

อุณหพลศาสตร์

ว่าด้วยหลักการ โครงสร้าง และกระบวนการทัศนยุคใหม่

บุรินทร์ กำจัดภัย

ตัวอย่าง



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร
Naresuan University Publishing House
www.nupress.grad.nu.ac.th

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

ปริญทร์ กำจัดภัย.

อุณหพลศาสตร์ ว่าด้วยหลักการ โครงสร้าง และกระบวนการทัศน์ยุคใหม่.— พิษณุโลก: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร 2558.
391 หน้า.

1. เทอร์โมไดนามิกส์ I. ชื่อเรื่อง.

536.7

ISBN 978-616-7902-22-7

สพน. 004

อุณหพลศาสตร์ ว่าด้วยหลักการ โครงสร้าง และกระบวนการทัศน์ยุคใหม่

ปริญทร์ กำจัดภัย



สงวนลิขสิทธิ์โดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

พิมพ์ครั้งที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 จำนวนพิมพ์ 500 เล่ม ราคา 420 บาท

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

ผู้จัดพิมพ์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

มีวางจำหน่ายที่ 1. ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อาคารวิทยกิจศน์ ชั้น 14 ซอยจุฬาลงกรณ์ 64 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา ศาลาพระเกี้ยว กรุงเทพฯ โทร. 0-2218-7000-3

สยามสแควร์ กรุงเทพฯ โทร. 0-2218-9881, 0-2255-4433

มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โทร. 0-5526-0162-5

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา โทร. 044-216131-2

มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี โทร. 0-3839-4855

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (ร.จปร.) จังหวัดนครนายก โทร. 037-393-023, 037-393-036

จัดสรรจามจุรี กรุงเทพฯ โทร. 0-2160-5301

รัตนวิเบศร์ จังหวัดนนทบุรี โทร. 0-2950-5408-9

มหาวิทยาลัยพะเยา โทร. 0-5446-6789, 0-5446-6800

ยอยคณะศรีนครินทร์ กรุงเทพฯ โทร. 0-2218-3979

2. ศูนย์หนังสือเคเบิล 108/35 ถนนเอกาทศรถ ตำบลในเมือง อำเภอเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทร. 0-5525-8862

สาขา มหาวิทยาลัยนเรศวร (หน้าตึก อาคารขวัญเมือง) จังหวัดพิษณุโลก โทร. 0-5526-1616

ICT (หน้าโรงพยาบาลพิษณุเวช พิษณุโลก) จังหวัดพิษณุโลก โทร. 084-814-7800

3. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ อาคารวิทยบริการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน
แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทร. 0-2579-0113

4. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ อาคารอเนกประสงค์ ชั้น 1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถนนพระจันทร์
แขวงพระบรมมหาราชวัง เขตพระนคร กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2613-3899, 0-2623-6493

สาขา ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (โดยความร่วมมือกับศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์) จังหวัดเชียงใหม่
โทร. 0-5394-4990-1

ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (โดยความร่วมมือกับศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์)
จังหวัดสงขลา โทร. 0-7428-2980, 0-74282981

5. ศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถนนมิตรภาพ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000
โทร. 0-4320-2842

กองบรรณาธิการ กองบรรณาธิการจัดทำเอกสารสิ่งพิมพ์ทางวิชาการของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร

ออกแบบเนื้อหาและรูปแบบ ปริญทร์ กำจัดภัย

ออกแบบปก สรญา แสงเย็นพันธ์

พิมพ์ที่ รัตนสุวรรณาการพิมพ์ 3 30-31 ถนนพญาไท อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000 โทร. 0-5525-8101

จักรวาลนี้เต็มไปด้วยเหตุผลและความหมายมีศิลปิน
มืออาชีพ เอกบุรุษและคนไม่เอาถ่านอยู่ข้างในสำหรับฉัน
แล้ว ความหมายมาก่อนเหตุผลเสมอเพราะคุณค่าของฉัน
ไม่ได้เกิดตอนบินขึ้นแต่มันคงอยู่ตรงที่ฉันเคยล้ม

บุรินทร์

28 ตุลาคม 2552

เมืองเก่าสุโขทัย

อาตอขอขอบคุณดีทั้งหมดของหนังสือเล่มนี้

แต่ ความรักและความทรงจำของ

“ก๊ง”

นายกิมโฮ้ว แซ่โง้ว

(พ.ศ. ๒๔๔๘ - ๒๕๔๙)

“อาม่า”

นางเชย กำจัดภัย

(พ.ศ. ๒๔๖๒ - ๒๕๕๓)

และ

“คุณยาย”

นางสอิม โล่ทองคำ

(พ.ศ. ๒๔๖๗ - ๒๕๕๔)

และแด่รักและพระคุณของ

“คุณก๊ง” นายเหนียม โล่ทองคำ “ป๊าป๊า” นายวรพันธ์ กำจัดภัย และ

“แม่” นางประทีป กำจัดภัย

คำนำ

ในทุกการเดินทางย่อมมีการเรียนรู้ ในแห่งหนที่เราเพิ่งจะได้เคยไปในครั้งแรกนั้น เราเดินสำรวจไปจนทั่ว แล้วแผนที่ของสถานที่แห่งนั้นก็ค่อยๆปรากฏขึ้นในใจ ภูมิประเทศของวิทยาศาสตร์นั้นก่อขึ้นในธรรมชาติโดยธรรมชาติและความเป็นมนุษย์ของเรา มันจึงเต็มไปด้วยความงามแฝงเร้นอยู่ในทุกซอกส่วนของแผนที่ หนังสือเล่มนี้จึงนำเสนอแนวคิดส่วนใหญ่ของอุณหพลศาสตร์ในรูปแบบโครงสร้างเชิงทฤษฎีซึ่งเป็นแผนที่ในการชื่นชมกับความงามระหว่างการเดินทางสำรวจนี้

ก่อนอื่นใด ผู้เขียนขอยอมรับว่าหนังสือเล่มนี้ไม่ได้เป็นผลงานของผู้เขียนเองล้วนๆ ผู้เขียนเป็นหนี้บุญคุณของผู้เขียนหนังสือตำราเล่มอื่นๆอีกหลายเล่มที่ผู้เขียนได้เรียนรู้ ประมวลแนวคิดและองค์ความรู้จนเป็นหนังสือเล่มนี้ กล่าวโดยสังเขปมีอาทิ F. W. Sears (1963) [1], T. Espinola (1994) [2] และ C. B. P. Finn (1993) [3] ซึ่งเป็นหนังสือที่ติดมากในการสร้างความเข้าใจในโครงสร้างเบื้องต้นของทฤษฎีแห่ง Classical Thermodynamics และหนังสือโดย I. Prigogine (1967) [4] และ D. Kondepudi and I. Prigogine (1998) [5] ซึ่งนำเสนอแนวของสำนักความคิดใหม่คือ Brussels School of Thermodynamics อันถือได้เป็น Modern Thermodynamics หนังสือโดย I. Prigogine นี้ได้สร้างแรงบันดาลใจแก่ผู้เขียนและดึงดูดผู้เขียนตั้งแต่นั้นมาเรียนชั้นปริญญาตรีให้สนใจในอุณหพลศาสตร์

