บทที่ 8
ระบบสุริยะ

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ดวงหนึ่งที่มีแสงสว่างในตัวเอง รอบ ๆ ดวงอาทิตย์บริเวณใกล้จะมีก้อนสสารขนาดเล็กกว่าและไม่มีแสงสว่างในตัวเองจำนวนหนึ่งโคจรรอบ ๆ ดวงอาทิตย์ เราเรียกว่าดาวเคราะห์ นอกจากดาวเคราะห์แล้วยังมี ดาวเคราะห์น้อย ดาวหาง และอุกกาบาต ทั้งหมดรวมกันอยู่เป็นระบบด้วยอิทธิพลของความโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์ จึงนับได้ว่าเป็นระบบของดวงอาทิตย์ เราเรียกว่าระบบสุริยะ โลกของเราก็เป็นเพียงสมาชิกดวงหนึ่งในระบบสุริยะ [ในการอธิบายการเคลื่อนที่ของวัตถุในระบบสุริยะ เราจะใช้ระบบพิกัดสุริยวิถี (Eclipstic Coordinate) ในระบบนี้วงกลมปฐมภูมิคือ เส้นสุริยวิถี และขั้วคือ ขั้วสุรียวิถีเหนือ (ขั้วที่อยู่ใกล้ขั้วท้องฟ้าเหนือที่สุด) ขั้วสุริยะวิถีใต้ ลองจิจูด (Longitude) ท้องฟ้ากำหนดให้เป็น (λ) ซึ่งเป็นมุม $0^\circ \rightarrow 360^\circ$ วัดจากจุดวสันตวิษุวัติ (Vernal Equinox) ไปตามเส้นสุริยวิถีในทางทิศตะวันออก และละติจูด (Latitude) ท้องฟ้าให้เป็น (β) ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากเส้นสุริยวิถีไปทางขั้วสุริยวิถีเหนือ (มีเครื่องหมาย+) และไปทางขั้วสุริยวิถีใต้ (มีเครื่องหมาย-) ซึ่งละติจูดท้องฟ้ามีค่าจาก 0° ถึง $\pm 90^\circ$ เช่น จุดศารทวิษุวัต (Autumnal Equinox) มีพิกัด $(\lambda, \beta) = (180^\circ, 0^\circ)$]

8.1 ดาวเคราะห์และวงโคจรของดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะทั้งหมดมี 9 ดวงด้วยกัน คือ ดาวพุธ (☿) ดาวศุกร์ (♀) โลก (⊕) ดาวอังคาร (♂) ดาวพฤหัสบดี (♃) ดาวเสาร์ (♄) ดาวยูเรนัส (♅) ดาวเนปจูน(♆) และดาวพลูโต (♇)

8.1.1 มวลและโมเมนตัมเชิงมุมของดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์ทั้งหมด 9 ดวงนี้มีมวลรวมกันเท่ากับ 447.8 เท่าของมวลของโลก ซึ่งเท่ากับ 5.796×10^{24} กิโลกรัม หรือคิดเป็นเพียง 0.0014 เท่าของมวลของดวงอาทิตย์ ดาวเคราะห์ไม่มีแสงสว่างในตัวเอง แต่ที่ปรากฏสว่างบนท้องฟ้าได้โดยสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ สัณฐานของดาวเคราะห์ทั้งหลายใกล้เคียงกับทรงกลม ซึ่งเป็นผลมาจากการหมุนรอบตัวเองมาตั้งแต่สมัยเริ่มแรกก่อกำเนิดขึ้นมา ขนาดของดาวเคราะห์เล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของดวงอาทิตย์ และระยะทางของดาวเคราะห์ห่างจากดวงอาทิตย์มากเมื่อเทียบกับขนาดของดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์ทั้งหลายรวมกัน เช่น ระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์เป็น 214 เท่าของรัศมี

ดวงอาทิตย์ หรือเป็น 23,481 เท่าของรัศมีโลก (6,371 กม.) ดังนั้นภาพรวมของระบบสุริยะจะมีองค์ประกอบสำคัญคือ ดวงอาทิตย์วางอยู่ในที่ว่างกว้างขวาง โดยมีดาวเคราะห์ทั้ง 9 ดวงโคจรอยู่ห่างรอบ ๆ เมื่อคิดมวลสารทั้งหมดจะกินเนื้อที่เพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับที่ว่างอันอ้างว้างนั้น สรุปได้ว่าองค์ประกอบใหญ่ที่สุดของระบบสุริยะก็คือที่ว่างระหว่างดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์นั่นเอง

ดวงอาทิตย์และดาวเคราะห์พร้อมทั้งบริวารของดาวเคราะห์มีการหมุนรอบตัวเอง โดยที่ดาวเคราะห์มีการเคลื่อนที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ และบริวารของดาวเคราะห์ก็มีการโคจรไปรอบดาวเคราะห์ด้วย ซึ่งการหมุนรอบตัวเองและการโคจรไปรอบ ๆ ส่วนใหญ่เป็นลักษณะการหมุนในทิศทางตามกันหมด คือ หมุนไปตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากขั้วสุริยวิถีเหนือ โมเมนตัมเชิงมุมรวมของการหมุนทั้งระบบดาวเคราะห์มีค่าเป็น 3.148×10^{50} กรัม ซม^2 วินาที$^{-2}$ แต่สำหรับโมเมนตัมเชิงมุมของการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์มีค่าเพียง 16.3×10^{48} กรัม ซม^2 วินาที$^{-2}$ จะเห็นได้ว่าโมเมนตัมเชิงมุมของดวงอาทิตย์มีเพียง 1/19.3 = 0.052 เท่าของโมเมนตัมเชิงมุมของระบบดาวเคราะห์ หรือเป็นเพียง 1/20.4 = 0.049 เท่าของระบบสุริยะ การที่โมเมนตัมเชิงมุมของระบบสุริยะส่วนใหญ่ไปอยู่ที่ระบบของดาวเคราะห์ (โดยเฉพาะไปอยู่ที่การหมุนรอบตัวเองและการโคจรรอบดวงอาทิตย์ของดาวพฤหัสบดี) มากกว่าอยู่ที่ดวงอาทิตย์ ซึ่งมีมวลมากกว่ากันมากมายนั้นนับเป็นเรื่องน่าสนเท่ห์ และจำเป็นต้องหาคำอธิบายว่า ถ้าหากว่าดวงอาทิตย์เกิดขึ้นจากการยุบตัวลงของก้อนแก๊สใหม่ โมเมนตัมเชิงมุมของมันก็ควรจะอยู่ที่ตัวดวงอาทิตย์ และทำให้มันหมุนอย่างรวดเร็วมาก แต่ปรากฏว่าดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองช้า ๆ นั่นหมายความว่าในการก่อตัวขึ้นของระบบสุริยะจะต้องมีกลไกทางธรรมชาติที่ถ่ายทอดโมเมนตัมเชิงมุมจากดวงอาทิตย์ไปสู่ดาวเคราะห์ซึ่งโคจรอยู่รอบ ๆ โดยเฉพาะไปเป็นโมเมนตัมเชิงมุมในการโคจรของดาวพฤหัสบดี ซึ่งมีค่ามากถึง 2×10^{50} กรัม ซม^2 วินาที$^{-2}$ หรือราว 60 เปอร์เซ็นต์ของโมเมนตัมเชิงมุมของทั้งระบบสุริยะ

8.1.2 ตำแหน่งต่าง ๆ ของดาวเคราะห์ในวงโคจร

การกำหนดตำแหน่งต่าง ๆ ของดาวเคราะห์ในวงโคจรของระบบสุริยะ โดยให้ดาวเคราะห์ทุกดวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เกือบเป็นวงกลมในทิศทางเดียวกัน คือโคจรจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออก และมีระนาบของวงโคจรเกือบจะอยู่ในระนาบสุริยวิถี ซึ่งเมื่อเรียงดาวเคราะห์ตามลำดับระยะทางจากดวงอาทิตย์จะเป็นดังนี้ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก ดาวอังคาร ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน และดาวพลูโต มีการจำแนกประเภทและเรียกชื่อดาวเคราะห์เป็นระบบต่อไปนี้

โดยกำหนดเอาวงโคจรของโลกเป็นหลัก ดาวเคราะห์ที่มีวงโคจรอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าโลก เรียกว่า ดาวเคราะห์วงใน ได้แก่ ดาวพุธ และดาวศุกร์ ส่วนดาวเคราะห์ที่มีวงโคจรอยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มากกว่าโลกเรียกว่า ดาวเคราะห์วงนอกซึ่งได้แก่ ดาวอังคาร ดาวเคราะห์น้อย ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน และดาวพลูโต

นอกจากนี้ยังมีการเรียกดาวเคราะห์ที่มีลักษณะบางประการ เช่น ขนาดคล้ายคลึงกับโลกว่าเป็นดาวเคราะห์จำพวกโลก (Terrestrial Planets) ได้แก่ ดาวพุธ ดาวศุกร์ ดาวอังคาร โลก และดาวพลูโต และเรียกดาวเคราะห์พวกที่มีขนาดใหญ่กว่าว่าเป็น ดาวเคราะห์ยักษ์ (Giant Planets) ได้แก่ ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส และดาวเนปจูน

ดาวเคราะห์จำพวกโลก เป็นดาวเคราะห์ขนาดเล็กประกอบด้วยของแข็งเป็นส่วนใหญ่ มีมวลไม่มากกว่ามวลของโลก ส่วนดาวเคราะห์ยักษ์มีขนาดใหญ่ประกอบด้วยแก๊สเหมือนดาวพฤหัสบดี มีมวลตั้งแต่ 15 เท่าถึง 318 เท่าของมวลของโลก ความหนาแน่นเฉลี่ย ($\bar{\rho}$) ของดาวเคราะห์กำหนดด้วยมวล (M) หารด้วยปริมาตร ($4\pi R^3/3$) ดังนั้น

$$\bar{\rho} = \frac{3M}{4\pi R^3}$$

ดาวเคราะห์ขนาดเล็กจำพวกโลกมีความหนาแน่นสูง คืออยู่ในช่วง 1 ถึง 5.5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งประกอบด้วยธาตุหนัก เช่น เหล็ก ซิลิกอน และแมกเนเซียม ส่วนดาวเคราะห์ยักษ์มีความหนาแน่นต่ำ ซึ่งประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียมเป็นส่วนใหญ่ แสดงว่ามันมีองค์ประกอบคล้ายกับดวงอาทิตย์

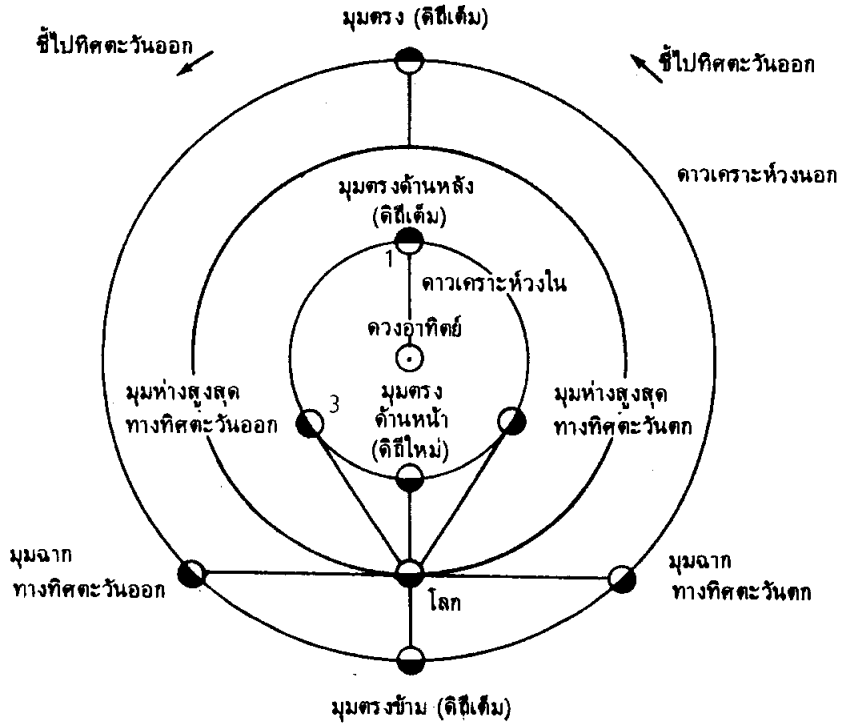
ตำแหน่งของดาวเคราะห์ในวงโคจรมีบางตำแหน่งซึ่งมีลักษณะพิเศษเมื่อมองจากโลก และได้เรียกชื่อตำแหน่งพิเศษเหล่านี้ ดังนี้

มุมห่าง (Elongation) ของดาวเคราะห์ใด ๆ ในขณะเวลาหนึ่งเป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่ลากจากโลกไปยังดาวเคราะห์ในขณะนั้นกับเส้นตรงที่ลากจากดวงอาทิตย์มายังโลก หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งก็คือ เป็นระยะทางเชิงมุม (Angular Distrance) ของดาวเคราะห์ห่างจากดวงอาทิตย์เมื่อมองจากโลก เช่น เมื่อดาวเคราะห์อยู่ทางทิศตะวันออกหรือทิศตะวันตกของดวงอาทิตย์ เราจะบอกค่ามุมห่างของดาวเคราะห์ดวงนั้นเป็นมุมห่างตะวันออกหรือมุมห่างตะวันตก ค่ามุมห่างเท่ากับ 0° เรียกว่า มุมตรง (Conjunction) และเมื่อดาวเคราะห์อยู่ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์ เราเรียกว่ามันอยู่ในตำแหน่ง มุมตรงด้านหน้า และเมื่อดาวเคราะห์อยู่ด้านหลังของดวงอาทิตย์ เราเรียกว่ามันอยู่ในตำแหน่งมุมตรงด้านหลัง (ดูรูป 2.1 ประกอบ) มุมห่าง 180° เรียกว่า มุมตรงข้าม (Opposition) มุมห่าง 90° เรียกว่า มุมฉาก (Quadrature) มุมห่างมากที่สุดของดาวเคราะห์วงในเรียกว่า มุมห่างสูงสุด ตำแหน่งมุมตรงด้านในและ

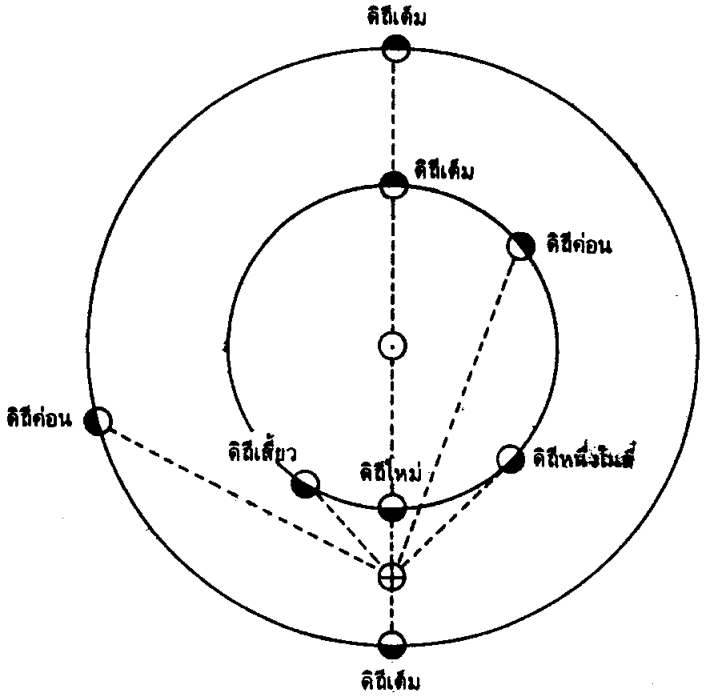
มุมห่างสูงสุดจะเกิดขึ้นกับดาวเคราะห์วงในเท่านั้น ตัวอย่างเช่นมุมห่างสูงสุดของดาวพุธมีค่าเท่ากับ 28° และมุมห่างสูงสุดของดาวศุกร์เท่ากับ 48° สำหรับตำแหน่งมุมตรงข้าม และมุมฉากจะเกิดขึ้นกับดาวเคราะห์วงนอกเท่านั้น แต่เราอาจจะอนุโลมให้ใช้คำว่ามุมห่างสูงสุดใช้กับดาวเคราะห์วงนอกได้ โดยถือว่ามันมีค่ามุมห่างสูงสุดเป็น 180° (มุมตรงกันข้าม) สำหรับดาวจันทร์ซึ่งเป็นดาวบริวารของโลกและมีการเคลื่อนที่โคจรรอบโลก สามารถอยู่ได้ทั้งตำแหน่งมุมตรงด้านหน้า มุมฉาก และมุมตรงข้าม

ดาวเคราะห์ต่าง ๆ ในวงโคจรจะมีการเคลื่อนที่พร้อมทั้งดวงอาทิตย์ เมื่อเราสังเกตจากโลก ดาวเคราะห์วงในจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออก ออกจากตำแหน่งมุมตรงด้านหลัง (หมายเลข 1) ซึ่งมีดิถีเต็ม โดยเราจะมองเห็นดาวเคราะห์สว่างเต็มดวงแต่ดวงเล็ก ต่อจากนั้นมันจะเคลื่อนที่สูงขึ้นในท้องฟ้าทิศตะวันตกในเวลาดวงอาทิตย์ตก เรียกว่าดาวเคราะห์มีมุมห่างทางทิศตะวันออก และเราจะมองเห็นความสว่างของดาวเคราะห์เริ่มแหว่งเข้าไปเล็กน้อยในขณะเดียวกันก็มีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า ดิถีค่อนจนถึงตำแหน่งมุมห่างสูงสุดทางทิศตะวันออก (หมายเลข 3) ดาวเคราะห์จะขึ้นสูงที่สุดบนท้องฟ้า (เมื่อเวลาดวงอาทิตย์ตก) เราจะมองเห็นดาวเคราะห์สว่างเพียงครึ่งซีก เรียกว่า ดิถีหนึ่งในสี่ ต่อจากนั้นมันจะเคลื่อนที่ต่ำลงสู่ขอบฟ้าทิศตะวันตก (เมื่อเวลาดวงอาทิตย์ตก) เราจะมองเห็นส่วนสว่างค่อย ๆ เล็กลงเป็นเสี้ยว แต่ขนาดของดาวทั้งดวงปรากฏเพิ่มขึ้น เพราะว่าเข้าใกล้โลกมากขึ้น เรียกว่าดิถีเสี้ยว จนกระทั่งมาถึงตำแหน่งมุมตรงด้านหน้าดาวเคราะห์จะหันด้านมืดเข้าหาโลกทั้งดวงจึงมองไม่เห็น เรียกว่าดิถีใหม่ หลังจากนั้นดาวเคราะห์จะเคลื่อนที่ผ่านหน้าดวงอาทิตย์ต่อไปทางทิศตะวันตก เรียกตำแหน่งเป็นมุมห่างทางทิศตะวันตก ขณะเดียวกันดาวเคราะห์ก็จะขึ้นในเวลาเช้ามืดและจะมีดิถีเสี้ยวอีกครั้ง จนกระทั่งถึงตำแหน่งมุมห่างสูงสุดทางทิศตะวันตก ดาวเคราะห์จะปรากฏเป็นดิถีหนึ่งในสี่อีกครั้งและโคจรกลับทิศมาถึงตำแหน่งมุมตรงด้านหลังอีกครั้ง ซึ่งดาวเคราะห์ค่อย ๆ ปรากฏเล็กลง ในขณะเดียวกันเสี้ยวสว่างก็ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อยจนกลับเต็มดวงอีกครั้งหนึ่งที่ตำแหน่งมุมตรงด้านหลังพอดี

สำหรับดาวเคราะห์วงนอกจะเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกเกือบตลอดเวลาเมื่อมองจากขั้วสุริยวิถีเหนือ ดาวเคราะห์จำพวกนี้จะใช้เวลาโคจรครบรอบดวงอาทิตย์มากกว่าหนึ่งปี ซึ่งเป็นไปตามกฎของเคเปลอร์ แต่เมื่อเรามองจากโลกมันจะปรากฏคล้ายกับว่าเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา คือปรากฏบนท้องฟ้าเคลื่อนไปทางทิศตะวันตก และมีมุมห่างได้ตั้งแต่ 0° ถึง 180° เราเริ่มต้นสมมติว่าดาวเคราะห์อยู่ที่ตำแหน่งมุมห่าง 0° เรียกว่า มุมตรง ซึ่งดาวเคราะห์อยู่ไกลจากโลกที่สุดและจะหันด้านถูกแสงสว่างเข้าหาโลก เรียกว่า ดิถีเต็มแต่เราจะมองไม่เห็น เพราะว่า



รูป 8.1 แสดงตำแหน่งต่าง ๆ ของดาวเคราะห์ในวงโคจรของทั้งดาวเคราะห์วงในและดาวเคราะห์วงนอก พร้อมทั้งดิถีของดาวเคราะห์ที่มองเห็นส่องสว่างจากโลก



รูป 8.2 แสดงดิถีของดาวเคราะห์วงในและวงนอก โดยดาวเคราะห์วงนอกจะแสดงดิถีเต็มดวงหรือเกือบเต็มดวงเสมอ ส่วนดาวเคราะห์วงในจะแสดงดิถีครบรอบ

มันอยู่ใกล้กับดวงอาทิตย์ (เราสังเกตการณ์ที่ผิวโลก) และขึ้นตกพร้อมกับดวงอาทิตย์ ต่อมาดาวเคราะห์ได้เคลื่อนที่ปรากฏไปทางทิศตะวันตก เราจะบอกตำแหน่งของดาวเคราะห์ด้วยมุมห่างทางทิศตะวันตก และเรามองเห็นความสว่างของดาวเคราะห์เริ่มแหว่งเข้าไปเล็กน้อย เรียกว่าดิถีค่อน และต่อมาเมื่อปรากฏเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่มุมห่าง 90° เราเรียกตำแหน่งนี้ว่า มุมฉากทางทิศตะวันตก ส่วนสว่างจะปรากฏแหว่งเล็กน้อยแต่ยังคงเป็นดิถีค่อน ตอนนี้เราจะมองเห็นมันปรากฏอยู่บนเมริเดียท้องฟ้า (Meridian) ในขณะดวงอาทิตย์ขึ้น ต่อจากนั้นดาวเคราะห์จะเคลื่อนที่มาถึงตำแหน่งที่เรียกว่า มุมตรงข้าม โดยมีมุมห่างเป็น 180° ดาวเคราะห์จะเข้าใกล้โลกมากที่สุดและหันด้านสว่างเข้าหาโลกเต็มที่เป็นดิถีเต็มอีกครั้ง หลังจากนั้นดาวเคราะห์จะไปปรากฏที่มุมห่าง 90° ทางทิศตะวันออก เรียกตำแหน่งนี้ว่ามุมฉากทางทิศตะวันออก และส่วนสว่างปรากฏแหว่งเล็กน้อย จะเห็นได้ว่าส่วนสว่างหรือดิถีของดาวเคราะห์วงนอกจะปรากฏเต็ม หรือเกือบเต็มอยู่เสมอไม่เคยปรากฏแหว่งมากเช่นดาวเคราะห์วงในเลย

