บทอ่านประกอบหัวข้อ
"โลก กละ สุริยวาล"

ปฐมบท ระบบสุริยะ

ดาวเคราะห์โบราณ

มนุษย์อาศัยอยู่บนโลก มองท้องฟ้าและดวงดาวเบื้องบนเป็นเสมือนหลังคาครอบโลกที่กว้างใหญ่ไพศาล ยุคแรกเริ่มที่มนุษย์ให้ความสนใจสังเกตความเป็นไปของท้องฟ้าอย่างเป็นระบบจริงจัง ในค่ำคืนที่ท้องฟ้าแจ่มใสไร้เมฆ ดวงดาวใหญ่น้อยต่างแข่งแสงกะพริบระยิบระยับประดับฟ้าสวยงาม ดวงดาวส่วนมากที่ดารดาษทั่วท้องฟ้าปรากฏให้เห็นเป็นกลุ่มเป็นหมู่ รักษาระยะห่างระหว่างกันคงที่แน่นอนนั้นคือ ดาวฤกษ์ (Stars) และมีรูปแบบรูปร่างดามจินดนาการอยู่เช่นนั้นตลอดมาที่เรียกกันว่ากลุ่มดาวหรือหมู่ดาว (Constellations)

เมื่อสังเกตท้องฟ้าต่อเนื่องกันยาวนาน ก็เห็นว่ากลุ่มของดาวฤกษ์เหล่านั้นดูว่าจะเคลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งไปอย่างช้าๆ สม่ำเสมอเรื่อยไป เสมือนว่าส่วนโค้งของท้องฟ้าหลังคาโลกนี้ค่อยๆ หมุนพากลุ่มดาวทั้งหมดที่ติดอยู่กับผืนฟ้าเคลื่อนที่ไป และจะใช้เวลาถึง 1 ปีที่หมุนจนครบรอบแล้วพากลุ่มดาวเดิมกลับมาอยู่ ณ ที่เดิมบนฟ้าอีกครั้ง จึงเรียกดาวฤกษ์

ว่า ดาวประจำที่ (Fix Stars)

ขณะเดียวกันมีดาวอีกพวกหนึ่งจำนวน7ดวงสังเกตเห็นมีพฤติกรรมการเคลื่อนที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มดาวฤกษ์ โดยเห็นว่ามักมีการเคลื่อนที่สวนทางกับกลุ่มดาวประจำที่เหล่านั้นที่ดูเสมือนเป็นฉากอยู่เบื้องหลัง ดวงดาวหรือวัตถุท้องฟ้า 7 ดวงนี้ คือ

ดวงอาทิตย์ วงกลมแห่งแสงสว่างเจิดจ้า ปรากฏสว่างมากที่สุดในบรรดาดวงดาวทุกดวง เมื่อมีดวงอาทิตย์ส่องแสงอยู่บนท้องฟ้าจะสว่างกลบแสงดาวดวงอื่นทั้งหมด แต่มนุษย์รู้ว่า ดวงอาทิตย์เคลื่อนผ่านสวนทางกับกลุ่มดาวประจำที่ไปตลอดเวลาในรอบ 1 ปี จากการสังเกตท้องฟ้าเวลาหัวค่ำหลังดวงอาทิตย์ดกหรือก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นในตอนเช้า พบว่ากลุ่มดาวบนท้องฟ้าใกล้ ๆ ตำแหน่งดวงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาและกลับมาเป็นกลุ่มดาวเดิมเมื่อครบรอบ 1 ปี

ดวงจันทร์ วงกลมแห่งแสงนวลเย็นตา ไม่เจิดจ้าเท่าดวงอาทิตย์ จึงไม่สว่างถึงขั้นที่จะกลบแสงของดาวดวงอื่นได้ทั้งหมด เมื่อมีดวงจันทร์อยู่บนท้องฟ้า จึงสามารถสังเกตเห็นดวงจันทร์เคลื่อนสวนทางกับกลุ่มดาวประจำที่อย่างชัดเจน โดยแต่ละคืนดวงจันทร์จะปรากฏอยู่กับกลุ่มดาวเปลี่ยนแปลงไป และยังมีขนาดปรากฏสว่างแตกต่างกันไปในแต่ละคืนด้วย

ดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ปรากฏเป็นวงกลมแห่งแสงสว่าง ส่วนอีก 5 ดวง เป็นดวงดาวที่ปรากฏเป็นจุดสว่างคล้ายดาวฤกษ์ แต่สว่างมากกว่า และมีแสงคงที่ไม่กะพริบแสงเหมือนดาวฤกษ์ ในจำนวน 5 ดวงนี้ มีอยู่ 2 ดวง ที่ปรากฏบนฟ้าแตกต่างจากอีก 3 ดวง คือดาวพุธ กับดาวศุกร์ คือจะเห็นได้เฉพาะช่วงเวลาหัวค่ำใกล้ขอบฟ้าทิศตะวันตกหรือไปปรากฏทางขอบฟ้าทิศตะวันออกดอนใกล้รุ่งก่อนดวงอาทิตย์ขึ้น นั่นคือดาวทั้ง 2 ดวงนี้จะไม่ยอมอยู่ห่างไกลจากดวงอาทิตย์มากนัก จึงปรากฏตามหลังดวงอาทิตย์ เห็นได้ดอนหัวค่ำหรือปรากฏนำหน้าดวงอาทิตย์เห็นได้ดอนใกล้สว่างเท่านั้น

อีก 3 ดวงที่เหลือ สามารถเห็นได้ทุกตำแหน่งบนท้องฟ้า อยู่ห่างไกลจากดวงอาทิตย์มากเท่าไรก็ได้ แม้เป็นเวลาเที่ยงคืนที่ดวงอาทิตย์ไปอยู่อีกฟากฝั่งฟ้าแล้วก็ตาม 3 ดวงนี้คือ ดาวอังคาร ดาวพฤหัสบดี และดาวเสาร์

จากการเคลื่อนที่พิเศษของดาว 7 ดวงนี้แตกต่างไปจากดาวประจำที่ที่มีอยู่มากมาย ชาวกรีกโบราณจึงเรียกดาวเหล่านี้ว่าพลาเน็ท (Planets) หมายถึง "ผู้ท่องเที่ยวไป" ที่ท่องเที่ยวเนจรไปอยู่กับดาวฤกษ์กลุ่มต่าง ๆ เรื่อยไปบนฟ้า คนไทยอาจเรียกดาวเหล่านี้ว่า ดาวพเนจร แต่คำที่ใช้เป็นทางการคือ "ดาวเคราะห์"

ความหมายของดาวเคราะห์ (Planets) จากจุดเริ่มต้น จึงแตกต่างไปจากความหมายในปัจจุบัน เพราะดวงอาทิตย์ที่มนุษย์รู้ว่าเป็นดาวฤกษ์และดวงจันทร์ที่เป็นดาวบริวารของโลกถูกจัดรวมเข้าเป็นดาวเคราะห์ด้วย จึงเรียกดาว 7 ดวง ตามความหมายนี้ว่า "ดาวเคราะห์โบราณ" และยังคงนำมาเป็นชื่อวัน 7 วันใน 1 สัปดาห์อีกด้วย

ชื่อดาวเคราะห์

ในสมัยเก่าก่อนมนุษย์เชื่อกันว่า ดาวเคราะห์ทั้งหลายที่พวกเขารู้จักนั้นต่างก็เคลื่อนอยู่รอบโลกด้วยความเร็วและระยะห่างจากโลกแตกต่างกัน จึงปรากฏบนท้องฟ้าเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และยังเชื่อต่อไปอีกว่า ดาวเหล่านี้มีอิทธิพลและกำหนดความเป็นไปของมนุษย์บนโลก ความเชื่อนี้ยังคงหลงเหลือให้เห็นอยู่ในยุคปัจจุบัน

ชาวกรีก โรมันโบราณ จึงนำชื่อเทพเจ้าที่ตนเคารพนับถือจากตำนานความเชื่อมาตั้งชื่อดาวเคราะห์ โดยพยายามเลือกสรรเทพเจ้าที่เหมาะสมให้กับดาวเคราะห์แต่ละดวงที่พวกเขาสังเกตเห็น

ในจำนวนดาวเคราะห์โบราณ 7 ดวง ชาวกรีกสังเกตว่ามีอยู่ดวงหนึ่งดูไม่ค่อยสว่างสุกใสมากนัก มีสีเหลืองซีด ๆและเคลื่อนที่ไปบนท้องฟ้า

เชื่องช้าที่สุดเมื่อเทียบกับดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ที่รู้จักกันในตอนนั้น จึงคิดว่าน่าจะมีชื่อตามเทพเจ้าที่แก่ชรามาก ๆ สักองค์หนึ่ง ที่เคลื่อนไหวไปมาเชื่องช้าเพราะความชรา

ตามตำนานกรีกโบราณนั้นกล่าวไว้ว่า จอมเทพ ที่ปกครองสวรรค์และโลกมนุษย์ในยุคหนึ่งคือ โครนุส (Cronus) ซึ่งเป็นพวกไททัน (Titan) กึ่งเทพกึ่งยักษ์มีร่างกายใหญ่โต โครนุสแต่งงานกับรีอา (Rhea) ให้กำเนิดโอรสและธิดามากมาย แต่ถูกโครนุสจับกลืนกินทั้งหมด เพราะหวาดระแวงในคำแช่งคำสาปของบิดาตนเองคือ ยูเรนัส (Uranus) ที่เคยปกครองสวรรค์และพิภพ แต่ถูกโครนุสผู้เป็นลูกโค่นอำนาจลงและขึ้นครองอำนาจแทน ยูเรนัสจึงสาปให้โครนุสถูกกรรมตามสนอง คือถูกลูกตัวเองมาโค่นอำนาจต่อกันไป โครนุสกลืนกินลูกตัวเองที่รีอาให้กำเนิดออกมา จนรีอาผู้เป็นแม่ทนไม่ได้ ดังนั้นเมื่อให้กำเนิดลูกอีกคนหนึ่งคือ ซูส (Zeus) จึงนำก้อนหินห่อผ้ามาให้โครนุสกลืนกินโดยหลอกว่าเป็นลูก โครนุสก็หลงเชื่อกลืนก้อนหินที่คิดว่าเป็นลูกลงไป รีอาแอบนำซูสไปเลี้ยงจนเติบใหญ่แล้วกลับมาโค่นอำนาจบิดาตนเองตามคำสาปได้สำเร็จ พร้อมกับให้คายพี่น้องที่บิดากลืนกินเข้าไปออกมาให้หมด (น่าสังเกตว่าเหตุการณ์ต่าง ๆ เกิดขึ้นโดยไม่มีใครเสียชีวิต เพราะเหล่าทวยเทพเป็นอมตะไม่มีวันตาย) และเนรเทศโครนุสให้ไปอยู่ในที่ห่างไกล บางตำนานบอกว่าเป็นเทพแห่งการเกษตรด้วย

ดังนั้นดาวเคราะห์ดวงสีเหลืองซีดๆ เคลื่อนที่เชื่องช้าดวงนี้ ชาวกรีกจึงตั้งชื่อว่า โครนุส แต่ในยุคต่อมาเมื่อชาวโรมันเรืองอำนาจ ต้องการตั้งชื่อให้เป็นเทพเจ้าของตนเอง โรมันก็มีเทพเจ้าที่พอจะเทียบเคียงกับโครนุสอยู่องค์หนึ่งคือเทพแห่งการเกษตรชื่อ แซเทิร์น (Saturn) จึงนำชื่อเทพเจ้าของตนเองมาตั้งชื่อดาวเคราะห์ดวงนี้แทน คนไทยเรียกดาวเคราะห์แซเทิร์นนี้ว่า ดาวเสาร์

ดาวเคราะห์ดวงสว่างสุกใสสวยงามดวงหนึ่ง สามารถเห็นได้ทุก

ตำแหน่งบนท้องฟ้าไม่ว่าจะเป็นใกล้ขอบฟ้า หรือกลางท้องฟ้า เห็นได้ทั้งในช่วงเวลาหัวค่ำ กลางดึกหรือใกล้สว่าง เมื่อปรากฏกลางท้องฟ้าคราใดจะโดดเด่นสว่างสวยงามที่สุด ชาวกรีกจึงเห็นสมควรให้เป็นจอมเทพที่อยู่เหนือเทพทั้งปวง คือ ซูส (Zeus) และเป็นชื่อเรียกดาวดวงนี้ แต่ต่อมาชาวโรมันก็เปลี่ยนมาใช้ชื่อจอมเทพของตนเองคือ จูปีเตอร์ (Jupiter) แทน คนไทยเรียกดาวดวงนี้ว่า ดาวพฤหัสบดี

หลังจากซูสโค่นอำนาจโครนุสผู้เป็นบิดาและสถาปนาตัวเองขึ้นเป็นจอมเทพปกครองสรวงสวรรค์และพื้นพิภพ สถิตอยู่ ณ เขาโอลิมปัส อภิเษกสมรสกับเทพีเฮรา (Hera) ผู้เป็นน้องสาว (ปรากฏการณ์แบบนี้เป็นปกติในตำนานกรีกที่เกี่ยวกับทวยเทพ) ให้กำเนิดโอรสองค์หนึ่งที่มีนิสัยก้าวร้าว ดุร้าย ชอบการรบพุ่งและสงคราม ชื่อเอเรส (Ares) ที่ชาวกรีกตั้งให้เป็นเทพแห่งสงคราม

