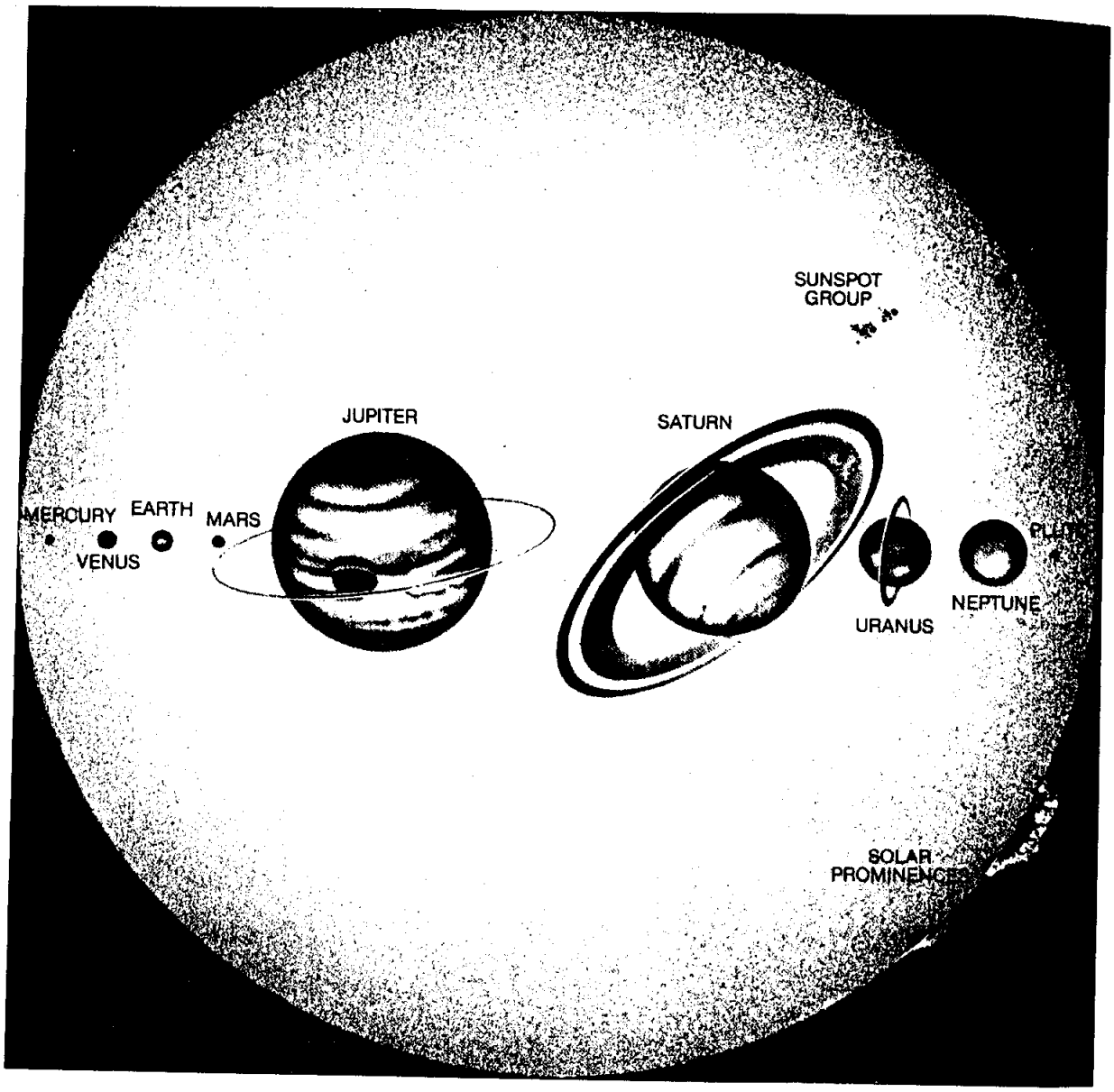
บทที่ 5
ระบบสุริยะ

5.1 การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์

นักดาราศาสตร์ชาวกรีกโบราณ เช่น **พลาโต** (Plato), **ยูดอกซัส** (Eudoxus), **อาริสโตเติล** (Aristotle) และ **พโทเลมี** (Ptolemy) ได้ตั้งทฤษฎีว่า โลกเป็นจุดศูนย์กลางของเอกภพ โดยมีดวงอาทิตย์, ดวงจันทร์, ดาวเคราะห์ และดาวฤกษ์ทุกดวงโคจรรอบโลก ลักษณะการโคจรที่มีโลกเป็นจุดศูนย์กลางของการโคจรเรียกว่า จีโอเซนทริก (geocentric) ทฤษฎีนี้เป็นที่เชื่อถือติดต่อกันมาเป็นเวลาประมาณเกือบสองพันปี ต่อมา **นิโคเลาส์ โคเพอร์นิคัส** (Nicolaus Copernicus, ค.ศ. 1473-1543) ได้เขียนลงในหนังสือชื่อ "De Revolutionibus Orbium Celestium" ในปี ค.ศ. 1543 โดยเสนอความคิดเห็นว่า ดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลางของเอกภพ โดยมีโลก, ดาวเคราะห์, ดาวฤกษ์ต่าง ๆ หมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงกลม ลักษณะของการโคจรที่มีดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลางของเอกภพ เรียกว่า เฮลิโอเซนทริก (heliocentric)

ไทโค บราเฮ (Tycho Brahe, ค.ศ. 1546-1601) ตลอดชีวิตของไทโค บราเฮ ได้สังเกตตำแหน่งของดาวเคราะห์, ดาวฤกษ์, ดวงอาทิตย์, ดวงจันทร์ อย่างละเอียด พบว่าทฤษฎีของพโทเลมีและโคเพอร์นิคัสเกี่ยวกับตำแหน่งของดาวเคราะห์ที่บอกไว้ยังขาดความแม่นยำอยู่มาก จากทฤษฎีของโคเพอร์นิคัสที่ว่า โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยมีดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลางนั้น ไทโค บราเฮได้พยายามหาค่าความคลาดตำแหน่งของดาวฤกษ์ต่าง ๆ *(ดูรายละเอียดในบทที่ 4)* แต่เขาไม่สามารถหาค่าความคลาดตำแหน่งของดาวฤกษ์ได้ เนื่องจากเครื่องมือที่เขาใช้วัดมีความละเอียดไม่เพียงพอ เขาจึงสรุปว่าทฤษฎีของโคเพอร์นิคัสไม่ถูกต้อง ในที่สุดไทโคให้ความเห็นว่า ดาวเคราะห์ทุกดวงเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ ยกเว้นโลก



รูปที่ 5.1 แสดงขนาดของดาวเคราะห์ต่าง ๆ เมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์

โจฮันเนส เคปเลอร์ (Johannes Kepler, ค.ศ. 1571-1630) ทำหน้าที่เป็นผู้ช่วยของไทโค บราเฮ เมื่อไทโค บราเฮเสียชีวิตในปี ค.ศ. 1601 ผลงานทั้งหมดที่ไทโค บราเฮบันทึกเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์บนท้องฟ้าได้มอบให้กับเคปเลอร์ เคปเลอร์ได้ทำการศึกษาอย่างละเอียดพบว่า ทฤษฎีของโคเพอร์นิคัสไม่สามารถทำนายตำแหน่งของดาวเคราะห์ได้ถูกต้องแม่นยำเมื่อเทียบกับตำแหน่งต่าง ๆ ของดาวเคราะห์ที่วัดโดยไทโค บราเฮ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1609 ถึง 1619 เคปเลอร์ได้ตั้งกฎเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ขึ้นมา 3 ข้อ คือ

กฎข้อที่ 1 "ดาวเคราะห์ทุกดวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี โดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่จุดโฟกัสจุดหนึ่งของรูปวงรี"

กฎข้อที่ 2 "เส้นตรงที่ลากเชื่อมระหว่างดาวเคราะห์และดวงอาทิตย์จะกวาดพื้นที่ในอวกาศเท่ากันในช่วงระยะเวลาเท่ากัน"

กฎข้อที่ 3 "คาบเวลาดาราคติของดาวเคราะห์ยกกำลังสองจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับระยะครึ่งแกนยาวของวงโคจรของดาวเคราะห์ (หรือระยะทางเฉลี่ยของดาวเคราะห์จากดวงอาทิตย์) ยกกำลังสาม"

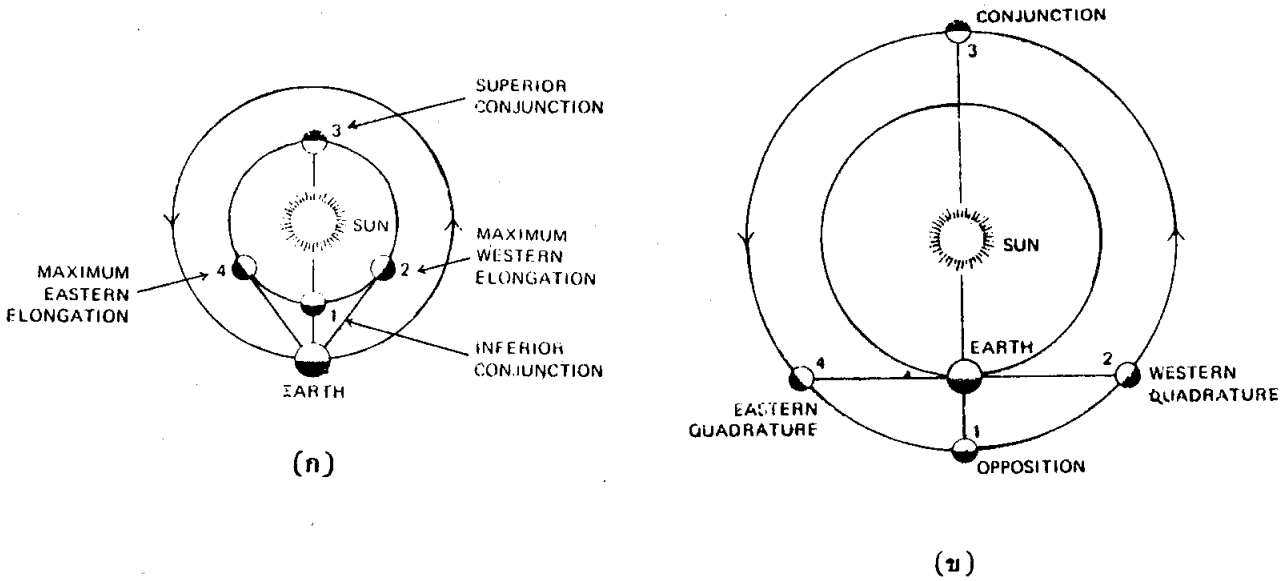
5.2 ดาวเคราะห์นอกและดาวเคราะห์ใน

การจำแนกดาวเคราะห์นักดาราศาสตร์แบ่งเป็น 3 วิธี ได้แก่ การจำแนกดาวเคราะห์ตามวงโคจร, มวล และขนาดของดาวเคราะห์ ในที่นี้ขอกล่าวถึงการจำแนกดาวเคราะห์ตามวงโคจรของดาวเคราะห์เพียงอย่างเดียว การจำแนกดาวเคราะห์ตามวงโคจรของดาวเคราะห์เราสามารถแบ่งดาวเคราะห์ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. **ดาวเคราะห์ใน** (inferior planets) ได้แก่ ดาวเคราะห์ที่รัศมีวงโคจรรอบดวงอาทิตย์น้อยกว่ารัศมีวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ได้แก่ ดาวพุธ (Mercury) และดาวศุกร์ (Venus)

2. **ดาวเคราะห์นอก** (superior planets) ได้แก่ ดาวเคราะห์ที่มีรัศมีวงโคจรรอบดวงอาทิตย์มากกว่ารัศมีวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ได้แก่ ดาวอังคาร (Mars), ดาวพฤหัส (Jupiter), ดาวเสาร์ (Saturn), ดาวยูเรนัส (Uranus), ดาวเนปจูน (Neptune) และดาวพลูโต (Pluto)

เนื่องจากความเร็วของดาวเคราะห์ในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด (ได้แก่ดาวพุธ) จะมีความเร็วมากที่สุด และดาวเคราะห์ที่อยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุด (ได้แก่ดาวพลูโต) จะมีความเร็วน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อสังเกตดาวเคราะห์จากโลกเราจึงเห็นดาวเคราะห์มีตำแหน่งต่าง ๆ *(รูปที่ 5.2)* ดังนี้



รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งของดาวเคราะห์ (ก) ดาวเคราะห์ใน (ข) ดาวเคราะห์นอก

ตำแหน่งร่วม (conjunction) คือ ตำแหน่งที่โลก, ดวงอาทิตย์ และดาวเคราะห์อยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน ตำแหน่งร่วมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

ก. ตำแหน่งร่วมนอก (superior conjunction) เกิดขึ้นเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ระหว่างดาวเคราะห์กับโลก ดาวเคราะห์ทุกดวงจะมีตำแหน่งร่วมนอกได้เสมอ

ข. ตำแหน่งร่วมใน (inferior conjunction) เกิดขึ้นเมื่อดาวเคราะห์อยู่ระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ดังนั้นดาวเคราะห์ที่จะมีตำแหน่งร่วมในได้จะต้องเป็นดาวเคราะห์ในเท่านั้น

ตำแหน่งตรงข้าม (opposition) หมายถึง ดาวเคราะห์ปรากฏอยู่ที่ตำแหน่งตรงข้ามกับดวงอาทิตย์ กล่าวคือโลก, ดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์อยู่บนเส้นตรงเดียวกัน โดยที่โลกอยู่ระหว่างดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์ ดังนั้นดาวเคราะห์ที่จะเกิดตำแหน่งตรงข้ามได้เฉพาะดาวเคราะห์นอกเท่านั้น

มุมตำแหน่งดาวเคราะห์ (elongation) หมายถึง มุมระหว่างดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์ (โดยทั่วไปได้แก่ ดาวศุกร์และดาวพุธ) หรือระหว่างดาวเคราะห์กับดาวบริวารของมันที่เห็นจากโลก เราสามารถอธิบายได้ง่าย ๆ ดังนี้ เป็นมุมที่เกิดจากเส้นตรงที่ลากจากโลกถึงดวงอาทิตย์กับเส้นตรงที่ลากจากดาวเคราะห์ถึงโลก ในกรณีที่ดาวเคราะห์ปรากฏที่ตำแหน่งร่วม ดาวเคราะห์จะมีค่ามุมตำแหน่งดาวเคราะห์เท่ากับ 0°, ถ้าดาวเคราะห์อยู่ที่ตำแหน่งตรงข้าม ดาวเคราะห์จะมีค่ามุมตำแหน่งดาวเคราะห์เท่ากับ 180° และสำหรับดาวเคราะห์ในจะมีค่ามุมตำแหน่ง

ดาวเคราะห์ตั้งแต่ 0° จนถึงค่ามุมตำแหน่งสูงสุด (ค่ามุมตำแหน่งสูงสุดขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของรัศมีวงโคจรของดาวเคราะห์ต่อรัศมีวงโคจรของโลก เช่น ค่ามุมตำแหน่งสูงสุดของดาวพุธ = 28° และของดาวศุกร์ = 48°)

ตำแหน่งมุมฉาก (quadrature) หมายถึง ค่ามุมตำแหน่งของดาวเคราะห์เท่ากับ 90° ดังนั้นดาวเคราะห์นอกเท่านั้นที่จะมีตำแหน่งมุมฉากได้ จากรูปที่ 5.2 (ข) ตำแหน่งมุมฉากมี 2 ชนิดคือ ตำแหน่งมุมฉากตะวันตก (western quadrature) กับ ตำแหน่งมุมฉากตะวันออก (eastern quadrature)

เมื่อดาวเคราะห์อยู่ที่ตำแหน่งร่วม ตำแหน่งของดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์จะปรากฏที่เดียวกันเมื่อสังเกตบนโลก

ถ้าดาวเคราะห์อยู่ที่ตำแหน่งตรงข้าม ตำแหน่งของดาวเคราะห์จะปรากฏตรงข้ามกับดวงอาทิตย์พอดี นั่นคือ เราจะสังเกตเห็นดาวเคราะห์ปรากฏบนเส้นเมริเดียนส่วนบนหรือเส้นเมริเดียนของผู้สังเกตเมื่อเวลาเที่ยงคืนปรากฏ

คาบเวลาซินนอดิก (Synodic period) หมายถึง ช่วงระยะเวลาของดาวเคราะห์อยู่ที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเมื่อเทียบกับโลกและดวงอาทิตย์ (เช่น ดาวเคราะห์, โลก และดวงอาทิตย์ ปรากฏอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน) แล้วโคจรกลับมาอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันกับที่เริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ดาวเคราะห์อยู่ที่ตำแหน่งร่วมในหรือตำแหน่งตรงข้าม ช่วงระยะเวลาที่ดาวเคราะห์โคจรกลับมาที่ตำแหน่งเดิมอีกครั้งหนึ่ง เรียกว่า คาบเวลาซินนอดิก การวัดคาบเวลาดาราคติของดาวเคราะห์มีความยุ่งยากมาก เพราะว่าโลกและดาวเคราะห์มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ในกรณีที่รู้คาบเวลาซินนอดิกของดาวเคราะห์ เราสามารถคำนวณหาคาบเวลาดาราคติของดาวเคราะห์ได้ โดยใช้สมการง่าย ๆ ดังนี้

สำหรับดาวเคราะห์ใน

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E}$$

สำหรับดาวเคราะห์นอก

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P}$$

..... (5.1)

เมื่อ S = คาบเวลาซินนอดิกของดาวเคราะห์

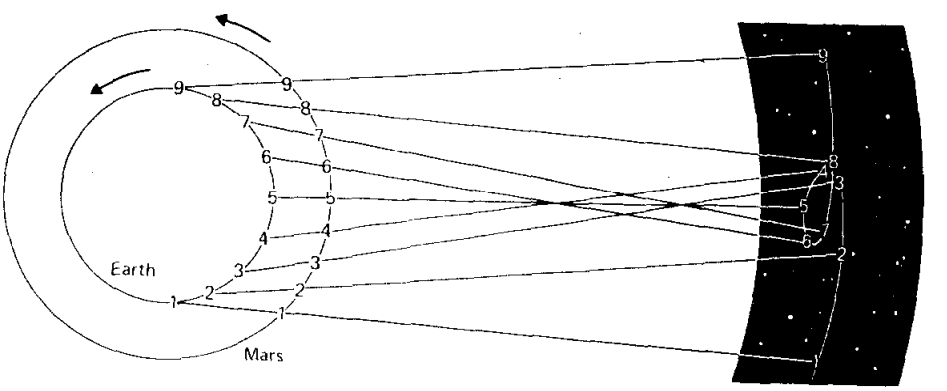
E = คาบเวลาดาราคติของโลก

P = คาบเวลาดาราคติของดาวเคราะห์

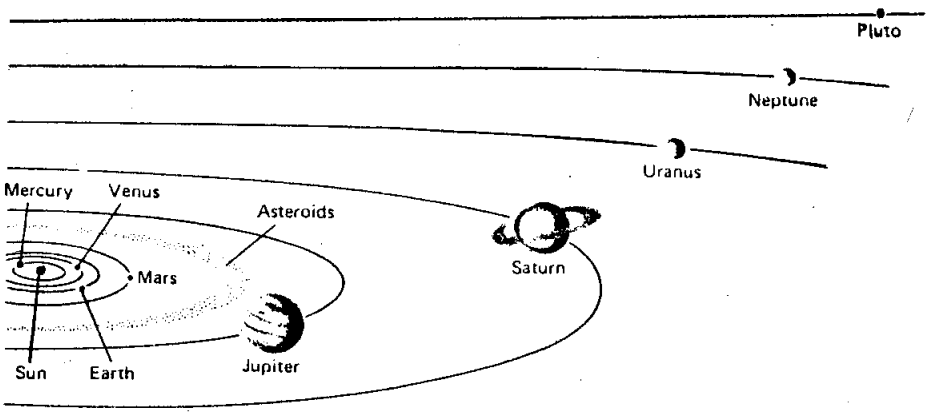
การเคลื่อนที่ถอยหลัง (retrograde motion) ดาวเคราะห์ทุกดวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ไปในทิศทางเดียวกัน ถ้ามองที่ขั้วเหนือของระนาบของเส้นสุริยวิถี ดาวเคราะห์โคจรไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา แต่ถ้าเรามองดูดาวเคราะห์บนท้องฟ้าทุก ๆ คืน เราจะสังเกตเห็นว่าตำแหน่งของดาวเคราะห์มีการเปลี่ยนแปลงทุกคืนเมื่อเทียบกับดาวฤกษ์ที่อยู่เบื้องหลัง บางขณะจะสังเกตเห็นเสมือนว่าดาวเคราะห์หยุดนิ่งเสร็จแล้วจะเคลื่อนที่ย้อนกลับไปทางทิศตะวันตกเป็นระยะเวลาหนึ่งแล้ว ดาวเคราะห์จะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกตามเดิม *(ดูรูปที่ 5.3)* การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ไปทางทิศตะวันออกเรียกว่า การเคลื่อนที่ปกติ (prograde motion) ส่วนการเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกหรือเคลื่อนที่ย้อนกลับเรียกว่า การเคลื่อนที่ถอยหลัง เช่น กรณีทางเดินปรากฏของดาวอังคาร ตามรูปที่ 5.3

5.3 ดาวเคราะห์

ระบบสุริยะประกอบด้วยดวงอาทิตย์, ดาวเคราะห์ 9 ดวง, ดาวบริวารของดาวเคราะห์, ดาวเคราะห์น้อย (asteroids), ดาวหาง (comets), อุกกาบาต (meteorites), ดาวตกหรือผีพุ่งไต้ (meteor) และสสารระหว่างดาวเคราะห์ (interplanetary materials) ในจำนวนดาวเคราะห์ทั้ง 9 ดวง, 6 ดวงแรกเป็นดาวเคราะห์ที่รู้จักตั้งแต่สมัยโบราณ ได้แก่ ดาวพุธ, ดาวศุกร์, โลก, ดาวอังคาร, ดาวพฤหัส และดาวเสาร์ ส่วนดาวเคราะห์อีก 3 ดวงเป็นดาวเคราะห์ที่ค้นพบภายหลังจากที่ได้มีการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์แล้ว ได้แก่ ดาวยูเรนัส, ดาวเนปจูน และดาวพลูโต

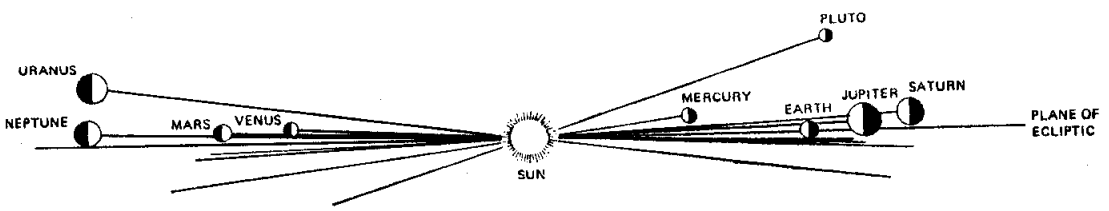


รูปที่ 5.3 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ถอยหลังของดาวอังคารเมื่อสังเกตจากโลก



รูปที่ 5.4 วงโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์

ดาวเคราะห์ทุกดวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรีโดยมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ยกเว้นดาวบริวารของดาวเคราะห์บางดวง เช่น ดาวบริวาร 4 ดวงรอบนอกของดาวพฤหัส, ดวงจันทร์ที่อยู่รอบนอกสุดของดาวเสาร์และดวงจันทร์ของดาวเนปจูน จะมีทิศทางในการโคจรรอบดาวเคราะห์เหล่านั้นจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก หรือมีทิศทางตามเข็มนาฬิกา การโคจรแบบนี้มีชื่อเรียกว่า วงโคจรถอยหลัง (retrograde orbit) รูปที่ 5.4 แสดงถึงการเรียงตัวของดาวเคราะห์ต่าง ๆ รอบดวงอาทิตย์ ดาวพุธอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด (ประมาณ 58 ล้านกิโลเมตร) และดาวพลูโตอยู่ไกลที่สุด (ประมาณ 6 พันล้านกิโลเมตร)



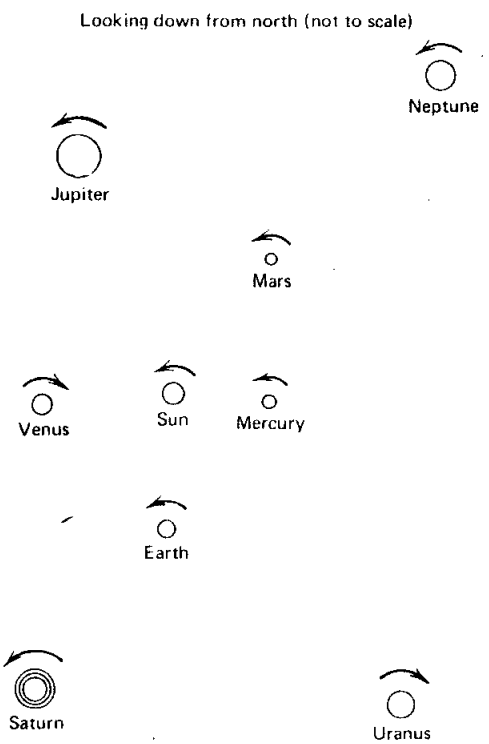
รูปที่ 5.5 ระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์เอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถีเท่ากับ 17 องศา (สำหรับดาวพลูโต) จนถึง 46 ลิปดา (สำหรับดาวเนปจูน)

ระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์เกือบอยู่ในระนาบเดียวกันกับระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์หรือระนาบของเส้นสุริยวิถี จากการศึกษาพบว่า ระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์เอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถีน้อยมาก (ยกเว้นระนาบวงโคจรของดาวพลูโต) ดังแสดง

ในรูปที่ 5.5 และมุมของความเอียงของระนาบวงโคจรของดาวพลูโตเอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถีมากที่สุดเท่ากับ 17° 09′ รองลงมาได้แก่ระนาบวงโคจรของดาวพุธซึ่งเอียงทำมุมเท่ากับ 7° ดาวเคราะห์นอกนั้นเอียงทำมุมน้อยกว่า 4°

ดาวเคราะห์ส่วนใหญ่จะมีการหมุนรอบตัวเองในทิศทางเดียวกันกับการโคจรรอบดวงอาทิตย์ โดยหมุนจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก (หรือทิศทางทวนเข็มนาฬิกา) แต่มีดาวเคราะห์บางดวง เช่น ดาวศุกร์และดาวยูเรนัส ที่มีทิศทางการหมุนรอบตัวเองสวนทางกับดาวเคราะห์อื่น ๆ โดยหมุนจากทางทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก (หรือทิศทางตามเข็มนาฬิกา) เราเรียกการหมุนรอบตัวเองชนิดนี้ว่า การหมุนรอบตัวเองถอยหลัง (retrograde axial rotation)

วงโคจรของดาวเคราะห์เกือบทุกดวงเป็นรูปวงรีค่อนข้างเกือบเป็นรูปวงกลม โดยดาวศุกร์มีค่าความรีเท่ากับ 0.007 ค่าความรีของดาวพลูโตเท่ากับ 0.249 ค่าความรีของดาวพุธเท่ากับ 0.206 นอกนั้นค่าความรีของดาวเคราะห์จะน้อยกว่า 0.1



รูปที่ 5.6 ดาวเคราะห์เกือบทุกดวงหมุนรอบตัวเองในทิศทางเดียวกัน ยกเว้นดาวศุกร์และดาวยูเรนัส

5.3.1 ดาวพุธ

ดาวพุธเป็นดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด ดาวพุธปรากฏให้เห็นเฉพาะตอนเช้าและตอนเย็นเท่านั้น โดยปรากฏก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นหรือหลังดวงอาทิตย์ตกประมาณครึ่งชั่วโมง เนื่องจากดาวพุธเคลื่อนที่เร็วมาก ดังนั้นนักดาราศาสตร์ชาวกรีกโบราณจึงให้ดาวพุธเป็นวัตถุที่ติดต่อกับเทพเจ้าเมอร์คิวรี (Mercury) ดาวพุธมีขนาดเล็กมากและอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มาก จึงทำให้การสังเกตและศึกษาดาวพุธมีความยากลำบาก ค่ามุมตำแหน่งดาวเคราะห์มากที่สุดเท่ากับ 28° มันปรากฏให้เราเห็นได้ด้วยตาเปล่าในช่วงระยะเวลาหนึ่งอาทิตย์หรือมากกว่าเล็กน้อย ถ้าตำแหน่งของมันปรากฏอยู่ใกล้กับมุมตำแหน่งดาวเคราะห์ตะวันออก มันจะปรากฏเหนือเส้นขอบฟ้าทางฟากฟ้าตะวันตกภายหลังจากที่ดวงอาทิตย์ตกลับหายไปจากเส้นขอบฟ้าแล้ว และในทำนองเดียวกันเมื่อมันปรากฏใกล้ตำแหน่งมุมตำแหน่งดาวเคราะห์ตะวันตก มันจะปรากฏเหนือเส้นขอบฟ้าทางฟากฟ้าตะวันออกก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ช่วงระยะเวลาที่มันปรากฏบนท้องฟ้าน้อยมาก ดังนั้นเราต้องค้นหามันในช่วงที่ยังเกิดแสงสนธยา (twilight) ดาวพุธมีขนาดเล็กมากและอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มาก จึงทำให้การสังเกตและการศึกษาดาวพุธมีความยากลำบากมาก

ก. วงโคจร

ดาวพุธโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรีโดยมีค่าความรีเท่ากับ 0.206 ซึ่งค่อนข้างเป็นรูปวงรีมาก ดังนั้นระยะทางห่างจากดวงอาทิตย์จึงแปรเปลี่ยนมากจาก 46 ล้านกิโลเมตรที่จุดเพริฮีเลียน (จุดที่ดาวเคราะห์อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด) ถึง 70 ล้านกิโลเมตรที่จุดแอฟีเลียน (จุดที่ดาวเคราะห์อยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุด) ระยะทางครึ่งแกนยาวหรือระยะทางเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 58 ล้านกิโลเมตร หรือ 0.38 เอยู ระนาบวงโคจรของดาวพุธรอบดวงอาทิตย์เอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถี (หรือระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์) เท่ากับ 7° ซึ่งมากกว่าระนาบของวงโคจรของดาวเคราะห์ทุกดวง ยกเว้นดาวพลูโต ดาวพุธเป็นดาวเคราะห์ที่เคลื่อนที่เร็วที่สุดในระบบสุริยะ ดังนั้นอัตราความเร็วในวงโคจร (orbital speed) มากที่สุดเฉลี่ยเท่ากับ 48 กิโลเมตรต่อวินาที คาบเวลาดาราคติประมาณ 88 วัน และคาบเวลาซินนอดิกประมาณ 116 วัน

ข. คุณสมบัติทางฟิสิกส์และโครงสร้าง

ดาวพุธไม่มีดาวบริวาร จากการคำนวณมวลของดาวพุธโดยยานอวกาศมาริเนอร์ – 10 โดยอาศัยการรบกวนในสนามโน้มถ่วงของดาวพุธที่มีอิทธิพลต่อยานอวกาศมาริเนอร์ – 10

พบว่ามวลของดาวพุธเป็น 1/18 ของมวลของโลก ดาวพุธเป็นดาวเคราะห์ที่มีมวลเกือบน้อยที่สุด รองจากดาวพลูโตที่มีมวลน้อยที่สุด ดาวพุธมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 4,880 กิโลเมตร เป็นครึ่งหนึ่งของโลก และความหนาแน่นเฉลี่ยของดาวพุธประมาณ 5.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าโลกเล็กน้อย (ความหนาแน่นของโลกเท่ากับ 5.52 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)

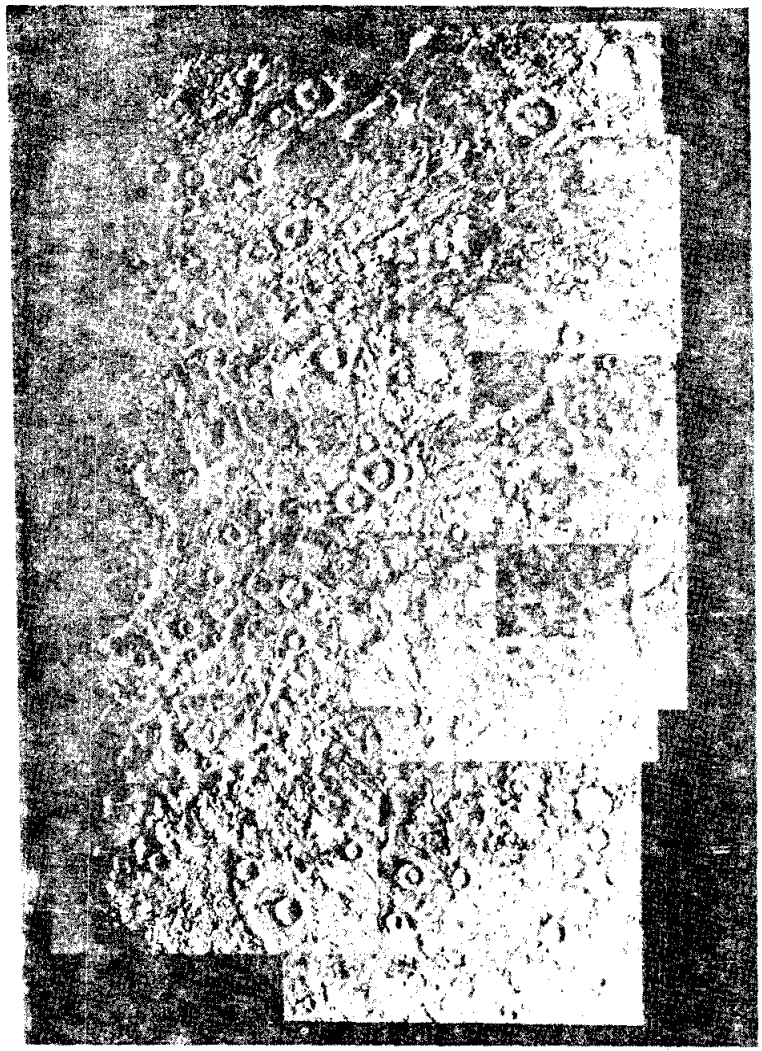
ถ้าดาวพุธประกอบด้วยธาตุต่าง ๆ เช่นเดียวกับโลก มันจะต้องไม่ถูกอัดแน่นจนตัวมันเองมีความหนาแน่นสูงมาก นักดาราศาสตร์เชื่อว่าดาวพุธมีธาตุเหล็กอุดมสมบูรณ์มากกว่าบนโลก บางทีมันอาจจะอยู่ในรูปของแกนเหล็กภายในดาวพุธ ดาวพุธอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ ดังนั้นจากทฤษฎีกำเนิดระบบสุริยะ (ได้แก่ ทฤษฎีเนบิวลาสุริยะ : solar nebula) ในการกำเนิดของดาวพุธจึงมีธาตุหนักมากกว่าที่ตำแหน่งการกำเนิด

ค. ภาพดาวพุธในกล้องโทรทรรศน์

ดาวพุธเหมือนดาวศุกร์ที่เป็นดาวเคราะห์ในทั้งคู่ มันหันครึ่งวงกลมเข้าหาเราตลอดเวลาในขณะที่มันโคจรรอบดวงอาทิตย์ ดังนั้นดาวพุธจึงแสดงการเกิดขึ้น-แรม (phase) เหมือนดวงจันทร์ การสลับการเกิดขึ้น-แรมของดาวพุธเป็นลักษณะเด่นเมื่อมองด้วยกล้องโทรทรรศน์ การสังเกตดาวพุธมีความยากลำบากมาก เนื่องจากมันอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มาก มักปรากฏใกล้เส้นขอบฟ้าภายหลังดวงอาทิตย์ตกหรือก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ แสงจากดาวพุธต้องผ่านชั้นบรรยากาศของโลกที่หนามาก (∵ อยู่ใกล้เส้นขอบฟ้า) ที่ซึ่งไม่เพียงแต่ทำให้ดาวเคราะห์มัวลงเท่านั้น แต่แสงจากวัตถุยังถูกบรรยากาศรบกวนด้วย ทำให้เกิดความยากลำบากเป็นพิเศษในการสังเกตวัตถุที่อยู่ใกล้เส้นขอบฟ้า เกือบทั้งหมดของการสังเกตดาวพุธด้วยกล้องโทรทรรศน์กระทำในตอนกลางวันเมื่อมันอยู่สูงบนท้องฟ้า เป็นที่โชคร้ายที่การสังเกตในช่วงเวลากลางวันนาน ๆ ครั้งสภาพแวดล้อมจะดี ถึงแม้ว่าผู้สังเกตบางท่านจะสามารถตรวจสอบพื้นที่มืดบนดาวพุธได้ ซึ่งบางสิ่งคล้ายกับมาเรีย (maria) บนดวงจันทร์ แต่การศึกษาบนโลกไม่เคยปรากฏให้รายละเอียดบนพื้นผิวของดาวพุธ

ง. การหมุนรอบตัวเอง

จากการสังเกตการหมุนรอบตัวเองของดาวพุธด้วยคลื่นเรดาร์ในตอนกลางปี ค.ศ. 1960 แสดงให้เห็นว่าคาบเวลาดาราคติของการหมุนรอบตัวเองของดาวพุธ (เมื่อเทียบกับดาวฤกษ์ที่อยู่เบื้องหลัง) มีค่าเท่ากับ 58.65 วัน **จี. โคลอมโบ** (G. Colombo) เป็นคนแรกที่ชี้ให้เห็นว่าดาวพุธหมุนรอบตัวเองครบสามรอบ มันจะโคจรรอบดวงอาทิตย์ครบสองรอบ ดาวพุธหมุนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาโดยหมุนรอบแกนสมมติที่เกือบตั้งฉากกับระนาบวงโคจรของมัน



รูปที่ 5.7 แสดงพื้นผิวของดาวพุธที่ระยะสูงประมาณ 1,300 กิโลเมตร จะเห็นว่าพื้นผิวเต็มไปด้วยหลุมเหมือนพื้นผิวของดวงจันทร์