8.1.3 คาบโลกาคติและคาบดาราคติ

คาบโลกาคติ (Synodic Period) S กำหนดเป็นช่วงเวลาที่ดาวเคราะห์วงในใช้ในการเคลื่อนที่จากตำแหน่งมุมตรงด้านหน้า (หรือด้านหลัง) ไปและกลับมาอยู่ในตำแหน่งมุมตรงด้านหน้า (หรือด้านหลัง) อีกครั้งหนึ่ง หรือเป็นช่วงเวลาที่ดาวเคราะห์วงนอกใช้ในการคลื่อนที่จากตำแหน่งมุมตรงข้ามไปและกลับมาที่ตำแหน่งมุมตรงข้ามอีกครั้งหนึ่ง สำหรับคาบดาราคติ (Sidereal Period) P กำหนดเป็นช่วงเวลาที่ดาวเคราะห์ใช้ในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ โดยเทียบกับดาว เช่น กำหนดให้คาบดาราคติของโลกเป็น E ซึ่งเป็นเวลาเท่ากับ 365.26 วัน หรือ 1 ปีดาราคตินั่นเอง ดังนั้นโลกจะโคจรด้วยอัตราเร็วในหนึ่งวันเท่ากับ 360/E องศา ในขณะที่ดาวเคราะห์มีอัตราเร็วเป็น 360/P องศาต่อวัน ในการคำนวณสำหรับดาวเคราะห์วงนอก ดูรูป 2.2 โลกได้โคจรรอบดวงอาทิตย์ไปมากกว่าหนึ่งรอบแล้วในขณะที่ดาวเคราะห์วงนอกโคจรไปได้ไม่ถึงรอบ โดยที่ตำแหน่ง 1 ของดาวเคราะห์เป็นตำแหน่งมุมตรงข้าม เมื่อโลกโคจรไปรอบดวงอาทิตย์หนึ่งรอบที่ตำแหน่ง 2 ดาวเคราะห์ได้โคจรไปที่ตำแหน่ง 2 ด้วย และต้องใช้เวลาอีก (S−E) วัน หรือโคจรเป็นมุมอีก S (360/P) องศา ดาวเคราะห์จึงกลับมาอยู่ในตำแหน่งมุมตรงข้ามอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้น ในช่วงเวลา S ดาวเคราะห์เคลื่อนที่ไปได้ $\frac{(360)\ S}{P}$ องศา และโลกโคจรเคลื่อนที่ไปได้ $\frac{(360)\ S}{E}$ องศา ซึ่งมุมที่โลกเคลื่อนที่ไปนี้จะมากกว่ามุมที่ดาวเคราะห์เคลื่อนที่ไปได้อยู่ 360 องศา นั่นคือ

$$\frac{(360)\ S}{E} = \frac{(360)\ S}{P} + 360$$

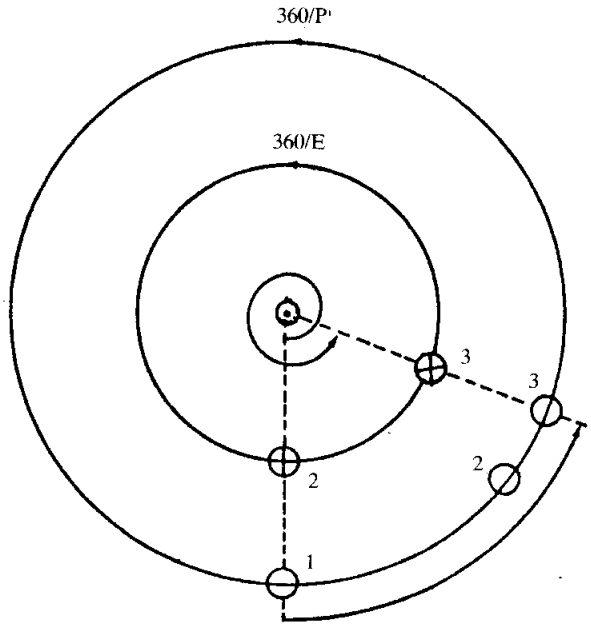
$$\frac{S}{E} = \frac{S}{P} + 1$$

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

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{E} - \frac{1}{P} \quad \text{(สำหรับดาวเคราะห์วงนอก)} \tag{8.1}$$

สำหรับการโคจรของดาวเคราะห์วงในเราใช้หลักการเดียวกัน แต่ว่าดาวเคราะห์วงในจะโคจรไปได้มากกว่าโลก 1 รอบในเวลาระหว่างการเกิดมุมตรงข้ามด้านหน้าสองครั้ง ดังนั้นเราเพียงแต่สลับที่ของ E และ P ในสมการ (8.1) เท่านั้น และได้

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{P} - \frac{1}{E} \quad \text{(สำหรับดาวเคราะห์วงใน)} \tag{8.2}$$



รูปที่ 8.3 แสดงแผนภาพของคาบโลกาคติ และคาบดาราคติ ในขณะที่โลกและดาวเคราะห์อยู่ในตำแหน่งมุมตรงข้ามที่หมายเลข 1 หลังจากนั้นโลกได้โคจรไปครบหนึ่งรอบกับอีก (S−E) จึงจะเห็นดาวเคราะห์อยู่ที่ตำแหน่งมุมตรงข้ามอีกครั้งหนึ่ง (ที่ตำแหน่ง 3) ในช่วงเวลาดังกล่าวดาวเคราะห์จะเคลื่อนที่จากตำแหน่ง 1 ถึง 3 สำหรับดาวเคราะห์วงในเราเพียงแต่สลับวงโคจรของโลกและดาวเคราะห์วงนอกเท่านั้น

ตัวอย่างเช่น ดาวอังคารมีคาบโลกาคติ S = 779.94 วัน จะมีคาบดาราคติ P ได้ดังนี้ จากสมการ (8.1)

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

$$= \frac{1}{365.26} - \frac{1}{779.94}$$

$$P = \frac{365.26 \times 779.94}{779.94 - 365.26} \quad \text{วัน}$$

ดาวอังคารมีดาราคติ = 686.98 วัน

สำหรับดาวพุธมีคาบโลกาคติ S = 115.88 วัน เราสามารถหาคาบดาราคติ P ของดาวพุธได้จากสมการ (8.2) ดังนี้

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

$$= \frac{1}{365.26} + \frac{1}{115.88}$$

$$P = \frac{365.26 \times 115.88}{365.26 + 115.88} \quad \text{วัน}$$

ดาวพุธมีคาบดาราคติ = 87.97 วัน

8.1.4 การโคจรของดาวเคราะห์

ในปี ค.ศ. 1760 ซึ่งก่อนที่จะค้นพบดาวเคราะห์ยูเรนัส เนปจูน และพลูโต นักดาราศาสตร์ชื่อ **ติเชียส (Titus)** แห่งเมืองวิตเทนเบิร์ก (Wittenberg) ได้ค้นพบกฎที่ใช้บอกระยะทางเฉลี่ยระหว่างดาวเคราะห์ต่าง ๆ กับดวงอาทิตย์ ต่อมาในปี ค.ศ. 1772 **โจฮันน์ โบด (Johann Bode)** ได้ตีพิมพ์เผยแพร่กฎนี้จนเป็นที่รู้จักกันทั่วไปจึงเรียกชื่อกฎนี้ว่ากฎของติเชียส-โบด กฎนี้ได้แสดงความสัมพันธ์ของระยะทางเฉลี่ย a จากดวงอาทิตย์ของดาวเคราะห์ n ดังนี้

$$a = 0.4 + 0.3 \times 2^n \qquad \text{หน่วยดาราศาสตร์}$$

เมื่อ $n = -\infty, 0, 1, 2, 3, \ldots$ ตามลำดับนับตั้งแต่ดาวพุธออกมา คือ

เมื่อ $n = -\infty$ สำหรับดาวพุธ
$n = 0$ สำหรับดาวศุกร์
$n = 1$ สำหรับโลก
$n = 2$ สำหรับดาวอังคาร
$n = 3$ สำหรับ ?
$n = 4$ สำหรับดาวพฤหัสบดี
$n = 5$ สำหรับดาวเสาร์
$n = 6$ สำหรับดาวยูเรนัส

n = 7 สำหรับดาวเนปจูน

n = 8 สำหรับดาวพลูโต

จากกฎของติเชียส-โบด คำนวณได้ระยะทางเฉลี่ยของดาวเคราะห์ต่าง ๆ ห่างจากดวงอาทิตย์เรียงตามลำดับดังต่อไปนี้ คือ

n	ดาวเคราะห์	ระยะทาง (หน่วยดาราศาสตร์) $a = 0.4 + 0.3 \times 2^n$	ระยะทางจริง (หน่วยดาราศาสตร์)
$-\infty$	ดาวพุธ	0.4	0.39
0	ดาวศุกร์	0.7	0.72
1	โลก	1.0	1.00
2	ดาวอังคาร	1.6	1.52
3	-	2.8	--
4	ดาวพฤหัสบดี	5.2	5.20
5	ดาวเสาร์	10.0	9.54
6	ดาวยูเรนัส	19.6	19.20
7	ดาวเนปจูน	38.8	30.10
8	ดาวพลูโต	77.2	39.50

จะเห็นได้ว่ากฎนี้ใช้ได้ใกล้เคียงกับระยะทางของดาวเคราะห์ 7 ดวงแรก สำหรับดาวเนปจูนนั้นตามกฎนี้มีระยะห่างเท่ากับ 38.8 หน่วยดาราศาสตร์ซึ่งมากกว่าระยะเฉลี่ยจริงไป 7.7 หน่วยดาราศาสตร์ นับว่าผิดพลาดไปมากและดาวพลูโตก็ผิดพลาดไปมากเช่นเดียวกัน ตามทฤษฎีนี้มีที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือ ที่ n = 3 ระยะทางเป็น 2.8 หน่วยดาราศาสตร์ ซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างดาวอังคารกับดาวพฤหัสบดีน่าจะมีดาวเคราะห์อีกดวงหนึ่งอยู่ แต่ก็ยังไม่มีผู้ใดเคยพบเห็นในสมัยนั้น จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1801 จีเซปเป ปีแอซซี (Giveseppe Piazzi) ได้ค้นพบดาวเคราะห์น้อย (Asteroid) ดวงแรกและให้ชื่อว่า ซีเรส (Ceres) ซึ่งมีระยะทางเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 2.8 หน่วยดาราศาสตร์พอดี และต่อมาก็มีการค้นพบดาวเคราะห์น้อยดวงอื่น ๆ อีกจำนวนมาก ซึ่งมีระยะทางห่างจากดวงอาทิตย์แตกต่างกันไปแต่เฉลี่ยแล้วมีค่าประมาณ 2.8 หน่วยดาราศาสตร์ ดังนั้นจึงนับว่ากลุ่มดาวเคราะห์น้อยเหล่านี้เข้ากฎเกณฑ์ของติเชียส-โบด เป็นไปอย่างดี

วงโคจรของดาวเคราะห์มีสมบัติซึ่งสามารถสรุปลักษณะสำคัญได้ 3 ข้อคือ

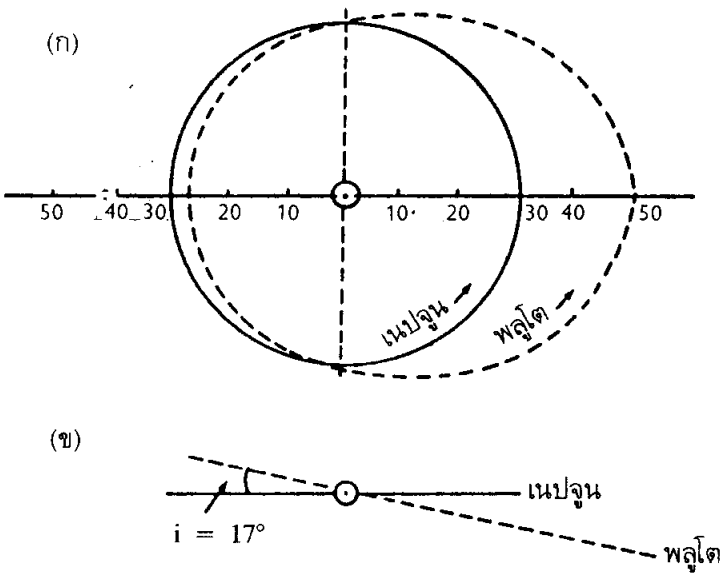
(1) **เมื่อมองจากขั้วสุริยวิถีเหนือ** จะมองเห็นดาวเคราะห์ทุกดวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ในทิศทวนเข็มนาฬิกา เราเรียกการโคจรและการหมุนในทิศนี้ว่า การโคจรในทิศตรงหรือการ

หมุนไปข้างหน้า (Prograde) ส่วนการโคจรหรือการหมุนตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองจากขั้วสุริยวิถีเหนือ เรียกว่า การโคจรหรือการหมุนกลับทิศ

(2) ระนาบของวงโคจรของดาวเคราะห์ทุกดวงใกล้เคียงกับระนาบสุริยวิถี ดังนั้น เราจะพบดาวเคราะห์มีทางเดินปรากฏในท้องฟ้าแถบจักรราศ (Zodiac) กว้าง 16° ยกเว้นดาวพลูโต ซึ่งอาจจะมีทางเดินบางส่วนอยู่นอกแถบจักรราศี เนื่องจากวงโคจรของมันทำมุม 17° กับระนาบสุริยวิถี

(3) ความเยื้องศูนย์กลางของวงโคจรของดาวเคราะห์ทุกดวงมีค่าน้อยกว่า 0.1 ยกเว้นดาวพุธ และดาวพลูโต ดาวพลูโตมีวงโคจรเยื้องศูนย์กลางมาก (e = 0.249) ลักษณะพิเศษของวงโคจรของดาวพลูโตคือ เมื่อมันเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดที่เพอร์ฮีเลียนอยู่ห่างเพียง 29.68 หน่วยดาราศาสตร์ ซึ่งน้อยกว่าระยะทางเฉลี่ยจากดาวเนปจูนถึงดวงอาทิตย์ (30.1 AU) แสดงว่าดาวพลูโตอาจจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าดาวเนปจูนได้ในบางขณะ ปรากฏการณ์นี้นักดาราศาสตร์บางคนสันนิษฐานว่าดาวพลูโตอาจจะเคยเป็นดาวบริวารของดาวเนปจูนมาก่อน แล้วหลุดหนีออกไปโคจรตามลำพัง ดังนั้นตามข้อสมมติฐานนี้ ดาวพลูโตจึงไม่ใช่ดาวเคราะห์และไม่เป็นไปตามกฎของติเชียสโบด

อัตราการหมุนรอบตัวเองของดาวเคราะห์ยักษ์ (ดาวพฤหัส ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัสและดาวเนปจูน) ซึ่งประกอบด้วยแก๊สเป็นส่วนมากจะหมุนเร็วกว่าดาวเคราะห์จำพวกโลกซึ่งประกอบด้วยของแข็งเป็นส่วนมาก เป็นที่เชื่อกันว่าเมื่อตอนกำเนิดระบบสุริยะใหม่ ๆ ดาวเคราะห์ทุกดวงใช้เวลาหมุนรอบตัวเองประมาณ 10 ชั่วโมงเท่ากันหมด ต่อมาดาวเคาะห์ที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าได้หมุนช้าลง เนื่องจากได้รับแรงไทด์จากดวงอาทิตย์ และมีการสูญเสียบรรยากาศไปมาก สำหรับดาวพลูโตที่มีการหมุนช้านั้นอาจเป็นเพราะว่ามันเคยเป็นบริวารของดาวเนปจูนที่หนีหลุดออกไปดังกล่าวมาแล้ว เหตุการณ์นี้จึงอาจใช้อธิบายได้ว่าทำไมดาว-เนปจูนจึงหมุนช้ากว่าดาวเคราะห์ขนาดใหญ่ดวงอื่น ๆ



รูป 8.4 แสดงวงโคจรของดาวพลูโต (ก) วงโคจรของดาวพลูโตเป็นวงรีอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 29.7 ถึง 49.4 AU เส้นประตรงก็คือเส้นโนด หรือเส้นที่เป็นรอยตัดระหว่างระนาบวงโคจรของดาวพลูโตกับระนาบสุริยวิถี (ข) แสดงระนาบวงโคจร ของดาวเนปจูนทำมุมประมาณ 2° และระนาบของดาวพลูโตทำมุม 17° กับระนาบสุริยวิถี

ความแป้น (Oblateness) ϵ ของดาวเคราะห์กำหนดให้มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$\epsilon = \frac{r_e - r_p}{r_e} \tag{8.3}$$

เมื่อ r_e คือรัศมีที่เส้นศูนย์สูตรของดาวเคราะห์ และ r_p คือรัศมีที่ขั้ว ถ้าดาวเคราะห์หมุนรอบตัวเองจะทำให้เกิดความแป้นขึ้น และเมื่ออัตราการหมุนรอบตัวเองเพิ่มขึ้นค่า ϵ จะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งก็เป็นจริงดูภาคผนวก

ระนาบศูนย์สูตร (หรือแกนหมุน) ของดาวเคราะห์ ทำมุมต่าง ๆ กันกับระนาบ (หรือแกน) ของวงโคจร เราเรียกว่ามุมเอียง เช่น แกนหมุนของดาวพุธ และดาวพฤหัสบดีเกือบขนานกับแกนของวงโคจร แต่แกนหมุนของโลก ดาวอังคาร ดาวเสาร์ และดาวเนปจูน จะทำมุมกับแกนของวงโคจรประมาณ 25° มุมเอียงของดาวเคราะห์ดังกล่าวเหล่านี้มีค่าน้อยกว่า 90° แสดงว่ามันหมุนจากทิศตะวันตกไปทิศตะวันออก หรือเป็นการหมุนตรง (คือหมุนไปในทิศเดียวกับการโคจรของดาวเคราะห์ทุกดวง) แต่ดาวศุกร์และดาวยูเรนัสมีค่ามุมเอียงมากกว่า 90° แสดงว่ามันหมุนจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกหรือเป็นการหมุนกลับแกนหมุนของดาวยูเรนัสเกือบจะขนานกับวงโคจร

8.1.5 พื้นผิวของดาวเคราะห์

ข้อมูลสำคัญที่สุดที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับพื้นผิวของดาวเคราะห์ก็คือ สี อัลบีโด (Albedo) ความสว่าง สภาพโปลาไรซ์ และอุณหภูมิ

สีของดาวเคราะห์จะแสดงองค์ประกอบพื้นผิว เช่น มหาสมุทร และพื้นดินของโลก เมื่อมองจากยานอวกาศที่โคจรรอบโลกจะเห็นเป็นสีฟ้าแทรกด้วยสีเขียว น้ำตาล และส้ม ส่วนเมฆและหิมะมีสีขาว หินบาซอลท์บนดวงจันทร์มีสีเทาเข้มแทรกด้วยสีน้ำตาลอ่อน และทะเลทรายบนดาวอังคารมีสีน้ำตาลส้ม เป็นต้น

ปริมาณการวัดอย่างหนึ่งซึ่งใช้ในการพิจารณาลักษณะธรรมชาติของพื้นผิววัตถุใด ๆ ในอวกาศ ก็คือ อัลบีโด ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนออกมาจากพื้นผิวของวัตถุต่อรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตกกระทบพื้นผิวนั้น ถ้าหากว่ารังสีที่กล่าวถึงเป็นแสงของดวงอาทิตย์ทั้งหมดเราเรียกปริมาณนี้ว่า บอนด์อัลบีโด (Bond Albedo) กำหนดสัญลักษณ์ด้วย A ดาวเคราะห์ที่มีบรรยากาศเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย จะมีค่าบอนด์อัลบีโดต่ำมาก เพราะว่าหินบนพื้นผิวจะสะท้อนแสงได้ไม่ดี เช่น ดาวพุธ ดาวอังคาร ดาวพลูโต โดยที่ดาวพุธมีค่า A เท่ากับ 0.056 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าของดวงจันทร์ของโลกคือ 0.067 ดาวอังคารมีค่า A เท่ากับ 0.16 สำหรับเมฆจะสะท้อนแสงได้ดีจึงทำให้ดาวศุกร์ปรากฏสว่างมาก และมีค่า A สูงที่สุดคือ 0.76 ดาวเคราะห์ขนาดใหญ่ที่มีค่า A สูงเช่นกัน คือ ดาวพฤหัสบดีมีค่า A เท่ากับ 0.51 ดาวเสาร์มีค่า A เท่ากับ 0.50 ดาวยูเรนัสมีค่า A เท่ากับ 0.66 และดาวเนปจูนมีค่า A เท่ากับ 0.62 สำหรับโลกมีค่า A ไม่คงที่ขึ้นกับปริมาณของหิมะและเมฆในฤดูต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลง

ความสว่างของดาวเคราะห์ขึ้นกับดิถีของมัน เมื่อซีกสว่างของดาวเคราะห์หันมายังโลกทั้งซีก (ที่ตำแหน่งมุมตรงข้ามของดาวเคราะห์วงนอกและตำแหน่งมุมตรงด้านหลังของดาวเคราะห์ทุกดวง) กำหนดให้ดิถีเป็น 0° และเมื่อซีกมืดของดาวเคราะห์หันมายังโลกทั้งซีก (ที่ตำแหน่งมุมตรงด้านหน้าของดาวเคราะห์วงใน) เรากำหนดให้ดิถีเป็น 180° สำหรับดาวเคราะห์วงในจะมีค่าดิถีเป็นไปได้ทุกค่า ส่วนดาวเคราะห์วงนอกจะมีค่าดิถีจำกัดบางค่า เช่น ดาวอังคารมีค่าดิถีได้ตั้งแต่ 0° ถึง 47°

แสงสว่างเช่นแสงอาทิตย์ที่ไม่โปลาไรซ์ (Polarized) หลังจากที่มีการสะท้อนการกระเจิงหรือถูกดูดกลืนจากวัตถุหรือตัวกลางจะมีการโปลาไรซ์บางส่วน เนื่องจากสภาพโปลาไรซ์ขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวกลาง มุมตกกระทบ มุมสะท้อน และมุมหักเห ดังนั้นเราอาจจะทราบสมบัติของพื้นผิวดาวเคราะห์ได้โดยสังเกตการณ์สภาพโปลาไรซ์ของแสงที่มาจากดาวเคราะห์ว่าขึ้นกับดิถีอย่างไร การสังเกตสภาพโปลาไรซ์สามารถทำได้โดย การวัดความเข้มของแสง I ที่เคลื่อนผ่านแผ่นโปลารอยด์ แสงที่ผ่านแผ่นโปลารอยด์จะมีความเข้มสูงสุด ($I_{\parallel}$) เมื่อหมุน

แผ่นโปลารอยด์ไปที่ตำแหน่งหนึ่ง และจะมีความเข้มต่ำสุดเมื่อหมุนแผ่นโปลารอยด์นี้ไปอีก 90° ($I_{\perp}$) เราสามารถกำหนดให้สภาพโปลาไรซ์ P มีความสัมพันธ์กับความเข้มแสงที่ผ่านแผ่นโปลารอยด์ดังนี้

$$P = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}} \qquad (8.4)$$

ถ้าแสงไม่มีสภาพโปลาไรซ์เลย เราได้

$$I_{\parallel} = I_{\perp}$$

และ $$P = 0$$

แต่ถ้าแสงมีสภาพโปลาไรซ์เชิงเส้น เราได้ว่า

$$I_{\perp} = 0$$

และ $$P = 1$$

ตัวอย่างเช่น ดาวพุธมีความสัมพันธ์ระหว่างสภาพโปลาไรซ์กับดิถีคล้ายคลึงกับดวงจันทร์ แสดงว่าดาวพุธมีพื้นผิวหยาบคือมีหลุมบ่อมากและเป็นลักษณะทรายหรือขี้เถ้า คล้ายกับดวงจันทร์ด้วย สภาพโปลาไรซ์ของดาวศุกร์และดาวพฤหัสบดี แสดงถึงบรรยากาศชั้นบาง ๆ ผสมกันหรืออยู่เหนือบรรยากาศชั้นล่างที่เป็นเมฆหนาทึบ

อุณหภูมิพื้นผิว ดาวเคราะห์เป็นเทห์วัตถุที่ไม่มีแสงสว่างในตัวเอง ดังนั้นอุณหภูมิพื้นผิวของดาวเคราะห์จึงได้จากแสงสว่างของดวงอาทิตย์ที่ส่องไปกระทบ ในการหาอุณหภูมิเราจะใช้สมการของชเตฟาน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์พลังงาน F กับอุณหภูมิ T ของวัตถุดำ ดังนี้คือ

$$F = \sigma T^4 \qquad (8.5)$$

σ คือค่าคงที่ชเตฟาน-โบลต์ซมันน์ มีค่าเท่ากับ 5.67×10^{-5} เอิร์ก/ซม^2/วินาที/เคลวิน^4 ดวงอาทิตย์ส่งพลังงานออกมาในอัตราเท่ากับ $L_{\odot}$ (สภาพส่องสว่างของดวงอาทิตย์)

$$\begin{aligned} L_{\odot} &= 4\pi R_{\odot}^2 F_{\odot} \\ &= 4\pi R_{\odot}^2 \sigma\, T_{\odot}^4 \\ &= 3.8 \times 10^{33} \quad \text{เอิร์ก/วินาที} \end{aligned}$$

