



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# กลศาสตร์ เชิงสถิติ

นรา จิรภัทรพินล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ห้องสมุดสาขาเทเวศร์



401015500

## คำนำ

กลศาสตร์เชิงสถิติ (*statistical mechanics*) เป็นวิชาที่เข้าใจยาก ผู้เรียนมักจะสับสนกับเนื้อหาสาระที่มีลักษณะแตกต่างกับวิชาฟิสิกส์อื่น ๆ ที่ผู้เรียนคุ้นเคย ผู้เรียนวิชานี้จึงจำเป็นต้องมีตำราอ่านประกอบนอกเหนือจากการฟังคำบรรยายในห้องเรียน แต่อุปสรรคสำคัญคือผู้เรียนส่วนใหญ่ไม่สันทัดภาษาอังกฤษที่จะอาศัยตำราภาษาอังกฤษได้ ณ เวลาขณะนี้พบว่า ตำราวิชากลศาสตร์เชิงสถิติภาษาไทยมีจำนวนน้อยมาก วัตถุประสงค์ของการเขียนตำราเล่มนี้ก็เพื่อให้ผู้เรียนวิชากลศาสตร์เชิงสถิติมีตำราภาษาไทยที่สามารถเข้าใจง่ายอ่านประกอบแทนการฟังการบรรยายในห้องเรียนแต่เพียงอย่างเดียว สำหรับผู้เรียนที่ใช้ตำราเล่มนี้ควรมีความรู้พื้นฐานของวิชาแคลคูลัส โดยเฉพาะอย่างยิ่งการหาอนุพันธ์ย่อยและการหาปริพันธ์ กลศาสตร์ควอนตัมหรือฟิสิกส์สมัยใหม่และอุณหพลศาสตร์

กลศาสตร์เชิงสถิติเป็นเรื่องราวที่เกี่ยวข้องกับระบบที่ประกอบด้วยอนุภาคจำนวนมากหลายล้านล้านตัว  $10^{23}$  ตัว ตัวอย่างเช่น อากาศในภาชนะ น้ำในขวด อิเล็กตรอนตัวนำในโลหะ ฯลฯ พฤติกรรมต่าง ๆ ของระบบเหล่านี้เป็นผลสืบเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคและแรงกระทำระหว่างอนุภาคภายในระบบ แต่การอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของระบบโดยการคำนวณจากการเคลื่อนที่ของอนุภาคทุกตัวภายในระบบเป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ ในขณะเดียวกัน พฤติกรรมบางประการของระบบก็สามารถทำนายได้โดยไม่ต้องรู้รายละเอียดการเคลื่อนที่ของอนุภาคภายในระบบเลย ตัวอย่างเช่น พลังงานความร้อนจะไหลจากระบบที่ร้อนไปสู่ระบบที่เย็นกว่าเสมอซึ่งเป็นกฎเบื้องต้นของอุณหพลศาสตร์ เมื่อระบบทั้งสองมีอุณหภูมิเท่ากัน ความร้อนจะหยุดไหลและระบบจะเข้าสู่สภาวะสมดุล เหล่านี้เป็นต้น สังเกตว่า ในสภาวะสมดุลนี้ การเคลื่อนที่ของอนุภาคในระบบเป็นไปแบบไม่มีระเบียบด้วยอัตราเร็วต่าง ๆ ไปทุกทิศทาง ขนาดและทิศทางของอัตราเร็วต่าง ๆ เหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจากการชนกันเองของอนุภาคและการชนกับผนังภาชนะของอนุภาค ดังนั้น ปริมาณฟิสิกส์ต่าง ๆ ของระบบ เช่น ค่าความดันซึ่งเกิดจากการชนผนังภาชนะของอนุภาคจึงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยอาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็นของวิชาสถิติผนวกกับกฎเกณฑ์ของวิชากลศาสตร์หรือวิชากลศาสตร์ควอนตัม ทำให้สามารถคำนวณค่าเฉลี่ยของความดันหรือปริมาณฟิสิกส์อื่น ๆ ได้ สังเกตว่า เงื่อนไขสำคัญในการหาค่าเฉลี่ยนี้คือ *สภาวะสมดุล* กลศาสตร์เชิงสถิติจึงสามารถใช้ได้กับระบบที่อยู่ในสภาวะ

สมดุลเท่านั้น สำหรับกรณีของระบบที่ไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุลนั้นเป็นเรื่องราวของ ทฤษฎีจลน์ (kinetic theory)