จ. อุณหภูมิ

จากการวัดอุณหภูมิโดยยานอวกาศมาริเนอร์ – 10 พบว่าอุณหภูมิบนพื้นผิวของดาวพุธมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ที่เวลาเที่ยงวันอุณหภูมิสูงถึง 700 เคลวิน (องศาเคลวิน = 273 + องศาเซลเซียส) ภายหลังจากดวงอาทิตย์ตกลับหายไปแล้ว อุณหภูมิจะลดลงอย่างรวดเร็วเหลือประมาณ 150 เคลวิน และลดลงต่อไปอย่างช้า ๆ จนถึงประมาณ 100 เคลวินที่เที่ยงคืน จากการศึกษาข้อมูลจากยานอวกาศมาริเนอร์ – 10 พบว่าอุณหภูมิก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นประมาณ 90 เคลวิน

ฉ. บรรยากาศ

ดาวพุธไม่มีบรรยากาศห่อหุ้มเนื่องจากการที่พื้นผิวถูกแสงแดดเผามากและมีค่าความเร็วของการผละหนี (escape velocity : *โปรดดูรายละเอียดในบทที่ 9*) ต่ำ จากหลักฐานที่ยานอวกาศมาริเนอร์ – 10 ส่งมาไม่พบบรรยากาศที่ถาวรบนดาวพุธ พบแต่กลุ่มแก๊สไฮโดรเจนที่บางมาก ๆ รอบดาวพุธ ความกดดันของแก๊สที่ใกล้พื้นผิวน้อยกว่า 10^{-7} ของบรรยากาศของโลก ซึ่งเราจะสามารถละทิ้งไปได้

การที่มีแก๊สไฮโดรเจนเบาบางอาจจะเกิดจากปฏิกิริยาของดาวเคราะห์กับลมสุริยะ มีข้อมูลที่น่าสนใจมากที่ส่งมาจากยานอวกาศมาริเนอร์ – 10 คือ การค้นพบสนามแม่เหล็กบนดาวพุธซึ่งมีความเข้ม 1 ถึง 2×10^{-3} เกาส์ อ่อนกว่าสนามแม่เหล็กบนโลกหลายร้อยเท่า อย่างไรก็ตาม มันยังมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของไอออนในลมสุริยะ ทฤษฎีเกี่ยวกับสนามแม่เหล็กของดาวเคราะห์เชื่อว่าเกิดจากแกนภายในของดาวเคราะห์หมุนรอบตัวเองอย่างรวดเร็ว สำหรับดาวพุธนักดาราศาสตร์เชื่อว่า แกนภายในคงจะประกอบด้วยธาตุเหล็กที่ร้อนระอุและมีส่วนเหลวไหลวนรอบแกนที่แข็ง

ช. พื้นผิวของดาวพุธ

จากภาพถ่ายครั้งแรกของยานอวกาศมาริเนอร์ – 10 เมื่อวันที่ 29 มีนาคม ค.ศ. 1974 ที่ระดับความสูง 9,500 กิโลเมตรจากพื้นผิวของดาวพุธที่อัตราความเร็วประมาณ 11 กิโลเมตรต่อวินาที ได้ส่งภาพถ่ายมากกว่า 2,000 ภาพกลับสู่โลก

พื้นผิวของดาวพุธปรากฏเต็มไปด้วยหลุมคล้ายกับดวงจันทร์ จากภาพถ่ายแสดงให้เห็นรอยมากมายและพื้นที่ราบกว้างเหมือนกับที่ราบบนดวงจันทร์ (lunar mare) หลุมมักจะล้อมรอบด้วยหลุมทุติยภูมิ เนื่องจากการชนครั้งแรกของอุกกาบาตทำให้เกิดหลุมแล้วกระเด็นตกลงข้าง ๆ ทำให้เกิดหลุมทุติยภูมิเล็ก ๆ ขึ้นมา หลุมบางหลุมมีทางสว่างแผ่กระจายออกโดยรอบเช่นเดียวกับหลุมบางหลุมบนดวงจันทร์ พื้นผิวของดาวพุธบางแห่งเกิดการแยกทำให้เกิดเป็นหน้าผา เรียกว่า สคาพส์ (scarps) ซึ่งมีความลึกหลายร้อยเมตรจนถึงสามกิโลเมตร หน้าผาเหล่านี้ยาวหลายร้อยกิโลเมตร นักดาราศาสตร์เชื่อว่าเปลือกเหล่านี้เกิดจากการแยกเนื่องมาจากการหดตัวเล็กน้อยของแกนภายในดาวพุธ

5.3.2 ดาวศุกร์

ดาวศุกร์หรือวีนัส (Venus) เป็นชื่อเทพธิดาแห่งความงามและความรัก บางครั้งมีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า **"น้องสาวของโลก"** ทั้งนี้เนื่องจากการเหมือนกันมากในมวลและขนาดของ

ดาวเคราะห์ทั้งสอง ดาวศุกร์เป็นเทห์ฟากฟ้าที่สวยงามบนท้องฟ้า ความสว่างของมันเป็นอันดับสามรองจากดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ ดาวศุกร์ปรากฏที่ขอบฟ้าทางฟากฟ้าตะวันออกในตอนย่ำรุ่งมีชื่อเรียกว่า ดาวกัลปพฤกษ์หรือดาวประกายพรึก และเมื่อปรากฏในตอนเย็นทางขอบฟ้าทางฟากฟ้าตะวันตกมีชื่อเรียกว่า ดาวประจำเมือง

ก. วงโคจร

ดาวศุกร์เป็นดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุดในบรรดาดาวเคราะห์ทั้งหมดในระบบสุริยะ ที่ระยะใกล้ที่สุดดาวศุกร์อยู่ห่างจากโลกเพียง 40 ล้านกิโลเมตร ดาวศุกร์เหมือนดาวพุธกล่าวคือ มันเป็นดาวเคราะห์ใน ค่ามุมตำแหน่งดาวเคราะห์มากที่สุดเท่ากับ 48° ดังนั้นมันจึงปรากฏให้เห็นเฉพาะตอนเช้าก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นและตอนเย็นหลังจากดวงอาทิตย์ตกลับหายจากเส้นขอบฟ้าแล้ว เราสามารถมองเห็นดาวศุกร์ได้นานกว่าดาวพุธมาก

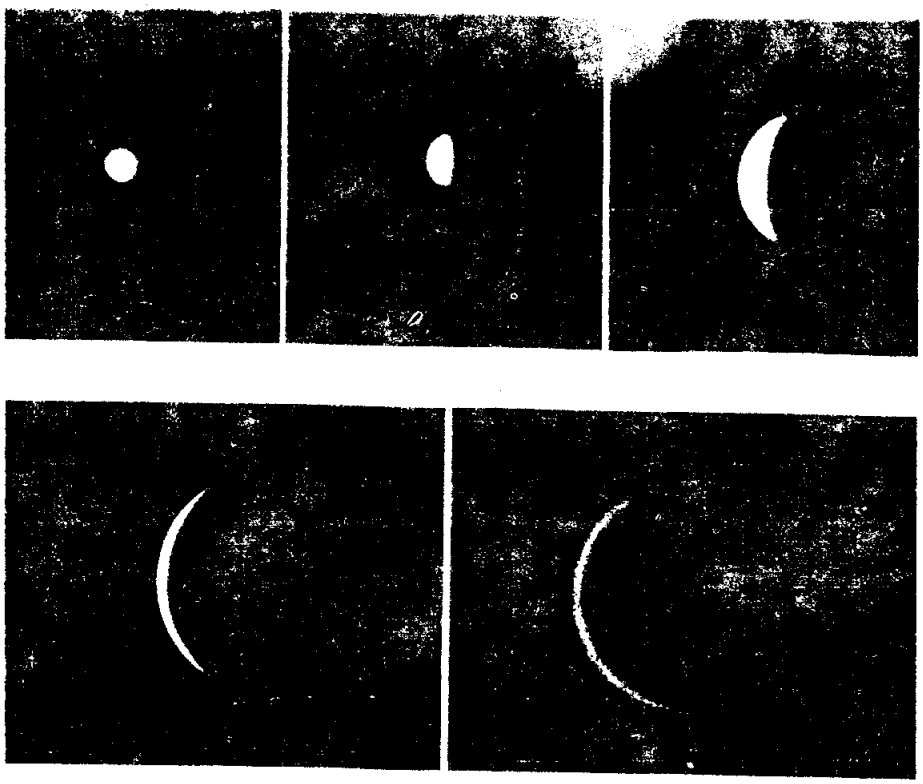
ดาวศุกร์มีระยะทางเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์ 108 ล้านกิโลเมตร วงโคจรเป็นรูปวงรีเกือบเป็นรูปวงกลม โดยมีค่าความรีเท่ากับ 0.007 ระยะทางที่ใกล้และไกลจากดวงอาทิตย์มากที่สุดแตกต่างกันเพียง 1.5 ล้านกิโลเมตร ระนาบวงโคจรของดาวศุกร์เอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถี 3° 24′ ใช้เวลาในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ 225 วัน ดาวศุกร์เคลื่อนที่ในวงโคจรด้วยความเร็วเฉลี่ยประมาณ 35 กิโลเมตรต่อวินาที

ข. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

ดาวศุกร์เหมือนกับดาวพุธที่ไม่มีดาวบริวาร ดาวศุกร์มักจะถูกเรียกเป็น **ดาวคู่แฝดของโลก** เนื่องจากคุณสมบัติทางด้านฟิสิกส์โดยทั่ว ๆ ไปมีความคล้ายคลึงกับโลกมาก จากการวัดมวลของดาวศุกร์ที่ส่งแรงไปรบกวนยานอวกาศโดยเฉพาะยานโคจรไพโอเนียร์ (pioneer venus orbiter) พบว่าดาวศุกร์มีมวล 0.82 เท่าของมวลของโลก และมีรัศมีเฉลี่ย (ที่สอดคล้องกับพื้นผิวที่เป็นของแข็งของดาวศุกร์) เท่ากับ 6,051.4 กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าโลกเพียงประมาณ 300 กิโลเมตรเท่านั้น ความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 5.2 เท่าของน้ำ ความเร็วของการผละหนีประมาณเท่ากับ 10.46 กิโลเมตรต่อวินาที (สำหรับของโลกประมาณเท่ากับ 11.2 กิโลเมตรต่อวินาที)

ค. ภาพดาวศุกร์ในกล้องโทรทรรศน์

กาลิเลโอ เป็นนักวิทยาศาสตร์คนแรกที่ใช้กล้องโทรทรรศน์ส่องดูดาวศุกร์ เขาพบว่าภาพของดาวศุกร์มีลักษณะเป็นเสี้ยวเหมือนกับการเกิดขึ้น-แรมของดวงจันทร์ของเรา และขนาดของภาพไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวศุกร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.8 ทำให้กาลิเลโอเชื่อว่าดาวศุกร์โคจรรอบดวงอาทิตย์โดยที่ดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลางของดาวเคราะห์ทุกดวง และ



รูปที่ 5.8 ภาพของดาวศุกร์ในมาตราส่วนเดียวกัน ภาพดาวศุกร์สว่างเต็มดวงจะมีขนาดเล็ก เนื่องจากอยู่ห่างไกลจากโลกมาก และภาพดาวศุกร์ปรากฏเป็นเสี้ยวเมื่ออยู่ใกล้โลก

เชื่อว่ารูปแบบเอกภพของโคเพอร์นิคัสถูกต้อง จากรูปที่ 5.9 ดาวศุกร์เป็นดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุด เมื่อดาวศุกร์อยู่ที่ตำแหน่งร่วมใน (หรืออยู่ใกล้โลกมากที่สุด) โดยห่างจากโลก 40 ล้านกิโลเมตร และที่ตำแหน่งร่วมนอก (หรืออยู่ห่างจากโลกมากที่สุด) มีระยะห่างจากโลก 257 ล้านกิโลเมตร เนื่องจากระยะทางที่ดาวศุกร์อยู่ห่างจากโลกมีความแตกต่างกันมาก เมื่อดาวศุกร์อยู่ที่ตำแหน่งร่วมนอกภาพของดาวศุกร์มีขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางเชิงมุมประมาณ 10 นิ้ว ในขณะที่ดาวศุกร์ปรากฏที่ตำแหน่งร่วมใน ภาพของดาวศุกร์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเชิงมุมประมาณ 64 นิ้ว แต่เราไม่สามารถมองเห็นได้ เพราะว่าเป็นตำแหน่งที่ดาวศุกร์มืดมิดทั้งดวง ดาวศุกร์มีความสว่างสุกใสมากที่สุดเมื่อมันปรากฏเป็นเสี้ยว โดยมีค่ามุมตำแหน่งดาวเคราะห์ประมาณ 39° ที่ตำแหน่งนี้ดาวศุกร์ปรากฏประมาณ 36 วันก่อนและหลังจากที่ดาวศุกร์อยู่ที่ตำแหน่งร่วมใน

เราไม่สามารถมองเห็นพื้นผิวของดาวศุกร์ได้ เนื่องจากมันถูกปกคลุมด้วยบรรยากาศกลุ่มเมฆที่มีความหนาแน่นมาก ๆ บรรยากาศเหล่านี้สะท้อนแสงอาทิตย์ได้ดีมาก จากการวัดค่าอัตราส่วนสะท้อน (albedo : เป็นค่าอัตราส่วนของแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนดาวเคราะห์ หรือดาวเคราะห์น้อยต่อแสงอาทิตย์ที่สะท้อนออกมา) ของดาวศุกร์ พบว่าแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบสู่ดาวศุกร์จะถูกสะท้อนกลับออกมามากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงทำให้ดาวศุกร์มีความสุกสว่างมาก

ง. การหมุนรอบตัวเอง

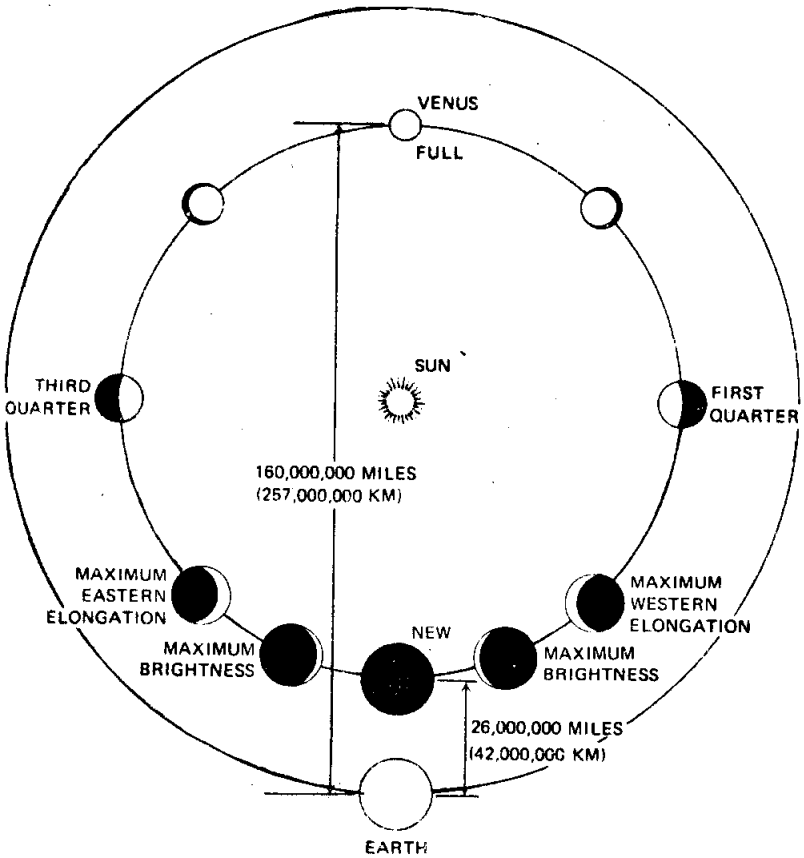
จากการวัดการหมุนรอบตัวเองของดาวศุกร์โดยใช้คลื่นเรดาร์ในต้นปี ค.ศ. 1960 ทำให้นักดาราศาสตร์มีความประหลาดใจเป็นอย่างมากที่ดาวศุกร์หมุนรอบตัวเองในทิศทางจากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก (หรือหมุนตามเข็มนาฬิกา) ซึ่งเป็นทิศทางตรงข้ามกับการหมุนรอบตัวเองของดาวเคราะห์ทั้งหมด คาบเวลาของการหมุนรอบตัวเองประมาณ 243 วัน คาบเวลาดาราคติประมาณ 225 วัน และคาบเวลาซินนอดิกประมาณ 584 วัน จะเห็นได้ว่าคาบเวลาดาราคติกับคาบเวลาในการหมุนรอบตัวเองเกือบเท่ากัน ดังนั้นดาวศุกร์จึงหันด้านหนึ่งเข้าหาดวงอาทิตย์เกือบตลอดเวลา โดยด้านที่มืดจะค่อย ๆ หันเข้าหาดวงอาทิตย์อย่างช้า ๆ

เนื่องจากดาวศุกร์มีการหมุนรอบตัวเองช้ามาก นักดาราศาสตร์คาดว่าสนามแม่เหล็กบนดาวศุกร์อ่อนมาก ๆ จากการวัดสนามแม่เหล็กจากยานอวกาศที่ส่งไปยังดาวศุกร์ไม่พบสนามแม่เหล็กบนดาวศุกร์ และเนื่องจากอัตราการหมุนรอบตัวเองต่ำมาก ดังนั้นค่าความแป้น (oblateness) ของดาวศุกร์จึงน้อยกว่าโลกหนึ่งร้อยเท่า

จ. อุณหภูมิ

เราอาจจะคิดว่าดาวพุธซึ่งอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดควรจะเป็นดาวเคราะห์ที่ร้อนที่สุดในระบบสุริยะ แต่ความจริงแล้วดาวศุกร์เป็นดาวเคราะห์ที่ร้อนที่สุดในระบบสุริยะ อุณหภูมิที่พื้นผิวมากกว่า 700 เคลวิน การที่ดาวศุกร์มีอุณหภูมิสูงมากเนื่องจากบรรยากาศบนดาวศุกร์หนาแน่นมาก ๆ ส่วนใหญ่ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อรังสีสุริยะในช่วงที่แสงมองเห็นได้และใกล้อินฟราเรด บางส่วนสามารถผ่านชั้นบรรยากาศของดาวศุกร์เข้าสู่พื้นผิวของดาวศุกร์ รังสีเหล่านี้ไม่สามารถสะท้อนกลับออกไปสู่อวกาศได้ เนื่องจากบรรยากาศของดาวศุกร์กั้นไว้ เรียกว่า ผลกรีนเฮ้าส์ (green house effect) จึงทำให้บริเวณพื้นผิวของดาวศุกร์มีอุณหภูมิสูงมาก

จากการวัดรังสีอินฟราเรดที่ส่งออกมาจากดาวศุกร์บนโลก พบว่าอุณหภูมิเกือบคงที่จากกลางวันไปสู่กลางคืน คือ 230 ถึง 240 เคลวิน อุณหภูมินี้ตรงกับระดับความสูงในชั้น



รูปที่ 5.9 ตำแหน่งต่าง ๆ ของดาวศุกร์ที่เมื่อมองจากโลกจะเห็นลักษณะเป็นเสี้ยวเช่นเดียวกับดวงจันทร์

บรรยากาศของดาวศุกร์ที่ซึ่งรังสีได้แผ่ออกมาจากแก๊สในกลุ่มเมฆที่สามารถหนีออกสู่อวกาศได้ ก่อนที่จะมีการส่งยานอวกาศเข้าสู่ดาวศุกร์ได้มีการวัดคลื่นวิทยุที่ส่งออกมาจากดาวศุกร์ คลื่นวิทยุเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า พื้นผิวของดาวศุกร์มีความร้อนมาก ๆ ซึ่งสูงถึง 730 เคลวิน (450°C หรือ 850°F) อุณหภูมิที่สูงของพื้นผิวของดาวศุกร์ได้รับการยืนยันว่าเป็นจริงจากยานอวกาศหลายลำที่ถูกส่งไปยังดาวเคราะห์ดวงนี้

ฉ. บรรยากาศ

จากโลกเราเห็นแสงสะท้อนจากกลุ่มเมฆชั้นบนซึ่งสูงประมาณ 60 กิโลเมตรจากพื้นผิว ที่ชั้นนี้อุณหภูมิเย็นมาก (เมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่พื้นผิว) โดยมีอุณหภูมิ 230 ถึง 240 เคลวิน กลุ่มเมฆชั้นบนเหล่านี้แยกออกเป็นสองชั้นอย่างชัดเจน ชั้นแรกหนา 12 กิโลเมตร ประกอบด้วยหยดของกรดกำมะถันเกือบทั้งหมด ใต้จากชั้นนี้เป็นกลุ่มเมฆดำหนาประมาณ 4 ถึง 5 กิโลเมตร ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกำมะถันแข็งและเหลวผสมเข้าด้วยกันกับกำมะถันไดออกไซด์ซึ่ง

ปกคลุมดาวศุกร์อย่างหนาแน่นจนทำให้ดาวศุกร์ดูลึกลับ จนกระทั่งยานอวกาศไพโอเนียร์ได้ฝ่าชั้นบรรยากาศนี้ลงไปและได้ถ่ายภาพดาวศุกร์ส่งกลับโลก ถัดจากชั้นนี้เป็นหมอกจนกระทั่งถึงระดับความสูงประมาณ 32 กิโลเมตรจากพื้นผิว ต่ำจากชั้นหมอกนี้จะเป็นบรรยากาศที่แจ่มใสจนถึงพื้นผิว

ยานอวกาศของสหรัฐอเมริกาและของรัสเซียพบแสงเป็นจำนวนมากมายเกือบคงที่ในกึ่งกลางชั้นบรรยากาศของดาวศุกร์ แสงเหล่านี้ไม่ใช่แสงฟ้าแลบและฟ้าร้องที่เกิดจากพายุเหมือนบนโลก แต่เป็นผลจากกระแสไฟฟ้าหรือสารกัมมันตภาพเคมี ซึ่งเรายังไม่สามารถเข้าใจได้โดยตลอด

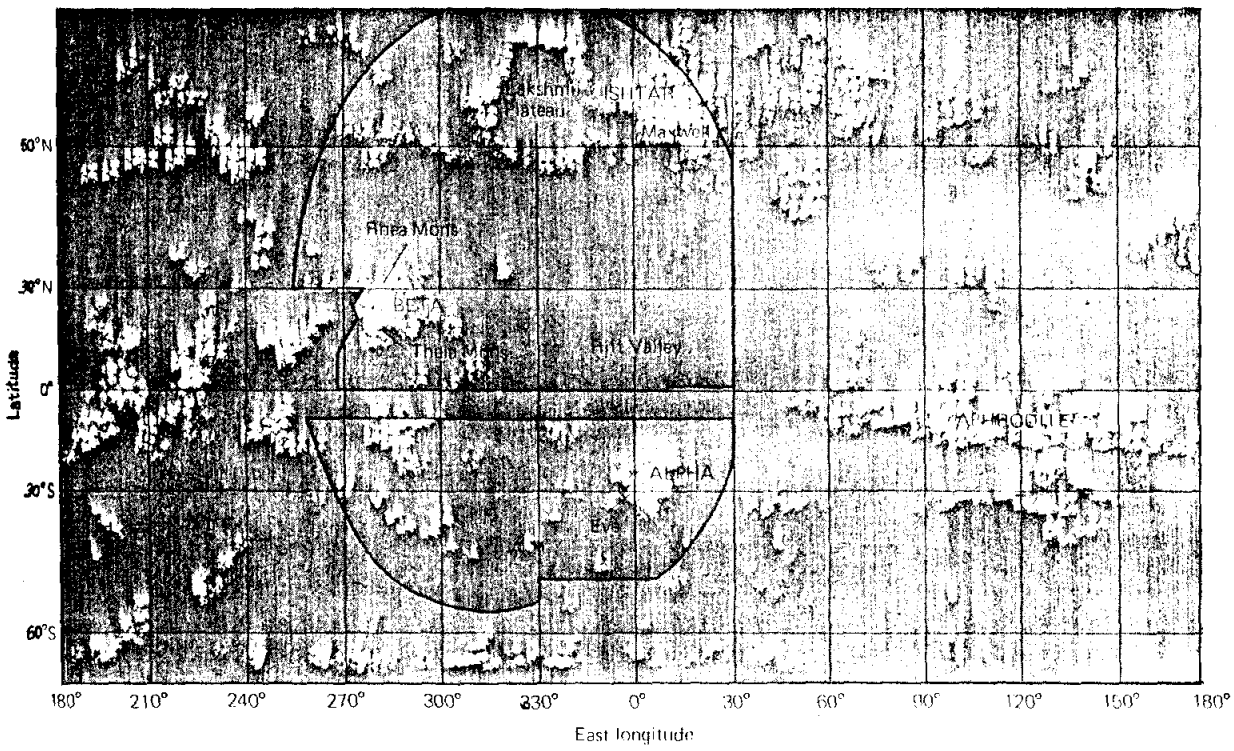
ในปี ค.ศ. 1932 นักดาราศาสตร์ค้นพบแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการวิเคราะห์เส้นสเปกตรัมจากแสงที่มาจากดาวศุกร์ และจากข้อมูลของยานอวกาศไพโอเนียร์ส่งกลับมาบนโลกยืนยันว่า บรรยากาศของดาวศุกร์มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นจำนวนมากถึง 96% ที่เหลือเป็นแก๊สไนโตรเจน 3.4% นอกนั้นเป็นแก๊สออกซิเจน, คาร์บอนมอนอกไซด์, อาร์กอน, นีออน, ไอน้ำ ยังมีสารประกอบอื่น ๆ อีก เช่น กรดเกลือ, กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) และกรดกำมะถัน การที่บรรยากาศส่วนใหญ่ประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ จึงทำให้ความกดดันบนดาวศุกร์สูงมากประมาณ 90 เท่าบนพื้นผิวโลกที่ระดับน้ำทะเล ความชื้นต่ำมากประมาณ 0.01%

การค้นพบธาตุอาร์กอนในบรรยากาศของดาวศุกร์ทำให้นักดาราศาสตร์มีความฉงนมาก บนโลกไอโซโทปของธาตุอาร์กอนส่วนมากอยู่ในรูปของอาร์กอน – 40 ซึ่งได้จากการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสีโพแทสเซียม – 40 แต่บนดาวศุกร์ไอโซโทปของธาตุอาร์กอนคือ 36 ซึ่งหาได้ยากมาก ๆ บนโลก นักดาราศาสตร์คาดว่า ธาตุอาร์กอนเป็นธาตุดั้งเดิมที่มีอยู่ในเนบิวลาสุริยะจากการกำเนิดของดาวเคราะห์ แต่ทำไมจึงไม่ค่อยมีบนโลก ? มันอาจจะถูกกักไว้ภายในของโลก ซึ่งเราไม่สามารถอธิบายได้ในปัจจุบันนี้ การที่ยานอวกาศไพโอเนียร์ค้นพบธาตุอาร์กอน – 36 นั้น เป็นสิ่งที่นอกเหนือจากความคาดหมายไว้

พื้นผิวดาวศุกร์ไม่มีน้ำ นักดาราศาสตร์เดาว่ามันหมุนเวียนอยู่ในชั้นบนของบรรยากาศ รังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์จะไปทำให้น้ำเกิดการแยกสลายกลายเป็นแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งมันจะหนีออกจากดาวศุกร์อย่างง่ายดาย และออกซิเจนซึ่งเป็นสารกัมมันตเคมีเพียงพอที่จะไปรวมกับธาตุอื่น ๆ กลายเป็นสารประกอบอื่น ๆ อาจจะเป็นไปได้ที่จะคิดว่าสารประกอบไฮเดรต (hydrate : เป็นสารประกอบเคมีที่มีน้ำ) ไม่ได้เป็นสารประกอบธรรมดาที่มีอยู่บนดาวศุกร์ที่ถูกเพิ่มขึ้นมา จากกรณีเหล่านี้จึงทำให้ไม่มีน้ำบนดาวศุกร์

ข. พื้นผิวของดาวศุกร์

วันที่ 22 และ 25 ตุลาคม ค.ศ. 1975 ยานอวกาศของรัสเซีย, วีเนอรา – 9 และ 10 ได้จอดลงบนดาวศุกร์ที่บริเวณต่างกันสองแห่ง กล้องโทรทรรศน์ของยานอวกาศแต่ละลำได้ถ่ายภาพและส่งกลับมายังโลกแสดงถึงพื้นผิวเป็นหิน บริเวณที่ยานอวกาศวีเนอรา – 9 ลงจอด เป็นบริเวณที่หินมีลักษณะเป็นขอบคมและมีหลายมุมมากกว่าที่คาดว่ามันเกิดจากการสึกกร่อน เป็นที่แน่ชัดว่ามันอาจจะเพิ่งเกิดใหม่ไม่นานนัก อาจจะเป็นบริเณภูเขาไฟก็ได้ ยานอวกาศวีเนอรา – 10 ลงจอดห่างออกไป 2,000 กิโลเมตร หินมีลักษณะแบน, กลมและถูกกัดกร่อน นักวิทยาศาสตร์ชาวโซเวียตคาดว่าทั้งสองบริเวณเป็นภูเขาไฟใหม่และเก่า ยานอวกาศวีเนอราได้วัดความเร็วลมบนดาวศุกร์พบว่า อัตราความเร็วของลมต่ำมาก มีเพียง 1 ถึง 4 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แสดงว่ากระแสลมในบรรยากาศบนดาวศุกร์หยุดนิ่ง



รูปที่ 5.10 แผนที่ดาวศุกร์ได้จากการสังเกตจากยานอวกาศไพโอเนียร์ที่โคจรรอบ ๆ ดาวศุกร์ โดยใช้คลื่นเรดาร์ รูปไข่เป็นบริเวณพื้นผิวดาวศุกร์ที่ถูกสำรวจโดยคลื่นเรดาร์จากอาร์ซิโบ ในประเทศเปอร์โตริโก

ดาวศุกร์มีบรรยากาศที่หนาแน่นมาก จนเราไม่สามารถใช้ทัศนอุปกรณ์ใด ๆ ส่องเห็นพื้นผิวของดาวศุกร์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม เราสามารถสังเกตเห็นพื้นผิวของดาวศุกร์ได้ด้วยคลื่นเรดาร์ ซึ่งเป็นคลื่นวิทยุที่สามารถทะลุผ่านชั้นบรรยากาศของดาวศุกร์ ข้อมูลจากคลื่นเรดาร์ของเราที่ดีที่สุดมาจากสองแหล่ง ดังแสดงในรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11

รูปที่ 5.11 ภาพดาวศุกร์โดยคลื่นเรดาร์จากโทรทรรศน์วิทยุที่ใหญ่ที่สุดในโลกที่อาร์ซิโบ ในประเทศเปอร์โตริโก

แหล่งกำเนิดคลื่นเรดาร์แหล่งที่หนึ่งอยู่บนโลก โดยใช้โทรทรรศน์วิทยุที่ใหญ่ที่สุดในโลกที่อาร์ซิโบ (Arecibo) ในประเทศเปอร์โตริโก จานของโทรทรรศน์วิทยุนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 ฟุต อย่างไรก็ตาม การใช้คลื่นเรดาร์ที่ส่งจากโลกมีข้อจำกัดอย่างมาก คือ ดาวศุกร์จะต้องอยู่ใกล้โลกมากที่สุด (หรือดาวศุกร์ต้องปรากฏที่ตำแหน่งร่วมใน) และโทรทรรศน์วิทยุที่

อาร์ซิโบไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ *(ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 7.4)* ทำให้เรามีเวลาสังเกตพื้นผิวของดาวศุกร์เพียงสองสามเดือน และสังเกตเห็นพื้นผิวของดาวศุกร์เพียงบางส่วนเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 5.11

แหล่งข้อมูลจากคลื่นเรดาร์อีกแหล่งหนึ่งมาจากยานอวกาศไพโอเนียร์ที่โคจรรอบ ๆ ดาวศุกร์ ซึ่งยานอวกาศไพโอเนียร์สามารถสร้างแผนที่ดาวศุกร์ได้ถึง 93% ของพื้นผิวของดาวศุกร์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 5.10

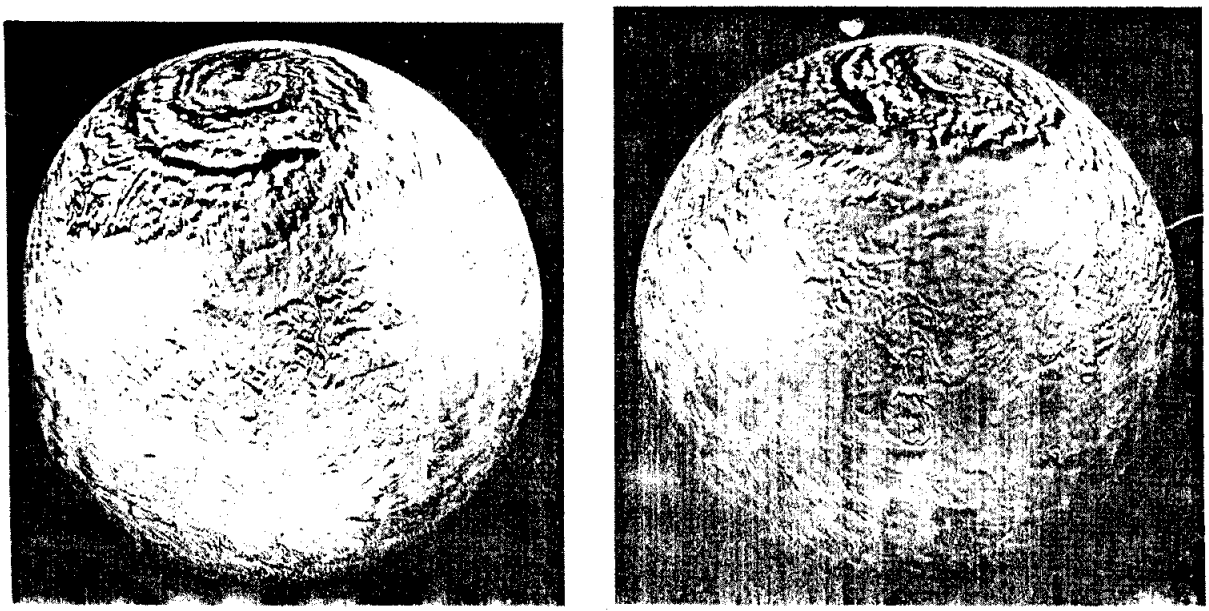
ข้อมูลจากคลื่นเรดาร์พบว่า พื้นผิวส่วนใหญ่เป็นที่ราบ จึงทำให้ดาวศุกร์เป็นพื้นผิวทรงกลมเรียบมีรัศมีเฉลี่ย 6,051.4 กิโลเมตร ประมาณ 60% ของพื้นผิวอยู่ในช่วง ± 5 เมตรของรัศมีเฉลี่ยของดาวศุกร์ และมีเพียง 5% ที่สูงมากกว่า 2 กิโลเมตร ความสูงสูงที่สุดและความลึกมากที่สุดจากจุดศูนย์กลางของดาวศุกร์มีค่าเท่ากับ 6,062 กิโลเมตร และ 6,049.5 กิโลเมตร ตามลำดับ

ข. สภาพแวดล้อมบนดาวศุกร์

จากการสำรวจดาวศุกร์ในปัจจุบันนี้ได้แสดงให้เห็นว่า ดาวศุกร์มีความแตกต่างจากโลกมาก ๆ และเป็นการยากมากที่จะเรียกชื่อว่าเทพธิดาแห่งความรัก ดาวศุกร์เป็นดาวเคราะห์ที่มีสภาพเหมือนนรก ขอให้เราจินตนาการว่า ถ้าเรามีชีวิตอยู่บนดาวศุกร์ เราจะพบอะไรบ้าง ก่อนอื่นเราจะต้องพบกับความกดดันอันมหาศาลจากชั้นบรรยากาศของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยประมาณ 91 เท่าของความกดดันของบรรยากาศบนโลก อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 721 และ 732 เคลวิน (ใกล้กับ 850°F) กลุ่มเมฆชั้นบนของดาวศุกร์จะสะท้อนแสงอาทิตย์ประมาณ 70% ของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกลับสู่อวกาศ (ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ดาวศุกร์ปรากฏสว่างสุกใสมาก) และมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่สามารถทะลุไปถึงพื้นผิวของดาวศุกร์ซึ่งมีเพียง 2-3% เท่านั้น แสงเหล่านี้มีสีแดงเรื่อที่มีความยาวคลื่นยาว ดังนั้นท้องฟ้าจะมีสีดำ, แดง, มืดมัว ซึ่งสามารถมองเห็นได้ไกลเพียงสองกิโลเมตรเท่านั้น ยิ่งกว่านั้นบนพื้นผิวของดาวศุกร์เต็มไปด้วยฝุ่นและแห้ง (เพราะความชื้นต่ำมากประมาณ 0.01%) ยกเว้นการเปลี่ยนแปลงความสว่างจากกลางวันและกลางคืนที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง จะเห็นได้ว่าดาวศุกร์ไม่ใช่สถานที่น่าอยู่อาศัยและมันไม่ใช่เป็นสถานที่ที่น่าเยี่ยมเยียนด้วย

5.3.3 ดาวอังคาร

ดาวอังคารเป็นดาวเคราะห์ที่มนุษย์รู้จักกันดีตั้งแต่สมัยโบราณ ชาวโรมันเรียกว่า เทพเจ้าแห่งสงคราม ดาวอังคารและดาวพุธเป็นดาวเคราะห์เพียงสองดวงเท่านั้นที่เราสามารถมองเห็นพื้นผิวเป็นของแข็งด้วยอุปกรณ์ทัศนโทรทรรศน์บนโลก ถ้าเรามองดูดาวอังคารด้วยตาเปล่า



รูปที่ 5.12 ภาพถ่ายดาวอังคารจากยานอวกาศมาริเนอร์ที่ระยะทาง 472,000 กิโลเมตร ในวันที่ 7 สิงหาคม ค.ศ. 1969

เราจะเห็นดาวอังคารมีสีส้มแดงสุกสว่างดั่งเปลวไฟ ซึ่งแปลกไปจากดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ ที่มีสีเหลืองสุกนวล ดาวอังคารเป็นดาวเคราะห์ที่ซึ่งทำให้เคปเลอร์ค้นพบกฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์