สภาพส่องสว่างนี้เมื่อเคลื่อนที่ผ่านทรงกลมที่มีพื้นที่ผิวเท่ากับ $4\pi r_p^2$ โดยที่ r_p คือ ระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์ ดังนั้น ฟลักซ์พลังงานที่ระยะทาง r_p จะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} F_p &= \frac{4\pi R_{\odot}^2 F_{\odot}}{4\pi r_p^2} \\ &= \left(\frac{R_{\odot}}{r_p}\right)^2 F_{\odot} \end{aligned} \qquad (8.6)$$

เรากำหนดให้อุณหภูมิที่จุดใต้ดวงอาทิตย์ T_{ss} (Subsolar Temperature) คืออุณหภูมิที่ตำแหน่งบนพื้นผิวของดาวเคราะห์ซึ่งเห็นดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะพอดีให้เป็นอุณหภูมิของแผ่นวัตถุที่วางตั้งฉากกับทิศทางของแสงอาทิตย์ตกกระทบ และแผ่นวัตถุนี้ดูดกลืนแสงอาทิตย์ไว้ได้หมด (อัลบีโด $A = 0$) และแผ่รังสีกลับออกมาในอัตราเท่ากับปริมาณที่ได้ดูดกลืนไว้นั้น ดังนั้น

ฟลักซ์ที่แผ่ออกมา = ฟลักซ์ที่ถูกดูดกลืน

$$\sigma T_{ss}^4 = F_p$$

$$\sigma T_{ss}^4 = \left(\frac{R_\odot}{r_p}\right)^2 F_\odot$$

$$= \left(\frac{R_\odot}{r_p}\right)^2 \sigma T_\odot^4$$

$$T_{ss} = \left(\frac{R_\odot}{r_p}\right)^{\frac{1}{2}} T_\odot \qquad (8.7)$$

เมื่อ $T_\odot \approx 5800$ K และ $R_\odot = 696{,}000$ กิโลเมตร

$$T_{ss} \approx \frac{395 \text{ K}}{\sqrt{r_p/AU}}$$

อุณหภูมิที่จุดใต้ดวงอาทิตย์นี้ใช้ได้ดีกับดาวเคราะห์ที่หมุนรอบตัวเองช้ามาก เช่น ดาวพุธ และดาวพลูโต ซึ่งดาวพุธมีอุณหภูมิเฉลี่ยทางด้านที่มองเห็นเป็น 350° C ในเวลากลางวันและเท่ากับ -170° C ในเวลากลางคืน แต่ใช้ไม่ได้กับดาวเคราะห์ที่หมุนรอบตัวเองเร็วและมีบรรยากาศ

การหาอุณหภูมิสำหรับดาวเคราะห์ที่มีบรรยากาศและมีการหมุนรอบตัวเองเร็วนั้น เราสามารถหาได้โดยสมมติให้มันมีพื้นที่รับแสงอาทิตย์เท่ากับ πR_p^2 และมีพื้นที่แผ่รังสีออกไปเป็น $4\pi R_p^2$ เมื่อ R_p คือรัศมีของดาวเคราะห์นั้น ถ้าดาวเคราะห์มีอัลบีโด A มันจะมีอัตราส่วนของการดูดกลืนแสงอาทิตย์เป็น $(1-A)$ ดังนั้นอัตราการดูดกลืนพลังงานใน 1 หน่วยเวลาหาได้ดังนี้

$$(1-A)\,\pi R_p^2 F_p = (1-A)\,\pi R_p^2 \left(\frac{R_\odot}{r_p}\right)^2 \sigma T_\odot^4$$

พลังงานที่ดาวเคราะห์ดูดกลืนทั้งหมดจะถูกแผ่กลับออกไป ซึ่งมีอัตราการแผ่รังสีเท่ากับ $4\pi R_p^2 \sigma T_p^4$ ดังนั้น

$$4\pi R_p^2 \sigma T_p^4 = (1-A)\,\pi R_p^2 \left(\frac{R_\odot}{r_p}\right)^2 \sigma T_\odot^4$$

$$T_p = (1-A)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{R_\odot}{r_p} \right)^{\frac{1}{2}} T_\odot \qquad (8.8)$$

เมื่อแทนค่า $T_\odot$ และ $R_\odot$ เราจะได้

$$T_p \approx \frac{277\,(1-A)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{r_p/AU}} \quad \text{เคลวิน}$$

ถ้าให้ A = 0 เราเรียกอุณหภูมิ T_p ใหม่ว่าอุณหภูมิวัตถุดำสมดุล (Equilibrium Black Body Temperature) T_{eb} ของดาวเคราะห์ เขียนได้เป็น

$$T_{eb} = \left(\frac{R_\odot}{2r_p} \right)^{\frac{1}{2}} T_\odot \qquad (8.9)$$

จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่พื้นผิวของดาวเคราะห์จะขึ้นกับระยะทางของดาวเคราะห์ห่างจากดวงอาทิตย์ เช่น โลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 22° C ดาวอังคารมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ -23° C และดาวพฤหัสบดีมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ -150° C เป็นต้น ให้สังเกตว่าอุณหภูมิทั้ง T_{ss} และ T_{eb} ที่หาได้นี้เราได้ละเลยผลบางประการจาก การนำความร้อนของผิวดาวเคราะห์ ความทึบของบรรยากาศ ลม การหาความร้อนในบรรยากาศ และการกักเก็บความร้อนเนื่องจากปรากฏการณ์เรือนต้นไม้ (Greenhouse Effect)

8.1.6 บรรยากาศของดาวเคราะห์

บรรยากาศของดาวเคราะห์จะประพฤติเหมือนกับแก๊สอุดมคติ (Ideal Gas) ซึ่งอนุภาคของบรรยากาศ (โมเลกุลหรืออะตอม) มีการชนกันแบบยืดหยุ่น (Elastic) และแต่ละอนุภาคมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากับ

$$\overline{KE} = \frac{1}{2} m\overline{v^2}$$

$$\overline{KE} = \frac{3}{2} KT \qquad (8.10)$$

เมื่อ m คือมวลของอนุภาค T คืออุณหภูมิจลน์ (Kinetic Temperature) ของแก๊ส และ K คือค่าคงที่โบลต์ซมันน์ มีค่าเท่ากับ 1.38×10^{-16} เอิร์ก/เคลวิน

เรากำหนดให้รากกำลังสองของอัตราเร็วกำลังสองเฉลี่ย v_{rms} (root mean square speed) เป็น

$$V_{rms} = \sqrt{\overline{V^2}}$$

$$= \sqrt{\frac{3KT}{m}} \qquad (8.11)$$

จากสมการ (8.11) จะเห็นได้ว่าอัตราเร็วเฉลี่ยของอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และลดลงตามมวลของอนุภาคที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าอัตราเร็วเฉลี่ยนี้เท่ากับหรือมากกว่าอัตราเร็วหลุดพ้น V_e อนุภาคสามารถหลุดพ้นจากบรรยากาศของดาวเคราะห์ไปได้ เมื่อความเร็วหลุดพ้น V_e มีค่าเท่ากับ

$$V_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \tag{8.12}$$

เมื่อ M และ R คือมวลและรัศมีของดาวเคราะห์

เราประมาณว่าถ้าจะให้ดาวเคราะห์ยังคงรักษาบรรยากาศไว้ได้นานหลายพันล้านปีตลอดไป อนุภาคในบรรยากาศจะต้องมีอัตราเร็วเฉลี่ยน้อยกว่าความเร็วหลุดพ้นประมาณ 10 เท่า คือ

$$10V_{rms} \leq V_e$$

หรือ

$$10\sqrt{\frac{3KT}{m}} \leq \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

$$T \leq \frac{GMm}{150\,KR} \tag{8.13}$$

8.2 บริวารของดาวเคราะห์

นอกจากดาวเคราะห์ที่เป็นบริวารของดวงอาทิตย์แล้ว ดาวเคราะห์ต่าง ๆ ก็ยังมีบริวารโคจรไปรอบ ๆ เป็นไปตามกฎแห่งความโน้มถ่วง บริวารของดาวเคราะห์หรือที่เรียกว่าดวงจันทร์มีทั้งหมด 44 ดวง โดยที่ดาวพุธและดาวศุกร์ไม่ปรากฏว่ามีบริวารโลกมีบริวาร 1 ดวงคือ ดวงจันทร์ ดาวอังคารมีดวงจันทร์ 2 ดวง ดาวพฤหัสบดี มีดวงจันทร์ 16 ดวง ดาวเสาร์มีดวงจันทร์ที่พบในปัจจุบัน 17 ดวง ดาวยูเรนัสมีดวงจันทร์ 5 ดวง ดาวเนปจูนมีดวงจันทร์ 2 ดวง และดาวพลูโตปัจจุบันพบว่ามีดวงจันทร์ 1 ดวง ดวงจันทร์ของดาวเคราะห์ทั้งหมดมีมวลรวมกันเท่ากับ 7.35×10^{26} กรัม หรือประมาณ 0.12 เท่าของมวลของโลก และเท่ากับ 10 เท่าของมวลของดวงจันทร์ของโลก ดวงจันทร์ที่มีขนาดประมาณมากกว่าหรือเท่ากับดวงจันทร์ของเรามี 7 ดวง (รวมทั้งดวงจันทร์ของเราด้วย) และดวงจันทร์ที่มีขนาดใหญ่กว่าดาวพุธมี 3 ดวงคือ กานีย์มีด (Ganimede) และคัลลิสโต (Callisto) ซึ่งเป็นบริวารของดาวพฤหัสบดี และไตตัน (Titan) ซึ่งเป็นบริวารของดาวเสาร์ บริวารของดาวเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่กว่าหรือใกล้เคียงกับดวงจันทร์ของเราอีก 3 ดวง คือ ตริตัน (Triton) เป็นบริวารของดาวเนปจูน และอีก 2 ดวงคือ ไอโอ (Io) กับยูโรปา (Europa) ซึ่งเป็นบริวารของดาวพฤหัสบดี ดวงจันทร์ทั้ง 7 ดวงนี้นับว่าน่าสนใจมากเพราะมันอาจจะมีสภาพต่าง ๆ เช่นเดียวกับดาวเคราะห์ด้วย สำหรับดวงจันทร์ที่หลืออีก 37 ดวงมีขนาดเล็กกว่า

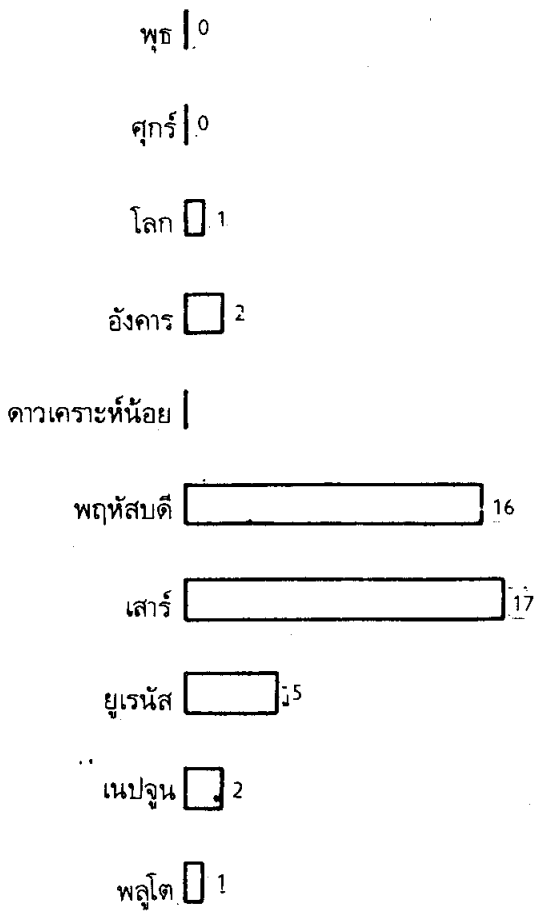
มาก คือมีขนาดใกล้เคียงกับดาวเคราะห์น้อยขนาดใหญ่ ดวงจันทร์ส่วนมากมีการโคจรในทิศตรง คือ มีการโคจรหมุนไปในทิศทวนเข็มนาฬิกาเช่นเดียวกับดาวเคราะห์ ยกเว้นดวงจันทร์ของดาวพฤหัสบดี ดวงที่ VIII IX XI และ XII ดวงจันทร์โพเบ (Phoebe) ของดาวเสาร์ และตริตันของดาวเนปจูนที่มีการโคจรในทิศกลับ ซึ่งมีการโคจรไปในทิศตามเข็มนาฬิกา

8.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างดาวเคราะห์กับจำนวนบริวาร

ดาวเคราะห์จำพวกโลกมีดวงจันทร์หรือบริวารรวมกันเพียง 4 ดวง แต่ดาวเคราะห์ขนาดใหญ่หรือดาวเคราะห์ยักษ์มีบริวารรวมกันถึง 40 ดวง ซึ่งเมื่อวิเคราะห์แล้วอาจเป็นเพราะว่าดาวเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่มวลมากจะมีค่ารัศมีของขีดจำกัดเสถียรห่างไกลมาก จึงทำให้มีบริเวณที่รองรับดาวบริวารได้มาก เมื่อเราเรียงลำดับดาวเคราะห์จากมวลน้อยไปหามวลมากและเขียนคู่กับจำนวนของดวงจันทร์ตามตารางต่อไปนี้

ดาวเคราะห์	จำนวนดวงจันทร์
ดาวพลูโต	1
ดาวพุธ	0
ดาวอังคาร	2
ดาวศุกร์	0
โลก	1
ดาวยูเรนัส	5
ดาวเนปจูน	2
ดาวเสาร์	17
ดาวพฤหัสบดี	16

จะเห็นได้ว่ามวลของดาวเคราะห์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ดาวเคราะห์นั้นมีบริวารมากหรือน้อย แต่เมื่อเราสังเกตวงโคจรและตำแหน่งของดาวเคราะห์ต่าง ๆ ที่เรียงตามระยะทางเฉลี่ยห่างจากดวงอาทิตย์ ก็จะพบว่าระยะทางของดาวเคราะห์จากแถบวงโคจรของดาวเคราะห์น้อยเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งกว่าดังเห็นได้จากรูป 8.5 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าดวงจันทร์ที่มีมวลน้อยบางดวงของดาวเคราะห์ประเภทดาวเคราะห์ยักษ์ที่มีวงโคจรเยื้องศูนย์กลางและเอียงมาก และอาจจะมีการโคจรในทิศกลับเคยเป็นดาวเคราะห์น้อยมาก่อน แต่ต่อมาได้ถูกดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้จับเข้าเป็นดาวบริวาร



รูป 8.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนดวงจันทร์และระยะทางของดาวเคราะห์จากแถบวงโคจรของดาวเคราะห์น้อย

8.2.2 ดวงจันทร์ของเรา

ดวงจันทร์ของโลกมีลักษณะพิเศษที่แตกต่างไปจากดวงจันทร์ของดาวเคราะห์อื่น ๆ ประการหนึ่งคือ อัตราส่วนระหว่างมวลของดวงจันทร์กับโลกซึ่งเป็นดาวเคราะห์ที่มันโคจรไปรอบ ๆ มีค่ามากกว่าอัตราส่วนระหว่างมวลของดวงจันทร์อื่น ๆ กับดาวเคราะห์ที่ดวงจันทร์เหล่านั้นโคจรไปรอบ ๆ กล่าวคืออัตราส่วนระหว่างมวลของดวงจันทร์กับมวลของโลกเท่ากับ 1:81.3 ในขณะที่อัตราส่วนของมวลของกานีย์มีดกับดาวพฤหัสบดีเท่ากับ 1:23,000 หรืออัตราส่วนของมวลของไตตันกับดาวเสาร์เท่ากับ 1:4,150 ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีผู้ถือว่า ดวงจันทร์นับเป็นดาวเคราะห์คู่ควบกับโลก เรียกว่าระบบโลก-ดวงจันทร์แทนที่จะเป็นบริวารที่แท้จริงเช่นเดียวกับบริวารของดาวเคราะห์อื่น ๆ

ในระบบโลกดวงจันทร์มีระยะทางเฉลี่ยหรือกึ่งแกนหลักเท่ากับ 384,405 กม. หรือเท่ากับ 60.3 เท่าของรัศมีโลก การที่ดวงจันทร์มีมวลมากกว่าดวงจันทร์ของดาวเคราะห์อื่น ๆ เมื่อเทียบกับโลก ทำให้มีจุดศูนย์แบรี (Bary Center) หรือจุดศูนย์กลางมวลของระบบโลก-ดวงจันทร์อยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลกเป็นระยะทางซึ่งหาได้ดังนี้

$$\frac{M_{\text{ด}}a}{M_{\oplus} + M_{\text{ด}}} = \frac{(0.0123)\ (384{,}405)}{1.0123} \quad \text{กม}$$

$$= 4{,}671 \quad \text{กม.}$$

เนื่องจากรัศมีของโลกเท่ากับ 6,378 กม. ดังนั้นจุดศูนย์กลางมวลนี้จะอยู่ใต้ผิวโลกลงไปเป็นระยะทางเท่ากับ

$$6{,}378 - 4{,}671 = 1{,}707 \text{ กม.}$$

ทั้งโลกและดวงจันทร์จะโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลนี้โดยใช้เวลาครบรอบเท่ากับ 27.322 วัน เมื่อเทียบกับเส้นที่ลากจากจุดศูนย์แบรีไปยังดาวฤกษ์ในลักษณะเช่นเดียวกับระบบดาวคู่ และในขณะเดียวกันจุดศูนย์แบรีก็จะโคจรไปรอบดวงอาทิตย์เป็นเวลา 1 ปี หรือ 365.24 วัน

ในการหามวลของดวงจันทร์เราอาจหาได้จากการสังเกตการเคลื่อนที่ของโลกรอบจุดศูนย์แบรี่ เมื่อทราบมวลของโลกและตำแหน่งของจุดศูนย์แบรี่แล้ว ดังนั้นเราจะหามวลของโลกก่อนได้ดังนี้ สมมติให้มวลของดวงจันทร์มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับมวลของโลก เราจะใช้กฎข้อที่ 3 ของเคเปลอร์หามวลของโลกดังนี้

$$M_{\oplus} = \frac{4\pi a_{\text{ด}}^3}{GP_{\text{ด}}^2}$$

$$= \frac{4\pi^2\ (3.84 \times 10^8)^3}{(6.67 \times 10^{-11})\ (27.32 \times 24 \times 60 \times 60)^2} \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$= 5.977 \times 10^{24} \quad \text{กิโลกรัม}$$

ต่อไปหามวลของดวงจันทร์จากความสัมพันธ์

$$M_{\text{ด}} = \left(\frac{d_{\oplus}}{d_{\text{ด}}}\right) M_{\oplus}$$

$$= \frac{4671}{(3.84 \times 10^5 - 4{,}671)} \times 5.977 \times 10^{24} \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$= \frac{5.977 \times 10^{24}}{81.3} \quad \text{กิโลกรัม}$$

$$= 7.35 \times 10^{22} \quad \text{กิโลกรัม}$$

เมื่อ $d_{\oplus}$ และ $d_{\text{ด}}$ คือระยะทางจากโลกและดวงจันทร์ไปยังจุดศูนย์แบรีตามลำดับ ปัจจุบัน

มนุษย์ได้ส่งยานอวกาศขึ้นไปสำรวจดวงจันทร์ และได้วัดและคำนวณมวลของดวงจันทร์ได้ค่าที่ถูกต้องอย่างละเอียดถี่ถ้วน และยังสามารถทราบถึงการกระจายตัวของมวลสารภายในดวงจันทร์ได้โดยการตรวจสอบวงทางโคจรของยานอวกาศรอบดวงจันทร์ ทำให้สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ ความแป้นของดวงจันทร์มีค่าเป็น 0.0006 นอกจากนี้ดวงจันทร์ยังมีรูปร่างยาวรีเป็นรูปไข่มีแกนยาวชี้มายังโลก ซึ่งเกิดจากแรงไทด์ของโลก และมีมวลสารที่มีความหนาแน่นเป็นพิเศษอยู่ใต้อาณาบริเวณที่ราบสีคล้ำที่เรียกว่า มาเรีย (Maria) ขนาดใหญ่ มวลสารเหล่านี้เรียกว่า แมสคอน (Mascon)

ขนาดหรือรัศมีของดวงจันทร์เราสามารถหาได้โดยสังเกตช่วงเวลาที่ดวงจันทร์เข้าบังดาวหรือดาวเคราะห์ดวงใดดวงหนึ่ง และวัดมุมของดวงจันทร์ที่กระทำต่อตาของเรา ซึ่งปรากฏว่าดวงจันทร์มีเส้นผ่าศูนย์กลางวัดเป็นมุมได้ 31′ หรือ $\frac{1}{2}^{\circ}$ ดังนั้นดวงจันทร์จะมีเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงเส้น

$$= \frac{31'/\,60}{180^{\circ}}\,\pi \times 3.84 \times 10^{5} \qquad \text{กิโลเมตร}$$

$$= 3{,}476 \qquad \text{กิโลเมตร}$$

หรือดวงจันทร์มีรัศมีเท่ากับ

$$\frac{3476}{2} = 1{,}738 \qquad \text{กิโลเมตร}$$

การเคลื่อนที่ของดวงจันทร์รอบโลกมีวงโคจรเป็นวงรี ซึ่งมีความเยื้องศูนย์กลางเท่ากับ 0.0549 และมีระยะกึ่งแกนหลักเท่ากับ 384,401 กิโลเมตร ซึ่งระยะทางระหว่างโลกและดวงจันทร์มีค่าได้ตั้งแต่ 363,263 กิโลเมตรที่จุดเพอริจี ถึง 405,547 กิโลเมตรที่จุดอโพจี ทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางเชิงมุมของดวงจันทร์วัดได้จาก 32′.7 ถึง 29′.5 ระนาบวงโคจรของดวงจันทร์เอียงทำมุม 5° 8′ 43″ กับระนาบสุริยวิถี อาศัยจากค่ารัศมีและมวลของดวงจันทร์ทำให้เราคำนวณความหนาแน่นเฉลี่ยของดวงจันทร์ได้เท่ากับ

$$\bar{\rho} = \frac{M_{\text{ด}}}{4\pi R^3/3}$$

$$= \frac{7.35 \times 10^{25} \text{ กรัม}}{\frac{4\pi}{3}\,(1{,}738 \times 10^{5} \text{ ซม.})^3}$$

$$= 3.341 \qquad \text{กรัม/ซม}^3$$

นอกจากนี้ยังคำนวณความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงที่พื้นผิวของดวงจันทร์ได้เท่ากับ 162.2 ซม./วินาที^{2} หรือเท่ากับ 0.16 เท่าของความโน้มถ่วงที่พื้นผิวของโลก