นอกเหนือจากแนวเนื้อหาที่เทียบเคียงกับหนังสือตำราดังกล่าว ผู้เขียนได้ขยายความแนวคิดเดิมและเสนอทัศนะส่วนตัวของผู้เขียนเองต่อวิชาในหลายประเด็นเช่น การให้ความหมายของวิชาฟิสิกส์ขั้นต้นโดยใช้อุปกรณ์ประกอบสามประการคือ ระบบ ภาวะ และอำนาจ (หัวข้อ 1.1) การจำแนกประเภทของวิชาฟิสิกส์โดยใช้เกณฑ์เชิงโครงสร้างทางทฤษฎี ซึ่งจะทำให้เราจำแนกวิชาฟิสิกส์ออกได้เป็นสามกลุ่มคือ (1) ฟิสิกส์ภาคกลศาสตร์และอันตรกิริยา (2) ฟิสิกส์ภาคอุณหพลศาสตร์และ (3) ฟิสิกส์ภาคกลศาสตร์เชิงสถิติ (หัวข้อ 1.6) เกณฑ์เชิงทฤษฎีในการจำแนกฟิสิกส์ภาคกลศาสตร์และอันตรกิริยาออกจากฟิสิกส์ภาคอุณหพลศาสตร์ และแผนภูมิเปรียบเทียบขั้นตอนการคำนวณในวิชากลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์ (หัวข้อ 1.7 และ 1.8) การสร้างกฎกายภาพขึ้นจากปริมาณรากฐานที่ไม่อาจวัดได้โดยตรงซึ่งก็คืออุณหภูมิและเอนโทรปี เนื่องจากเล็งเห็นว่าปริมาณทั้งสองนี้มีความเป็นรากฐานยิ่งกว่าปริมาณอื่นๆเพราะนิยามขึ้นจากกฎเชิงสัจพจน์ของอุณหพลศาสตร์ โดยได้ชี้ถึงการจำแนกชนิดของปริมาณต่างๆทางอุณหพลศาสตร์ให้เป็นตัวแปรพิภักภาวะ ศักย์ทางอุณหพลศาสตร์ (ฟังก์ชันภาวะ) และการถ่ายโอนพลังงาน อันนำไปสู่การจำแนกตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์ตามโครงสร้างเชิงทฤษฎี (หัวข้อ 3.2) กฎของโธมัสสำหรับการนำความร้อน (หัวข้อ 5.3.1) การที่ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์คาร์โนต์ไม่ขึ้นกับชนิดของระบบกายภาพและวัฏจักรคาร์โนต์ของสารแม่เหล็กพาราแมกเนติกสัมบูรณ์ (หัวข้อ 7.1.5) คำอธิบายที่ว่าวัฏจักรคาร์โนต์จะสร้างขึ้นได้ด้วยระบบอุดมคติเท่านั้น (หัวข้อ 7.1.6) ประสิทธิภาพสูงสุดของเครื่องยนต์กับตัวอุณหภูมิส่วนอุณหภูมิ (หัวข้อ 7.1.8) การพิสูจน์ทฤษฎีบทของเคลาเซียสด้วย

วิธีใหม่ (หัวข้อ 7.5) ความไม่สมมาตรกันของฟิสิกส์ทางอุณหพลศาสตร์ในปริภูมิอุณหพลศาสตร์ และการให้คำนิยามตัวแปร อำนาจพื้นหลัง อำนาจเชิงพลวัต และภาวะที่แท้จริง (หัวข้อ 13.1) ข้อวิพากษ์ของผู้เขียนต่อเรื่องที่ว่าเหตุใดธรรมชาติจึงลำเอียงเลือกเอาเพียงตัวแปรอุณหภูมิจึงเข้าไปเป็นองค์ประกอบหนึ่งในสมการภาวะแทนที่จะสามารถเลือกเอาเอนโทรปีเข้าไปรวมได้ด้วย ทั้งๆที่ปริมาณทั้งสองนั้นล้วนเป็นปริมาณรากฐานที่นิยามด้วยกฎเชิงสัจพจน์อยู่ในหัวข้อที่ 13.2 ความไม่สมมาตรกันของ W และ Q (หัวข้อที่ 13.3) และสุดท้ายหากเราได้ศึกษาวิชาเศรษฐศาสตร์จุลภาค (microeconomics) มาบ้างและได้ทราบประวัติวิทยาศาสตร์ว่านักคิดทางเศรษฐศาสตร์คนแรกๆ ใช้ชีวิตร่วมยุคเดียวกันกับนักฟิสิกส์เช่น นิวตัน และ โรเบิร์ต บอยล์ เราจะอดสงสัยไม่ได้ว่าแนวคิดทางฟิสิกส์มีอิทธิพลต่อวิถีคิดของนักเศรษฐศาสตร์บ้างหรือไม่ ผู้เขียนนำเสนอแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์จุลภาคด้วยกระบวนการที่ศรัทธาของอุณหพลศาสตร์ โดยเสนอรูปแบบคร่าวๆ ของสมการภาวะสำหรับระบบตลาดที่มีความยืดหยุ่นของอุปสงค์และอุปทาน ด้วยหวังว่าจะเสนอกระบวนการที่ใหม่ที่จะขอเรียกว่า *เศรษฐศาสตร์จุลภาคเชิงอุณหพลศาสตร์* (thermodynamical microeconomics) ไว้ในบทที่ 14 ข้อเสนอแตกต่างจากวิชาเศรษฐศาสตร์เชิงอุณหพลศาสตร์ (thermodynamical economics) ที่มีปรากฏอยู่แล้วในวงวิชาการเมื่อไม่นานมานี้เนื่องจากเศรษฐศาสตร์เชิงอุณหพลศาสตร์ที่มีอยู่แล้วสนใจระบบเศรษฐศาสตร์มหภาคเท่านั้น (ดังเช่นใน Mimke (2006) [6])

ในบทนำของเล่มนี้ ผู้เขียนตั้งใจที่จะชี้โครงสร้างของวิทยาศาสตร์ให้เห็นภาพชัดเจนก่อนที่จะเข้าสู่วิชาอุณหพลศาสตร์ องค์ความรู้ส่วนนี้สำคัญยิ่ง เพราะเราควรจะทราบว่าการประกอบของวิทยาศาสตร์นั้นเป็นปรัชญาพื้นฐานที่เป็นเอกภาพเช่นไร และวิชาวิทยาศาสตร์นั้นทำงานอย่างไร (how science works) เพื่อเราจะได้เห็นวาทะอุณหพลศาสตร์นั้นมีกระบวนการคิดไปตามหลักของปรัชญาวิทยาศาสตร์อย่างไร เช่นนี้จะทำให้เรามีโครงสร้างทางความคิดแบบวิทยาศาสตร์ที่ชัดเจนและแข็งแกร่งก่อนที่จะศึกษาวิชาอุณหพลศาสตร์ อย่างไรก็ตามในการอ่านบทนำเป็นครั้งแรกนั้นผู้อ่านที่เป็นนักศึกษาชั้นปริญญาตรีอาจลำบากในการทำมาเข้าใจเนื้อหา ดังนั้นจะขอแนะนำให้ข้ามหัวข้อที่ 1.6, 1.7 และ 1.8 ไปก่อน แล้วจึงค่อยกลับมาอ่านหัวข้อดังกล่าวเมื่อได้อ่านบทที่ 5 จบแล้ว บทนำนี้มีประโยชน์อย่างมากสำหรับผู้ที่เป็นอาจารย์ฟิสิกส์ เคมี หรือวิศวกรรมศาสตร์ระดับมหาวิทยาลัยที่ต้องการมองภาพรวมเชิงโครงสร้างของวิชาฟิสิกส์ได้อย่างชัดเจน

เราอาจกล่าวได้ว่ากฎทางกายภาพมีลักษณะอยู่สามแบบ แบบแรกคือแบบที่อธิบายได้จากหลักการของกิริยาต่ำสุด (principle of least action) คือฟิสิกส์ภาคกลศาสตร์และอันตรกิริยาซึ่งมีกฎทางกลศาสตร์ชนิดต่างๆ กับอันตรกิริยามูลฐานทุกชนิดโดยจะต้องมีพารามิเตอร์เวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ส่วนที่สองคือฟิสิกส์ภาคอุณหพลศาสตร์ซึ่งใช้ตัวแปรภาวะต่างๆ โดยไม่พิจารณาการวิวัฒนาการตามเวลาจึงไม่มีหลักการของกิริยาต่ำสุด และส่วนที่เหลือนี้อธิบายด้วยฟิสิกส์ภาคกลศาสตร์เชิงสถิติซึ่งเกิดจากการใช้สถิติกับองค์ความรู้ทั้งสองส่วนแรก แม้ว่าจะมีข้อถกเถียงในประเด็นความเป็นตัวของตัวเองของวิชาอุณหพลศาสตร์ที่สามารถจะเป็นอิสระจากวิชาฟิสิกส์ภาคกลศาสตร์กับอันตรกิริยา และแม้ว่าฟิสิกส์ทางอุณหพลศาสตร์เช่น (P, V, T) จะไม่มีสมมาตรดังเช่นกับฟิสิกส์ (x, y, z) ในวิชากลศาสตร์ การอุปมาเชิงคณิตศาสตร์ระหว่างกลศาสตร์และอุณหพลศาสตร์จะทำให้ผู้เรียนเห็นโครงสร้างและความงามในวิชานี้ได้ ประเด็นความคิดเหล่านี้อยู่ในบทนำซึ่งผู้อ่านอาจศึกษาโดยข้ามบางหัวข้อในบทนำนี้ได้ และเมื่อศึกษาไปสักระยะหนึ่งแล้ว หากย้อนกลับมาศึกษาการจำแนกหมวดหมู่ของปริมาณทางอุณหพลศาสตร์ในบทแรกๆ อีกครั้งหนึ่งจะทำให้ผู้อ่านเข้าใจภาพรวมในการอนุกรมวิธานปริมาณทางอุณหพลศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น

ความมุ่งหวังของหนังสือนี้คือให้เป็นแหล่งความรู้สำหรับผู้เริ่มต้นได้ศึกษาอุณหพลศาสตร์

อย่างเข้าใจ เห็นโครงสร้างรวมของศาสตร์อันจะสร้างพื้นฐานและให้ทัศนคติที่ดีต่อวิชานี้ ให้หนังสือเล่มนี้เป็นหลักอ้างอิงและเป็นคำอธิบายทางวิชาการที่เป็นภาษาไทยสำหรับอาจารย์ผู้สอนวิชาอุณหพลศาสตร์สำหรับทั้งฟิสิกส์ เคมี และวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเคมี และนักวิชาการในสาขาอื่นที่สนใจทราบที่มาที่ไปของสมการและปริมาณต่างๆอย่างเป็นระบบในการยอมรับสูตรและสมการต่างๆได้แทนที่จะยกสูตรขึ้นมาใช้โดยไม่แสดงที่มาที่ไป หนังสือนี้เน้นประเด็นเกี่ยวกับหลักการและโครงสร้างของศาสตร์ จึงไม่รวมเอาแบบฝึกหัดจำนวนมากไว้ หากแต่จะมีคำถามและตัวอย่างเอาไว้เพื่อทดลองฝึกทำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ต้นฉบับร่างแรกของหนังสือเล่มนี้ได้ใช้ประกอบการบรรยายในรายวิชา 261221 อุณหฟิสิกส์ ซึ่งเป็นวิชาบังคับสำหรับนิสิตระดับปริญญาตรี วท.บ. (ฟิสิกส์) และ วท.บ. (ฟิสิกส์ประยุกต์) ชั้นปีที่ 2 ของภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ระหว่างปี พ.ศ. 2548 - พ.ศ. 2553 กระบวนวิชา ฟส 323 สำหรับนักศึกษาหลักสูตร วท.บ. (ฟิสิกส์) ของมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ในปี พ.ศ. 2553 ใช้ประกอบการเรียนรายวิชา 105215 อุณหพลศาสตร์ สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี วท.บ. (ฟิสิกส์) หลักสูตร Honors Program ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และใช้ประกอบการบรรยายบางส่วนในรายวิชา 897511 อุณหพลศาสตร์สมดุล ในหลักสูตรปริญญาโท วท.ม. (ฟิสิกส์ทฤษฎี) ของวิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐานอีกด้วย

ในการเขียนหนังสือนี้ ผู้เขียนพยายามใช้คำศัพท์ส่วนใหญ่ตามแนวทางของราชบัณฑิตยสถาน [7, 8, 9] และโปรแกรมศัพท์บัญญัติ อังกฤษ-ไทย, ไทย-อังกฤษ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน รุ่น 1.1 ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แต่ในบางครั้งอาจจะต้องทับศัพท์ในกรณีที่หากแปลคำศัพท์แล้วจะสร้างความสับสนขึ้นได้ (เช่น คำว่า relaxation time เป็นต้น)

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ของผู้เขียนที่เข้าใจและสนับสนุนผู้เขียนให้ได้เรียนฟิสิกส์อันเป็นวิชาสร้างปัญญา ขอบคุณภรรยาและลูกๆของผู้เขียนสำหรับเวลาและความเข้าใจไม่ว่าโดยตรงหรือโดยทางอ้อม ไม่ว่าจะจากการเรียนหรือการสนทนาหรืออื่นๆ ผู้เขียนระลึกเสมอว่า คณาจารย์ เพื่อมาและทรัพยากรทางวิชาการที่ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (พ.ศ. 2534-2539), Centre for Particle Theory - University of Sussex (พ.ศ. 2541-2542), Department of Physics and Astronomy - University of Southampton (พ.ศ. 2542-2543), Institute of Cosmology and Gravitation - University of Portsmouth (พ.ศ. 2543-2546), Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics - University of Cambridge (พ.ศ. 2551-2552), The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics - Trieste (พ.ศ. 2552-2554), Institute for Particle Physics Phenomenology - University of Durham (พ.ศ. 2554-2555) ภาควิชาฟิสิกส์แห่งมหาวิทยาลัยนเรศวร วิทยาลัยพลังงานทดแทนแห่งมหาวิทยาลัยนเรศวร และการสนับสนุนด้านการวิจัยจาก สกว. (ทุนวุฒิमेธีวิจัย ทุนเมธีวิจัย และทุนนักวิจัยหลังปริญญาเอกรุ่นใหม่), วช., มูลนิธิโทรธา, มูลนิธิส่งเสริมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในพระบรมราชูปถัมภ์, สถาบันวิจัยดาราศาสตร์แห่งชาติ, ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ของ สกอ. ล้วนมีส่วนต่อความรู้ ความมั่นคงในอาชีพนักวิทยาศาสตร์ และแรงบันดาลใจของผู้เขียนที่มีอยู่ในปัจจุบัน ขอกราบขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านซึ่งสอนผู้เขียนในทุกวิชาตั้งแต่เยาว์วัย แน่แน่นอนว่าครูของผู้เขียนมีมากมายหลายท่านจนไม่อาจเอ่ยนามได้หมดในที่นี้ หากกล่าวเฉพาะท่านที่ได้สอนวิชาอุณหพลศาสตร์ให้กับผู้เขียนตั้งแต่ชั้นต้น มีอาทิ ครูสรวิศ (สมเกียรติ)

พรหมอ่อน (โรงเรียนหล่มสักวิทยาคม จังหวัดเพชรบูรณ์) รศ. สุภาพ ณ เชียงใหม่ (เกษียณอายุราชการ มช.) และ ผศ.ดร.สดชื่น วิบูลย์เสข (เกษียณอายุราชการ มช.) - แม่แบบทางวิชาการของผู้เขียน ขอขอบคุณนิสิตนักศึกษาผู้ได้เรียนวิชานี้กับผู้เขียนที่เหนียวแน่นให้ผู้เขียนแตกฉานในวิชานี้มากยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ ราชัญ แรงดี ศิริชัย พลเวียง วรวัณธุ์ อินทร์พลอย วัลภา ปัญญาวงศ์ จักรกฤษ แก้วนิคม และณภัทรชกร สารพัฒน์ สำหรับการสร้างรูปภาพทุกรูปในเล่มนี้และงานกราฟฟิกปก ฉบับร่างก่อนการตีพิมพ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขอบคุณราชัญ แรงดี และศิริชัย พลเวียงเป็นสองเท่าที่ได้สละเวลาและพยายามอย่างมากในการปรับภาษาในรูปภาพทุกรูปจากต้นฉบับร่างครั้งที่แล้วที่เป็นภาษาอังกฤษไปเป็นภาษาไทยในการจัดพิมพ์ครั้งที่ 1 นี้ ขอขอบคุณ Prof. Jean-Michel Mariot (Universite Pierre et Marie Curie, Paris) สำหรับข้อคิดเห็นและ Prof. Buuka Biona Clobita (Marien Ngouabi University, Republic of Congo) สำหรับการอ่านชื่อบุคคลที่เป็นชื่อฝรั่งเศส ขอขอบคุณ รศ. ดร. บัญชา พนเจริญสวัสดิ์ (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์) และอาจารย์ชาญกิจ คั่นฉ่อง (มช.) สำหรับแหล่งข้อมูลเพิ่มเติม ขอขอบคุณ ผศ. ดร. วีระชาติ กิเลนทอง นักเศรษฐศาสตร์ (มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย) สำหรับข้อท้วงติงเกี่ยวกับ causal effect ของตัวแปรทางเศรษฐศาสตร์ภาคที่ต้องผ่านกลไกของราคา และขอบคุณ รศ. อาทิตย์ เหล่าวณิชวัฒนา ดร. สุขฤดี สุกใจ ดร. เสกสรรค์ สุขะเสนา ดร. อนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช ดร. นัทรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ พัฒนชญา มณีคำ เกียรติศักดิ์ เทพสุริยะ ผศ. ณรงค์ฤทธิ์ มณีจิระปราการ และ บุคลากรของวิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐานทุกคน สำหรับการสนับสนุนทางอ้อมอื่นๆจนเขียนหนังสือเล่มนี้สำเร็จ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยนเรศวร นวพรรณ ดันติพลผล และวัณณิณี เทตสิทธิกุล สำหรับการอำนวยความสะดวก และ สรญา แสงเย็นพันธ์ สำหรับการออกแบบปกหนังสือเล่มนี้ ข้อผิดพลาดใดๆที่ยังมีหลงเหลืออยู่ในตำรานี้ กรุณาแจ้งมายังผู้เขียนจักเป็นพระคุณอย่างสูง เพื่อว่าผู้เขียนจะได้แก้ไขให้หนังสือนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้นไป

บุรินทร์ กำจัดภัย

.....
27 มีนาคม 2558

พิษณุโลก¹

¹หนังสือเล่มนี้เขียนขึ้นในระหว่างปี พ.ศ. 2547-2557 มีฉากหลังเป็นหลายสถานที่คือ ม.น. (ตึกฟิสิกส์ วิทยาลัยพลังงานทดแทน วิทยาลัยเพื่อการค้นคว้าระดับรากฐาน) พิษณุโลก DAMTP มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ เมืองเก่าสุโขทัย เขาค้อ โรงเรียนบางมูลนากภูมิพิทยาคม โรงเรียนพิจิตรพิทยาคม ริมหาดชะอำ Adriatico Guesthouse ICTP Trieste หล่มสักที่บ้าน ในงานศพของอาม่า อำเภอเมืองแพร่ อำเภอเมืองกำแพงเพชร ลาดพร้าวและห้วยขวางในกรุงเทพ ห้องสมุดประชาชน กศน. สุโขทัย (มกราคม 2556) ห้องสมุดเทศบาลนครพิษณุโลก (กุมภาพันธ์ 2556) และอีกหลายๆแห่ง

I am neither a great nor a clever guy, but I have a dream and I will never give it up.

B.G., Brighton, 1999

Don't be afraid of anything, because you are beautiful.

B.G., Southampton, 2000

Trust is necessary for love, faith is necessary for being.

B.G., Phitsanulok, 2012

การแพ้เป็นเรื่องสมมุติ ความโง่เป็นเรื่องจริง ... ถ้าโง่เชื่อว่าตัวเองกระฉูด

B.G., Phitsanulok, 2014

คำอธิบาย

สารบัญ

1	บทนำ	1
1.1	ฟิสิกส์คืออะไร	1
1.2	ฟิสิกส์: จำแนกด้วยจุดประสงค์	3
1.3	ฟิสิกส์: จำแนกตามวงการการศึกษา	4
1.4	ฟิสิกส์: จำแนกด้วยวิธีการแสวงหาความรู้	5
1.5	สัจพจน์ กฎ และทฤษฎี	7
1.5.1	สัจจะและข้อเท็จจริง	7
1.5.2	สมมติฐาน กฎเชิงประจักษ์และกฎเชิงสัจพจน์	8
1.5.3	ทฤษฎี	10
1.5.4	กฎเชิงสัจพจน์: สัจพจน์ ข้อเสนอ ทฤษฎีบท โปสทูเลทและ หลักการ	10
1.6	ฟิสิกส์: จำแนกด้วยโครงสร้างเชิงทฤษฎี	11
1.7	ฟิสิกส์ภาคกลศาสตร์และอันตรกิริยา	13
1.7.1	ชนิดของกลศาสตร์: สมการการเคลื่อนที่ (กฎเชิงสัจพจน์ที่เป็น คอนสเตรนท์)	15
1.7.2	รูปแบบของอำนาจและคุณลักษณะของอำนาจ (กฎเชิงประจักษ์)	15
1.7.3	แบบแผนการคำนวณในฟิสิกส์ภาคกลศาสตร์และอันตรกิริยา	16
1.8	ฟิสิกส์ภาคอุณหพลศาสตร์	16
1.8.1	กฎพื้นฐานทั้งสี่ของอุณหพลศาสตร์ (กฎเชิงสัจพจน์)	18
1.8.2	รูปแบบของระบบ: สมการภาวะ (กฎเชิงประจักษ์ที่เป็นคอน สเตรนท์)	19
1.8.3	แบบแผนการคำนวณในฟิสิกส์ภาคอุณหพลศาสตร์	19
1.9	อุณหพลศาสตร์และขอบเขตของมัน	20
1.10	นิยามของความดัน	22
1.11	หน่วยของความร้อน	23
1.12	สรุปท้ายบท	24
1.13	คำถามท้ายบท	26

2	อุณหภูมิและกฎข้อที่ศูนย์	29
2.1	อุณหภูมิ	29
2.2	ระบบ สิ่งแวดล้อม และการสัมผัสเชิงความร้อน	31
2.3	กฎข้อที่ศูนย์ของอุณหพลศาสตร์	32
2.4	มาตรวัดอุณหภูมิ	33
2.4.1	เทอร์โมมิเตอร์แบบที่ใช้ทั่วไป	34
2.4.2	เทอร์โมมิเตอร์แบบแม่นยำ	35
2.5	มาตราอุณหภูมิแบบเอมพิริคัล	37
2.6	เทอร์โมมิเตอร์แบบแก๊สปริมาตรคงที่และมาตราอุณหภูมิสัมบูรณ์	39
2.6.1	เทอร์โมมิเตอร์แบบแก๊สปริมาตรคงที่	40
2.6.2	มาตราอุณหภูมิสัมบูรณ์	42
2.7	สรุปท้ายบท	45
2.8	โจทย์ตัวอย่างและคำถามท้ายบท	47
2.8.1	โจทย์ตัวอย่าง	47
2.8.2	คำถามท้ายบท	52
3	ภาวะและกระบวนการ	55
3.1	ตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์: จำนวนในเชิงปริมาณ	55
3.1.1	ปริมาณจำเพาะ	55
3.1.2	ปริมาณเอนทัลปีและเอนทัลปี	57
3.2	ตัวแปรทางอุณหพลศาสตร์: จำนวนตามโครงสร้างเชิงทฤษฎี	57
3.2.1	ตัวแปรภาวะชนิดที่เป็นปกติทางอุณหพลศาสตร์	58
3.2.2	ตัวแปรภาวะชนิดที่เป็นสัจยทางอุณหพลศาสตร์	59
3.2.3	ปริมาณที่เป็นการถ่ายโอนพลังงาน	60
3.2.4	ปริมาณอื่นๆ	61
3.3	ชนิดของระบบ	61
3.4	สภาพสมดุลเชิงอุณหพลศาสตร์	62
3.4.1	สภาพสมดุลเชิงกล	62
3.4.2	สภาพสมดุลเคมี	63
3.4.3	สภาพสมดุลความร้อน	63
3.5	กระบวนการและกระบวนการกึ่งสถิต	64
3.6	ตัวแปรภาวะและสมการภาวะ	65
3.6.1	ปฏิภูมิอุณหพลศาสตร์	65
3.6.2	แมคคานิคัลแพร่และสมการภาวะ	65
3.6.3	ปฏิภูมิอุณหพลศาสตร์ N มิติ	66

3.7	สภาพไม่สมดุล	68
3.7.1	สภาพคงตัว	69
3.7.2	สภาพเชิงกำหนด	70
3.8	สรุปท้ายบท	70
3.9	คำถามท้ายบท	72
4	ระบบกายภาพลักษณะต่างๆ	75
4.1	ประวัติศาสตร์เกี่ยวกับกฎของแก๊สอุดมคติ	75
4.1.1	กฎของบอยล์	75
4.1.2	กฎของออมองต็อง	76
4.1.3	กฎความดันย่อยของดาลตัน	76
4.1.4	กฎของชาร์ล	77
4.1.5	กฎการรวมปริมาตรของเก-ลูซัก	77
4.1.6	กฎของอาโวกาโดร	77
4.1.7	กฎรวมของแก๊ส	78
4.2	แก๊สอุดมคติ	80
4.3	แก๊สแวนเดอร์วาลส์	82
4.4	การสร้างสมการที่ใกล้เคียงกับแก๊สจริงมากขึ้น: การกระจายไวเรียล	84
4.5	ของแข็งอย่างง่าย	85
4.6	สารพาราแมกเนติก	87
4.7	สารบริสุทธิ์และแผนภาพ P, V, T	88
4.7.1	กระบวนการในระบบไฮโดรคาร์บอน	88
4.7.2	การวิเคราะห์แผนภาพ P, V, T ของสารบริสุทธิ์	89
4.8	ระบบเชิงประกอบ	92
4.9	สรุปท้ายบท	93
4.10	โจทย์ตัวอย่างและคำถามท้ายบท	94
4.10.1	โจทย์ตัวอย่าง	94
4.10.2	คำถามท้ายบท	96
5	การถ่ายโอนพลังงาน	97
5.1	ความร้อน	98
5.2	สมมูลเชิงกลของความร้อนและการทดลองของจูล	99
5.3	การถ่ายโอนความร้อน	101
5.3.1	การนำความร้อน	102
5.3.2	การพาความร้อน	103
5.3.3	การแผ่รังสีความร้อน	104

5.4	งาน	104
5.5	งานในระบบไฮโดรสตาทิกส์	108
5.5.1	งานในแก๊สอุดมคติ	108
5.5.2	งานในของแข็งอย่างง่าย	109
5.6	งานในสารพาราแมกเนติก	111
5.7	งานในระบบเชิงประกอบ	113
5.8	งานในระบบอื่นๆ	113
5.8.1	งานในหลอดที่ยืดหยุ่น	114
5.8.2	งานบนผิวฟิล์มบาง	114
5.8.3	งานในเซลล์อิเล็กโทรไลต์ที่ผันกลับได้	115
5.8.4	งานในสารไดอิเล็กทริก	115
5.9	สรุปท้ายบท	116
5.10	โจทย์ตัวอย่างและคำถามท้ายบท	117
5.10.1	โจทย์ตัวอย่าง	117
5.10.2	คำถามท้ายบท	118
6	พลังงานภายในและกฎข้อที่หนึ่ง	121
6.1	พลังงานภายใน	121
6.2	กฎข้อที่หนึ่งของอุณหพลศาสตร์	123
6.3	ความร้อน	124
6.4	กฎข้อที่หนึ่งสำหรับระบบไฮโดรสตาทิกส์	125
6.5	แก๊สอุดมคติ: ความจุความร้อนและกระบวนการแอเดียแบติก	127
6.5.1	ความจุความร้อนของแก๊สอุดมคติ	127
6.5.2	การแบ่งส่วนเท่ากันของพลังงาน	128
6.5.3	กระบวนการแอเดียแบติกของแก๊สอุดมคติ	132
6.6	ของแข็งอย่างง่าย: ความจุความร้อนและกระบวนการแอเดียแบติก	134
6.6.1	ความจุความร้อนของของแข็งอย่างง่าย	134
6.6.2	กระบวนการแอเดียแบติกในของแข็งอย่างง่าย	135
6.7	สารพาราแมกเนติก: ความจุความร้อนและกระบวนการแอเดียแบติก	137
6.7.1	ความจุความร้อนของสารพาราแมกเนติก	137
6.7.2	กระบวนการแอเดียแบติกในสารพาราแมกเนติก	139
6.8	สรุปท้ายบท	140
6.9	โจทย์ตัวอย่างและคำถามท้ายบท	141
6.9.1	โจทย์ตัวอย่าง	141
6.9.2	คำถามท้ายบท	144

7	วัฏจักรคาร์โนต์และกฎข้อที่สอง	147
7.1	วัฏจักรคาร์โนต์	148
7.1.1	เครื่องยนต์คาร์โนต์ที่ใช้ระบบแก๊สอุดมคติ	149
7.1.2	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์	150
7.1.3	การวิเคราะห์วัฏจักรคาร์โนต์ของแก๊สอุดมคติ	152
7.1.4	วัฏจักรคาร์โนต์ของตัวแปรแมคคานิคัลแปรทั่วไป	154
7.1.5	วัฏจักรคาร์โนต์ของระบบพาราแมกเนติกแบบสมบูรณ์	155
7.1.6	บทวิเคราะห์กระบวนการในวัฏจักรคาร์โนต์	157
7.1.7	ตู้เย็นคาร์โนต์และสัมประสิทธิ์สมรรถนะ	160
7.1.8	ค่าประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงสุด	161
7.1.9	คุณภาพของความร้อน	162
7.2	หลักการของเคลวินและค่าแกลงของเคลาเซียส	163
7.3	กระบวนการที่ผันกลับไม่ได้และการกระจายตัว	164
7.3.1	งานกระจายตัว	165
7.3.2	ปัจจัยที่ทำให้เกิดสภาพผันกลับไม่ได้	165
7.4	มาตราอุณหภูมิอุณหพลศาสตร์	168
7.5	ทฤษฎีบทของเคลาเซียส	171
7.6	เอนโทรปี	175
7.6.1	การเพิ่มขึ้นของเอนโทรปี	176
7.6.2	กฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์	178
7.6.3	ความหมายของเอนโทรปี	178
7.7	เอนโทรปีของระบบอย่างง่าย	179
7.7.1	แก๊สอุดมคติ	179
7.7.2	เกลียวพาราแมกเนติก	180
7.7.3	ของแข็งอย่างง่าย	181
7.7.4	สารบริสุทธิ์และแผนภาพ TS	181
7.7.5	ภาพโดยรวมของกฎข้อหนึ่งและข้อสอง	185
7.8	เครื่องยนต์ความร้อนบางชนิด	186
7.8.1	เครื่องยนต์สเตอร์ลิง	187
7.8.2	เครื่องจักรไอน้ำ	189
7.8.3	เครื่องยนต์ออตโต	190
7.8.4	เครื่องยนต์ดีเซล	194
7.9	ตู้เย็น จูล-ธอมสัน	196
7.10	สรุปท้ายบท	197
7.11	โจทย์ตัวอย่างและคำถามท้ายบท	200

7.11.1	โจทย์ตัวอย่าง	200
7.11.2	คำถามท้ายบท	204
8	ศักย์เชิงอุณหพลศาสตร์และความสัมพันธ์แมกซ์เวลล์	207
8.1	ศักย์ในวิชากลศาสตร์	207
8.2	พลังงานภายใน	208
8.3	การแปลงเลขเชิงซ้อน	211
8.4	เอนทัลปี	212
8.5	พลังงานเสรีเฮล์มโฮลทซ์	215
8.6	พลังงานเสรีกิบส์	216
8.7	เอกเซอร์จีและประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ตามกฎข้อที่สอง	218
8.8	ฟังก์ชันอะเวิลและบิลิตี งานที่ผลิตได้จริงและงานที่เป็นประโยชน์	221
8.8.1	กระบวนการที่มี T และ P ก่อนและหลังกระบวนการเท่าเดิม และมีค่าเท่ากับสิ่งแวดล้อมแต่ V ของระบบเปลี่ยนแปลงไป	221
8.8.2	กระบวนการที่มี T ก่อนและหลังกระบวนการเท่าเดิมและเท่ากับสิ่งแวดล้อมและ V คงที่แต่ P ของระบบเปลี่ยนแปลงไป	223
8.8.3	งานที่ผลิตได้จริงกับพลังงานเสรีเฮล์มโฮลทซ์	224
8.8.4	งานที่เป็นประโยชน์กับพลังงานเสรีกิบส์	224
8.9	พิกัดธรรมชาติ	226
8.10	ศักย์แกรนด์	228
8.11	ความสัมพันธ์แมกซ์เวลล์	229
8.12	สรุปท้ายบท	230
8.13	โจทย์ตัวอย่างและคำถามท้ายบท	232
8.13.1	โจทย์ตัวอย่าง	232
8.13.2	คำถามท้ายบท	235
9	ความสัมพันธ์ที่สำคัญทางอุณหพลศาสตร์	237
9.1	สมการพลังงาน	237
9.2	สมการ TdS	238
9.3	สมการความจุความร้อน: ผลต่าง $C_P - C_V$	239
9.4	อัตราส่วน C_P/C_V	241
9.5	อนุพันธ์ของค่าความจุความร้อน: $(\partial C_V/\partial V)_T$ และ $(\partial C_P/\partial P)_T$	242
9.6	การขยายตัวอย่างอิสระและสัมประสิทธิ์จุล	244
9.6.1	การขยายตัวอย่างอิสระของแก๊สอุดมคติ	244
9.6.2	สัมประสิทธิ์จุล	245
9.7	สรุปท้ายบท	247

9.8	โจทย์ตัวอย่างและคำถามท้ายบท	250
9.8.1	โจทย์ตัวอย่าง	250
9.8.2	คำถามท้ายบท	253
10	การเปลี่ยนวิภูภาค	257
10.1	ความร้อนแฝง	257
10.1.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนแฝงกับเอนทัลปี	258
10.1.2	การวัดค่าความร้อนแฝง	259
10.2	การเปลี่ยนวิภูภาคอันดับหนึ่ง การเปลี่ยนสถานะและศักย์กิบส์	259
10.2.1	สมการคลาเปรอง	261
10.3	การเปลี่ยนแปลงความร้อนแฝง	263
10.3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนแฝงกับความดันและอุณหภูมิ	263
10.3.2	สมการคลาเปรองกับความร้อนแฝง	264
10.4	ระบบที่มีหลายวิภูภาค	265
10.5	สมการของเส้นแห่งการกลายเป็นไอ: สมการอันทอยเน	266
10.6	ความไม่ต่อเนื่องของเอนโทรปีและปริมาตรในการเปลี่ยนวิภูภาคอันดับ หนึ่ง	267
10.6.1	กระบวนการไอโซบาริกในการเปลี่ยนวิภูภาคอันดับหนึ่ง	267
10.6.2	กระบวนการไอโซเทอร์มัลในการเปลี่ยนวิภูภาคอันดับหนึ่ง	268
10.7	การเปลี่ยนวิภูภาคอันดับสอง	270
10.8	ตัวอย่างการเปลี่ยนวิภูภาคอันดับหนึ่งและอันดับสอง	271
10.8.1	ตัวอย่างของการเปลี่ยนวิภูภาคอันดับหนึ่ง	271
10.8.2	ตัวอย่างของการเปลี่ยนวิภูภาคอันดับสอง	271
10.9	สมการเออร์เรนเฟสต์สำหรับการเปลี่ยนวิภูภาคอันดับสอง	273
10.10	วิภูภาคกิบส์	274
10.11	สรุปท้ายบท	276
10.12	โจทย์ตัวอย่างและคำถามท้ายบท	277
10.12.1	โจทย์ตัวอย่าง	277
10.12.2	คำถามท้ายบท	279
11	กฎข้อที่สาม	281
11.1	ทฤษฎีบทความร้อนเอนินส์	281
11.2	กฎข้อที่สามโดยไซมอน	284
11.3	ผลจากกฎข้อที่สาม	286
11.3.1	การเข้าสู่ศูนย์ของค่า β	287
11.3.2	การไม่ขึ้นกับอุณหภูมิของค่าโมเมนต์แม่เหล็กรวม	287

11.3.3 การหายไปของค่าความจุความร้อน	288
11.3.4 ความชันของเส้นโค้งขอบเขตวัฏภาคมีค่าเป็นศูนย์	289
11.4 อุณหภูมิศูนย์สัมบูรณ์เป็นค่าที่เข้าถึงไม่ได้	289
11.5 สรุปท้ายบท	291
11.6 คำถามท้ายบท	293
12 อุณหพลศาสตร์เคมี ระบบเปิด และอุณหพลศาสตร์ไม่สมดุล	295
12.1 ความร้อนในปฏิกิริยาเคมี	295
12.1.1 กฎของเฮส	295
12.1.2 ศักย์ทางอุณหพลศาสตร์ในปฏิกิริยาเคมี	298
12.2 กฎข้อที่สองในปฏิกิริยาเคมี	299
12.3 ศักย์เคมี	301
12.4 เงื่อนไขสมดุลสำหรับระบบที่มีการแลกเปลี่ยนอนุภาค	304
12.5 ความดันออสโมซิส	306
12.6 เงื่อนไขสภาพสมดุลเคมี	307
12.7 เอ็นทัลปีของปฏิกิริยา	309
12.8 อุณหพลศาสตร์ไม่สมดุล	311
12.8.1 การจำแนกการผลิตเอนโทรปี	311
12.8.2 สมดุลทางอุณหพลศาสตร์แบบเฉื่อย	313
12.8.3 แรงและการไหล	314
12.8.4 แรงทางอุณหพลศาสตร์	315
12.9 ออฟฟินิตี	317
12.10 สรุปท้ายบท	319
12.11 คำถามท้ายบท	322
13 บทพิเศษ: ข้อวิพากษ์เกี่ยวกับโครงสร้างเชิงทฤษฎีของอุณหพลศาสตร์	323
13.1 ความไม่สมมาตรของฟังก์ชัน: อำนาจพื้นหลัง อำนาจเชิงพลวัต และภาวะที่แท้จริง	323
13.1.1 สมการภาวะคลาส 1	324
13.1.2 สมการภาวะคลาส 2	327
13.2 ความไม่สมมาตรกันของ T และ S และหลักการการารัสไอโดรี	328
13.3 ความไม่สมมาตรกันของ W และ Q	331
14 บทพิเศษ: เศรษฐศาสตร์จุลภาคเชิงอุณหพลศาสตร์	333
14.1 ภาวะ อำนาจ และกฎข้อที่สองของเศรษฐศาสตร์จุลภาคเชิงอุณหพลศาสตร์	333
14.2 กฎข้อที่หนึ่งของเศรษฐศาสตร์จุลภาคเชิงอุณหพลศาสตร์	334

14.3	สมการภาวะคลาส 3	335
14.4	สมการภาวะของตลาด	336
ก	ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่มีประโยชน์และค่าคงที่ทางฟิสิกส์	339
ก.1	ความสัมพันธ์ส่วนกลับกันและความสัมพันธ์วนรอบ	339
ก.2	กฎลูกโซ่	340
ก.3	เงื่อนไขที่ผลต่างเชิงอนุพันธ์หนึ่งๆจะเป็นแบบแมนตรง	341
ข	สารแม่เหล็กพาราแมกเนติก	345
ข.1	โมเมนต์แม่เหล็กคืออะไร	345
ข.2	พาราแมกเนติก	346
ข.3	งานในระบบแม่เหล็ก	348
ค	เฉลยและแนวคำตอบคำถามท้ายบทบางข้อ	351

ตัวอย่าง

บทที่ 1

บทนำ

บทนำนั้นมีความเป็นบทแรกได้พอๆกับความเป็นบทสุดท้ายในหนังสือเล่มนี้ บทนำและบทสรุปเป็นส่วนที่ยากที่สุดสำหรับนักวิจัยในการเขียนบทความหรือเอกสารทางวิชาการ วิชาที่เราจะศึกษาในหนังสือนี้คือวิชา *อุณหพลศาสตร์* ซึ่งกล่าวและพรรณนาถึงปรากฏการณ์ฟิสิกส์ของ *ระบบมหภาค* (macroscopic) และผลเชิงกายภาพอื่นๆที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิและพลังงาน วิชาอุณหพลศาสตร์ถือเป็นองค์ความรู้เสาหลักอันหนึ่งของทฤษฎีฟิสิกส์ ในบทนำนี้เราจะปูพื้นฐานความคิด ผูกโยงเรื่องราวต่างๆในวิชาฟิสิกส์และชี้ตำแหน่งที่ตั้งของอุณหพลศาสตร์ในภูมิประเทศของวิชาฟิสิกส์เอาไว้ ความสำคัญของบทนำนี้อยู่ที่ว่านอกจากจะเสนอความรู้เบื้องต้นเพื่อที่จะศึกษาบทต่อไปแล้ว ยังเป็นเสมือนแผนที่และภาพรวมโดยสรุปของหลักวิชาฟิสิกส์ทั้งหมดไว้อีกด้วย วิทยาศาสตร์เป็นวิชาที่สร้างปัญญาญาณ ดังนั้นวิทยาศาสตร์จึงมีความชัดเจนและรัดกุมในการอธิบายหรือพรรณนาเหตุการณ์ในธรรมชาติ เราจึงขอเสนอนิยามความหมายของฟิสิกส์ที่ชัดเจนเสียก่อนว่าฟิสิกส์คืออะไร

1.1 ฟิสิกส์คืออะไร

มีคำนิยามมากมายในตำราหลายเล่มกล่าวถึงนิยามความหมายของวิชาฟิสิกส์ แต่ก็ดูเหมือนว่า จะไม่มีนิยามของวิชาฟิสิกส์นิยามใดที่สมบูรณ์ ผู้เขียนให้นิยามของฟิสิกส์ว่า

“ฟิสิกส์คือวิชาที่ว่าด้วยธรรมชาติของสิ่ง 3 สิ่งคือ ระบบ (system) ภาวะ (state) และอิทธิพลหรืออำนาจ (influence) กฎและทฤษฎีทางฟิสิกส์มีไว้เพื่อทำนายและอธิบายการเปลี่ยนแปลงภาวะเดิมของระบบไปสู่ภาวะใหม่อันเนื่องมาจากอำนาจ¹”

¹ใน ปัจจุบัน วิชา ฟิสิกส์ ไม่ได้ มุ่ง อธิบาย หรือ ทำความ เข้าใจ เพียงแค่ ระบบ ธรรมชาติ หรือ ระบบ กายภาพ

ฟิสิกส์เป็นวิชาที่ต้องมีคำนิยามและถ้อยแถลง (statement) ที่ชัดเจน² ดังนี้แล้ว ก่อนสิ่งอื่นใดเราจะต้องทราบความหมายที่ชัดเจนของคำทั้งสามคือ ระบบ ภาวะ และอำนาจนี้ ก่อน กล่าวคือ

- **ระบบ** คือสิ่งที่เราพิจารณาโดยจะต้องมี *คุณสมบัติ* (property) อย่างน้อยหนึ่งอย่าง ระบบอาจมีขอบเขตชัดเจนหรือไม่ก็ได้ ระบบไม่จำเป็นต้องเป็นสิ่งที่มีความหมายหรือครอบครองปริมาตร เช่น อิเล็กตรอนเป็นอนุภาคมูลฐานที่มีความหมายแต่ไร้ซึ่งขนาด ดังนั้นอิเล็กตรอนจึงไม่ครอบครองปริมาตร หรือเช่น โฟตอนหรือแสงเป็นอนุภาคหรือเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปราศจากมวล แสงถือเป็นระบบโดยที่ไม่มีขอบเขตชัดเจน หรือเช่น สารละลายในหลอดทดลองอันหนึ่งถือเป็นระบบที่มีขอบเขตชัดเจน เป็นต้น ส่วนที่ว่าระบบย่อมต้องมี *คุณสมบัติ* นั้น คุณสมบัติก็คือ *สภาพ* (being) อันค่อนข้างถาวรที่ระบบมีหรือเป็นอยู่เมื่อพิจารณาใน *บริบท* หนึ่งๆ เช่น ถ้าพิจารณาเส้นลวดโลหะในบริบทของวิชากลศาสตร์แล้ว เราจะสนใจคุณสมบัติที่เป็นมวลเฉื่อย m_{inertia} แต่ถ้าพิจารณาเส้นลวดโลหะอันเดียวกันในบริบทของวิชาไฟฟ้าแล้วเราอาจจะสนใจคุณสมบัติที่เป็นความต้านทานไฟฟ้า R หรือเช่น อิเล็กตรอนมีคุณสมบัติหลายประการ เช่น มีมวล มีสปิน และมีประจุ ซึ่งเราสามารถเลือกพิจารณาได้ตามบริบทที่เหมาะสม³
- **ภาวะ** คือ *สภาพ* ชั่วคราวที่ระบบเป็นอยู่ ภาวะย่อมเปลี่ยนแปลงไปได้เนื่องจากอำนาจที่กระทำต่อระบบ⁴
- **อำนาจ** คืออิทธิพลจากภายนอกหรือจากภายในระบบที่เราไม่ได้พิจารณาว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบแต่แรกเริ่ม อำนาจทำให้ระบบเกิดการเปลี่ยนแปลงภาวะจากภาวะเดิมไปยังภาวะใหม่ได้

เท่านั้น แม้ฟิสิกส์จะเป็นวิทยาศาสตร์ธรรมชาติแต่กระบวนทัศน์เช่นการนิยามคำว่าฟิสิกส์นี้ได้รับการนำไปใช้ในสังคมศาสตร์ (วิทยาศาสตร์สังคม) ซึ่งพิจารณาระบบทางสังคม เราจึงอาจนิยามวิชาฟิสิกส์เชิงสังคมวิทยา (sociological physics) ให้เป็นวิชาที่ว่าด้วยสิ่ง 3 สิ่งคือ ระบบทางสังคม ภาวะทางสังคม และ อำนาจทางสังคม กฎและทฤษฎีทางฟิสิกส์เชิงสังคมวิทยาจึงมีไว้เพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงภาวะของระบบทางสังคมอันเนื่องมาจากอิทธิพลหรืออำนาจทางสังคม ทั้งนี้ศาสตร์ใหม่ๆ เช่น ฟิสิกส์เชิงสังคมวิทยา และฟิสิกส์เศรษฐศาสตร์ (econophysics) เหล่านี้พัฒนาขึ้นด้วยกระบวนทัศน์ตามนิยามดังกล่าวนี้

²แม้กระทั่งหลักความไม่แน่นอน (uncertainty principle) ในกลศาสตร์ควอนตัม ก็ต้องมีถ้อยแถลงที่ชัดเจนเกี่ยวกับหลักความไม่แน่นอนนี้

³นิยามที่ว่าระบบย่อมมีคุณสมบัติและไม่จำเป็นจะต้องมีขอบเขตชัดเจนนี้ มีความเป็นไปได้ยิ่งกว่านิยามของคำว่าระบบที่ปรากฏในวิชาวิทยาศาสตร์สาขาอื่นๆ

⁴ในบริบททางกลศาสตร์ควอนตัมและสัมพัทธภาพพิเศษ แสงมีคุณสมบัติคือมีความเร็วค่าสูงสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ มีมวลเป็นศูนย์ ไม่มีประจุไฟฟ้า และมีสปินเป็นศูนย์ ภาวะของแสงคือความยาวคลื่นนั่นเอง