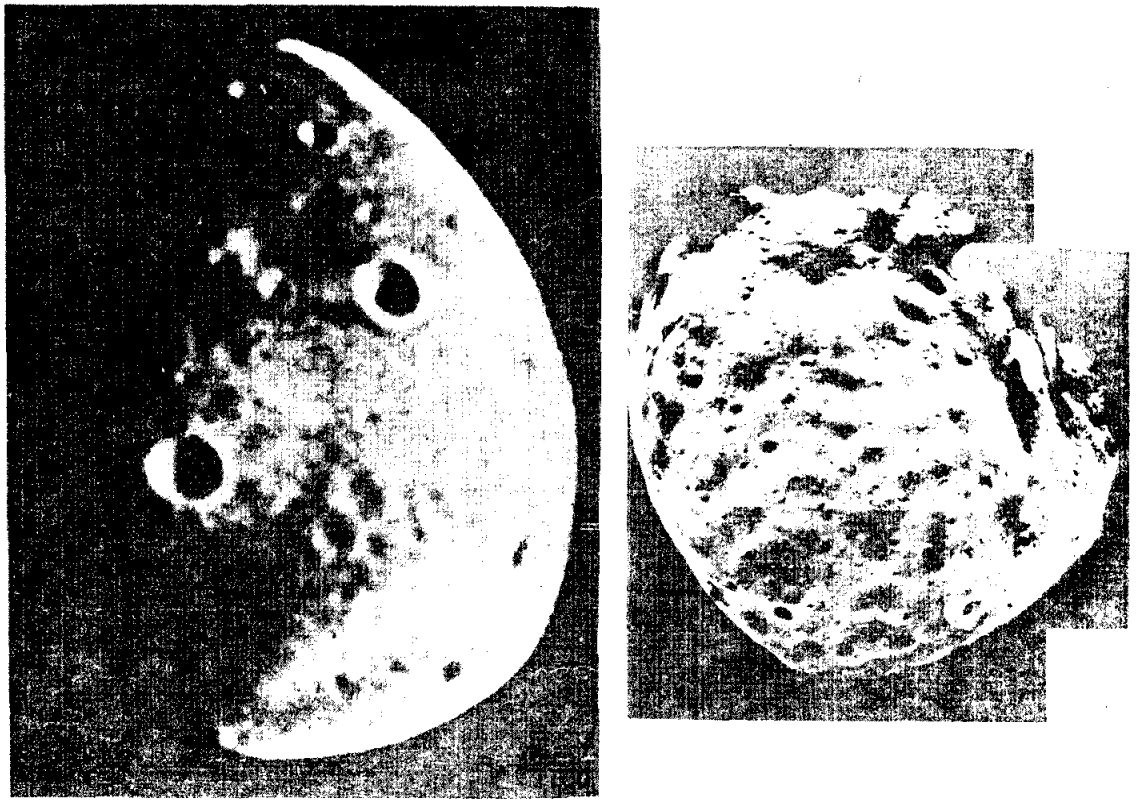
ก. วงโคจร

ระยะทางเฉลี่ยของดาวอังคารจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 227 ล้านกิโลเมตร แต่มีค่าความรีเท่ากับ 0.093 โดยมีระยะทางที่แปรเปลี่ยนจากดวงอาทิตย์เพียง 42 ล้านกิโลเมตร คาบเวลาดาราคติของวงโคจรคือ 687 วัน ระนาบวงโคจรของดาวอังคารรอบดวงอาทิตย์เอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถี (หรือระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์) เป็นมุม 1° 51′ ความเร็วในวงโคจรเฉลี่ยเท่ากับ 24 กิโลเมตรต่อวินาที คาบเวลาซินนอดิกประมาณ 780 วัน ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดในหมู่ดาวเคราะห์ทั้งหมด เมื่อดาวอังคารปรากฏที่ตำแหน่งตรงข้าม มันจะปรากฏเหนือเส้นขอบฟ้าตลอดทั้งคืน และดาวอังคารอยู่ใกล้โลกมากที่สุดด้วย ซึ่งเป็นตำแหน่งของดาวอังคารที่เหมาะสมในการสังเกตจากโลกมาก

ข. ดาวบริวาร

ดาวอังคารมีดาวบริวารสองดวงซึ่งค้นพบโดยนักดาราศาสตร์ชาวอเมริกัน ชื่อ **ฮอลล์** (A. Hall) ในปี ค.ศ. 1877 ดาวบริวารทั้งสองมีชื่อว่า โฟบอส (phobos หมายถึง fear)

และไดมอส (Deimos หมายถึง panic) โฟบอสกว้างประมาณ 20.8 กิโลเมตร ยาว 25.6 กิโลเมตร เป็นดาวบริวารที่อยู่ด้านใน ส่วนไดมอสกว้างประมาณ 12 กิโลเมตร ยาว 13.6 กิโลเมตร เป็นดาวบริวารที่อยู่ด้านนอก *(ดูรูปที่ 5.13 ประกอบ)* วงโคจรของดาวบริวารทั้งสองเกือบเป็นรูปวงกลมและอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรของดาวอังคารมาก โฟบอสโคจรห่างจากจุดศูนย์กลางของดาวอังคารประมาณ 9,380 กิโลเมตร ใช้เวลาในการโคจรครบรอบเท่ากับ 7 ชั่วโมง 39 นาที และไดมอสโคจรห่างจากดาวอังคารประมาณ 23,500 กิโลเมตร ใช้เวลาในการโคจรครบรอบเท่ากับ 30 ชั่วโมง 18 นาที เป็นที่น่าสังเกตว่าโฟบอสเป็นดาวบริวารเพียงดวงเดียวของดาวเคราะห์ในระบบสุริยะที่ใช้เวลาโคจรรอบดาวเคราะห์น้อยกว่าเวลาที่ดาวเคราะห์หมุนรอบตัวเอง โดยที่ดาวอังคารหมุนรอบตัวเองครบหนึ่งรอบโฟบอสจะโคจรรอบดาวอังคารประมาณสามรอบ ดาวบริวารทั้งสองดวงนี้เล็กมากจนเราไม่สามารถวัดขนาดของมันจากโลกได้ ดาวบริวารทั้งสองถูกถ่ายภาพโดยยานอวกาศมาริเนอร์และยานอวกาศไพโอเนียร์ ดังแสดงในรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ดาวบริวารของดาวอังคาร (ก) ไดมอส เป็นดาวบริวารอยู่นอกสุด ถ่ายโดยยานไวกิง-1 จากระยะห่าง 3,300 กิโลเมตร มีหลุมขนาดใหญ่ 2 หลุม มีเส้นผ่านศูนย์กลางเกือบ 1.3 กิโลเมตร (ข) ภาพถ่ายของโฟบอส ถ่ายโดยยานไวกิง-1 จากระยะห่าง 400 กิโลเมตร

ค. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

จากการวัดมวลของดาวอังคารโดยใช้วิธีประยุกต์จากระยะทางและคาบเวลาของดาวบริวาร, ยานอวกาศมาริเนอร์ – 9 และยานอวกาศโคจรไวกิงกับสูตรของนิวตัน และกฎข้อที่ 3 ของเคปเลอร์ ปรากฏว่ามวลของดาวอังคารเป็น 0.107 เท่าของมวลของโลก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าโลกมาก จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาวอังคารโดยยานอวกาศมาริเนอร์ – 9 พบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่เส้นศูนย์สูตรเท่ากับ 6,792 กิโลเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ขั้วเท่ากับ 6,751 กิโลเมตร จะเห็นได้ว่าดาวอังคารป้านตรงขั้วเล็กน้อย ความหนาแน่นเฉลี่ยของดาวอังคารประมาณ 3.92 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และความโน้มถ่วงที่พื้นผิวมีค่า 0.38 เท่าบนโลก ความเร็วของการผละหนีเท่ากับ 4.99 กิโลเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่าประมาณครึ่งหนึ่งของโลก จากการคำนวณความกดดันที่ภายในจุดกึ่งกลางของดาวอังคารได้ค่าประมาณ 400,000 เท่าของความกดดันของบรรยากาศของโลก และความหนาแน่นที่จุดกึ่งกลางมีค่าประมาณ 8.6 เท่าของน้ำ

ง. ภาพดาวอังคารในกล้องโทรทรรศน์

เนื่องจากดาวอังคารอยู่ไกลจากโลกมากกว่าจากดวงอาทิตย์ ภาพของดาวอังคารจึงไม่ปรากฏเป็นข้างขึ้น-แรมอย่างต่อเนื่อง เมื่อตำแหน่งของดาวอังคารอยู่ใกล้กับตำแหน่งมุมฉากภาพของมันจะปรากฏเป็นรูปแบบกิบบัส (gibbous : gibbous moon หมายถึง ดวงจันทร์ข้างขึ้นเกินแปดค่ำ แต่ไม่ถึงเต็มดวง) ปกติเมื่อมองดาวอังคารด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นลูกบอลเล็ก ๆ สีส้มสลัว สาเหตุเนื่องจากบรรยากาศของโลก ทั้งหมดของพื้นผิวของดาวอังคารปรากฏสีค่อนข้างเหลืองส้มหรือแดง บ่อยครั้งที่เห็นพื้นที่สีขาวซึ่งเป็นขั้วของดาวอังคารสามารถเห็นเพียงขั้วเดียวหรือทั้งสองขั้วก็ได้ ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ดีสามารถเห็นพื้นที่สีดำใหญ่ได้ดี พื้นที่นี้มีสีค่อนข้างเทาและค่อนข้างจะคล้ายคลึงกับมหาสมุทร ครั้งหนึ่งเคยมีความเชื่อว่าพื้นที่เหล่านี้เป็นน้ำ และมีชื่อเรียกว่ามาเรีย ซึ่งเหมือนกับทะเลบนดวงจันทร์

ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ดีที่สุด รายละเอียดเป็นอันมากบนดาวอังคารสามารถมองเห็นได้จากกล้องโทรทรรศน์ จะเห็นรอยบนพื้นผิวของดาวอังคารซึ่งถูกสังเกตเห็นเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1877 โดยนักดาราศาสตร์ชาวอิตาลี ชื่อ **เชียปาเรลลิ** (Schiaparelli) เขาตั้งชื่อเส้นเหล่านี้ว่า คะแน็ลลิ (canali) แปลว่า ช่องแคบหรือคลอง นักดาราศาสตร์สมัยนั้นเชื่อว่าคลองเหล่านี้ถูกสร้างขึ้นมาโดยสิ่งมีชีวิตที่มีเชาวน์ปัญญาสูง เพื่อผันน้ำที่ละลายมาจากขั้วไปยังเขตทะเลทรายเพื่อใช้ในการเกษตร จากรายละเอียดของพื้นผิวดาวอังคารที่ยานอวกาศได้ส่งกลับมาสู่โลก แสดงให้เห็นว่าไม่มีคลองบนดาวอังคาร ที่จริงแล้วคลองเหล่านี้เป็นหลุมเล็ก ๆ ที่ติดต่อกันเป็นเส้นทางยาว

จ. การหมุนรอบตัวเองและฤดู

ดาวอังคารหมุนรอบตัวเองหนึ่งรอบใช้เวลา 24 ชั่วโมง 37 นาที 23 วินาที มีค่าใกล้เคียงกับคาบเวลาการหมุนรอบตัวเองของโลกมาก เส้นศูนย์สูตรของดาวอังคารเอียงทำมุมกับระนาบวงโคจรของมันเองเท่ากับ $24° 48'$ ใกล้เคียงกับ $23\frac{1}{2}°$ ซึ่งเป็นมุมระหว่างระนาบวงโคจรของโลกกับเส้นศูนย์สูตรของโลก ดังนั้นขั้วของดาวอังคารจึงมีการชี้เข้าหาและชี้ออกจากดวงอาทิตย์เหมือนขั้วของโลก ทำให้ดาวอังคารเกิดฤดูเหมือนโลก แต่คาบเวลาของการโคจรของดาวอังคารรอบดวงอาทิตย์นานมาก (เท่ากับ 687 วัน) จึงทำให้ช่วงระยะเวลาที่เกิดแต่ละฤดูบนดาวอังคารนานประมาณหกเดือน

ฉ. อุณหภูมิ

อุณหภูมิบนดาวอังคารวัดจากรังสีอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากพื้นผิวของดาวอังคาร ในการวัดฯ นี้กระทำบนโลกและจากยานอวกาศระหว่างดาวเคราะห์

อุณหภูมิสูงสุดที่เส้นศูนย์สูตรของดาวอังคารประมาณ $30°$ เซลเซียส อุณหภูมิช่วงดวงอาทิตย์ขึ้นและดวงอาทิตย์ตกที่เส้นศูนย์สูตรประมาณ $-40°$ และ $-20°$ เซลเซียส ตามลำดับ เวลากลางคืนอุณหภูมิลดต่ำลงเหลือ $-75°$ เซลเซียส อุณหภูมิที่ขั้วใต้ถูกวัดครั้งแรกโดยยานอวกาศมาริเนอร์ – 7 พบว่าอุณหภูมิต่ำถึง $-150°$ เซลเซียส ซึ่งใกล้กับจุดเยือกแข็งของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์

ช. บรรยากาศของดาวอังคาร

จากการสังเกตบนผิวโลกพบว่า บรรยากาศของดาวอังคารคล้าย ๆ กับบรรยากาศของดาวศุกร์ กล่าวคือ ประกอบไปด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ แก๊สออกซิเจนและน้ำมีอยู่เป็นส่วนน้อย ซึ่งสังเกตเห็นเป็นเพียงร่องรอยในการสังเกตด้วยกล้องโทรทรรศน์ จากการศึกษาทางสเปกโทรสโคปีพบไอน้ำในชั้นบรรยากาศของดาวอังคาร ในปี ค.ศ. 1963 **มันช์** (Munch), **แคปแลน** (Kaplan) และ **สปินราด** (Spinrad) ทั้งสามคนนี้ได้สังเกตเห็นเส้นสเปกตรัมแสดงไอน้ำในเส้นสเปกตรัมของดาวอังคารซึ่งสังเกตจากกล้องโทรทรรศน์ขนาด 100 นิ้ว ที่เขาวิลสัน การสังเกตเห็นเส้นสเปกตรัมว่าเป็นเส้นสเปกตรัมของบรรยากาศของดาวอังคารนั้นเกิดขึ้นได้เมื่อสังเกตดาวอังคารเคลื่อนที่ออกจากโลก จากผลดอปเพลอร์ (Doppler effect : *ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 8.5*) ทำให้เส้นสเปกตรัมแสดงไอน้ำของดาวอังคารนี้แยกออกจากเส้นสเปกตรัมซึ่งแสดงไอน้ำในชั้นบรรยากาศของโลก

เมื่อเร็ว ๆ นี้ (ปี ค.ศ. 1976) ยานอวกาศไวกิงได้ไปลงที่ดาวอังคาร ทำให้มีการวัดองค์ประกอบของบรรยากาศของดาวอังคารได้อย่างละเอียดขึ้น พบว่าบรรยากาศของดาว

อังคารประกอบด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 95%, แก๊สไนโทรเจน 2-3%, แก๊สอาร์กอน 1-2%, แก๊สออกซิเจน 0.1-0.4%, น้ำระหว่าง 0.01-0.1% การที่น้ำน้อยทำให้ความหวังที่จะพบสิ่งมีชีวิตในดาวอังคารเป็นไปไม่ได้ ชั้นบรรยากาศของดาวอังคารมีความบางมาก และเนื่องจากดาวอังคารอยู่ห่างไกลจากดวงอาทิตย์มากทำให้มันมีความหนาวเย็น บริเวณที่ยานอวกาศไวกิงไปลงนั้นมีความกดดันของบรรยากาศ 0.007 หรือประมาณ 1% ของบรรยากาศของโลก ในชั้นบนของบรรยากาศมีลักษณะคล้ายกับบรรยากาศของโลก แสงอาทิตย์ทำให้เกิดชั้นไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) และชั้นโอโซน

ดาวอังคารมีเมฆชนิดต่าง ๆ จากการสังเกตบนพื้นโลกพบว่า พื้นผิวของดาวอังคารปกคลุมไปด้วยเมฆสีขาว, สีน้ำเงิน และสีเหลืองเป็นครั้งคราว ต่อมาพบว่าเมฆสีเหลืองนั้นเกิดจากพายุฝุ่นขนาดใหญ่ เมื่อยานอวกาศมาริเนอร์ – 9 โคจรรอบดาวอังคารใหม่ ๆ ก็ถูกปกคลุมด้วยพายุฝุ่นเหล่านี้จนกระทั่งไม่สามารถส่งภาพกลับมายังโลกได้เป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ เมฆสีน้ำเงินและสีขาวนั้นดูเหมือนว่าประกอบไปด้วยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำซึ่งเป็นน้ำแข็ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสูงและตำแหน่งของเมฆนั้น มีเมฆที่เกิดจากลมพัดคลุมไปรอบบริเวณหลุมและที่ยอดของหลุมต่าง ๆ เหมือนกับเมฆที่เกิดบนผิวโลก โดยที่เราพบว่าบริเวณก้นของแคนยอนและบริเวณหลุมของดาวอังคารมีเมฆปกคลุมอยู่เป็นชั้น ๆ เหมือนกับหมอกที่ปกคลุมเหวบนพื้นผิวโลก หมอกที่ปกคลุมพื้นผิวของดาวอังคารหายไปในระหว่างเวลากลางวันเหมือนกับเมฆต่ำ ๆ บนพื้นผิวโลก เนื่องจากมีฝุ่นมากในอากาศจึงทำให้เกิดมีปรากฏการณ์ประหลาด คือ ท้องฟ้าของดาวอังคารมีสีชมพู ดาวอังคารเป็นดาวเคราะห์ที่มีลมพัดแรงมาก เชื่อว่าลมที่พัดนี้มีความเร็วหลายร้อยกิโลเมตรต่อชั่วโมง และการผ่านไปอย่างรวดเร็วของลมเหล่านี้ทำให้เชื่อกันว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้มีจุดขาวและจุดดำบนผิวของดาวอังคารเป็นครั้งคราว โดยที่ฝุ่นซึ่งมากับลมเมื่อปกคลุมลาวาที่มีสีคล้ำทำให้เป็นจุดสีขาว แต่เมื่อลมพัดทำให้ฝุ่นนั้นกระจายไปก็ทำให้ลาวานั้นกลายเป็นจุดสีดำใหม่ จากข้อเท็จจริงที่พบว่ามีการสึกกร่อนของหินเนื่องจากน้ำบนพื้นผิวของดาวอังคาร ทำให้มีปัญหาว่าน้ำเหล่านั้นมาจากฝนตกหรือมาจากการที่น้ำแข็งละลาย แต่ทั้งสองกรณีนี้ทำให้เชื่อว่าในอดีตบรรยากาศของดาวอังคารไม่เหมือนในปัจจุบันนี้ ถ้าหากมีน้ำบนพื้นผิวของดาวอังคารน้ำนั้นจะระเหยไปอย่างรวดเร็ว นักดาราศาสตร์เชื่อว่า มีอยู่ระยะหนึ่งในอดีตเป็นระยะที่ภูเขาไฟเพิ่งสงบใหม่ ๆ ซึ่งในระยะนั้นเรียกว่า โอลิมเปีย ม็อนส์ (Olympia Mons) และธาร์ซัส (Tharsus) เราเชื่อว่าชั้นบรรยากาศของดาวอังคารในขณะนั้นมีความหนาแน่นมากกว่าในขณะนี้ และความหนาแน่นของชั้นบรรยากาศนั้นค่อย ๆ หนีไปจากพื้นผิวของดาวอังคาร ทำให้ชั้นบรรยากาศของดาวอังคารในขณะนี้เบาบางมาก

ถ้ามีการระเบิดของภูเขาไฟและการเคลื่อนที่ของพื้นผิวของดาวอังคาร ดังนั้นเป็นที่เชื่อได้ว่าข้างในของดาวอังคารร้อนในอดีต แต่ในปัจจุบันนี้เรายังไม่มีความรู้พอที่จะกล่าวได้ว่า ภายในของดาวอังคารร้อนหรือเย็น แต่ดูเหมือนว่าดาวอังคารนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับโลก กล่าวคือ มีแกนที่มีความหนาแน่นสูง แต่เป็นของเหลวซึ่งมีลักษณะร้อนเนื่องจากการสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสีต่าง ๆ เนื่องจากดาวอังคารเล็กกว่าโลกมาก ดังนั้น การสลายตัวของสารกัมมันตภาพรังสีจึงอาจจะมีน้อยกว่า นั่นคือ แกนของดาวอังคารเป็นที่แน่นอนว่าจะต้องต่างไปจากแกนของโลก ซึ่งเป็นผลทำให้มีสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าบนโลก

ข. พื้นผิวของดาวอังคาร

เมื่อวันที่ 14-15 กรกฎาคม ค.ศ. 1965 ยานอวกาศมาริเนอร์ – 4 เป็นยานอวกาศลำแรกที่ได้เดินทางไปยังดาวอังคารได้สำเร็จ ยานอวกาศมาริเนอร์ได้ผ่านเข้าไปในระยะ 9,846 กิโลเมตร จากพื้นผิวของดาวอังคาร และได้ถ่ายภาพส่งคลื่นวิทยุกลับมายังโลก 21 ภาพ เป็นพื้นผิวของดาวอังคาร จากการวิเคราะห์ภาพเหล่านี้ทำให้พบลักษณะของพื้นผิวดาวอังคารเป็นที่น่าสนใจว่า มีลักษณะคล้ายกับพื้นผิวของดวงจันทร์ซึ่งเต็มไปด้วยหลุมมากมาย

วันที่ 31 กรกฎาคม ค.ศ. 1969 ยานอวกาศมาริเนอร์ – 9 ได้เคลื่อนไปในระยะ 3,380 กิโลเมตร จากพื้นผิวของดาวอังคารในบริเวณแถบเส้นศูนย์สูตร และในวันที่ 5 สิงหาคม ค.ศ. 1969 ยานอวกาศมาริเนอร์ – 7 ได้โคจรผ่านดาวอังคารในระยะ 3,219 กิโลเมตรจากพื้นผิวของดาวอังคารในบริเวณแถบขั้วใต้ กำลังการแยกภาพถ่ายของกล้องบนยานอวกาศทั้งสองสามารถแยกภาพที่อยู่ห่างกัน 275 เมตร แสดงให้เห็นว่าพื้นผิวของดาวอังคารมีเมฆหมอกปกคลุมเป็นครั้งคราวเท่านั้น ยกเว้นที่บริเวณขั้ว

เมื่อยานอวกาศมาริเนอร์ – 9 ได้เคลื่อนเข้าไปหรือเดินทางไปยังดาวอังคาร ในเดือนพฤศจิกายน ค.ศ. 1971 นับเป็นครั้งแรกที่มนุษย์สามารถส่งยานอวกาศไปเป็นดาวเทียมรอบดาวเคราะห์ดวงอื่นที่ไม่ใช่โลก ยานอวกาศอื่น ๆ ที่เคยส่งไปจากโลกมนุษย์ก็เป็นแต่เพียงโคจรผ่านหรือเคลื่อนผ่านดาวเคราะห์เท่านั้น ส่วนยานอวกาศมาริเนอร์ – 9 นั้น นักวิทยาศาสตร์หวังว่ามันจะเคลื่อนที่รอบดาวอังคารหลายสิบปี

ถึงแม้ว่าจะเกิดมีพายุฝุ่นเป็นเวลาประมาณสองเดือน เมื่อยานอวกาศมาริเนอร์ – 9 เริ่มโคจรรอบดาวอังคาร แต่ในไม่ช้ามันก็สามารถเพิ่มพูนความรู้ให้แก่นักวิทยาศาสตร์เป็นอย่างมาก ยานอวกาศมาริเนอร์ – 4 ได้แสดงให้เห็นว่า พื้นผิวของดาวอังคารนั้นมีลักษณะเป็นหลุมคล้ายกับพื้นผิวของดวงจันทร์ แต่ยานอวกาศมาริเนอร์ – 9 แสดงให้เห็นว่า ภาพที่ยานอวกาศมาริเนอร์ – 4 ส่งมานั้น ไม่ใช่ลักษณะโดยทั่วไปของพื้นผิวของดาวอังคาร

พื้นผิวของดาวอังคารนั้นแบ่งออกได้ประมาณ 6 ส่วนภูมิภาคใหญ่ ๆ ที่บริเวณขั้วมีน้ำแข็งหุ้มอยู่เป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นมีความหนาประมาณ 10 เมตร และลดหลั่นกันลงมา ทำให้มีความหนาของน้ำแข็งทั้งหมดประมาณ 60 – 100 เมตร ที่บริเวณขั้วจริง ๆ ซึ่งเป็นน้ำแข็งที่มีเกร็ดของคาร์บอนไดออกไซด์แห้งครอบคลุม ในฤดูร้อนคาร์บอนไดออกไซด์แห้งเหล่านี้จะระเหิดเป็นแก๊ส แต่ในฤดูหนาวมันจะกลายเป็นเกล็ดน้ำแข็งครอบคลุมขั้วอีกต่อไป ในระหว่างฤดูหนาวประมาณ 1/4 ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศทั้งหมดจะกลายเป็นเกล็ดน้ำแข็งปกคลุมขั้ว ในบริเวณรอบ ๆ ขั้วนั้นจะมีบริเวณซึ่งเป็นดินแดนที่มีลักษณะราบเรียบ แสดงว่าเป็นหลุมเก่า ๆ ที่ผุกร่อนไปตามกาลเวลา หลุมเหล่านี้มีลักษณะตื้น ถึงแม้ว่ามีความกว้างมาก บางแห่งกว้างถึง 100 กิโลเมตร เป็นที่น่าสนใจว่าที่บริเวณขั้วเหนือมีลักษณะของหลุมน้อยกว่าบริเวณขั้วใต้

ใกล้เข้ามาทางแถบศูนย์สูตรมีลักษณะเป็นย่านของภูเขาไฟ บนพื้นผิวของดาวอังคารคล้ายกับพื้นผิวของดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ พื้นผิวของดาวอังคารมีลักษณะไม่สมมาตร ด้านหนึ่งประกอบไปด้วยลาวามากมายครอบคลุมพื้นที่ (มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1,600 กิโลเมตร) และมียอดหรือปล่องภูเขาไฟขึ้นระเกะระกะ บางอันมีความสูงถึง 20 กิโลเมตร เหมือนที่ราบที่ล้อมรอบภูเขาไฟเหล่านี้อยู่ แต่อีกด้านหนึ่งของดาวอังคารแทบจะไม่มีการระเบิดขึ้นอีก ทำให้เห็นหลุมเล็ก ๆ อยู่บริเวณเนินภูเขาไฟ (เนื่องจากมันไม่ได้ปะทุมานานจนทำให้เกิดหลุมขึ้น)

ถ้ามองเข้าไปใกล้เส้นศูนย์สูตรจะเห็นแผ่นดินมีลักษณะเป็นแคนยอนซึ่งแสดงให้เห็นถึงการระเบิดของภูเขาไฟในอดีต แคนยอนเล็ก ๆ เหล่านี้มีลักษณะคล้ายกับแม่น้ำเก่า ๆ หรือคลองที่มีลมพัดแรง ทำให้ลักษณะคล้ายกับแคนยอนในทวีปอเมริกาทางทิศตะวันตก ในทางตรงกันข้ามแคนยอนใหญ่ ๆ ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเชิงผาสูงใหญ่ครอบคลุมประมาณ 1/6 ของเส้นล้อมรอบดาวอังคารที่อยู่ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร รูปร่างลักษณะดังนี้เป็นเครื่องบ่งชี้ให้เห็นว่าครั้งหนึ่งเคยมีปริมาณน้ำเป็นจำนวนมากไหลผ่านพื้นผิวของดาวอังคารในอดีตที่นานมาแล้ว ที่บริเวณท้องหรือก้นของแคนยอนเหล่านี้มีแท่งทรายซึ่งมีลักษณะแห้งแล้ง บริเวณแถบขั้วและแถบอื่น ๆ ทั่วไปของพื้นผิวของดาวอังคาร มีลักษณะของแผ่นดินเคลื่อนที่ใหญ่ ๆ ทำให้เกิดถ้ำขึ้นบริเวณผนังของแคนยอน ทางหรือคูที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลันทำให้พื้นผิวของแคนยอนเป็นรูปที่ระเกะระกะไม่เรียบร้อย ลักษณะต่าง ๆ เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าครั้งหนึ่งผิวของดาวอังคารมีวัตถุเคลื่อนออกไปจากผิว อาจจะเป็นฟรอสต่าง ๆ (ฟรอส คือ เกร็ดแข็ง ๆ ซึ่งละลายไปอย่างรวดเร็ว) หรืออาจจะเป็นการที่น้ำระเหยออกจากใต้พื้นผิวของดาวอังคารก็ได้

ญ. ดาวอังคารที่ตรวจสอบได้จากยานอวกาศไวกิง

ในฤดูร้อนของปี ค.ศ. 1976 ยานอวกาศของอเมริกาสองลำได้ลงสู่พื้นผิวของดาวอังคาร ยานอวกาศลำแรกชื่อ ยานอวกาศไวกิง – 1 ลงที่บริเวณไครซี แพลนิเชีย (Chryse Planitia) ที่ละติจูด 22° เหนือ และยานอวกาศไวกิง – 2 ลงที่บริเวณยูโธเปีย แพลนิเชีย (Utopia Planitia) ที่ละติจูด 48° เหนือ ถึงแม้ว่าจะเป็นฤดูร้อนบนดาวอังคาร อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ในแต่ละวัน (ทั้งสองแห่ง) = – 29° เซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุด = – 84° เซลเซียส

ยานอวกาศไวกิงถูกตั้งโปรแกรมให้ปฏิบัติงานทดลองหลายชนิด เช่น การถ่ายภาพพื้นผิวของดาวอังคารส่งกลับมายังโลก, วัดปรากฏการณ์ของอากาศบนดาวอังคาร (เช่น อุณหภูมิ, ความกดดัน, ความเร็วของลม และทิศทางของลม) ส่วนประกอบของบรรยากาศบนดาวอังคาร ในการนี้ยานอวกาศไวกิงได้ติดตั้งเครื่องวัดแผ่นดินไหวบนดาวอังคารที่ยูโธเปีย การทดลองที่สำคัญที่สุดคือ การค้นหาสิ่งมีชีวิตบนดาวอังคารโดยการทดลอง

1. ตรวจหาหลักฐานการเกิดขบวนการสังเคราะห์แสง
2. ทดลองหาสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ โดยการเพาะลงในสารเลี้ยงเชื้อ
3. วิเคราะห์หาสารประกอบอินทรีย์ในดิน

ผลของการทดลองไม่พบอินทรีย์โมเลกุล แต่ดินของดาวอังคารมีการตอบสนองต่อการทดลองขบวนการสังเคราะห์แสงและการทดลองหาอาหาร โดยเฉพาะดินบนดาวอังคารปรากฏว่าคายแก๊สออกซิเจนออกมาซึ่งดูเหมือนว่าน่าจะออกมาจากเซลล์ของสิ่งมีชีวิต การที่ไม่มีอินทรีย์โมเลกุลพอจะอธิบายได้ว่า ดินบนดาวอังคารที่ตักขึ้นมาทดลองนั้นมีคุณสมบัติทางเคมีที่แตกต่างจากโลกมาก จากการนี้เป็นผลเหมือนกับเกิดจากสาเหตุของสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ดังนั้นจึงตอบปัญหาที่ว่าบนดาวอังคารมีสิ่งมีชีวิตหรือไม่ ในขณะนี้ยังไม่สามารถตอบได้

5.3.4 ดาวพฤหัส

ดาวพฤหัสเป็นดาวเคราะห์ที่ใหญ่ที่สุดและมวลมากที่สุดในระบบสุริยะ (ยกเว้นดวงอาทิตย์) เป็นดาวเคราะห์ดวงที่ห้าที่อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ ชาวกรีกโบราณเรียกดาวพฤหัสว่าเทพเจ้าจูปีเตอร์ (Jupiter) ดาวพฤหัสมีดาวบริวารอย่างน้อยที่สุด 16 ดวง สี่ดวงในดาวบริวารเหล่านี้มีขนาดเท่ากับดาวเคราะห์ขนาดเล็ก โดยทั่วไปดาวพฤหัสสามารถจำลองเป็นระบบสุริยะขนาดเล็กได้ ระยะทางเฉลี่ยของดาวพฤหัสจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 778 ล้านกิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะทาง 5.2 เท่าของโลกจากดวงอาทิตย์ วงโคจรของมันมีค่าความรีเท่ากับ 0.048 ดังนั้นระยะทางของดาวพฤหัสจากดวงอาทิตย์แปรเปลี่ยน 76 ล้านกิโลเมตร อัตราความเร็วของดาวพฤหัสในวงโคจรเฉลี่ยเป็น 13.1 กิโลเมตรต่อวินาที และใช้เวลาในการโคจรครบรอบเท่ากับ 11.86 ปี ระนาบวงโคจรของมันเอียงทำมุม 1° 18′ กับระนาบของเส้นสุริยวิถี

ตารางที่ 5.1 แสดงยานอวกาศของประเทศสหรัฐอเมริกาที่สำรวจดาวเคราะห์นอก

PLANET	SPACECRAFT	ARRIVAL DATE	COMMENTS
Jupiter	Pioneer 10	Dec. 1973	Flyhy; photos
	Pioneer 11	Dec. 1974	Flyby; photos
	Voyager 1	Mar. 1979	Flyhy; photos of Jupiter and satellites
	Voyager 2	July 1979	Flyby; photos of Jupiter and satellites
	Galileo	1988(?)	Jupiter orbiter and probe
Saturn	Pioneer 11	Sept. 1979	Flyby; photos
	Voyager 1	Nov. 1980	Flyby; photos of Saturn and satellites
	Voyager 2	Aug. 1981	Flyby; photos of Saturn and satellites
Uranus	Voyager 2	Jan. 1986	Deflected to Uranus by gravitational effect of Saturn
Neptune	Voyager 2	Aug. 1989	Deflection planned to Neptune by gravitational effect of Uranus, if the systems and communications with probe remain operative

ก. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

มวลของดาวพฤหัสสามารถคำนวณได้จากคาบเวลาของดาวบริวารของดาวพฤหัสและขนาดของวงโคจรของดาวบริวารเหล่านี้ จากการรบกวนของดาวพฤหัสที่มีผลต่อวงโคจรของดาวเคราะห์น้อยที่โคจรผ่านดาวพฤหัส และจากความเร่งของยานอวกาศไพโอเนียร์กับวอย-เอเจอร์พบว่า ดาวพฤหัสมีมวล 318 เท่ามวลของโลก ซึ่งมีค่าเป็น 1/100 มวลของดวงอาทิตย์ ดาวพฤหัสมีมวลมากกว่ามวลของดาวเคราะห์ที่เหลือในระบบสุริยะรวมกัน (หรือเป็น 2.5 เท่ามวลของดาวเคราะห์ที่เหลือในระบบสุริยะรวมกัน)

ดาวพฤหัสมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 143,000 กิโลเมตร หรือใหญ่กว่าโลกประมาณ 11 เท่า ถ้าดาวพฤหัสอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับดาวอังคาร มันจะเป็นดาวเคราะห์ที่สว่างที่สุดบนท้องฟ้า และจะสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าในเวลากลางวัน

ความโน้มถ่วงบนพื้นผิวของดาวพฤหัสสูงกว่าความโน้มถ่วงบนโลก 2.53 เท่า ความเร็วของการผละหนีของดาวพฤหัสมีค่ามากที่สุดในหมู่ดาวเคราะห์ทั้งหมด โดยมีค่า 60 กิโลเมตรต่อวินาที แก๊สต่าง ๆ ที่อยู่ในชั้นบรรยากาศของดาวพฤหัสไม่สามารถหนีไปสู่อวกาศได้ ดาวพฤหัสมีความหนาแน่นเฉลี่ยต่ำมากซึ่งเท่ากับ 1,33 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เนื่องจากดาวพฤหัสประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สฮีเลียมที่ถูกอัดแน่นด้วยแรงโน้มถ่วงมหาศาล นักดาราศาสตร์คาดว่าภายในของดาวพฤหัสประกอบด้วยธาตุทั้งสองอยู่ในสถานะของเหลว และอาจจะมีแกนเป็นหินเล็ก ๆ ที่จุดศูนย์กลางของดาวพฤหัส การคำนวณโครงสร้างภายในของดาวพฤหัสมีความไม่แน่นอนสูงมาก เนื่องจากเรายังไม่มีความรู้ที่สมบูรณ์เกี่ยวกับการอัดแก๊สไฮโดรเจนเหลวและแก๊สฮีเลียมเหลวที่อุณหภูมิและความกดดันต่าง ๆ กันที่เป็นจริงภายในดาว

พฤหัสและธาตุอื่น ๆ ที่อยู่ภายในดาวพฤหัส มีรูปแบบหนึ่งทำนายว่า ที่จุดศูนย์กลางของดาวพฤหัสมีความกดดันมากกว่า 100 ล้านเท่าของความกดดันที่ระดับน้ำทะเลบนโลก และมีความหนาแน่นประมาณ 31 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ

มีสิ่งที่น่าสังเกตเกี่ยวกับดาวพฤหัสที่ว่า มันแผ่พลังงานรังสีออกสู่อวกาศประมาณ 2.5 เท่าของพลังงานรังสีที่มันได้รับจากดวงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดของพลังงานทั้งหมดอาจจะถูกเก็บอยู่ภายในของดาวพฤหัสในช่วงเวลาที่กำเนิดเป็นดาวเคราะห์ ดาวพฤหัสต้องค่อย ๆ แผ่พลังงานรังสีออกมาในขณะที่มันเย็นลง และมันคงจะได้รับพลังงานบางส่วนจากการหดตัวเนื่องจากสนามโน้มถ่วงอย่างช้า ๆ ด้วย ความร้อนนี้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า เคลื่อนผ่านขึ้นมาบนพื้นผิวโดยลักษณะของการพาความร้อนคล้าย ๆ กับการพาความร้อนภายใต้พื้นผิวดวงอาทิตย์ บนดาวพฤหัสกระแสพาความร้อนนี้จะเปลี่ยนทิศโดยการหมุนรอบตัวเองของดาวพฤหัส และเมื่อความร้อนถึงผิวก็ทำให้เกิดมีเมฆที่เรามองเห็นจุดแดงใหญ่ (The great red spot) จากการสำรวจของยานไพโอเนียร์ – 10 พบว่าเป็นบริเวณที่มีการหมุนรอบตัวเองของบรรยากาศขนาดใหญ่มากเป็นรูปกรวยคล้ายกับการเกิดพายุเฮอริเคนบนโลก

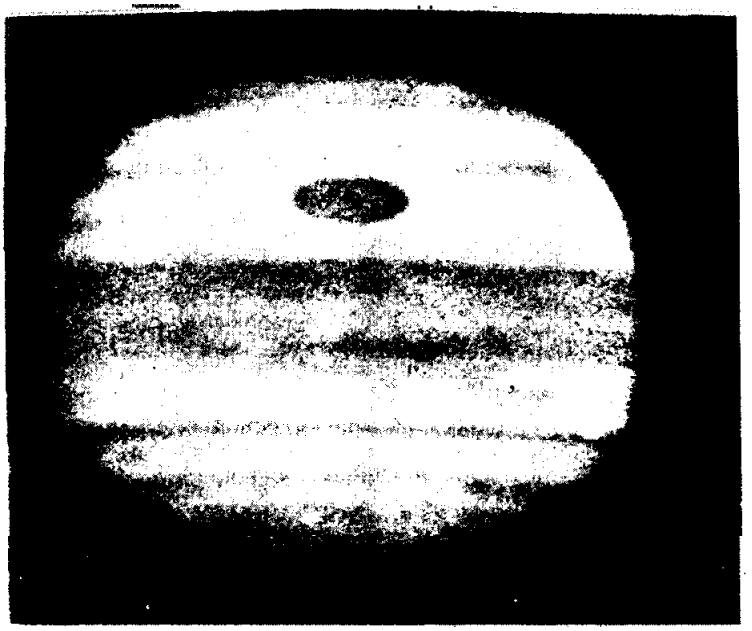
ข. การหมุนรอบตัวเองและความแป้น

จากการศึกษาการหมุนรอบตัวเองของดาวพฤหัสโดยอาศัยการสังเกตจุดแดงใหญ่ นักดาราศาสตร์พบว่า ดาวพฤหัสหมุนครบรอบใช้เวลาเฉลี่ย 9 ชั่วโมง 50.5 นาที ที่เส้นศูนย์สูตรการหมุนนี้จะช้าลงเล็กน้อยในบริเวณที่อยู่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรออกไป เส้นศูนย์สูตรของดาวพฤหัสเอียงทำมุมกับระนาบวงโคจรของมันเพียง 3° ดังนั้นมันจึงไม่มีการเกิดฤดูบนดาวพฤหัส จากการที่ดาวพฤหัสหมุนรอบตัวเองเร็วมากจึงเป็นสาเหตุทำให้ขั้วของมันป้านมาก ค่าความแป้น *(โปรดดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 2.1)* เท่ากับ 1/5 ขณะที่ค่าความแป้นของโลกมีค่าเท่ากับ 1/297

ค. ภาพของดาวพฤหัสในกล้องโทรทรรศน์

ถ้าเรามองดูดาวพฤหัสด้วยตาเปล่า เราจะเห็นดาวพฤหัสมีสีค่อนข้างเหลืองสุกสว่างมากดวงหนึ่งบนท้องฟ้า ถ้าเรามองดูดาวพฤหัสจากกล้องโทรทรรศน์ เราจะเห็นเป็นดวงกลมสว่างตรงกลางจะมีแถบพาดผ่านเกือบขนานไปตามเส้นศูนย์สูตรของดาวพฤหัส แถบนี้เป็นผลจากการไหลของกระแสอากาศในชั้นบรรยากาศของดาวพฤหัส เหมือนกับระบบกระแสลมบนโลกของเรา

สิ่งที่น่าสนใจมากที่สุดในการมองดูดาวพฤหัสด้วยกล้องโทรทรรศน์ ได้แก่ จุดแดงใหญ่ นักดาราศาสตร์คนแรกที่พบคือ **คาสซินี** (Cassini) ในเดือนสิงหาคม ปี ค.ศ. 1878 จุดแดงใหญ่มีลักษณะเป็นรูปวงรี มีความยาว 48,000 กิโลเมตร กว้าง 13,000 กิโลเมตร ปรากฏที่



รูปที่ 5.14 ภาพดาวพฤหัสเมื่อมองจากกล้องโทรทรรศน์

ตำแหน่ง 20° ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร จากการสังเกตพบว่า จุดแดงใหญ่มีการเปลี่ยนแปลงในสี, ความสว่างและขนาด นักดาราศาสตร์ใช้จุดแดงใหญ่นี้ในการวัดเวลาของการหมุนรอบตัวของดาวพฤหัส จากข้อมูลที่ส่งมาจากยานอวกาศไพโอเนียร์พบว่า จุดแดงใหญ่นี้เป็นระบบพายุที่มีอายุยาวนานบางชนิดในชั้นบรรยากาศของดาวพฤหัส ยานอวกาศวอยเอเจอร์แสดงให้เห็นว่ามันเป็นแท่งกระแสลมม้วนขนาดใหญ่มาก ๆ ที่มีความสลับซับซ้อนมหึมาและการเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ยังมีลำแก๊สเล็ก ๆ หมุนวนไหลรอบ ๆ จุดแดงใหญ่

เนื่องจากดาวพฤหัสอยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มาก มันจึงปรากฏเป็นรูปกิบบัสเพียงเล็กน้อย ปกติภาพของมันปรากฏเกือบกลมเมื่อมองดูด้วยกล้องโทรทรรศน์ ดาวพฤหัสมีค่าอัตราส่วนสะท้อน 0.52

ปัจจุบันนักดาราศาสตร์ชื่อ **เอลเมอร์ รีค** (Elmer Reece) ได้ค้นพบจุดสว่างบนดาวพฤหัสอีก 1 ชุดโดยการถ่ายภาพ จุดนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6,400 กิโลเมตร อยู่ทางซีกเหนือของดาวพฤหัส มีคาบเวลาหมุนครบรอบเท่ากับ 9 ชั่วโมง 47 นาที 5 วินาที นักดาราศาสตร์เชื่อว่าจุดนี้อยู่ในบรรยากาศชั้นสูง

ง. บรรยากาศ

ภาพถ่ายระยะใกล้ของดาวพฤหัสที่เราได้รับครั้งแรกมาจากยานอวกาศไพโอเนียร์ – 10 และ 11 ในเดือนธันวาคม ค.ศ. 1973 และธันวาคม ค.ศ. 1974 ตามลำดับ แต่ภาพที่ดีมาจากยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 1 และ 2 ในปี ค.ศ. 1979 หลังจากเสร็จสิ้นภารกิจที่ดาวพฤหัสแล้ว ยานอวกาศไพโอเนียร์ – 11 และยานอวกาศวอยเอเจอร์ทั้งสองลำอาศัยสนามโน้มถ่วงของดาว

พฤหัสเหวี่ยงยานอวกาศทั้งหมดมุ่งหน้าสู่ดาวเสาร์ ยานไพโอเนียร์ – 11 ผ่านดาวเสาร์ในปี ค.ศ. 1979 และยานอวกาศวอยเอเจอร์ในปี ค.ศ. 1980 และ 1981

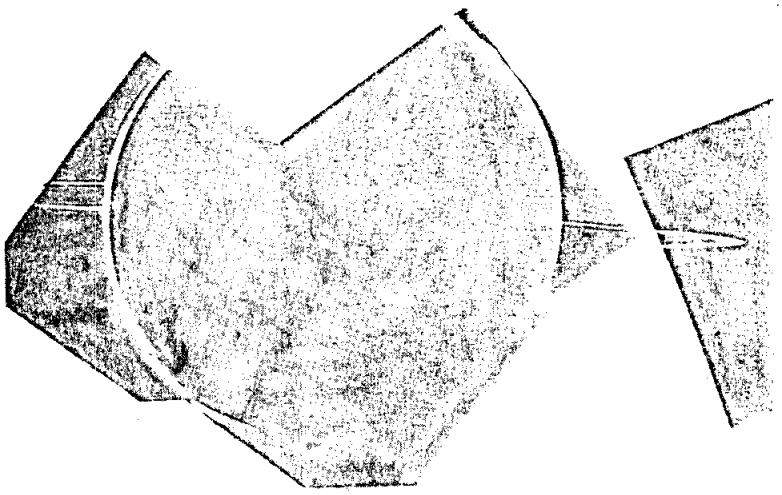
เนื่องจากค่าความเร็วของการผละหนีของดาวพฤหัสมีค่าสูงมาก เราคาดว่าแก๊สทั้งหมดยังคงอยู่ในชั้นบรรยากาศของดาวพฤหัสซึ่งมันไม่สามารถหนีไปสู่อวกาศได้ ในชั้นบรรยากาศส่วนใหญ่ประกอบด้วยแก๊สไฮโดรเจนและแก๊สฮีเลียม ในปี ค.ศ. 1932 **รูเพอท์ ไวลท์** (Rupert Wildt) ได้ศึกษาเส้นสเปกตรัมจากดาวพฤหัส เขาได้พบแก๊สแอมโมเนียและแก๊สมีเทนในชั้นบรรยากาศของดาวพฤหัสด้วย จากข้อมูลที่ยานอวกาศส่งกลับมายังโลกทำให้เราเชื่อว่า ถ้าหากเราผ่านเข้าไปในชั้นบรรยากาศของดาวพฤหัส แต่ความเป็นจริงแล้วเราผ่านเข้าไปในชั้นบาง ๆ ของแก๊สต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน, ผลึกน้ำแข็งของแอมโมเนีย, ผลึกของแอมโมเนียม-ซัลเฟต, ผลึกของน้ำแข็งและหยดน้ำ ในชั้นบรรยากาศที่ต่ำลงไปชั้นบรรยากาศจะเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนเหลว และต่อไปจะเปลี่ยนเป็นไฮโดรเจนแข็ง ถึงแม้ว่าชั้นบนเมฆจะมีอุณหภูมิต่ำมาก (เท่ากับ – 140° เซลเซียส) จากการสังเกตรังสีอินฟราเรด นักดาราศาสตร์เชื่อว่าอุณหภูมิของดาวพฤหัสเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเราค่อย ๆ ผ่านเข้าไปในชั้นบรรยากาศลงไป

จ. สนามแม่เหล็กบนดาวพฤหัส

ในปลายปี ค.ศ. 1950 ได้มีการสังเกตพบพลังงานคลื่นวิทยุแผ่ออกมาจากดาวพฤหัส โดยที่คลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นยาวมีความเข้มมากกว่าคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นสั้น จากการศึกษาพบว่า พลังงานคลื่นวิทยุมีจุดกำเนิดจากบริเวณรอบ ๆ ดาวพฤหัสที่ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางหลาย ๆ เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของดาวพฤหัสเอง พลังงานคลื่นวิทยุเป็นแบบโพลาไรซ์ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของรังสีที่แผ่ออกมาจากอิเล็กตรอนที่วิ่งด้วยความเร่ง จากหลักฐานนี้แสดงว่ามีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าเป็นจำนวนมากมายวิ่งเป็นวงกลมรอบ ๆ ดาวพฤหัส โดยวิ่งเป็นรูปขดเป็นเกลียวไปตามเส้นของแรงของสนามแม่เหล็กบนดาวพฤหัส ปรากฏการณ์นี้คล้ายกับเข็มขัดแวนอัลเลน (Van Allen Belt) รอบโลก

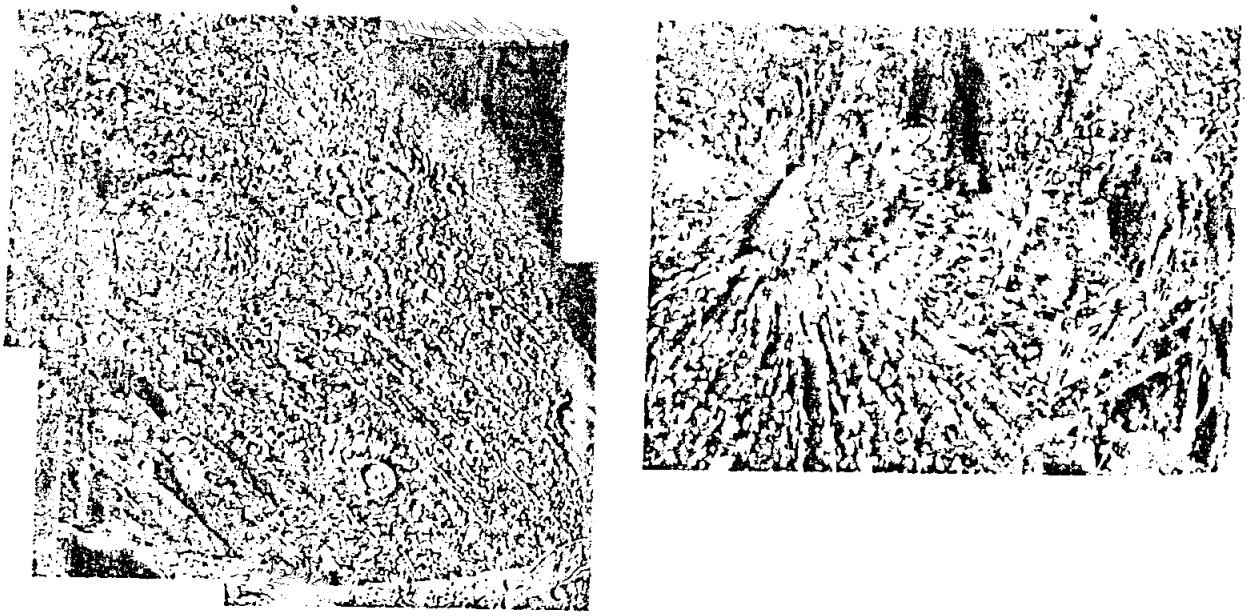
จากการศึกษาต่อมาพบอีกว่า ดาวบริวารของดาวพฤหัสชื่อ ไอโอ (Io) มีส่วนเกี่ยวข้องทำให้เกิดคลื่นวิทยุเป็นห้วงอย่างรุนแรงจากเวลาที่มันเคลื่อนที่ผ่านจุดบางจุดในชั้นบรรยากาศของดาวพฤหัส ยานอวกาศวอยเอเจอร์รายงานว่า สนามแม่เหล็กบนพื้นผิวของดาวพฤหัสมีค่ามากกว่าจาก 20 ถึง 30 เท่าของสนามแม่เหล็กบนโลก เพราะว่าดาวพฤหัสมีขนาดใหญ่มาก ดังนั้นพลังงานแม่เหล็กรวมทั้งหมดจึงมีค่ามหึมาเมื่อเปรียบเทียบกับของโลก ยานอวกาศไพโอ-เนียร์และวอยเอเจอร์ตรวจพบอนุภาคประจุไฟฟ้า (ทั้งอิเล็กตรอนและนิวเคลียสอะตอม) ในสนามแม่เหล็กของดาวพฤหัส

ฉ. วงแหวนของดาวพฤหัส



รูปที่ 5.15 ภาพถ่ายวงแหวนของดาวพฤหัสโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์ - 2

ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 1 และ 2 ได้เดินทางไปถึงดาวพฤหัสเมื่อเดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 1979 และเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1979 ตามลำดับ จากการสำรวจของยานอวกาศวอยเอเจอร์ ได้พบสิ่งที่สำคัญมากบนดาวพฤหัสโดยพบวงแหวนของดาวพฤหัส วงแหวนนี้บางและจางมาก อยู่ที่ระนาบเส้นศูนย์สูตรของดาวพฤหัส เส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนด้านนอกเท่ากับ 256,000 กิโลเมตร มีความกว้างประมาณ 6,000 กิโลเมตร และมีความหนาไม่เกิน 30 กิโลเมตร วงแหวนนี้ประกอบด้วยอนุภาคเล็ก ๆ มากมาย จากการวิเคราะห์แสงที่กระเจิงมาจากวงแหวนของดาวพฤหัสแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนี้มีขนาดเล็กมากเพียง 8-10 ไมครอน (1 ไมครอนเท่ากับ 10^{-10} เมตร) สันนิษฐานว่าวงแหวนประกอบด้วยก้อนน้ำแข็งและก้อนวัตถุขนาดต่าง ๆ กัน ซึ่งอาจจะเกิดจากการแตกสลายของดาวบริวารดวงหนึ่งของดาวพฤหัสในอดีตก็ได้ ภายหลังจากที่ยานอวกาศวอยเอเจอร์ได้ค้นพบวงแหวนของดาวพฤหัส วงแหวนของดาวพฤหัสได้รับการยืนยันจากการสังเกตบนโลก



รูปที่ 5.16 ภาพแสดงผิวของดาวบริวารที่ใหญ่สุดของดาวพฤหัส, ดาวแกนิมีด

ข. ดาวบริวาร

ดาวพฤหัสมีดาวบริวารอย่างน้อยที่สุด 16 ดวง (สามดวงพบโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์) สามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้ ดาวบริวารชั้นนอกสุดมีวงโคจรที่มีค่าความรีและเอียงทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรของดาวพฤหัสมาก และมีทิศทางการโคจรรอบดาวพฤหัสจากทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตกซึ่งเป็นทิศทางย้อนกลับกับการเคลื่อนที่ส่วนใหญ่ของวัตถุในระบบสุริยะ ส่วนมากที่สุดของดาวบริวารกลุ่มนี้มีระยะทางประมาณ 24 ล้านกิโลเมตรจากดาวพฤหัส นักดาราศาสตร์คาดว่าดาวบริวารเหล่านี้อาจจะเป็นวัตถุ (เช่น ดาวเคราะห์น้อย) ที่ถูกจับโดยดาวพฤหัส ดาวบริวารกลุ่มตอนกลางมีทิศทางในวงโคจรปกติ แต่ค่าความรีและเอียงทำมุมกับเส้นศูนย์สูตรมาก ดาวบริวารเหล่านี้อาจจะเป็นดาวเคราะห์น้อยที่ถูกจับโดยดาวพฤหัส ดาวบริวารชั้นในรวมทั้งดาวบริวารที่ใหญ่ที่สุดสี่ดวงที่เราสามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องสองตา ทิศทางการโคจรของดาวบริวารเหล่านี้มีทิศจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก และวงโคจรเกือบเป็นรูปวงกลมอยู่ในระนาบเส้นศูนย์สูตรของดาวพฤหัส นักดาราศาสตร์เดาว่าดาวบริวารเหล่านี้เกิดพร้อมกับดาวพฤหัสคล้าย ๆ กับดาวเคราะห์เกิดพร้อมกับดวงอาทิตย์ในทฤษฎีเนบิวลาสุริยะ

ดาวบริวารสี่ดวงที่ใหญ่ที่สุดของดาวพฤหัสมีชื่อดังนี้ ไอโอ (Io), ยูโรปา (Europa), แกนิมีด (Ganymede) และแกลลิสโต (Gallisto) ดาวบริวารเหล่านี้มีขนาดใหญ่กว่าดวงจันทร์ของเรา ถูกค้นพบครั้งแรกโดย **กาลิเลโอ** ในปี ค.ศ. 1610 มีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญดังนี้

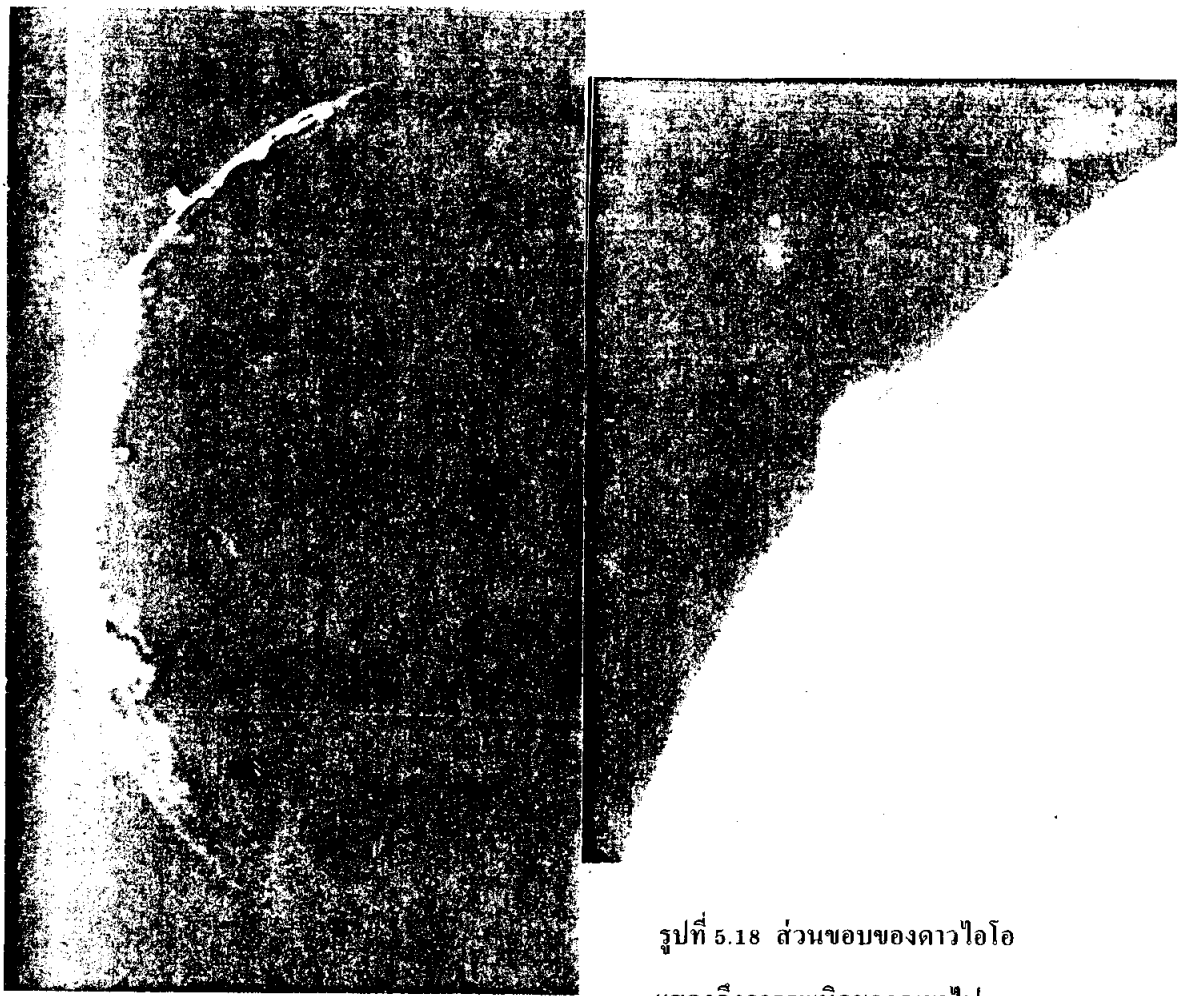
	ไอโอ	ยูโรปา	แกนิมีด	แกลลิสโต
โชติมาตร	5	5	5	5
เส้นผ่านศูนย์กลาง (กิโลเมตร)	3,640	3,050	5,270	4,900
มวล (เมื่อเทียบกับดวงจันทร์ มวลของดวงจันทร์ = 1)	1	0.6	2	0.6
ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์-เซนติเมตร)	3.5	3.3	2	1.6
คาบเวลาดาราคติ (วัน)	1.77	3.55	7.16	16.69

ข้อมูลจากยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 พบว่าดาวไอโอมีภูเขาไฟกำลังระเบิดและพบภูเขาไฟจำนวน 9 ลูก แต่นักดาราศาสตร์เชื่อว่าบนดาวไอโอน่าจะมีภูเขาไฟมากกว่านี้ ทั้งนี้เนื่องจากยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 สำรวจดาวไอโอเพียงด้านเดียว แก๊สทั้งหมดที่ผ่านออกมาจากภูเขาไฟเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ แก๊สเหล่านี้น่าจะอยู่ในชั้นบรรยากาศของดาวไอโอ แต่แท้ที่จริงแล้วโมเลกุลของมันถูกทำให้แยกจากกันและถูกทำให้เป็นไอออนโดยอนุภาคประจุไฟฟ้าที่อยู่รอบ ๆ ดาวพฤหัส ไอออนเหล่านี้จะถูกสนามแม่เหล็กของดาวพฤหัสกวาดและดึงออกจากดาวไอโอให้อยู่ในรูปขนมโดนัทขนาดใหญ่รอบดาวพฤหัสซึ่งประมาณว่ามันอยู่ในวงโคจรของดาวไอโอ พลาสมาเหล่านี้ถูกค้นพบโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 1 ทำให้อนุภาคซัลเฟอร์ซึ่งเป็นของแข็งตกกลับลงสู่พื้นผิวและจะปกคลุมพื้นผิวดาวไอโอด้วยสารซัลเฟอร์อย่างช้า ๆ ในคาบเวลาเป็นล้านปี สารซัลเฟอร์ก็จะปกคลุมพื้นผิวของดาวไอโอทั้งหมด ซึ่งจะปิดบังหลักฐานทั้งหมดที่เกิดจากการกัดกร่อนบนพื้นผิวของดาวไอโอ ดาวบริวารทั้งหมดของดาวพฤหัสพอจะประเมินได้ว่าไม่มีบรรยากาศถาวร

5.3.5 ดาวเสาร์

ดาวเสาร์เป็นดาวเคราะห์ที่ใหญ่เป็นที่สองในระบบสุริยะและเป็นเทห์ฟากฟ้าที่สวยงามมากที่สุดในระบบสุริยะ เมื่อมองผ่านกล้องโทรทรรศน์ ดาวเสาร์มีดาวบริวารอย่างน้อยที่สุด 16 ดวง เกือบครึ่งหนึ่งถูกค้นพบในระยะไม่กี่สิบปีนี้ และหลายดวงค้นพบโดยยานอวกาศวอย-เอเจอร์

วงโคจรของดาวเสาร์มีค่าความรีเท่ากับ 0.056 ใกล้เคียงกับค่าความรีของวงโคจรของดาวพฤหัส ระยะทางของดาวเสาร์ห่างจากดวงอาทิตย์แปรเปลี่ยนจากประมาณ 1,347 ถึง



รูปที่ 5.18 ส่วนขอบของดาวไอโอ
แสดงถึงการระเบิดของภูเขาไฟ

รูปที่ 5.17 ภาพถ่ายดาวไอโอซึ่งเป็นดาวบริวารของดาวพฤหัสโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์-2 แสดงถึงการระเบิดของภูเขาไฟสองลูกบนดาวไอโอ

1,505 ล้านกิโลเมตร และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,427 ล้านกิโลเมตร วงโคจรเอียงทำมุม $2\frac{1}{2}^{\circ}$ กับระนาบของเส้นสุริยวิถี ความเร็วเฉลี่ยในวงโคจรเท่ากับ 9.6 กิโลเมตรต่อวินาที ดาวเสาร์มีคาบเวลาดาราคติในการโคจรครบรอบเท่ากับ $29\frac{1}{2}$ ปี

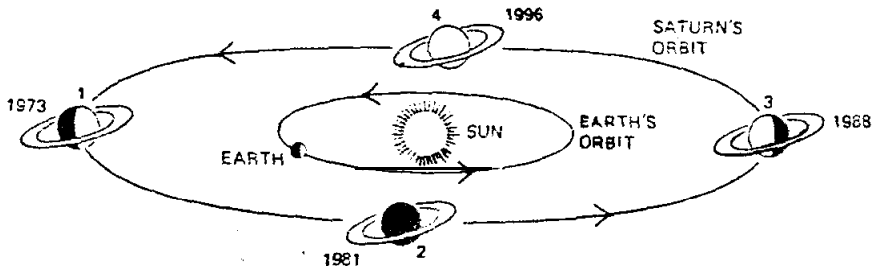
(ก) (ข)

รูปที่ 5.19 (ก) ภาพถ่ายดาวเสาร์โดยยานอวกาศวอยเอเจอร์-1 ในวันที่ 1 ตุลาคม ค.ศ. 1980 จากระยะทาง 18 ล้านกิโลเมตร (ข) ภาพถ่ายดาวเสาร์ที่ระยะทาง 1.5 ล้านกิโลเมตร โดยยานอวกาศวอยเอเจอร์-1 ในวันที่ 1 พฤศจิกายน ค.ศ. 1980 ในขณะที่ยานอวกาศออกจากดาวเสาร์

ก. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

จากวงโคจรของดาวบริวารของดาวเสาร์และจากการรบกวนต่อยานอวกาศของดาวเสาร์ นักวิทยาศาสตร์คำนวณมวลของดาวเสาร์ได้เป็น 92 เท่าของมวลของโลก ดาวเสาร์มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เส้นศูนย์สูตรประมาณ 121,000 กิโลเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางที่ขั้วประมาณ 109,000 กิโลเมตร จะเห็นได้ว่าดาวเสาร์เป็นดาวเคราะห์ที่ป้านที่สุดในระบบสุริยะ ความหนาแน่นเฉลี่ยของมันเท่ากับ 0.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เป็นค่าที่ต่ำที่สุดในระบบสุริยะ (ยกเว้นดาวพลูโตที่มวลอาจจะมีความหนาแน่นน้อยมาก) ถ้านำดาวเสาร์ไปไว้ในน้ำมันจะลอยน้ำ ความโน้มถ่วงที่พื้นผิวมากกว่าที่โลกเพียง 7 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าความเร็วของการผละหนีสูงถึง 36 กิโลเมตรต่อวินาที ซึ่งมากเพียงพอที่จะดึงแก๊สที่เบา ๆ ให้อยู่ในชั้นบรรยากาศหมด

โครงสร้างภายในของดาวเสาร์มีความคล้ายคลึงกับดาวพฤหัสมาก รูปแบบหนึ่งกำหนดให้ความกดดันที่จุดศูนย์กลางมีค่าประมาณ 50 ล้านเท่าของความกดดันที่ชั้นบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลบนโลก และความหนาแน่นที่จุดศูนย์กลางประมาณ 16 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ ดาวเสาร์อาจจะมีแกนภายในเป็นของแข็งซึ่งอาจจะมีมวลเป็นสองเท่าของมวลของโลก องค์-ประกอบของดาวเสาร์คล้ายกับดาวพฤหัส กล่าวคือ ส่วนใหญ่เป็นแก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียม แต่ดาวเสาร์มีขนาดเล็กกว่า ดังนั้นความโน้มถ่วงบนดาวเสาร์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับดาวพฤหัส แก๊สต่าง ๆ ที่อยู่บนดาวเสาร์ไม่สามารถอัดตัวกันได้แน่นเหมือนดาวพฤหัส จึงทำให้ความหนาแน่นของดาวเสาร์ต่ำมาก



รูปที่ 5.20 แสดงถึงตำแหน่งของดาวเสาร์ในปีต่าง ๆ และลักษณะของวงแหวนที่สามารถมองเห็นจากโลก

คาบเวลาของการหมุนรอบตัวเองของดาวเสาร์วัดจากผลของเส้นสเปกตรัมที่ถ่ายจากดาวเสาร์เคลื่อนไปจากตำแหน่งปกติ *(โปรดดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 8.5)* และจากการเคลื่อนที่ของจุดบนดาวเสาร์, คาบเวลาของการหมุนรอบตัวเองคล้ายดาวพฤหัส คือ มากกว่าสิบชั่วโมงเล็กน้อยที่เส้นศูนย์สูตร และดาวเสาร์จะหมุนช้าลงเมื่อละติจูดห่างจากเส้นศูนย์สูตรมากขึ้น คาบเวลาการหมุนรอบตัวเองเฉลี่ยเกือบเท่ากับ 10 ชั่วโมง 38 นาที เนื่องจากดาวเสาร์มีการหมุนรอบตัวเองเร็วมากและความหนาแน่นต่ำ จึงทำให้มันมีความป้านมากที่สุดในระบบสุริยะ

แกนหมุนรอบตัวเองของดาวเสาร์เอียงทำมุม 27° กับแนวดิ่ง จึงทำให้มีฤดูบนพื้นผิวของดาวเสาร์ เนื่องจากวงแหวนของดาวเสาร์อยู่ในระนาบเส้นศูนย์สูตร ทำให้เราเห็นลักษณะวงแหวนของดาวเสาร์ในรูปแบบต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.20

ข. บรรยากาศ

จากการวัดรังสีอินฟราเรดแสดงให้เห็นว่า ดาวเสาร์มีอุณหภูมิ −180° เซลเซียส บรรยากาศของดาวเสาร์คล้ายคลึงกับบรรยากาศของดาวพฤหัสมาก เส้นสเปกตรัมของดาวเสาร์แสดงให้เห็นว่าแก๊สมีเทนมีมากกว่าและแอมโมเนียมีน้อยกว่าดาวพฤหัส

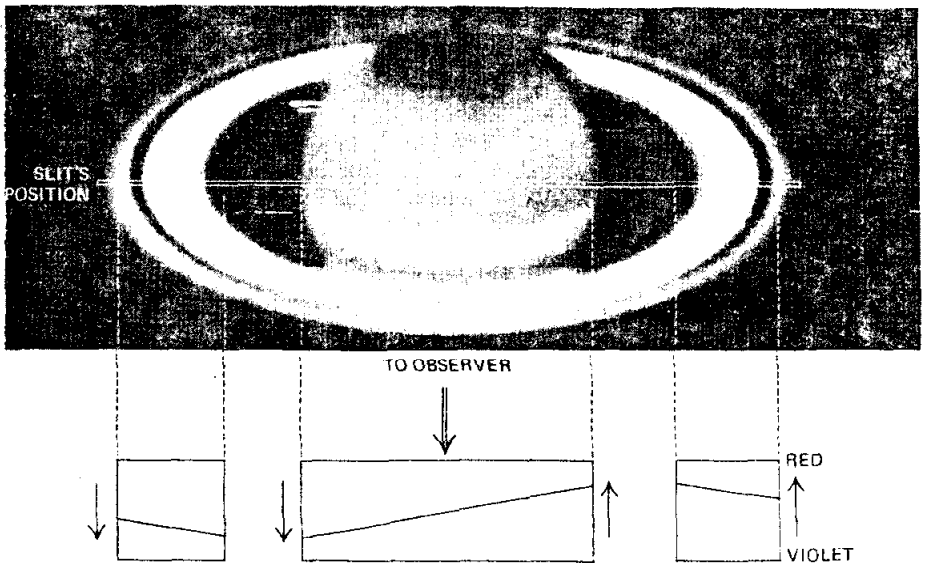
ดาวเสาร์มีแถบขนานไปกับเส้นศูนย์สูตรและแถบนี้มีสีด้วย แถบที่เห็นเป็นแถบของลมที่พัดด้วยความเร็วมากกว่าบนดาวพฤหัสมาก จากการวัดความเร็วของลมนี้จากยานอวกาศวอยเอเจอร์พบว่ามันมีค่าถึง 150 กิโลเมตรต่อวินาที ยานอวกาศวอยเอเจอร์ยังพบจุดดำซึ่งเป็นพายุหมุนไซโคลนด้วย ซึ่งคล้ายกับจุดแดงใหญ่บนดาวพฤหัส แต่ต่างกันที่จุดดำบนดาวเสาร์มีลักษณะเด่นน้อยกว่ามาก ๆ สิ่งที่มีลักษณะเด่นชัดมากบนดาวเสาร์นั้นคือ จุดสีน้ำตาลรูปไข่ที่อยู่ทางละติจูดทางเหนือมาก จุดนี้มีความกว้างประมาณ 1,000 กิโลเมตร ดังรูปที่ 5.22

ดาวเสาร์แผ่พลังงานรังสีออกสู่อวกาศมากกว่าที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ พลังงานรังสีเหล่านี้มาจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่อยู่ภายใน บางทีมาจากการอัดตัวอย่างช้า ๆ หรือการจมลงของวัตถุหนัก โครงสร้างภายในของดาวพฤหัสและดาวเสาร์เหมือนกันมาก หลายร้อยกิโลเมตรใต้กลุ่มเมฆลงไปแก๊สไฮโดรเจนของดาวเสาร์ต้องเป็นของเหลวและที่บางแห่งลึกมากกว่านี้ ไฮโดรเจนจะกลายเป็นวัตถุของแข็งสภาพนำไฟฟ้าสูง

ดาวเสาร์มีสนามแม่เหล็กล้อมรอบ ซึ่งประกอบด้วยพลังงานแม่เหล็กจำนวนมากมายมหาศาลเมื่อเทียบกับสนามแม่เหล็กของโลก แต่อ่อนกว่าสนามแม่เหล็กของดาวพฤหัส

ค. ระบบวงแหวน

เมื่อเรามองดูดาวเสาร์ด้วยกล้องโทรทรรศน์เราจะเห็นวงแหวนของดาวเสาร์แบ่งออกเป็นสามส่วนหรือสามวง โดยแบ่งได้ดังนี้ (จากข้างนอกสู่ข้างใน) วงแหวนเอ, วงแหวนบี และวงแหวนซี รัศมีนอกสุดของวงแหวนเอ 137,400 กิโลเมตร มีความหนาน้อยกว่า 16 กิโลเมตร วงแหวนบีเป็นวงแหวนที่สว่างที่สุด วงแหวนซีมีชื่อเรียกว่า เครพริง (crepe ring) เป็นวงแหวนที่มัวและมีรัศมีด้านในประมาณ 71,000 กิโลเมตร นักดาราศาสตร์รู้มานานแล้วว่าวงแหวนของดาวเสาร์ไม่ใช่เป็นของแข็ง แต่มันประกอบด้วยอนุภาคชิ้นเล็ก ๆ เป็นจำนวนมากมาย จากเหตุผลที่ว่า ประการที่หนึ่ง มันอยู่ในช่วงของขอบเขตจำกัดของโรเช (Roche's limit : เป็นระยะทางที่ใกล้ที่สุดที่วัตถุของแข็งขนาดใหญ่ เช่น ดาวบริวารสามารถอยู่ใกล้ดาวเคราะห์ได้ ถ้าดาวบริวารเข้าใกล้ดาวเคราะห์มากกว่าขอบเขตจำกัดของโรเช มันจะถูกทำลายให้เป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อยด้วยแรงไทด์ (tidal force) จากดาวเคราะห์) ดึงดูดมัน บางคนเชื่อว่าวงแหวนเหล่านี้เกิดจากวัตถุดั้งเดิมซึ่งไม่สามารถรวมตัวกับดาวเสาร์หรือดาวบริวารที่ล้อมรอบดาวเสาร์ ประการที่สอง จากการเคลื่อนของเส้นสเปกตรัม (หรือผลดอปเพลอร์) ของแสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากส่วนที่แตกต่างกันของวงแหวน *(ดังแสดงในรูปที่ 5.21)* วงแหวนเหล่านี้เคลื่อนที่โคจรรอบ ๆ ดาวเสาร์ด้วยอัตราความเร็วต่ำ ประการสุดท้าย แสงจากดาวฤกษ์สามารถส่องทะลุผ่านวงแหวนเกือบทั้งหมด



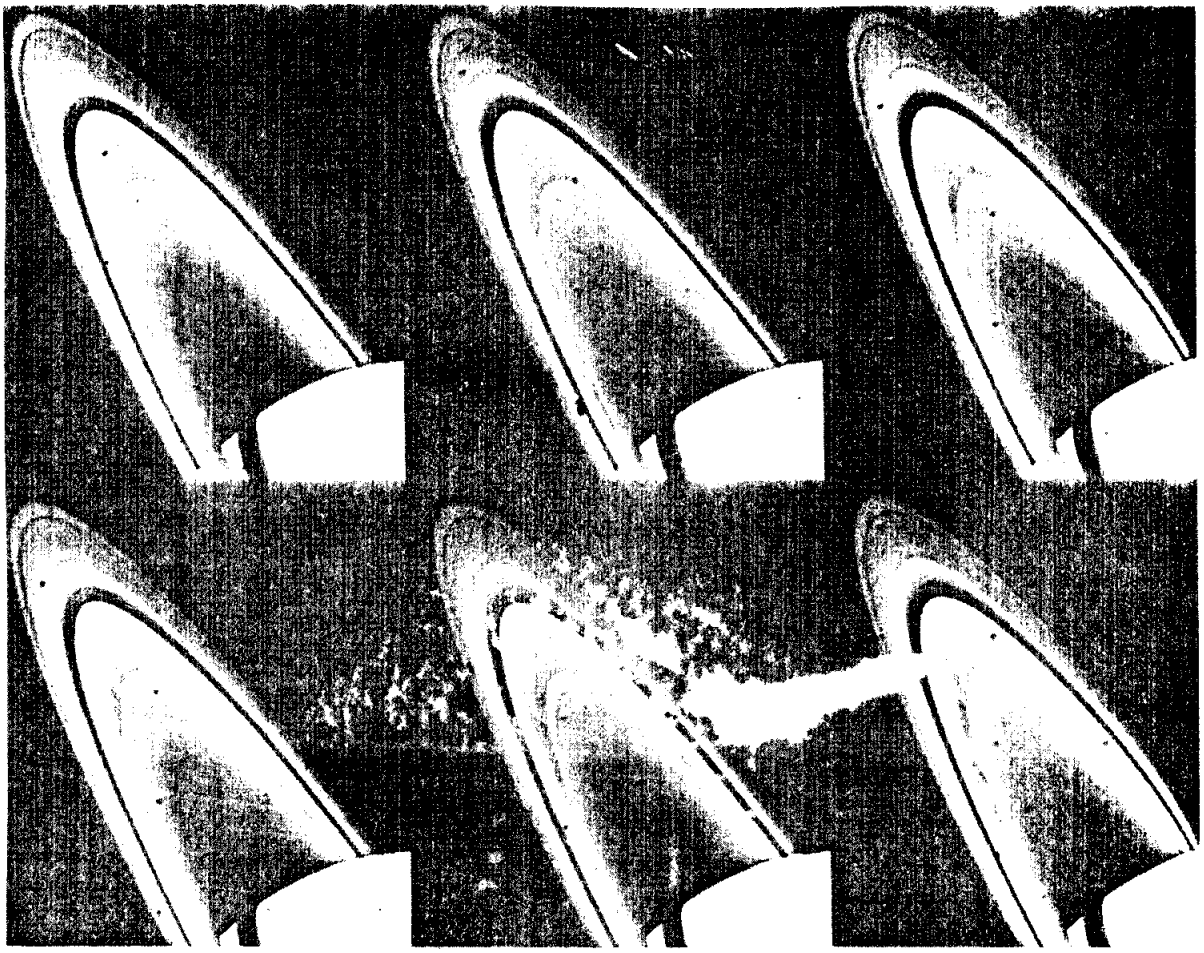
รูปที่ 5.21 จากการถ่ายภาพเส้นสเปกตรัมของวงแหวนและตัวดาวเสาร์ พบว่าทั้งดาวเสาร์และวงแหวนมีการหมุนรอบตัวเองเนื่องจากเส้นสเปกตรัมเคลื่อนไปทางแถบแสงสีแดงและแถบแสงสีม่วง

ระหว่างวงแหวนเอ และ บี เป็นช่องว่างมืดที่มีความกว้างไม่น้อยกว่า 4,800 กิโลเมตร ช่องว่างนี้มีชื่อเรียกว่า ช่องคาสสินี (Cassini division)

ปัจจุบันนี้เรารู้ว่าระบบวงแหวนของดาวเสาร์มีความสลับซับซ้อนมากกว่าที่เราคิดไว้มาก สิ่งแรกได้แก่ ยานอวกาศสำรวจระหว่างดาวเคราะห์ได้พบวงแหวนดี ซึ่งมีความมัวมาก และอยู่ด้านในของวงแหวนซี พร้อมกันนี้ยังได้พบวงแหวนเอฟที่มีความแคบมาก โดยมีรัศมี 140,600 กิโลเมตร (อยู่ภายนอกวงแหวนเอ) และวงแหวนจี ซึ่งมีรัศมี 150,000 กิโลเมตร และวงแหวนอี ที่มีความกว้างและมัวมาก โดยมีรัศมีมากกว่า 240,000 กิโลเมตร

รูปที่ 5.22 ภาพถ่ายของบรรยากาศของดาวเสาร์สองภาพที่บริเวณใกล้ขั้วเหนือในวันที่ 23 และ 24 สิงหาคม ค.ศ. 1981 โดยยานอวกาศวอยเอเจอร์-2 จากระยะทาง 2.7 และ 2.3 ล้านกิโลเมตร ตามลำดับ

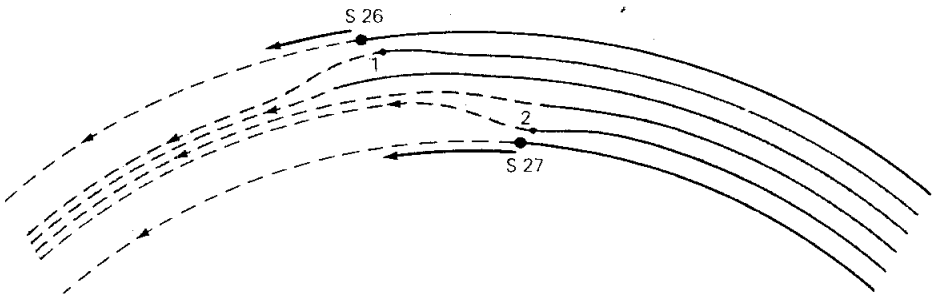
แต่สิ่งที่น่าประหลาดใจเป็นอย่างมากคือ โครงสร้างของวงแหวนเอ, บี และ ซี ปรากฏเป็นรูปวงแหวนเล็ก ๆ หลาย ๆ พันวง และช่องคาสสินิไม่ได้ว่างเปล่า แต่ประกอบด้วยวงแหวนเล็ก ๆ ที่แตกต่างกันนับจำนวนหลายร้อยวง แม้ว่ามันจะมีอนุภาคน้อยกว่าอนุภาคในวงแหวนเอและบีที่ล้อมรอบเป็นจำนวนมากก็ตาม ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 ได้วัดแสงจากดาวฤกษ์ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมันถูกบังด้วยระบบวงแหวนเหล่านี้ การเปลี่ยนแปลงสม่ำเสมอในความสว่างของดาวฤกษ์แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างของวงแหวนที่หนาอย่างน้อยที่สุดไม่น้อยกว่าเศษหนึ่งส่วนสี่กิโลเมตร



รูปที่ 5.23 ภาพวงแหวนของดาวเสาร์ถ่ายโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์-1 ในวันที่ 1 ตุลาคม ค.ศ. 1980 โดยใช้เวลาประมาณ 15 นาที แสดงถึงการเคลื่อนที่ของสโพคอันเป็นลักษณะเด่นชัดในวงแหวนบี

จากการสังเกตของยานอวกาศวอยเอเจอร์พบว่า อนุภาคในวงแหวนเอฟมีขนาดเล็กมาก ๆ โดยมีขนาดสองสามส่วนพันมิลลิเมตร ในวงแหวนเอ, บี และซี อนุภาคอยู่ในช่วงขนาดเล็กจนถึงหลายเซนติเมตรและเมตร การดูดกลืนคลื่นวิทยุของระบบวงแหวนจากยานอวกาศวอยเอเจอร์ที่ส่งมายังโลกในขณะที่ยานอวกาศอยู่ด้านหลังของวงแหวน ทำให้สามารถวัดขนาดของอนุภาคขนาดใหญ่ได้ จากการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคเหล่านี้พบว่า มีขนาดประมาณ 2 เมตรในวงแหวนซี, 8 เมตรในช่องคาสสินี และ 10 เมตรในวงแหวนเอ และ บี อนุภาคเกือบทั้งหมดอาจจะมีขนาดเล็กมาก องค์ประกอบของวงแหวนเรายังไม่รู้ทั้งหมด แต่จากการศึกษาบนโลกแสดงให้เห็นว่าอนุภาคเหล่านี้อย่างน้อยที่สุดปกคลุมด้วยน้ำแข็ง และข้อมูลจาก

ยานอวกาศวอยเอเจอร์ชี้ให้เห็นว่ามันเป็นน้ำแข็งมากมาย ถ้าวัตถุทั้งหมดในระบบวงแหวนสามารถอัดแน่นให้เป็นจานสม่ำเสมอมันจะมีความหนาเพียง 1 เมตรเท่านั้น มวลทั้งหมดของวงแหวนรวมกันได้ประมาณ 3×10^{-8} ของมวลของดาวเสาร์



รูปที่ 5.24 ภาพวาดแสดงการบิดเบี้ยวของวงแหวนเอฟ

ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 1 ได้ค้นพบลักษณะเด่นของวงแหวนบี และได้ศึกษาอย่างละเอียดโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.23 เป็นชุดอนุกรมของ "สโพค" (spokes) ซึ่งมันปรากฏและหายไปเมื่อเวลาผ่านไป จากการวิเคราะห์แสงที่สะท้อนจากวงแหวนและที่ผ่านออกจากวงแหวน แสดงให้เห็นว่าวงแหวนประกอบด้วยอนุภาคที่เล็กละเอียดมาก ๆ (มีขนาดสองสามส่วนพันมิลลิเมตร) ในบริเวณสโพค สโพคไม่ปรากฏอย่างถาวร ภายหลังจากที่มันเกิดขึ้นมาสองสามชั่วโมงมันก็จะกระจายหายไป แต่สโพคอันใหม่ก็จะเกิดขึ้นมาใหม่ ขณะนี้เรายังไม่ทราบสาเหตุของปรากฏการณ์นี้ มันอาจจะเกิดจากอนุภาคเล็ก ๆ ถูกทำให้ลอยสูงจากระนาบของวงแหวนโดยประจุไฟฟ้าสถิตที่กำเนิดขึ้นบนอนุภาคโดยผลโฟโตอิเล็กทริกของแสงอาทิตย์กระทบอนุภาคเหล่านี้ หรือบางทีอาจจะเกิดจากไอออนในสนามแม่เหล็กรอบดาวเสาร์

สิ่งที่น่าประหลาดใจอื่น ๆ จากยานอวกาศวอยเอเจอร์คือ โครงสร้างของวงแหวนเอฟมันไม่ใช่เพียงแต่บางมากเท่านั้น แต่มันบิดเหมือนเกลียวเชือก *(ดังแสดงในรูปที่ 5.24)* แต่ละอนุภาคในวงแหวนเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและถูกรบกวนในวงโคจร การบิดของวงแหวนเอฟได้มีการอธิบายดังนี้ จากการค้นพบดาวบริวารสองดวงของยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 1 มีชื่อเรียกชั่วคราวว่า 1980 S 26 และ 1980 S 27 (ดาวบริวารทั้งสองดวงมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 กิโลเมตรเท่านั้น) ดาวบริวารทั้งสองมีวงโคจรแยกจากกันและอยู่ใกล้วงแหวนเอฟมาก ดังแสดงในรูปที่ 5.24 **พี. โกลริช แห่งคัลเทค** (P. Goldreich at Caltech) และ **เอส.ทรีเมน แห่งปรินซ์ตัน** (S. Tremaine at Princeton) เสนอความเห็นครั้งแรกว่า ดาวบริวารทั้งสองดวงจะส่งแรงมายังอนุภาคที่อยู่ในวงแหวนเอฟ ดาวบริวารที่อยู่ข้างนอกวงแหวนเอฟจะเคลื่อนที่

รูปที่ 5.25 รูปถ่ายวงแหวนเอฟของดาวเสาร์ ถ่ายโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์-1

ช้ากว่าอนุภาคที่อยู่ในวงแหวนเอฟ ดาวบริวารนี้จะส่งแรงกระทำพยายามทำให้อนุภาคในวงแหวนมีความเร็วเพิ่มขึ้นและทิศทางเคลื่อนที่ออกจากวงแหวน ซึ่งจะเป็นสาเหตุทำให้พลังงานของอนุภาคเหล่านี้สูญหายไปและทำให้ตกเข้าไปในวงโคจรที่ใกล้ดาวเสาร์มากขึ้น ในทางกลับกัน ดาวบริวารที่อยู่ด้านในวงแหวนเอฟเคลื่อนที่เร็วกว่าอนุภาคในวงแหวนเอฟ ก็จะไปเพิ่มพลังงานให้กับอนุภาคที่อยู่ใกล้และจะเตะอนุภาคเหล่านี้ให้อยู่ในวงโคจรที่สูงขึ้น แรงเหล่านี้ทำให้อนุภาคอยู่ในวงแหวนขอบเขตแคบ ๆ จึงทำให้วงแหวนมีการบิดเหมือนเกลียวเชือก

แม้จนบัดนี้นักวิทยาศาสตร์ก็ยังอธิบายไม่ได้ว่า ฝุ่นผงก้อนหินที่เย็นเป็นน้ำแข็ง มีอุณหภูมิ -307° ฟาเรนไฮต์ ที่หมุนไปรอบ ๆ ดาวเสาร์ครบรอบทุก 12 ชั่วโมงเหล่านี้เกิดมาได้อย่างไร แต่หลายคนก็ได้ยอมรับทฤษฎีเดิมว่า วงแหวนเล็ก ๆ เหล่านี้เกิดจากคลื่นความโน้มถ่วงจากดวงจันทร์ของดาวเสาร์ส่งไป มีผลทำให้เกิดกำทอนขึ้น บางคนก็บอกว่าดูจากข้อมูลแล้ววงแหวนเหล่านี้ไม่ใช่ชิ้นส่วนของดาวเสาร์ แต่เป็นชิ้นส่วนของดวงจันทร์และดาวหางที่ได้ระเบิดออกแล้วมารวมกันโคจรรอบดาวเสาร์เพราะแรงโน้มถ่วงจากดวงจันทร์บริวารที่อยู่ใกล้เคียง

วงแหวนที่เชื่อกันว่าลึก 1 ไมล์นั้น บางแห่งวัดได้แค่ 500 ฟุต มิหนำซ้ำในบางบริเวณที่เคยคิดว่าเป็นช่องว่างก็ยังมีวงแหวนหงิก ๆ งอ ๆ อยู่ด้วย บางส่วนก็เหมือนว่าเป็นกลุ่มเมฆ, หมอก, ฝุ่นผงที่ขดเป็นชั้นเนื่องจากเกิดการชักเย่อกันขึ้นระหว่างปฏิกิริยาโฟโตอิเล็กทริกของแสงอาทิตย์กับสนามแม่เหล็กของดาวเสาร์ บางคนคิดว่าอาจจะมีดวงจันทร์ซุกซ่อนอยู่ในช่องว่างของวงแหวนด้วย ดังเช่น มีช่องว่างถึง 60 ช่องในวงแหวนซี แต่ก็ไม่มีการตรวจพบแต่อย่างไร

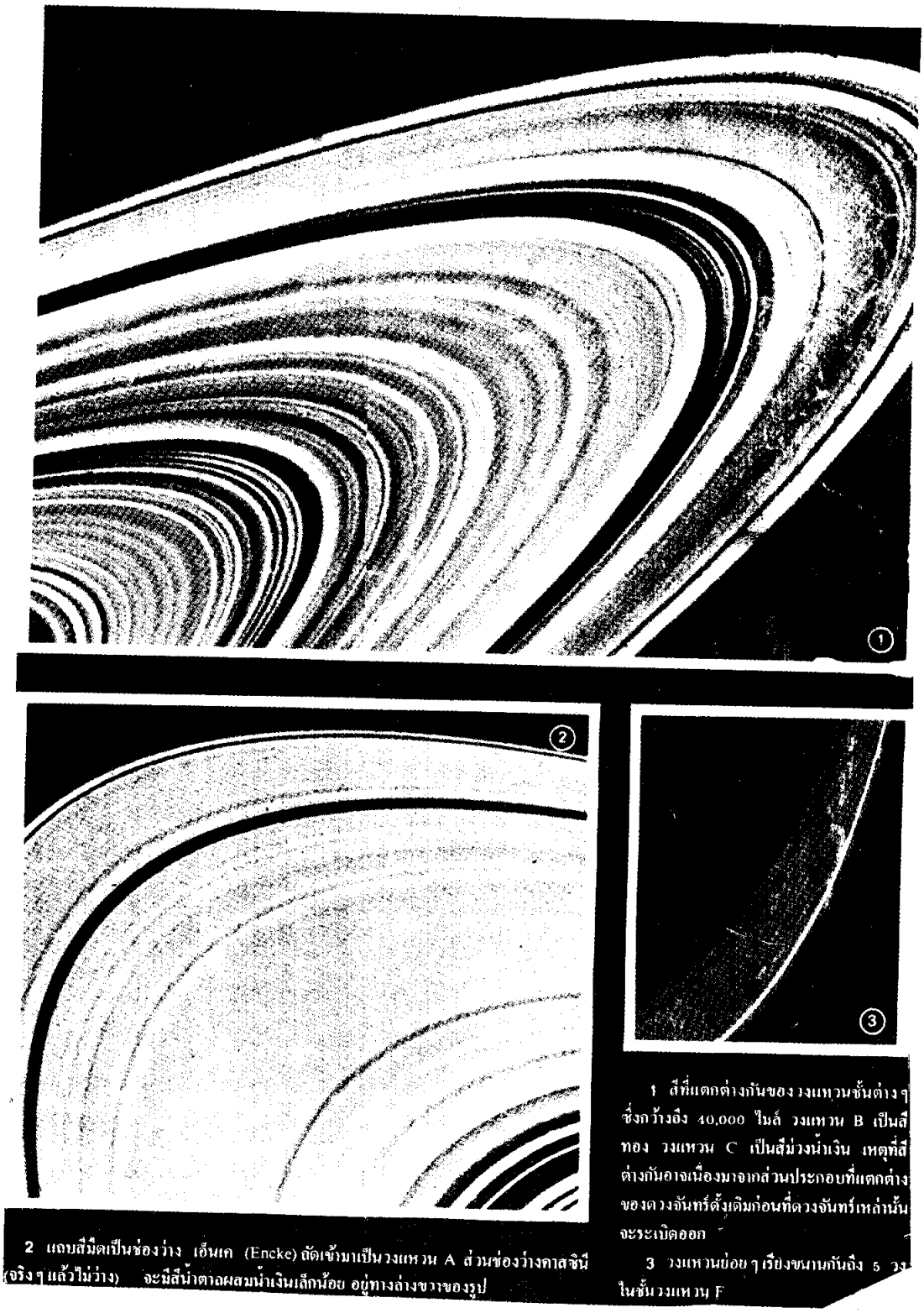
ขอบนอกสุดของวงแหวนดาวเสาร์มีระยะประมาณ 2.3 เท่าของรัศมีของดาวเสาร์ ซึ่งอยู่ในขอบเขตจำกัดของโรเช ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะมีดวงจันทร์ดวงใดดวงหนึ่งที่เข้าใกล้ดาวเสาร์มากแล้วเกิดระเบิดขึ้น และก็อาจจะเป็นไปได้เช่นเดียวกันในการอธิบายอีกอย่างหนึ่ง คือว่า วงแหวนนี้เกิดจากสสารซึ่งไม่รวมตัวกับดาวเสาร์เมื่อแรกเริ่ม สสารภายในขอบเขตจำกัดของโรเชนี้ไม่สามารถที่จะรวมกันเป็นดาวบริวารของดาวเสาร์ได้เนื่องจากแรงไทด์

ง. ดาวบริวาร

ดาวเสาร์มีดาวบริวารไม่ต่ำกว่า 16 ดวง ดวงใหญ่ที่สุดมีชื่อเรียกว่า ไทแทน (Titan) ดาวไทแทนเป็นดาวบริวารเพียงดวงเดียวในระบบสุริยะที่มีบรรยากาศปกคลุมอย่างถาวรและมีรัศมีปรากฏใหญ่ที่สุดด้วย (ขนาด 2,900 กิโลเมตร) เนื่องจากแสงอาทิตย์ที่กระเจิงจากส่วนบนของบรรยากาศที่หนาแน่น ยานอวกาศวอยเอเจอร์ได้วัดขนาดที่แท้จริงของมัน พบว่ามันมีรัศมี 2,560 กิโลเมตร ซึ่งใหญ่เป็นที่สองรองจากดาวเกนิมีด (เป็นดาวบริวารที่ใหญ่ที่สุดของดาวพฤหัส) ซึ่งมีรัศมี 2,635 กิโลเมตร บรรยากาศของดาวไทแทนมีความหนาแน่นมาก ความกดดันทั้งหมดที่พื้นผิวประมาณ 1.5 เท่าของความกดดันบนโลกที่ระดับน้ำทะเล **เจอราร์ด คูเปอร์** (Gerard Kuiper) เป็นคนแรกที่ค้นพบแก๊สมีเทนในบรรยากาศของดาวไทแทนในปี ค.ศ. 1940 โดยการศึกษาเส้นสเปกตรัมจากโลก ยานอวกาศวอยเอเจอร์ได้ยืนยันว่า บรรยากาศบนดาวไทแทนประกอบด้วยแก๊สมีเทน แต่มีประมาณเพียง 2% ของบรรยากาศทั้งหมด ส่วนใหญ่เป็นแก๊สไนโตรเจนและมีร่องรอยของแก๊สอื่น ๆ (อุณหภูมิที่พื้นผิวมีค่าเท่ากับ 97 เคลวิน นักดาราศาสตร์คาดว่าแก๊สมีเทนอาจจะอยู่ทั้งสามสถานะ คือ ของแข็ง, ของเหลว และแก๊ส)

ดาวบริวารนอกนั้นมีขนาดเล็ก สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามขนาดของมัน กลุ่มแรกมีรัศมีจาก 150 ถึง 765 กิโลเมตร อีกกลุ่มมีรัศมี 100 กิโลเมตร หรือน้อยกว่า

หลังจากภาพล่าสุดนี้ไปแล้ว ภาพจากวอยเอเจอร์ – 2 ก็จะมืดมิดในระหว่างการเดินทาง 5 ปีไปสู่ดาวยูเรนัส ราวเดือนมกราคม พ.ศ. 2529 และไปสู่ดาวเนปจูนในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2532 ไม่แน่ว่าอีก 358,000 ปีถัดจากนั้นไป วอยเอเจอร์ – 2 อาจจะเข้าไปใกล้ดาวซิริอุส ซึ่งสุกใสที่สุดบนท้องฟ้าก็ได้

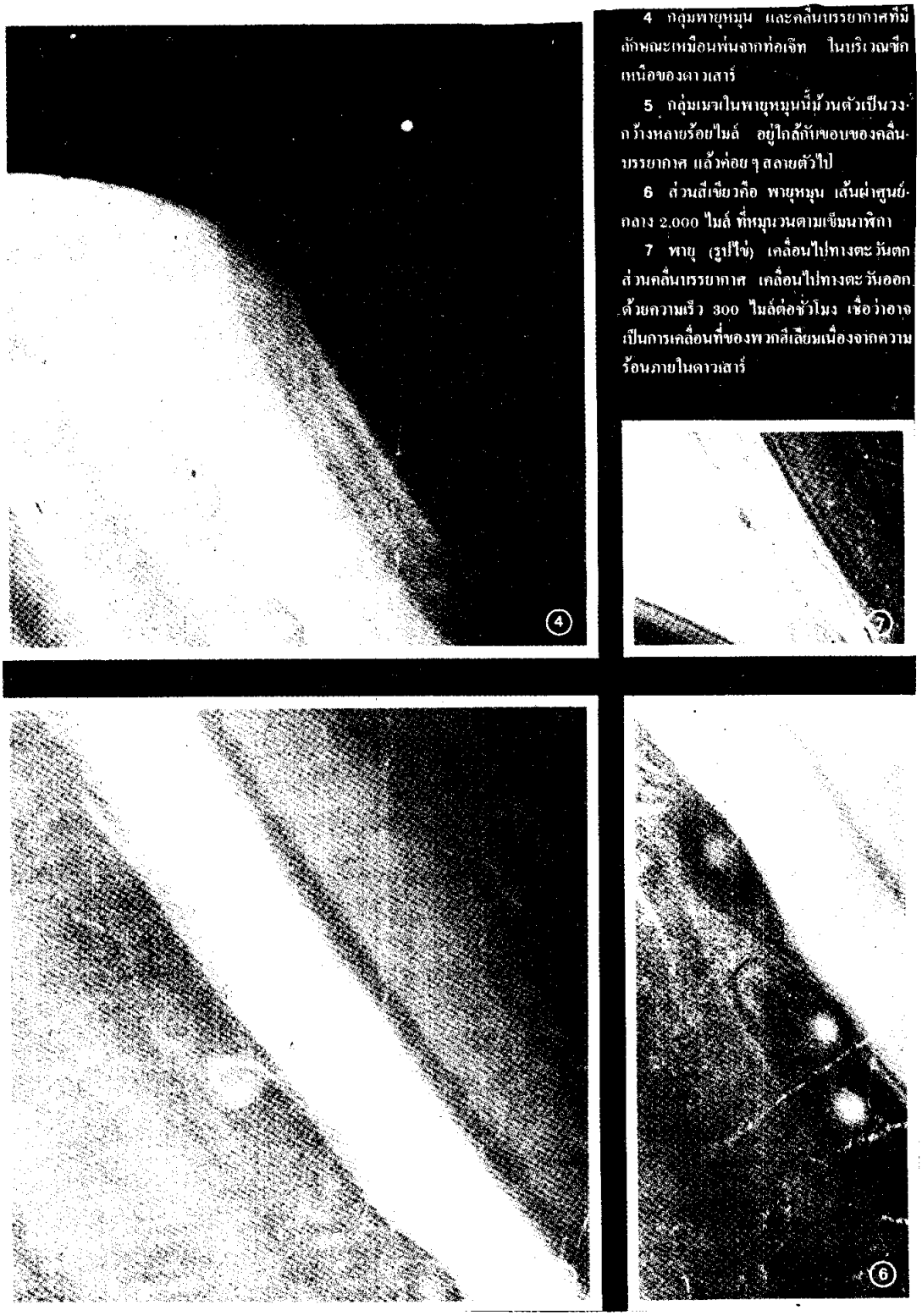


1 สีที่แตกต่างกันของวงแหวนชั้นต่างๆ ซึ่งกว้างถึง 40,000 ไมล์ วงแหวน B เป็นสีทอง วงแหวน C เป็นสีม่วงน้ำเงิน เหตุที่สีต่างกันอาจเนื่องมาจากส่วนประกอบที่แตกต่างของดวงจันทร์ดั้งเดิมก่อนที่ดวงจันทร์เหล่านั้นจะระเบิดออก

2 แถบสีมืดเป็นช่องว่าง เอ็นเค (Encke) ถัดเข้ามาเป็นวงแหวน A ส่วนช่องว่างคาสซินี (จริงๆแล้วไม่ว่าง) จะมีสีน้ำตาลผสมน้ำเงินเล็กน้อย อยู่ทางล่างขวาของรูป

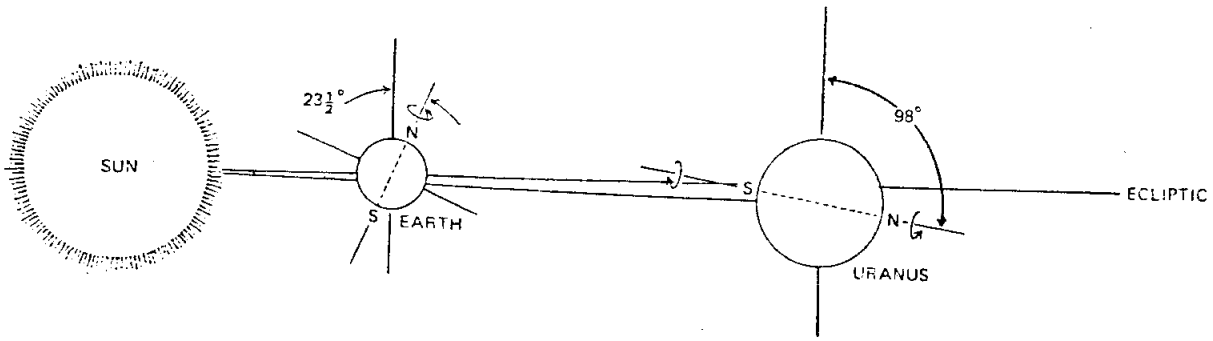
3 วงแหวนย่อยๆเรียงขนานกันถึง 5 วง ในชั้นวงแหวน F

รูปที่ 5.26 ภาพถ่ายวงแหวนของดาวเสาร์จากยานอวกาศวอยเอเจอร์-2



รูปที่ 5.27 ภาพถ่ายดาวเสาร์จากยานอวกาศวอยเอเจอร์-2

5.3.6 ดาวยูเรนัส

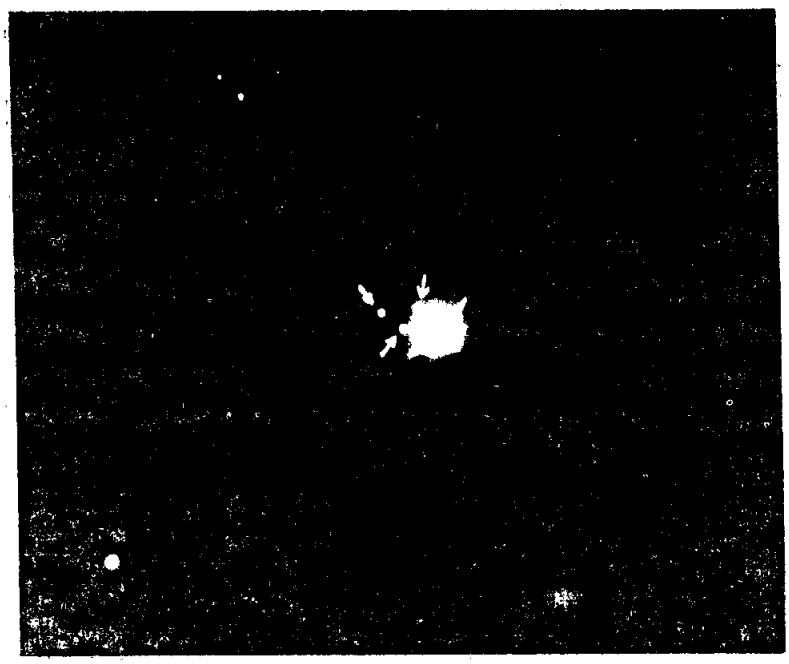


รูปที่ 5.28 แสดงแกนหมุนสมมติของดาวยูเรนัส แกนหมุนสมมติของดาวยูเรนัสเอียงทำมุมจากแนวดิ่งมากกว่า 98°

นักดาราศาสตร์คนแรกที่ค้นพบดาวยูเรนัส คือ **วิลเลี่ยม เฮอร์เชล** (William Herschel) ในวันที่ 13 มีนาคม ค.ศ. 1781 ด้วยกล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 นิ้ว ในตอนแรกเขาได้ประกาศว่าค้นพบดาวหางดวงใหม่ ประมาณอีก 5 เดือนต่อมา **เลกเซลล์** (A.J. Lexell) ประกาศว่า ดาวหางที่เฮอร์เชลค้นพบนั้นแท้ที่จริงเป็นดาวเคราะห์โดยโคจรรอบดวงอาทิตย์เกือบเป็นรูปวงกลม เฮอร์เชลได้ตั้งชื่อดาวเคราะห์ดวงนี้ว่า "Georgium Sidus" เพื่อเป็นเกียรติแก่ **พระเจ้ายอร์จที่ 3** แต่ชื่อนี้ไม่เป็นที่นิยม ดังนั้น โดยคำแนะนำของ **โบด** (J.E. Bode) ได้ตั้งชื่อดาวเคราะห์ดวงนี้ใหม่ว่า ดาวยูเรนัส (Uranus : คนไทยเราเรียกว่า ดาวมฤตยู) ซึ่งเป็นชื่อของเทพเจ้าองค์หนึ่งของกรีก ถ้าเรามองดูดาวยูเรนัสด้วยกล้องโทรทรรศน์จะปรากฏเล็กมาก มีสีเขียวซีดที่ริมเนื่องจากมีแก๊สมีเทนอยู่ในบรรยากาศของดาวยูเรนัสนั่นเอง จากการสังเกตผลดอปเพลอร์จากเส้นสเปกตรัมของดาวยูเรนัสพบว่า คาบเวลาในการหมุนรอบตัวเองมีค่าประมาณ 24 ชั่วโมง

ก. วงโคจร

ดาวยูเรนัสอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางเฉลี่ยประมาณ 2,869,000,000 กิโลเมตร โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรีที่เกือบเป็นรูปวงกลม โดยมีค่าความรีเท่ากับ 0.051 ระนาบวงโคจรเอียงทำมุม 0° 46′ กับระนาบของเส้นสุริยวิถีซึ่งเป็นมุมที่เล็กที่สุดที่ระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์กระทำกับระนาบของเส้นสุริยวิถี ดาวยูเรนัสเคลื่อนที่ด้วยความเร็วประมาณ 6.8 กิโลเมตรต่อวินาทีในวงโคจร คาบเวลาดาราคติ 84 ปี และคาบเวลาซินนอดิกเท่ากับ 369 วัน



รูปที่ 5.29 ภาพถ่ายของดาวยูเรนัสและดาวบริวารของมันอีกสามดวง

ลักษณะที่สำคัญของดาวยูเรนัส คือ การเอียงของแกนหมุนสมมติ ถ้าเราให้ทิศทางการหมุนทวนเข็มนาฬิกาของดาวยูเรนัสเป็นทิศเหนือ (เช่นเดียวกับขั้วเหนือของโลก) แกนหมุนสมมติของดาวมฤตยูเอียงทำมุมจากแนวดิ่งมากกว่า 98° *(ดูรูปที่ 5.28)* นั่นคือ แกนหมุนสมมติของดาวยูเรนัสชี้เข้าหาดวงอาทิตย์ ช่วงเวลากลางวันและกลางคืนจะยาวนานถึง 42 ปี

ข. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

ดาวยูเรนัสมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 52,000 กิโลเมตร มีมวลเท่ากับ 14.5 เท่าของมวลของโลก แต่ความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าเกือบเท่าดาวพฤหัส ความโน้มถ่วงบนพื้นผิวมีค่าเท่ากับ 0.88 เท่าบนโลก และความเร็วของการผละหนีมีค่าประมาณ 21 กิโลเมตรต่อวินาที เส้นสเปกตรัมของดาวยูเรนัสแสดงให้เห็นถึงบรรยากาศของดาวยูเรนัสประกอบด้วยแก๊สมีเทน, ไฮโดรเจน (ไม่พบแก๊สแอมโมเนีย) ดาวยูเรนัสมีอุณหภูมิประมาณ –218° เซลเซียส อุณหภูมิขนาดนี้จะทำให้แก๊สแอมโมเนียเย็นจนเป็นน้ำแข็ง และจะตกลงไปชั้นล่างสุดของบรรยากาศซึ่งเส้นสเปกตรัมนั้นวัดได้แต่เพียงชั้นบนของบรรยากาศของดาวยูเรนัสเท่านั้น

ค. ดาวบริวาร

ดาวยูเรนัสมีดาวบริวาร 5 ดวง คือ แอเรียล (Ariel), มิแรนดา (Miranda), โอบีรอน

(Oberon), ไททาเนีย (Titania) และอัมเบรียล (Umbriel) เส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วงระหว่าง 240 กิโลเมตร ได้แก่ ดาวมิแรนดา ถึง 966 กิโลเมตร ได้แก่ ดาวไทเทเนีย มีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของดาวยูเรนัสตั้งแต่ 124,000 กิโลเมตรสำหรับดาวมิแรนดา ถึง 586,000 กิโลเมตรสำหรับดาวโอบีรอน ดาวมิแรนดามีคาบเวลาในการโคจรรอบดาวยูเรนัสสั้นกว่า 1.5 วัน ในขณะที่ดาวโอบีรอนมีคาบเวลาในการโคจรรอบดาวยูเรนัสนานที่สุดเท่ากับ 13.5 วัน ดาวบริวารทั้งหมดโคจรรอบดาวยูเรนัสเป็นรูปวงกลมและคาดว่าเป็นวัตถุน้ำแข็ง

ง. วงแหวนของดาวยูเรนัสเมื่อสังเกตจากโลก

ก่อนที่ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 จะเคลื่อนผ่านดาวยูเรนัส ในปี ค.ศ. 1986 ข้อมูลของดาวยูเรนัสทั้งหมดได้มาจากการสังเกตบนโลก วงแหวนของดาวยูเรนัสถูกค้นพบโดยบังเอิญในปี ค.ศ. 1977 จากนักดาราศาสตร์กลุ่มหนึ่งที่วางแผนศึกษาบรรยากาศของดาวยูเรนัสโดยวิธีเทคนิคการบัง (occulation technique) เทคนิคนี้มีหลักการว่า ถ้าโลก, ดาวเคราะห์ และดาวฤกษ์อยู่ในตำแหน่งเส้นตรงเดียวกันและดาวเคราะห์ไม่มีชั้นบรรยากาศ ดาวฤกษ์ดวงนี้จะถูกดาวเคราะห์บังมิดหมดทั้งดวง แต่ถ้าดาวเคราะห์มีชั้นบรรยากาศแสงจากดาวฤกษ์เมื่อผ่านเข้าไปในชั้นบรรยากาศของดาวเคราะห์จะทำให้เกิดการหักเหและแสงสว่างบางส่วนจะถูกชั้นบรรยากาศของดาวเคราะห์ดูดกลืนหายไป จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแสงจากดาวฤกษ์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของดาวเคราะห์อย่างละเอียด จะทำให้เรารู้เกี่ยวกับโครงสร้างและส่วนประกอบของชั้นบรรยากาศของดาวเคราะห์ได้ เทคนิคการบังใช้ครั้งแรกกับดาวพฤหัส

ดาวยูเรนัสมีวงแหวน 9 วง มีชื่อเรียงตามลำดับจากวงในสุดสู่วงนอกสุด ดังนี้ 6, 5, 4, อัลฟา, เบตา, อีตา, แกมมา, เดลตา และเอพซิลอน การที่นักดาราศาสตร์ไม่สามารถค้นพบวงแหวนของดาวยูเรนัสได้โดยตรงเนื่องจากมันมีความแคบมากและสะท้อนแสงอาทิตย์น้อยมาก การที่มันทึบแสงนี้จึงเป็นเหตุผลที่ว่า วงแหวนเหล่านี้มีค่าการสะท้อนแสงต่ำ ซึ่งไม่ได้หมายความว่าวงแหวนเหล่านี้ประกอบด้วยอนุภาคเล็กน้อย แต่ดูเหมือนว่าแต่ละอนุภาคดำมากซึ่งมีความสามารถในการสะท้อนแสงเพียง 4 – 5% เท่านั้น คล้ายกับวัตถุในระบบสุริยะชนิดหนึ่งที่มีความสามารถในการสะท้อนแสงต่ำเช่นนี้ ดังที่เรียกกันว่า อุกกาบาตคาร์บอเนเชียส ชอนด์-ไรท์ (carbonaceous chondrite meteorite) ซึ่งเป็นวัตถุที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เริ่มแรกเกิดระบบสุริยะเป็นระยะเวลา $4\frac{1}{2}$ พันล้านปีล่วงมาแล้ว คุณสมบัติการสะท้อนแสงนี้พบในดาว-เคราะห์น้อยที่อยู่ด้านนอกของชั้นดาวเคราะห์น้อย และวัตถุนี้มีลักษณะคล้ายกับดาวบริวารบางดวงในระบบสุริยะรอบนอก ความคล้ายคลึงต่อคาร์บอเนเชียส ชอนด์ไรท์อาจจะเป็นความสำคัญในอนาคตที่พัฒนาทฤษฎีของการกำเนิดของวงแหวนของดาวยูเรนัส

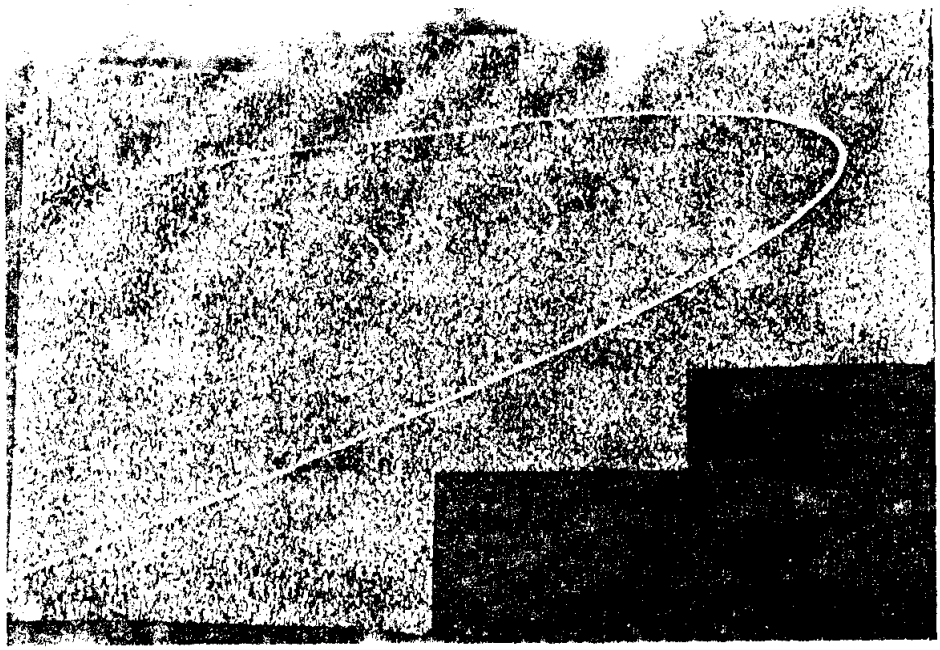
จ. วงแหวนของดาวยูเรนัสเมื่อสังเกตโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์ - 2

ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 ได้เดินทางไปถึงดาวยูเรนัสเมื่อวันที่ 24 มกราคม ค.ศ. 1986 ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 ได้ค้นพบวงแหวนใหม่, ดาวบริวารขนาดเล็กดวงใหม่อยู่ใกล้กับวงแหวนและโครงสร้างอย่างละเอียดภายในวงแหวน นอกจากนี้ยานอวกาศยังได้นำเครื่องมือชนิดต่าง ๆ ทำการสังเกตปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่ไม่สามารถสังเกตได้บนโลก จากข้อมูลทั้งหมดทำให้เราค้นพบความผิดปกติอันน้อยนิดของอนุภาคขนาดเล็กมาก ๆ และความไม่สม่ำเสมอเป็นอันมากของมันและความไม่ต่อเนื่องกันของอนุภาคในวงแหวน ทั้งหมดนี้หมายความว่าระบบวงแหวนของดาวยูเรนัสไม่ได้กำเนิดจากเวลาเดียวกันกับระบบสุริยะ แต่กำเนิดเมื่อเร็ว ๆ นี้มากกว่า

เครื่องมือบนยานอวกาศวอยเอเจอร์ได้ค้นพบวงแหวนวงที่ 10 ซึ่งมีความมัวมาก ๆ จนเกือบมองไม่เห็น วงแหวนนี้ถูกค้นพบโดยเครื่องมือโฟโตโพลาริมิเตอร์ (photopolarimeter) โดยอาศัยปรากฏการณ์บังดาว วงแหวนนี้มีความกว้างเพียง 1 ถึง 2 กิโลเมตรเท่านั้น และกั้นแสงจากดาวฤกษ์เพียงประมาณ 10% ของแสงที่ผ่านออกมา ดังนั้นวงแหวนนี้จึงไม่สามารถวัดได้จากโลก นอกจากนี้เครื่องโฟโตโพลาริมิเตอร์พบวงแหวนที่มัวมากอีกสองวงและส่วนโค้งของวงแหวนบางส่วนอีกสามอัน

เมื่อยานอวกาศเคลื่อนที่ผ่านบนระนาบของวงแหวน กล้องถ่ายภาพบนยานอวกาศตรวจพบแผ่นของวัตถุที่มัวและกว้างอยู่ระหว่างวงแหวน "6" (ซึ่งเป็นวงแหวนด้านในสุดของดาว-ยูเรนัส) กับดาวยูเรนัสมันกั้นแสงเพียงประมาณ 1/1,000 ของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ วัตถุนี้บางมากจนกระทั่งมองเห็นดาวฤกษ์ ถึงแม้จะเกิดปรากฏการณ์บังดาวขึ้นไม่ว่าจะสังเกตจากโลกหรือยานอวกาศก็ตาม วงแหวนที่ 10 มีชื่อเรียกว่า 1986U1R อยู่ระหว่างวงแหวนเอพซิลอน (เป็นวงแหวนนอกสุด) และวงแหวนเดลตา (เป็นวงแหวนนอกรองจากวงแหวนเอพซิลอน)

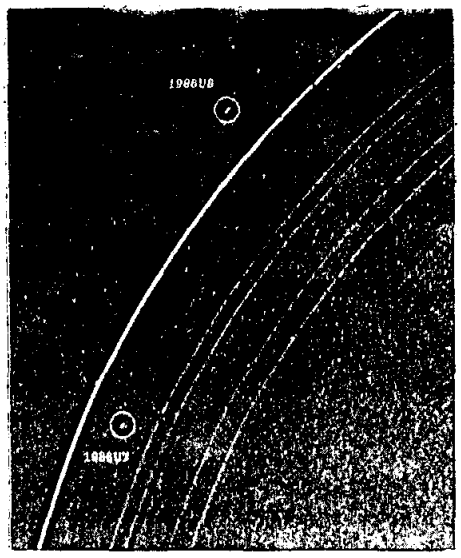
ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 ค้นพบดาวบริวารใหม่อีกสองดวง วงโคจรของดาวบริวารทั้งสองดวงอยู่คนละด้านของวงแหวนเอพซิลอน *(ดังรูปที่ 5.31)* ดาวบริวารทั้งสองมีชื่อเรียกว่า 1986U7 และ 1986U8 มีชื่อเรียกรวมกันว่า "เชพเอิด" (shepherds) มีรัศมีประมาณ 20 ถึง 25 กิโลเมตร และมืดเหมือนกับอนุภาคในวงแหวน ดาวบริวารทั้งสองนี้ทำให้ทางเดินของอนุภาคในวงแหวนแคบโดยการส่งแรงโน้มถ่วงกระทำซึ่งกันและกัน คล้ายกับดาวบริวารสองดวงที่อยู่ด้านข้างของวงแหวนเอฟของดาวเสาร์ ทฤษฎีพลศาสตร์กล่าวว่า ตำแหน่งถูกต้องแน่นอนของดาวทั้งสองบนด้านข้างของวงแหวนเอพซิลอนทำให้วงแหวนมีความคมชัดในขอบเขตทั้งด้านในและด้านนอก การที่วงแหวนเป็นรูปวงรีอาจจะมีความสัมพันธ์กับดาวบริวารเชพเอิดด้วย เนื่องจากวงแหวนสำคัญอื่น ๆ มีความแคบมาก ๆ นักดาราศาสตร์คาดว่าน่าจะมีดาวบริวาร



รูปที่ 5.30 ภาพถ่ายระบบวงแหวนของดาวยูเรนัสก่อนที่ยานอวกาศวอยเอเจอร์-2 จะเคลื่อนที่ผ่านระนาบของวงแหวน ได้ค้นพบวงแหวนวงใหม่ชื่อ 1986 U 1 R ซึ่งมีความมัวมากและอยู่ระหว่างวงแหวนเอพซิลอน (อยู่นอกสุด) กับวงแหวนเดลตา (วงสว่างที่สองจากนอกสุด)

เซพเอิดร่วมอยู่ด้วย แต่จากการค้นหาไม่พบดาวบริวารเซพเอิดเพิ่มขึ้น ถ้าวัตถุที่ค้นหาไม่มืดไปกว่าวัตถุที่ค้นพบแล้ว ดาวบริวารที่มีรัศมีใหญ่กว่า 10 กิโลเมตรจะต้องถูกค้นพบ จากข้อมูลต่าง ๆ ของขอบเขตจำกัด (หมายถึงขนาดของดาวบริวารที่จะดำรงอยู่ได้ในขอบเขตของวงแหวน) นี้ อาจจะต่ำจนถึง 5 กิโลเมตรในบางสถานที่ แต่จากทฤษฎีพลศาสตร์กล่าวว่า ดาวบริวารที่มีรัศมีน้อยกว่า 10 กิโลเมตรมาก มันจะใหญ่ไม่เพียงพอที่จะอยู่ในขอบเขตของวงแหวนของดาวยูเรนัสได้ ถ้าไม่มีดาวบริวารเซพเอ็ดถูกค้นพบเพิ่มขึ้น ความแคบมาก ๆ ของวงแหวนของดาวยูเรนัสจะเป็นสิ่งที่น่าฉงนมาก ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 ได้วัดความกว้างของวงแหวนของดาวยูเรนัสด้วยกล้องโฟโตโพลาริมิเตอร์โดยใช้เทคนิคการบังดาวแสดงให้เห็นว่า ขอบเขตของวงแหวนเอพซิลอนมีความคมชัดมาก และสรุปได้ว่าวงแหวนเอพซิลอนมีความหนา 150 เมตร หรือมากกว่า บางอนุภาคในวงแหวนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 เมตร

จากการศึกษาเทคนิคการบังดาวโดยใช้เครื่องมือโฟโตโพลาริมิเตอร์และคลื่นวิทยุพบว่า วงแหวนทั้งหมดมีวงแหวนเล็ก ๆ อีกมากมาย โดยเฉพาะวงแหวนเอพซิลอนประกอบด้วยวงแหวนเล็ก ๆ หลายโหล ลักษณะเด่นบางอย่างของวงแหวนเป็นเพียงส่วนโค้งของวงแหวนบาง



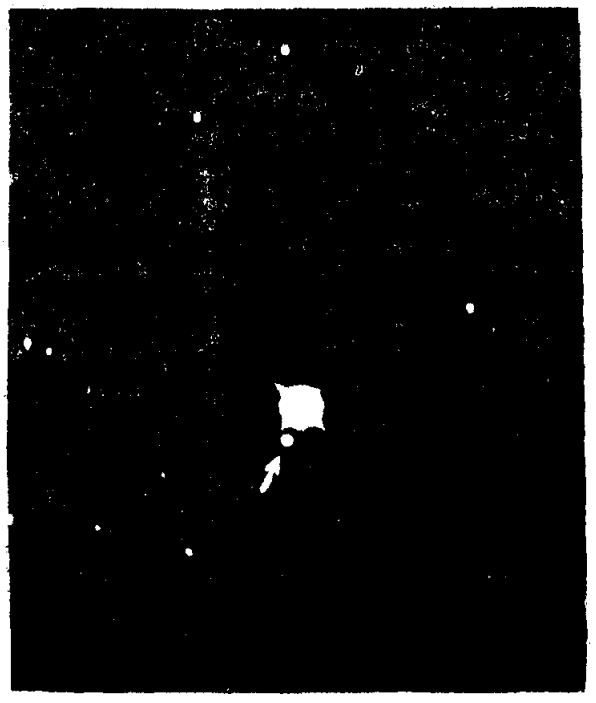
รูปที่ 5.31 ภาพของวงแหวนเอพซิลอนของดาวยูเรนัสแสดงให้เห็นถึงดาวบริวาร "เชพเอิด" ในภาพคือ 1986U7 และ 1986U8

ส่วนเท่านั้น และการกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอของอนุภาคขนาดเล็กและใหญ่ภายในวงแหวน มีทฤษฎีที่อธิบายว่าทำไมอนุภาคขนาดเล็กและใหญ่จึงกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอภายในวงแหวน โดย **เอ.แอล. บรอดฟูท** (A.L. Broadfoot) แห่งมหาวิทยาลัยอริโซนา กับผู้ช่วยของเขา เขาได้ศึกษาแสงอัลตราไวโอเลตจากชั้นบนของบรรยากาศของดาวยูเรนัส แก๊สในชั้นนี้มีความร้อนแรง เนื่องจากแก๊สอะตอมและโมเลกุลได้ดูดกลืนแสงอาทิตย์ และแล้วได้ปลดปล่อยความยาวคลื่นเฉพาะของแต่ละชนิดของอะตอม ที่ดาวยูเรนัสเครื่องสเปกโทรมิเตอร์ได้ตรวจพบความร้อนแรงที่ระดับสูงอันเนื่องจากไฮโดรเจนอะตอมและโมเลกุล อะตอมของไฮโดรเจนที่ร้อนแรงจะขยายออกไปในระยะทางจากจุดศูนย์กลางของดาวเคราะห์เท่ากับ 3.8 เท่าของรัศมีของมัน ซึ่งระยะทางเท่านี้อยู่ภายนอกวงแหวน จากการประมาณของความหนาแน่นของบรรยากาศนี้พบว่ามันมีผลพลศาสตร์ที่สำคัญต่อวงแหวน ปกติทั่วไปบรรยากาศจะหมุนด้วยอัตราความเร็วเท่ากับอัตราความเร็วของตัวดาวเคราะห์ ขณะที่อนุภาคในวงแหวนโคจรดาวเคราะห์ด้วยความเร็วที่ถูกทำนายโดยกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน ในกรณีของดาวยูเรนัส, ดาวยูเรนัสหมุนรอบตัวเองด้วยคาบเวลา 17 ชั่วโมง ในขณะที่วงแหวนเคลื่อนที่ในวงโคจรด้วยคาบเวลาประมาณ 7 ชั่วโมง เพราะฉะนั้นแก๊สจึงเคลื่อนที่ช้ากว่าวงแหวน นั่นคือ แก๊สเหล่านี้จะทำให้เกิดแรงฉุดที่ทำให้อนุภาคในวงแหวนเกิดการเคลื่อนที่ช้าลงและเริ่มต้นหมุนไปยังดาวยูเรนัส แรงฉุดของแก๊สมีผลน้อยมากต่ออนุภาคขนาดใหญ่ แต่มันสามารถทำให้อนุภาคฝุ่นจากวงแหวนทั้งหลายหลุดออกจากวงแหวนอย่างสมบูรณ์ภายในระยะเวลาไม่กี่ร้อยปี ฝุ่นวงแหวนถูกค้นพบโดยยานอวกาศวอยเอเจอร์ ซึ่ง

แสดงให้เห็นจริงว่า อนุภาคฝุ่นถูกกวาดออกจากวงแหวนโดยแรงฉุดแก๊ส ในทำนองเดียวกัน ความโน้มถ่วงของดาวบริวารเชพเอิดไม่มีผลต่ออนุภาค มันมีผลกับอนุภาคขนาดใหญ่เท่านั้น

5.3.7 ดาวเนปจูน

ได้มีผู้คำนวณหาดาวเคราะห์ดวงนี้สองคนโดยไม่ได้นัดหมายกันมาก่อน คือ **อดัม** (J.C. Adams) ซึ่งเป็นนักศึกษาคณิตศาสตร์ มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ในปี ค.ศ. 1845 อีกคนชื่อ **เลอเวอริเออร์** (U.J. Leverrier) เป็นนักดาราศาสตร์และนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1846 ต่อมา **กัลเล** (J. Galle) ได้ตรวจพบดาวเนปจูน (Neptune หรือพระเกตุ) ตามที่อดัมและเลอเวอริเออร์ได้คำนวณไว้



รูปที่ 5.32 ดาวเนปจูนและดาวบริวารที่ใหญ่ที่สุดชื่อดาวไทรตัน

ก. ash.7

เราไม่สามารถมองเห็นดาวเนปจูนได้ด้วยตาเปล่า ถ้าเราส่องกล้องโทรทรรศน์ดูดาวเนปจูนเราจะเห็นดาวเนปจูนมีขนาดเล็กมาก ขอบของดาวเนปจูนจะมีสีค่อนข้างเขียว ดาวเนปจูนโคจรรอบดวงอาทิตย์ด้วยระยะทางเฉลี่ย 4,497 ล้านกิโลเมตร หรือ 30 เอยู โดยมีระยะทางแปรเปลี่ยนจากดวงอาทิตย์เพียง 39 ล้านกิโลเมตร วงโคจรเกือบเป็นรูปวงกลมโดยมีค่าความรี

เพียง 0.009 ระนาบของวงโคจรเอียงทำมุม 1° 47′ กับระนาบของเส้นสุริยวิถี และเส้นศูนย์สูตรของดาวเนปจูนเอียงทำมุม 29° กับระนาบของวงโคจร ดาวเนปจูนโคจรด้วยความเร็ว 5.4 กิโลเมตรต่อวินาที คาบเวลาดาราคติเท่ากับ 164.8 ปี และคาบเวลาซินนอดิกเท่ากับ 367.5 วัน คาบเวลาของการหมุนรอบตัวเองของดาวเนปจูนหาได้จากการแปรเปลี่ยนของแสงอินฟราเรดซึ่งมีค่าประมาณ 18 ชั่วโมง ค่าความแป้นของดาวเนปจูนมีค่าน้อย (เมื่อเทียบกับดาวเคราะห์นอก) โดยที่เส้นผ่านศูนย์กลางที่เส้นศูนย์สูตรมากกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ขั้วเพียงประมาณ 1 ส่วน 40 เท่านั้น

ข. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

เนื่องจากขนาดและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดาวยูเรนัสและดาวเนปจูนคล้ายกันมาก ดาวสองดวงนี้อาจเรียกได้ว่าเป็นดาวคู่แฝดกัน ดาวเนปจูนมีมวลเป็น 17.2 เท่าของโลก ในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของดาวเนปจูนมีความยากลำบากมาก แต่จากเทคนิคการบังดาวแสดงให้เห็นว่ามันมีค่าประมาณ 50,450 กิโลเมตร โดยมีค่าไม่แน่นอนประมาณ 200 กิโลเมตร ดาวเนปจูนมีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ $2\frac{1}{2}$ เท่าของน้ำ โครงสร้างภายในของดาวเนปจูนคาดว่าเหมือนกับดาวยูเรนัส

ดาวเนปจูนมีค่าอัตราส่วนสะท้อนเท่ากับ 0.5 ถึง 0.6 จากเส้นสเปกตรัม แสดงว่าในชั้นบรรยากาศของดาวเนปจูนมีแก๊สมีเทนและไฮโดรเจนมากเช่นเดียวกับแก๊สแอมโมเนียที่คาดว่ามันอยู่ในสถานะของแข็ง อุณหภูมิที่พื้นผิวของดาวเนปจูนใกล้กับ 60 เคลวิน

ดาวเนปจูนเหมือนกับดาวพฤหัสและดาวเสาร์ที่มันปรากฏเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนจากภายใน เราคงจะรู้ข้อมูลของดาวเนปจูนมากขึ้นเมื่อยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 ได้เดินทางไปถึงดาวเนปจูนในปี ค.ศ. 1989 และส่งข้อมูลกลับมายังโลกแล้ว

ค. ดาวบริวาร

ดาวเนปจูนมีดาวบริวารสองดวง ชื่อ ไทรตัน (Triton) และนีรีด (Neried) ดาวไทรตันมีขนาดใหญ่กว่า (ใหญ่กว่าดวงจันทร์ของเราด้วย) สว่างกว่า และอยู่ใกล้ดาวเนปจูนมากกว่าดาวนีรีด ดาวไทรตันโคจรรอบดาวเนปจูนในทิศทางย้อนกลับ ซึ่งตรงกันข้ามกับทิศทางการหมุนรอบตัวเองของดาวเนปจูน (หรือวัตถุทั่ว ๆ ไปในระบบสุริยะ) โดยอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของดาวเนปจูนประมาณ 354,000 กิโลเมตร และมีคาบเวลาดาราคติ 5 วัน 21 ชั่วโมง วงโคจรเกือบเป็นรูปวงกลม

ดาวนีรีดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 320 กิโลเมตร โคจรรอบดาวเนปจูนในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการหมุนรอบตัวเองของดาวเนปจูน และโคจรรอบดาวเนปจูนเป็นรูปวงรีโดย

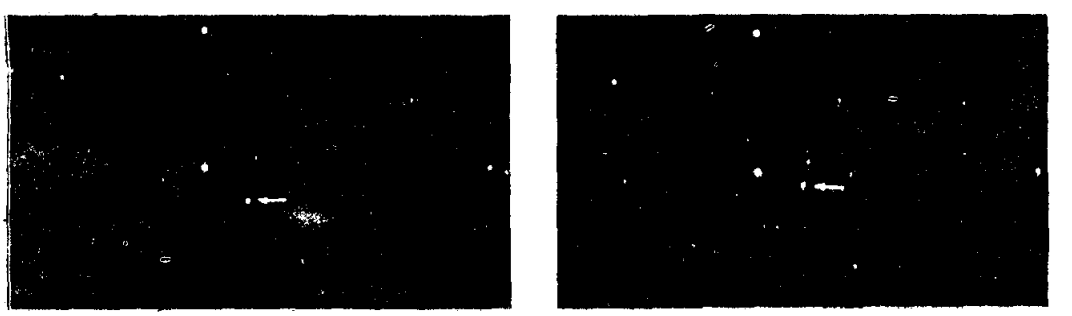
มีค่าความรี 0.75 ซึ่งเป็นค่าที่มากที่สุดสำหรับดาวบริวารทุกดวงในระบบสุริยะ โดยอยู่ใกล้ดาวเนปจูนมากที่สุดที่ระยะทางห่าง 1,175,000 กิโลเมตร และอยู่ไกลที่สุด 11 ล้านกิโลเมตร คาบเวลาดาราคติ 359.9 วัน

ง. ระบบวงแหวน

ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะที่มีระบบวงแหวนอย่างแน่นอนได้แก่ ดาวพฤหัส, ดาวเสาร์ และดาวยูเรนัส ปัจจุบันนี้นักดาราศาสตร์ได้ค้นพบระบบวงแหวนของดาวเนปจูนโดยอาศัยเทคนิคการบังดาว แต่ระบบวงแหวนของมันไม่สมบูรณ์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียด โดย **ฟิลิป นิโคลสัน** (Philip Nicholson) และ **วิลเลียม ฮับบาร์ด** (William Hubbard) และผู้สังเกตอื่น ๆ พบว่าระบบวงแหวนของดาวเนปจูนประกอบด้วยวงแหวนเกือบเป็นวงกลมอย่างน้อยที่สุด 3 วง อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของดาวเนปจูนตั้งแต่ 41,000 ถึง 67,000 กิโลเมตร และพบว่าวงแหวนเหล่านี้ไม่ครบวงอย่างสมบูรณ์ เป็นแต่เพียงส่วนโค้งของวงแหวนเท่านั้น ซึ่งกว้างน้อยกว่า 20 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม เราต้องรอข้อมูลที่ละเอียดกว่านี้ภายหลังจากที่ยานอวกาศวอยเอเจอร์ – 2 ได้เคลื่อนเข้าใกล้ดาวเนปจูนในวันที่ 24 สิงหาคม ค.ศ. 1989 แล้ว

5.3.8 ดาวพลูโต

นักดาราศาสตร์ชาวอเมริกันสองคน ชื่อ **พี. โลเวลล์** (P. Lowell) และ **ดับบลิว.เอช. พิเคอริง** (W.H. Pickering) ได้ทำนายดาวเคราะห์ที่อยู่ถัดจากวงโคจรของดาวเนปจูนออกไป เนื่องจากการวิเคราะห์ทางวงโคจรของดาวเนปจูนอย่างละเอียดพบว่า เส้นทางโคจรของดาวเนปจูนถูกรบกวน เขาทั้งสองได้พยายามถ่ายภาพของดาวเคราะห์จากตำแหน่งที่คำนวณได้บนท้องฟ้า ผลปรากฏว่าไม่พบดาวเคราะห์ดวงนี้ ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นฟิล์มนั้นมีรอยและดาวฤกษ์ที่สว่างมาอยู่ใกล้กับดาวเคราะห์ดวงนี้



รูปที่ 5.33 ภาพถ่ายของดาวพลูโตแสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ของมันเมื่อเทียบกับดาวฤกษ์ ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

ในวันที่ 13 มีนาคม ค.ศ. 1930 **ไคลด์ ทอมเบาท์** (Clyde W. Tombaugh) ได้ประกาศการค้นพบดาวเคราะห์ดวงนี้ซึ่งอยู่ห่างจากที่โลเวลล์และพิเคอริงทำนายไว้ 6° และได้ตั้งชื่อดาวเคราะห์ว่า พลูโต (Pluto หรือพระยม) ตามชื่อเทพเจ้าองค์หนึ่งของกรีก

ก. วงโคจรและดาวบริวาร

ดาวพลูโตเป็นดาวเคราะห์ที่อยู่ไกลที่สุดในระบบสุริยะเท่าที่เรารู้จัก อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางเฉลี่ย 5,913,000,000 กิโลเมตร หรือ 39.53 เอยู โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี โดยมีค่าความรีเท่ากับ 0.239 ซึ่งเป็นค่าความรีที่มากที่สุดของดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ โดยอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดที่ระยะทางน้อยกว่า 4.5 พันล้านกิโลเมตร และไกลที่สุดมากกว่า 7,000 ล้านกิโลเมตร ที่ระยะทางใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดนั้นอยู่ในวงโคจรของดาวเนปจูน อย่างไรก็ตาม ดาวเคราะห์ทั้งสองดวงไม่มีโอกาสที่จะชนกัน เพราะระนาบของวงโคจรของดาวพลูโตเอียงทำมุม 17° 09′ กับระนาบของเส้นสุริยวิถีซึ่งเป็นค่าสูงที่สุดของดาวเคราะห์ในระบบสุริยะ ดาวพลูโตโคจรด้วยความเร็วในวงโคจร 4.7 กิโลเมตรต่อวินาที คาบเวลาดาราคติเท่ากับ 248.6 ปี และคาบเวลาซินนอดิกเท่ากับ 367 วัน

ดาวพลูโตมีดาวบริวารหนึ่งดวงชื่อ ชารอน (Charon) วงโคจรของมันเป็นรูปวงกลม โดยมีรัศมีประมาณ 20,000 กิโลเมตร และเอียงทำมุม 65° กับระนาบของวงโคจรของดาวพลูโตรอบดวงอาทิตย์ ทิศทางการโคจรของดาวชารอนเป็นแบบย้อนกลับโดยมีทิศจากทิศตะวันออกไปทางตะวันตก

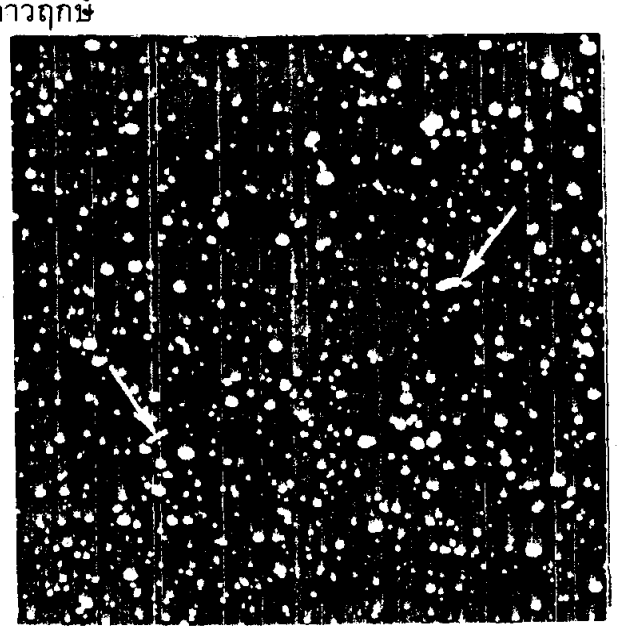
ข. คุณสมบัติทางฟิสิกส์

เนื่องจากดาวพลูโตอยู่ไกลจากโลกมาก ดังนั้นเราจึงรู้เรื่องเกี่ยวกับดาวเคราะห์ดวงนี้น้อยมาก จากการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ พบว่า ดาวพลูโตมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณอยู่ในช่วง 3,000 ถึง 3,500 กิโลเมตร คาบเวลาของการหมุนรอบตัวเองเท่ากับ 6.39 วัน อุณหภูมิที่พื้นผิวคาดว่าใกล้กับ 40 เคลวิน ไม่พบแก๊สใด ๆ ในเส้นสเปกตรัมและไม่มีหลักฐานใด ๆ ที่แสดงให้เห็นว่าดาวพลูโตมีชั้นบรรยากาศด้วย มวลของดาวพลูโตมีค่าประมาณ 0.0023 เท่ามวลของโลก นักดาราศาสตร์พบแก๊สมีเทนในสภาพเป็นน้ำแข็งที่พื้นผิวของดาวพลูโต ทำให้พื้นผิวของมันมีค่าการสะท้อนแสงสูง ความหนาแน่นเฉลี่ยของดาวพลูโตบางทีอาจจะไม่มากกว่าน้ำ แต่เราไม่สามารถบอกได้ว่าดาวพลูโตเป็นดาวเคราะห์ที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุดในระบบสุริยะ ดาวพลูโตอยู่ในตำแหน่งที่ต่อจากดาวเคราะห์ขนาดใหญ่ออกไป เราสามารถพิจารณาได้ว่า ดาวพลูโตมีขนาดเล็ก มวลน้อยกว่า และหมุนรอบตัวเองช้ากว่าเมื่อเทียบกับ

ดาวเคราะห์ขนาดใหญ่ ระนาบของวงโคจรเอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถีมากที่สุดและมีค่าความรีมากที่สุด (เนื่องจากการที่มันมีค่าความรีมาก ในปี ค.ศ. 1979 ดาวพลูโตเคลื่อนที่เข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าดาวเนปจูน) จากสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ โอกาสที่ครั้งหนึ่งดาวพลูโตเคยเป็นดาวบริวารของดาวเนปจูนจึงมีมาก สิ่งที่สนับสนุนอีกประการหนึ่งก็คือ ทางโคจรผิดปกติของดาวไทรตัน (ซึ่งเป็นดาวบริวารที่ใหญ่ที่สุดของดาวเนปจูน) ซึ่งทฤษฎีกล่าวว่า เริ่มต้นดาวเนปจูนมีดาวบริวารสามดวง ช่วงจังหวะหนึ่งในอดีตดาวบริวารดวงหนึ่งคือดาวพลูโตหลุดออกจากการโคจรของดาวเนปจูนเข้าสู่วงโคจรรอบดวงอาทิตย์ ทำให้ดาวนี้รีดโคจรรอบดาวเนปจูนเป็นรูปวงรีมาก ส่วนดาวไทรตันโคจรเกือบเป็นรูปวงกลม แต่แกนหมุนเอียงจากแนวดิ่งมากและโคจรแบบย้อนกลับ วงโคจรของดาวไทรตันจะค่อย ๆ เปลี่ยนไป และในที่สุดจะเคลื่อนที่เข้าไปอยู่ในขอบเขตจำกัดของโรเชสำหรับดาวเนปจูน ถ้าเหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นดาวไทรตันก็จะพบจุดจบโดยกลายเป็นระบบวงแหวนของดาวเนปจูนเหมือนกับดาวเสาร์และดาวยูเรนัส

5.4 ดาวเคราะห์น้อย

ดาวเคราะห์น้อย (asteroids หรือ minor planets) เป็นวัตถุที่คล้ายกับดาวเคราะห์ แต่มีขนาดเล็กกว่ามากและมีจำนวนหลาย ๆ พันดวง ดาวเคราะห์น้อยโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยอยู่ระหว่างดาวอังคารกับดาวพฤหัส มีระยะทางห่างจากดวงอาทิตย์ 2.8 เอยู เนื่องจากมันมีขนาดเล็กมาก ดังนั้นการสังเกตจึงเห็นได้เฉพาะกล้องโทรทรรศน์ที่มีขนาดใหญ่เท่านั้น โดยจะปรากฏเป็นจุดสว่างคล้ายดาวฤกษ์



รูปที่ 5.34 ใช้เวลาในการถ่ายภาพนาน แสดงให้เห็นถึงทางเดินของดาวเคราะห์น้อยสองดวงที่ลูกศรชี้

5.4.1 การค้นพบดาวเคราะห์น้อย

ในปี ค.ศ. 1766 **โจฮันเนส ทิเทียส** (Johannes Titius) ศาสตราจารย์ทางด้านคณิตศาสตร์แห่งวิทเทนเบอร์ก (Wittenberg) ได้คำนวณหาระยะทางของดาวเคราะห์กับดวงอาทิตย์ เขาได้พบความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของดาวเคราะห์กับดวงอาทิตย์มีชื่อเรียกว่า **กฎของโบด-ทิเทียส** (Bode-Titius's law) กฎนี้ถูกพิมพ์ในปี ค.ศ. 1772 รายละเอียดของกฎของโบด-ทิเทียสมีดังนี้

จากอนุกรมตัวเลข

0, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256

เอา 3 คูณอนุกรมชุดนี้ จะได้

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384, 768

อนุกรมชุดใหม่บวกด้วย 4 แล้วหารด้วย 10 จะได้

0.4, 0.7, 1.0, 1.6, 2.8, 5.2, 10.0, 19.6, 38.8, 77.2

ทิเทียสใช้เลข 1 ตรงเทอมที่ 3 เป็นระยะทางของโลกจากดวงอาทิตย์ (ซึ่งเป็นระยะทางเฉลี่ยของโลกถึงดวงอาทิตย์ นักดาราศาสตร์ให้เท่ากับ 1 เอยู) จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ตัวเลขของโบด-ทิเทียสกับระยะทางที่แท้จริงของดาวเคราะห์จากดวงอาทิตย์เกือบเท่ากัน ยกเว้นดาวเนปจูนและดาวพลูโต

ตารางที่ 5.2 ระยะทางของดาวเคราะห์โดยกฎของโบด-ทิเทียสและระยะทางที่แท้จริงของดาวเคราะห์

Planet	Bode-Titius Rule (a.u.)	Actual Distance (a.u.)
Mercury	0.4	0.39
Venus	0.7	0.72
Earth	1.0	1.00
Mars	1.6	1.52
Missing planet	2.8	2.80
Jupiter	5.2	5.20
Saturn	10.0	9.54
Uranus	19.6	19.19
Neptune	38.8	30.08
Pluto	77.2	39.46

หลังจากที่วิลเลียม เฮอร์เชล ได้ค้นพบดาวยูเรนัสในปี ค.ศ. 1781 และพบว่าระยะทางที่แท้จริงของดาวยูเรนัสผิดจากกฎของโบด-ทิเทียสมาก ทำให้นักดาราศาสตร์ส่วนมากคิดว่ากฎนี้ไม่เป็นจริง จึงได้มีการค้นหาดาวเคราะห์ที่มีระยะทาง 2.8 เอยู เพื่อจะพิสูจน์ว่ากฎนี้เป็นจริงหรือไม่ ในวันที่ 1 มกราคม ค.ศ. 1801 นักดาราศาสตร์ชาวอิตาลี ชื่อ **ปีแอสซี** (Piazzi) ได้ค้นพบวัตถุที่คล้ายดาวฤกษ์ในกลุ่มดาววัว ตอนแรกเขาเชื่อว่ามันเป็นดาวหาง ต่อมาภายหลังจากการพิจารณาข้อมูลต่าง ๆ และคำนวณวงโคจรของวัตถุชิ้นนี้ นักดาราศาสตร์เชื่อว่าเป็นดาวเคราะห์ที่หลงการสำรวจและเพิ่งจะสำรวจพบ วัตถุชิ้นนี้มีชื่อว่า ซีเรส (Ceres)

ภายหลังจากการค้นพบดาวเคราะห์น้อยซีเรสหนึ่งปี ในปี ค.ศ. 1802 นักดาราศาสตร์ได้ค้นพบดาวเคราะห์น้อยดวงที่สองชื่อ พาลลาส (Pallas), ดวงที่สามมีชื่อว่า จูโน (Juno : พบในปี ค.ศ. 1804) และดวงที่สี่มีชื่อเรียกว่า เวสต้า (Vesta : พบในปี ค.ศ. 1807) ในปัจจุบันนี้ได้ค้นพบดาวเคราะห์น้อยหลายพันดวง

5.4.2 คุณสมบัติทางฟิสิกส์

จากการสังเกตดาวเคราะห์น้อยพบว่า มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 1.6 กิโลเมตร ถึง 1,000 กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม นักดาราศาสตร์เชื่อว่ายังมีดาวเคราะห์น้อยที่มีขนาดเล็กที่สังเกตไม่พบอีกเป็นจำนวนมาก ดาวเคราะห์น้อยที่ใหญ่ที่สุดและมีความสว่างมากที่สุดสี่ดวงแรก คือ ดาวซีเรส (เส้นผ่านศูนย์กลาง 1,000 กิโลเมตร), ดาวพาลลาส (เส้นผ่านศูนย์กลาง 600 กิโลเมตร), ดาวเวสต้า (เส้นผ่านศูนย์กลาง 540 กิโลเมตร) และดาวไฮเจีย (Hygeia : เส้นผ่านศูนย์กลาง 450 กิโลเมตร) และค่าอัตราส่วนสะท้อนมีค่าตั้งแต่ 0.02 ถึง 0.38

