันของก๊าซเป็นอันดับแรก ซึ่งตามคำจำกัดความของความดัน คือ แรงกระทำต่อตารางพื้นที่ในทิศตั้งฉาก โดยแรงในที่นี้มาจาก การชนกันระหว่างอนุภาคและผนัง โดยจะถือว่าการชนกันเป็นแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์นั่นคือโมเมนตัมที่เปลี่ยนไปหลังชนจะเท่ากับก่อนชนแต่ทิศตรงข้าม สำหรับอนุภาคที่มีมวล m เคลื่อนที่ชนผนังภาชนะเฉพาะ

ทิศทาง $d\Omega$ (ดังแสดงไว้ในรูปที่ 43) ภายในเวลาสั้น ๆ dt จะมีจำนวนอนุภาคพุ่งเป็นลำปริมาตร vdtdA ซึ่งจะมีอนุภาคในปริมาตรนี้จำนวน

$$(\frac{1}{4\pi}\, dn_v \sin\theta\, d\theta d\phi)(vdtdA)$$



รูปที่ 43

การชนกันครั้งหนึ่ง ๆ ระหว่างอนุภาคกับผนังภาชนะ จะพิจารณาเฉพาะในทิศตั้งฉากกับผนัง จึงจะแตกทิศทางของการเคลื่อนที่ออกไปในทิศตั้งฉากกับพื้นที่เล็ก ๆ dA เป็น $v\cos\theta$ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของอนุภาคตัวหนึ่ง ซึ่งชนกับผนังภาชนะ 1 ครั้งจะเท่ากับ (โมเมนตัมหลังชน-โมเมนตัมก่อนชน) $= -mv\cos\theta - mv\cos\theta = -2mv\cos\theta$ สำหรับอนุภาคที่พุ่งชนผนังบนพื้นที่เล็ก ๆ dA ภายในเวลา dt ทำให้โมเมนตัมเปลี่ยนไปทั้งหมดเท่ากับ

$$\frac{1}{2\pi}\, mv^2 dn_v \int_o^{\pi} \sin\theta\cos^2\theta d\theta \int_o^{2\pi} d\phi dA dt = \frac{1}{3}\, mv^2 dn_v dA dt$$ คือ **แรงดล**ในเวลา dt

$$\text{ดังนั้น ความดัน, } P = \frac{\text{แรง}}{\text{พื้นที่}} = \frac{1}{3}\, mv^2\, dn_v$$

เมื่อพิจารณาทุกอนุภาคซึ่งมีความเร็วต่าง ๆ พุ่งชนผนังนี้จะได้

$$PV = \frac{1}{3}\, m \int_o^{\infty} v^2 dN_v = \frac{1}{3}\, Nmv^{\overline{2}}$$

หรือ

$$P = \frac{1}{3}\, n\, mv^{\overline{2}}$$

ความดันที่หาได้ตามความสัมพันธ์นี้จะเป็นความดันของทั้งระบบ ถึงแม้จะได้มาจากการพิจารณาเพียงผนังด้านบนของภาชนะที่บรรจุก๊าซเท่านั้นก็ตาม แต่เนื่องจากความดันของก๊าซจะเท่ากันทุกทิศทุกทาง ดังนั้น ความสัมพันธ์ที่ได้นี้จึงใช้ได้ถูกต้องสำหรับระบบทั้งหมด

ถ้าพิจารณาตัวเลข 1/3 ในความสัมพันธ์ของความดัน ซึ่งได้มาจากทฤษฎีจลน์ สำหรับก๊าซอุดมคตินี้โดยที่มีจำนวนอนุภาคทั้งหมดอยู่ในความสัมพันธ์ด้วย ซึ่งคูณกับมวลของอนุภาคตัวหนึ่ง ๆ และค่าเฉลี่ยของกำลังสองของความเร็วของอนุภาค จึงแสดงว่าความดันของก๊าซภายในภาชนะ เกิดจากอนุภาคเพียง 1 ใน 3 อนุภาคทั้งหมดของระบบ โดยเฉพาะอนุภาคซึ่งเคลื่อนที่ชนกับผนังภาชนะ ส่วนอนุภาคอีก 2 ใน 3 ที่เหลือ อาจจะเคลื่อนที่ไปมาภายในภาชนะหรือชนกันเองระหว่างอนุภาค จึงไม่มีผลแต่อย่างใดต่อความดันของก๊าซทั้งหมดภายในภาชนะ