เราทราบแล้วว่าดวงจันทร์จะโคจรรอบจุดศูนย์แบรีเป็นเวลาประมาณ 1 เดือน หรือ

27.322 วัน ระยะเวลานี้เราเรียกว่า เดือนดาราคติเมื่อเทียบกับดาวฤกษ์ แต่ถ้าเทียบกับดวงอาทิตย์ โดยยึดเอาเส้นที่ลากจากจุดศูนย์แบร์ไปยังดวงอาทิตย์เป็นหลัก เวลาครบรอบจะเป็น 29.531 วัน และเรียกว่า เดือนจันทรคติ (เดือนแห่งดิถี) ซึ่งเป็นเดือนตามลักษณะเสี้ยวขึ้นแรมของดวงจันทร์ และถ้าเราใช้เส้นโนดของวงโคจรของดวงจันทร์รอบโลกเป็นหลัก เวลาครบรอบจะเป็น 27.212 วัน เรียกว่า เดือนโนด หรือเดือนดราโคน (Nodical Month or Draconic Month) และเมื่อใช้เส้นที่ลากจากโลกไปยังจุดเพอริจี (จุดที่ดวงจันทร์อยู่ใกล้โลกที่สุด) เป็นหลัก ระยะเวลาครบรอบจะเป็น 27.555 วัน เรียกว่า เดือนอโนมัล (Anomalistic Month) และถ้าใช้ทิศทางของวิสันตวิษุวัตเป็นหลัก ระยะเวลาครบรอบจะเป็น 27.322 วัน เรียกว่า เดือนทรอปิกัล (Tropical Month) ซึ่งเท่ากับเดือนดาราคติ

ดวงจันทร์มีการหมุนรอบตัวเองครบรอบในเวลา 1 เดือนดาราคติ ซึ่งคล้องจองกับการโคจรรอบโลก ดังนั้นเราจึงมองเห็นดวงจันทร์เพียงด้านเดียวเมื่ออยู่บนโลก แต่ตามความเป็นจริงแล้วเราไม่ใช่มองเห็นผิวของดวงจันทร์ครึ่งหนึ่งพอดี คือเมื่อเรามองจากโลกเราสามารถเห็นเกินครึ่งหนึ่งคือเห็นถึง 59 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด ทั้งนี้เพราะว่าในช่วงเวลาของเดือนหนึ่ง ๆ ดวงจันทร์จะแสดงอาการเอียงข้างและก้มเงยให้คนบนโลกมองเห็นพื้นที่เพิ่มขึ้นจากครึ่งหนึ่ง ปรากฏการณ์นี้เราเรียกว่าไลเบรชัน (Libration) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางเรขาคณิต มีสาเหตุต่าง ๆ ดังนี้

(1) ดวงจันทร์มีการหมุนรอบตัวเองด้วยอัตราเร็วเกือบคงที่ แต่โคจรด้วยอัตราเร็วต่าง ๆ ในวงโคจรรูปวงรีมิใช่วงกลม ทำให้มุมเล็งจากโลกไม่ได้เพิ่มขึ้นด้วยอัตราสม่ำเสมอ จึงทำให้เรามองเห็นเสมือนหนึ่งดวงจันทร์ปรากฏหมุนแกว่งไปมาเป็นมุม 6° 17′ ในทิศตะวันออก-ตะวันตก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าไลเบรชันทางลองจิจูด (Libration in Longitude)

(2) ระนาบศูนย์สูตรของดวงจันทร์ทำมุม 1° 32′ กับระนาบสุริยวิถี และระนาบวงโคจรของมันเอียงทำมุม 5° 9′ กับระนาบสุริยวิถีด้วย ดังนั้นในช่วงเวลาหนึ่งเราจะมองเห็นเสมือนหนึ่งดวงจันทร์ผงกขึ้นลงเป็นมุมประมาณ 6° 41′ ในทิศเหนือใต้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าไลเบรชันทางละติจูด (Libration in Latitude)

(3) เนื่องจากโลกมีการหมุนรอบตัวเองทำให้ผู้สังเกตการณ์บนโลกมองเห็นดวงจันทร์จากตำแหน่งต่าง ๆ ทำให้เกิดพารัลแลกซ์ของดวงจันทร์ จึงเกิดไลเบรชันประจำวัน (Diurnal Libration) เป็นมุม 57′

(4) การที่ดวงจันทร์มีรูปร่างไม่เป็นทรงกลมอย่างแท้จริงจึงทำให้ดวงจันทร์หมุนรอบตัวเองไม่สม่ำเสมอ และเกิดไลเบรชันทางฟิสิกส์ (Physical Libration) อีกเล็กน้อย

อุปราคา เกิดขึ้นเมื่อวัตถุท้องฟ้าสิ่งหนึ่งเคลื่อนที่เข้าบังอยู่ห่างหน้าวัตถุท้องฟ้าอีกสิ่งหนึ่งที่มีขนาดใกล้เคียงหรือเล็กกว่าในแนวเส้นสายตาของผู้สังเกต อุปราคาที่เกิดขึ้นในระบบโลก-ดวงจันทร์ กับดวงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับทิศทางของเส้นโนดของวงโคจรของดวงจันทร์ เพราะว่าดวงจันทร์จะต้องอยู่ใกล้จุดโนดหรืออยู่ใกล้ระนาบสุริยวิถีจึงสามารถเข้าบังดวงอาทิตย์เมื่อมองจากโลกเรียกว่า สุริยุปราคา (Solar Eclipse) และเมื่อดวงจันทร์เคลื่อนเข้าไปในกรวยเงามืดและเงามัวของโลก เรียกว่าจันทรุปราคา (Lunar Eclipse)

(ก) สุริยุปราคา นับเป็นการบังเอิญที่ดวงจันทร์และดวงอาทิตย์มีเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงมุมปรากฏบนท้องฟ้าเกือบจะเท่ากันคือ 32′ ดังนั้นดวงจันทร์จึงเข้าบังดวงอาทิตย์ได้หมดพอดี ขณะเมื่อดวงจันทร์เข้าใกล้ระนาบสุริยวิถีได้มากเพียงพอพร้อมกับเส้นโนดของวงโคจรของดวงจันทร์ชี้ไปยังดวงอาทิตย์ จะทำให้สุริยุปราคาขึ้น ถ้าจุดศูนย์กลางของดวงจันทร์ไม่โคจรผ่านจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์พอดี มันจะบังดวงอาทิตย์ไม่มิดและเกิดเป็นสุริยุปราคาบางส่วน (Partial Solar Eclipse) ถ้าในขณะที่ดวงจันทร์เข้าบังดวงอาทิตย์เต็มที่แต่บังเอิญดวงจันทร์ไม่อยู่ใกล้จุดเพอริจีทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางเชิงมุมของมันอาจปรากฏเล็กกว่าของดวงอาทิตย์ได้ ทำให้บังไม่มิดหมดดวงเกิดเป็นสุริยุปราคาวงแหวน (Annular Solar Eclipse) และถ้าในขณะที่เข้าบังกันเต็มที่ดวงจันทร์อยู่ใกล้จุดเพอริจี และจุดศูนย์กลางของมันเคลื่อนที่ผ่านจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์พอดี ขนาดปรากฏของดวงจันทร์โตกว่าขนาดปรากฏของดวงอาทิตย์ จะทำให้เกิดสุริยปราคาเต็มดวง (Total Solar Eclipse) เวลาในช่วงของการเกิดสุริยุปราคาเต็มดวงนานที่สุดไม่เกิน 7.5 นาที

(ข) จันทรุปราคา กรวยเงามืดที่ทอดจากโลกไปในห้วงอวกาศเกิดจากการบังแสงจากดวงอาทิตย์ของโลก จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของภาคตัดขวางตรงวงโคจรของดวงจันทร์ประมาณ 9,212 กิโลเมตร หรือเป็น 1° 22′.4 บนทรงกลมท้องฟ้า ซึ่งเป็นขนาดที่ใหญ่กว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของดวงจันทร์ เมื่อดวงจันทร์ผ่านเข้าไปในเงามืดนี้พร้อมกับดวงจันทร์เดินเข้าไปอยู่ในตำแหน่งคืนวันเพ็ญ ก็จะเกิดจันทรุปราคาขึ้นได้ ซึ่งอาจจะเป็นแบบบางส่วนหรือเต็มดวงก็ได้ แต่จะไม่เกิดเป็นแบบวงแหวนเนื่องจากขนาดของเงามืดโตกว่าขนาดของดวงจันทร์มาก เวลาในช่วงของการเกิดจันทรุปราคาเต็มดวงมากที่สุดได้นาน 1 ชั่วโมง 40 นาที

สุริยุปราคาและจันทรุปราคาเกิดในสถานการณ์ที่คล้ายกัน (เช่น เป็นแบบเต็มดวง แบบบางส่วน หรือแบบวงแหวน) จะอุบัติขึ้นทุก ๆ 6,585.32 วันหรือคิดเป็น 18 ปี 10 วัน ระยะเวลานี้เรียกว่าวัฏจักรซารอส (Saros Cycle) ซึ่งประมาณได้เท่ากับ 223 เดือนจันทรคติ หรือเท่ากับ 242 เดือนโน้ดและเท่ากับ 239 เดือนอโนมัล เนื่องจากช่วงเวลานี้ดวงจันทร์จะมี

ดิถีเป็นเดือนดับเหมือนเดิมพร้อมเส้นโนดชี้ไปยังดวงอาทิตย์เหมือนเดิม ขณะเดียวกันดวงจันทร์จะอยู่ห่างจากโลกเท่าเดิม

8.3 ดาวเคราะห์น้อย

จากกฎของติเชียส-โบดได้ทำนายไว้ว่าคงจะมีดาวเคราะห์อีกดวงหนึ่งอยู่ในวงโคจรระหว่างดาวอังคารและดาวพฤหัสบดี ซึ่งอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 2.8 หน่วยดาราศาสตร์ ต่อมามีผู้ค้นพบดาวเคราะห์น้อยดวงแรกที่ชื่อว่า ซีเรส โดยชาวเกาะซิซีลชื่อปิแอสซี ดาวเคราะห์น้อยซีเรสมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 2.8 หน่วยดาราศาสตร์พอดี นับว่าตรงกับกฎของติเชียส-โบด อย่างประหลาด ในปัจจุบันนักดาราศาสตร์ได้ค้นพบดาวเคราะห์น้อยแล้วกว่า 2,000 ดวง และมีผู้คาดการณ์ว่าถ้าใช้กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เมตรขึ้นไป ก็ควรจะเห็นดาวเคราะห์น้อยได้หลายหมื่นดวง

รูปร่างของดาวเคราะห์น้อยขนาดใหญ่เข้าใจกันว่าคงเป็นทรงกลม แต่ดาวเคราะห์น้อยขนาดเล็กคงไม่ใช่ทรงกลม รัศมีของดาวเคราะห์น้อยมีตั้งแต่ขนาดใหญ่ที่สุดเท่ากับ 389 กิโลเมตร (ดาวซีเรส) ลงไปจนถึง 1 กิโลเมตรและขนาดเล็กที่สุดเท่ากับขนาดก้อนหินก็มี ขนาดของดาวเคราะห์น้อยส่วนมากจะมีรัศมีไม่เกิน 5 กิโลเมตร เราอาจจะกะประมาณขนาดของดาวเคราะห์น้อยได้จากความสว่างของมัน โดยกำหนดค่าอัลบีโด A อย่างประมาณเสียก่อน มวลทั้งหมดของดาวเคราะห์น้อยรวมกันมีค่าน้อยกว่ามวลของโลก 500 เท่า ซึ่งมวลของดาวเคราะห์น้อยที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคงจะประมาณ 1/8000 เท่าของมวลของโลก ถ้านำมวลของดาวเคราะห์น้อยที่สว่างที่สุด 1,000 ดวงมารวมกันเข้าก็คงจะได้มวลไม่ถึง 1/3,000 ของมวลของโลก ดาวเคราะห์น้อยขนาดใหญ่มักจะพบอยู่ไกลจากดวงอาทิตย์มากกว่าดาวเคราะห์น้อยขนาดเล็ก และดาวเคราะห์น้อยทุกดวงต่างมีวงโคจรในทิศตรงเป็นวงรีโคจรรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งความเยื้องศูนย์กลางของวงโคจรมีค่ามากที่สุดเป็น 0.83 และมีค่าเฉลี่ยเป็น 0.15 ความเอียงของวงโคจรมีค่ามากที่สุด 52° โดยเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 10° ในแถบวงโคจรของดาวเคราะห์น้อยไม่ได้มีดาวเคราะห์น้อยเหล่านี้อยู่กันอย่างหนาแน่นเต็มไปหมด แต่มีช่องว่างเป็นช่วง ๆ ที่เรียกว่า ช่องว่างเคิร์กวูด (Kirkwood Gaps) ช่องว่างเหล่านี้มีคาบการโคจร (ถ้ามีดาวเคราะห์น้อยอยู่) เป็นอัตราส่วนอย่างง่ายกับคาบของดาวพฤหัสบดี เช่น อัตราส่วน 1/2, 1/3, 1/4, 2/5, 3/7 ซึ่งบ่งบอกถึงการรบกวนจากแรงดึงดูดของดาวพฤหัสบดี และเมื่ออัตราส่วนของคาบเป็น 2/3 และ 1/1 ดาวเคราะห์น้อยกลับอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม กลุ่มที่น่าสนใจที่สุดได้แก่กลุ่มโตรจัน (Trojan Group) 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มมีดาวเคราะห์น้อยประมาณ 15 ดวง โดยมีวงโคจรอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์และดาวพฤหัสบดีเท่ากัน และอยู่ที่มุมหนึ่งของสามเหลี่ยมด้านเท่ารูปหนึ่ง

ที่มีดวงอาทิตย์และดาวพฤหัสบดีอยู่ที่มุมอีก 2 มุม นับว่าเป็นปัญหาของวัตถุสามชิ้น (Problem of Three Bodies) ซึ่งลากรานจ์ (Lagrange) ได้ขบคิดและค้นพบว่า ถ้ามีวัตถุขนาดเล็กชิ้นหนึ่งโคจรไปรอบ ๆ ดวงอาทิตย์ในทิศทางและความเร็วพอเหมาะ จะทำให้มันอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์และดาวพฤหัสบดีเท่ากันและเท่ากับระยะทางจากดวงอาทิตย์ถึงดาวพฤหัสบดีเสมอ นั่นคือวัตถุทั้งสามอยู่แต่ละมุมของสามเหลี่ยมด้านเท่า และถ้าวัตถุนั้นถูกรบกวนให้เลื่อนที่ไปด้วยแรงโน้มถ่วงจากวัตถุอื่น มันจะแกว่งไปมารอบ ๆ จุดยอดของรูปสามเหลี่ยมด้านเท่านั้น แสดงว่าจุดตรงมุมทั้งสามของสามเหลี่ยมด้านเท่านั้นเป็นจุดสมดุล ซึ่งเราเรียกว่าเป็นจุดลากรานเจียน

8.4 ดาวหาง

ดาวหางเป็นเทห์วัตถุอย่างหนึ่งที่ชาวโลกสนใจกันมากมาตั้งแต่สมัยโบราณ ทั้งนี้เป็นเพราะลักษณะพิเศษที่แตกต่างไปจากดาวเคราะห์หรือดาวฤกษ์ทั้งหลาย เช่น การปรากฏของดาวหางโดยไม่คาดฝันล่วงหน้าและจากไปในเวลาอันรวดเร็ว ความสุกใสและการปรากฏเป็นหางที่พาดไปในท้องฟ้าเมื่อมันเคลื่อนที่เข้าใกล้ดวงอาทิตย์และการเปลี่ยนแปลงของหางไปตามวัน สิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดความตื่นเต้นและปฏิกิริยาในจิตใจของมนุษย์สมัยก่อนจำนวนหนึ่งที่มีความหวาดกลัวปรากฏการณ์ของดาวหางนั้น พร้อมทั้งเชื่อในเรื่องอำนาจปาฏิหาริย์เหนือธรรมชาติ และเหตุร้ายแรงที่จะเกิดขึ้นมาบนโลกเนื่องจากอิทธิพลของดาวหางมากกว่าจะยกย่องความสวยงามอันน่าประหลาดที่มีอยู่ในดาวหางนั้น

ดาวหางมีมวลน้อยมากหมุนโคจรอยู่รอบดวงอาทิตย์เช่นเดียวกับดาวเคราะห์อื่น ๆ ในระบบสุริยะของเรา รูปร่างและความสว่างของดาวหางแต่ละดวงมีความแตกต่างกันไปตามระยะทางห่างไกลจากดวงอาทิตย์ ดาวหางที่โคจรอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะทางไกล ๆ จะมีความสว่างน้อยมากมองเห็นแต่เพียงเป็นจุดฝ้า ๆ เท่านั้น

8.4.1 การโคจรของดาวหาง

ดาวหางเป็นวัตถุที่มีการโคจรเป็นรอบโดยมีดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลาง (เช่นเดียวกับสมาชิกของระบบสุริยะ) ซึ่งเป็นไปตามกฎแห่งความโน้มถ่วง วงโคจรส่วนใหญ่เป็นรูปวงรี เราอาจจะแบ่งวงโคจรของดาวหางออกเป็น 2 ประเภทคือ (1) ประเภทคาบยาว (Long-period) วงโคจรประเภทนี้มีแกนหลักยาวมากจนเกือบจะเป็นพาราโบลา (ค่าความเยื้องศูนย์กลางเกือบเท่ากับ 1) ดาวหางประเภทนี้เมื่อโคจรเข้ามาใกล้ดวงอาทิตย์ยากที่จะวินิจฉัยได้ว่าเส้นทางโคจรนั้นเป็นส่วนหนึ่งของวงรีหรือเป็นรูปโค้งพาราโบลาหรือเป็นไฮเปอร์โบลากันแน่ ระยะเวลาครบรอบของดาวหางประเภทนี้จะยาวมากกว่า 200 ปีขึ้นไป และ (2) ประเภทคาบสั้น (Short-period)

เป็นดาวหางที่มีช่วงเวลาครบรอบวงโคจรน้อยกว่า 200 ปี ซึ่งมีจำนวนน้อยกว่าประเภทแรกมาก ดาวหางส่วนมากมีระยะเพอริฮีเลียนประมาณ 1 หรือ 2 หน่วยดาราศาสตร์ ระนาบวงโคจรของดาวหางอาจเอียงทำมุมเท่าใดก็ได้กับระนาบสุริยวิถี ดังนั้นดาวหางจะเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณทรงกลมที่มีดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลาง ทิศทางการเคลื่อนที่ของดาวหางรอบดวงอาทิตย์อาจเป็นไปในทิศตรงหรือทิศกลับก็ได้ ซึ่งผิดกับดาวเคราะห์ทั้งหลาย ที่มีการเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณระนาบสุริยวิถี และเคลื่อนที่ในทิศตรงทั้งหมด ระยะแอปฮีเลียนของดาวหางประเภทคาบยาวจะอยู่ในช่วง 10^4 ถึง 10^5 หน่วยดาราศาสตร์ ทำให้มีคาบในช่วง 1 ถึง 30 ล้านปี ดาวหางประเภทนี้บางดวงอาจถูกดาวเคราะห์ขนาดใหญ่โดยเฉพาะดาวพฤหัสบดีรบกวน ทำให้วงโคจรกลายเป็นรูปไฮเปอร์โบลา ($e > 1$) และทำให้ดาวหางหลุดหนีออกไปจากระบบสุริยะ หรือบางครั้งการรบกวนอาจทำให้ดาวหางโคจรกลายเป็นวงรีขนาดเล็กลง เช่น ดาวพฤหัสบดีได้ดึงดูดดาวหางไว้ประมาณ 45 ดวง ดาวหางเหล่านี้จะมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับเส้นทางโคจรของดาวพฤหัสบดี และมีช่วงเวลาโคจรครบรอบน้อยกว่า 6 ปี มุมเอียงของวงโคจรเฉลี่ยเพียง 12° จากระนาบสุริยวิถี และมีจุดแอปฮีเลียนอยู่ใกล้วงโคจรของดาวพฤหัสบดี ส่วนดาวหางประเภทคาบสั้นจะโคจรอยู่ภายในของวงโคจรของดาวพลูโตเป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างเช่น ดาวหางเองเก (Encke) มีคาบเท่ากับ 3.3 ปี และระยะทางเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์ประมาณ 2.2 AU ดาวหางริโกลเลต (Rigollet) มีคาบเท่ากับ 151 ปี และระยะทางเฉลี่ยจากดวงอาทิตย์ประมาณ 28 AU

8.4.2 การค้นพบดาวหาง

เมื่อดาวหางยังอยู่หางไกลจากดวงอาทิตย์มาก เราจะมองเห็นแต่เพียงนิวเคลียสที่เป็นจุดสว่างเหมือนกับดาว ซึ่งส่องแสงสว่างด้วยแสงสะท้อนจากดวงอาทิตย์ ปัจจุบันได้มีการสำรวจท้องฟ้าโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องดูดาว การค้นพบดาวหางส่วนใหญ่เป็นผลงานของนักดาราศาสตร์สมัครเล่น โดยการสำรวจในบริเวณใกล้ขอบฟ้าทางทิศตะวันตกภายหลังจากดวงอาทิตย์เพิ่งตกลงไปใหม่ ๆ หรือมองบริเวณขอบฟ้าทางทิศตะวันออกก่อนดวงอาทิตย์ขึ้น โดยที่นักดาราศาสตร์สมัครเล่นได้ศึกษาแผนที่ท้องฟ้าอย่างละเอียดควบคู่ไปกับการใช้กล้องซึ่งมีกำลังขยายต่ำแต่รวมแสงได้ดี ในตอนแรกที่มองเห็นดาวหาง ถ้าหากดาวหางยังไม่มีทางปรากฏก็จะมองเห็นคล้าย ๆ กับเป็นเนบิวลา ซึ่งปรากฏเป็นกลุ่มละอองแก๊ส หรือมองคล้ายกับกลุ่มกระจุกดาวหรืออาจคล้ายกับเป็นดาราจักรหนึ่ง ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าสิ่งที่พบเป็นดาวหางใช่หรือไม่ จะต้องทำสังเกตการณ์และถ่ายภาพดูอย่างน้อยที่สุด 2 ครั้ง ในช่วงเวลาห่างกัน 2–3 ชั่วโมงหรือห่างกันหนึ่งวัน ถ้าหากสิ่งที่พบเห็นเป็นเนบิวลา หรือกระจุกดาว หรือดาราจักร

จะไม่มีการเคลื่อนที่จากตำแหน่งเดิมเมื่อเทียบกับกลุ่มดาวพื้นหลังในการสังเกตการณ์ทั้งสองครั้ง และถ้าหากสังเกตได้ว่าเป็นดาวหาง เพราะมีการเคลื่อนตัวจากกลุ่มดาวพื้นหลัง ผู้คนพบจะรีบรายงานด่วนไปยังหอดูดาวที่อยู่ใกล้ที่สุด ในบางครั้งหอดูดาวประจำส่วนใหญ่ได้ค้นพบดาวหางอย่างบังเอิญ เนื่องจากทำงานวิจัยอื่น ๆ โดยตรวจภาพถ่ายสำรวจท้องฟ้าแล้วพบภาพอันมีลักษณะฝ้าของดาวหางในฟิล์มที่ถ่ายมาได้ ดังเช่น **ลูโบส โคฮูเทค** นักดาราศาสตร์ชาวเชคโกสโลวาเกีย ซึ่งทำงานอยู่ที่หอดูดาว ฮัมบูร์กในประเทศเยอรมัน ได้ตรวจพบดาวหางใหญ่ของปี 1973 เป็นครั้งแรกในแผ่นฟิล์ม ซึ่งได้ถ่ายภาพท้องฟ้าในขณะทำการวิจัยเรื่องดาวเคราะห์น้อย นอกจากนี้ยังมีหอดูดาวบางแห่งได้จัดแบ่งเวลาเพื่อการค้นหาดาวหางโดยเฉพาะ เช่น หอดูดาว สเกนเนตเพลโซในประเทศเชคโกสโลวาเกีย เป็นต้น ที่หอดูดาวนี้มีกลุ่มผู้สนใจร่วมกันทำแผนที่ท้องฟ้าที่เหมาะสำหรับเป็นคู่มือในการค้นหาดาวหาง และได้จัดพิมพ์ออกจำหน่ายเป็นประโยชน์ต่อนักดาราศาสตร์ด้วยอุปกรณ์ที่ใช้สำรวจดาวหางที่หอดูดาวแห่งนี้คือกล้องสองตาขนาดใหญ่ราคาไม่แพง ขนาดหน้ากล้อง 4 นิ้ว กำลังขยาย 25 เท่า นักดาราศาสตร์ที่หอดูดาวแห่งนี้ได้ผลัดเปลี่ยนกันใช้กล้องส่องสำรวจท้องฟ้าอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่ปี ค.ศ. 1946 เป็นต้นมา นับว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยค้นพบดาวหางจำนวนมากคิดเฉลี่ยแล้วพบดาวหางหนึ่งดวงต่อเวลาที่ใช้สำรวจ 200 ชั่วโมง ในเวลา 15 ปี คือระหว่าง ค.ศ. 1946–1961 ได้ค้นพบดาวหางใหม่ 17 ดวง และได้ค้นพบอีกเรื่อย ๆ ในปีต่อ ๆ มา

8.4.3 การเรียกชื่อดาวหาง

การเรียกชื่อดาวหางในชั้นต้นเราตั้งชื่อดาวหางชั่วคราวตามปี ค.ศ. ที่ได้ค้นพบเรียงตามลำดับอักษร เช่นดาวหางที่ค้นพบในปี ค.ศ. 1981 มีชื่อเรียกเป็น 1981a, 1981b, 1981c เป็นต้น ตามลำดับพบก่อนหลังอย่างเช่น ดาวหางใหญ่ ซึ่งโคฮูเทคได้ค้นพบในปี 1973 นับเป็นดาวหางดวงที่ 6 ที่ถูกค้นพบในปี 1973 จึงมีชื่อเรียกชั่วคราวเป็น 1973f ต่อมาหลังจากที่ได้คำนวณวงโคจรอยู่ถูกต้องแล้วก็จะเลิกเรียกชื่อตามระบบชั่วคราวนี้ โดยเรียกเรียงลำดับตามเวลาที่ดาวหางแต่ละดวงเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด คือผ่านจุดเพอริฮีเลียนก่อนหลังโดยใช้เลขโรมันกำกับ เช่น ดาวหางที่ค้นพบในปี ค.ศ. 1981 สามดวงข้างต้นก็จะได้ชื่อเรียกใหม่เป็น 1981III 1981V สำหรับดาวหางสองดวงแรก เนื่องจากโคจรผ่านตำหน่งเพอริฮีเลียนเป็นดวงที่ 3 และที่ 5 ในปี ค.ศ. 1981 และอีกดวงหนึ่งคือ 1981c ได้ผ่านเพอริฮีเลียนเป็นดวงที่ 4 ของปี 1982 .จึงเรียกใหม่เป็น 1982IV ตัวอย่างเช่น ดาวหางฮัมมาสัน e เป็นดาวหางที่ถูกค้นพบในปี 1961 เป็นดวงที่ 5 และได้ชื่อใหม่เป็น 1962 VIII เพราะได้โคจรผ่านจุดเพอริฮีเลียนในปี 1962 เป็นดวงที่ 8 จะเห็นได้ว่าปีที่พบกับปีที่กำหนดจึงอาจแตกต่างกันได้ เนื่องจากดาวหางบางดวง

ภายหลังเดินทางมาถึงจุดใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดแล้ว หรือภายหลังเดินทางออกไปจากจุดเพอริฮีเลียนแล้วยังมองเห็นอยู่อีกเป็นเวลานาน ดังนั้นระบบการเรียกชื่อดาวหางโดยกำหนดปีที่ผ่านจุดเพอริฮีเลียนจึงเป็นวิธีที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังช่วยขจัดดาวหางที่ค้นพบและใช้ชื่อกันแล้วแต่ไม่มีผู้สำรวจพบ และยืนยันในระยะต่อมาเพราะอาจจะไม่ใช่ดาวหางก็ได้

นอกจากดาวหางมีการเรียกชื่อเป็นตัวเลขแล้ว ดาวหางยังมีการตั้งชื่อตามผู้ค้นพบในกรณีที่มีผู้ค้นพบโดยไม่ทราบกันก่อนในเวลาไล่เลี่ยกัน จะมีชื่อของผู้ค้นพบเรียงกันได้อีกไม่เกินสองชื่อ เช่น ดาวหางลัตเชฟ-ไวลด์-เบอร์นแฮม (1957f) ไวลด์พบที่กรุงบอร์นในวันที่ 18 ตุลาคม 1957 และเบอร์นแฮมพบที่อาริโซนา 8 ชั่วโมงต่อมา และปรากฏว่าเป็นดาวหางดวงเดียวกับที่ลัตเชฟพบที่อัสคาบัดเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 1957 และสำหรับดาวหางอีกดวงหนึ่งซึ่งค้นพบก่อนดาวหางข้างบนนี้สองเดือน เป็นดาวหางสว่างที่มองเห็นด้วยตาเปล่าได้ (1957d) โดยมาร์คอสเป็นผู้ประกาศการค้นพบเป็นคนแรกที่ภูเขาลอมนิคกีในประเทศเชคโกสโลวาเกีย เมื่อวันที่ 2 สิงหาคม 1957 ต่อมามีหลายคนได้อ้างว่าเป็นผู้เห็นดาวหางดวงนี้ก่อนมาร์คอสหลายวัน แต่เนื่องจากมาร์คอสเป็นคนแรกที่ประกาศการค้นพบดาวหางดวงนี้ จึงได้ตกลงกันให้เรียกชื่อดาวหางดวงนี้ตามชื่อของมาร์คอส ชื่อของดาวหางที่มีวงโคจรครบรอบในช่วงเวลาสั้น ๆ คือมีคาบน้อยกว่า 200 ปี จะใช้อักษร P/ นำหน้าชื่อของผู้ค้นพบ ตัวอย่างเช่น 1962II P/ Harrington-Abell เป็นดาวหางที่ค้นพบโดย แฮร์ริงตันร่วมกับแอเบลล์แห่งหอดูดาวพาโลมา มีช่วงเวลาของการโคจรครบรอบสั้น ๆ โคจรผ่านจุดเพอริฮีเลียนในปี 1962 เป็นดวงที่สอง

ตามปกติเมื่อดาวหางวนรอบ (Periodic Comets) ได้โคจรกลับมาอีกครั้งหนึ่งและถูกค้นพบใหม่ จะไม่ตั้งชื่อตามผู้ที่ค้นพบใหม่อีก แต่ในกรณีที่ดาวหางครบรอบได้หายสาบสูญไปเป็นเวลานานโดยไม่มาตามกำหนดหลาย ๆ รอบแล้วกลับมาให้เห็นอีก ก็อาจจะเพิ่มชื่อของผู้ที่ค้นพบใหม่เข้าไปด้วย ตัวอย่างเช่น ดาวหาง P/Perrine ซึ่งหายไปไม่พบ 6 รอบแล้ว และในปี ค.ศ. 1955 มาร์คอสได้พบเข้าโดยบังเอิญ ดังนั้นจึงมีชื่อใหม่ว่า P/Perrine Markos มีกรณีพิเศษอีกอย่างหนึ่งคือการตั้งชื่อดาวหางตามนักดาราศาสตร์ที่ได้คำนวณเส้นทางโคจรของมันไว้อย่างชัดเจน และได้พิสูจน์แล้วแทนที่จะตั้งชื่อตามผู้ที่ค้นพบ ตัวอย่างเช่น ดาวหางฮัลเลย์ (P/Halley) ดาวหางเลกเซลล์ (P/Lexell) และดาวหางเองเก (P/Encke)

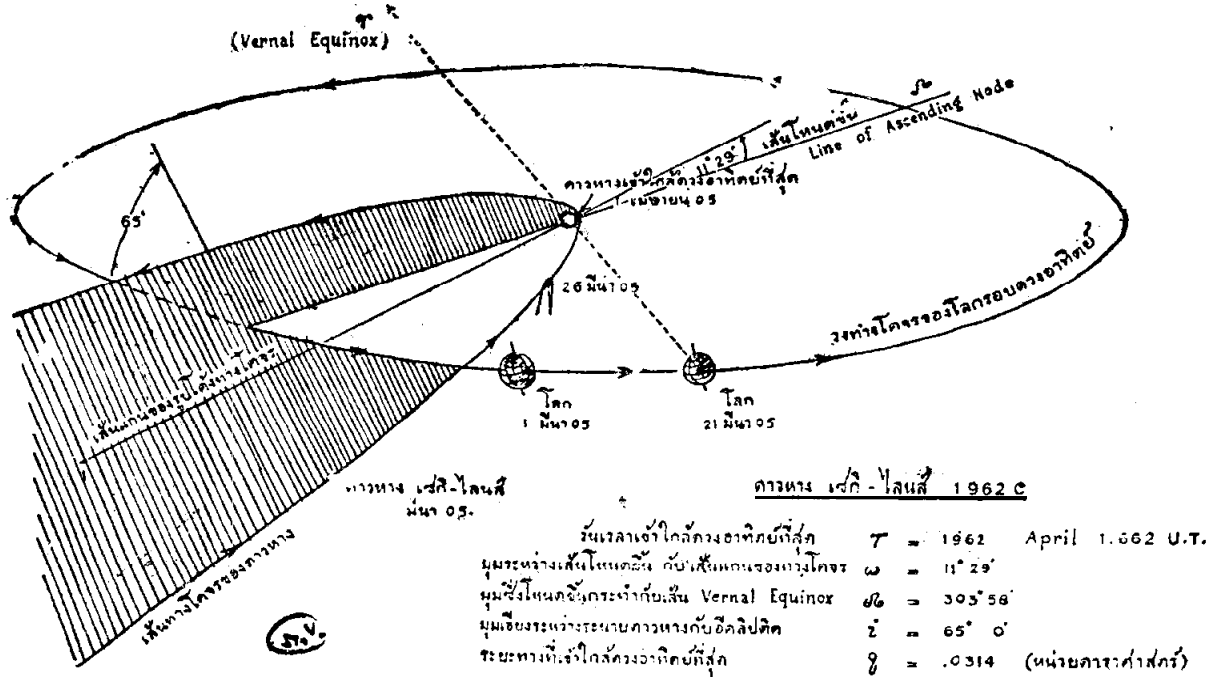
8.4.4 การคำนวณวงโคจรของดาวหาง

เมื่อปรากฏมีการค้นพบดาวหางขึ้น ตำแหน่งที่ค้นพบรวมทั้งลักษณะปรากฏจะถูกส่งเป็นข่าวสารจากศูนย์รวมส่งข่าวของเรื่องนี้ไปยังหอดูดาวต่าง ๆ ทั่วโลก ต่อจากนั้นนักดาราศาสตร์

ทั้งหลายจะใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ตรวจสอบและบันทึกตำแหน่งและลักษณะของดาวหางดวงใหม่ ในขั้นต้นดาวหางที่ถูกค้นพบใหม่มักจะปรากฏขนาดเล็กอยู่เนื่องจากยังอยู่ห่างไกลจากดวงอาทิตย์มาก ตำแหน่งที่วัดได้จากหอดูดาวต่าง ๆ จะถูกส่งกลับไปรวมกัน เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่อีกทีหนึ่งโดยเร็ว ในชั้นนี้นักคำนวณวงทางโคจรจะเริ่มต้นทำงาน เมื่อมีค่าตัวเลขบอกตำแหน่งของดาวหางและเวลาที่มันอยู่ที่ตำแหน่งอย่างน้อย 3 ตำแหน่งขึ้นไปอย่างละเอียดในเวลาห่างกันพอสมควร ในขั้นแรกของการคำนวณจะวางหลักไว้ว่าดาวหางมีวงโคจรเป็นแบบพาราโบลาก่อน และวงโคจรนี้กำหนดได้ด้วยตัวเลข 5 ตัว ตัวเลขเหล่านั้นจะประกอบด้วย (1) วันและเวลาที่ดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดซึ่งบอกเป็น ปี เดือน วัน เรียงกันไป (สำหรับวันบอกทศนิยมของวันซึ่งวัดที่ลองจิจูดของกรีนนิช) (2) ระยะทางห่างจากดวงอาทิตย์ที่จุดเพอริฮีเลียน เป็นหน่วยดาราศาสตร์ (3) มุมระนาบทางโคจรของดาวหางนี้ทำกับระนาบทางโคจรของโลก (ระนาบสุริยวิถี) (4) มุมที่เส้นระนาบตัดกันในด้านที่ดาวหางโคจรขึ้นจากด้านใต้ของท้องฟ้าไปทางด้านเหนือกับทิศของจุดวสันตวิษุวัติ และ (5) มุมที่วัดจากจุดตัดของระนาบทั้งสองบนเส้นทางโคจรไปตามระนาบของวงโคจรถึงจุดใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด ปริมาณเหล่านี้จะกำหนดวงโคจรและตำแหน่งของดาวหางในเวลาต่าง ๆ อย่างชัดเจน และใช้เป็นรากฐานในการติดตามคอยตรวจสอบการเคลื่อนที่ของดาวหางนี้ต่อไป

ต่อมาเมื่อได้ติดตามถ่ายภาพและวัดตำแหน่งของดาวหางอย่างละเอียดและมีจำนวนมากมายแล้ว นักคำนวณก็จะนำผลการวัดทั้งหมดมาคำนวณวงโคจรใหม่อีกครั้งหนึ่งก็จะได้วงโคจรที่แน่นอนและพร้อมกันนั้นเขาจะหารูปลักษณะของวงโคจรจากการคำนวณแทนที่จะถือว่าเป็นพาราโบลาเช่นในตอนต้น จากากรสังเกตการณ์ของหอดูดาวทุกแห่ง ตั้งแต่สมัยก่อนจนถึงในปลายปี ค.ศ. 1970 โดยวิธีการคำนวณดังกล่าวนี้ นักดาราศาสตร์สามารถทราบวงโคจรของดาวหางแล้ว 610 ดวง และปรากฏว่าสามารถแบ่งวงโคจรออกเป็นพวกได้ดังนี้

1. ดาวหางที่มีวงโคจรแบบไฮเปอร์โบลา 70 ดวง
2. ดาวหางที่มีวงโคจรแบบพาราโบลา 295 ดวง
3. ดาวหางที่มีวงโคจรคาบยาว 140 ดวง (เป็นวงรี)
4. ดาวหางที่มีวงโคจรคาบสั้นซึ่งมาปรากฏให้เห็นครั้งเดียว 45 ดวง
5. ดาวหางที่มีวงโคจรคาบสั้นเป็นวงรี 60 ดวง แต่มีการปรากฏให้เห็น 375 ครั้ง (แต่ละครั้งที่มาปรากฏของดาวหางดวงเดียวกันมีวงโคจรแตกต่างกันไปเนื่องจากถูกแรงดึงดูดจากดาวเคราะห์ใหญ่รบกวน)



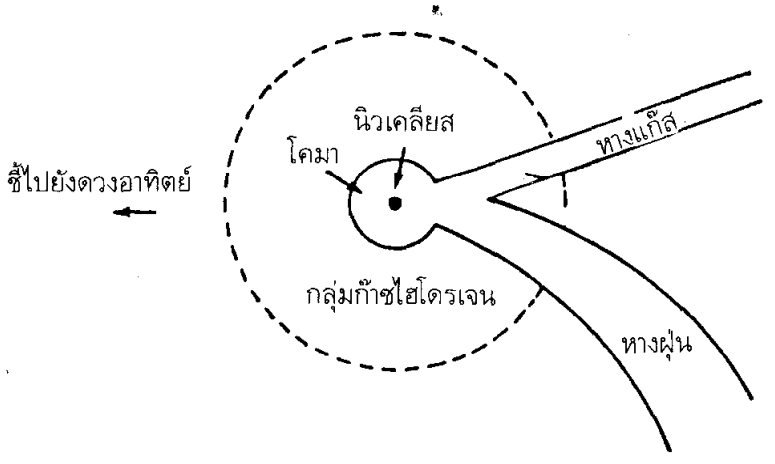
รูป 8.6 แสดงเส้นทางโคจรของดาวหาง 1962 c เซกิ-ไลนส์ เทียบกับวงโคจรของโลก (จากเอกสารอ้างอิง 6)

8.4.5 ส่วนประกอบของดาวหาง

ดาวหางเมื่อยังอยู่ห่างไกลจากดวงอาทิตย์มาก ๆ เราจะยังมองไม่เห็น ต่อมาดาวหางโคจรเข้าใกล้ดวงอาทิตย์เพียงพอ ผู้สังเกตการณ์บนโลกจะมองเห็นมีลักษณะเหมือนเมฆมีแสงสว่างจาง ๆ ซึ่งเกิดจากรังสีของดวงอาทิตย์ส่องกระทบและแผดเผาให้แก๊สระเหิดและมีฝุ่นหลุดออกจากก้อนห่อหุ้มตัวดาวหางและแผ่กระจายออกโดยรอบ และต่อมาจะเริ่มปรากฏเป็นฝ้าสว่างรูปทรงกลม ลักษณะเช่นนี้จึงทำให้นักดาราศาสตร์สามารถแยกดาวหางสีจาง ๆ ออกจากดวงดาวหรือดาวเคราะห์น้อย และเมื่อดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากขึ้นมันจะปรากฏแสงสว่างมากขึ้น ดาวหางที่มีแสงสว่างมาก ๆ จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ สำคัญ 3 ส่วนด้วยกันได้แก่ (1) นิวเคลียส (Nucleus) (2) โคมา (Coma) และ (3) ส่วนหาง (tails)

(1) นิวเคลียส เมื่อเราใช้กล้องโทรทรรศน์ซึ่งมีกำลังขยายสูงดูดาวหางที่บริเวณหัวในขณะเมื่อดาวหางโคจรเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด หรือเข้าใกล้โลกมากที่สุด จะพบว่ามีลักษณะปรากฏเป็นจุดกลมสว่างคล้ายกับดาวฤกษ์ ส่วนนี้ก็คือนิวเคลียสของดาวหาง ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยประมาณ 1 ถึง 10 กิโลเมตร เนื่องจากนิวเคลียสของดาวหางมีขนาดเล็กมากนี้เอง จึงทำให้เราเมื่อสังเกตการณ์ด้วยกล้องโทรทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงที่สุดจะปรากฏให้เห็นเพียงแสงสว่างคล้ายดวงดาว บริเวณนี้ตั้งอยู่ใกล้หรือที่จุดศูนย์กลางของ

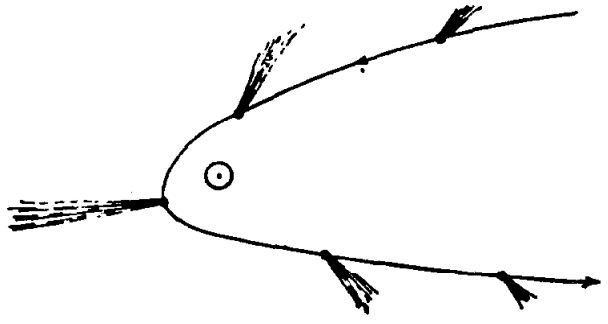
ดาวหางและเรามักจะมองไม่เห็น เนื่องจากถูกแสงสว่างบังบริเวณนี้ไว้ แสงสว่างที่แผ่กระจายออกจากนิวเคลียสของดาวหางนี้เมื่อตรวจสอบด้วยสเปกโทรกราฟพบว่าเป็นแสงสะท้อนจากดวงอาทิตย์ของผิววัตถุแข็ง นิวเคลียสของดาวหางมีมวลประมาณ 10^{17} กิโลกรัม หรือประมาณ 10^{-8} เท่าของมวลของโลกหรือน้อยกว่า ความหนาแน่นเฉลี่ยของนิวเคลียสมีค่าประมาณ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นจึงทำให้เราสันนิษฐานว่านิวเคลียสประกอบด้วยก้อนน้ำแข็ง คาร์บอนไดออกไซด์ มีเธนแข็ง และแอมโมเนียแข็ง ฝุ่นและหิน หรือรวมกันเรียกว่าเป็นก้อนน้ำแข็งสกปรกนั่นเอง เมื่อดาวหางอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ประมาณ 2-3 หน่วยดาราศาสตร์ ก้อนน้ำแข็งสกปรกนี้จะเริ่มระเหิดกลายเป็นกลุ่มแก๊สที่อยู่ล้อมรอบนิวเคลียส



รูป 8.7 แสดงส่วนประกอบของดาวหาง

(2) โคมา โมเลกุลของแก๊สที่ระเหิดหลุดออกมาจากนิวเคลียสจะเคลื่อนที่ฟุ้งกระจายออกมาโดยรอบด้วยความเร็วคงที่ เพราะว่ามวลสารของนิวเคลียสมีแรงดึงดูดหรือแรงโน้มถ่วงน้อย หลังจากที่มวลสารระเหิดออกมาแล้วจะถูกรังสีอุลตราไวโอเลตของดวงอาทิตย์ทำให้แตกตัวเป็นโมเลกุลสามัญกว่า คือ เป็นอนุมูลของพวก CN C_2 C_3 CH NH NH_2 และ OH ซึ่งสามารถตรวจสอบได้ด้วยสเปกโทรกราฟ แก๊สและไอที่นิวเคลียสของดาวหางคายออกมาจะปรากฏห่อหุ้มเป็นโคมา ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10^5 กิโลเมตร นิวเคลียสและโคมารวมกันเรียกว่า หัวของดาวหาง โคมามีลักษณะเป็นดวงฝ้าและอาณาเขตที่มันแผ่กระจายออกไปไม่ปรากฏขอบให้เห็นชัดเจน เมื่อใช้กล้องชนิดต่างกันส่องดูจะได้ขนาดของโคมาต่างกันออกไป ทั้งนี้เป็นเพราะธรรมชาติการเป็นไอแก๊สของมัน

(3) หาง เมื่อดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากยิ่งขึ้น มันจะเริ่มปรากฏหางให้เห็นความยาวของหางอาจยาวถึง 1 หน่วยดาราศาสตร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สที่มีอยู่ในบรรยากาศของดาวหาง โดยที่หางของดาวหางจะชี้ออกจากดวงอาทิตย์เสมอ (ดูรูป 8.8)



รูป 8.8 แสดงหางของดาวหางซึ่งชี้ออกจากดวงอาทิตย์เสมอ เนื่องจากอิทธิพลของรังสีจากดวงอาทิตย์ที่มีต่อหางของดาวหาง

หางของดาวหางที่สำคัญมีอยู่สองชนิด คือ (ก) หางฝุ่น (Dust Tail) และ (ข) หางพลาสมา (Plasma Tail)

หางฝุ่นประกอบด้วยอนุภาคแข็ง ๆ ขนาดไมโครเมตร ซึ่งถูกขับออกมาจากบริเวณโคมา เนื่องจากแรงกดดันที่เกิดจากรังสีของดวงอาทิตย์กระทบกับเม็ดฝุ่นละอองในบริเวณนั้น หางฝุ่นนี้มีลักษณะโค้งและเป็นเนื้อเดียวกัน บางครั้งหางฝุ่นอาจจะโค้งมาก หางฝุ่นโดยมากมักจะไม่มีโครงสร้างภายในหรือมีอยู่เพียงเล็กน้อย ทำให้มีรูปร่างแบนอยู่ในระนาบของวงโคจรของดาวหางนั้น

หางพลาสมามีลักษณะแตกต่างไปจากหางฝุ่นมาก หางพลาสมาประกอบด้วยโมเลกุลที่แตกตัวเป็นไอออนทั้งหมด ส่วนมากเป็น CO^+ แต่ก็มี C_2^+ CH^+ และ CN^+ รวมอยู่ด้วย ซึ่งเป็นเพราะได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์และพันอยู่รอบตัวของดาวหางหางพลาสมามีลักษณะเหยียดตรงและมีโครงสร้างละเอียดเป็นเส้นสายหรือเป็นกลุ่มก้อนพลาสมา เนื่องจากถูกผลักออกมาจากหัวของดาวหางโดยรังสีจากดวงอาทิตย์และลมสุริยะ หางพลาสมานี้ทำมุมเพียงสองสามองศากับเส้นเวกเตอร์ตามแนวรัศมีจากดวงอาทิตย์มายังนิวเคลียสของดาวหางและเอียงมาในแนวทางตรงกันข้ามกับทิศทางของการเคลื่อนที่ของดาวหางนั้น สำหรับแสงสว่างที่มาจากหางพลาสมาอาจเกิดจากแก๊สในหางซึ่งเป็นไอออนเรืองแสงออกมา ทั้งนี้เป็นเพราะว่ามันดูดซับแสงจากดวงอาทิตย์แล้วเปล่งแสงออกมาใหม่ เมื่อดาวหางเข้าใกล้จุดเพอริฮีเลียนมาก เราอาจจะเห็นการเรืองแสงจากธาตุ Na, Fe, O, Cr และ Ni ภายในระยะทาง 1.5 AU จากดวงอาทิตย์ แก๊สจะเรืองแสงจากไอออนของโมเลกุล CO^+, N_2^+, OH^+, CO_2^+ และ CH^+ ดาวหาง