จากการศึกษาการสะท้อนแสงของดาวเคราะห์น้อยเวสต้าพบว่า พื้นผิวของมันปกคลุมด้วยฝุ่นบางชนิด ความสว่างของดาวเคราะห์น้อยที่มีขนาดใหญ่จะปรากฏคงที่ ในขณะที่ดาวเคราะห์น้อยที่มีขนาดเล็กจะมีความสว่างเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ปรากฏการณ์นี้แสดงให้เห็นว่า ดาวเคราะห์น้อยดวงที่ใหญ่มีรูปร่างเกือบเป็นทรงกลม ในขณะที่ดวงเล็ก ๆ มีรูปร่างเป็นรูปบล็อค (Block) โดยมีด้านเป็นมุมต่าง ๆ

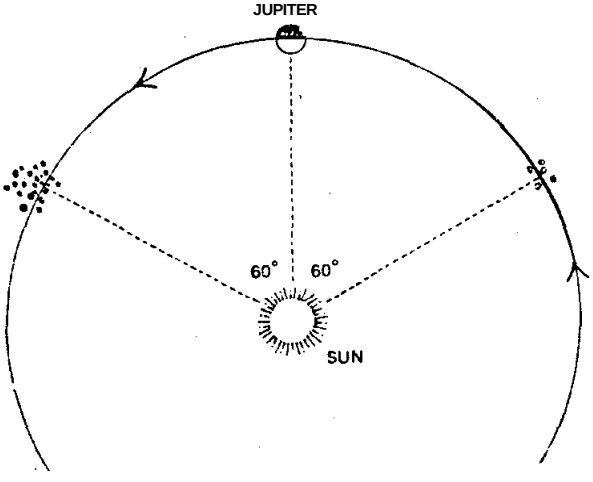
5.4.3 วงโคจร

วงโคจรของดาวเคราะห์น้อยเกือบทั้งหมดอยู่ระหว่างวงโคจรของดาวอังคารกับดาวพฤหัส มีส่วนน้อยที่ตำแหน่งใกล้ดวงอาทิตย์อยู่ในวงโคจรของดาวอังคารและมีจำนวนน้อยมากที่อยู่ในวงโคจรของโลก ทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์น้อยรอบดวงอาทิตย์มีทิศทางเช่นเดียวกับดาวเคราะห์ คือ มีทิศทางการหมุนจากทิศตะวันตกไปยังทิศตะวันออก (ทิศทางทวนเข็มนาฬิกา) ระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์น้อยเกือบทั้งหมดเอียงทำมุมกับระนาบของเส้น

สุริยวิถีเท่ากับ 9°5 มีเพียงบางดวงเท่านั้นที่เอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถีมากกว่านี้ ค่าความรีเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 และเวลาโคจรครบรอบดวงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 5 ปี ถ้าเทียบกับวงโคจรของดาวเคราะห์ วงโคจรของดาวเคราะห์น้อยเอียงทำมุมกับระนาบของเส้นสุริยวิถีมากกว่า และมีค่าความรีมากกว่าเล็กน้อย

5.4.4 ดาวเคราะห์น้อยโทรจาน

ในปี ค.ศ. 1772 **โจเซฟ ลากราน** (Joseph Lagrange) นักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสพิสูจน์ว่าจะต้องมีวัตถุอยู่ข้างหน้าและข้างหลังดาวพฤหัสทำมุม 60° ซึ่งกันและกันในวงโคจรของดาวพฤหัสที่ทำให้ค่าความโน้มถ่วงที่วัตถุนั้นมีตำแหน่งเรียงกับดาวพฤหัสและดวงอาทิตย์เป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า *(ดูรูปที่ 5.35)* โดยที่วัตถุทั้งสามประจำอยู่ที่มุมของรูปสามเหลี่ยมด้านเท่ารูปหนึ่ง จะทำให้มันสามารถคงอยู่ในสภาพนั้นเรื่อยไปในการหมุนรอบดวงอาทิตย์ เพราะว่าผลของความโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์และดาวพฤหัสกระทำต่อมันอยู่ในสภาพสมดุล จากการค้นพบดาวเคราะห์น้อยนี้ในปี ค.ศ. 1906 และในปี ค.ศ. 1959 พบว่า มีดาวเคราะห์น้อย 14 ดวง โดย 9 ดวงอยู่ข้างหน้าดาวพฤหัส 60 องศา อีก 5 ดวงอยู่ข้างหลังดาวพฤหัส 60 องศา ดาวเคราะห์น้อยเหล่านี้เรียกว่า ดาวเคราะห์น้อยโทรจาน (Trojan asteroids) ภายหลังนักดาราศาสตร์ได้ตั้งชื่อดาวเคราะห์น้อยกลุ่มนี้ทุกดวง โดยเอาชื่อมาจากกาพย์ของโฮเมอร์ ถึงแม้ว่าดาวเคราะห์น้อยโทรจานจะมีเพียง 14 ดวง แต่นักดาราศาสตร์คาดว่า ดาวเคราะห์น้อยโทรจานยังมีอีกเป็นจำนวนมากที่มีขนาดเล็กมากจนค้นไม่พบ



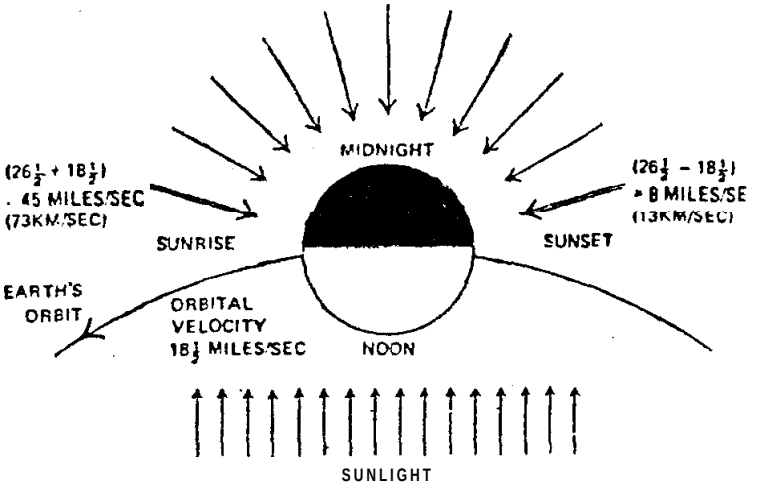
รูปที่ 5.35 แสดงกลุ่มดาวเคราะห์น้อยโทรจาน

5.4.5 กำเนิดของดาวเคราะห์น้อย

มีสองทฤษฎีที่เกี่ยวกับจุดกำเนิดของดาวเคราะห์น้อย คือ ทฤษฎีที่หนึ่งกล่าวว่า ดาวเคราะห์น้อยเป็นส่วนหนึ่งของดาวเคราะห์ดวงใหญ่ดวงหนึ่งหรือดาวเคราะห์ดวงเล็ก ๆ หลายดวง ต่อมาภายหลังดาวเคราะห์เหล่านี้เกิดการแตกออกเนื่องจากการชนกันหรือหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็วมากเกินไป ทฤษฎีที่สองกล่าวว่า เริ่มต้นของการเกิดระบบสุริยะมีความผิดพลาดจากการเกิดเป็นดาวบริวารของดาวอังคารหรือดาวพฤหัส หรือทั้งสองดวง หรือเกิดจากความผิดพลาดจากการรวมตัวกันเป็นดาวเคราะห์

5.5 ดาวตก

อุกกาบาต หรือชาวบ้านเรียกว่า ดาวตก หรือผีพุ่งไต้ เป็นลำแสงวูบวาบเกิดบนท้องฟ้าโดยพุ่งลงมาจากท้องฟ้าเข้าสู่ผิวโลกในชั่วระยะเวลาอันสั้น อุกกาบาตเป็นวัตถุที่อยู่นอกโลกและไม่มีแสงสว่างในตัวเอง เมื่อวัตถุนี้เคลื่อนที่เข้าใกล้โลกก็จะถูกโลกดึงดูดทำให้ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกเข้ามา ในขณะที่เข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลกมันจะเสียดสีกับโมเลกุลของอากาศทำให้ก้อนวัตถุร้อนมากจนลุกไหม้มีแสงสว่างออกมา เนื่องจากอุกกาบาตเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง (ประมาณ 42 กิโลเมตรต่อวินาที) เราจึงเห็นเป็นลำแสงเล็ก ๆ ภายในระยะเวลาอันสั้น ๆ ถ้าอุกกาบาตนี้ถูกเผาไหม้หมดเราเรียกว่า ดาวตก (meteor) แต่ถ้าเผาไหม้ไม่หมด จะมีบางส่วนตกสู่พื้นผิวโลก เราเรียกว่า อุกกาบาต (meteorite)

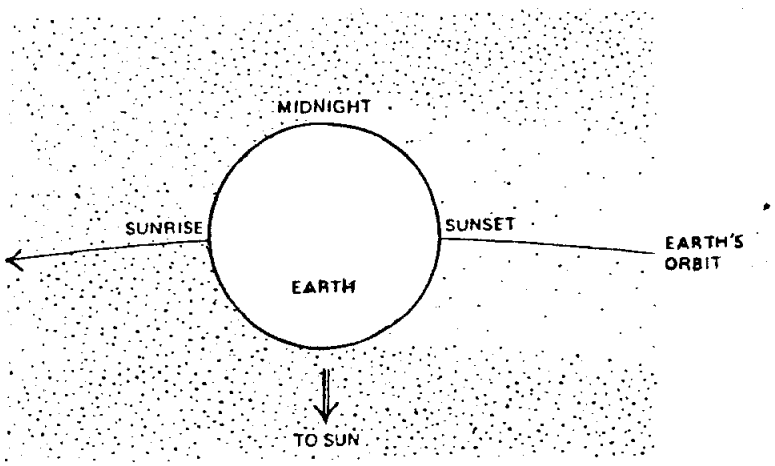


รูปที่ 5.36 ความเร็วของอุกกาบาตที่วิ่งเข้าหาโลกในตำแหน่งวิ่งชนโลก (head – on) **จะมีความเร็วสูงสุด = 72 กิโลเมตร/วินาที ในตำแหน่งวิ่งตามโลก** (overtake) **จะมีความเร็วสูงสุด = 12 กิโลเมตร/วินาที**

แหล่งกำเนิดของอุกกาบาตมีสองแหล่ง คือ 1. อยู่ในระบบสุริยะ 2. อยู่นอกระบบสุริยะ ถ้าแหล่งกำเนิดของอุกกาบาตอยู่ในระบบสุริยะความเร็วของอุกกาบาตอยู่ในช่วง 13 ถึง 72 กิโลเมตรต่อวินาที อุกกาบาตที่อยู่นอกระบบสุริยะจะมีความเร็วมากกว่านี้ ส่วนใหญ่อุกกาบาตที่วิ่งเข้ามาสู่โลกมีแหล่งกำเนิดอยู่ภายในระบบสุริยะ ดังนั้นความเร็วเฉลี่ยของดาวตกในวงโคจรมีค่าประมาณ 42 กิโลเมตรต่อวินาที จากรูปที่ 5.36 อุกกาบาตที่วิ่งเข้าสู่ชั้นบรรยากาศในทิศทางวิ่งชนโลก (เรียกว่า head-on) วิ่งด้วยความเร็วสูงสุด 42+30 (ความเร็วของโลก = 30 กิโลเมตรต่อวินาที) = 72 กิโลเมตรต่อวินาที และอุกกาบาตที่วิ่งเข้าสู่บรรยากาศของโลกโดยวิ่งตามโลก (เรียกว่า overtake) จะมีความเร็วช้าที่สุด = 42 – 30 = 12 กิโลเมตรต่อวินาที จากการสังเกตไม่พบอุกกาบาตที่มีความเร็วมากกว่า 72 กิโลเมตรต่อวินาที

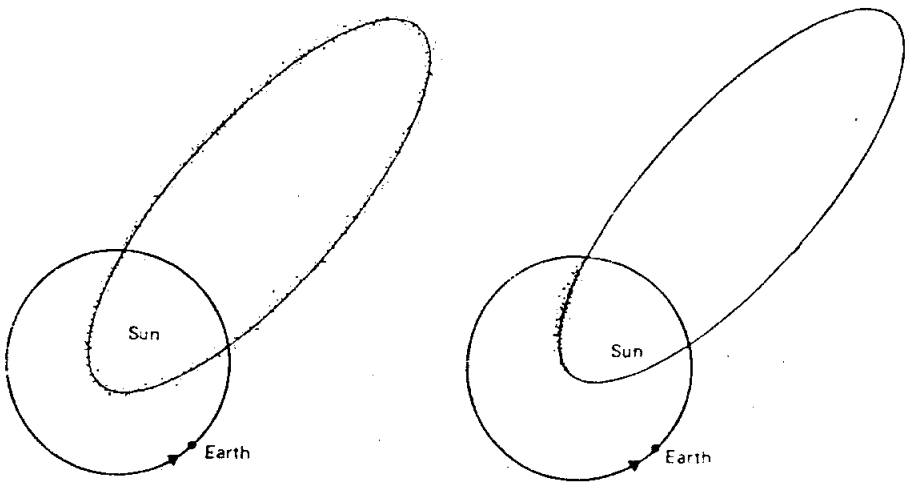
5.5.1 ทิศทางของอุกกาบาต

จากการสังเกตท้องฟ้าในคืนเดือนมืดสนิทพบว่า เราจะมองเห็นดาวตกในตอนหลังเที่ยงคืนมากกว่าก่อนเที่ยงคืนและจำนวนจะมากที่สุดตอนรุ่งเช้า ทั้งนี้เนื่องจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ในขณะเดียวกันก็หมุนรอบตัวเองด้วย *(ดูรูปที่ 5.37)* ในขณะที่เราอยู่บนโลกในระหว่างระยะเวลาตอนเย็นถึงเที่ยงคืน ทิศทางการหมุนของโลกจะเคลื่อนที่ออกจากอุกกาบาต เราจะเห็นอุกกาบาตเฉพาะที่วิ่งตามโลกเท่านั้น ภายหลังจากเลยเวลาเที่ยงคืนไปแล้วโลกจะเคลื่อนเข้าหาอุกกาบาต ดังนั้นอุกกาบาตจึงวิ่งเข้าสู่โลกในทิศทางวิ่งชนโลก เราจึงมีโอกาสเห็นดาวตกมากภายหลังจากเวลาเที่ยงคืนไปแล้วจนถึงรุ่งเช้า และภายหลังเวลาเที่ยงคืนไปแล้วดาวตกจะมีความสว่างมากกว่าก่อนเวลาเที่ยงคืนด้วย (เนื่องจากความเร็วของอุกกาบาตในการวิ่งเข้าสู่บรรยากาศหลังเวลาเที่ยงคืนมากกว่าก่อนเวลาเที่ยงคืน) ระยะทางเฉลี่ยที่อุกกาบาตปรากฏให้เราเห็นประมาณ 100 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน



รูปที่ 5.37 ในขณะที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์บริเวณข้างหลังของโลกจะมีอุกกาบาตน้อย ดังนั้นเราจะเห็นดาวตกในช่วงเที่ยงคืนถึงรุ่งเช้ามากกว่าตอนเย็นถึงเที่ยงคืน

5.5.2 ฝนอุกกาบาต



รูปที่ 5.38 ฝนอุกกาบาตจะปรากฏเมื่อโลกเคลื่อนที่เข้าไปในกลุ่มอุกกาบาตหรือธารอุกกาบาต กลุ่มอุกกาบาตหรือธารอุกกาบาตนั้นโคจรรอบดวงอาทิตย์เหมือนกับวัตถุทั่ว ๆ ไปในระบบสุริยะ

อุกกาบาตที่ได้กล่าวมาแล้ว เป็นอุกกาบาตที่ไม่ได้เกิดจากจุดร่วมกันจุดใดจุดหนึ่งบนท้องฟ้า ถ้าโลกโคจรผ่านกลุ่มอุกกาบาต (meteoroid swarm) หรือธารอุกกาบาต (meteoroid stream) เราจะเห็นอุกกาบาตตกลงมาจากท้องฟ้าอย่างมากมาย เรียกว่า ฝนอุกกาบาต (meteor showers) *(ดูรูปที่ 5.38)* อุกกาบาตเหล่านี้มีทิศทางขนานกัน ดังนั้นเราจึงเห็นอุกกาบาตเหล่านี้คล้ายกับพุ่งออกมาจากจุดใดจุดหนึ่งร่วมกัน (เรียกว่าเรเดียน ซึ่งคล้ายกับเรามองดูรางรถไฟที่พบกันที่จุดหนึ่ง) บนท้องฟ้า ฝนอุกกาบาตมักเกิดพร้อม ๆ กับการปรากฏของดาวหาง ฝนอุกกาบาตมีจุดร่วมเกิดที่กลุ่มดาวอะไร ฝนอุกกาบาตนั้นก็จะได้ชื่อตามกลุ่มดาวนั้น ๆ เช่น ฝนอุกกาบาตที่เกิดที่กลุ่มดาวไลรา (Lyra) ฝนอุกกาบาตก็จะมีชื่อเรียกว่า ไลริดส์ (Lyrids) หรือเกิดที่กลุ่มดาวออริออน (Orion) ก็จะมีชื่อเรียกว่า ออริออนิดส์ (Orionids) เป็นต้น ฝนอุกกาบาตมีระยะเวลาในการเกิดสม่ำเสมอทุกปี

5.6 ลูกอุกกาบาต

เมื่ออุกกาบาตที่ถูกเผาไหม้ไม่หมดตกถึงพื้นผิวโลก เราเรียกว่า ลูกอุกกาบาต และ

เมื่อชนพื้นผิวโลกจะทำให้เกิดหลุมเหมือนกับหลุมบนดวงจันทร์ หลุมเหล่านี้เรียกว่า หลุมอุกกาบาต (meteorite crater) เราแบ่งลูกอุกกาบาตออกเป็น 3 ประเภท คือ

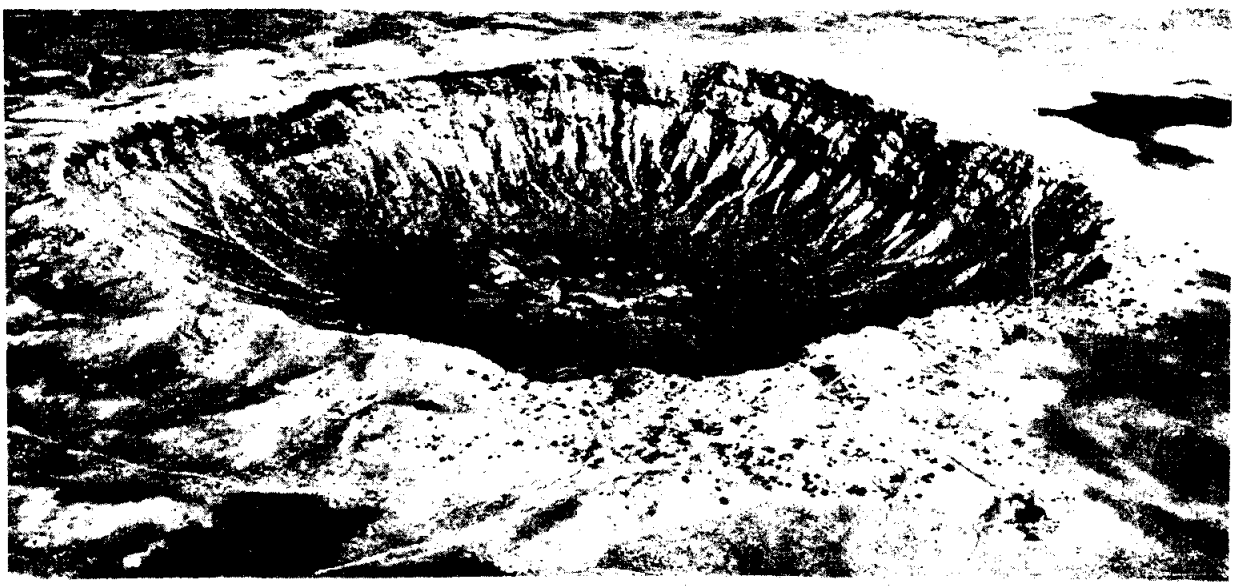
1. ประเภทเหล็ก หรือไซเดอร์ไรท์ (siderites) ลูกอุกกาบาตประเภทนี้ประกอบด้วย 90% เป็นพวกเหล็ก นอกนั้นเป็นพวกนิกเกิล

2. ประเภทหินเหล็ก หรือไซเดอร์โรไลท์ (siderolites) ลูกอุกกาบาตประเภทนี้ประกอบด้วยเหล็กและหินอย่างละครึ่ง

3. ประเภทหิน หรือแอร์โรไลท์ (aerolites) ลูกอุกกาบาตประเภทนี้พบน้อยมาก ส่วนใหญ่ประกอบด้วยหิน มีเหล็กและนิกเกิลน้อยมาก การที่เราพบลูกอุกกาบาตประเภทนี้มีน้อยมาก เนื่องจากมันมีลักษณะคล้ายกับหินทั่วไปโดยเฉพาะจะถูกกัดกร่อนจากลมและฝน

5.7 ดาวหาง

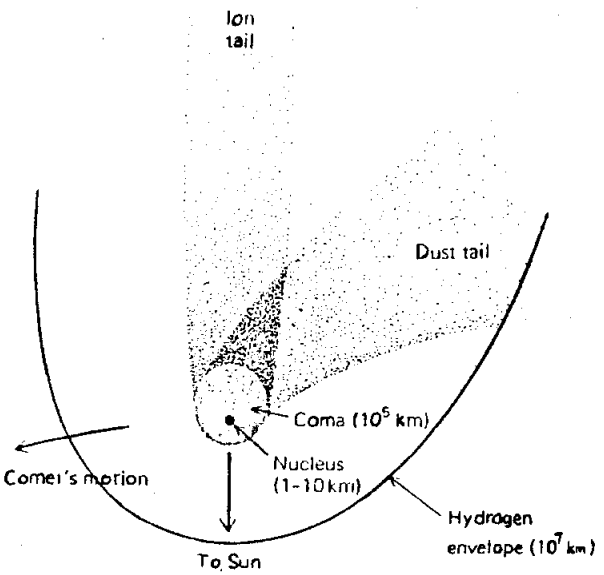
ในระบบสุริยะของเรามีดาวหางเป็นจำนวนมาก ส่วนมากที่สุดมีขนาดเล็ก แต่มีขนาดใหญ่จนเราสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่ามีเพียงไม่กี่ดวง ดังนั้นนาน ๆ ครั้งเราจึงจะสามารถสังเกตเห็นดาวหางได้ด้วยตาเปล่า เมื่อดาวหางปรากฏบนท้องฟ้าจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจและตื่นเต้นสำหรับคนทั่ว ๆ ไป เช่น นักดาราศาสตร์, นักฟิสิกส์อวกาศ, นักธรณีวิทยา หรือแม้กระทั่งนักชีววิทยา ซึ่งจะคอยศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ บนโลก



รูปที่ 5.39 แสดงหลุมอุกกาบาตที่อริโซนา กว้างประมาณ 1,280 เมตร และลึก 180 เมตร คาดว่าเกิดจากลูกอุกกาบาตชนิดที่เป็นเหล็กหนัก 250,000 ตัน มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 93 เมตร ตกกระแทกด้วยความเร็ว 16 กิโลเมตรต่อวินาที

5.7.1 โครงสร้างทั่ว ๆ ไปของดาวหาง

เราสามารถแบ่งดาวหางออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ นิวเคลียส (nucleus), หัวหรือโคมา (head or coma) และหาง (tail)



รูปที่ 5.40 แสดงโครงสร้างของดาวหาง

นิวเคลียส เป็นวัตถุขนาดเล็กที่มีรูปร่างไม่แน่นอน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากไม่กี่กิโลเมตรจนถึง 10 กิโลเมตร ทฤษฎีส่วนประกอบของนิวเคลียสของดาวหางของ **เฟรด วิพเพิล** (Fred Wipple) ซึ่งเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปกล่าวว่า นิวเคลียสเหมือนก้อนหิมะสกปรก (dirty snowball) นิวเคลียสส่วนใหญ่เป็นน้ำแข็งประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำ, คาร์บอนไดออกไซด์, แอมโมเนีย และมีเทน มีส่วนน้อยที่เป็นพวกวัตถุของแข็ง, ฝุ่นและหิน ดาวหางที่อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มาก ๆ นิวเคลียสจะมีความเย็นมาก ๆ และวัตถุทั้งหมดอยู่ในสภาพเย็นจนเป็นน้ำแข็ง ในนิวเคลียส เมื่อดาวหางเคลื่อนที่เข้าใกล้ดวงอาทิตย์ในระยะไม่กี่หน่วยดาราศาสตร์ (หรือเอยู) พื้นผิวของนิวเคลียสจะอุ่นขึ้นและเริ่มต้นเป็นไอ โมเลกุลที่เป็นไอจะนำอนุภาคของแข็งเล็ก ๆ ออกมาเป็นจำนวนมาก ซึ่งมันจะออกมาห่อหุ้มนิวเคลียสเรียกว่า โคมา หรือหัว เมื่อดาวหางยังอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มาก นิวเคลียสสามารถเห็นได้บนโลกโดยการสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์เท่านั้น เมื่อโคมาเกิดขึ้นมา ฝุ่นต่าง ๆ ยังคงสะท้อนแสงอาทิตย์และแก๊สในโคมาจะดูดกลืน

รังสีอัลตราไวโอเลตทำให้เริ่มต้นเกิดการเรืองแสงขึ้น เมื่อดาวหางอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากขึ้นอย่างเพียงพอ (น้อยกว่า 5 เอยู) แสงที่ซึ่งอะตอมของแก๊สปลดปล่อยออกมา (โดยการเรืองแสง) ตามปกติจะมีความรุนแรงมากกว่าแสงอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนจากวัตถุของแข็ง

โคมา อะตอมแก๊สในโคมาเคลื่อนที่โดยมีอัตราความเร็วจนถึงประมาณ 1 กิโลเมตรต่อวินาที ที่อัตราความเร็วเหล่านี้อะตอมแก๊สสามารถเคลื่อนที่หนีออกจากนิวเคลียสได้อย่างง่ายดาย (นิวเคลียสมีสนามความโน้มถ่วงที่ดึงดูดอนุภาคต่าง ๆ น้อยมาก) ดังนั้นจึงทำให้เราเห็นโคมา (หรือส่วนหัวของดาวหาง) มีขนาดใหญ่มาก ๆ ดาวหางบางดวงอาจจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100,000 กิโลเมตร หรือมากกว่า ขนาดของโคมาขึ้นอยู่มาก ๆ กับระยะทางของดาวหางที่อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ มันจะมีขนาดเล็กมากสำหรับดาวหางที่อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากกว่า 4 เอยู และจะมีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อดาวหางอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 1 ถึง 2 เอยู หลังจากนั้นขนาดของโคมาจะหดเล็กลงอีกครั้งเมื่อดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์น้อยกว่า 1 เอยู ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าที่ระยะห่างจากดวงอาทิตย์มาก นิวเคลียสได้รับความร้อนจะทำให้ตัวมันเองอุ่นขึ้น ซึ่งจะทำให้มันปลดปล่อยแก๊สออกมาที่ระยะ 1 – 2 เอยู ขนาดของโคมามีขนาดใหญ่มาก ๆ เนื่องจากความจริงที่ว่า ที่ระยะนี้ความร้อนจากดวงอาทิตย์มีมากเพียงพอที่จะทำให้ปริมาณวัตถุกลายเป็นไอมาก และโคมามีขนาดเล็กลงเมื่อดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่านี้ เพราะแรงผลักดันของดวงอาทิตย์ (solar radiation pressure) ผลักแก๊สจำนวนมากออกจากดาวหาง จึงทำให้ปริมาณของแก๊สในโคมาลดลง

กลุ่มเมฆไฮโดรเจน ในปี พ.ศ. 2513 มีการสังเกตเส้นสเปกตรัมของดาวหางเหนือบรรยากาศของโลก พบว่าดาวหางเหล่านี้ (ได้แก่ดาวหางทาโก-ซาโต-โคซากา (Tago-Sato-Kosaka) และดาวหางเบนเนทท์ (Bennett)) ล้อมรอบด้วยกลุ่มเมฆไฮโดรเจนขนาดมหึมา มีระยะทางหลาย ๆ ล้านกิโลเมตร *(ดูรูปที่ 5.40 ประกอบ)*

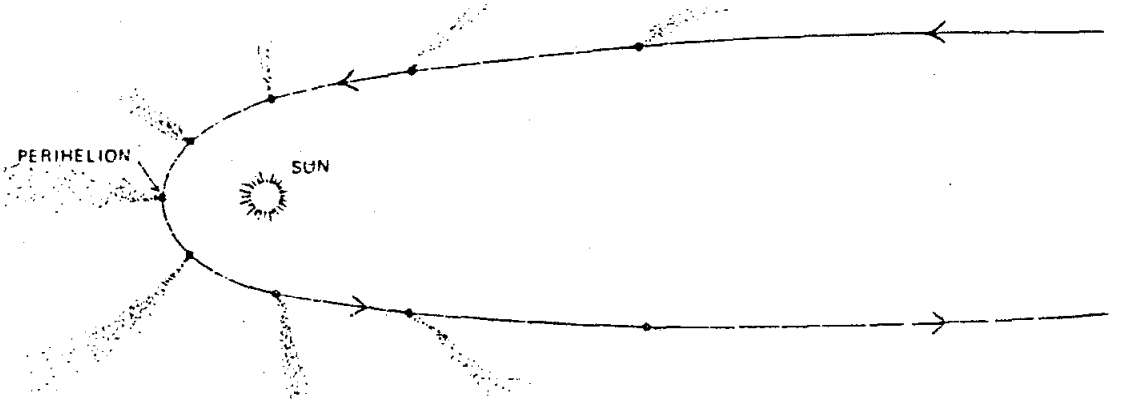
หาง ปกติจากรูปของดาวหางแสดงให้เห็นถึงหางของดาวหางที่แตกต่างกันสองชนิด ชนิดแรกประกอบด้วยฝุ่นเรียกว่า หางฝุ่น (dust tail) อีกชนิดเป็นพลาสมาหรือไอออน เรียกว่า หางพลาสมา หรือหางไอออน (plasma tail or ion tail) หางฝุ่นจะปรากฏเป็นสีเหลือง เนื่องจากการสะท้อนของแสงอาทิตย์เมื่อกระทบถูกมัน ส่วนหางพลาสมามีสีน้ำเงิน เพราะรังสีที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการไอออไนซ์คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO^+) ซึ่งประกอบอยู่ในหาง จะให้รังสีที่มีความยาวคลื่นประมาณ 4,200 อังสตรอม หางฝุ่นและหางพลาสมาสามารถพบตามลำพังหรือพบร่วมกันในดาวหางก็ได้ หางฝุ่นมีความยาวตั้งแต่ 1,000,000 กิโลเมตร จนถึงบางทีหนึ่งร้อยเท่า หางฝุ่นบางทีประกอบด้วยเกลือแร่ซิลิเกตมีขนาดประมาณ 1 ไมครอน หางพลาสมา

ปกติเป็นเส้นตรงมีความยาวอย่างหยาบ ๆ ประมาณสิบเท่าของหางฝุ่นจนถึงหนึ่งร้อยล้านกิโลเมตร หางพลาสมามีทิศทางชี้ออกจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยอิเล็กตรอนและโมเลกุลไอออน หางพลาสมาดูเหมือนมีแหล่งกำเนิดจากแถบจำกัดบนพื้นผิวนิวเคลียสที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์

5.7.2 เส้นสเปกตรัมของดาวหาง

เราจะเห็นดาวหางเมื่อดาวหางอยู่ห่างจากโลกประมาณ 3 เอยู เมื่อแก๊สที่เย็นเป็นน้ำแข็งในนิวเคลียส (ประกอบด้วยแอมโมเนีย, มีเทน และน้ำ) เริ่มระเหยและสะท้อนแสงออกมา (ในขณะที่ดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์) แถบสว่างของ C_2, C_3, CN (Cyanogen), NH (imino), NH_2 (amide) และ OH (hydroxyl) ปรากฏในเส้นสเปกตรัมของดาวหาง ทั้งหมดเกิดจากธาตุ 4 อย่าง คือ คาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H_2), ออกซิเจน (O_2) และไนโตรเจน (N_2) ดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด (ที่ตำแหน่งเพริฮีเลียน) จะให้เส้นสเปกตรัมของการคายรังสีของโลหะโครเมียม, เหล็ก, นิกเกิล และโซเดียม ในเส้นสเปกตรัมของดาวหาง เส้นสเปกตรัมส่วนหางของดาวหางแสดงถึงประจุบวกของโมเลกุลคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO^+) และไนโตรเจน (N^+)

5.7.3 การปรากฏหางของดาวหาง



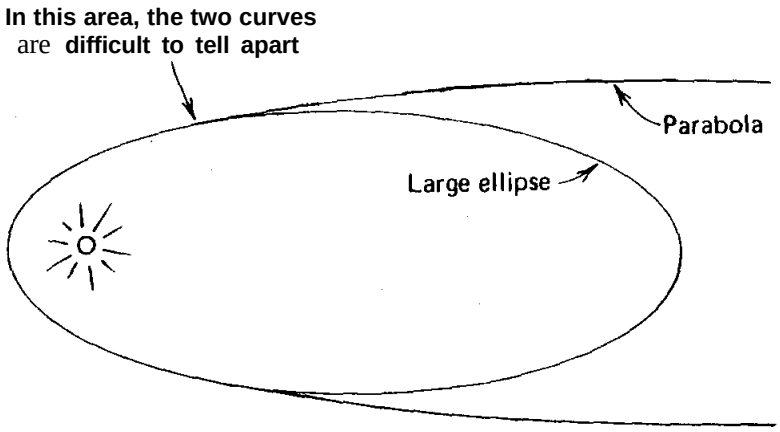
รูปที่ 5.41 แสดงถึงหางของดาวหางจะมีทิศชี้ออกจากดวงอาทิตย์เสมอ

ดาวหางส่วนมากมีความสว่างค่อนข้างมัวมาก ส่วนที่มีความสว่างมากมีเพียงบางดวง และที่สว่างที่สุดหายากมาก บางดวงปรากฏให้เห็นเพียงไม่กี่วัน บางดวงปรากฏหลาย ๆ อาทิตย์ มีน้อยมากที่ปรากฏให้เห็นเป็นเดือน ๆ ปกติดาวหางจะปรากฏให้เห็นในกล้องโทรทรรศน์เป็นลักษณะจุดของแสงสว่าง, มัว เมื่อดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ ขนาดและความสว่างของดาวหางจะเพิ่มขึ้น ส่วนของนิวเคลียสมีความสว่างเหมือนดาวอยู่ภายในโคมา หางของดาวหางเริ่มปรากฏเมื่ออยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ประมาณ 2 เอยู *(ดูรูปที่ 5.41)* หางจะมีความยาวมากที่สุดและสว่างที่สุดภายหลังจากที่ดาวหางผ่านตำแหน่งเพริฮิเลียนแล้ว และหางของดาวหางก็จะสั้นลง ๆ ในขณะที่เคลื่อนที่ห่างจากดวงอาทิตย์มากขึ้น **หางของดาวหางมีทิศทางชี้ไปทางตรงข้ามกับดวงอาทิตย์เสมอ**

แรงสองแรงที่กระทำต่ออนุภาคในนิวเคลียสของดาวหางทำให้เกิดหาง คือ ลมสุริยะกับแรงผลักดันของดวงอาทิตย์ ลมสุริยะเป็นพวกอนุภาคที่มีประจุ เช่น โปรตอน, อิเล็กตรอน เป็นต้น อนุภาคเหล่านี้จะออกจากดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง ปฏิกิริยาที่ลมสุริยะกระทำต่ออนุภาคในนิวเคลียสทำให้เกิดหางของดาวหางขึ้นมา เมื่อแรงผลักดันของดวงอาทิตย์มีค่ามากกว่าแรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์ อนุภาคในนิวเคลียสของดาวหางจะเกิดแรงผลักไปในทิศทางตรงข้ามกับดวงอาทิตย์จะทำให้เกิดเป็นหางของดาวหางขึ้นมา ปรากฏการณ์นี้จะเกิดเมื่ออัตราส่วนของพื้นที่ผิวดวงอาทิตย์ต่อมวลดวงอาทิตย์มีค่ามาก

5.7.4 วงโคจรของดาวหาง

ดาวหางที่เรารู้จักวงโคจรของมันพบว่า ทางเดินของมันเคลื่อนที่เกือบจะเป็นรูปพาราโบลา รูปพาราโบลาคล้ายกับรูปวงรี แตกต่างกันที่ปลายข้างหนึ่งเป็นปลายเปิด ถ้าวงโคจรของดาวหางเป็นรูปพาราโบลาที่แท้จริงแล้ว เมื่อดาวหางเคลื่อนที่เข้ามาสู่ระบบสุริยะและผ่านใกล้ดวงอาทิตย์แล้ว มันจะเคลื่อนที่ออกไปโดยไม่เคลื่อนกลับมาให้เห็นอีกเลย อย่างไรก็ตาม จากรูปที่ 5.42 แสดงถึงวงโคจรที่เป็นรูปวงรีขนาดใหญ่มาก ๆ เมื่อมองจากโลกจะเห็นวงโคจรนี้เป็นรูปพาราโบลา เพราะฉะนั้นมันเป็นไปได้มากที่การปรากฏวงโคจรรูปพาราโบลาของดาวหางนั้น ตามความเป็นจริงเป็นวงโคจรรูปวงรีที่ใหญ่มาก ๆ มีบางวงโคจรของดาวหางที่พบว่าเป็นรูปไฮเปอร์โบลา การปรากฏเช่นนี้เนื่องจากมันเข้าใกล้ดาวเคราะห์ดวงใหญ่ (ปกติคือ ดาวพฤหัส) อย่างเพียงพอที่จะเป็นสาเหตุทำให้มันมีอัตราความเร็วเพิ่มขึ้นอย่างผิดปกติ ซึ่งจะทำให้ดาวหางถูกเหวี่ยงออกไปทำให้วงโคจรของมันเป็นรูปไฮเปอร์โบลาจากเดิมซึ่งบางทีวงโคจรเป็นรูปวงรีใหญ่มาก ๆ



รูป 5.42 รูปวงรีขนาดใหญ่มาก ๆ กับเส้นพาราโบลามีความยากลำบากในการแยกเส้นโค้งทั้งสองออกจากกัน