บทที่ 1 ของตำราเล่มนี้เป็นการทบทวนแนวคิดสำคัญต่าง ๆ ของวิชาอุณหพลศาสตร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แนวคิดเกี่ยวกับสภาวะสมดุล กระบวนการย้อนกลับได้และเอนโทรปี บทที่ 2 เป็นการทบทวนเนื้อหาย่อ ๆ ของวิชากลศาสตร์ควอนตัม ได้แก่ ตัวเลขควอนตัม ค่าพลังงานของอนุภาคในสถานะปิดและพลังงานของฮาร์มอนิกออสซิลเลเตอร์ โมเมนตัมเชิงมุมกับสปินและความเหมือนกันทุกประการของอนุภาค บทที่ 3 มีความสำคัญมาก เป็นพื้นฐานของแนวคิดเกี่ยวกับปริภูมิเฟส สถานะจุลภาคและสถานะมหภาคของระบบ ความหมายของอองซอมเบลอกับค่าเฉลี่ยของอองซอมเบลอ ที่สำคัญคือ *พอสทูลेट* (postulate) หรือสมมติฐานเบื้องต้นซึ่งเป็นพื้นฐานของกลศาสตร์เชิงสถิติกับเอนโทรปี บทที่ 4-5-6 เป็นเนื้อหาแท้ ๆ ของกลศาสตร์เชิงสถิติ ได้แก่ เรื่องราวของอองซอมเบลอแบบไมโครคาโนนิเกิล อองซอมเบลอแบบคาโนนิเกิลและอองซอมเบลอแบบแกรนด์คาโนนิเกิล โดยเฉพาะอย่างยิ่งตัวอย่างการใช้ของอองซอมเบลอทั้ง 3 รูปแบบ บทที่ 7-8 เป็นเรื่องราวของกลศาสตร์สถิติเชิงควอนตัม ตัวอย่างเกี่ยวกับวัตถุดำ ระบบอนุภาคแฟร์มีออนและโบซอน บทที่ 9 คือการประยุกต์กลศาสตร์เชิงสถิติกับสารแม่เหล็กและพลังงานแม่เหล็ก การทำความเข้าใจที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเคลวิน บทสุดท้ายเป็นการแนะนำเบื้องต้นของทฤษฎีจลน์ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับ *สภาวะไม่สมดุล* ที่กลศาสตร์เชิงสถิติไม่สามารถใช้ได้

ผู้เขียนขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีเพ็ญ ท้าวตา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาคร ริมแจ่ม และอาจารย์ ดร.จตุพร สายสุด ที่ช่วยอ่านและขัดเกลาต้นฉบับ ขอขอบคุณอาจารย์ ดร.ดุष्ฎี สุวรรณขจร ที่ช่วยวาดรูปบางรูปที่ค่อนข้างยุ่งยาก ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ สดชื่น วิบูลย์เสข ที่ช่วยขัดเกลาภาษาไทยให้อ่านเข้าใจง่าย ขอขอบใจผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เขม จิรภัทรพิมล บุตรชายของผู้เขียนที่ช่วยท้วงติงและให้ข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่ทำให้ตำราเล่มนี้ สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.ถิรพัฒน์ วิสัยทอง ที่กรุณาให้ยืมหนังสืออ้างอิงและคอยสอบถามการเขียนตำราเล่มนี้ ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สมศร สิงขรัตน์ ที่เป็นคนเสนอแนวคิดให้เขียนตำราเล่มนี้ สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดนตรี จิรภัทรพิมล ภรรยาของผู้เขียนที่คอยให้กำลังใจในการเขียนตำราเล่มนี้จนสำเร็จ

นรา จิรภัทรพิมล

# สารบัญ

คำนำ	5
<b>บทที่ 1 อุณหพลศาสตร์</b>	<b>1</b>
1.1 ศัพท์เทคนิค . . . . .	1
1.2 แก๊สอุดมคติ . . . . .	5
1.3 ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส . . . . .	6
1.4 สถานะมหภาค . . . . .	9
1.5 กระบวนการ . . . . .	10
1.6 กฎอุณหพลศาสตร์ . . . . .	12
<b>บทที่ 2 กลศาสตร์ควอนตัม</b>	<b>37</b>
2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน . . . . .	37
2.2 อนุภาคที่ถูกกักขัง . . . . .	39
2.2.1 ศักย์อนันต์ 1 มิติ . . . . .	40
2.2.2 ศักย์อนันต์ 3 มิติ . . . . .	40
2.2.3 ฮาร์มอนิกออสซิลเลเตอร์ . . . . .	41
2.3 โมเมนตัมเชิงมุม . . . . .	42
2.4 ความเหมือนกันทุกประการของอนุภาค . . . . .	44
<b>บทที่ 3 พื้นฐานของกลศาสตร์เชิงสถิติ</b>	<b>47</b>
3.1 สถานะจุลภาค . . . . .	47
3.2 อองซอมเบล . . . . .	60

