บทที่ 3

ดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ

3.1 นิยาม และชนิดของดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ

ดาวเคราะห์ที่โคจรอยู่รอบดาวฤกษ์ดวงอื่นเรียกว่า ดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ (Extrasolar-planet) หรือเรียกกันสั้น ๆ ว่า ดาวเคราะห์นอกระบบ (Exoplanet) ในปี ค.ศ. 1995 ดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะดวงแรกได้ถูกค้นพบโดยนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน คือ เมเยอร์ (Mayor) และเควลอส (Queloz) มีชื่อตามทะเบียนดาวว่า 51Peg b เป็นดาวเคราะห์ที่มีมวล 0.7 เท่าของมวลดาวพฤหัสบดี มีคาบการโคจรสั้น ประมาณ 4 วัน และมีระยะห่างจากดาวแม่เฉลี่ย 0.05 หน่วยดาราศาสตร์ หลังจากนั้นการค้นพบดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะได้เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว และในปัจจุบันได้มีการค้นพบดาวเคราะห์ที่โคจรรอบดาวฤกษ์ดวงอื่นแล้วกว่า 188 ดวง (ข้อมูลเมื่อวันที่ 18 เมษายน 2549) [4] เพื่อให้เป็นที่เข้าใจตรงกันสหพันธ์ดาราศาสตร์นานาชาติจึงให้คำนิยามของ ดาวเคราะห์ (planet) ว่าเป็นวัตถุที่โคจรอยู่รอบดาวฤกษ์ โดยมีขนาดตั้งแต่มวลของดาวพลูโตและไม่เกิน 13 เท่าของมวลดาวพฤหัสบดี ถ้ามีมวลมากกว่านี้จะทำให้เกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันของดิวเทอเรียม ซึ่งจะเรียกว่าดาวแคระสีน้ำตาล [5]

มีการแบ่งดาวเคราะห์ออกเป็น 2 ชนิดตามลักษณะพื้นผิว และโครงสร้างภายใน

- ดาวเคราะห์แบบโลก หรือดาวเคราะห์หิน (Terrestrial planet) เป็นดาวเคราะห์ที่มีพื้นผิวเป็นหินแข็งชัดเจน และมักมีร่องรอยของปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา และหลุมอุกกาบาต มีคุณสมบัติทางกายภาพทั่วไปคล้ายกับโลก เช่น มีขนาดเล็ก ความหนาแน่นสูง ส่วนประกอบหลักเป็นหิน และโลหะ ตัวอย่างดาวเคราะห์ในระบบสุริยะได้แก่ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก และดาวอังคาร

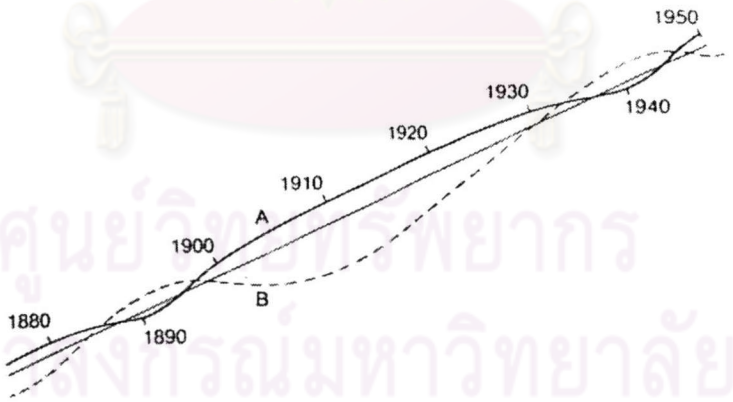
- ดาวเคราะห์แบบดาวพฤหัสบดี (Jovian planet) หรือดาวเคราะห์ยักษ์ (Giant planet) ประกอบด้วยแก๊สเป็นส่วนใหญ่ โดยมากเป็นแก๊สไฮโดรเจน และแก๊สฮีเลียม ตัวอย่างดังเช่น ดาวพฤหัสบดี และดาวเสาร์ หรือประกอบด้วยแก๊สแอมโมเนีย และแก๊สมีเทน ดังเช่น ดาวยูเรนัส และดาวเนปจูนในระบบสุริยะของเรา ดาวเคราะห์แก๊สไม่มีพื้นผิวชัดเจน จึงไม่มีร่องรอยทางธรณีวิทยา หรือหลุมอุกกาบาตปรากฏให้เห็น