บางดวงอาจมีกลุ่มแก๊สไฮโดรเจนมหึมาปกคลุมอยู่ กลุ่มแก๊สนี้อาจมีขนาดใหญ่กว่าดวงอาทิตย์และแผ่รังสีเหนือม่วงของเส้นไลแมนแอลฟา (Lyman Alpha Line) ที่ความยาวคลื่น 1216 A°

ดาวหางบางดวงอาจจะไม่มีหางก็ได้ โดยที่ดาวหางนั้นตลอดเวลาที่ปรากฏให้เห็นเพียงแต่ก้อนหมอกฝ้าทรงกลมเคลื่อนที่ไปในทรงกลมท้องฟ้าเท่านั้น บางดวงอาจแสดงลักษณะยืดตัวออกในทิศที่ชี้ออกจากดวงอาทิตย์ บางดวงอาจจะปรากฏหางเพียงสั้น ๆ แต่ก็มีดาวหางอีกมากที่มีหางปรากฏยืดยาวเหยียดไปในท้องฟ้านับร้อยล้านกิโลเมตร หรือบางครั้งดาวหางบางดวงมีความกว้างของหางขนาดกว้างถึงล้านกิโลเมตรก็มี

ความสว่างของดาวหางจะขึ้นกับระยะทางของดาวหางที่ห่างจากดวงอาทิตย์ (เป็นบริเวณการเรืองแสงและปริมาณของแสงสะท้อน) ในขณะเดียวกันก็ขึ้นกับระยะทางของผู้สังเกต ซึ่งก็คือระยะทางจากโลกไปยังดาวหาง (คือปริมาณฟลักซ์ที่เราได้รับ) ดังนั้นเราสามารถหาความสว่างของดาวหางได้จากความสัมพันธ์ของปริมาณเหล่านี้ คือ

$$B \propto R^{-n} r^{-2} \tag{8.14}$$

เมื่อ B คือความสว่างของดาวหาง R คือระยะทางของดาวหางห่างจากดวงอาทิตย์ และ r คือระยะทางจากโลกถึงดาวหาง สำหรับค่า n พิจารณาได้จากกรณีเมื่อดาวหางอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มาก ๆ จะไม่มีการเรืองแสง ดังนั้น $n = 2$ แต่เมื่อดาวหางเคลื่อนตัวเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ เราจะได้ $n \simeq 4$ ค่าของ n อาจเปลี่ยนแปรได้จาก 2 ถึง 6 ซึ่งจะขึ้นอยู่กับดาวหางแต่ละดวง

ดาวหางที่มีวงโคจรเป็นวนรอบและได้โคจรเข้าใกล้ดวงอาทิตย์บ่อยครั้งมากขึ้น มันจะสูญเสียมวลสารไป เช่น แก๊สฝุ่น และหิน เนื่องจากถูกความร้อนและแรงไทด์จากดวงอาทิตย์กระทำ ในที่สุดดาวหางก็จะสลายตัวไป สำหรับดาวหางประเภทคาบสั้นบางดวงอาจจะแตกแยกออกเป็นหลายส่วนก่อนที่จะสลายตัวไป ดังเช่น ดาวหางไบลา (Biela) ซึ่งมีคาบ 6.6 ปี มีผู้สังเกตเห็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1712 และต่อมาในปี ค.ศ. 1846 มันได้แยกตัวออกเป็นสองดวง และในปี ค.ศ. 1852 ดาวหางทั้งสองดวงนี้ก็กลับมาปรากฏให้เห็นอีกเป็นครั้งสุดท้าย หลังจากนั้นมาในปี ค.ศ. 1872 นักดาราศาสตร์กลับได้เห็นฝนอุกกาบาต (Meteor Shower) ที่สว่างมากแทนที่จะได้เห็นดาวหางเมื่อโลกโคจรตัดกับวงโคจรเดิมของดาวหางไบลานี้ นั่นแสดงว่าดาวหางไบลานี้ได้สลายตัวไปแล้วและเศษชิ้นส่วนของดาวหางได้ตกเข้ามาในบรรยากาศของโลกจึงเห็นเป็นอุกกาบาตจำนวนมาก ในปัจจุบันฝนอุกกาบาตจากเศษชิ้นส่วนของดาวหางไบลานี้ยังคงปรากฏให้เห็นทุกปีในวันที่ 14 พฤศจิกายนในกลุ่มดาวแอนโดรเมดา

เนื่องจากดาวหางมีการสลายตัวไปได้ จึงทำให้นักดาราศาสตร์เชื่อว่า น่าจะมีแหล่งของดาวหางที่อยู่ไกลออกไปจากบริเวณของดาวเคราะห์ต่าง ๆ จนถึงระยะทางประมาณ 150,000

หน่วยดาราศาสตร์ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของดาวหางคอยส่งดาวหางเข้ามาใกล้ดวงอาทิตย์ กลุ่มดาวหางเหล่านี้ประกอบด้วยนิวเคลียสจำนวนมากมายเป็นปริมาณแสนล้านดวง (10^{11} ดวง) โคจรอยู่ในวงทางรอบ ๆ เป็นรูปทรงกลมที่ขอบเขตวงนอกของกลุ่มซึ่งอยู่ที่ขีดจำกัดเสถียรของระบบสุริยะ นิวเคลียสบางดวงจะถูกรบกวนจากดาวฤกษ์อื่นที่อยู่ใกล้ทำให้มันหนีหลุดออกไปนอกระบบสุริยะ และในบางครั้งบางดวงที่อยู่ตรงขอบในของกลุ่มถูกแรงดึงดูดรบกวนจากดวงอาทิตย์พอเหมาะ ก็จะเคลื่อนที่เข้าหาดวงอาทิตย์และเมื่อเข้าใกล้ประมาณ 2-3 AU ก็จะได้รับพลังงานรังสีมากเพียงพอที่จะคายแก๊สออกจากนิวเคลียสและปรากฏเป็นดาวหางขึ้นได้ และยังเชื่อว่านิวเคลียสของดาวหางเหล่านั้นเกิดขึ้นมาพร้อมกับระบบสุริยะเมื่อ 5 พันล้านปีมาแล้ว

8.5 อุกกาบาต

อุกกาบาตเป็นวัตถุชิ้นเล็ก ๆ ลักษณะเป็นก้อนหินโคจรอยู่ทั่วไปในระบบสุริยะและมีวงโคจรทำมุมเอียงต่าง ๆ กับระนาบสุริยวิถี อุกกาบาตมีขนาดได้ตั้งแต่เท่ากับขนาดของดาวเคราะห์น้อยขนาดเล็ก (เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 กิโลเมตร) เล็กลงมาจนถึงขนาด 1 ไมครอน (μ) ซึ่งเป็นฝุ่น อุกกาบาตขนาดใหญ่อาจจะเกิดขึ้นจากการชนกันของดาวเคราะห์น้อย ส่วนอุกกาบาตขนาดเล็กมากกลายเป็นฝุ่นอาจเกิดจากการสลายตัวของดาวหาง

ในขณะที่โลกวิ่งโคจรตัดเข้าไปในวงโคจรของพวกอุกกาบาต และมีอุกกาบาตชิ้นเล็ก ๆ พุ่งผ่านบรรยากาศของโลกเข้ามาด้วยอัตราเร็วสูง เกิดการเสียดสีกับบรรยากาศของโลก เมื่ออุกกาบาตเข้ามาในระยะความสูงราว 120 กิโลเมตรมันจะเสียดสีกับบรรยากาศ ทำให้เกิดความร้อนสูงพอที่จะทำให้วัตถุกลายเป็นไอลุกไหม้สว่างขึ้น และเรามองเห็นเป็นทางสว่างวาบ เมื่อมันตกลงมาถึงความสูง 60 กิโลเมตรอุกกาบาตส่วนใหญ่จะลุกไหม้จนหมด จากการสังเกตความสว่างของมันทำให้เราพอจะทราบว่า อุกกาบาตมีความหนาแน่นเฉลี่ยราว 0.2 ถึง 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับมวลสารในนิวเคลียสของดาวหาง

เราแบ่งอุกกาบาตออกเป็น 2 ประเภท คือ (1) ประเภทกระจัดกระจาย (Sporadic) ซึ่งมาจากทุกทิศทางไม่แน่นอน และเกิดขึ้นอย่างไม่มีหมายกำหนดการหรือไม่คาดหมาย และ (2) ประเภทฝนอุกกาบาต เป็นอุกกาบาตซึ่งเข้ามาในบรรยากาศของโลกเป็นกลุ่มใหญ่ และมาจากทิศทางเดียวกันตกลงมาในระยะเวลาอันสั้น เราจะมองเห็นกลุ่มอุกกาบาตจำนวนมากมายเคลื่อนที่เป็นแนวทางตรงขนานกัน คล้ายกับว่ามาจากบริเวณจุดหนึ่งจุดใดในท้องฟ้าพร้อมกัน เราเรียกจุดนั้นว่า เรเดียนท์ (Radiant) ของฝนอุกกาบาต ถ้าอุกกาบาตมีการโคจรเป็นกลุ่ม

และมีจำนวนไม่มากนักหรืออยู่กันอย่างไม่หนาแน่น เราเรียกเป็นกลุ่มอุกกาบาต ซึ่งมีผู้กะประมาณว่าจะมีอุกกาบาตหนึ่งชิ้นต่อเนื้อที่ 2 ล้านลูกบาศก์ไมล์ แต่ถ้าหากว่ากลุ่มอุกกาบาตนั้นแผ่กระจายออกและอยู่กันอย่างหนาแน่นตามทางโค้งของวงโคจรจำนวนมากมาย (เมื่อเข้ามาในบรรยากาศของโลกจะกลายเป็นฝนอุกกาบาต) ทำให้ดูประหนึ่งว่าอุกกาบาตเหล่านั้นเคลื่อนที่ในอวกาศเป็นสายธาร เราเรียกว่า ธารอุกกาบาต (Meteor Steam) ซึ่งธารอุกกาบาตนี้จะแผ่ไปตลอดส่วนโค้งของเส้นทางโคจรรอบดวงอาทิตย์ ธารอุกกาบาตบางสายเกิดจากการสลายตัวของดาวหางและเคลื่อนที่ไปตามวงโคจรของดาวหางดวงนั้น เช่นธารอุกกาบาตในกลุ่มดาว-แอนโดรเมดาในวงทางโคจรของดาวหางไบลา ธารอุกกาบาตในกลุ่มดาวนายพราน ซึ่งเกิดขึ้นทุกปีในวันที่ 20 ตุลาคม ธารอุกกาบาตเปอร์ซีด (Perseids) เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอทุกปี และขณะเกิดขึ้นจะมีปริมาณตกลงมาเฉลี่ยชั่วโมงละ 70 ชิ้น สำหรับฝนอุกกาบาตที่หลาย ๆ ปีตกลงมาครั้งหนึ่ง เช่น ฝนอุกกาบาตลีโอนิค (Leonids) เกิดในปี ค.ศ. 1799, 1833, 1866 ฝนอุกกาบาตลีโอนิดนี้ ตกลงมาหนาแน่นในบางแห่งนับได้ถึง 200,000 ชิ้นต่อชั่วโมง แต่ในปี ค.ศ. 1899 และ 1932 ตกลงมาน้อยผิดปกติ ซึ่งเชื่อกันว่าเกิดจากดาวพฤหัสบดีและดาวเสาร์ดึงดูดให้ทางโคจรของมันเปลี่ยนไปไม่ตัดกับทางโคจรของโลกดังเช่นเคย

เนื่องจากอุกกาบาตเป็นวัตถุแข็งที่มีมวลซึ่งเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณสนามความโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์ ดังนั้นมันจะมีวงโคจรตามกฎของการเคลื่อนที่ในสนามความโน้มถ่วงเท่านั้น ถ้าเราต้องการจะทราบว่าวงโคจรของอุกกาบาตเป็นชนิดใด เราจำเป็นต้องทราบอัตราเร็วของอุกกาบาตนั้นเสียก่อน ถ้าอุกกาบาตมีอัตราเร็วสูงกว่าอัตราเร็วหลุดพ้นจากดวงอาทิตย์ที่บริเวณวงโคจรของโลก (อัตราเร็วหลุดพ้นจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 42 กิโลเมตรต่อวินาที) มันจะมีวงโคจรเป็นไฮเปอร์โบลา เราเรียกอุกกาบาตพวกนี้ว่า อุกกาบาตไฮเปอร์โบลิก อุกกาบาตพวกนี้ไม่ใช่สมาชิกประจำของระบบสุริยะ ส่วนพวกอุกกาบาตที่มีอัตราเร็วต่ำกว่าอัตราเร็วหลุดพ้นจะมีวงโคจรเป็นวงรีและนับเป็นสมาชิกของระบบสุริยะ อัตราเร็วที่กล่าวถึงนี้เป็นอัตราเร็วของอุกกาบาตที่วัดได้และหักออกด้วยส่วนที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของแรงโน้มถ่วงของโลกเสียก่อน ในการวัดอัตราเร็วของอุกกาบาตจริง ๆ เป็นการยากมากที่เราจะแยกพวกอุกกาบาตไฮเปอร์โบลิตออกจากพวกอุกกาบาตวงโคจรเป็นวงรี ทั้งนี้เพราะว่าอุกกาบาตที่มีวงโคจรเป็นวงรีขนาดพอสมควรนั้น มีอัตราเร็วใกล้เคียงกับอัตราเร็วหลุดพ้นและไม่ต่างกันเท่าใดนัก ตัวอย่างเช่น อุกกาบาตที่มีวงโคจรวงรีขนาด 9 AU จะมีอัตราเร็วต่ำกว่าอัตราเร็วหลุดพ้นไม่ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ และยังมีอุกกาบาตอีกเป็นจำนวนมากที่เมื่อวัดอัตราเร็วแล้วไม่อาจแน่ใจได้ว่าเป็นพวกที่มีวงโคจรเป็นวงรีหรือเป็นไฮเปอร์โบลากันแน่

การคำนวณหาเส้นทางโคจรของอุกกาบาตที่ปรากฏสว่างวาบในบรรยากาศทำได้โดยใช้วิธีของรูปสามเหลี่ยม มีสถานีตรวจอุกกาบาตสองแห่งอยู่ห่างกันราว 30 กิโลเมตร ซึ่งไกลพอที่จะใช้ระยะทางนี้เป็นฐานของรูปสามเหลี่ยม และใกล้พอที่จะเห็นอุกกาบาตชิ้นเดียวกันจากสถานีทั้งสองแห่งนี้ได้พร้อมกัน เมื่อได้ถ่ายภาพของอุกกาบาตโดยมีดาวต่าง ๆ เป็นพื้นหลัง และนำภาพถ่ายทั้งสองมาเปรียบเทียบเคียงกันด้วยวิธีสังเกตพารัลแลกซ์ ซึ่งได้จากการที่อุกกาบาตปรากฏอยู่ในที่ต่างกัน ก็อาจคำนวณหาความสูงของอุกกาบาตนั้นได้ จากการสังเกตด้วยวิธีนี้พบว่าอุกกาบาตจะเริ่มปรากฏเป็นแสงสว่างที่ระดับความสูงราว 100 กิโลเมตร และจะสว่างมากลงมาถึงระดับความสูง 55 กิโลเมตรหรือต่ำกว่านั้นอีก สำหรับอุกกาบาตที่มีมวลน้อยหรือขนาดเล็กมากจะปรากฏแสงค่อนข้างจางและจะหรี่แสงจนหายไปที่ระดับราว 80 กิโลเมตร ที่ระดับความสูงก่อนลงมาถึงระดับ 100 กิโลเมตรนั้นบรรยากาศมีความหนาแน่นไม่พอทำให้อุกกาบาตเสียดสีจนลุกเป็นไฟได้ ส่วนอุกกาบาตที่มีมวลมากจะใช้เวลานานในการลุกไหม้กว่าที่เนื้อสารของมันกลายเป็นไอหมดไป

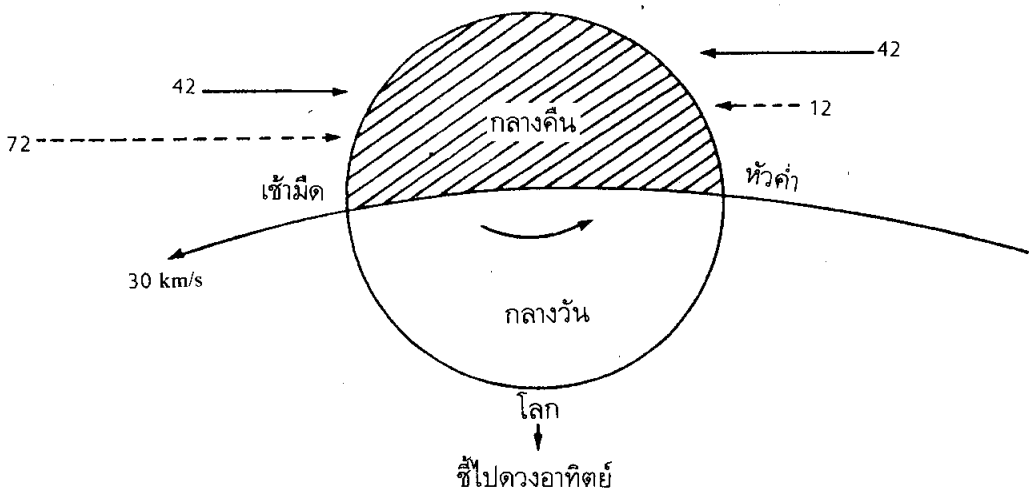
วิธีการหาอัตราเร็วของอุกกาบาตกระทำได้ดังนี้ คือ

(1) คำนวณหาอัตราเร็วเฉลี่ยโดยใช้ความยาวของเส้นทางที่ถ่ายภาพได้หารด้วยระยะเวลาที่อุกกาบาตปรากฏเคลื่อนที่ไป

(2) ใช้กล้องถ่ายภาพชนิดพิเศษที่มีอุปกรณ์ตัดแสงหน้ากล้องเป็นระยะ ๆ สม่ำเสมอแต่รวดเร็วมาก เป็นผลทำให้เส้นทางเดินของอุกกาบาตในฟิล์มถูกตัดขาดเป็นช่วง ๆ แต่ละตอนจะมีเวลาเท่า ๆ กัน จากภาพที่ได้นำไปคำนวณความเร็วของอุกกาบาตนั้นได้อย่างละเอียด

(3) นอกจากนี้ยังใช้คลื่นวิทยุตรวจสอบทางเดินของอุกกาบาตที่วิ่งผ่านไป โดยอาศัยหลักการที่ว่า ในขณะเมื่ออุกกาบาตวิ่งเข้ามาในบรรยากาศได้เผาไหม้หลอมละลายกลายเป็นไอ พลังงานส่วนหนึ่งของอุกกาบาตได้ทำให้อะตอมของธาตุในบรรยากาศแตกตัวเป็นไอออนเป็นจำนวนมาก ดังนั้นบนเส้นทางซึ่งอุกกาบาตได้วิ่งผ่านไปจะมีไอออนลอยตัวอยู่เป็นกลุ่มและจะค่อย ๆ กระจัดกระจายไปหลังจากถูกกระแสอากาศพัดพาในเวลาต่อมาภายหลัง หรืออาจจะมีบางส่วนรวมตัวกันกลับมาเป็นอะตอมปกติอย่างเดิม แต่ในขณะที่ไอออนยังปรากฏหนาแน่นอยู่บนเส้นทางหมอกนั้นมันมีสมบัติสะท้อนคลื่นวิทยุได้ดีมาก ดังนั้นนักดาราศาสตร์จึงใช้หลักการเดียวกับเรดาร์ โดยส่งคลื่นวิทยุไปสะท้อนที่กลุ่มไอออนนี้แล้วตรวจสอบลักษณะของคลื่นที่สะท้อนกลับมา ก็จะทราบถึงแนวทางและอัตราเร็วของอุกกาบาตได้ การใช้คลื่นวิทยุนี้สะดวกกว่าวิธีใช้กล้องส่องหรือถ่ายภาพมาก และเป็นวิธีที่ทำได้ตลอดเวลาไม่ว่าจะเป็นเวลากลางวันหรือเวลากลางคืนก็ตาม

เนื่องจากโลกเคลื่อนที่โคจรรอบดวงอาทิตย์ด้วยความเร็ว 30 กิโลเมตร/วินาที และคิดว่าอุกกาบาตมีอัตราเร็วไม่เกินอัตราเร็วหลุดพ้นคือ 42 กิโลเมตร/วินาที ดังนั้นอุกกาบาตจะเข้ามาสู่บรรยากาศของโลกด้วยความเร็วสัมพัทธ์ตั้งแต่ 12 ถึง 72 กิโลเมตร/วินาที และส่วนใหญ่จะปรากฏให้เห็นหลังเที่ยงคืนมากกว่าก่อนเที่ยงคืน ทั้งนี้เพราะว่าโลกมีการหมุนรอบตัวเองและโคจรไปรอบ ๆ ดวงอาทิตย์ด้วย ซีกโลกด้านที่เป็นช่วงก่อนเที่ยงคืนจะได้รับแต่พวกอุกกาบาตที่วิ่งเร็วกว่าโลกและวิ่งตามทันโลกเท่านั้น โดยวิ่งมาชนโลกได้จากข้างหลังความเร็วสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับโลกจะไม่เกิน 42−30 = 12 กิโลเมตร/วินาที แต่ซีกโลกด้านที่ถัดเที่ยงคืนไป โลกจะเคลื่อนที่ไปชนอุกกาบาตเกือบทุกชิ้นที่พุ่งสวนทางกับโลกมาด้วยความเร็วสัมพัทธ์เมื่อเทียบกับโลกไม่เกิน 42 + 30 = 72 กิโลเมตรต่อวินาที ยกเว้นอุกกาบาตชิ้นที่วิ่งเร็วกว่าโลกและโคจรไปในทิศทางเดียวกันปริมาณรวมเฉลี่ยแล้วจึงมากกว่า



รูป 8.9 ความเร็วของอุกกาบาต อุกกาบาตไม่สามารถมีความเร็วมากกว่าความเร็วหลุดพ้นที่วงโคจรของโลก หรือ 42 km/s ได้ ในตอนหัวค่ำอุกกาบาตจะต้องวิ่งตามโลก แต่หลังเที่ยงคืนโลกจะวิ่งตามและกวาดเก็บอุกกาบาตไว้ได้เกือบหมด ยกเว้นตัวที่มีความเร็วสูงมาก เราจึงเห็นจำนวนอุกกาบาตหลังเที่ยงคืนมีมากกว่าก่อนเที่ยงคืน

อุกกาบาตขนาดใหญ่หลังจากเสียดสีกับบรรยากาศของโลกและลุกเป็นไฟตกลงมาจะเหลือมวลขนาดมากอยู่ และเมื่อตกลงมาชนกับผิวโลกทำให้เกิดเป็นหลุมขึ้น แต่อุกกาบาตขนาดจิ๋วประมาณ 0.5 ถึง 200 ไมครอน (μ) ซึ่งมีจำนวนมากมาย จะไม่เสียดสีกับบรรยากาศมากนัก แต่จะลอยไปมาและเมื่อตกลงปกคลุมผิวโลกในอัตรา 10^5 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อคิดว่ามวลที่เพิ่มขึ้นนี้จะทับถมพื้นดินของโลกให้สูงขึ้นได้ไม่เกินหนึ่งนิ้วในเวลาสองพันล้านปี อุกกาบาตทั้งหมดเมื่อเราแบ่งตามองค์ประกอบของมันจะมีอยู่ 3 ประเภทคือ (1) ประเภทหินซึ่งมีความหนาแน่นต่ำสุด แต่มีปริมาณมากที่สุด (2) ประเภทหิน-เหล็ก ซึ่งมีองค์ประกอบของหินแทรกอยู่ในเนื้อเหล็ก และ (3) ประเภทเหล็กซึ่งมีความหนาแน่นสูงมาก