ชาวกรีกสังเกตดาวเคราะห์ที่ปรากฏบนท้องฟ้าดวงหนึ่ง มีสีแดงแวววาว ทำให้นึกไปถึงเลือดและการทำศึกสงคราม จึงตั้งชื่อดาวดวงนี้ตามเทพแห่งสงครามคือเอเรส แต่ชาวโรมันหันมาใช้ชื่อเทพแห่งสงครามของพวกเขา คือมาร์ส (Mars) ให้เป็นชื่อดาวเคราะห์สีแดงดวงนี้ คนไทยเรียก ดาวอังคาร

บนท้องฟ้ายามค่ำคืน หากไม่นับดวงจันทร์แล้ว มีดาวดวงสว่างสวยงามที่สุดที่ปรากฏอยู่บริเวณใกล้ขอบฟ้าทิศตะวันตกเวลาหัวค่ำ หรือบางคราวก็ไปอยู่ทางทิศตะวันออกรุ่งสางก่อนดวงอาทิตย์ขึ้น ความสุกสกาวสดใสสวยงามเช่นนี้ ชาวกรีกยกย่องให้เป็นเทพธิดาแห่งความรักและความงามที่ชื่อ อะโฟรไดท์ (Aphrodite) บางตำนานบอกว่าเป็นธิดาของมหาเทพซูสกับไดโอนี (Dione) แต่บางตำนานบอกว่าเกิดจากฟองคลื่น แล้วปรากฏกายขึ้นมาบนฝั่งทะเลไซปรัส ชาวโรมันก็มีเทพธิดาแห่งความรักและความงามของตนเองที่ชื่อว่าวีนัส (Venus) จึงใช้ชื่อนี้ต่อมา คนไทยเรียกดาวสว่างสวยงามดวงนี้ว่า ดาวศุกร์

มีดาวเคราะห์ดวงหนึ่งหากสังเกตต่อเนื่องกัน จะเห็นว่าเคลื่อนผ่านไปบนท้องฟ้ารวดเร็วที่สุด เห็นเป็นจุดสว่างดวงเล็ก ปรากฏใกล้ขอบฟ้าเช่นเดียวกับดาวศุกร์ แต่เคลื่อนที่เร็วกว่า สว่างสวยงามน้อยกว่า ชาวกรีกตั้งชื่อดาวดวงนี้ตามเทพที่คล่องแคล่วว่องไว คือ เฮอร์มีส (Hermes) คือเทพแห่งการสื่อสารของเหล่าทวยเทพบนยอดเขาโอลิมปัส เป็นโอรสของซูสกับไมอา (Maia) มีรองเท้าติดปีก หมวกวิเศษมีปีกทำให้บินได้อย่างรวดเร็ว เทพที่มีคุณสมบัติคล้ายๆ กันแบบนี้ของชาวโรมันก็คือเทพแห่งการเดินทางการค้าขายที่ชื่อ เมอร์คิวรี (Mercury) จึงเป็นชื่อดาวที่เคลื่อนที่เร็วดวงนี้ คนไทยเรียกว่า ดาวพุธ

ส่วนดวงอาทิตย์ (Sun) และดวงจันทร์ (Moon) มีที่มาของชื่อที่เรียกแตกต่างออกไป แต่ก็มีรากฐานมาจากตำนานดั้งเดิมเช่นกัน ตามตำนานกรีกกล่าวว่า ในยุคที่โครนุสและกลุ่มไททันมีอำนาจ เฮลิออส (Helios) ได้รับความนับถือจากชาวกรีกให้เป็นสุริยเทพ ส่วนชาวโรมันมีเทพที่เทียบเคียงกันได้เป็นสุริยเทพคือ โซล (Sol) (ดังจะเห็นจากรากศัพท์ Helio และ Sol หรือ Solar ที่มีความหมายถึงดวงอาทิตย์) และเทพีแห่งดวงจันทร์ของชาวกรีก คือ ซีลีนี (Selene) ของชาวโรมันคือ ลูนา (Luna) แต่เมื่อมหาเทพซูสยึดอำนาจได้ ชาวกรีกจึงนับถือเทพอะพอลโล (Apollo) เป็นสุริยเทพและคู่แฝดคือ อาร์ทีมิส (Artemis) เป็นเทพีแห่งการล่าสัตว์ หรือจันทราเทพีที่ชาวโรมันเรียก เดียนา (Diana) สองพี่น้องนี้เป็นโอรสและธิดาของซูสกับนางเลโต (Leto) หรือลาโตนา (Latona)

ดวงอาทิตย์หรือ Sun จึงมาจากรากศัพท์ดั้งเดิมคือ Sol ที่ชาวโรมันถือเป็นสุริยเทพของพวกเขา ส่วนดวงจันทร์ที่เรียกว่า Moon นั้น คงเป็นคำที่เรียกกันภายหลัง โดยปัจจุบันรวมความหมายไปถึงดาวบริวารของดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ที่ค้นพบด้วย บางตำราบอกว่าเป็นคำมาจากพวกแองโกลแซกซัน (Anglo-Saxon) โบราณ

เมื่อกล่าวถึงชื่อที่เรียกดาวเคราะห์ในภาษาอังกฤษหรือที่เรียกกันเป็นสากลแล้ว ชื่อดาวเคราะห์เหล่านี้ในภาคภาษาไทยเชื่อว่าได้รับอิทธิพลการเรียกชื่อมาจากฮินดูหรืออินเดียโบราณโดยถือว่าดาวเคราะห์เป็นกลุ่มของทวยเทพตามชื่อนั้นๆ ที่อยู่บนสรวงสวรรค์ สังเกตว่าแต่เดิม คนไทยมักเรียกชื่อดาวเคราะห์ทั้งหลายโดยมีคำว่าพระนำหน้า เช่น พระอาทิตย์ พระจันทร์ เป็นต้น แต่ปัจจุบันนี้มักเรียกชื่อดาวเคราะห์แต่ละชื่อโดยตรงเลย ไม่จำเป็นต้องมีคำว่าพระนำหน้า

แห่งความรู้

วิถีชีวิต ความเป็นอยู่ของมนุษย์ในยุคเก่าก่อนแตกต่างจากปัจจุบันโดยสิ้นเชิง ในครั้งอดีตมนุษย์มีความผูกพันกับธรรมชาติของท้องฟ้าและดวงดาวอย่างแน่นแฟ้น ทั้งในเรื่องของการยกย่องดวงดาวให้เป็นเทพเจ้าตามความเชื่อของพวกเขา และยังมีความพยายามค้นหาคำตอบอธิบายความเป็นไปของปรากฏการณ์ต่าง ๆ บนท้องฟ้าที่สังเกตเห็น

คงเป็นการยากที่จะบอกว่ามนุษย์เริ่มแสวงหาคำตอบอย่างจริงจังเกี่ยวกับโลกและระบบสุริยะมาตั้งแต่เมื่อใด แต่เรารู้ว่ามนุษย์รู้จักกำหนดนับวัน เดือน ปี ฤดูกาล เพื่อปรับวิถีชีวิตของตนเองให้สอดคล้องกับธรรมชาติ โดยอาศัยสังเกตท้องฟ้า ดวงดาวและกลุ่มดาวต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปในรอบปี โดยมีหลักฐานที่ยังพอหลงเหลือจากครั้งอดีต ไม่ว่าจะเป็นร่องรอยจารึกบนแผ่นหิน หรือสิ่งก่อสร้างที่เกิดจากความเพียรพยายามของคนยุคเก่าก่อน รวมไปถึงเรื่องราวตำนานที่มีการถ่ายทอดระหว่างบุคคลต่อเนื่องมา และบันทึกความรู้ความเข้าใจตามที่พวกเขาแสดงความคิดเห็นกันในแต่ละยุค

หากพิจารณากันอย่างถ่องแท้แล้ว จะพบว่า นักคิด นักปราชญ์หรือผู้รู้ยุคเก่าก่อน มีความกระตือรือร้นที่จะอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นให้เป็นไปตามหลักการทางวิทยาศาสตร์ แม้ในหลายกรณีจะยังไม่สามารถพิสูจน์ได้ทั้งหมด หรือเป็นแนวคิดที่ไม่ถูกต้องนักก็ตาม แต่ต้องถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดการพัฒนาแนวความคิด ก่อร่างสร้างแนวคิดใหม่ ๆ ที่ถูกต้องมากขึ้นเป็นลำดับจวบจนปัจจุบัน

อารยธรรมเก่าก่อน

ความรู้ทางดาราศาสตร์และแนวความคิดเกี่ยวกับโลกและระบบสุริยะในยุคเก่าก่อน ถือได้ว่าเจริญรุ่งเรืองมากในช่วงอารยธรรมกรีกโบราณประมาณ 600 ปีก่อนคริสตกาล แต่ก็มีชนชาติโบราณก่อนหน้าชาวกรีกที่มีความรู้เกี่ยวกับโลกและท้องฟ้าดวงดาวมาก่อนแล้วย้อนกลับไปได้ถึง 3,000 ปีก่อนคริสตกาล เช่น ชาวอียิปต์โบราณมีความรู้เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ไปบนท้องฟ้าแต่ละวันในรอบปี จนสร้างนาฬิกาแดดใช้วัดเวลา และทุ่มเทความเพียรพยายามจนสร้างพีระมิดที่มีตำแหน่งเทียบเคียงกับทิศและดาวดวงสำคัญ ๆ บนท้องฟ้าได้สำเร็จ ชนชาติแถบลุ่มน้ำไทกริส-ยูเฟรตีส (บริเวณประเทศอิรักปัจจุบัน) ทั้งเมโสโปเตเมีย บาบิโลน และอัสซีเรีย ต่างก็มีความรู้ดาราศาสตร์เฉกเช่นชาวอียิปต์ที่กำหนดช่วงระยะเวลา 1 ปี มี 365 วัน โดยสังเกตดวงอาทิตย์และดาวฤกษ์ สร้างกฎเกณฑ์เรขาคณิตโดยกำหนดมุมรอบจุดศูนย์กลางวงกลมเป็น 360 องศา นำไปใช้วัดตำแหน่งดวงดาวบนฟ้า และถือเป็นที่มาของการกำหนดให้ 1วัน มี 24 ชั่วโมงจวบจนทุกวันนี้

ในยุคที่อารยธรรมของกรีกโบราณเจริญรุ่งเรือง เหล่านักคิดนักปราชญ์ของกรีกส่วนใหญ่ จะอยู่ในแถบที่เรียกว่า ไอโอเนีย บริเวณเอเชียไมเนอร์ (เป็นพื้นที่ส่วนตะวันตกของทวีปเอเชียที่ติดต่อกับทวีปยุโรป) เนื่องจากภูมิประเทศแถบนี้อยู่ใกล้เคียงกับอารยธรรมความรู้โบราณ คือ

ทางด้านตะวันออกติดกับอารยธรรมของเมโสโปเตเมีย และทางทะเลเมดิเตอร์เรเนียนด้านใต้เดินทางไปมาหาสู่กับอารยธรรมอียิปต์ได้โดยสะดวก จึงทำให้ความรู้ต่าง ๆ ถูกถ่ายทอดและหลั่งไหลเข้าสู่บริเวณนี้มากมาย ประกอบกับผู้รู้ชาวกรีกชอบแลกเปลี่ยนความคิดเห็น เป็นนักคิดชอบศึกษาค้นคว้าเป็นอย่างยิ่ง แม้ว่าอารยธรรมความรู้ของเมโสโปเตเมียและอียิปต์จะเจริญก้าวหน้ามาก่อนกรีก โดยเฉพาะวิทยาศาสตร์และดาราศาสตร์ แต่ส่วนมากจะใช้ความรู้ทั้งหลายนั้นไปเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการดำรงชีวิต แตกต่างจากชาวไอโอเนียนหรือกรีกโบราณจะศึกษาสิ่งต่าง ๆ เพื่อความรู้อย่างแท้จริง มักมีคำอธิบายที่เจาะลึกถึงเหตุผลต่อปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จึงมักถือกันว่ายุคของกรีกโบราณนี้เป็นจุดเริ่มต้นของวิทยาศาสตร์ รวมถึงดาราศาสตร์ด้วย

นักวิทยาศาสตร์ - นักดาราศาสตร์คนแรก

นักวิทยาศาสตร์ นักดาราศาสตร์คนแรกของชาวไอโอเนียนคือ ธาลีส แห่งมิเลทัส (Thales of Miletus) ในช่วง 625-545 ปีก่อนคริสตกาล เป็นคนแรกที่จุดประกายวิชาการด้านดาราศาสตร์โดยได้รับความรู้พื้นฐานเบื้องต้นมาจากอียิปต์และบาบิโลน และสามารถอธิบายการเกิดปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในเชิงวิทยาศาสตร์ได้มากมายหลายต่อหลายเรื่อง ลูกศิษย์ของเขาคนหนึ่งคือ อะแนกซิมานเดอร์ (Anaximander) ช่วง 611-543 ปีก่อนคริสตกาล เสนอแนวคิดว่าโลกของเรามีลักษณะเป็นทรงกระบอกที่มีความสูงเป็น 3 เท่าของความกว้าง ห้อยอย่างอิสระ ณ ใจกลางทรงกลมเอกภพ และเสนอทฤษฎีทรงกลมท้องฟ้า ที่เป็นบรรยากาศห่อหุ้มโลกเหมือนกับเปลือกต้นไม้ที่หุ้มแก่นไม้เอาไว้

นักเรขาคณิตผู้ยิ่งใหญ่ของกรีกโบราณในช่วง 572-500 ปีก่อนคริสตกาลคือ ไพธากอรัส (Pythagoras) เป็นบุคคลกลุ่มแรก ๆ ที่บอกว่าโลกของเรากลม และยังศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ที่เป็นดาวพเนจรบนท้องฟ้า โดยเสนอแนวความคิดว่ามีทรงกลมกลวงใสล้อมรอบโลกไว้ ดาวเคราะห์ ดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ จะอยู่ในแต่ละวงของตนเองที่เป็นทรงกลมร่วมกับทรงกลมฟ้าใหญ่ ทรงกลมแต่ละของจะหมุนพาวัตถุท้องฟ้าเหล่านี้เคลื่อนที่ไปไม่พร้อมกันอยู่ภายในทรงกลมใหญ่ที่มีดาวฤกษ์ติดอยู่