3.2 การตรวจหาดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ

เนื่องจากดาวเคราะห์ไม่สามารถเปล่งแสงได้ด้วยตัวเอง ดังนั้นเราจะเห็นดาวเคราะห์ได้ก็ต่อเมื่อแสงจากดาวฤกษ์ไปตกกระทบที่ดาวเคราะห์แล้วสะท้อนเข้าตาเรา ในกรณีของดาวพฤหัสบดีแสงที่สะท้อนจากตัวดาวเคราะห์จะน้อยกว่าแสงจากดวงอาทิตย์ประมาณพันล้านเท่า และถ้ามองดาวพฤหัสบดีซึ่งอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 5 A.U. จากระยะ 10 พาร์เซก (pc) จะเห็นดาวพฤหัสบดีอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าไกลสุดเป็นระยะ 0.5 อาร์ควินาที หรือประมาณ 0.0001 องศา จะเห็นว่าเมื่อทำการสังเกตจากโลกดาวเคราะห์สลัวกว่า และอยู่ใกล้กับตัวดาวฤกษ์มาก ทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นดาวเคราะห์ที่โคจรรอบดาวฤกษ์ดวงอื่นได้โดยตรง จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีที่ใช้ตรวจหาดาวเคราะห์ทางอ้อม มี 3 วิธีหลัก ๆ ที่นักดาราศาสตร์ใช้ในการสังเกตผลการเปลี่ยนแปลงของดาวฤกษ์ เนื่องจากดาวเคราะห์ที่โคจรอยู่รอบดาวฤกษ์นั้น

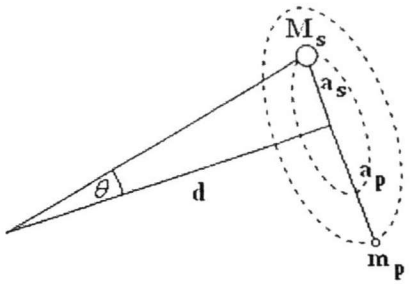
1. วิธีแอสโทรเมทริก (Astrometric method)

ดาวแต่ละดวงมีการเคลื่อนที่ในอวกาศ ซึ่งจะเป็นทิศทางใดก็ได้ แต่ผลที่ปรากฏต่อผู้สังเกตจะเป็นการเคลื่อนที่เฉพาะส่วนในแนวที่ตั้งฉากกับแนวสายตา หรือเห็นเฉพาะการเคลื่อนที่ไปบนทรงกลมท้องฟ้าเท่านั้น ในกรณีที่ระบบประกอบไปด้วยดาวฤกษ์และดาวเคราะห์โคจรอยู่ร่วมกันนั้น ดาวองค์ประกอบจะมีการเคลื่อนที่ปรากฏไปบนท้องฟ้าเป็นรูปคลื่นสลับกันในลักษณะที่ทำให้จุดศูนย์กลางมวลของระบบเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง



รูปที่ 3.1 ภาพการเคลื่อนที่ปรากฏไปบนท้องฟ้าของดาวฤกษ์เนื่องจากคู่ของมัน [6]

เมื่อสังเกตวัดตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดาวไปบนท้องฟ้า ซึ่งจะมีการแกว่งไปน้อย ๆ เนื่องจากการโคจรรอบจุดศูนย์กลางมวลร่วมของดาวฤกษ์ที่มีมวลมาก และดาวเคราะห์ที่มีมวลน้อยกว่า ดังนั้นจุดศูนย์กลางมวลจึงอยู่ใกล้กับดาวฤกษ์ ทำให้ปรากฏเคลื่อนที่สั่นเป็นคลื่นเล็ก ๆ ไปบนท้องฟ้า จากรูปที่ 3.1 เส้นทึบ A เป็นการเคลื่อนที่ปรากฏของดาวฤกษ์ เส้นประ B เป็นของดาวเคราะห์ (มองไม่เห็น) และเส้นตรงคือแนวการเคลื่อนที่ของจุดศูนย์กลางมวลของระบบ



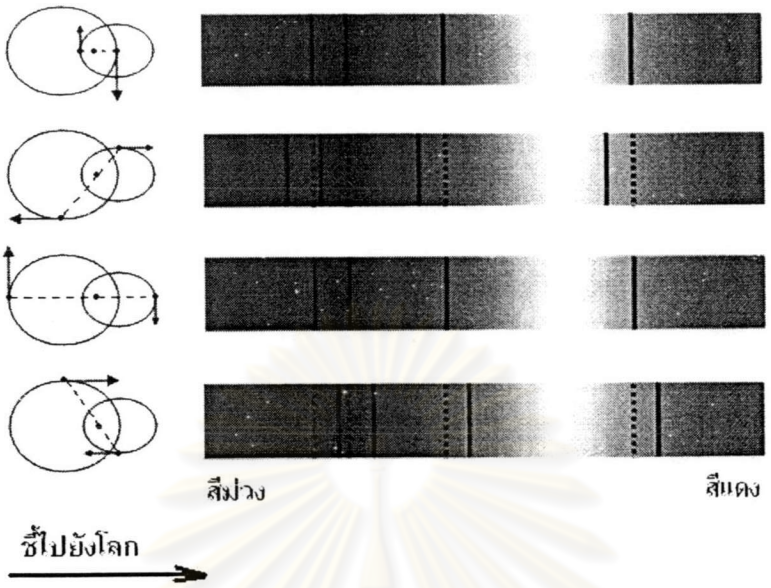
รูปที่ 3.2 มุมที่รองรับครึ่งแกนเอกของดาวฤกษ์รอบจุดศูนย์กลางมวล