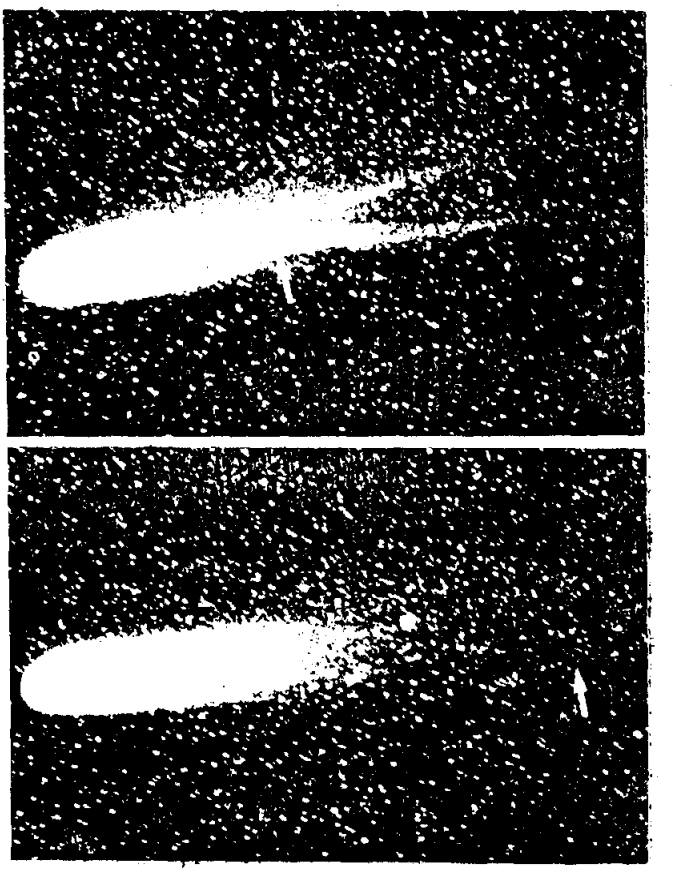
5.7.5 ดาวหางแฮลลีย์

เซอร์เอดมันด์ แฮลลีย์ (Sir Edmund Halley) ใช้ทฤษฎีของนิวตันเกี่ยวกับทฤษฎีความโน้มถ่วงและวงโคจรของดาวเคราะห์ คำนวณวงโคจรของดาวหางหลายดวง เขาได้คำนวณวงโคจรของดาวหางของปี พ.ศ. 2225, เขาได้สังเกตว่าวงโคจรของดาวหางดวงนี้เหมือนกับวงโคจรของดาวหางในปี พ.ศ. 2074 และ พ.ศ. 2144 เขาสรุปว่า ดาวหางเหล่านี้เป็นดาวหางดวงเดียวกัน โดยเคลื่อนที่เป็นรูปวงรี ใช้เวลาในการโคจรครบรอบประมาณ 76 ปี และเขาได้ทำนายต่อไปว่า ดาวหางดวงนี้จะโคจรกลับมาอีกประมาณปี พ.ศ. 2301 สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับวันและเดือนของดาวหางที่จะมาปรากฏใหม่นั้น ถูกคำนวณโดยนักคณิตศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อ **อเล็กซิส เคลาเด แคลรูท** (Alexis Claude Clairout) (พ.ศ. 2256-2308) ดาวหางถูกเห็นครั้งแรกโดยนักดาราศาสตร์สมัครเล่นชาวเยอรมันชื่อ **โจฮันน์ จอร์จ พาลิทซ์** (Johann George Palitzsch) (พ.ศ. 2266-2331) ในวันคริสต์มาสปี พ.ศ. 2301 ดาวหางโคจรถึงจุดเพริฮีเลียน คือ จุดในวงโคจรที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด ในวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ. 2302 และจะโคจรกลับมาอีกครั้งในปี พ.ศ. 2373 และในปี พ.ศ. 2453 จะเป็นปีที่คนบนโลกสังเกตดาวหางได้ดีที่สุดในปีนี้ โลกได้เคลื่อนผ่านหางของดาวหาง ทำให้เกิดฝนอุกกาบาตที่ดาวเอต้าในกลุ่มดาวคนแบกหม้อน้ำและกลุ่มดาวนายพราน (Eta Aquarid and Orionid meteor streams) ดังนั้น เพื่อเป็นเกียรติแก่เซอร์เอดมันด์ แฮลลีย์ จึงได้ตั้งชื่อดาวหางดวงนี้ว่า ดาวหางแฮลลีย์

ความลับของดาวหางแฮลลีย์

ประมาณต้นปี พ.ศ. 2529 ดาวหางแฮลลีย์ได้เดินทางมาเยือนโลกอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งถือได้ว่าเป็นปรากฏการณ์ที่น่าตื่นเต้นสำหรับชาวโลกและเป็นเหตุการณ์ที่ควรแก่ความสนใจอย่าง

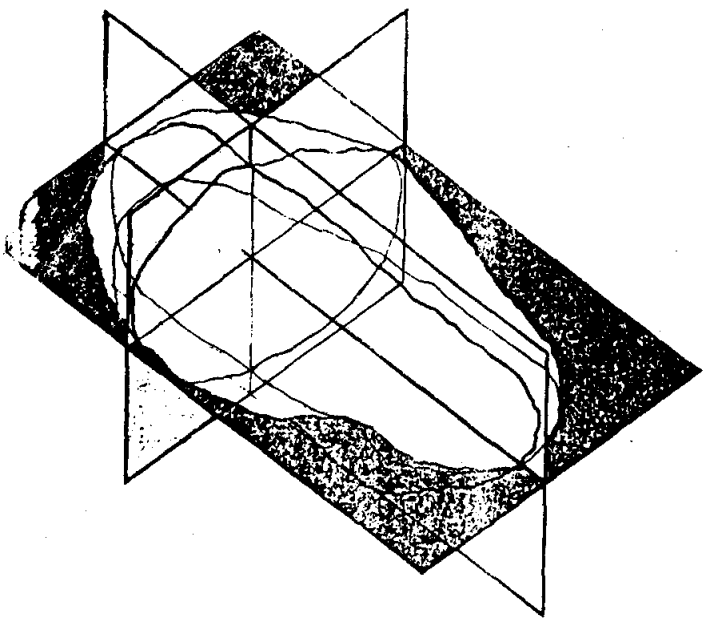
มาก สำหรับนักดาราศาสตร์ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกได้จัดตั้งศูนย์ชื่อ International Halley Watch (IHW) โดยมีสมาชิกกระจายอยู่ทั่วโลก เพื่อทำการศึกษา สังเกตการณ์ดาวหางแฮลลีย์ นอกจากนั้นบางประเทศยังได้จัดส่งยานอวกาศโคจรเข้าสู่บริเวณส่วนที่เรียกว่าโคมาของดาวหางแฮลลีย์ เพื่อถ่ายภาพนิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์จำนวน 3 ลำ ผ่านเข้าใกล้นิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์จำนวน 1 ลำ และอีก 3 ลำสังเกตดาวหางแฮลลีย์จากระยะไกล



รูปที่ 5.43 ภาพถ่ายดาวหางแฮลลีย์ โดยพอล ร็อคส์ เป็นภาพถ่ายในช่วงเวลาห่างกัน 24 ชั่วโมง แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลง "ปม" ในหางของดาวหางอย่างชัดเจน (ภาพบน) ถ่ายเมื่อวันที่ 20 มีนาคม พ.ศ. 2529 เป็นปมชัดเจนตรงลูกศรชี้และมีหลายหาง (ภาพล่าง) ถ่ายเมื่อวันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2529 ปมสลายตัวออกจนจางมากตรงลูกศรชี้และหางไม่แยกชัดเจนอย่างภาพบน

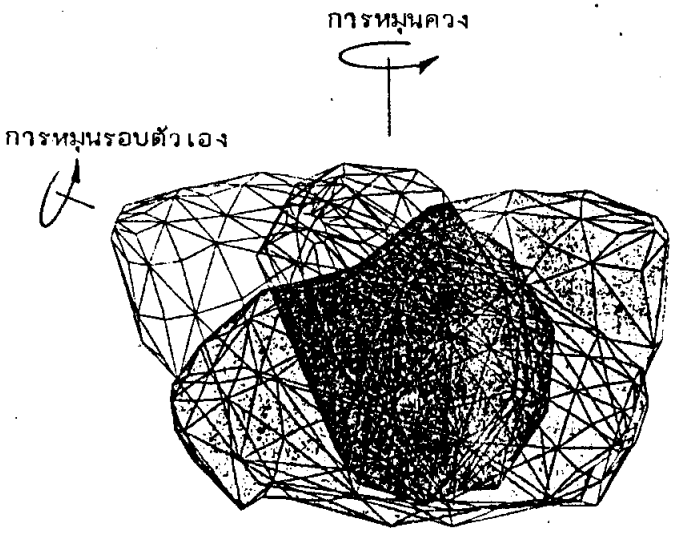
สหภาพโซเวียตได้ส่งยานอวกาศวีกา 1 และวีกา 2 (Vega 1 & Vega 2) ซึ่งได้เดินทางไปสำรวจดาวศุกร์แล้วในอดีต เข้าสู่บริเวณส่วนโคมาของดาวหางแฮลลีย์ในวันที่ 6 และวันที่ 9 มีนาคม พ.ศ. 2529 ตามลำดับ ยานอวกาศที่เข้าใกล้นิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์มากที่สุด คือ ยานอวกาศจอตโต (Giotto) ในวันที่ 14 มีนาคม พ.ศ. 2529 ซึ่งเป็นยานอวกาศของ

องค์การอวกาศยุโรป (หรือ ESA) นอกจากนี้ประเทศญี่ปุ่นได้ส่งยานอวกาศสองลำชื่อ ซากิ-กาเก (Sakigake) และ ซูอิเซอิ (Suisei) สังเกตและศึกษาดาวหางแฮลลีย์ระยะไกล ยานซากิ-กาเกวิ่งผ่านดาวหางแฮลลีย์ในระยะ 7,040,000 กิโลเมตร ในวันที่ 10 มีนาคม พ.ศ. 2529 และยานซูอิเซอิเข้าใกล้นิวเคลียสในระยะ 151,000 กิโลเมตร ในวันที่ 8 มีนาคม พ.ศ. 2529 และประเทศสหรัฐอเมริกาได้ส่งยานอวกาศสองลำร่วมศึกษาดาวหางแฮลลีย์ด้วย



รูปที่ 5.44 ภาพแสดงรูปร่างของนิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์

ก่อนหน้าของการสำรวจครั้งล่าสุดที่กำลังกล่าวนี้ นักดาราศาสตร์เคยมีความเชื่อว่านิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 กิโลเมตร การทำนายนี้อยู่บนสมมติ-ฐานของการประมาณการจากความสว่างของนิวเคลียสและบางสมมติฐานเกี่ยวกับการเป็นสีเทาของวัตถุ "น้ำแข็งสกปรก" เมื่อยานอวกาศจอตโตและวีกาได้ถ่ายภาพนิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์ ปรากฏว่านิวเคลียสเป็นวัตถุสีดำรูปร่างคล้ายผลอโวคาโด (avocado) หรือถั่วลิสงขนาดยักษ์ *(รูปที่ 5.44)* โดยที่ปลายด้านหนึ่งมีความอ้วนมากกว่าปลายอีกด้านหนึ่งเล็กน้อย นิวเคลียสมีความยาว 16 กิโลเมตร สูง 7.5 กิโลเมตร และกว้าง 8 กิโลเมตร และปริมาตรทั้งหมดอยู่ระหว่าง 400 ถึง 500 ลูกบาศก์กิโลเมตร

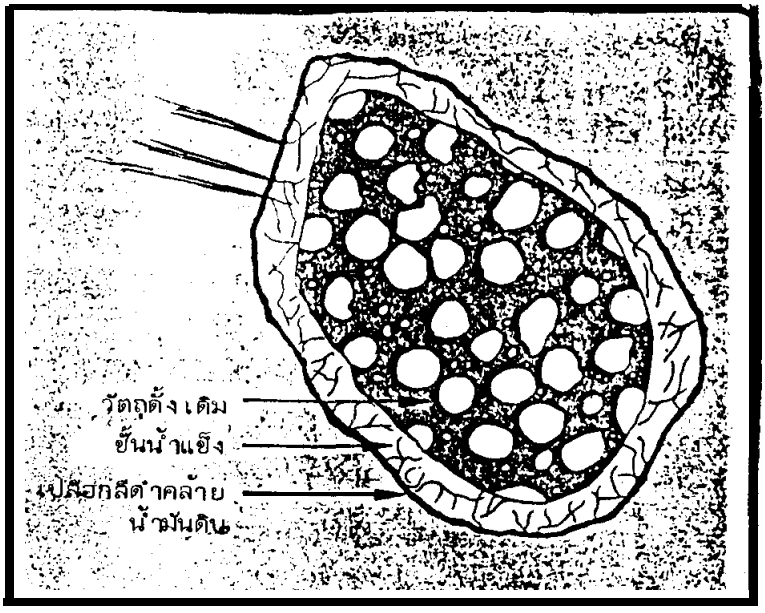


รูปที่ 5.45 ภาพแสดงการหมุนรอบตัวเองและการหมุนควงของนิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์

ยานอวกาศซูอิเซอิของญี่ปุ่นสามารถวัดได้ว่า นิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์หมุนรอบตัวเองด้วยคาบเวลา 2.2 วัน อย่างไรก็ตาม จากการวัดความสว่างของบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงสม่ำเสมอในแสงของ C_2 และ CN ไอออนมีคาบเวลา 7.4 วัน และลำเจ็ทของแก๊สไซแอนโนเจน (cyanogen) ปรากฏหมุนด้วยคาบเวลา 7.4 วัน คำตอบทั้งหมดคือ นิวเคลียสหมุนรอบตัวเองตามแกนยาวด้วยคาบเวลา 7.4 วัน และหมุนควง (pecession) ทางด้านบนด้วยคาบเวลา 2.2 วัน *(ดูรูปที่ 5.45)*

ในอดีตนักดาราศาสตร์มีความเข้าใจผิดว่า หางของดาวหางจะมีความยาวมากที่สุดเมื่อดาวหางอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด *(โปรดดูหัวข้อ 5.7.3)* แต่จากการศึกษาดาวหางแฮลลีย์อย่างละเอียด นักดาราศาสตร์พบความจริงว่า ส่วนหางของดาวหางมิได้ยาวที่สุดขณะที่ดาวหางโคจรเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด และขนาดของความยาวของหางตอนโคจรเข้าหาดวงอาทิตย์สั้นกว่าตอนโคจรออกจากดวงอาทิตย์ (สำหรับระยะทางที่ห่างจากดวงอาทิตย์เท่า ๆ กัน) นักดาราศาสตร์ชาวญี่ปุ่นชื่อ **ยาบูชิตะ** (Yabushita) และ **แฮตตะ** (Hatta) ได้ทำการศึกษาเรื่องนี้โดยวิธีนิวเมอริคัล อินทิเกรชัน (numerical integration) ทางการนำความร้อนของก้อนน้ำแข็งของนิวเคลียสจากผิวนอกนิวเคลียสเข้าสู่ภายในนิวเคลียสในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ของดาวหาง จากวิธีการนี้นักดาราศาสตร์ชาวญี่ปุ่นทั้งสองได้พบความจริงว่า ถ้านิวเคลียสเป็นเพียงน้ำแข็งธรรมดา (amorphous ice) ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะไม่เกิดขึ้น เพราะว่าน้ำแข็งธรรมดาไม่สามารถนำความร้อนได้ เมื่อมันรับความร้อนจากดวงอาทิตย์มันจะใช้ไปในการ

ระเหิดตัวมันเองทันที ซึ่งไม่สามารถส่งความร้อนเข้าไปเก็บไว้ภายในนิวเคลียสได้ แต่ถ้าเป็นน้ำแข็งชนิดผลึก (crystaline ice) จะมีความสามารถในการนำความร้อนได้ โดยปริมาณความร้อนที่ส่งผ่านจากผิวนอกนิวเคลียสเข้าสู่ภายในนิวเคลียสจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับอุณหภูมิของน้ำแข็งในขณะนั้น เมื่อก้อนนิวเคลียสเคลื่อนที่เข้าหาดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่ผิวก้อนน้ำแข็งจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นตามระยะทางที่ลดลง ฉะนั้นปริมาณความร้อนที่ถูกส่งเข้าไปเก็บไว้ในนิวะเคลียสก็จะมีมากขึ้น ๆ แต่ในขณะเดียวกันปริมาณความร้อนที่ใช้ไปในการระเหิดน้ำแข็งจึงน้อยลงด้วย เมื่อดาวหางเคลื่อนที่ถึงจุดใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดนั้น ปริมาณความร้อนยังคงถูกเก็บเข้าไปภายในนิวเคลียสมาก หางของดาวหางจึงไม่ยาวที่สุดในขณะนั้น จนกระทั่งดาวหางเคลื่อนที่ออกห่างจากดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่พื้นผิวนิวเคลียสจะลดต่ำลง การนำความร้อนเข้าไปภายในนิวเคลียสจึงลดน้อยลงด้วย ความร้อนที่จะใช้ไปในการระเหิดน้ำแข็งจึงมีมาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ อย่างรุนแรง จนกระทั่งได้หางออกมายาวที่สุด ณ จุดที่พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงถูกนำมาใช้ในการระเหิดน้ำแข็งอย่างมีประสิทธิภาพ ข้อมูลจากยานอวกาศวีกา 2 พบว่า บริเวณใจกลางของนิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์ค่อนข้างร้อน โดยมีอุณหภูมิสูงถึง 57° เซลเซียส



รูปที่ 5.46 ภาพแสดงโครงสร้างของนิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์

สิ่งสำคัญอีกอย่างคือ การรู้มวลของนิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์ซึ่งเป็นไปไม่ได้ที่จะชั่งน้ำหนักของนิวเคลียสโดยตรง แต่เนื่องจากดาวหางแฮลลีย์เป็นดาวหางกัมมันต์ (active comet) เพราะว่าแก๊สและฝุ่นที่พุ่งออกมาเป็นลำเจ็ทจะพ่นออกจากนิวเคลียสซึ่งกระทำคล้าย ๆ กับจรวดเล็ก ๆ เนื่องจากนิวเคลียสมีการหมุนรอบตัวเอง จึงมีผลทำให้ลำเจ็ทที่พ่นออกมาจากนิวเคลียสมีการหมุนตามไปด้วย นั่นคือ เราจะมองเห็นสภาพคล้าย ๆ กับตะไลดอกไม้ไฟ คือ ลำเจ็ทมีทางเดินเป็นวงคล้ายเกลียวออกข้างนอก ลำเจ็ทเหล่านี้ทำให้วงโคจรของดาวหางเปลี่ยนแปลงไป และจากการประมาณการของปริมาณของวัตถุที่ถูกพ่นออกจากลำเจ็ทและสมมติฐานการหมุนของลำเจ็ทบางอย่าง สามารถคำนวณแรงเจ็ทที่ควรจะใช้บนนิวเคลียสได้ จากการคำนวณพบว่า มวลอยู่ระหว่าง 50 พันล้าน ถึง 130 พันล้านเมตริกตัน

นิวเคลียสประกอบด้วยวัตถุที่เบามาก ๆ โดยมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 100 ถึง 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นักวิทยาศาสตร์ได้วิเคราะห์ฝุ่นบนยานอวกาศจอตโตและได้รายงานว่า อนุภาคฝุ่นเหล่านี้มีโครงสร้างเป็นปุย ความหนาแน่นต่ำ เครื่องมือวัดฝุ่นพบอนุภาคที่ละเอียดมาก ๆ เป็นจำนวนมากที่ระยะทางห่างไกลจากดาวหางแฮลลีย์ แต่ไม่พบในระยะใกล้มาก ๆ ทั้งนี้อาจอธิบายได้ว่า มันรวมกันเป็นกลุ่มธุลีฝุ่นที่แตกออกได้ง่ายเมื่อมันออกห่างจากนิวเคลียส บนพื้นผิวโลกได้ทำการวัดลำเจ็ทของแก๊สไซแอนโนเจน ก็ได้ยืนยันว่ากลุ่มธุลีฝุ่นเหล่านี้แตกออกเมื่อมันเคลื่อนออกห่างจากนิวเคลียส

ยานอวกาศจอตโตและยานอวกาศทั้งสองลำได้นำเครื่องแยกมวลโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก (mass spectrometer) เข้าไปในดาวหางแฮลลีย์ เพื่อวัดตัวอย่างของแก๊สของดาวหางโดยตรง พบว่า 80 เปอร์เซ็นต์ของแก๊สของดาวหางเป็นไอน้ำ 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ เป็นแก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์และเป็นแก๊สอื่น ๆ ทั้งหมดประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์

น้ำเป็นสิ่งที่นักดาราศาสตร์ได้คาดหมายไว้แล้ว ธาตุที่ประกอบเป็นน้ำได้แก่ ออกซิเจน และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นธาตุที่มีอย่างสมบูรณ์ในเอกภพ ดังนั้นน้ำจึงควรมีอยู่ในแก๊สของดาวหาง คาร์บอนเป็นธาตุที่มีน้อยกว่าปกติในดาวหางเมื่อเทียบกับออกซิเจนในระบบสุริยะ นี้เป็นคำถามบางอย่างที่ลึกลับ กล่าวคือ ถ้าฝุ่นของดาวหางประกอบด้วยซิลิเกต (เช่น หิน) แล้ว มันควรจะมีคาร์บอนมากเป็นสี่เท่าในแก๊สดาวหางที่ได้สังเกต ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่า คาร์บอนถูกป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นมาขณะที่มีออกซิเจนในดาวหาง แต่เหตุผลนี้โดยทั่วไปยังไม่เป็นที่น่าพอใจ

เครื่องแยกมวลโดยอาศัยสนามแม่เหล็กสามารถแยกไอโซโทปของธาตุเดียวกันได้ และได้พบอัตราส่วนของไอโซโทปที่สำคัญของดาวหางในการเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปของดาวหาง ถึงแม้ว่าการวัดนี้จะไม่มีความแม่นยำสูงมาก ยานอวกาศจอตโตวัดอัตราส่วนของไอโซโทป $C^{13}/$

C^{12} และ N^{15}/N^{14} และ S^{34}/S^{32} อยู่ในแก๊สของดาวหางแฮลลีย์ พบว่ามันอยู่ในช่วงที่นักดาราศาสตร์ได้คาดหมายสำหรับวัตถุในระบบสุริยะ เพราะฉะนั้นดาวหางแฮลลีย์บางทีอาจจะกำเนิดในเนบิวลาเดียวกันกับดวงอาทิตย์ของเราและดาวเคราะห์ทั้งหลายที่ได้กำเนิดมา

นอกจากนี้ยานอวกาศจอตโตและวีกาทั้งสองลำได้ตรวจฝุ่นดาวหางพบว่า มีธาตุคาร์บอนน้อยกว่าปกติด้วย และพบอนุภาคฝุ่นสามชนิด ชนิดที่หนึ่งประกอบด้วยธาตุที่เหมือนกับอุกกาบาตชนิดคาร์บอเนเซียส ชอนไดรท์ (Carbonaceous chondrite meteor) ค่อนข้างจะเป็นเหมือนหินผสมด้วยแมกนีเซียม, ซิลิคอน, แคลเซียมและเหล็กบวกด้วยคาร์บอน, ไฮโดรเจน ออกซิเจนและไนโทรเจน ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารประกอบที่ไม่ใช่ชีวอินทรีย์ สารคาร์บอเนเซียส ชอนไดรท์เป็นวัตถุดั้งเดิมของดาวตก (ดาวบริวารของดาวอังคารชื่อไดมอส (Deimos) และโฟบอส (Phobos) ดูเหมือนว่าเป็นวัตถุพวกชอนไดรท์) ฝุ่นชนิดที่สองคล้ายกับชนิดที่หนึ่งแต่มีปริมาณของซัลเฟอร์, คาร์บอนและไนโทรเจนมากกว่า สิ่งที่ทำให้นักดาราศาสตร์ประหลาดใจมาก ได้แก่ ฝุ่นชนิดที่สาม เรียกว่า **อนุภาคชอน** (CHON) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน และไนโทรเจนเป็นจำนวนมากมาย ฝุ่นชนิดนี้ไม่ใช่หินทั้งหมด ธาตุทั้งสี่นี้เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของดาวบริวารที่เต็มไปด้วยน้ำแข็งของดาวเคราะห์ยักษ์และดาวเคราะห์ยูเรนัสและเนปจูน

นักดาราศาสตร์ได้ค้นพบสิ่งที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ลำเจ็ทของแก๊สไซแอนโนเจน ด้วยการถ่ายภาพดาวหางแฮลลีย์ในแสงของไซแอนโนเจน ด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาด 24 นิ้ว ที่หอดูดาวเพอท (Perth Observatory) โมเลกุลของแก๊สไซแอนโนเจนประกอบด้วยอะตอมไนโทรเจนหนึ่งอะตอมและอะตอมคาร์บอนหนึ่งอะตอม นักดาราศาสตร์ใช้ตัวกรองแถบแคบในการแยกภาพแสงในไซแอนโนเจน ภาพถ่ายที่ได้มีความสำคัญมากในการแสดงการกระจายของแก๊สเหล่านี้ในโคมาชั้นในของดาวหาง ภาพถ่ายแสดงถึงการหมุนเป็นกังหันของลำเจ็ทด้วยความยาวของลำเจ็ทอย่างน้อย 50,000 กิโลเมตรจากนิวเคลียส

แก๊สไซแอนโนเจนไม่สามารถเป็นลำเจ็ทได้โดยตัวของมันเอง เพราะมันจะแผ่กระจายออกมาจากนิวเคลียสด้วยความรวดเร็วมาก ผ่านโคมาชั้นในที่เกือบเป็นสุญญากาศ ถ้าแก๊สไซแอนโนเจนมาจากนิวเคลียสมันจะเกิดเป็นหมอกคลุมโคมาชั้นในทั้งหมด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าลำแก๊สไซแอนโนเจนเกิดขึ้นจากธุลีฝุ่นละเอียดในลำเจ็ทนั่นเอง **ธุลีชอน**เป็นแหล่งกำเนิดของแก๊สไซแอนโนเจนอย่างปราศจากข้อสงสัย โดยเมื่อแสงอาทิตย์ตกลงบน**ธุลีชอน**จะทำให้โมเลกุลของ**ธุลีชอน**แตกตัวและปล่อยแก๊สไซแอนโนเจนออกมา

ขณะนี้นักดาราศาสตร์มีหลักฐานหนักแน่นที่ทำให้เชื่อได้ว่า อย่างน้อยที่สุดดาวหางดวงหนึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ตามที่ได้คาดหมายไว้ ถ้าดาวหางก่อกำเนิดจากวัตถุเดียวกัน

กับดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์ ซึ่งมันจะก่อกำเนิดค่อนข้างไกลจากดวงอาทิตย์ที่ซึ่งฝุ่นธุลีระหว่างดวงดาวไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรง และการปรากฏของวัตถุยังคงเป็นวัตถุดั้งเดิมซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงแต่เพียงการบีบรัดเล็กน้อยในรูปร่าง คาดว่าในอนาคต องค์การนาซา (NASA) จะส่งยานอวกาศบินไปดาวหาง ทำการโคจรรอบดาวหาง และพร้อมกันนั้นจะยิงเครื่องมือสำรวจเข้าไปในนิวเคลียสเพื่อวัดวัตถุดิบที่อยู่ภายใน ซึ่งจะเป็นก้าวที่สำคัญมากในการสำรวจระบบสุริยะต่อไป

นักดาราศาสตร์มีความประหลาดใจที่นิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์มีสีดำ ผิวของนิวเคลียสสะท้อนแสงได้เพียง 4 ถึง 5 เปอร์เซ็นต์ของแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นผิวของมันเท่านั้น นิวเคลียสเป็นสีดำเหมือนขี้เขม่าและพื้นผิวมีความร้อนอีกด้วย เป็นที่แน่นอนว่าพื้นผิวสีดำที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์ย่อมจะร้อน แต่นักดาราศาสตร์บางคนคาดว่า นิวเคลียสของดาวหางแฮลลีย์มีความร้อนในตัวของมันเอง เครื่องวัดแสงอินฟราเรดในยานอวกาศวีกาได้วัดแสงอินฟราเรดที่แผ่ออกมาจากนิวเคลียสและยืนยันว่านิวเคลียสมีความร้อนจริง ยิ่งไปกว่านั้นนักดาราศาสตร์ค้นพบว่า ดาวหางแฮลลีย์ผลิตแก๊สออกมาเพียงหนึ่งส่วนสิบของวัตถุคล้ายน้ำแข็งที่อุณหภูมิเดียวกันควรจะมี และพบอีกว่าแก๊สและฝุ่นทั้งหมดพุ่งหนีออกจากนิวเคลียสเป็นลำเจ็ทแคบ ๆ ผ่านรูหรือรอยแตกใต้พื้นผิวของนิวเคลียส

อย่างไรก็ตาม มีคำถามอีกสองคำถาม คือ ความร้อนและเปลือกสีดำบนพื้นผิวนิวเคลียสคืออะไร และดาวหางมาจากสถานที่ใด วัตถุที่เป็นเปลือกมีความเสถียรที่อุณหภูมิสูง, สีดำ และติดกันเพียงพอในการต้านความดันจากแก๊สภายในของนิวเคลียส การค้นพบของอนุภาค**ชอน** ได้ยืนยันว่า เปลือกนิวเคลียร์เป็นบางชนิดของโพลีเมอร์อินทรีย์ (organic polymer) ซึ่งเป็นสิ่งที่หลงเหลือจากการเผาของเยื่อชั้นในของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีอยู่ในฝุ่นระหว่างดวงดาว จากการศึกษาเชื่อว่าดาวหางเริ่มกลั่นตัวจากวัตถุระหว่างดวงดาวและถูกทำให้ร้อนจากภายนอก กัมมันตภาพของมันหรืออัตราของแก๊สที่ออกไปของมันขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนของดวงอาทิตย์ที่สามารถผ่านเข้าไปในเปลือกเพื่อทำให้วัตถุภายในเกิดการระเหิด

นักดาราศาสตร์คาดหมายที่จะพบส่วนภายในนิวเคลียสมีความแตกต่างกันออกไป ด้านบนเป็นเปลือกถูกเผาด้วยความร้อนจนแห้งและเผาจนกรอบ ข้างใต้เปลือกเป็นชั้นของวัตถุที่ได้รับความร้อนสูงสุดประกอบด้วยธุลีหินซิลิเกต, แกนกลาง, คาร์บอนที่เหนียวเหนอะ (carbon gunk) และน้ำแข็งชนิดพิเศษที่ระเหิดยากมาก และลึกเข้าข้างในเป็นน้ำแข็งระเหิดง่ายและวัตถุดั้งเดิม

ความแปรผันอย่างมากมายของดาวหางแฮลลีย์ของระดับของกัมมันตภาพชี้ให้เห็นว่าภายในของนิวเคลียสไม่ใช่เนื้อเอกพันธุ์โดยเฉพาะ มันสร้างขึ้นจากวัตถุเล็กจากขนาดสองสาม

เมตรจนถึงสองสามกิโลเมตร เต็มไปด้วยน้ำแข็งเกาะรวมกันเป็นกลุ่ม นิวเคลียสทำจากวัตถุที่ทั้งหมดไม่ได้มาจากแหล่งเดียวกันในเนบิวลาสุริยะ (solar nebula)

อาจจะหมายความได้อีกอย่างว่า ดาวหางอาจจะมีความแตกต่างกัน ถ้าความแปรผันภายในของดาวหางดวงหนึ่งสามารถทำให้คุณลักษณะของมันแปรผันไปจากเดิมจากการเคลื่อนที่ตลอดเวลา แล้วความแปรผันของดาวหางต่อดาวหางสามารถจะทำให้เด่นมากขึ้น ดาวหางดวงเดียวยังไม่เพียงพอ เราต้องการดาวหางเป็นตัวอย่างอีกมากในการศึกษาต่อไป

5.8 ทฤษฎีกำเนิดระบบสุริยะ

จากบทต้น ๆ ที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ระบบสุริยะมีบางสิ่งบางอย่างที่น่าสนใจ เช่น การโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์จะมีทิศทางเดียวกันและระนาบของการโคจรก็เกือบอยู่ในระนาบเดียวกัน ดาวเคราะห์และดาวบริวารส่วนใหญ่หมุนรอบตัวเองในทิศทางเดียวกัน ถ้าแบ่งดาวเคราะห์ตามคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เราสามารถแบ่งได้เป็นสองพวกคือ ดาวเคราะห์คล้ายโลก (terrestrial planets : ได้แก่ ดาวพุธ, ดาวศุกร์, โลก และดาวอังคาร) กับดาวเคราะห์คล้ายดาวพฤหัส (Jovian planets : ได้แก่ ดาวพฤหัส, ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส และดาวเนปจูน) ส่วนดาวพลูโตมีข้อมูลน้อยมาก ดังนั้นดาวพลูโตจึงสามารถจัดเข้าได้ทั้งสองพวก ดาวเคราะห์ทั้งสองพวกนี้ถูกแยกจากกันโดยชั้นของดาวเคราะห์น้อย

ทฤษฎีการกำเนิดระบบสุริยะมีหลายทฤษฎี ในปัจจุบันนักดาราศาสตร์ส่วนใหญ่เชื่อว่าระบบสุริยะกำเนิดจากฝุ่น, เมฆ, แก๊สต่าง ๆ ที่อยู่ในห้วงอวกาศเกิดการกลั่นตัวแล้วเกิดเป็นดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์ ทฤษฎีนี้มีชื่อเรียกว่า ทฤษฎีเนบิวลาสุริยะ (solar nebula)

โดยทั่วไปเชื่อว่า ดาวฤกษ์เกิดจากการยุบตัวและการรวมตัวกันอย่างหนาแน่นของแก๊ส, ฝุ่น, เมฆที่อยู่ในอวกาศ อนุภาคเหล่านี้ประกอบด้วยไฮโดรเจนน้อยกว่า 75% เล็กน้อย และฮีเลียมประมาณ 25% อีกประมาณ 1% เป็นพวกฝุ่นและแก๊สชนิดอื่น ๆ อนุภาคที่เป็นฝุ่นเชื่อว่าประกอบด้วยอะลูมิเนียม, เหล็ก และแมกนีเซียมซิลิเกต แก๊สที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มนี้เริ่มต้นมีความเย็นมากและมีความหนาแน่นน้อยมาก ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ การเคลื่อนที่ของอนุภาคยังไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดแรงดึงดูดซึ่งกันและกันได้ แรงโน้มถ่วงจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จะทำให้กลุ่มเมฆเหล่านี้รวมตัวกันเข้าและเริ่มต้นหมุน การหมุนนี้ทำให้กลุ่มแก๊สค่อย ๆ หมุนเร็วขึ้น ๆ อนุภาคทั้งหมดก็จะอัดตัวกันและเริ่มหมุนตัวอย่างรวดเร็ว จากการที่กลุ่มแก๊สเกิดการหมุนอย่างรวดเร็วจะทำให้เกิดแรงโน้มถ่วงตั้งฉากกับแกนหมุน กลุ่มเมฆก็จะหยุดและหดตัวเข้าไปในแกนหมุนแต่มันยังคงยุบตัวขนานกับแกนหมุน ทำให้กลุ่มเมฆนี้ตรงกลางรวมตัวกันอย่างหนาแน่นมาก

และทำให้มันป่องออกมาซึ่งทำให้เกิดดวงอาทิตย์ก่อนเกิด (Protosun) ส่วนตรงริมหรือจานจะแป้นมาก ดวงอาทิตย์ก่อนเกิดจะล้อมรอบด้วยส่วนที่แบน ๆ เป็นพวกแก๊สและฝุ่น แรงโน้มถ่วงจะกดดันแกนตรงกลางจนกระทั่งในที่สุดเกิดเป็นความร้อนขึ้นมาเพียงพอที่จะส่งแสงและความร้อนออกมาได้ แก๊สที่อยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์ก่อนเกิดจะอุ่น ส่วนแก๊สที่อยู่รอบนอกออกมาจะเย็น ดวงอาทิตย์ก่อนเกิดจะส่องแสงเหมือนกับดาวฤกษ์ทั้งหลาย ความร้อนของดวงอาทิตย์ทำให้แก๊สที่อยู่ภายในเกิดการหนีไปสู่ข้างนอก ดังนั้นภายในจานนี้จึงเหลืออยู่แต่พวกที่เป็นฝุ่น อนุภาคที่เป็นฝุ่นก็จะชนซึ่งกันและกัน และจะเริ่มรวมตัวกันเป็นกลุ่ม ๆ แรงโน้มถ่วงจะดึงให้อนุภาคเหล่านี้รวมตัวกันเล็กลง ๆ เรื่อย ๆ จากการกลั่นตัวนี้ทำให้เกิดดาวเคราะห์ก่อนเกิด (Proto-planets) ดาวเคราะห์ก่อนเกิดก็จะเริ่มต้นหมุนรอบตัวเอง ส่วนตรงริม ๆ จานมีความเย็นมากกว่าก็จะเป็นที่รวมตัวกันของฝุ่นและแก๊ส กระบวนการการเกิดดาวเคราะห์ก่อนเกิดก็จะเหมือนกับการเกิดดาวเคราะห์ก่อนเกิดที่อยู่ข้างใน จากการที่กระบวนการต่าง ๆ เกิดซ้ำ ๆ ซาก ๆ จะทำให้ดาวเคราะห์ก่อนเกิดแตกตัวเองออกเป็นดาวบริวาร กระบวนการที่เกิดนี้กินเวลาหลายพันล้านปี ดวงอาทิตย์ก็จะส่องแสงเหมือนกับดาวฤกษ์ทั้งหลายและดวงอาทิตย์ก็จะล้อมรอบด้วยดาวเคราะห์ทั้งหลาย ดาวเคราะห์บางดวงก็มีดาวบริวาร เนื่องจากการที่ดาวเคราะห์และดาวบริวารทั้งหลายเกิดจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน ดังนั้นทิศทางการโคจรรอบดวงอาทิตย์จึงมีทิศทางเดียวกัน และระนาบในการโคจรก็เกือบอยู่ในระนาบเดียวกัน ดาวเคราะห์ที่อยู่ภายในประกอบด้วยฝุ่น (พวกโลหะหนัก) มาก และไม่มีไฮโดรเจนกับฮีเลียม ในขณะที่ดาวเคราะห์ที่อยู่ภายนอก (ได้แก่ ดาวพฤหัส, ดาวเสาร์, ดาวยูเรนัส, ดาวเนปจูน และดาวพลูโต) อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากและมีความเย็นกว่า ดังนั้นดาวเคราะห์พวกนี้ยังคงมีแก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียมเหลืออยู่มาก