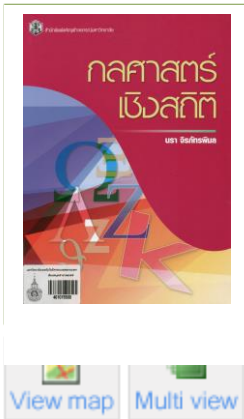
3.3	พอสทูเลตพื้นฐาน . . . . .	63
<b>บทที่ 4</b>	<b>อองซอมเบลอแบบไมโครคาโนนิเกล</b>	<b>67</b>
4.1	อองซอมเบลอแบบไมโครคาโนนิเกล . . . . .	67
4.2	ปฏิทรรศน์ของกิบบส์ . . . . .	73
4.3	การแลกเปลี่ยนความร้อน . . . . .	76
4.4	แหล่งความร้อน . . . . .	83
4.5	การแลกเปลี่ยนความร้อนและงาน . . . . .	85
4.6	การแลกเปลี่ยนความร้อนและอนุภาค . . . . .	89
<b>บทที่ 5</b>	<b>อองซอมเบลอแบบคาโนนิเกล</b>	<b>95</b>
5.1	อองซอมเบลอแบบคาโนนิเกล . . . . .	95
5.2	สมบัติมหภาค . . . . .	98
5.3	การกระจายแบบแมกซ์เวลล์ . . . . .	104
5.4	ทฤษฎีการแบ่งส่วนพลังงานเท่า ๆ กัน . . . . .	110
5.5	แบบจำลองของแข็งของไอน์สไตน์ . . . . .	117
5.6	พลังงานเสรีของเฮล์มโฮลทซ์ . . . . .	122
<b>บทที่ 6</b>	<b>อองซอมเบลอแบบแกรนด์คาโนนิเกล</b>	<b>125</b>
6.1	อองซอมเบลอแบบแกรนด์คาโนนิเกล . . . . .	125
6.2	ศักร์อุณหพลศาสตร์ . . . . .	134
<b>บทที่ 7</b>	<b>สถิติเชิงควอนตัม</b>	<b>137</b>
7.1	สถิติเชิงควอนตัม . . . . .	137
7.2	การกระจายของตัวเลขผู้อาศัย . . . . .	140
7.2.1	สถิติแมกซ์เวลล์-โบลต์ซมันน์ . . . . .	141
7.2.2	สถิติโฟตอน . . . . .	144
7.2.3	การแผ่รังสีของวัตถุดำ . . . . .	145
7.2.4	แบบจำลองของแข็งของเดบาย . . . . .	152
7.3	สถิติโบซอนและแฟร์มีออน . . . . .	158


7.4	ขอบเขตของสถิติเชิงคลาสสิก . . . . .	164
<b>บทที่ 8</b>	<b>แก๊สแฟร์มีออนกับโบซอน</b>	<b>169</b>
8.1	แก๊สแฟร์มีในอุดมคติ . . . . .	169
8.2	แก๊สโบซอนในอุดมคติ . . . . .	180
<b>บทที่ 9</b>	<b>สภาวะแม่เหล็ก</b>	<b>189</b>
9.1	แม่เหล็กพารา กับแม่เหล็กไดอา . . . . .	189
9.1.1	โมเมนต์แม่เหล็ก . . . . .	189
9.1.2	สนามแม่เหล็กในตัวกลาง . . . . .	190
9.2	งานแม่เหล็ก . . . . .	194
9.3	การทำความเย็นด้วยสนามแม่เหล็ก . . . . .	200
<b>บทที่ 10</b>	<b>ทฤษฎีจลน์ของแก๊ส</b>	<b>205</b>
10.1	ฟลักซ์ของอนุภาค . . . . .	205
10.2	ความดันของแก๊สในภาชนะ . . . . .	208
10.3	ระยะเสรีเฉลี่ย . . . . .	213
10.4	ความหนืด (viscosity) . . . . .	217
10.5	การนำความร้อน . . . . .	220
10.6	การแพร่ . . . . .	221
<b>ภาคผนวก</b>		<b>225</b>
A.1	สัญลักษณ์คณิตศาสตร์ที่ควรทราบ . . . . .	225
A.2	ฟังก์ชันคู่/ฟังก์ชันคี่ . . . . .	226
A.3	ทวินาม . . . . .	227
A.4	อเนกนาม . . . . .	229
A.5	การหาปริพันธ์ $\int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} dx$ . . . . .	230
A.6	การหาปริพันธ์ $\int_0^{\infty} x^n e^{-ax^2} dx$ . . . . .	230
	<b>เฉลยโจทย์แบบฝึกหัด</b>	<b>233</b>



สามารถยืมและติดตามหนังสือใหม่ได้ที่ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ Walai Autolib

<http://lib.rmutp.ac.th/Catalog/Bibltem.aspx?BibID=b00103268>



<b>Title</b>	กลศาสตร์เชิงสถิติ / นรา จิรภัทรพิมล.
<b>Author</b>	นรา จิรภัทรพิมล
<b>Publication</b>	กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561
<b>Edition</b>	พิมพ์ครั้งที่ 1
<b>Detail</b>	260 หน้า : ภาพประกอบ ; 26 ซม
<b>Subject</b>	กลศาสตร์สถิติ.(+) สถิติควอนตัม.(+)
<b>Location</b>	CL
<b>Source Types</b>	 Book

"สำหรับเพื่อการศึกษาและอ้างอิงเท่านั้น"