

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การยุบตัวของอำนาจความโน้มถ่วง (gravitational collapse)	4
2.1 ความโน้มถ่วง : คนเหตุแห่งการวิวัฒนาการของดวงดาว	4
2.2 ดาวนิวตรอนและพัลซาร์ : วัตถุท้องฟ้าที่พบใหม่	8
บทที่ 3 หลุมดำ (Black Holes)	13
3.1 ลักษณะและคุณสมบัติโดยทั่วไป	13
3.2 หลุมดำชวอร์ชไชลด์ (Schwarzschild black hole)	16
3.3 หลุมดำที่มีประจุ (charged black hole)	30
3.4 หลุมดำที่มีการหมุน (rotating black hole)	40
บทที่ 4 กลไกการเกิดหลุมดำในทัศนะต่าง ๆ	50
4.1 การยุบตัวของดาวเคียวที่มีมวลมาก	50
4.2 การวิวัฒนาการของดาวค	50
4.3 การรวมกันของกลุ่มวัตถุท้องฟ้า	53
บทที่ 5 การค้นหาหลุมดำ	54
5.1 แนวทางที่จะค้นหาหลุมดำ	54
5.2 การค้นพบ Cygnus x-1 วัตถุท้องฟ้าที่เชื่อว่าเป็นหลุมดำ	55
5.3 นิวเคลียสของกาแล็กซี M87 บริเวณที่คาดว่าเป็หลุมดำ	56
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์	58
6.1 ความเป็นไปได้ของหลุมดำ	58
6.2 ความสำคัญของหลุมดำ	59
6.3 หลุมดำกับบิก-แบง	60
บรรณานุกรม	61

รายการภาพประกอบ

		หน้า
รูปที่ 1.1	H-R diagram	2
รูปที่ 2.1	แสดงถึงโนวาและ planetary nebulae	6
รูปที่ 2.2	พัลซาร์ซึ่งอยู่ที่บริเวณใจกลางเนบิวลาปู	9
รูปที่ 2.3	แสดงการหมุนของดาวนิวตรอนและการแผ่ลำคลื่นออกมาจากบริเวณ ขั้วแม่เหล็ก	10
รูปที่ 2.4	แสดงถึงความเข้มของสัญญาณที่รับได้จากพัลซาร์	11
รูปที่ 2.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของดาวกับความหนาแน่นที่ บริเวณใจกลางของดาว	12
รูปที่ 3.1	แสดงการเบี่ยงเบนของรังสีแสงที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณหลุมดำ	14
รูปที่ 3.2	แสดงถึงสรรพสิ่งต่าง ๆ ที่เข้าสู่หลุมดำจะสูญเสียคุณสมบัติเดิมไป เหลือเพียงคุณสมบัติสามประการคือ มวล ประจุและโมเมนตัมเชิงมุม	15
รูปที่ 3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอวกาศและกาลของดาวที่ยุบตัวไปเป็น หลุมดำ	16
รูปที่ 3.4	แสดงโครงสร้างของ Schwarzschild black hole	17
รูปที่ 3.5	กราฟแสดงความเร็วของอนุภาคที่ตกโดยเสรีลงสู่หลุมดำ เมื่อ สังเกตโดยผู้สังเกตที่อยู่ห่างจากหลุมดำออกไป	18
รูปที่ 3.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง proper time และ coordinate time ของอนุภาคที่ตกโดยอิสระลงสู่หลุมดำ	19
รูปที่ 3.7	ภาพหลุมดำที่ปรากฏแก่ผู้สังเกต ณ ตำแหน่งต่าง ๆ	20
รูปที่ 3.8	แสดงแผนภาพอวกาศ-กาล	21
รูปที่ 3.9	แสดงการเดินทาง 3 แบบ คือ ชากวาแสง เร็วเท่าแสงและ เร็วกว่าแสง	22
รูปที่ 3.10	แสดงหลุมดำในอวกาศและอวกาศ-กาล	23
รูปที่ 3.11	แสดงการเดินทางใน coordinate time	24