8.6 ฝุ่นระหว่างดาวเคราะห์

อุกกาบาตขนาดเล็กมาก ๆ อาจเรียกเป็นฝุ่นระหว่างดาวเคราะห์ (Interplanetary Dust) ซึ่งมีขนาดตั้งแต่ 1 ถึง 100 ไมครอน (μ) ฝุ่นพวกนี้เราไม่อาจจะมองเห็นได้ถ้ามันไม่เข้ามาเสียดสีกับบรรยากาศของโลกและลุกเป็นไฟ ฝุ่นเหล่านี้อาจมาจากหางฝุ่นของดาวหางและมาเกาะอยู่รอบ ๆ ดาวเคราะห์เนื่องจากแรงดึงดูดของดาวเคราะห์ ดังเช่นกลุ่มฝุ่นที่อยู่ล้อมรอบโลกและดาวอังคารซึ่งถูกค้นพบจากยานอวกาศมารีเนอร์ (Mariner) ถ้ากลุ่มฝุ่นบางส่วนอยู่กันอย่างหนาแน่นในระนาบสุริยวิถี แสงอาทิตย์ที่สะท้อนจากกลุ่มฝุ่นดังกล่าวจะปรากฏให้เราเห็นเป็นแสงเรืองในท้องฟ้า เรียกว่า แสงจักรราศี (Zodical Light) แสงเรืองนี้จะเป็นแถบจาง ๆ ไปรอบระนาบสุริยวิถี ลักษณะเป็นลำกรวยตั้งขึ้นมาจากทางขอบฟ้าในแนวระนาบสุริยวิถี มีความสว่างมากที่สุดและแผ่กว้างที่สุดตรงบริเวณดวงอาทิตย์ และจะมีความเข้มลดลงไปตามระยะทางจากดวงอาทิตย์ แสงเรืองนี้จะกลับไปสว่างเข้มขึ้นอีกตรงขอบฟ้าตะวันตกที่ตำแหน่งมุมตรงกันข้ามกับดวงอาทิตย์ เรียกว่า แสงตรงข้าม (Counterglow) ซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของฝุ่นที่จุดลากรานเจียนและเป็นจุดเสถียรของระบบโลก-ดวงอาทิตย์ ฝุ่นระหว่างดาวเคราะห์เหล่านี้เชื่อว่าเกิดจากการสลายตัวของดาวหาง และอาจเกิดจากการชนกันของดาวเคราะห์น้อย แต่มันจะถูกกำจัดไปตลอดเวลาด้วยกรรมวิธีทางฟิสิกส์สองอย่างคือ (1) ความดันรังสี (Radiation Pressure) และ (2) ปรากฏการณ์พอยน์ติง-โรเบิร์ตสัน (Poynting-Roberson Effect)

(1) ความดันรังสี เกิดขึ้นจากรังสีแม่เหล็กไฟฟ้ามีโมเมนตัมฟลักซ์ของโมเมนตัม P สามารถคิดจากฟลักซ์พลังงาน F ได้คือ

$$P = \frac{F}{c} \tag{8.15}$$

เมื่อ c คือความเร็วแสง

ถ้ารังสีจากดวงอาทิตย์มีอันตรกิริยากับอนุภาคที่มีพื้นที่ภาคตัดเป็น A ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมของอนุภาคหรือแรงดันรังสี (Radiation Force) เป็น

$$F_R = PA$$
$$= \frac{FA}{c} \tag{8.16}$$

จากความสัมพันธ์ของฟลักซ์พลังงาน

$$F = \left(\frac{R_\odot}{d} \right)^2 \sigma T_\odot^4 \tag{8.17}$$

โดยที่ d คือระยะทางจากดวงอาทิตย์ถึงอนุภาค

และกำหนดให้ $A = \pi r^2$ (8.18)

เมื่อ r คือรัศมีของอนุภาค

เราจะได้แรงดันรังสีผลักอนุภาคออกจากดวงอาทิตย์เป็น

$$F_R = \frac{\pi \sigma r^2 R_\odot^2 T_\odot^4}{cd^2} \tag{8.19}$$

ดวงอาทิตย์จะดึงดูดอนุภาคด้วยแรง

$$F_G = \frac{GM_\odot}{d^2} \frac{4\pi r^2}{3} \rho \tag{8.20}$$

ในที่นี้ ρ คือความหนาแน่นของอนุภาคมีหน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร อัตราส่วนระหว่างแรงดันรังสี ต่อแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ มีค่าเป็น

$$\frac{F_R}{F_G} = \frac{3\sigma R_\odot^2 T_\odot^4}{4cGM_\odot \rho r} \tag{8.21}$$

$$= \frac{5.78 \times 10^{-5}}{\rho r}$$

ถ้าความหนาแน่นของอนุภาค $\rho \approx 1 \rightarrow 6$ กรัม/ซม^3 และ $r \approx 0.1 \rightarrow 1$ ไมครอน ดังนั้น $F_R = F_G$ นั่นแสดงว่าอนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 μ จะถูกแรงดันรังสีพัดออกจากระบบสุริยะ แต่สำหรับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 μ จะมี $F_G >> F_R$ ดังนั้นอนุภาคจะถูกดึงดูดเข้าหาดวงอาทิตย์ กรณีนี้เรียกว่าเกิดปรากฏการณ์พอยน์ติงโรเบิร์ตสัน ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

อนุภาคขณะโคจรรอบดวงอาทิตย์จะได้รับรังสีจากแสงอาทิตย์ที่ตกเฉียงเข้ามาจากทางด้านหน้า เกิดจากการคลาดทิศของแสง ถ้ากำหนดให้อัตราเร็วของอนุภาคในวงโคจรรูปวงกลมเป็น v มุมระหว่างทิศที่รังสีตกกระทบกับเส้นรัศมีจากดวงอาทิตย์จะเป็น

$$\theta = \frac{v}{c} \tag{8.22}$$

ดังนั้นแรงดันรังสีในทิศทางตรงกันข้ามกับความเร็วของอนุภาคจะเป็น

$$F_R \sin\theta \approx F_R\theta \approx \frac{v}{c}F_R \tag{8.23}$$

แรงนี้ต้องเท่ากับแรงที่ทำให้อนุภาคโคจรตกลงไปสู่ดวงอาทิตย์เป็นรูปวงก้นหอย ความเร็วในวงโคจรรูปวงกลมซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$v^2 = \frac{GM_\odot}{d} \tag{8.24}$$

ดังนั้น เมื่อเราหาพลังงานของอนุภาครวมทั้งหมดจะมีค่าเป็น

$$\begin{aligned} KE + PE &= \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GM_\odot m}{d} \\ &= \frac{1}{2}\frac{GM_\odot m}{d} - \frac{GM_\odot m}{d} \\ &= -\frac{1}{2}\frac{GM_\odot m}{d} \end{aligned} \tag{8.25}$$

อัตราการลดของพลังงานรวมมีค่าเป็น

$$-\frac{d}{dt}\left(-\frac{1}{2}\frac{GM_\odot m}{d}\right) = \frac{1}{2}\frac{GM_\odot m}{d^2}\frac{dd}{dt} \tag{8.26}$$

สมการ (8.26) จะต้องเท่ากับอัตราการทำงานของแรงดันรังสีในสมการ (8.23) ซึ่งหาได้เป็น

$$\begin{aligned} \frac{v}{c}F_R \cdot v &= \frac{v^2}{c}F_R \\ &= \frac{v^2}{c}\frac{\pi\sigma r^2 R_\odot^2 T_\odot^4}{cd^2} \\ &= \frac{\pi\sigma r^2 R_\odot^2 T_\odot^4}{c^2 d^2}v^2 \\ &= \frac{\pi\sigma r^2 R_\odot^2 T_\odot^4 GM_\odot}{c^2 d^3} \end{aligned} \tag{8.27}$$

สมการ (8.27) ต้องเท่ากับสมการ (8.26) นั่นคือ

$$-\frac{1}{2}\frac{GM_\odot m}{d^2}\frac{dd}{dt} = \frac{\pi\sigma r^2 R_\odot^2 T_\odot^4 GM_\odot}{c^2 d^3}$$

$$-\frac{1}{2}m\frac{dd}{dt} = \frac{\pi\sigma r^2 R_\odot^2 T_\odot^4}{c^2 d}$$

$$\int_d^{\circ} -\frac{1}{2}\frac{mc^2 d}{\pi\sigma r^2 R_{\odot}^2 T_{\odot}^4}\,dd = \int_0^t dt$$

$$\frac{1}{4}\frac{mc^2 d^2}{\pi\sigma r^2 R_{\odot}^2 T_{\odot}^4} = t$$

หรือ

$$t = \frac{1}{4}\frac{c^2}{\pi\sigma R_{\odot}^2 T_{\odot}^4 r^2}\rho\frac{4}{3}\pi r^3 d^2$$

$$= \frac{c}{3\sigma R_{\odot}^2 T_{\odot}^4}\rho r d^2$$

$$= 7\times 10^6\ \rho r d^2 \qquad \text{ปี} \tag{8.28}$$

โดยที่ d คือระยะทางที่อนุภาคเริ่มต้นอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ คิดเป็นหน่วยดาราศาสตร์ ตัวอย่างเช่น อนุภาคฝุ่นที่มีขนาดรัศมี $r = 1\mu$ และมีความหนาแน่นเป็น $\rho = 4.3$ กรัม/ซม.^{3} จะตกลงสู่ดวงอาทิตย์เริ่มจากระยะทาง 1 AU ใช้เวลาเท่ากับ

$$t = 7\times 10^6 \times 4.3\times 10^{-4}\times 1^2 \qquad \text{ปี}$$
$$= 3{,}000 \text{ ปี}$$

ถ้าให้ t มีอายุเท่ากับอายุของระบบสุริยะ คือ 4.5×10^9 ปี และอนุภาคฝุ่นมีความหนาแน่นเท่าเดิม อยู่ที่ระยะเริ่มต้นเท่ากับ 40 หน่วยดาราศาสตร์ จะต้องมีขนาดเท่าไรที่ทำให้ตกลงสู่ดวงอาทิตย์ด้วยเวลานี้พอดี ดังนั้นอาศัยจากสมการ (8.28)

$$r = \frac{t}{7\times 10^6 \rho d^2}$$

$$= \frac{4.5\times 10^9}{7\times 10^6\times 4.3\times 40^2} \qquad \text{ซม.}$$

$$\approx 10^{-1} \text{ หรือ } 1 \text{ มิลลิเมตร}$$

นั่นคืออนุภาคฝุ่นที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตรจะตกลงสู่ดวงอาทิตย์หมดไม่เหลือให้เห็นในปัจจุบัน จึงเป็นอันว่าทั้งความดันรังสี และปรากฏการณ์พอยน์ติง-โรเบิร์ตสันจะทำให้ฝุ่นทั้งหมดที่มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตรถูกกำจัดให้หมดไปจากระบบสุริยะ

8.7 ทฤษฎีการกำเนิดระบบสุริยะ

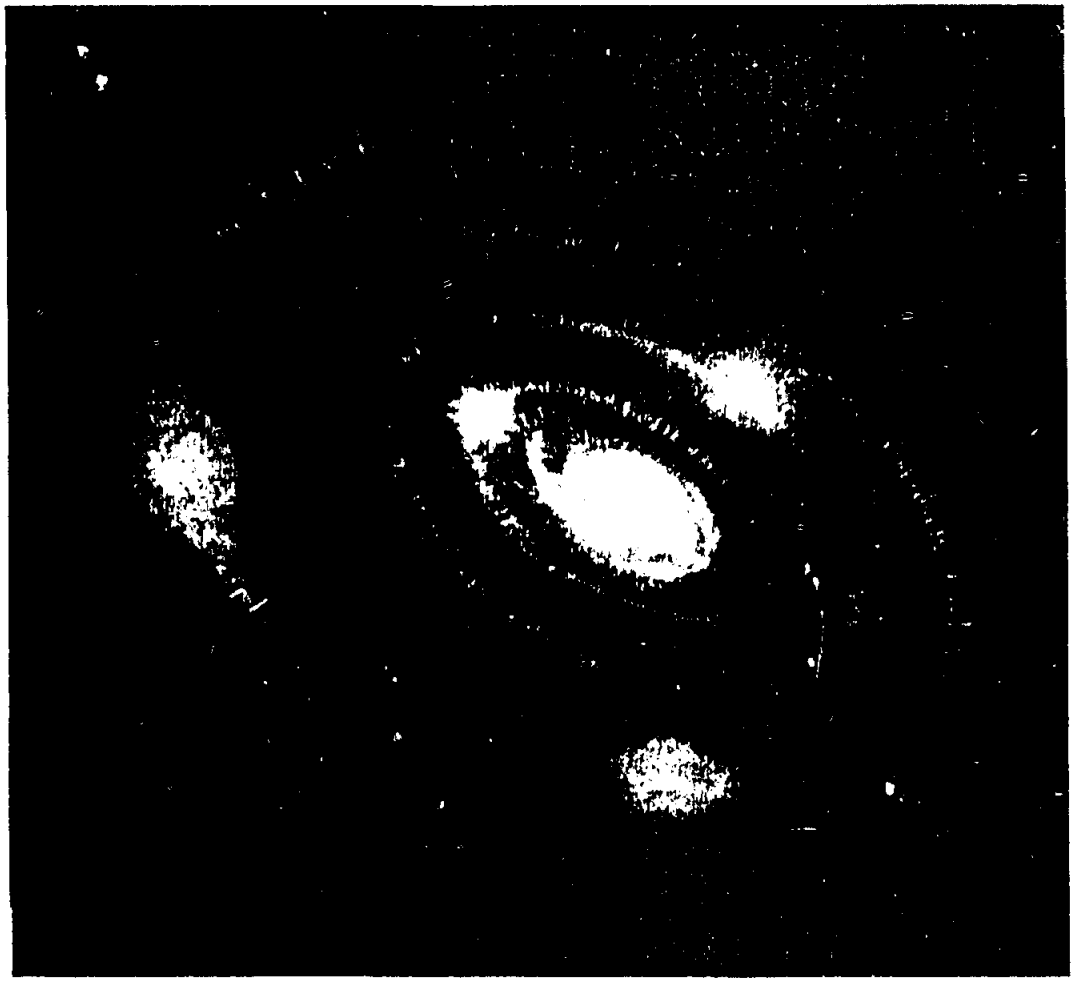
ในการเสนอทฤษฎีเกี่ยวกับการเกิดและวิวัฒนาการของระบบสุริยะนั้นนักดาราศาสตร์จะต้องพิจารณาเกี่ยวกับสภาพต่าง ๆ ของระบบสุริยะซึ่งเป็นอยู่ในปัจจุบันด้วย เช่น การเรียงตัวอย่างมีระเบียบ และการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์และดาวเคราะห์น้อย โมเมนตัมเชิงมุมของระบบสุริยะไปอยู่ที่ดาวเคราะห์มากกว่าอยู่ที่ดวงอาทิตย์ เป็นต้น ทฤษฎีว่าด้วยกำเนิดของระบบสุริยะ แบ่งออกได้เป็น 2 แนวทางด้วยกันคือ

1. ทฤษฎีระบบสุริยะเกิดขึ้นโดยการวิวัฒนาการอย่างมีระบบ
2. ทฤษฎีระบบสุริยะเกิดขึ้นจากอุบัติการรุนแรง

ทฤษฎีที่ว่าระบบสุริยะเกิดขึ้นโดยการวิวัฒนาการอย่างมีระบบได้รับความสนใจจากนักดาราศาสตร์มากกว่า ตัวอย่างของทฤษฎีในแนวทางแรกคือ **ทฤษฎีการกำเนิดของระบบสุริยะของลาปลาซ์ (Pierre Simon Laplace)** ซึ่งเป็นนักคณิตศาสตร์ที่มีชื่อเสียงมากของฝรั่งเศส ได้ตีพิมพ์หนังสือดาราศาสตร์เล่มหนึ่งเมื่อปี ค.ศ. 1796 ลาปลาซได้เขียนย่อ ๆ ถึงการกำเนิดของระบบสุริยะว่า อาจเกิดจากการรวมตัวของแก๊สเนบิวลา ซึ่งห่อหุ้มดวงอาทิตย์อยู่ โดยในสมัยดั้งเดิมดวงอาทิตย์อยู่ในสภาพเป็นมวลสารของแก๊ส มีรูปร่างเป็นจานแบนคล้ายกับจานที่นักกีฬาใช้ขว้างที่เรียกว่าขว้างจักร (Discus-shape) ขนาดมหึมาปกคลุมบริเวณเลยขอบนอกวงโคจรของดาวเคราะห์วงนอกสุด และมีการหมุนรอบตัวเองอย่างช้า ๆ ในทิศทางที่เป็นทิศทางโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์ในปัจจุบัน เมื่อกลุ่มแก๊สเหล่านี้ขณะหมุนรอบตัวเองจะหดตัวลงเนื่องจากแรงดึงดูดของมวลแก๊ส ทำให้อัตราของการหมุนรอบตัวของวงโคจรของแก๊สมีความเร็วสูงยิ่งขึ้น จนในที่สุดแรงหนีศูนย์กลางมีมากพอที่จะเหวี่ยงให้มวลสารที่ขอบของกลุ่มแก๊สหลุดออกเป็นวงแหวน วงแหวนนี้จะค่อย ๆ รวมตัวกันเข้าเป็นรูปทรงกลมและได้กลายเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่งในที่สุด มวลสารของแก๊สที่เหลืออยู่จะหมุนต่อไปและก็จะเหวี่ยงวงแหวนหลุดออกมาอีกเป็นชั้น ๆ และทำให้เกิดดาวเคราะห์ขึ้นมาทีละดวง ๆ แต่ละดวงที่ถัดมามีวงโคจรเล็กลงตามลำดับ ขนาดของวงโคจรไม่เท่ากันตลอด ดวงจันทร์ของดาวเคราะห์จะเกิดขึ้นจากการหดตัวของดาวเคราะห์ ดาวหางและอุกกาบาตเกิดขึ้นจากเศษหลงเหลือระหว่างการเกิดของดาวเคราะห์ดวงต่าง ๆ ดวงอาทิตย์ในปัจจุบันก็คือมวลสารของแก๊สดั้งเดิมที่หลงเหลือจากการให้กำเนิดของดาวเคราะห์แล้ว

ทฤษฎีของลาปลาซในปัจจุบันพบว่าไม่ถูกต้องกับหลักวิชากลศาสตร์สมัยใหม่ กล่าวคือประการแรกวงแหวนที่เกิดขึ้นตามข้อสมมติฐานของลาปลาซจะไม่มีโอกาสรวมตัวเป็นดาวเคราะห์ได้เลย แต่ละกลับรวมตัวกันเป็นชิ้นอุกกาบาตจำนวนมากมาย ดังเช่นปรากฏเป็นวงแหวน

ของดาวเสาร์ หรือไม่ก็รวมตัวกันเข้าเป็นชิ้นวัตถุของดาวเคราะห์น้อย อีกประการหนึ่งการกระจายตัวของโมเมนตัมเชิงมุมของระบบสุริยะเกือบทั้งหมดอยู่ที่ดาวเคราะห์ ซึ่งนักดาราศาสตร์พบว่ามีถึง 98 เปอร์เซ็นต์ ทั้ง ๆ ที่มวลของดาวเคราะห์ทั้งหมดมีเพียง 0.14 เท่าของมวลรวมของระบบสุริยะเท่านั้น และตามทฤษฎีของลาปลาซโมเมนตัมเชิงมุมต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอ และดาวเคราะห์ควรจะหมุนโคจรช้ากว่าความเป็นจริงมาก



รูป 8.10 แสดงแบบจำลองการเกิดระบบสุริยะตามทฤษฎีของลาปลาซ ซึ่งเกิดจากกลุ่มแก๊สหมุนรอบตัวอย่างช้า ๆ ตรงบริเวณศูนย์กลางกลายเป็นดวงอาทิตย์ และบริเวณรอบ ๆ กลุ่มแก๊สกลายเป็นดาวเคราะห์

เพื่อตอบปัญหาในเรื่องการเพิ่มของโมเมนตัมเชิงมุมของดาวเคราะห์ จึงมีผู้พยายามอธิบายโดยนำพลังงานจำนวนมากจากภายนอกใส่เข้าไปในระบบสุริยะให้กับบรรดาดาวเคราะห์ทั้งหลาย ซึ่งเป็นแนวทางในทฤษฎีที่สองคือเกิดจากอุบัติการรุนแรงทฤษฎีนี้ได้ให้คำตอบที่ยังตอบไม่ได้ของทฤษฎีของลาปลาซ ทฤษฎีนี้เป็นของนักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษชื่อ เซอร์ เจมส์ จีน (Sir James Jean) โดยกล่าวว่า ดวงอาทิตย์ได้รับแรงดึงดูดจากดาวฤกษ์ดวงหนึ่งซึ่งบังเอิญเดินทางผ่านเข้ามาใกล้ ๆ ในขณะที่ดาวฤกษ์ดวงนั้นผ่านเข้ามาจะส่งแรงดึงดูดมายังผิวของดวงอาทิตย์ และเมื่อดาวดวงนั้นเข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากเพียงพอ มวลสารที่ผิวของดวงอาทิตย์จะถูกดึงพุ่งออกมาอย่างรุนแรงเป็นเส้นทางยาว เมื่อมวลสารได้ขึ้นมาสูงจากพื้นผิวของดวงอาทิตย์ได้ระยะหนึ่งมันจะเริ่มถูกแรงดึงให้เคลื่อนที่ไปทางข้าง ๆ ในทิศทางเดียวกับดาวฤกษ์ดวงนั้นผ่านไป และการเคลื่อนที่ของมวลสารไปในทางข้าง ๆ นี้จะรวดเร็วพอทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางขึ้น มวลสารเหล่านี้ก็จะไม่ตกกลับไปสู่พื้นผิวของดวงอาทิตย์อีกถึงแม้ว่าดาวฤกษ์ดวงนั้นได้ผ่านไปแล้ว ทั้งนี้เพราะแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดขึ้นพอจะต่อต้านแรงโน้มถ่วงจากดวงอาทิตย์ได้ มวลสารบางส่วนมีอัตราเร็วพอที่จะหลุดออกไปสู่อวกาศและไม่กลับมาอีก บางส่วนก็มีอัตราเร็วต่ำและจะถูกดวงอาทิตย์ดูดกลับไปสู่พื้นผิวของดวงอาทิตย์อีก ส่วนที่ตกกลับมายังดวงอาทิตย์นั้นจะตกโดยทำมุมต่าง ๆ ก็อาจมีแรงกระทบผลักดันให้ดวงอาทิตย์เกิดการหมุนรอบตัวเองในทิศทางที่ดาวฤกษ์ดวงนั้นเคลื่อนผ่านไปด้วยมวลสารของดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดออกไปนี้จำนวนหนึ่งจะแตกตัวออกเป็นส่วน ๆ แล้วกลั่นตัวเป็นดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์ในระยะทางต่าง ๆ กัน แต่ทั้งหมดอยู่ในระนาบเดียวกัน ในตอนเริ่มต้นเกิดเหตุการณ์ขึ้นนั้นจะมีสารวัตถุจำนวนมากกระจัดกระจายอยู่ทั่วไป แต่ก็จะค่อย ๆ ถูกกวาดให้ตกลงยังดาวเคราะห์ต่าง ๆ สำหรับสะเก็ดดาวหางและอุกกาบาตก็คือเศษชิ้นส่วนของสารวัตถุที่ยังหลงเหลืออยู่นั่นเอง ทฤษฎีนี้อธิบายการเกิดของระบบสุริยะได้ดีเท่ากับทฤษฎีของลาปลาซเช่นเดียวกัน และดูเหมือนมีจุดอ่อนน้อยกว่า ซึ่งผลของทฤษฎีนี้คล้องจองกับความจริงที่ว่าวงโคจรของดาวเคราะห์ทั้งหลายอยู่ในระนาบเดียวกัน และระนาบการหมุนของดวงอาทิตย์ก็เกือบจะอยู่ในระนาบนี้ด้วย