จากรูปที่ 3.2 ดาวพฤหัสบดีมีมวล 2×10^{27} กิโลกรัม โคจรรอบดวงอาทิตย์มวล 2×10^{30} กิโลกรัม ที่ระยะห่าง 5 หน่วยดาราศาสตร์ จุดศูนย์กลางมวลของระบบจะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ a_s = 0.005 หน่วยดาราศาสตร์ (7.5×10^5 กิโลเมตร) ซึ่งอยู่นอกผิวดวงอาทิตย์เล็กน้อย (รัศมีดวงอาทิตย์ 7×10^5 กิโลเมตร) ถ้าสังเกตการณ์ระบบสุริยะจากระยะทาง d = 10 พาร์เซก ดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปบนท้องฟ้าเนื่องจากอิทธิพลของดาวพฤหัสบดีไม่เกิน θ = 0.0005 อาร์ควินาที ในกรณีของโลกผลการเปลี่ยนตำแหน่งของดาวจะอยู่ในอันดับขนาดไมโครอาร์ควินาที ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยการวัดที่แม่นยำมาก ในอนาคตได้มีการจัดตั้งโครงการที่จะไปสังเกตการณ์ในอวกาศ เพื่อไม่ให้มีผลรบกวนจากการหักเหของแสงผ่านชั้นบรรยากาศโลก เช่น โครงการซิม (SIM) ในปี ค.ศ. 2009 และโครงการเกีย (GAIA) ในปี ค.ศ. 2011 เป็นต้น [7]

2. วิธีสเปกโทรสโกปิก (Spectroscopic method)

วิธีสเปกโทรสโกปิก เป็นการวัดการเลื่อนกลับไปกลับมาของเส้นสเปกตรัมดูดกลืนของดาวฤกษ์ ซึ่งทำให้ทราบความเร็วตามแนวสายตา (Radial velocity) ของดาวฤกษ์รอบจุดศูนย์กลางมวลของระบบที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในลักษณะเป็นคาบ โดยเส้นสเปกตรัมจะเลื่อนไปทางสีน้ำเงินเมื่อดาวฤกษ์กำลังเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต และจะเลื่อนไปทางสีแดงเมื่อเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกตเป็นไปตามปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect) ซึ่งผลการเลื่อนของเส้นสเปกตรัมนี้จะขึ้นอยู่กับมวลของระบบ และลักษณะการวางตัวของวงโคจร ถ้าระนาบของวงโคจรอยู่ในแนวสายตาจะเกิดการเลื่อนของเส้นสเปกตรัมมากที่สุด และจะไม่มีผลการเลื่อนเลยเมื่อระนาบของวงโคจรตั้งฉากกับแนวสายตา

เนื่องจากวิธีสเปกโทรสโกปิกอาศัยปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ เพื่อวัดความเร็วตามแนวสายตาของดาวฤกษ์ จึงอาจเรียกว่า วิธีการเลื่อนดอปเพลอร์ (Doppler shift method) หรือวิธีความเร็วตามแนวสายตา (Radial velocity method) ได้ด้วย โดยเราจะกล่าวถึงรายละเอียดการวิเคราะห์เพื่อหามวล และหลักมูลทางโคจรในบทที่ 4

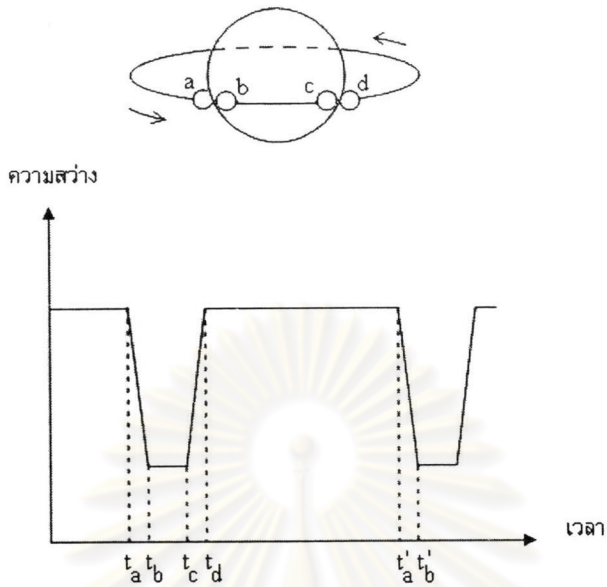


รูปที่ 3.3 ภาพแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ กับการเลื่อนของเส้นสเปกตรัม

