

สารบัญ

หน้า

บทที่ 1	บทนำ	
	วัตถุประสงค์	
1.1	ทักษะเชิงกลศาสตร์	1
1.2	ความหมายของสมการแมกซ์เวลล์	7
1.3	คลื่นและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	16
1.4	อีเทอร์และกรอบอีเทอร์	20
1.5	ความไม่เปลี่ยนแปลงเฟสของคลื่นระนาบ	22
1.6	สรุป	25
1.7	คำถามท้ายบท	27
	แบบฝึกหัดบทที่ 1	30
บทที่ 2	ปรากฏการณ์ที่นำไปสู่ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	35
	วัตถุประสงค์	35
2.1	ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์	35
2.2	ความคลาดของแสง	39
2.3	การทดลองเกี่ยวกับอีเทอร์	41
2.4	ความเร็วของแสงในกรอบเฉื่อย	48
2.5	สมมุติฐานของทฤษฎีสัมพัทธภาพ	53
2.6	สรุป	53
2.7	คำถามท้ายบท	56
	แบบฝึกหัดบทที่ 2	58
บทที่ 3	ทฤษฎีสัมพัทธภาพก่อนทฤษฎีสัมพัทธภาพ	63
	วัตถุประสงค์	63
3.1	ความจำเป็นของเวลาเฉพาะ	63
3.2	การหดของความยาว	68
3.2.1	การหดของความยาวจากการวิเคราะห์การยืดของเวลา	68

3.2.2 การหดของความยาวจากการวิเคราะห์การทดลองไม่เคลิสัน-มอร์เลย์	69
3.3 การแปลงแบบโลเรนต์ซ์	70
3.3.1 การแปลงแบบโลเรนต์ซ์ชนิดพิเศษ	70
3.3.2 การแปลงแบบโลเรนต์ซ์ชนิดทั่วไป	75
3.4 ความพร้อมกันเชิงสัมพัทธภาพ	78
3.5 การเรียงลำดับและการเป็นเหตุผลกันของเหตุการณ์	81
3.6 สรุป	82
3.7 คำถามท้ายบท	85
แบบฝึกหัดบทที่ 3	88
บทที่ 4 ความแย้งกันของนาฬิกา	95
วัตถุประสงค์	95
4.1 ข้อความของความแย้งกัน	95
4.2 คำอธิบายถึงความแย้งกัน	96
4.3 การทดลองที่สนับสนุนความแย้งกัน	97
4.3.1 การทดลองเกี่ยวกับเวลาของคู่แฝด	97
4.3.2 ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์เชิงสัมพัทธภาพ	99
4.3.3 การทดลองเกี่ยวกับขบวนการทางชีววิทยาของคู่แฝด	101
4.4 ตัวอย่างการคำนวณ	103
4.5 สรุป	106
4.6 คำถามท้ายบท	108
แบบฝึกหัดบทที่ 4	109
บทที่ 5 ความเร็ว โมเมนตัมและพลังงาน	113
วัตถุประสงค์	113
5.1 ความเร็วเฉพาะ	113
5.1.1 ความเร็วสองชนิด	113
5.1.2 ความเร็วเฉพาะและความเร็วไม่เฉพาะ	114

	หน้า
5.2 มวลและกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม	115
5.2.1 กฎการอนุรักษ์โมเมนตัมในกลศาสตร์แผนเดิม	115
5.2.2 โมเมนตัมในทฤษฎีสัมพัทธภาพ	116
5.3 กฎการอนุรักษ์พลังงาน	122
5.3.1 ผลอันเนื่องมาจากกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงสัมพัทธภาพ	122
5.3.2 แรงแงาน และพลังงานจลน์เชิงสัมพัทธภาพ	126
5.3.3 สมการการแปลงโมเมนตัม พลังงาน และแรงแง	127
5.4 ตัวอย่างการคำนวณ	130
5.5 สรุป	135
5.6 คำถามท้ายบท	137
แบบฝึกหัดบทที่ 5	140
บทที่ 6 สี่แวกเตอร์	147
วัตถุประสงค์	147
6.1 สี่แวกเตอร์ของฟิวกัด	147
6.1.1 การแปลงแบบของโลเรนตซ์กับการหมุนของฟิวกัด	147
6.1.2 การทำฟิวกัดและเวลาให้เป็นสี่แวกเตอร์	149
6.2 สี่แวกเตอร์ของความเร็ว	150
6.3 สี่แวกเตอร์ของโมเมนตัม	152
6.4 การหมุนของสี่แวกเตอร์	153
6.5 สเกลาร์และสี่แวกเตอร์	154
6.5.1 สเกลาร์ใน 3 มิติ	154
6.5.2 สี่สเกลาร์ในการแปลงแบบของโลเรนตซ์	154
6.5.3 สมมาตรและสี่แวกเตอร์	158
6.6 สรุป	166
6.7 คำถามท้ายบท	169
แบบฝึกหัดบทที่ 6	172

	หน้า
บทที่ 7 ทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า	177
วัตถุประสงค	177
7.1 สนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าซึ่งเคลื่อนที่	177
7.2 ทฤษฎีของเกาส์สำหรับประจุเคลื่อนที่	180
7.3 แรงแม่เหล็กไฟฟ้า	182
7.4 แรงในทฤษฎีสัมพัทธภาพ	184
7.5 สรุป	185
7.6 คำถามท้ายบท	187
แบบฝึกหัดบทที่ 7	189
 บทที่ 8 ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปเบื้องต้น	 193
วัตถุประสงค	193
8.1 บทนำ	193
8.2 มวลเฉื่อยและมวลของแรงโน้มถ่วง	194
8.3 มวลของโฟตอน	196
8.4 การเคลื่อนของแสงสเปกตรัมสีแดง	197
8.5 การบ่ายเบนของโฟตอนเนื่องจากแรงโน้มถ่วง	199
8.6 สรุป	202
8.7 คำถามท้ายบท	204
แบบฝึกหัดบทที่ 8	206

สารบัญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 1	แรงชนิดง่ายที่สุดสองชนิด	1
รูปที่ 2	Tycho Brahe (1546-1601) และหอดูดาวของเขา	3
รูปที่ 3	Johannes Kepler (1571-1630)	4
รูปที่ 4	รูปต้นหลายเหลี่ยม ซึ่งเคพเพลอร์ใช้เป็นหุ่นในการสร้างแบบสุริยะจักรวาลตามความคิดของเขา	5
รูปที่ 5	Isaac Newton (1642-1727)	5
รูปที่ 6	James Clerk Maxwell (1831-1879)	7
รูปที่ 7	ความเหมือนกันของเส้นแรงสนามแม่เหล็กกับเส้นแรงการไหลของไหลอุดมคติ	10
รูปที่ 8	เกลียวหมุ่นซึ่งแทนสนามแม่เหล็ก	12
รูปที่ 9	ลูกปืนของเกลียวหมุ่นซึ่งแสดงสนามแม่เหล็ก	12
รูปที่ 10	อันตรกิริยาของเกลียวหมุ่นของสนามแม่เหล็กและอนุภาคซึ่งนำกระแส	13
รูปที่ 11	สนามแม่เหล็กรูปขนมโดนัทรอบเส้นลวดที่นำกระแสไฟฟ้า	13
รูปที่ 12	สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่	17
รูปที่ 13	สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้า	19
รูปที่ 14	ถ้าความเร็วของกระแสน้ำมากกว่าความเร็วของคลื่น คลื่นนั้นจะไม่มีวันเคลื่อนย่นไปทางต้นน้ำได้	21
รูปที่ 15	ระบบพิกัด s' เคลื่อนไปทางทิศ $+x$ ด้วยความเร็ว v เทียบกับระบบพิกัด s	22
รูปที่ 16	คลื่นระนาบ	23
รูปที่ 17	สนามไฟฟ้าที่เคลื่อนที่	31
รูปที่ 18	การเคลื่อนของจุดกำเนิดแสง	37
รูปที่ 19	การเกิดความคลาดแสง	39
รูปที่ 20	Albert A. Michelson (1852-1931)	41
รูปที่ 21	การว่ายน้ำเทียบกับการทดลองของไมเคิลสัน	42
รูปที่ 22	อินเตอร์ฟีรอมิเตอร์ของไมเคิลสัน	42
รูปที่ 23	ภาพจำลองเครื่องมือของไมเคิลสัน	45
รูปที่ 24	ทางเดินของแสงในเครื่องมือของไมเคิลสัน	46

	หน้า	
รูปที่ 25	ความเร็วเฟสกับความเร็วรังสีของแสง	49
รูปที่ 26	มุมของความเร็วรังสีของแสง	51
รูปที่ 27	การเคลื่อนที่ของผู้สังเกตการณ์	59
รูปที่ 28	แขนข้างหนึ่งของการทดลองไมเคิลสัน-มอร์เลย์ ผู้สังเกตการณ์คนหนึ่งติดไปกับแขนนี้	63
รูปที่ 29	เครื่องมือเดียวกับรูปที่ 28 แต่เคลื่อนที่ไปทางขวาด้วยความเร็ว v	64
รูปที่ 30	ยอดเขาอชิงตัน มลรัฐนิวแฮมเชอร์	66
รูปที่ 31	จรวดผ่านดาวสองดวงด้วยความเร็ว v	68
รูปที่ 32	แขนของการทดลองไมเคิลสัน-มอร์เลย์ ซึ่งขนานกับทิศการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ	69
รูปที่ 33	ระบบพิกัด s' เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว $\vec{v} = (v, 0, 0)$ เทียบกับระบบพิกัด s	71
รูปที่ 34	ฟ้าผ่าพร้อมกันที่หัวท้ายรถไฟสำหรับผู้สังเกตการณ์บนพื้นดิน	79
รูปที่ 35	ฟ้าผ่าพร้อมกันสำหรับผู้สังเกตการณ์บนรถไฟ	80
รูปที่ 36	เครื่องนับ K^+ เมซอน	88
รูปที่ 37	รูปที่ปรากฏในห้องทดลอง	91
รูปที่ 38	รูปแสดงเวลาที่ผ่านไป	92
รูปที่ 39	แสดงความแตกต่างระหว่างเหตุการณ์ของคู่แฝด	96
รูปที่ 40	การทดลองทางความคิดของประสบการณ์คู่แฝด	97
รูปที่ 41	การชนกันแบบยืดหยุ่นของมวลซึ่งเท่ากัน	140
รูปที่ 42	เวกเตอร์ในระบบพิกัดซึ่งหมุนทำมุมกับเวกเตอร์ต่างกัน	147
รูปที่ 43	แสดงการหมุนของเวกเตอร์เทียบกับระบบพิกัด	153
รูปที่ 44	การชนกันแบบยืดหยุ่นของอนุภาคมวลเท่ากัน	160
รูปที่ 45	สนามของเครื่องควมแน่นชนิดแผ่นขนาน	177
รูปที่ 46	ผิวของเกาส์ชนิดทรงกระบอก	180
รูปที่ 47	ผลของความโน้มถ่วงต่อคาบเวลา	199