นอกจากนี้นักศึกษาอาจจะสังเกตได้ว่า ความสัมพันธ์ของความดันที่ได้มาจากทฤษฎีจลน์สำหรับก๊าซอุดมคตินี้ รูปแบบคล้ายกับจะเกี่ยวข้องอย่างใดอย่างหนึ่งกับพลังงานจลน์เชิงเส้น

โดยเฉลี่ยคือ $\frac{1}{2}\,m\overline{v^2}$ ซึ่งเมื่อเทียบกับกฎของก๊าซที่ได้จากการทดลองของบอยล์และเกย์ลูสแซก คือ $PV = NkT$ หรือ $PV = nRT$ จะได้ว่า $\frac{1}{2}\,m\overline{v^2} = \frac{3}{2}\,kT$ หรือ $\frac{1}{2}\,m\overline{v^2} = \frac{3}{2}\,RT$ โดยที่ $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$ จึงแสดงว่าพลังงานจลน์เชิงเส้นเฉลี่ยเป็นไปตามหลักการกระจายพลังงานตามมิติต่าง ๆ อย่างเสมอภาค โดยที่เลข 3 ใน $\frac{3}{2}\,kT$ หรือ $\frac{3}{2}\,RT$ แสดงถึง 3 มิติ นั่นคือ $\frac{1}{2}\,m\overline{v_x^2} = \frac{1}{2}\,kT$, $\frac{1}{2}\,m\overline{v_y^2} = \frac{1}{2}\,kT$, และ $\frac{1}{2}\,m\overline{v_z^2} = \frac{1}{2}\,kT$

อีกทั้งยังปรากฏว่า ถ้าพลังงานใดสามารถเขียนความสัมพันธ์กับตัวแปร ในรูปของกำลังสองของตัวแปรนั้นก็จะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{2}\,kT$ ในแต่ละมิติด้วยเช่นกัน

อีกประการหนึ่งจะสังเกตได้ว่าสำหรับโมเลกุลของก๊าซต่างชนิดกัน ซึ่งมีมวลต่างกัน ถ้าหากอยู่ที่ระดับอุณหภูมิสัมบูรณ์เดียวกันจะมีพลังงานจลน์เชิงเส้นเท่ากัน นั่นคือพลังงานจลน์เชิงเส้นเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิสัมบูรณ์เท่านั้น เพราะค่า $\frac{1}{2}\,m\overline{v^2} = \frac{3}{2}\,kT$

การหาพลังงานภายในของระบบก๊าซอุดมคติ ซึ่งเกิดจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคแต่ละตัวเป็นพลังงานจลน์ จึงหาได้จาก $U = \frac{f}{2}\,NkT = \frac{f}{2}\,nRT$ เมื่อ f คือจำนวนระดับขั้นความเสรี (degree of freedom) ซึ่งสำหรับก๊าซที่อนุภาคแต่ละตัวอยู่กันโดด ๆ จะมีเฉพาะแต่การเคลื่อนที่เชิงเส้นใน 3 มิติ จึงได้ว่า $f = 3$ แต่ถ้าอนุภาคหนึ่งประกอบด้วยอะตอมคู่หนึ่งเป็นโมเลกุลหนึ่ง นอกจากจะเคลื่อนที่ไปด้วยกันใน 3 มิติ เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นแล้ว ยังอาจหมุนรอบแกนอีก 2 แกนได้ ดังนั้น $f = 5$ เป็นต้น

เมื่อหาค่าความจุความร้อน จะหาได้จากพลังงานภายใน โดยที่ $C_v = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v$ และ $C_P - C_v = R$ สำหรับอนุภาคเดี่ยวจะได้ว่า $C_v = \frac{3}{2}R$ และ $C_P = \frac{5}{2}R$ แต่สำหรับอนุภาคคู่จะได้ว่า $C_v = \frac{5}{2}R$ และ $C_P = \frac{7}{2}R$ เป็นต้น

ถ้านักศึกษาลองไปพิจารณาค่าที่ได้จากการทดลองหาค่าความจุความร้อนของก๊าซ ปรากฏว่าจะตรงกันกับค่าที่ได้จากทฤษฎีจลน์ของก๊าซเฉพาะก๊าซบางชนิดเท่านั้น ซึ่งจะได้ศึกษาในภาคเทอร์โมไดนามิกส์เชิงสถิติต่อไป

และก่อนที่จะจบคำบรรยายในเรื่องทฤษฎีจลน์ของก๊าซอุดมคตินี้ ขอให้นักศึกษาทดสอบความเข้าใจบางประการดังนี้

แบบทดสอบความเข้าใจ 6

1. สมมติฐานเบื้องต้นสำหรับก๊าซอุดมคติคืออะไร
2. การหาค่าความดันจากทฤษฎีจลน์ของก๊าซเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลองจะให้ผลอะไร
3. โดยทฤษฎีจลน์ของก๊าซอุดมคติจะหาค่าความจุความร้อนของก๊าซได้อย่างไร

คำตอบแบบทดสอบ 6

1. การตั้งสมมติฐานเชิงจุลภาค (ไมโครสคอปิก) เกี่ยวกับโครงสร้างของก๊าซอุดมคติ โดยสมมติว่าเป็นระบบมหภาค (แมคโครสคอปิก) ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคที่อยู่ห่างกันมาก จนถือว่าไม่มีปฏิกิริยาใด ๆ ต่อกัน แต่ถ้าชนกันจะเป็นการชนกันแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์ อนุภาคจะกระจายกันอย่างสม่ำเสมอ โดยไม่เลือกทิศด้วยอัตราเร็วไม่จำกัด สมมติฐานเหล่านี้บางข้ออาจไม่ใช่สิ่งที่จะพิสูจน์ให้เห็นจริงได้ แต่จากสมมติฐานนี้สามารถหาสมบัติต่าง ๆ ของก๊าซได้ถูกต้อง

2. จากทฤษฎีคือ $PV = \frac{1}{3} Nm\overline{v^2}$ และจากการทดลองคือ $PV = NkT$ จึงได้ว่า $\frac{1}{2} m\overline{v^2} = \frac{3}{2} kT$ หรือ $\frac{1}{2} m\overline{v_x^2} = \frac{1}{2} m\overline{v_y^2} = \frac{1}{2} m\overline{v_z^2} = \frac{1}{2} kT$ แสดงว่าเป็นไปตามหลักการกระจายพลังงานออกไปในแต่ละมิติอย่างเท่า ๆ กัน และแสดงว่าที่อุณหภูมิสัมบูรณ์เดียวกันก๊าซทุกขนาดโมเลกุลจะมีพลังงานจลน์เชิงเส้นเฉลี่ยเท่ากัน

3. เมื่อหาพลังงานภายในของระบบได้ว่า $U = \frac{f}{2} kT = \frac{f}{2} RT$ จะหาความจุความร้อนที่ปริมาตรคงที่ได้จากความสัมพันธ์ $C_v = (\frac{\partial u}{\partial T})_v$ และหาความจุความร้อนที่เหมาะสมคงที่ ได้จาก $C_p - C_v = R$

ในตอนต่อไปนี้จะเริ่มศึกษาเนื้อหา ในส่วนที่เป็นภาคเทอร์โมไดนามิกส์เชิงสถิติ ซึ่งต้องอาศัยสมมติฐานเบื้องต้น เช่นเดียวกับการสร้างทฤษฎีจลน์ที่ได้กล่าวแล้ว

เทอร์โมไดนามิกส์เชิงสถิติ

ในทางเทอร์โมไดนามิกส์เชิงสถิติก็มี**สมมติฐานเบื้องต้น** ซึ่งคล้ายกับในทฤษฎีจลน์สำหรับก๊าซ โดยกล่าวได้ว่า "ระบบอิสระจะมีสภาวะที่เป็นไปได้ต่าง ๆ กันด้วยความน่าจะเป็นเท่ากัน" ซึ่งหมายความว่าในขณะใดขณะหนึ่งระบบอาจอยู่ในสภาวะใด ๆ ที่ระบบอาจจะเป็นไปได้สภาวะใดสภาวะหนึ่ง หรือในระหว่างระบบชนิดเดียวกันหลายระบบ แต่ระบบอาจอยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่งที่เป็นไปได้ต่าง ๆ กัน

สำหรับ "ความน่าจะเป็น" ในที่นี้หมายถึง ความน่าจะเป็นในทางเทอร์โมไดนามิกส์เท่านั้น ซึ่งจะต่างไปจากความน่าจะเป็นที่นักศึกษาทราบดีแล้วในทางสถิติเล็กน้อย เพราะความน่าจะเป็นในที่นี้คือ จำนวนสภาวะที่เป็นไปได้ทั้งหมดของระบบ หรือจำนวนนับในทางสถิติ

หลักสถิติที่จะต้องศึกษาในเรื่องนี้จะมีอยู่ด้วยกัน 3 หลัก คือ หลักสถิติของโบส-ไอน์สไตน์ หลักสถิติของเฟร์มี-ดิแรก และหลักสถิติของแมกซ์เวลล์-โบลต์ซมันน์ ซึ่งจะแตกต่างกันบ้างเล็กน้อย เนื่องจากระบบที่สอดคล้องกับแต่ละหลักการ ประกอบด้วยอนุภาคชนิดต่าง ๆ กัน ดังนี้