เนื่องจากดาวฤกษ์มีมวลมากกว่าดาวเคราะห์ จึงโคจรอยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางมวลมากกว่า ในรูปที่ 3.3 วงรีวงเล็กจึงแทนวงโคจรของดาวฤกษ์ ส่วนวงรีวงใหญ่เป็นวงโคจรของดาวเคราะห์ พิจารณารูปแถวบนสุดขณะที่ดาวฤกษ์กำลังโคจรในทิศทางซึ่งตั้งฉากกับแนวสายตาเส้นสเปกตรัมจึงยังไม่มีการเลื่อน รูปแถวที่สองดาวฤกษ์โคจรเข้าหาผู้สังเกตที่อยู่ทางขวาเส้นสเปกตรัมจึงเลื่อนไปทางสีม่วง (เส้นประในรูปแสดงแนวของเส้นสเปกตรัมเดิมก่อนเลื่อน) รูปแถวที่สามดาวฤกษ์โคจรตั้งฉากกับแนวสายตาในทิศตรงข้ามกับรูปแถวแรก จึงไม่เกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (เส้นสเปกตรัมเลื่อนกลับมาที่เดิม) รูปแถวล่างสุดดาวฤกษ์กำลังโคจรในทิศทางออกห่างจากผู้สังเกต เส้นสเปกตรัมจึงเลื่อนไปทางสีแดง โปรดสังเกตว่าทุก ๆ ขณะดาวฤกษ์ จุดศูนย์กลางมวล และดาวเคราะห์จะอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกันเสมอ

3. วิธีโฟโตเมทริก (Photometric method)

วิธีโฟโตเมทริก เป็นวิธีการสังเกตวัดแสงดาวที่จะสลัวลงเล็กน้อยเมื่อดาวเคราะห์เคลื่อนผ่านหน้าดาวฤกษ์ (Transit) ในระหว่างที่มันโคจร ดังนั้นจึงมีอีกชื่อว่า วิธีทรานซิท (Transit method) ซึ่งในกรณีที่ระนาบของวงโคจรใกล้เคียงกับแนวสายตา ดาวเคราะห์จะมีโอกาสเคลื่อนผ่านหน้าดาวฤกษ์ในระหว่างที่มันโคจรอยู่ โดยตัวดาวเคราะห์จะบังแสงจากดาวฤกษ์บางส่วนไม่ให้มาถึงโลก จึงสังเกตเห็นว่าดาวฤกษ์มีการเปลี่ยนแปลงความสว่างเป็นรอบซ้ำ ๆ และความสว่างปรากฏจะตกลงเมื่อดาวเคราะห์โคจรผ่านมาบังหน้าดาวฤกษ์ ทุก ๆ ช่วงคาบเวลาของทางโคจร



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงเส้นโค้งแสงขณะดาวเคราะห์เคลื่อนผ่านหน้าดาวฤกษ์

จากรูปที่ 3.4 ณ เวลา t_a ดาวเคราะห์เริ่มเคลื่อนมาบังดาวฤกษ์ช่วงนี้ความสว่างจะค่อย ๆ ลดลงตามขนาดของพื้นที่ของดาวเคราะห์ที่เคลื่อนมาบัง จนกระทั่งตำแหน่ง b ดาวเคราะห์เข้าไปบังดาวฤกษ์ทั้งดวงทำให้พื้นที่ส่วนที่ถูกบังมีค่าคงที่ ความสว่างในช่วงนี้จึงมีค่าต่ำสุดคงที่ และเมื่อดาวเคราะห์เริ่มเคลื่อนออกจากดาวฤกษ์ที่จุด c พื้นที่ส่วนที่ถูกบังลดน้อยลงความสว่างจึงค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่าสูงสุดเท่ากับตอนแรกก่อนเกิดทรานซิท และความสว่างจะลดลงอีกครั้งเมื่อดาวเคราะห์โคจรกลับมาครบรอบที่จุด a อีกครั้ง ณ เวลา t'_a ดังนั้นจากการสังเกตความสว่างที่ตกลงทำให้ทราบว่า คาบเวลาของทางโคจรเป็น $t'_a - t_a$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย