

# สารบัญ

	หน้า
คำนำ	
บทที่ 1 ระบบอุณหพลศาสตร์	
1.1 ระบบอุณหพลศาสตร์	1
1.2 สมการสภาวะ	7
1.3 ผิวนิพจน์	10
1.4 งาน	12
1.5 งานขึ้นกับเส้นทาง	15
1.6 งานของระบบที่เป็นก๊าซอุดมคติ	17
1.7 สมบัติการขยายตัวตามบาศก์และการอัดตัว	19
สรุป	25
แบบฝึกหัดบทที่ 1	26
เฉลยคำตอบ	29
บทที่ 2 กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 1	31
2.1 กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 1	31
2.2 ความจุความร้อน	32
2.3 ความร้อนจำเพาะของก๊าซอุดมคติ	38
2.4 พลังงานภายในของก๊าซจริง	41
2.5 กระบวนการเมื่อความร้อนคงที่ของก๊าซอุดมคติ	43
2.6 สมการพลังงาน	46
2.7 วัฏจักรคาร์โนต์	50
สรุป	55
แบบฝึกหัดบทที่ 2	56
เฉลยคำตอบ	59
บทที่ 3 การเปลี่ยนสถานะของสาร	61
3.1 ผิวนิพจน์ของสารจริง	61
3.2 ความร้อนของการเปลี่ยนสถานะ	74
สรุป	76

แบบฝึกหัดบทที่ 3	77
เฉลยคำตอบ	80
<b>บทที่ 4</b> กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 2 และข้อที่ 3	81
4.1 กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 2	81
4.2 ประสิทธิภาพของเครื่องจักรผันกลับ	85
4.3 เอนโทรปี	87
4.4 กฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 3	104
สรุป	105
แบบฝึกหัดบทที่ 4	106
เฉลยคำตอบ	109
<b>บทที่ 5</b> รวมกฎอุณหพลศาสตร์ข้อที่ 1 และข้อที่ 2	111
5.1 รวมกฎข้อที่ 1 และข้อที่ 2	111
5.2 ความสัมพันธ์ทางอุณหพลศาสตร์	111
5.3 เอนโทรปีของก๊าซอุดมคติ	114
5.4 ฟังก์ชันเฮมโฮลท์ซและฟังก์ชันกิบส์	115
5.5 สมการแมกซ์เวล	119
5.6 สมการเคลลาซิอุส-คลาเปรอง	122
สรุป	124
แบบฝึกหัดบทที่ 5	125
เฉลยคำตอบ	1 2 6
<b>บทที่ 6</b> ทฤษฎีจลน์ของก๊าซ	127
6.1 สมมติฐานเบื้องต้น	127
6.2 การชนกับผนัง	131
6.3 สมการสถานะของก๊าซอุดมคติ	133
6.4 สมการสถานะแบบเคลลาซิอุสและแบบวานเดอวาลส์	137
6.5 กฎของอิกวิพาทีชันของพลังงาน	1 3 9
6.6 ทฤษฎีเก่าของความร้อนจำเพาะ	145
6.7 ความร้อนจำเพาะของของแข็ง	147
สรุป	149
แบบฝึกหัดบทที่ 6	150
เฉลยคำตอบ	152

<b>บทที่ 7</b>	<b>สถิติของแมกซ์เวลล์-โบลทซ์มาน</b>	153
7.1	ความน่าจะเป็น	153
7.2	จำนวนสภาวะ	158
7.3	การกระจายของพลังงานระหว่างระบบมหภาค	163
7.4	ระบบที่สัมผัสกับแหล่งความร้อน	166
	สรุป	168
<b>บทที่ 8</b>	<b>การประยุกต์สถิติของแมกซ์เวลล์-โบลทซ์มาน</b>	169
8.1	พลังงานเฉลี่ยของก๊าซอุดมคติ	169
8.2	สมการสภาวะของก๊าซอุดมคติ	173
8.3	การกระจายความเร็วของแมกซ์เวลล์	175
8.4	ทฤษฎีจลน์ของก๊าซ	182
8.5	ฟิลิกส์สถิติเชิงควันตัม	186
	สรุป	195
	บรรณานุกรม	197
	<b>ภาคผนวก ก IMPORTANT PHYSICAL CONSTANTS</b>	203
	” ข CONVERSION FACTORS	205
	” ค BASIC AND SUPPLEMENTAL SI UNITS	207
	” ง DERIVED SI UNITS	209
	” จ CRITICAL CONSTANTS	211
	” ฉ COMMON LOGARITHMS	213-215
	” ช ความจุความร้อนของโลหะโดยเดอบาย	217-218

## รายการรูปประกอบ

รูปที่	หน้า
1.1 ตัวอย่างของระบบปิด	2
1.2 เครื่องอัดอากาศ	3
1.3 การต้มน้ำอย่างไม่ผันกลับ	6
1.4 การต้มน้ำอย่างผันกลับ	7
1.5 กราฟระหว่าง $\frac{PV}{T}$ กับ $p$	8
1.6 ผิวนิวตันของก๊าซอุดมคติ	11
1.7 ผิวนิวตันที่บนระนาบ $p$ - $v$	12
1.8 ผิวนิวตันที่บนระนาบ $p$ - $T$	12
1.9 แสดงชนิดของงานที่เกิดขึ้น	13
1.10 งานที่เกิดขึ้น	13
1.11 งานที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของขอบเขตของระบบด้วย $p$ - $V$ diagram	14
1.12 $p$ - $V$ diagram	15
1.13 แสดงงานขึ้นกับเส้นทาง	16
1.14 งานสุทธิจากกระบวนการวัฏจักร	1
1.15 งานภายใต้กระบวนการเมื่ออุณหภูมิคงที่	7
1.16 งานในกระบวนการเมื่อปริมาตรคงที่	17
1.17 งานในกระบวนการเมื่อความกดดันคงที่	18
1.18 กระบอกสูบ	19
1.19 $K$ และ $\beta$ ของทองแดงที่ความกดดันคงที่ 1 บรรยากาศ	19
1.20 $K$ และ $\beta$ ของปรอทที่อุณหภูมิคงที่ $0^{\circ}\text{C}$	21
2.1 ความร้อนขึ้นกับเส้นทาง	22
2.2 $c_p$ and $c_v$ for copper, as functions of temperature at a constant pressure of 1 atm.	34
2.3 $c_p$ and $c_v$ for mercury, as functions of pressure at a constant temperature of $0^{\circ}\text{C}$	37
2.4 $c_v$ และ $c_p$ ของก๊าซอุดมคติ	37
2.5 แสดงการขยายตัวของก๊าซในกระบอกสูบ	38
	39

2.6 การทดลองของจูล	41
2.7 (ก) Adiabatic process on the ideal gas p-v-T surface	45
(ข) Projection of adiabatic process in (ก) on the p-v plane	45
2.8 แผนภาพของวัฏจักรคาร์โนต์ในระนาบ p-v	50
2.9 แผนภาพของเครื่องจักรความร้อน	52
2.10 แผนภาพของเครื่องทำความเย็น	52
3.1 ผิวนิวตันของสารที่หดตัวเมื่อกลายเป็นของแข็ง	61
3.2 ผิวนิวตันของสารที่ขยายตัวเมื่อกลายเป็นของแข็ง	61
3.3 การฉายภาพของรูปที่ 3.1 บนระนาบพีทีและบนระนาบพีวี	62
3.4 การฉายภาพของรูปที่ 3.2 บนระนาบพีทีและบนระนาบพีวี	63
3.5 การฉายภาพของผิวนิวตันที่ลงบนระนาบพีที (ซ้าย) และลงบนระนาบพีวี (ขวา)	63
3.6 ผิวนิวตันที่เมื่อฉายภาพลงบนระนาบพีที (ได้แก่น้ำ)	65
3.7 การเปลี่ยนสถานะในกระบวนการเมื่ออุณหภูมิคงที่	66
3.8 ผิวนิวตันที่แสดงแบบต่าง ๆ ของน้ำแข็ง	67
3.9 การเกิดจุดวิกฤต	69
3.10 การเปลี่ยนแปลงต่อเนื่องผ่านจุดวิกฤต	70
3.11 การเปลี่ยนสถานะในกระบวนการเมื่อความกดดันคงที่	71
3.12 สมดุลระหว่างของเหลว-ไอ	73
4.1 ไดอะแกรมของกระบวนการที่เป็นไปไม่ได้ของกฎข้อที่สอง	83
4.2 การพิสูจน์ความเท่าเทียมกันของกฎข้อที่สองของเคลาซิอุสและเคลวิน	84
4.3 การพิสูจน์เกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องจักรผันกลับ	86
4.4 การไม่เท่ากันของเคลาซิอุส	88
4.5 วัฏจักรผันกลับ	92
4.6 การเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของระบบอุณหพลศาสตร์	97
4.7 (ก) กระบวนการผันกลับไม่ได้	98
(ข) แสดงกระบวนการผันกลับ	99
(ค) แสดงกระบวนการผันกลับ	99
4.8 แสดงระนาบอุณหพลศาสตร์และสิ่งแวดล้อม	101
4.9 วัฏจักรผันกลับไม่ได้	103

6.1	ทรงกลม	130
6.2	การชนกับผนัง	131
6.3	การเปลี่ยนความเร็วของการชนอย่างยืดหยุ่น	133
6.4	การชนกันระหว่างโมเลกุล	137
6.5	แสดงโมเลกุลที่มีแรงดูดกันและแรงกระทำบนผนัง	138
6.6	อะตอมเดี่ยว	143
6.7	diatomic gas	143
6.8	triatomic gas	144
6.9	diatomic gas มี $1 f$ ของการสั่นสะเทือน	144
6.10	โมเลกุลรูปดัมเบล	146
6.11	ค่าของ $c_v$ ที่ใกล้เคียง $3R$	148
7.1	$P(E)$ จะมีค่าสูงสุด $E \sim E$ ในช่วง $\Delta E \ll E$	164
7.2	ระบบที่สัมผัสกับแหล่งความร้อน	166
8.1	กล่องใส่ก๊าซอุดมคติ	173
8.2	Maxwellian distribution of a molecular velocity component	179
8.3	spherical shell ใน velocity space	179
8.4	Maxwell distribution of molecular speeds	180
8.5	Maxwell distribution of molecular speed as a function of temperature	180
8.6	เครื่องมือของ Zartmann และ Ko	181
8.7	$c_v$ ของของแข็ง	186
8.8	heat capacity of an electron gas	188
8.9	การกระจายพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของ Planck (เส้นทึบ) และของ Maxwell-Boltzmann (เส้นประ)	188

## รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
1.1	ค่าคงที่ a และ b ในสมการของวานเดอวาลส์	10
2.1	Typical values of Specific Heats	36
2.2	Properties of Ideal Gases at Low Pressures and Normal Room Temperature (20°C)	40
3.1	ข้อมูล Triple point	65
3.2	ค่าคงที่วิกฤต	68
6.1	ค่าความร้อนจำเพาะโมลาร์สำหรับก๊าซต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองที่ใกล้อุณหภูมิห้อง	147
8.1	คุณลักษณะของกลศาสตร์สถิติ	191