ตามหลักสถิติของ**โบส-ไอน์สไตน์**นั้น จะพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคเหมือนกันหมดทุกตัว ซึ่งสามารถแจกแจงไปตามสภาวะพลังงานต่าง ๆ ได้ โดยไม่จำกัดทั้งจำนวนและระดับ โดยที่สภาวะพลังงานแต่ละสภาวะมีความแตกต่างกัน

สำหรับสถิติของ**เฟร์มี-ดิแรก**จะถือว่า อนุภาคทุกตัวของระบบเหมือนกันหมดทุกตัว แต่เมื่อแจกแจงไปตามสภาวะพลังงานต่าง ๆ จะต้องเป็นไปตามหลักการกีดกันเพาลี (Pauli exclusion principle) ซึ่งอนุภาคจะอยู่ในสภาวะพลังงานเดียวกันเกิน 1 ตัว ไม่ได้ และจะถือว่าสภาวะพลังงานแต่ละสภาวะมีความแตกต่างกันด้วย

ส่วนหลักสถิติของ**แมกซ์เวลล์-โบลต์ซมันน์** นั้นจะถือว่าอนุภาคแต่ละตัวแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแจกแจงไปตามสภาวะพลังงานต่าง ๆ ได้ไม่จำกัด

โดยการพิจารณาระบบมหภาคต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จะหาลักษณะของการแจกแจงภายในระบบหนึ่ง ๆ ว่า เป็นฟังก์ชันของค่าใดบ้าง นั่นคือ จะหาฟังก์ชันของการแจกแจงตามหลักสถิติและสมมติฐานข้างต้นต่อไป

การแจกแจงแบบโบส-ไอน์สไตน์

ความมุ่งหมายที่สำคัญในที่นี้คือ การพิจารณาการแจกแจงของอนุภาค ในระบบมหภาคว่า ขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคทั้งหมดของระบบ หรือจำนวนสภาวะที่เป็นไปได้ของระบบ หรือพลังงานทั้งหมด หรือค่าอื่น ๆ อย่างใดบ้าง

เมื่อทราบลักษณะการแจกแจงของอนุภาคที่เป็นส่วนประกอบในระบบมหภาคจะช่วยให้สามารถหาสมบัติต่าง ๆ ของระบบนั้นได้ต่อไปโดยง่าย

ในตอนนี้จะศึกษากรณีของ**โบส-ไอน์สไตน์**เป็นอันดับแรกซึ่งจะเป็นการพิจารณาถึงระบบมหภาค ที่ประกอบด้วยอนุภาค เหมือนกันทุกประการ และสามารถแจกแจงไปตามสภาวะพลังงานต่าง ๆ ได้ โดยไม่จำกัดจำนวนและไม่จำกัดระดับสภาวะพลังงานที่ระบบนั้นอาจเป็นไปได้ และถือว่ามีความแตกต่างกันในสภาวะพลังงานต่าง ๆ ซึ่งจะพิจารณาอย่างง่าย ๆ เฉพาะกลุ่มอนุภาคในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งก่อน เช่น กลุ่มในระดับ j มีสภาวะพลังงานที่เป็นไปได้ ดังนี้คือ สภาวะ 1, 2, 3, 4,..., g_j โดยมีจำนวนอนุภาคทั้งหมด N_j ตัว ได้แก่อนุภาค a, b, c, d, e,...N_j

การจัดเรียงอนุภาคไปตามสภาวะพลังงานต่าง ๆ อาจเป็นไปได้หลายรูปแบบ เช่น [1ab] [2c]]3def] [4] [5gh].....ซึ่งเมื่อนับรวมกันจะมีจำนวนรูปแบบจำนวนหนึ่ง เรียกว่า **ความน่าจะเป็นของกลุ่ม** ดังจะได้กล่าวต่อไปในคราวหน้า

เสียงจากผู้ประกาศ "ที่จบลงไปนั้นคือการบรรยายสรุปวิชาฟิสิกส์อุณหภาพหรือ PH 314 ครั้งที่ 8 โดย รศ.อัจฉรา พันธุ์อำไพ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง"

.....การบันทึกแถบคำบรรยายสรุปกระบวนวิชาของมหาวิทยาลัยรามคำแหง มุ่งส่งเสริมการศึกษาด้วยตนเองและบริการความรู้มายังนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป โปรดส่งคำถามและข้อข้องใจไปยังคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง กรุงเทพ 10240.....