ทรงกลมฟ้าของยูดอกซัส

นักคิดที่แสดงความเห็นเกี่ยวกับระบบสุริยะคนสำคัญของกรีกโบราณ ช่วงประมาณ 408-355 ปีก่อนคริสตกาลคือ ยูดอกซัส (Eudoxus) ผู้เป็นศิษย์ของบรมครูพลาโต (Plato) ยูดอกซัสพยายามคำนวณการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์และดาวเคราะห์ เขาสังเกตว่าดาว 7 ดวงที่เป็นดาวพเนจร ตามปกติจะเคลื่อนจากทิศตะวันตกไปทางทิศตะวันออกโดยมีดาวฤกษ์เป็นฉากหลัง แต่บางเวลาดาวเคราะห์บางดวงเคลื่อนที่ช้าลง หยุดหรือเคลื่อนที่สวนทางเดิมที่เรียกว่า เคลื่อนที่ถอยหลัง (Retrograde : การสังเกตเห็นดาวเคราะห์ เคลื่อนจากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตก) ประมาณ 2-3 สัปดาห์ แล้วก็เคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันออกต่อไป

ยูดอกซัสสงสัยและพยายามหาคำอธิบายปรากฏการณ์เหล่านี้ โดยพัฒนาแนวคิดจากทรงกลมร่วมของไพธากอรัส แต่ประยุกต์ให้เป็นทรงกลมที่มีแกนหมุนต่อเชื่อมกันซับซ้อนมากขึ้น กำหนดให้โลกไม่มีการเคลื่อนที่อยู่ศูนย์กลางทรงกลมใหญ่ เมื่อเห็นดาวฤกษ์เคลื่อนที่ก็เพราะว่าทรงกลมใหญ่นี้หมุนรอบโลก ถัดมาจะเป็นทรงกลมของดาวเสาร์ ดาวพฤหัสบดี ดาวอังคาร ดวงอาทิตย์ ดาวศุกร์ ดาวพุธ และดวงจันทร์ตามลำดับ วัตถุท้องฟ้าเหล่านี้ต่างก็เคลื่อนไปตามทรงกลมของตัวเองที่หมุนด้วยความเร็วและบางครั้งมีทิศทางต่างกันไป ยูดอกซัสไม่ได้สร้างแบบจำลองให้เห็นชัดเจน เป็นเพียงแนวคิดที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์บาง

อย่างได้ แต่ก็ยังไม่สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ถอยหลังของดาวอังคารในบางเวลาได้

รูปทรงของโลก

แม้ว่ากรีกโบราณยอมรับว่าโลกกลมเป็นส่วนใหญ่ แต่การที่ทุกคนอาศัยอยู่บนโลกต่างก็มีความรู้สึกว่าโลกแบน ซึ่งถือเป็นเรื่องปกติธรรมดา ทว่าอริสโตเติล (Aristotle) บรมครูของกรีกช่วง 354-322 ปีก่อนคริสตกาล มีข้อพิสูจน์ให้เห็นชัดเจนว่าโลกกลมโดยเขาอธิบายว่า หากสังเกตเงาของโลกที่ตกลงบนดวงจันทร์ ขณะเกิดจันทรุปราคาจะเห็นเงาเป็นแนวโค้ง ซึ่งเกิดจากส่วนโค้งของโลกบังแสงอาทิตย์ไม่ให้ส่องไปถึงดวงจันทร์ได้ เหตุผลเพียงข้อเดียวอาจยังไม่เพียงพอที่จะทำให้คนยอมรับ เขาจึงเสนอเหตุผลอีกข้อหนึ่งขึ้นมาอธิบาย คือการสังเกตดวงดาวบนฟ้าเมื่อเราเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่บนพื้นโลกเช่น ถ้าเราเดินทางไปทางทิศเหนือ เราจะเห็นดาวทางทิศเหนือปรากฏสูงขึ้นมา และมีดาวทางทิศเหนือที่ไม่เคยเห็นมาก่อนปรากฏอีกหลายดวง ส่วนดาวทางทิศใต้จะลดต่ำใกล้ขอบฟ้ามากขึ้นและบางดวงก็หายไป หรือถ้าเดินทางไปทางใต้ก็จะเห็นในทางกลับกัน อริสโตเติลบอกว่า ถ้าโลกแบนดาวจะเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลงไม่ว่าเราจะดูดาวที่ไหนบนโลก แต่เพราะโลกกลมเรากำลังเดินทางไปบนส่วนโค้งของโลกที่บดบังดาวที่อยู่ใต้ขอบฟ้าเอาไว้

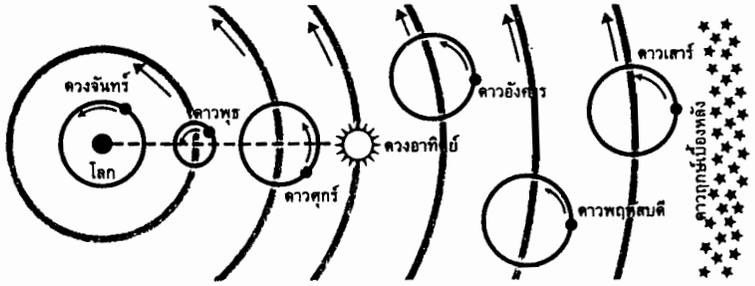
อริสโตเติลเป็นผู้เสนอสสารพื้นฐาน 4 ชนิด ที่สร้างสรรพสิ่งขึ้นมา คือ โลก อากาศ ไฟ และ น้ำ (ดิน น้ำ ลม ไฟ) โลกและน้ำเป็นของหนักจะมีแรงดึงซึ่งกันและกันจนเกิดเป็นทรงกลมขึ้นมา แนวคิดเรื่องสสารและสมมาตรของอริสโตเติล ได้รับการยอมรับต่อเนื่องกันยาวนานต่อมากว่า 2,000 ปี

โลกเคลื่อนที่

ในยุคปลายของไอโอเนีย ต่อเนื่องมาถึงช่วงความเจริญรุ่งเรืองของมหานครอเล็กซานเดรีย ที่เป็นศูนย์กลางของความเจริญวัฒนาในหลายด้าน รวมทั้งความรู้และแนวคิดในเรื่องของระบบสุริยะ เกิดแหล่งเรียนรู้และครูบาอาจารย์มากมาย ในจำนวนนี้ อริสตาคัส (Aristachus) ในช่วง 310-250 ปีก่อนคริสตกาล เป็นนักดาราศาสตร์ที่อาจถือว่าเป็นบุคคลแรกที่กล้าเสนอแนวคิดว่า โลกของเราก็เป็นเหมือนดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ที่เคลื่อนไปรอบดวงอาทิตย์ และยังบอกต่อไปว่าที่เราเห็นดวงดาวมาปรากฏบนฟ้าและเห็นเคลื่อนที่ไปนั้น เป็นเพราะโลกหมุนรอบแกนตัวเอง เหตุผลที่เขาเชื่อเช่นนี้เพราะเขาพยายามคำนวณหาระยะทางและขนาดเปรียบเทียบกันระหว่างโลกดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ แล้วพบว่าดวงอาทิตย์มีขนาดใหญ่โตกว่าโลกมากจึงน่าจะอยู่เป็นศูนย์กลางมากกว่าโลก แม้ว่าทฤษฎีที่อริสตาคัสใช้ในการวัดระยะและขนาดเปรียบเทียบดังกล่าวจะดูน่าเชื่อถือ แต่ค่าที่ออกมาผิดจากความจริงที่รู้กันในปัจจุบันเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามผู้คนในยุคนั้นไม่ใคร่จะมีใครเชื่อแนวคิดของอริสตาคัสมากนัก พวกเขาคิดกันว่าโลกเป็นศูนย์กลางของเอกภพสามารถอธิบายปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ง่ายกว่า

โทเลมีกับวงกลมวงเล็กของดาวเคราะห์

นักปราชญ์ผู้ยิ่งใหญ่ของกรีกโบราณ ในช่วง ค.ศ. 120-180 คือ คลอดิอุส โทเลมีอุส (Claudius Ptolemaeus) เรียกกันโดยย่อว่า โทเลมี (Ptolemy) แนวคิดเกี่ยวกับโครงสร้างของระบบสุริยะของเขาเป็นต้นแบบเพื่อการศึกษาดาราศาสตร์ของผู้คนยุคนั้นต่อเนื่องยาวนานนับ 1,000 ปี ที่จริงแล้วโทเลมีก็ศึกษาแนวคิดที่ว่าดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของเอกภพอยู่บ้างเหมือนกัน แต่ต่อมาเขาก็หันกลับไปสู่ความคิดดั้งเดิมที่ว่าโลกเป็นศูนย์กลาง และวัตถุบนท้องฟ้าทั้งหลายนั้นต่างก็เคลื่อนที่ไปรอบโลก-



● ระบบสุริยะของโทเลมี (The Ptolemic system)

โทเลมีพยายามหาคำตอบว่าทำไมบางครั้งดาวเคราะห์จึงเคลื่อนที่ถอยหลัง เมื่อเทียบกับดาวดวงอื่น ๆ บนฟ้า และสามารถอธิบายลักษณะการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ตามแบบของเขาได้โดยมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมเล็กขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่เป็นวงกลมใหญ่ไปรอบโลกเรียกว่า อีปิไซเคิล (Epicycle) เช่นดาวอังคาร ขณะโคจรรอบโลกเป็นวงกลมใหญ่ ก็จะมีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมเล็กไปด้วย ช่วงที่เข้ามาอยู่ใกล้โลกจะสังเกตสว่างมากขึ้นและขณะเคลื่อนเป็นวงกลมเล็กนั้น บางครั้งจึงเห็นว่าเดินถอยหลังแล้วกลับมาเดินหน้าอีกครั้ง รูปแบบการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ของโทเลมีจึงเป็นแบบแผนการคำนวณตำแหน่งดาวเคราะห์ในยุคนั้น

ชาวอาหรับผู้ปกปักรักษาความรู้

หลังยุคของโทเลมี เกิดการถกเถียงถึงโครงสร้างของระบบสุริยะว่าโลกเป็นศูนย์กลาง หรือดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของเอกภพกันมากขึ้น มหานครอะเล็กซานเดรียมีหอสมุดขนาดใหญ่ที่บรรจุความรู้ไว้มากมายถูกทำลายลง กาลเวลาผ่านมาถึงช่วงปี ค.ศ. 800 ผู้ปกครองอาหรับที่ชาญฉลาดได้เก็บรวบรวมความรู้เก่าแก่ และอนุรักษ์ไว้ให้เป็นศูนย์กลางแห่งการศึกษาเรียนรู้ มีการนำความรู้เก่าแก่ของกรีกมาแปลเป็นภาษาอาหรับและเก็บรักษาไว้อย่างดี รวมทั้งความรู้ของโทเลมีที่นำมารวมเล่ม

เป็นภาษาอาหรับชื่อ อัลมาเกดส์ (Almagest) ที่หมายถึง "ยิ่งใหญ่ที่สุด" เป็นพื้นฐานความรู้ที่ศึกษาต่อเนื่องสู่ยุคก้าวหน้าต่อมา

โคเปอร์นิคัสกับแนวคิดใหม่

● นิโคลาส โคเปอร์นิคัส

นักดาราศาสตร์ผู้ยิ่งใหญ่ชาวโปแลนด์ที่พลิกโฉมของระบบสุริยะให้เข้าใกล้ความเป็นจริงในยุคปัจจุบันคือ นิโคลาส โคเปอร์นิคัส (Nikolaj Kopernigk) ที่รู้จักกันในนาม นิโคลาส โคเปอร์นิคัส (Nicholas Copernicus) มีชีวิตในช่วงปี ค.ศ. 1473-1543 ผู้เสนอทฤษฎีที่ว่า ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ ดาวเคราะห์ทุกดวงรวมทั้งโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์ และดวงจันทร์โคจรรอบโลกเป็นแนวคิดที่คัดค้านกับความเชื่อดั้งเดิมที่ยึดถือกันมาตั้งแต่ยุคกรีกโบราณ

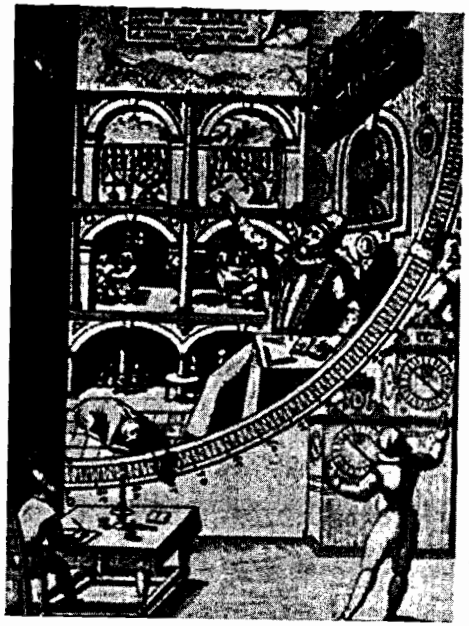
ทฤษฎีของเขาอธิบายการหมุนของโลกเป็นเบื้องต้นโดยการสังเกตการขึ้น การเคลื่อนที่ไปบนฟ้าและการดกลับขอบฟ้าของวัตถุท้องฟ้าทั้งหมด ดูเหมือนว่ามีการหมุนรอบแกนแกนหนึ่ง จึงสังเกตเห็นเช่นนั้น เขาเสนอแนวคิดว่า ถ้าหากเราคิดกลับกันว่าโลกเป็นสิ่งที่หมุนรอบแกนตัวเองล่ะ เมื่อหมุนไปวัตถุท้องฟ้าก็จะปรากฏเคลื่อนที่สวนทางกับการหมุน แม้ว่าโทเลมีเคยอธิบายเรื่องนี้ไว้ชัดเจนแล้วก็ตามว่าถ้าโลกเป็นสิ่งที่หมุนแล้วละก็ วัตถุใด ๆ รวมทั้งบรรยากาศรอบโลกจะเปลี่ยนที่ไป แต่โคเปอร์นิคัสบอกว่า เมื่อโลกหมุนบรรยากาศของโลกทั้งหมดก็ไปด้วยกัน

ในเรื่องของดาวเคราะห์เคลื่อนโคจรไปรอบดวงอาทิตย์โคเปอร์นิคัสยังคงใช้แนวคิดเดิมที่กล่าวถึงการเคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยบอกว่าดาวเคราะห์ทุกดวงมีศูนย์กลางวงกลมคนละจุดในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ ส่วนทฤษฎีการเคลื่อนที่เป็นวงกลมเล็กของโทเลมีนั้น โคเปอร์นิคัสนำมาใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของดวงจันทร์รอบโลกขณะเดียวกันก็เคลื่อนไปรอบดวงอาทิตย์ด้วย ส่วนที่เรามองเห็นดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านไปยังกลุ่มดาวต่างๆ ที่เหมือนเป็นฉากอยู่เบื้องหลังนั้นเป็นเพราะโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์ จากหลักการของพาราลแลกซ์ (Parallax) ที่ว่าเมื่อเราเปลี่ยนที่อยู่จะสังเกตเห็นวัตถุ 2 อย่างที่อยู่ใกล้ไกลต่างกันมีการเปลี่ยนตำแหน่งกันไป เพราะเขาคิดว่าดวงอาทิตย์อยู่ใกล้โลกมากกว่าดาวฤกษ์ทั้งหลายที่อยู่ไกลลิบลับเกินความคิดคำนึง

โคเปอร์นิคัสเขียนรายละเอียดคำอธิบายและการคำนวณไว้อย่างชัดเจนถือเป็นงานทางวิทยาศาสตร์ที่ยิ่งใหญ่หลังยุคกรีกเป็นต้นมา แต่ก็ลังเลที่จะเผยแพร่ความรู้นี้ออกไปเพราะเกรงว่าจะไม่มีคนเชื่อในทฤษฎีของเขา และอาจถูกเยาะเย้ยถากถาง เนื่องจากเขารู้ดีว่าทฤษฎีนี้ยังมีข้อบกพร่องอีกไม่น้อย จนกระทั่งรีดิคัส (Rheticus) เพื่อนสนิทของเขาเข้ามาสนับสนุนส่งเสริมให้ดีพิมพ์ทฤษฎีดังกล่าวนี้ในชื่อ *On the Revolution of the Celestial Spheres* (ชื่อเดิม De Revolutionibus Orbium Coelestrum ที่หมายถึงการเคลื่อนที่โคจรของเทหวัตถุบนฟากฟ้า) หนังสือพิมพ์เสร็จในวันที่ 24 พฤษภาคม ค.ศ. 1543 ตอนที่โคเปอร์นิคัสมีอายุ 70 ปี และไม่กี่ชั่วโมงที่หนังสือพิมพ์เสร็จเขาก็เสียชีวิต เป็นทฤษฎีพลิกโฉมประวัติศาสตร์ดาราศาสตร์ที่เมื่อพิมพ์เสร็จแล้ว ผู้คิดผู้เขียนไม่ได้เปิดอ่านเลยแม้แต่หน้าเดียว

ไทโคกับหอดูดาวที่ไม่มีกล้องโทรทรรศน์

ไทโค บราห์ (Tycho Brahe) นักดาราศาสตร์ชาวเดนมาร์ก ช่วงปี



● ไทโค บราห์
กับโครงไม้วัดตำแหน่งดาวของเขา

ค.ศ.1546-1601 ที่มักจะเรียกชื่อหน้ามากกว่าจะเรียกชื่อสกุลตามธรรมเนียมปกติของชาวยุโรป ไทโคเป็นนักสังเกตการณ์ดาราศาสตร์ที่มีความละเอียดประณีตสูง แม้ในยุคนั้นจะยังไม่มีกล้องโทรทรรศน์ใช้ศึกษาท้องฟ้าและดวงดาวแต่เขาใช้การสังเกตและประดิษฐ์เครื่องมือเพื่อศึกษาวิเคราะห์ดวงดาวบนฟ้าได้

ชีวประวัติของไทโคดูเสมือนว่าถูกชักนำให้สนใจดาราศาสตร์ด้วยปรากฏการณ์ดาราศาสตร์ที่เขาสังเกตเห็น โดยเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม ค.ศ. 1560 ขณะที่เขาอายุ 14 ปี ได้สังเกตเห็นปรากฏการณ์สุริยุปราคา ทำให้เกิดความประทับใจและสนใจดาราศาสตร์เรื่อยมา

แม้ว่าไทโคจะศึกษาเล่าเรียนทางด้านปรัชญาและกฎหมาย แต่ความสนใจด้านดาราศาสตร์ทำให้เขากับเพื่อนๆ ชอบสร้างอุปกรณ์สอบวัดทางดาราศาสตร์มากมาย ที่เขาใช้ประโยชน์มากที่สุดเห็นจะเป็นโครงไม้โค้งขนาดใหญ่ 1 ใน 4 ของเส้นรอบวงกลมที่มีรัศมี 19 ฟุต เพื่อใช้วัดและคำนวณการเปลี่ยนตำแหน่งของดาวเคราะห์ สมัยนั้นยังไม่มีกล้องโทรทรรศน์ ไทโคสังเกตดวงดาวโดยการเล็งตำแหน่งคล้ายกับการเล็งปืนไปยังเป้าหมายแล้ววัดตำแหน่งที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละวัน

วันที่ 11 พฤศจิกายน ค.ศ.1572 ไทโคสังเกตเห็นดาวสว่างมากๆ

ดวงใหม่ในกลุ่มดาวแคสสิโอเปีย (คนไทยเรียกกลุ่มดาวค้างคาว) และเฝ้าติดตามสังเกตต่อเนื่องเรื่องมา แสงสว่างของดาวดวงนี้ค่อยๆ จางหายไป จนถึงเดือนมีนาคม ค.ศ. 1574 นั่นคือเขาสังเกตเห็นดาวระเบิดดวงหนึ่ง และเขียนหนังสือเป็นข้อสรุปเรื่องนี้คือ *De Stella Nova* ที่บันทึกการสังเกตและบอกว่าดาวฤกษ์มีการเปลี่ยนแปลงทั้งความสว่างและสีสัน จากการคำนวณตำแหน่งแล้ว บอกว่าดาวฤกษ์เหล่านั้นอยู่ไกลจากโลกมาก

ปี ค.ศ. 1576 กษัตริย์เฟรเดอริกค์ที่ 2 แห่งเดนมาร์กได้ยกเกาะฮเวน (Hven) และเงินทุนเพื่อการก่อสร้างหอสังเกตการณ์ดาราศาสตร์ พร้อมกับเงินประจำตำแหน่งนักดาราศาสตร์ประจำราชสำนักให้แก่เขา ทำให้มีผลงานทางดาราศาสตร์ใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากมาย เช่น ทำแผนที่ดาวฤกษ์บนฟ้าได้เพิ่มขึ้นและกำหนดตำแหน่งได้ละเอียดมากกว่าเดิม

ปรากฏการณ์ดาราศาสตร์อีกครั้งที่เขาสังเกตเห็นคือในปี ค.ศ. 1577 มีดาวหางดวงใหญ่ดวงหนึ่งมาปรากฏบนฟ้า ซึ่งไม่รอดพ้นไปจากสายตาและการคำนวณของเขา จนได้ข้อสรุปในหนังสือที่กล่าวถึงดาวหางโดยบอกว่า สิ่งนี้คือวัตถุท้องฟ้าอีกชนิดหนึ่งอยู่ไกลกว่าดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และดาวเคราะห์ไม่ใช่วัตถุในบรรยากาศที่อริสโตเติลเคยบอกเอาไว้

ไทโคยอมรับทฤษฎีของโทเลมีมากกว่าของโคเปอร์นิคัส แต่ก็พยายามเสนอทฤษฎีระบบสุริยะตามแบบฉบับของตัวเองขึ้นมาโดยบอกว่ามีเฉพาะดวงอาทิตย์และดวงจันทร์เท่านั้นที่โคจรอยู่รอบโลก ส่วนดาวเคราะห์ดวงอื่นที่รู้จักกันตอนนั้นโคจรรอบดวงอาทิตย์ เป็นแนวคิดใหม่ของเขาที่แปลกแตกต่างไปจากโทเลมีและโคเปอร์นิคัส

ปี ค.ศ.1599 ไทโคต้องย้ายอุปกรณ์เครื่องไม้เครื่องมือดาราศาสตร์มายังกรุงปรากตามคำเชิญของจักรพรรดิรูดอล์ฟที่ 2 ของเยอรมัน เพราะกษัตริย์เดนมาร์กองค์ต่อมาไม่ให้ความสนับสนุน และที่นี่เองไทโคมีผู้ช่วยยอดอัจฉริยะคนหนึ่งคือ โจฮันส์ เคปเลอร์

เคปเลอร์กับกฎเกณฑ์การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์

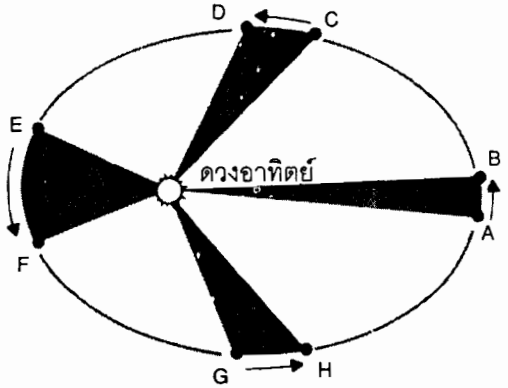
โจฮันส์ เคปเลอร์ (Johannes Kepler) นักดาราศาสตร์เยอรมันในช่วงปี ค.ศ. 1571-1630 ได้รับแรงบันดาลใจให้สนใจในวิชาการดาราศาสตร์ด้วยปรากฏการณ์ดาราศาสตร์ นั่นคือเคปเลอร์สังเกตเห็นดาวหางดวงใหญ่มาปรากฏบนฟ้าในปี ค.ศ. 1577 ขณะที่เขามีอายุเพียง 6 ขวบ และสนใจในสิ่งที่เกิดขึ้นทันที

เคปเลอร์เป็นนักคิดที่มีความเป็นอัจฉริยะ เขาศึกษาความรู้ตั้งแต่สมัยกรีกโบราณ จากแนวคิดของผู้รู้แต่ละยุคสมัยทั้งของโทเลมี โคเปอร์นิคัส แม้ว่าสมัยนั้นแนวคิดของโคเปอร์นิคัสจะเป็นแนวคิดที่ขัดกับหลักศาสนาถือเป็นแนวคิดต้องห้ามก็ตาม ในช่วงที่เขาเป็นอาจารย์สอนคณิตศาสตร์ที่เมืองกราซประเทศออสเตรีย เขาพยายามหาความสมดุลของการอยู่ร่วมกันของดาวเคราะห์ที่รู้จักกันในตอนนั้น 5 ดวง ยกเว้นดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ โดยเลข 5 นี้ไปตรงกับรูปทรงสมมาตร 5 แบบที่บรมครูพลาโตเคยเสนอไว้ว่าเป็นรูปทรงที่สมบูรณ์แบบที่สุดในเอกภพ เขาจึงพยายามทำแบบจำลองนำรูปทรงทั้ง 5 แบบมาจัดเรียงให้เหมาะสมเพื่อที่จะอธิบายตำแหน่งของดาวเคราะห์ในวงโคจรต่าง ๆ แต่ก็ไม่ประสบความสำเร็จเพราะไม่สามารถจัดเรียงให้มีระยะตัวเลขที่เข้ากันได้กับทฤษฎีของโคเปอร์นิคัสเลย

ในช่วงปี ค.ศ.1600 ขณะที่เคปเลอร์อายุ 28 ปี ได้เข้าไปเป็นผู้ช่วยไทโคในหอดูดาวที่กรุงปราก ณ ที่นี้เองเคปเลอร์ดื่นเต้นที่ได้เห็นเครื่องไม้เครื่องมือที่ถือว่าทันสมัยมากในยุคนั้นเพื่อการศึกษาหาความรู้ ไทโคเองก็ไม่ได้บอกรายละเอียดและข้อมูลอะไรมากนักคงอยากให้เป็นเพียงแค่ผู้ช่วยธรรมดาๆ คนหนึ่ง แต่เคปเลอร์ไม่ธรรมดาอย่างที่ไทโคคิดเพราะอีก 1 ปีให้หลัง ไทโคเสียชีวิตลงและเขาต้องรับช่วงงานต่อจากไทโค พยายามศึกษาข้อมูลที่เก็บเอาไว้มาวิเคราะห์โดยละเอียดพบว่า ไทโคมีข้อมูลที่สังเกตดาวเคราะห์ต่าง ๆ ไว้มากมายโดยเฉพาะดาวอังคารที่ไทโค

ให้ความสนใจเป็นพิเศษ เพราะสังเกตการเคลื่อนที่เดินหน้าถอยหลังได้ชัดเจนมากในช่วงเวลาไม่ยาวนานนัก ข้อมูลนี้เป็นประโยชน์ต่อเคปเลอร์อย่างยิ่ง

ครั้งแรกเคปเลอร์ก็คิดว่า ดาวเคราะห์ทุกดวงเคลื่อนที่เป็นวงกลมเหมือนๆ กับที่นักดาราศาสตร์ทุกยุคทุกสมัยคิดกัน แต่จากการวิเคราะห์ข้อมูลตำแหน่งของดาวอังคารที่มีอยู่อย่างต่อเนื่องยาวนาน เคปเลอร์รู้ว่าดาวอังคารไม่ได้โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงกลมแต่เป็นวงรี โลกของเราก็โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีด้วยแต่รีน้อยกว่าดาวอังคาร นับเนื่องเป็น



● เส้นตรงที่ลากจากดวงอาทิตย์มายังดาวเคราะห์จะกวาดเป็นพื้นที่เท่ากัน (พื้นที่เข้ม) ในเวลาเท่ากัน

เวลา 6 ปี ที่เขาเฝ้าสังเกตศึกษาในเรื่องนี้ จนสามารถเสนอกฎสำคัญ 2 ข้อแรกได้โดยกฎข้อที่ 1 ของเคปเลอร์ บอกว่า "ดาวเคราะห์ทุกดวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยมีดวงอาทิตย์เป็นจุดโฟกัสจุดหนึ่ง" และกฎข้อที่ 2 กล่าวว่า "ขณะเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์เส้นตรงที่ลากจากดวงอาทิตย์มายังดาวเคราะห์จะกวาดเป็นพื้นที่เท่ากัน เมื่อดาวเคราะห์เคลื่อนไปในเวลาเท่ากัน" ข้อที่ 2 นี้อธิบายได้ว่า ดาวเคราะห์ที่เข้าใกล้ดวงอาทิตย์มากขึ้นจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น ถ้าเคลื่อนที่ห่างดวงอาทิตย์ก็จะ

เคลื่อนช้าลง กฎ 2 ข้อแรกของเคปเลอร์นี้ตีพิมพ์ในหนังสือของเขาชื่อ *Astronomia Nova* ในปี ค.ศ.1609 และต้องใช้เวลาอีก 9 ปี จึงสามารถค้นพบกฎข้อที่ 3 ของเขาที่กล่าวถึงความสัมพันธ์กันของระยะเวลาที่ดาวเคราะห์เคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์กับระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์ดวงนั้นคือ "กำลังสองของเวลาที่ดาวเคราะห์ใช้เคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์จะเท่ากับกำลังสามของระยะห่างโดยเฉลี่ยที่ดาวเคราะห์อยู่ห่างจากดวงอาทิตย์"

$$p^2 = a^3$$

เมื่อ p คือ เวลาที่ดาวเคราะห์ใช้เคลื่อนโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ 1 รอบ มีหน่วยเป็นปี

a คือระยะห่างโดยเฉลี่ยที่ดาวเคราะห์ดวงนั้นอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ ใช้ระยะทางเป็นหน่วยดาราศาสตร์ (Astronomical Unit: AU.) โดยเป็นระยะเปรียบเทียบของสมาชิกในระบบสุริยะที่ให้โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ 1 หน่วยดาราศาสตร์ (1 AU.)

กฎเกณฑ์การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ทั้ง 3 ข้อของเคปเลอร์ถือเป็นกฎที่มีความสำคัญยิ่งในแวดวงวิชาการทางดาราศาสตร์ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อนักดาราศาสตร์ยุคต่อ ๆ มา แม้เคปเลอร์จะเฉลยความลับของเอกภพจนแจ้งประจักษ์ได้ แต่เขาจะมีคำถามที่กวนใจอยู่ตลอดเวลา และยังหาคำตอบที่ดีที่สุดไม่ได้ คือมีแรงอะไรทำให้ดาวเคราะห์หมุนไปรอบดวงอาทิตย์

กาลิเลโอกับกล้องดูดาวของเขา

นักดาราศาสตร์ร่วมสมัยกับโจฮันส์ เคปเลอร์ ที่มีแนวคิดก้าวหน้าคือกาลิเลโอ กาลิเลอี (Galileo Galilei) ในช่วงปี ค.ศ. 1564 - 1642 บุคคลที่โลกยกย่องให้เป็น "บิดาแห่งดาราศาสตร์ภาคสังเกตการณ์" กาลิเลโอเป็นทั้งนักวิทยาศาสตร์ นักดาราศาสตร์ผู้ยิ่งใหญ่ที่ไม่ยอมเชื่อ

● กาลิเลโอ กาลิเลอี

อะไรง่าย ๆ ถ้าไม่ผ่านการทดลองพิสูจน์เสียก่อน และได้พิสูจน์แนวคิดที่เป็นความเชื่อผิด ๆ จากครั้งอดีตหลายเรื่องเพื่อให้ทุกคนได้รับทราบความจริง ที่รู้กันดีก็คือการทดลองปล่อยของตกจากหอเอนเมืองปิซา ความเชื่อดั้งเดิมจากครั้งอริสโตเติลนักปราชญ์ชาวกรีกที่บอกว่าวัตถุที่มีน้ำหนักมากกว่าจะตกถึงพื้นเร็วกว่าวัตถุที่มีน้ำหนักน้อยกว่า แต่กาลิเลโอบอกว่าถ้าวัตถุมีรูปทรงเหมือน ๆ กัน แม้จะมีน้ำหนักต่างกันจะตกถึงพื้นดินพร้อมกัน โดยทดลองปล่อยวัตถุทั้งสองจากยอดหอเอนเมืองปิซาผลปรากฏเป็นไปตามที่กาลิเลโอบอกไว้

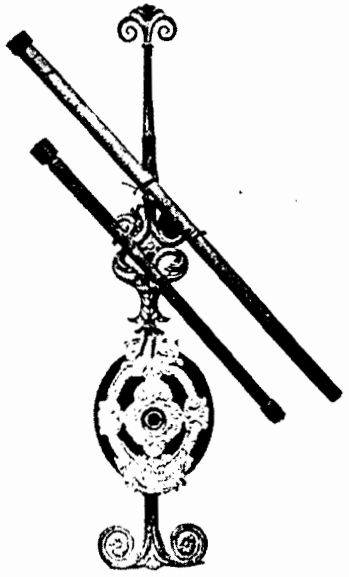
ปี ค.ศ. 1609 กาลิเลโอรู้ข่าวว่าที่ประเทศฮอลแลนด์ มีการสร้างกระจกสายลับ สามารถทำให้มองเห็นวัตถุไกล ๆ มีขนาดโตขึ้นเหมือนอยู่ใกล้ได้ โดยช่างทำแว่นตาชื่อ ฮันส์ ลิปเปอร์เชย์ (Hans Lippershey) ประดิษฐ์เลนส์และแสดงคุณสมบัติการขยายภาพ กาลิเลโอได้ศึกษาหาความรู้ และประยุกต์จนประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์เพื่อใช้ส่องสังเกตวัตถุท้องฟ้า เป็นกล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหแสงขนาดเล็กหน้ากล้อง 4 เซนติเมตร กาลิเลโอใช้เลนส์นูนความยาวโฟกัสมากเป็นเลนส์วัตถุและใช้เลนส์เว้าความยาวโฟกัสสั้นเป็นเลนส์ตา (ปัจจุบันกล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหแสงใช้เลนส์นูนความยาวโฟกัสมากเป็นเลนส์วัตถุ และใช้เลนส์นูนความยาวโฟกัสสั้นเป็นเลนส์ตา) เพื่อเปิดเผยความลึกลับบนฟากฟ้าจากการมองเห็นด้วยตาตนเอง

ที่จริงแล้วในช่วงปี ค.ศ. 1559 ลีโอนาร์ด ดิกเกส (Leonard Digges)

ชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์กล้องเพื่อใช้ดูวัตถุที่อยู่ไกล ๆ มาก่อนแล้ว แต่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ในการศึกษาสังเกตท้องฟ้าและดวงดาวเลย แม้ว่ากาลิเลโอจะไม่ใช่ผู้ประดิษฐ์กล้องลักษณะนี้เป็นคนแรก แต่ถือว่าเป็นบุคคลแรกที่ใช้กล้องโทรทรรศน์ส่องดูดาวบนท้องฟ้า

กาลิเลโอเริ่มต้นส่องสังเกตดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และดาวเคราะห์ต่าง ๆ พบว่ามีสิ่งที่คาดไม่ถึงมากมายที่ปรากฏต่อสายตาของเขา จนต้องตีพิมพ์ลงในหนังสือ *The Starry Messenger* (ผู้ส่งสารดวงดาว) ในปี ค.ศ. 1610 บรรยายถึงความมหัศจรรย์ที่เขามองเห็นเป็นครั้งแรกพร้อมภาพวาดขณะที่เขาสังเกต เป็นสิ่งที่ไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า

แต่เดิมมนุษย์เชื่อว่าบนท้องฟ้าเป็นสรวงสวรรค์ที่เป็นที่อยู่ของเทพเทวดา วัตถุบนสวรรค์ย่อมราบเรียบ สมบูรณ์แบบ ไร้มลทิน ไม่มีที่ติ แต่กาลิเลโอเห็นหลุมบ่อของดวงจันทร์ขรุขระ เห็นดวงอาทิตย์มีจุดดำแต่งแต้มอยู่ พบว่าฝ้าขาว ๆ เป็นแนวทางบนท้องฟ้า (คนไทยเรียกทางช้างเผือก)นั้นประกอบด้วยดวงดาวมากมาย สังเกตว่าดาวพุธและดาวศุกร์ปรากฏเป็นเสี้ยวเหมือนดวงจันทร์ข้างขึ้นข้างแรมตลอดเวลา ค้นพบว่าดาวพฤหัสบดีมีบริวารดวงเล็ก ๆ 4 ดวงที่หมุนรอบดาวดวงแม่เหมือนเป็นระบบเล็ก ๆ อีกระบบหนึ่ง ฯลฯ



● กล้องโทรทรรศน์ของกาลิเลโอ

แม้ว่าการค้นพบสิ่งใหม่ ๆ ของกาลิเลโอทำให้เขามีชื่อเสียงไปทั่วยุโรป แต่ก็ยังมีหลายคนไม่ยอมรับแม้ว่าจะได้ดูจากกล้องโทรทรรศน์แล้วก็ตาม โดยยังเชื่อตามความเชื่อเดิมของอริสโตเติลและโทเลมี ดังนั้นในปี ค.ศ. 1613

กาลิเลโอจึงประกาศการยอมรับทฤษฎีของโคเปอร์นิคัส ที่ว่าดวงอาทิตย์อยู่เป็นศูนย์กลาง ดาวเคราะห์และโลกโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์โคจรรอบโลก และกลายเป็นแนวคิดต้องห้ามในยุคนั้น พระบาทหลวงต้องขอร้องกาลิเลโอไม่ให้เผยแพร่เรื่องนี้ต่อสาธารณะ กาลิเลโอจึงจำต้องหยุดเรื่องนี้ไประยะหนึ่ง

แต่ต่อมา ปี ค.ศ.1632 กาลิเลโอได้พิมพ์หนังสือ บอกว่าโลกไม่ได้เป็นศูนย์กลางของเอกภพพร้อมอธิบายเหตุผลประกอบอย่างชัดเจนจึงถูกจองจำในบั้นปลายชีวิต ก่อนที่กาลิเลโอจะเสียชีวิต 4 ปีเขาตาบอดซึ่งเป็นผลมาจากการสังเกตดวงอาทิตย์มากในช่วงศึกษาวัตถุท้องฟ้าด้วยกล้องโทรทรรศน์นั่นเอง

นิวตันและแรงโน้มถ่วง

● ไอแซก นิวตัน

ในปีที่กาลิเลโอเสียชีวิต ปี ค.ศ.1642 ไอแซก นิวตัน (Isaac Newton) (1642-1727) ได้ถือกำเนิดที่เมืองวูลส์ธอร์ป (Wollsthorpe) ในประเทศ อังกฤษ (บางตำราบอกว่านิวตันเกิดหลังกาลิเลโอเสียชีวิต เพราะช่วงนั้นยังมีการใช้ปฏิทินต่างกัน 2 แบบ คือปฏิทินแบบจูเลียนคือแบบเก่าและปฏิทินแบบเกรกอเรียน คือแบบใหม่ที่ใช้กันในปัจจุบันถ้ายึดถือตามปฏิทินเกรกอเรียนนิวตันจะเกิดในปีที่กาลิเลโอเสียชีวิต) เป็นยอดนักวิทยาศาสตร์นักคณิตศาสตร์และนักดาราศาสตร์ที่มีชื่อเสียงมากในยุคนั้นจนได้รับตำแหน่งชั้นอัศวินเป็นเซอร์ไอแซก นิวตัน (Sir Isaac Newton)

ขณะที่นิวตันมีอายุ 9 ขวบเขาประดิษฐ์นาฬิกาแดดแบบติดผนังไว้ที่บ้านตัวเองเพื่อใช้บอกเวลา แสดงว่าเขามีความสนใจและเข้าใจปรากฏการณ์บนฟากฟ้าตั้งแต่อายุยังน้อย ส่อแววถึงความเป็นนักวิทยาศาสตร์ที่ยิ่งใหญ่และแววนั้นก็ฉายแสงเจิดจ้าขึ้นเมื่อเติบใหญ่ เพราะเขาเป็นนักวิทยาศาสตร์ทั้งด้านทฤษฎีและการปฏิบัติ สามารถอธิบายและแสดงผลในเรื่องสเปกตรัมของแสง คิดค้นวิชาแคลคูลัสเป็นสาขาวิชาหนึ่งทางคณิตศาสตร์และประยุกต์สร้างกล้องโทรทรรศน์ แก้ปัญหาการเกิดสีรุ้งในแบบดั้งเดิมจากสมัยกาลิเลโอ เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้กระจกเว้ารับภาพแทนเลนส์นูนที่เรียกกว่ากล้องโทรทรรศน์แบบสะท้อนแสง

นิวตันยอมรับทฤษฎีการเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ของเคปเลอร์และดูเสมือนว่าเขาพยายามหาคำตอบที่เคปเลอร์ทิ้งไว้เป็นปริศนาก็คือทำไมดาวเคราะห์ทุกดวงจึงต้องเคลื่อนโคจรไปรอบดวงอาทิตย์

โดยเริ่มต้นตั้งโจทย์หรือข้อสงสัยก่อนว่าทำไมดวงจันทร์จึงโคจรรอบโลกทำไมจึงไม่บินหนีไปไกล ๆ ในอวกาศที่เหมือนกับยิงก้อนหินไปไกล ๆ มีแรงอะไรดึงเอาไว้ในวงโครจร จะเหมือนกับที่โยนก้อนหินขึ้นข้างบนแล้วดกลงมาหรือไม่ มันเป็นแรงเดียวกันกับที่ทำให้ดวงจันทร์โคจรรอบโลกและดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์หรือไม่ จนวันหนึ่งมีการกล่าวเล่าต่อกันมาว่า ขณะที่นั่งอยู่ใต้ต้นแอปเปิ้ลในฟาร์มบ้านตนเอง ลูกแอปเปิ้ลตกลงสู่พื้นโลกลูกแล้วลูกเล่า มันไม่ลอยขึ้นข้างบนเลย แสดงว่าโลกมีแรงดึงดูดสิ่งของต่าง ๆ บนโลกเอาไว้ และดึงดูดดวงจันทร์ด้วยแต่ดวงจันทร์ไม่ตกสู่โลกเพราะดวงจันทร์อยู่ไกลกว่าลูกแอปเปิ้ล แสดงว่านิวตันได้เริ่มค้นพบกฎเกณฑ์แรงโน้มถ่วงระหว่างมวลสารขึ้นแล้ว ต่อจากนั้นก็คำนวณผลจากกฎของเคปเลอร์เพื่อยืนยันทฤษฎีตนเอง ถือเป็นการค้นพบกฎเกณฑ์ที่ยิ่งใหญ่ของระบบสุริยะและเอกภพในช่วงที่

เขายังอยู่ในวัยหนุ่ม อายุไม่ถึง 30 ปี

ในช่วงปี ค.ศ.1682 เอ็ดมันด์ แฮลลีย์ (Edmond Halley) (1656-1742) ได้เห็นดาวหางดวงหนึ่งและพยายามศึกษาการเคลื่อนโคจรของมัน แฮลลีย์วิเคราะห์จากกฎข้อที่ 3 ของเคปเลอร์แต่แทนตัวเลขให้ง่ายเข้าโดยให้วงโคจรเป็นวงกลมไม่ใช่วงรี เพราะใช้ค่าระยะห่างจากดวงอาทิตย์ (a) ด้วยรัศมีของวงกลม เขาพบว่ากฎข้อที่ 3 ของเคปเลอร์นี้แทนค่าได้ลงตัวที่สุด ดวงอาทิตย์ต้องส่งแรงดึงดูดมายังดาวที่โคจรรอบตัวมันในลักษณะที่เป็นปฏิภาคผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ยังข้องใจเรื่องการเคลื่อนโคจรว่าเป็นวงกลมหรือวงรีกันแน่ เขาจึงไปพบนิวตันในปี ค.ศ. 1684 โดยไม่รู้มาก่อนเลยว่านิวตันค้นพบกฎเกณฑ์เหล่านี้แล้ว นิวตันพิสูจน์กฎของเคปเลอร์ทั้ง 3 ข้อ ให้แฮลลีย์ได้เข้าใจ โดยบอกว่าดาวหางก็โคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีด้วย จึงทำให้แฮลลีย์ย้อนกลับไปดูบันทึกการโคจรของดาวหางที่มีวงโคจรคล้าย ๆ ดาวหางดวงที่เขาสังเกตและคำนวณค่าวงโคจรจากกฎของเคปเลอร์ ทำให้รู้ว่ามีดาวหางที่มีวงโคจรคล้ายกันเข้ามาปรากฏทุก ๆ 75-76 ปี แฮลลีย์รู้ว่าเป็นดาวหางดวงเดียวกัน เขาจึงทำนายว่า ดาวหางดวงที่เห็นในปี ค.ศ. 1682 จะเข้ามาปรากฏให้เห็นอีกในปี ค.ศ. 1758 ซึ่งต่อมาดาวหางดวงนี้จึงได้ชื่อแฮลลีย์ ตามชื่อของเขาเพราะดาวหางมาปรากฏให้เห็นจริง ๆ ตามคำทำนาย

แฮลลีย์สนับสนุนให้นิวตันพิมพ์หนังสือการค้นพบของเขาในชื่อ *The Mathematical Principles of Natural Philosophy* ที่รู้จักกันดีในเวลาต่อมาในชื่อ *Principia* หนังสือพิมพ์เสร็จในปี ค.ศ. 1687 กล่าวถึงกฎแรงโน้มถ่วงในเอกภพที่วัตถุใด ๆ ก็ตามจะมีแรงดึงดูดซึ่งกันและกัน วัตถุมวลมากกว่าจะมีแรงกระทำมากกว่า วัตถุที่อยู่ใกล้กันมีแรงดึงดูดมากกว่าวัตถุที่อยู่ห่างกัน และยังเสนอกฎการเคลื่อนที่ 3 ข้อที่บอกว่า

1. วัตถุใดก็ตาม เมื่อมีการเคลื่อนที่โดยอิสระจะคงรักษาสภาพการเคลื่อนที่นั้นไว้ด้วยความเร็วคงเดิม ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำ

2. หากมีแรงกระทำต่อวัตถุที่เคลื่อนที่ วัตถุนั้นจะเปลี่ยนความเร็วหรือเปลี่ยนทิศทางขึ้นอยู่กับว่าแรงที่กระทำนั้นมีทิศทางใด

3. เมื่อมีแรงเกิดขึ้นจะเกิดเป็น 2 แรงที่เท่ากันและมีทิศทางตรงข้ามกันเสมอคือแรงกระทำหรือแรงกิริยา (Action) และแรงตอบโต้หรือแรงปฏิกิริยา (Reaction) เหมือนกับที่ปล่อยลูกโป่งให้วิ่งไปในอากาศ ลูกโป่งวิ่งไปด้วยแรงหนึ่งและเกิดแรงดันตรงข้ามคืออากาศที่ดันออกมา

ปริศนาของเคปเลอร์ที่ว่า แรงลึกลับดึงดูดวัตถุในเอกภพให้อยู่ด้วยกันจึงถูกค้นพบภายหลังยุคของเคปเลอร์อีก 50 กว่าปี โดยเซอร์ไอแซก นิวตันที่เรียกแรงนี้ว่า แรงโน้มถ่วง (Gravity)

ระบบสุริยะดั้งเดิม

นิวตันเสียชีวิตในปี ค.ศ.1727 สมัยที่ผู้คนเชื่อทฤษฎีของโคเปอร์นิคัสที่ว่า ดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางของระบบสุริยะ ทุกคนยอมรับว่าอวกาศกว้างใหญ่ไพศาลมีดาวฤกษ์อยู่มากมาย แต่ยังคิดว่าระบบสุริยะของเรานี้ ดาวเสาร์เป็นดาวเคราะห์ที่อยู่ไกลสุดและเป็นขอบเขตของระบบสุริยะที่มีดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลาง และรู้จักดาวเคราะห์ที่เห็นด้วยตาเปล่าเพียง 5 ดวง คือดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก ดาวอังคาร ดาวพฤหัสบดี และดาวเสาร์ ซึ่งถือเป็นโครงสร้างระบบสุริยะแบบเดิมหรือ "ระบบสุริยะดั้งเดิม"

จวบจนยุคต่อ ๆ มามีการค้นพบดาวเคราะห์ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าเพิ่มขึ้น คือ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน และดาวพลูโต ค้นพบดาวเคราะห์น้อย ดาวหาง และดวงจันทร์บริวารของดาวเคราะห์เพิ่มขึ้น ระบบสุริยะรูปแบบใหม่ที่เรากำลังศึกษาอยู่นี้จึงค่อย ๆ ปรากฏเป็นรูปร่างที่ชัดเจนขึ้น

ดวงอาทิตย์และบริวาร

ปัจจุบันมนุษย์รู้ว่าระบบสุริยะคือชุมชนเล็กๆ ชุมชนหนึ่งในเอกภพที่กว้างใหญ่ไพศาล มีดาวฤกษ์ คือดวงอาทิตย์อยู่เป็นศูนย์กลาง ส่งแรงดึงดูดให้ดาวเคราะห์ที่เรารู้จักแล้ว 9 ดวงโคจรไปรอบ ๆ เรียงตามลำดับออกไปจากดวงอาทิตย์คือ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก ดาวอังคาร ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน และดาวพลูโต โดยที่ดาวสามดวงท้ายมนุษย์ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าบนท้องฟ้า มีดวงจันทร์บริวารของดาวเคราะห์รวมกันไม่น้อยกว่า 100 ดวง ยกเว้นดาวพุธและดาวศุกร์ ไม่มีดวงจันทร์บริวาร มีดาวเคราะห์น้อยนับพันดวง อุกกาบาตและดาวหางดวงเล็ก ดวงน้อยอีกเป็นพันล้านดวง

มวลสารส่วนใหญ่ของระบบสุริยะไปประกอบเป็นดวงอาทิตย์ มากถึงร้อยละ 99.8 ที่เหลืออีกร้อยละ 0.2 คือบริวารของดวงอาทิตย์ และสมาชิกอื่น ๆ ดาวเคราะห์ชั้นใน (Inner Planets) พวกเดียวกับโลก คือ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก และดาวอังคาร เป็นพวกหินแข็ง และมีวงโคจรใกล้

ดวงอาทิตย์ มีแถบของดาวเคราะห์น้อยพวกก้อนหิน และชิ้นส่วนเล็กๆ มากมายเป็นตัวแยกดาวเคราะห์ชั้นนอก (Outer Planets) ออกไป คือ ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน เป็นดาวเคราะห์ขนาดใหญ่ที่ประกอบไปด้วยก๊าซเป็นส่วนใหญ่และดาวพลูโตที่เป็นก้อนหินน้ำแข็ง

ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์ไปในทิศทางเดียวกัน ถ้ามองจากด้านบนลงมาจะเคลื่อนโคจรทวนเข็มนาฬิกา ดวงที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุด เคลื่อนโคจรเร็วที่สุด ดวงที่อยู่ไกลดวงอาทิตย์ออกไป เคลื่อนโคจรช้าลงเป็นลำดับไป ระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ของดาวเคราะห์ทุกดวงแตกต่างกันน้อยมากยกเว้นเพียงดาวพลูโต ที่ระนาบวงโคจรเอียงไปมาก และบางครั้ง ดาวพลูโตจะอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าดาวเนปจูน ดาวหางมีวงโคจรที่แปลกแตกต่างออกไป คือเป็นวงรีมาก แต่ทุกดวงต่างก็เคลื่อนโคจรไปรอบดวงอาทิตย์

ขณะที่เคลื่อนโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ดาวเคราะห์ทุกดวงมีการหมุนรอบแกนตัวเองครบรอบในช่วงเวลาเร็ว-ช้าต่างกัน โดยหมุนไปในทิศทางเดียวกันกับการโคจรรอบดวงอาทิตย์ คือทวนเข็มนาฬิกายกเว้นดาวศุกร์ที่หมุนกลับทิศกับดาวเคราะห์ดวงอื่น

ดวงอาทิตย์แผ่รังสีแสงสว่าง ความร้อน และพลังงานจากตัวเองออกไป ดาวเคราะห์ส่องแสงให้เห็นบนฟ้าได้เพราะสะท้อนแสงจากดวงอาทิตย์ ระหว่างดาวเคราะห์ทุกดวงมีลมสุริยะ (Solar Wind) ที่เป็นอนุภาคประจุไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์กระจายอยู่ทั่วไป อย่างไรก็ตามเมื่อคิดอาณาเขตรวมทั้งหมดของระบบสุริยะแล้ว พื้นที่ส่วนใหญ่ยังเป็นที่ว่างมากที่สุด

เราจะศึกษาเรื่องราวเหล่านี้ โดยละเอียดต่อไป

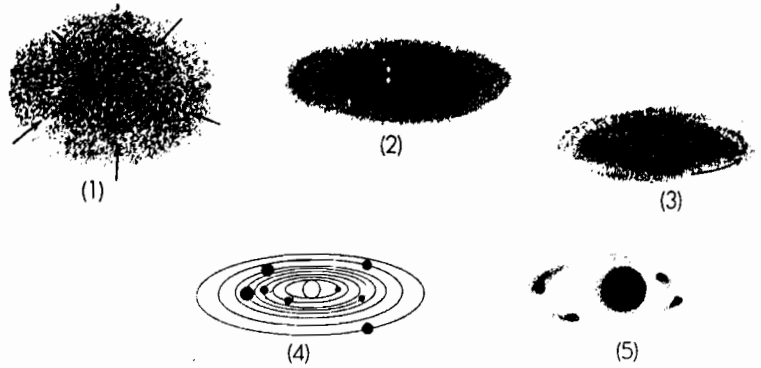
กำเนิดระบบสุริยะ

แนวคิดเกี่ยวกับกำเนิดระบบสุริยะที่ยอมรับกันในปัจจุบัน คือแนวคิดเริ่มต้นของ อิมมานูเอล คานท์ (Immanuel Kant) (1724-1804) ปรัชญาเมธีชาวเยอรมันที่สนใจด้านดาราศาสตร์ ที่บอกว่าระบบสุริยะ ดวงอาทิตย์ และดาวเคราะห์ เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จากกลุ่มฝุ่นก๊าซก้อนมหึมาที่เรียกว่า เนบิวลาดวงอาทิตย์ หรือโซลาร์เนบิวลา (Solar Nebula) ในปี ค.ศ. 1755

แนวคิดนี้ได้รับการสนับสนุนในเวลาต่อมา โดยลาปลาซ (Laplace, Pierre Simon) (1749 - 1827) นักคณิตศาสตร์และนักดาราศาสตร์ผู้ยิ่งใหญ่ชาวฝรั่งเศส ในปี ค.ศ. 1769

เนบิวลา (Nebula) คือกลุ่มฝุ่นก๊าซที่มีอยู่ในกาแล็กซีทั่วไป มนุษย์ศึกษาสังเกตเห็นเป็นลักษณะขุ่นฝ้ามัวคล้ายกับเมฆบนท้องฟ้า (Nebula เป็นภาษาละตินหมายถึง เมฆ) เนบิวลาหลายแห่งเป็นต้นกำเนิดดาวฤกษ์ดวงใหม่ๆ และบางแห่งก็เป็นซากเหลือจากการระเบิดของดาวฤกษ์ที่รอคอยการก่อตัวเป็นดาวฤกษ์ดวงใหม่ต่อไป

ดามแนวคิดนี้ย้อนกลับไปประมาณ 5,000 ล้านปีที่แล้ว ก่อนที่จะก่อเกิดระบบสุริยะขึ้นมา กลุ่มฝุ่นก๊าซที่เรียกว่าเนบิวลาคงมีอยู่ทั่วไปในเอกภพมีกลุ่มฝุ่นก๊าซมากมายจำนวนหนึ่งเริ่มก่อตัวใหญ่โตมากขึ้นเรียกว่า เนบิวลาดวงอาทิตย์



(1) การเข้ามารวมและขยายตัวเติบโตมากขึ้นเกิดขึ้นจากแรงโน้มถ่วงของตัวเองและถูกรบกวนจากแรงผลักดันของดาวฤกษ์บางดวงที่อยู่ใกล้เคียงเกิดการระเบิดส่งพลังงานออกมาในอวกาศ ฝุ่นก๊าซเหล่านี้จึงรวมตัวและหมุนวนเป็นวงขนาดมหึมา (2) ระยะเวลาผ่านไปด้วยอิทธิพลแรงโน้มถ่วงของตนเอง มวลฝุ่นก๊าซจึงหดตัวอัดแน่นกันมากขึ้นบริเวณใจกลางที่ดึงดูดมวลสารจำนวนมากเข้าไป และหมุนวนเป็นวงเร็วขึ้นกว่าเดิม (3) ทั้งนี้เพื่อรักษาโมเมนตัมเชิงมุมของตนเองเอาไว้ (คล้ายกับนักสเกตน้ำแข็งที่ต้องการให้มีการหมุนรอบตัวเองเร็วขึ้น เขาจะหดมือเข้าไปใกล้จุดศูนย์กลางการหมุน แต่ถ้าจะให้หมุนช้าลงเขาจะกางแขนออกไปทั้งสองข้าง) มวลสารเกาะกลุ่มเป็นก้อนตรงใจกลางขนาดใหญ่โต และหมุนด้วยความเร็วเกิดแรงกดดันมหาศาล อุณหภูมิสูงมากขึ้นๆ จนทำให้อะตอมของไฮโดรเจนที่ถือเป็นมวลสารที่มีมากที่สุดมีการปะทะและรวมตัวกันเกิดเป็นฮีเลียม นี่คือปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบหลอมรวมตัว (Nuclear fusion) มวลสารส่วนหนึ่งจะหายไปกลายเป็นพลังงานมหาศาลส่งออกมาจากลูกกลมบริเวณใจกลางนี้ ซึ่งก็คือดาวฤกษ์ดวงหนึ่งได้เกิดขึ้นแล้ว ดาวฤกษ์ดวงนี้คือดวงอาทิตย์ (4) ในระหว่างที่ลูกกลมมหึมาตรงใจกลางกำลังพัฒนาตัวเองให้เป็นดาวฤกษ์ที่สมบูรณ์อยู่นั้น กลุ่มฝุ่นก๊าซและมวลสารส่วนน้อยบางส่วนถูกปล่อยทิ้งไว้รอบนอกบางส่วนหลุดออกมาจากใจกลางด้วยแรงหนีศูนย์กลางมาอยู่กันในแนวระนาบศูนย์กลางของเนบิวลาดวงอาทิตย์นี้ มวลสารบางส่วนที่อยู่บนและล่างของแนวระนาบนี้จะถูกดึงดูดให้เข้ามาอยู่ในแนวระนาบนี้ด้วย พัฒนาการแบบนี้จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมระบบสุริยะของเราจึงมีลักษณะแบนเมื่อมองด้านข้าง ที่สมาชิกทั้งหลายจะอยู่ในแนวเส้นผ่าศูนย์กลางของดวงอาทิตย์เป็นส่วนใหญ่

เศษฝุ่นก๊าซรอบนอกเหล่านี้จะชนกันบ้าง เกาะรวมตัวกันบ้าง เกิดเป็นก้อน เกาะกลุ่มกันเป็นดาวเคราะห์ดวงเล็กดวงน้อยในระยะ

ห่างต่าง ๆ กันจากศูนย์กลางคือดวงอาทิตย์ (5) และเคลื่อนโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ในทิศทางเดิมที่เนบิวลาดวงอาทิตย์นี้หมุนเป็นวงรอบศูนย์กลางตัวเอง ในระยะเริ่มต้นเศษชิ้นส่วนเล็ก ๆ น้อย ๆ ที่ไม่สามารถจับกลุ่มให้เป็นก้อนโตได้ มีอยู่ทั่วไปเป็นพวกดาวเคราะห์น้อย ดาวหาง และอุกกาบาตมากมาย ซึ่งในยุคแรกเริ่มคงมีกระจัดกระจายไร้ระเบียบและพุ่งเข้าชนดาวเคราะห์มากมายเป็นหลักฐานหลุมบ่อบนดาวเคราะห์หลายดวง แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปยาวนาน ระบบสุริยะปรับตัวเองจนมีวงโคจรของสมาชิกที่เป็นระเบียบมากขึ้น เป็นโครงสร้างระบบสุริยะที่เรารู้จักกันในปัจจุบัน

มวลสารที่เป็นองค์ประกอบของระบบสุริยะ

เมื่อพิจารณามวลสารต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของดวงอาทิตย์และบริวารทั้งหลายในระบบสุริยะแล้ว นักวิทยาศาสตร์มั่นใจว่า มวลสารหรือวัตถุธาตุทั้งหลายนั้นก็คือวัตถุดั้งเดิมที่มีอยู่ในเนบิวลาดวงอาทิตย์ เชื่อกันว่าเกิดมาจากการระเบิดใหญ่หรือบิกแบง (Big Bang) เมื่อประมาณ 12,000-6,000 ล้านปีที่แล้ว โดยไฮโดรเจนจะมีมากที่สุด รองลงมา ก็คือฮีเลียม ส่วนวัตถุธาตุอื่น ๆ รวมกันแล้วยังมีน้อยมาก น้อยกว่า 1 ใน 1,000 ของไฮโดรเจนเสียอีก และไฮโดรเจนนี่เองที่หลอมรวมกันเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิวชันภายใต้อุณภูมิและความกดดันสูงมาก เกิดเป็นดาวฤกษ์ทั้งหลายรวมทั้งดวงอาทิตย์ด้วย

วัตถุธาตุอื่น ๆ ที่มีเป็นส่วนน้อยนั้นประกอบด้วยออกซิเจน คาร์บอน นีออน ไนโตรเจน แมกนีเซียม ซิลิคอน เหล็ก เป็นต้น สถานะทางกายภาพของธาตุต่าง ๆ ทั้งก่อนและระหว่างการเกิดเป็นระบบสุริยะอาจเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาเพราะอุณหภูมิและการรวมตัวกัน

ไฮโดรเจนและฮีเลียมที่มีอยู่มากมายในสภาวะปกติจะอยู่ในสภาพของก๊าซ อะตอมของฮีเลียมจะไม่รวมกับอะตอมของพวกเดียวกัน และ

ไม่รวมกับอะตอมของธาตุอื่น แต่อะตอมของไฮโดรเจนจะรวมตัวกันเป็นคู่ เกิดเป็นโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจน (H) และยังรวมกับอะตอมอื่น ๆ เพื่อสร้างโมเลกุลใหม่ ๆ ขึ้นมาได้ด้วย เช่น ไฮโดรเจน 2 อะตอมรวมกับออกซิเจน 1 อะตอม จะเกิดเป็นโมเลกุลของน้ำ (H_2O) ไฮโดรเจน 3 อะตอมรวมกับไนโตรเจน 1 อะตอม เกิดเป็นโมเลกุลของแอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจน 4 อะตอมรวมกับคาร์บอน 1 อะตอม เกิดเป็นโมเลกุลของมีเทน (CH_4) เป็นต้น นอกจากนั้นยังมีการรวมตัวระหว่างกันของธาตุอื่น ๆ ด้วย เช่น CO, NO เป็นต้น โมเลกุลเหล่านี้จะอยู่ในสภาพของก๊าซในภาวะปกติ แต่อาจกลายเป็นของเหลวหรือของแข็งในอุณหภูมิต่ำ แต่อุณหภูมิต่ำที่ว่านี้ยังไม่สามารถทำให้ไฮโดรเจนและฮีเลียมเป็นของเหลวหรือของแข็งได้

สารเหล่านี้ถือได้ว่าน้ำ (H_2O) เป็นตัวอย่างที่นำมาอธิบายได้ดีที่สุด คือมีทั้ง 3 สถานะให้เห็นขณะอยู่บนโลกของเราคือ เป็นก๊าซ (ไอน้ำ) เมื่ออุณหภูมิสูง เป็นน้ำเหลวที่อุณหภูมิปกติและเป็นน้ำแข็งเมื่ออยู่อุณหภูมิต่ำ ส่วนก๊าซที่เกิดจากการรวมตัวของอะตอมของธาตุต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นก็เป็นของแข็งได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ๆ ดังนั้นหากเราพูดถึงน้ำแข็งในระบบสุริยะก็จะหมายรวมถึงก๊าซอื่น ๆ ที่กลายเป็นของแข็งด้วย ไม่ได้หมายถึงน้ำที่เป็นน้ำแข็งเพียงอย่างเดียว

ธาตุหนักอื่น ๆ ที่ไม่ได้อยู่ในสถานะของก๊าซ ที่มีอยู่ในระบบสุริยะ พวกแมกนีเซียม ซิลิกอน เป็นต้น พวกนี้จะยังเป็นของแข็งอยู่แม้จะมีอุณหภูมิสูงและเปลี่ยนแปลงสภาพตัวเองต่อไปได้ยาก ยกเว้นภายใต้อุณหภูมิสูงมาก ๆ ซิลิกอนรวมตัวกับออกซิเจนได้ง่ายกว่ารวมกับไฮโดรเจน (Sio) เกิดเป็นพวกหินที่เรารู้จักกันดีบนโลก พวกนี้จะล่องลอยอยู่ในเนบิวลาดวงอาทิตย์และค่อย ๆ รวมตัวกันเกิดเป็นดาวเคราะห์ หรือรวมตัวกันไม่ได้ก็จะเป็นพวกดาวเคราะห์น้อย

ธาตุหนักที่เป็นโลหะที่เรารู้จักกันดีก็คือเหล็ก ซึ่งมักจะเป็นส่วนประกอบที่เป็นแกนกลางของดาวเคราะห์

เราอาจจัดกลุ่มวัตถุธาตุที่เป็นองค์ประกอบของระบบสุริยะตามสถานะที่เป็นอยู่ โดยสมมุติให้กลุ่มฝุ่นก๊าซหรือเนบิวลาดวงอาทิตย์ที่เกิดเป็นระบบสุริยะในปริมาณหนัก 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม) จะมีวัตถุธาตุในสถานะและปริมาณที่แตกต่างกันตามตาราง