รูปที่ 3.12	แผนภาพอวกาศ-กาลของหลุมดำแบบของ Kruskal และ Szekeres	26
รูปที่ 3.13	แสดง World line ของการเดินทางในแผนภาพ Kruskal-Szekeres	27
รูปที่ 3.14	แสดงภาคตัดตามแนว spacelike ของ Kruskal-Szekeres diagram	28
รูปที่ 3.15	Penrose diagram ของอวกาศ-กาลที่แบนราบ	29
รูปที่ 3.16	Penrose diagram ของ Schwarzschild black hole	30
รูปที่ 3.17	แสดงโครงสร้างของหลุมดำที่มีประจุ	32
รูปที่ 3.18	แผนภาพอวกาศ-กาลแบบธรรมชาติของหลุมดำที่มีประจุ	33
รูปที่ 3.19	แสดงการเปลี่ยนแปลงทกกันของอวกาศและกาลของหลุมดำที่มีประจุ เมื่อ $M > Q $	34
รูปที่ 3.20	แสดงถึงส่วนหนึ่งของ Penrose diagram เมื่อพิจารณาการเดินทางจาก our universe ไปสู่ charged black hole ที่มี $M > Q $	36
รูปที่ 3.21	แสดงถึงอีกส่วนหนึ่งของ Penrose diagram เมื่อพิจารณาการเดินทางจาก other universe ไปสู่ charged black hole ที่มี $M > Q $	37
รูปที่ 3.22	Penrose diagram อย่างสมบูรณ์ของ charged black hole ที่มี $M > Q $	38
รูปที่ 3.23	Penrose diagram ของ extreme charged black hole	39
รูปที่ 3.24	Penrose diagram ของ charged black hole ที่มีค่า $ Q > M$	39
รูปที่ 3.25	แสดงถึงวงวนคั่นของแสงที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิด ณ ระยะต่าง ๆ ห่างจากหลุมดำที่มีการหมุน	41

	หน้า
รูปที่ 3.26 แสดงถึงวัตถุตกเข้าสู่หลุมดำที่มีการหมุน	41
รูปที่ 3.27 แสดงโครงสร้างของหลุมดำที่มีการหมุน	42
รูปที่ 3.28 แสดงแผนภาพอวกาศ-กาลแบบธรรมดาของหลุมดำที่มีการหมุน	44
รูปที่ 3.29 แสดงการแลกเปลี่ยนบทบาทกันของอวกาศและกาลของหลุมดำที่มีการหมุน เมื่อ $M > a$	45
รูปที่ 3.30 แสดงถึงส่วนหนึ่งของ Penrose diagram เมื่อพิจารณาการเดินทางจาก our universe ไปสู่ rotating black hole ที่มี $M > a$	46
รูปที่ 3.31 แสดงถึงอีกส่วนหนึ่งของ Penrose diagram เมื่อพิจารณาการเดินทางจาก other universe ไปสู่ rotating black hole ที่มี $M > a$	47
รูปที่ 3.32 Penrose diagram อย่างสมบูรณ์ของ rotating black hole ที่มี $M > a$	48
รูปที่ 3.33 Penrose diagram ของ extreme Kerr black hole	49
รูปที่ 3.34 Penrose diagram ของ rotating black hole ที่มี $M < a$	49
รูปที่ 4.1 แสดงนิวเคลียสของดาวฤกษ์	51
รูปที่ 4.2 แสดงขั้นตอนต่าง ๆ ของการวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ไปเป็นหลุมดำ	52
รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งของ Cygnus x-1 ซึ่งคาดว่าเป็นหลุมดำ	55
รูปที่ 5.2 กาแล็กซี M87 ซึ่งคาดว่าบริเวณใจกลางเป็นหลุมดำ	56