ทฤษฎีนี้แม้ฟังดูน่าจะเป็นไปได้แต่มีผู้โต้แย้งว่า การที่ดาวฤกษ์ดวงใดดวงหนึ่งจะมาดึงดูดเอาเนื้อสารที่เป็นดาวเคราะห์ในปัจจุบันให้หลุดออกมาจากดวงอาทิตย์ได้นั้น มันจะต้องโคจรเข้ามาใกล้มาก และเมื่อเข้ามาใกล้เช่นนี้ก็ไม่อาจจะให้โมเมนตัมเชิงมุมแก่ดาวเคราะห์ได้มากมายตามที่ปรากฏอยู่ และถ้าหากว่าเผอิญให้โมเมนตัมเชิงมุมได้มาก พวกดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ก็จะได้รับพลังงานมากจนมีอัตราเร็วมากเกินไป และจะโคจรเป็นวงโคจร

ไฮเปอร์โบลาหลุดออกจากแรงดึงดูดของดวงอาทิตย์ไปและไม่กลับเข้ามาอีก

เมื่อทฤษฎีการกำเนิดระบบสุริยะเกิดจากมีดวงดาววิ่งผ่านเข้ามาไม่พบความสำเร็จ **ลิตเติลตัน (R.A. Lyttleton)** จึงได้ปรับปรุงทฤษฎีนี้ใหม่ให้สามารถอธิบายการแผ่กระจายของโมเมนตัมเชิงมุมในระบบสุริยะ โดยกล่าวว่าแต่เดิมนั้นดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ในระบบดาวคู่ โดยมีดวงอาทิตย์อีกดวงหนึ่งอยู่ใกล้ ๆ เรียกว่า ดาวสหาย ต่อมามีดาวฤกษ์อีกดวงหนึ่งวิ่งมาชนหรือเฉียดดาวสหาย ผลก็คือดาวทั้งสองที่ชนกันจะกระเด็นกระจัดกระจายไปคนละทิศคนละทาง แต่ในขณะเดียวกันจะดูดเนื้อสารของแต่ละฝ่ายออกมาเป็นสาย ซึ่งมีมวลสารเพียงพอที่จะรวมตัวเข้าเป็นดาวเคราะห์ได้ โดยมวลสารที่หลุดออกมานี้พวกที่อยู่ใกล้ดาวฤกษ์ทั้งสองจะมีอัตราเร็วมากพอที่จะหลุดออกไปจากดวงอาทิตย์หมด เหลือแต่พวกที่อยู่ระหว่างกลางซึ่งเคลื่อนที่ไม่เร็วนัก จึงถูกดวงอาทิตย์ดึงดูดไว้ให้เป็นบริวารโคจรไปรอบ ๆ ซึ่งอาจจะมีอัตราเร็วมากน้อยเท่าใดก็ได้ ทำให้มีค่าโมเมนตัมเชิงมุมได้ดังเช่นที่ปรากฏตามความเป็นจริงในระบบสุริยะปัจจุบัน

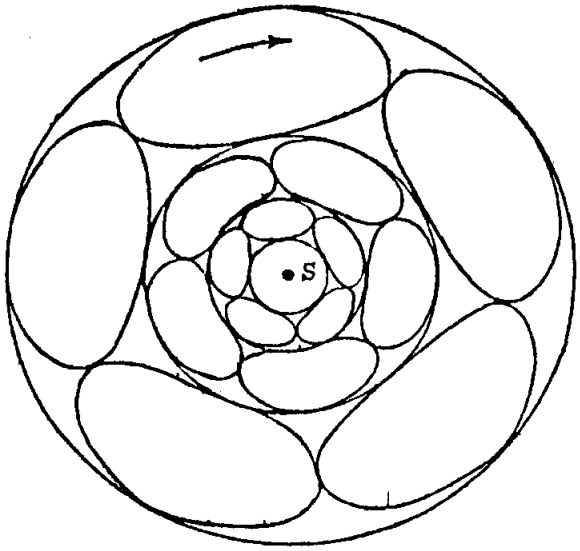
อย่างไรก็ตามทฤษฎีของลิตเติลตันยังมีข้อบกพร่องอยู่ โดย**สปิตเซอร์ (Spitser)** ได้แสดงให้เห็นผลของการคำนวณว่า ในเวลาที่ชนกันนั้นแก๊สที่กระจายออกมาได้พุ่งออกมาจากระดับภายในของดาวฤกษ์และมีอุณหภูมิสูงอย่างน้อยเป็นล้านองศาเซนติเกรด เมื่อแก๊สพุ่งออกมามันจะมีการขยายตัวอย่างรุนแรงและระเบิดเป็นผุยผงแผ่ปกคลุมดาวทั้งสองที่ชนกันเป็นละอองบรรยากาศบาง ๆ จึงดูเป็นการยากที่จะกลั่นตัวเป็นดาวเคราะห์ได้ และนอกจากนี้ดาวแต่ละดวงนั้นยังอยู่ห่างไกลกันมาก โอกาสที่ดาวฤกษ์ทั้งสองจะวิ่งผ่านหรือชนกันได้จึงเป็นสิ่งที่เป็นไปไม่ได้ ดังนั้นทฤษฎีการเกิดระบบสุริยะตามแนวทางที่ 2 ซึ่งกล่าวถึงระบบสุริยะเกิดจากอุบัติการรุนแรงจึงไม่เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป

เมื่อการกำเนิดของระบบสุริยะปฏิเสธไม่ยอมรับแนวทางความเห็นที่ 2 ซึ่งเกิดจากการอุบัติการรุนแรง นักดาราศาสตร์จึงได้หันกลับมามีความเห็นในแนวทางแรกอีก คือ ทฤษฎีที่ว่าระบบสุริยะเกิดขึ้นโดยการวิวัฒนาการอย่างมีระบบตามแนวความคิดของลาปลาซ ทฤษฎีที่มีความคิดเห็นตามแนวของลาปลาซที่สำคัญและมีชื่อเสียงมากเป็นของ**ไวแซกเกอร์ (Weizsacker)** ซึ่งเป็นนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมัน เขามีความเห็นคล้ายกับลาปลาซ แต่เพิ่มเติมเข้าไปว่าดาวเคราะห์นั้นเป็นผลพลอยได้จากการเกิดของดาวฤกษ์ ซึ่งมีหลักฐานแน่นอนและเป็นที่ยอมรับของนักดาราศาสตร์ทั่วโลก

ตามทฤษฎีของไวแซกเกอร์ เขาเริ่มต้นด้วยการเกิดของดาวฤกษ์จากการรวมตัวของกลุ่มแก๊สและฝุ่นซึ่งมีการหมุนวนอย่างรุนแรง หลังจากการกลั่นรวมตัวดาวฤกษ์ซึ่งเกิดขึ้น

อยู่ในท่ามกลางมวลสารของฝุ่นและแก๊สจะมีรูปร่างเหมือนจานแบน มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณเท่า ๆ กับเส้นผ่าศูนย์กลางของระบบสุริยะในปัจจุบัน และมีอุณหภูมิประมาณเท่ากับอุณหภูมิของดาวเคราะห์ที่อยู่ในระยะทางเดียวกันในปัจจุบัน อนุภาคในกลุ่มแก๊สและฝุ่นต่างก็มีวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ พวกที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าจะมีการเคลื่อนที่เร็วกว่า ทำให้มีการกระแทกซึ่งกันและกันหรือเกิดการเสียดสีขึ้นในระหว่างกลุ่มแก๊สที่อยู่ใกล้กันกลายเป็นสสารก้อนใหญ่ขึ้นต้านทานการเคลื่อนที่นี้ และจะมีผลทำให้สสารโคจรเกือบเป็นวงกลม ในขณะเดียวกันจะทำให้มวลสารในสสารกระจัดกระจายไปทั่ว และส่วนใหญ่จะค่อย ๆ กระจัดกระจายไปในอวกาศ

ส่วนสำคัญของทฤษฎีไวแซกเกอร์ก็คือ ในสภาพที่เหมาะสมการกระจัดกระจายของแก๊สและฝุ่นนี้ อาจก่อให้เกิดวังวน (Vortexes) ที่มีเสถียรภาพสูงขึ้น หลังจากนั้นต่อมาวังวนที่เกิดขึ้นจะเติบโตขึ้นจนมีขนาดพอเหมาะแล้วแต่ระยะทางจากศูนย์กลางของมันถึงดวงอาทิตย์ ไวแซกเกอร์พบว่าจำนวนวังวนที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพดีที่สุดจะเท่ากับ 5 กลุ่ม หมุนรอบจุดศูนย์กลาง 5 จุดแผ่กระจายออกไปทั่วระบบสุริยะ โดยมีระยะห่างเท่ากันจากดวงอาทิตย์เป็นชุด ๆ ตามรูป 8.11



รูป 8.11 แสดงแผนภาพวังวนซึ่งเกิดขึ้นภายในกลุ่มแก๊สและฝุ่นที่หมุนรอบดวงอาทิตย์ ทิศทางของการหมุนในวังวนตรงกันข้ามกับทิศที่มันโคจรไปรอบดวงอาทิตย์

ไวแซกเกอร์แสดงให้เห็นว่าตรงบริเวณระหว่างวังวนแตะกันจะมีการเคลื่อนไหวรุนแรงที่สุด และจะปรากฏเป็นจุดหมุนเล็ก ๆ มีการหมุนอย่างรวดเร็วในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นลูกปืนรองรับให้วังวนใหญ่หมุนกลับทาง ไวแซกเกอร์เชื่อว่าดาวเคราะห์ทั้งหลาย

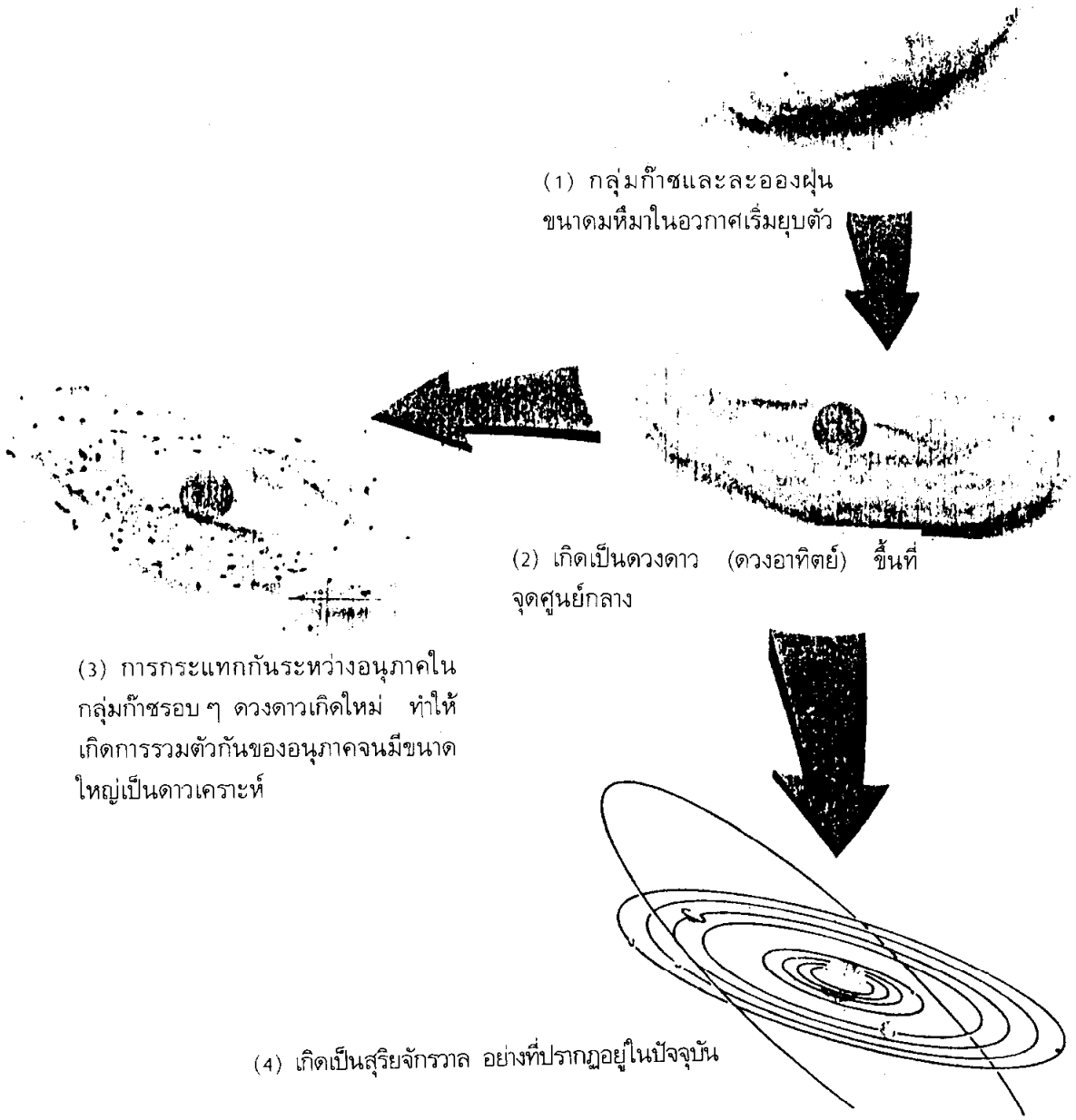
จะเกิดขึ้นตรงขอบของวังวนที่แตะกันนี้ โดยมีอนุภาคของแก๊สและฝุ่นมาชนกันและรวมตัวกันเป็นชิ้นใหญ่ จากทฤษฎีนี้วังวนที่เกิดขึ้นจะเรียงตัวกันเป็นระยะห่างจากดวงอาทิตย์พอเหมาะที่จะทำให้ดาวเคราะห์เกิดขึ้นตรงตำแหน่งตามกฎของโบดพอดี

เมื่อดาวเคราะห์สองดวงที่เกิดขึ้นมาใหม่ ๆ เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กัน จะมีแรงดึงดูดต่อกันจนทำให้ดาวเคราะห์ทั้งสองรวมกันกลายเป็นดาวเคราะห์ขนาดใหญ่ได้ ในบางกรณีดาวเคราะห์ดวงหนึ่งอาจจับดาวเคราะห์อีกดวงหนึ่งด้วยแรงโน้มถ่วง จนดาวเคราะห์อีกดวงหนึ่งกลายเป็นบริวารหมุนรอบดาวเคราะห์ตลอดไป อย่างเช่น โลกกับดวงจันทร์ของเราเป็นต้น ระบบสุริยะจึงมีรูปร่างอย่างที่ปรากฏในปัจจุบัน

แก๊สที่มีน้ำหนักเบาน้อยที่สุดส่วนใหญ่ได้แก่แก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียมแผ่กระจายออกไปทั่วระบบสุริยะก่อนที่จะรวมตัวกันเป็นดาวเคาะห์ แต่สสารที่มีน้ำหนักมากยังคงอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์วงใน ด้วยเหตุนี้เองดาวเคราะห์ด้านในที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์จึงเป็นเทห์วัตถุแข็งมากกว่าดาวเคราะห์ด้านนอก ซึ่งเป็นดาวเคราะห์ขนาดใหญ่แต่มีมวลส่วนใหญ่ประกอบด้วยแก๊สเป็นส่วนสำคัญ แก๊สบางส่วนที่ยังหลงเหลืออยู่จากการเกิดระบบสุริยะจะรวมตัวกับดาว-เคราะห์ขณะเกิดใหม่ ๆ กลายเป็นบรรยากาศของดาวเคราะห์แบบดึกดำบรรพ์ คือมีแก๊ส-ไฮโดรเจนและฮีเลียมเป็นองค์ประกอบสำคัญ ดาวพฤหัสบดีและดาวเสาร์อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์มากจึงมีอุณหภูมิต่ำ ยังคงมีสภาพบรรยากาศแบบสมัยดึกดำบรรพ์เหมือนเมื่อแรกเริ่ม ซึ่งอาจจะเหมือนบรรยากาศของโลกสมัย 4,600 ล้านปีมาแล้ว

ดวงอาทิตย์ขณะเกิดใหม่ ๆ มีความร้อนครั้งแรกเกิดจากการเสียดสีของสสารต่อมาจึงได้วิวัฒนาการจนได้รับความร้อนจากพลังงานปฏิกิริยานิวเคลียร์ที่บริเวณศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ แล้วส่งผ่านออกมาสู่ที่ผิว หลังจากนั้นจึงแผ่กระจายออกสู่อวกาศรอบตัว ความร้อนจากดวงอาทิตย์ทำให้บรรยากาศของโลกสมัยดึกดำบรรพ์ค่อย ๆ ระเหยออกไปจากผิวโลก ในขณะเดียวกันภูเขาไฟของโลกได้พ่นแก๊สที่มีน้ำหนักมากออกมาจากภายในของโลก แก๊สเหล่านี้ได้กลายเป็นบรรยากาศครั้งที่ 2 ของโลก บรรยากาศแก๊สที่ถูกภูเขาไฟพ่นออกมาในระยะแรก ๆ มีละอองไอน้ำเป็นส่วนสำคัญ ดังนั้นจึงทำให้มีฝนตกลงมาจนกลายเป็นธารน้ำไหลและปรากฏเป็นท้องทะเลบนผิวโลกในที่สุด ความร้อนจากภายในของโลกที่ถูกปล่อยออกมาเช่นนี้อาจจะเกิดขึ้นกับดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ รวมทั้งในดวงจันทร์ของเราด้วย ผิวขรุขระที่เกิดขึ้นบนดวงจันทร์ ดาวอังคาร และดาวพุธ เป็นหลักฐานที่แสดงให้เห็นว่า เมื่อสมัยดึกดำบรรพ์นั้นเศษหลงเหลือของสสารจากการเกิดระบบสุริยะภายหลังเกิดดาวเคราะห์ขึ้นแล้วได้วิ่งชนกับผิวของดวงจันทร์ ดาวพุธ และดาวอังคาร โลกของเราก็โดนเศษสสารเหล่านี้วิ่งชนเช่นกัน ซึ่ง

ส่วนใหญ่เป็นอุกกาบาตจะถูกเผาไหม้หมดไปในชั้นบรรยากาศของโลก และหลงเหลือมาถึงผิวโลกไม่มากนัก และเนื่องจากการสึกกร่อนของผิวโลกในยุคต่อ ๆ มา ทำให้ผิวโลกราบเรียบขึ้นตามเวลาผ่านไป การวิ่งชนของอุกกาบาตต่อบรรยากาศของโลกและต่อดาวเคราะห์อื่น ๆ ยังคงมีอยู่ตลอดเวลาแม้ในปัจจุบันนี้ (ดูในเรื่องอุกกาบาต)



รูป 8.12 แสดงการเกิดระบบสุริยะตามทฤษฎีปัจจุบัน ซึ่งเป็นผลจากหลักฐานของการวิจัยสมัยใหม่

แบบฝึกหัดที่ 8

8.1 ถ้าเราอาศัยอยู่บนดาวศุกร์

(ก) เราจะถือว่าดาวเคราะห์ดวงไหนเป็นดาวเคราะห์วงใน และดาวเคราะห์ดวงไหนเป็นดาวเคราะห์วงนอก

(ข) จงหาค่ามุมห่างสูงสุดของดาวศุกร์ และโลก (โดยใช้ข้อมูลจากภาคผนวก)

(ค) จงหาคาบโลกาคติ (Synodic Period) ของการโคจรของโลก

8.2 จงพิสูจน์ว่าดวงจันทร์ของเราโคจรตามกฎข้อที่ 3 ของเคเปลอร์ และให้หามวลของโลก

8.3 ยานอวกาศที่มีมวล 2×10^3 กิโลกรัม จะหนักเท่าไรบนผิวดวงจันทร์และผิวโลก

8.4 จงหาน้ำหนักของยานอวกาศนี้ที่เส้นศูนย์สูตรและที่ขั้วของดาวอังคาร โดยคำนึงถึงการหมุนของดาวอังคารด้วย

8.5 จงหาคาบโลกาคติแห่งการหมุนของดาวพฤหัสบดี

0.6 เมื่อดาวพฤหัสบดีอยู่ในตำแหน่งมุมตรงข้าม มันจะบังดวงจันทร์ดวงหนึ่งของมันเร็วกว่าเวลาที่ควรจะเป็นไป $16\frac{2}{3}$ นาที เทียบกับเมื่อดาวพฤหัสบดีอยู่ที่ตำแหน่งมุมตรงด้านหลัง จงหาความเร็วแสง

8.7 จงหาระยะห่างของดาวต่อไปนี้ ที่มีอุณหภูมิที่จุดใต้ดาว (Substellar Temperature) เท่ากับอุณหภูมิใต้ดวงดวงอาทิตย์ของโลก

(ก) ดาวบาร์นาร์ด (อุณหภูมิพื้นผิว $T = 3{,}500$ K รัศมี $R = 0.5\ R_\odot$)

(ข) ดาวไรเจล (อุณหภูมิพื้นผิว $T = 12{,}000$ K รัศมี $R = 35\ R_\odot$)

8.8 ฟอร์มัลดีไฮด์ (H_2CO) เป็นโมเลกุลตัวหนึ่งที่เราต้นพบในที่ว่างระหว่างดวงดาว

(ก) ถ้า $T = 280$ K จงหาอัตราเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลนี้ และหาว่าดวงจันทร์ของเราจะเก็บรักษาแก๊สนี้ไว้ได้นานนับพันล้านปี หรือไม่

(ข) ดวงจันทร์ไมมาสของดาวเสาร์จะเก็บรักษาฟอร์มัลดีไฮด์ไว้ได้หรือไม่ (ไมมาสมีรัศมี $R = 300$ กม. มวล $= 4 \times 10^{19}$ กก.)

8.9 ดาวหางดวงหนึ่งมีระยะแอปฮีเลียน $= 5 \times 10^3$ AU และความเยื้องศูนย์กลางของวงโคจร $= 0.995$

(ก) จงหาระยะเพอร์ฮีเลียนและคาบของการโคจร

(ข) จงหาอัตราเร็วของดาวหางที่จุดแอปฮีเลียนและเพอริฮีเลียน

(ค) จงหาอัตราเร็วหลุดพ้นจากระบบสุริยะที่จุดแฮปฮีเลียน และอธิบายว่าทำไมดาวหางดวงนี้จึงไม่หนีหลุดออกจากระบบสุริยะ

8.10 ความดันรังสีและปรากฏการณ์พอยน์ติง-โรเบิร์ตสัน มีอิทธิพลอย่างไรต่อยานอวกาศที่มีความหนาแน่น $\rho = 1.2$ กรัม/ซม^3 และรัศมี $r \approx 1.2$ เมตร จงบอกข้อสมมติฐานต่าง ๆ ที่ท่านใช้ในการอธิบาย และให้ใช้ตัวเลขประกอบการอธิบายด้วย

8.11 จากทฤษฎีการเกิดระบบสุริยะต่าง ๆ ท่านพอที่จะนำเอาส่วนที่น่าเชื่อถือได้ของทฤษฎีเนบิลลาต่าง ๆ มารวบรวมกับเข้าประกอบกันสร้างเป็นภาพสืบเนื่องซึ่งจะช่วยให้เราทราบแนวทางของการอุบัติขึ้นและวิวัฒนาการของระบบสุริยะ จงอธิบายมาพอสังเขปให้เข้าใจ