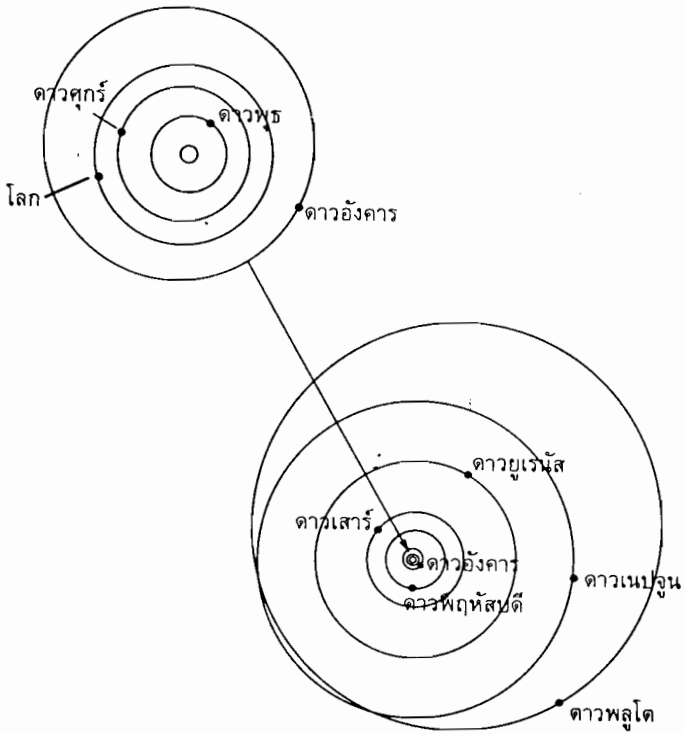
องค์ประกอบระบบสุริยะ (1 ตัน)		
สถานะของสาร	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	เปรียบเทียบร้อยละ (%)
ก๊าซ	984	98.4
น้ำแข็ง	11	1.1
หิน	4	0.4
โลหะ	1	0.1

จึงเห็นว่าดวงอาทิตย์และสมาชิกระบบสุริยะเกิดขึ้นมาพร้อม ๆ กันด้วยวัตถุธาตุที่เป็นองค์ประกอบเริ่มแรกของเนบิวลาดวงอาทิตย์ และของเอกภพทั้งหมด ซึ่งสิ่งมีชีวิตทุกชนิดบนโลกรวมทั้งมนุษย์ด้วยก็เกิดขึ้นจากวัตถุธาตุที่เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของเอกภพเช่นเดียวกัน

โครงสร้างของระบบสุริยะ

ถ้าเราลองเปรียบเทียบในภาพกว้างของระบบสุริยะ โดยสมมุติให้เส้นทางวงโคจรของดาวพลูโตเป็นขอบวงล้อรถจักรยาน ดวงอาทิตย์จะอยู่ ณ จุดศูนย์กลางของวงล้อนี้ วงโคจรของดาวเคราะห์ 4 ดวงคือ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก และดาวอังคาร จะเกาะแน่นกันอยู่เป็นวงเพียงแค่ 1 ใน 4 ของวงใหญ่เท่านั้น มีแถบของดาวเคราะห์น้อยอยู่เลยดาวอังคารออกมาเล็กน้อย และดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน จะกระจายตัวออกมาอยู่ห่างกันมากขึ้น แต่ขอบวงล้อที่ว่านี้ยังไม่ใช่สุดขอบระบบสุริยะ เพราะเลยออกมาอีกเกือบครึ่งของวงล้อยังมีสมาชิกเล็ก ๆ พวกก้อนน้ำแข็งอีกมากมายที่อยู่เลยดาวพลูโตออกไป

ห้องสมุดคณะมนุษยศาสตร์



● ระบบสุริยะ แสดงดาวเคราะห์ชั้นในและดาวเคราะห์ชั้นนอก

ดาวเคราะห์ที่มีตำแหน่งอยู่ในระบบสุริยะแตกต่างกันอยู่ในวงโคจรที่แตกต่างกันจะเห็นได้ชัดเจนว่ามีขนาดและลักษณะแตกต่างกันไปด้วยพวกดาวเคราะห์ชั้นใน (Inner Planets) คือดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก และดาวอังคาร บางทีเรียกกันว่าดาวเคราะห์พวกเดียวกับโลก (Terrestrial Planets) จะมีขนาดเล็กเป็นก้อนหินแข็ง มีแก่นแข็ง มีบรรยากาศห่อหุ้ม (ยกเว้นดาวพุธ) แต่ดาวเคราะห์ชั้นนอก (Outer Planets) เป็นดาวเคราะห์ยักษ์ขนาดใหญ่ และเป็นดาวเคราะห์ก๊าซ ที่มีก๊าซห่อหุ้มอยู่หนามาก ยังไม่แน่ใจว่าลึกลงไปในชั้นก๊าซจะเป็นอะไร คาดว่าอาจเป็นของเหลวร้อน และอาจมีแก่นแข็งใจกลางดวง ดาวเคราะห์ชั้นนอก คือ ดาว

พฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน มีระบบวงแหวนล้อมรอบ และมีดวงจันทร์บริวารหลายดวงดูเป็นระบบเล็กๆ ซ้อนกันอยู่ในระบบสุริยะนี้ ส่วนดาวพลูโตดวงเล็กสุดในระบบสุริยะกลับเป็นก้อนหินและก้อนน้ำแข็งเพราะอยู่ห่างไกลจากดวงอาทิตย์มาก

ย้อนกลับไปช่วงก่อกำเนิดระบบสุริยะอีกครั้งขณะที่ใจกลางเนบิวลาดวงอาทิตย์กำลังเกิดเป็นดาวฤกษ์คือดวงอาทิตย์และเศษชิ้นส่วนรอบนอกกำลังเกาะกลุ่มกันเป็นดาวเคราะห์แต่ละดวงแต่ละวงโคจร วัตถุธาตุพวกโลหะจะเกาะรวมกันก่อน และจะเกาะรวมตัวกับพวกหิน เกิดเป็นวัตถุแข็งในช่วง 4,500 ล้านปีที่แล้ว (จากการศึกษาอายุลูกอุกกาบาตที่ตกสู่โลก) โลหะและหินที่เกาะตัวกันนี้สามารถคงรูปร่างอยู่ได้ แม้จะอยู่ในอุณหภูมิสูง แต่ถ้าสูงมากเกินไปก็จะลุกไหม้กลายเป็นก๊าซ พวกนี้คือดาวเคราะห์ชั้นในที่เกิดขึ้นมาก่อน ซึ่งไม่สามารถเกาะรวมตัวกันพัฒนาให้มีขนาดใหญ่โตมากนักเพราะโลหะและหินเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยในระบบสุริยะ

ส่วนก๊าซนั้นแตกต่างออกไป หากก๊าซจะเกาะอยู่กับดาวเคราะห์พวกโลหะและหินแข็งที่ก่อตัวขึ้นในระยะแรกนี้จะอยู่ได้ก็เพราะแรงโน้มถ่วงของดาวเคราะห์ดวงนั้น ยิ่งดาวเคราะห์ดวงใหญ่แรงโน้มถ่วงจะมากขึ้นและดึงดูดก๊าซเอาไว้กับตัวได้ แต่อย่างไรก็ตามถ้าพื้นผิวดาวเคราะห์มีอุณหภูมิสูง อะตอมและโมเลกุลของก๊าซจะเคลื่อนที่เร็วขึ้น หากแรงโน้มถ่วงไม่มากพอ ก๊าซจะหลุดออกไปสู่อวกาศภายนอกได้ง่าย ดังนั้นดาวพุธดวงเล็กและอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์ จึงไม่มีก๊าซหรือบรรยากาศที่เสถียรห่อหุ้มอยู่เลย ดาวอังคารมีบรรยากาศเบาบาง โลกและดาวศุกร์มีบรรยากาศมากขึ้นกว่า 2 ดวงนั้น

ขณะที่ดาวเคราะห์ชั้นในก่อตัวขึ้นในวงโคจร บริเวณที่ห่างไกลจากศูนย์กลางหรือดวงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิต่ำ จนมวลสารหลายอย่างกลายเป็นของแข็งหรือน้ำแข็ง ซึ่งอะตอมและโมเลกุลของน้ำแข็งเหล่านี้

จะเกาะตัวกันขยายใหญ่โตมากขึ้น เพราะน้ำแข็งมีมากกว่าโลหะและหินแข็ง ทำให้เกิดแรงโน้มถ่วงมาก จึงดึงดูดให้มวลสารต่าง ๆ เข้ามารวมกันมากขึ้น ขนาดใหญ่โตขึ้นเรื่อย ๆ (ขณะที่ดาวเคราะห์หินแข็งชั้นในหยุดเพิ่มขนาดแล้ว) มวลก๊าซที่มีมากที่สุดในระบบสุริยะจึงถูกดึงดูดให้เกาะอยู่กับดาวเคราะห์ขนาดใหญ่เหล่านี้ ทำให้มีการเพิ่มขนาดตัวเองอยู่ตลอดเวลา รอบนอกของดาวเคราะห์เหล่านี้จึงประกอบด้วยก๊าซ เรียกว่าดาวเคราะห์ก๊าซ คือ ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส และดาวเนปจูน

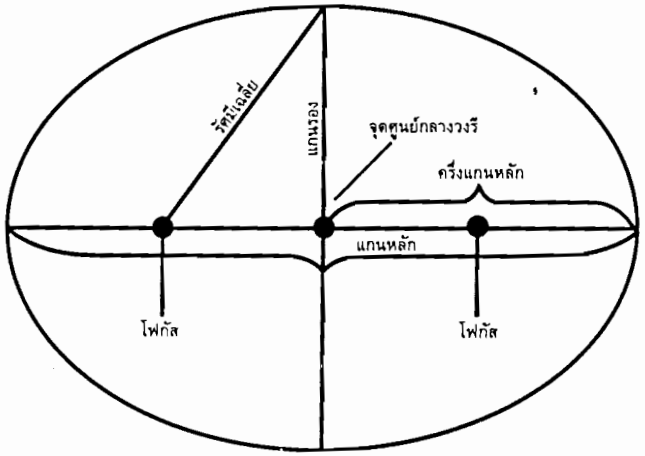
ส่วนดาวพลูโตนั้นเป็นพวกหินและน้ำแข็งขนาดเล็กที่ไม่สามารถดึงดูดก๊าซเข้าไว้กับตัวได้ จนบางครั้งบางคนจัดให้ดาวพลูโตเป็นดาวเคราะห์น้อยขนาดใหญ่ดวงหนึ่ง

วงโคจรของดาวเคราะห์

นักปราชญ์กรีกโบราณที่เชื่อกันว่าโลกเป็นศูนย์กลางของเอกภพคิดว่าวัตถุบนท้องฟ้าทุกชนิดหมุนเคลื่อนไปรอบโลกเป็นวงกลม แม้แต่โคเปอร์นิคัสที่เสนอทฤษฎีดวงอาทิตย์เป็นศูนย์กลางก็ยังคิดว่าโลกและดาวเคราะห์เคลื่อนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงกลม บนเส้นทางที่ดาวเคราะห์หรือดาวบริวารเคลื่อนที่ไปรอบดาวดวงแม่จึงเรียกว่า วงโคจรหรือวิถีโคจร (Orbit จากภาษาละตินหมายความว่าวงกลม)

หลังจากที่โจฮันส์ เคปเลอร์ เสนอกฎ 3 ข้อ ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์ หรือวงโคจรของดาวเคราะห์เป็นวงรี (Ellipses) ในปี ค.ศ.1609 ทำให้เกิดการศึกษาเรื่องวงโคจรและระยะห่างของดาวเคราะห์แต่ละดวงเป็นจริงเป็นจังมากขึ้น

วงรี (Ellipses) เหมือนกับวงกลมแป้น ๆ ที่ปลาย 2 ด้านที่รีออกไปนั้นสมมาตรกัน ขณะที่วงกลม (Circle) จุดศูนย์กลางวงกลมจะมีระยะห่างจากทุกจุดบนเส้นรอบวงเท่ากัน ดังนั้นเส้นที่ลากผ่านจุดศูนย์กลาง



ในวงกลมทุกเส้นจะยาวเท่ากัน ขณะที่วงรีเส้นที่ลากผ่านศูนย์กลางจะยาวไม่เท่ากัน โดยเส้นที่ยาวที่สุดของวงรีเรียกว่า "แกนหลัก" และเส้นที่สั้นที่สุดเรียกว่า "แกนรอง" เส้นทั้งสองนี้ตัดกันที่จุดศูนย์กลางของวงรี บนแกนหลักจะมีจุดสำคัญ 2 จุดเรียกว่า จุดโฟกัส (Focus) (บางคนเรียกอีกจุดว่าจุดโฟไซ Foci) 2 จุดนี้จะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของวงรีเท่ากัน ถ้าลากเส้นตรงจากจุดโฟกัสหนึ่งไปยังจุดใด ๆ บนเส้นรอบวงรีแล้วลากกลับมาที่จุดโฟกัสอีกจุดหนึ่ง ความยาวของเส้นทั้งสองนี้รวมกันแล้วจะเท่ากับความยาวของแกนหลักเสมอ

วงรียิ่งมีความรีมากเท่าไร จุดโฟกัส 2 จุดนั้นจะยิ่งห่างกันมากเท่านั้น ในทางกลับกันถ้าจุดโฟกัส 2 จุดยิ่งอยู่ใกล้กัน วงรีจะมีความรีน้อยลง ยิ่งใกล้มากขึ้นก็จะเหมือนวงกลม จนถ้าจุดโฟกัส 2 จุดมาซ้อนทับกันพอดีจะกลายเป็นวงกลมที่จุดซ้อนทับกันนั้น คือจุดศูนย์กลางของวงกลม

ค่าที่ใช้วัดวงโคจรว่าเป็นวงรีมากหรือน้อย เรียกว่าค่าภาวะเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity) หากมีตัวเลขมากจะเป็นวงรีมีความรีมาก และหากมีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าไม่ได้เป็นวงรี แต่เป็นวงกลม

เมื่อนักดาราศาสตร์รู้ว่าวงโคจรของดาวเคราะห์เป็นวงรีรอบดวงอาทิตย์ โดยมีดวงอาทิตย์เป็นตำแหน่งจุดโฟกัสจุดหนึ่งของวงรีนั้น หลังจากที่สังเกตวัดตำแหน่งของดาวเคราะห์ที่ปรากฏบนฟ้าต่อเนื่อง ก็จะสามารถบอกได้ว่าดาวเคราะห์แต่ละดวงมีวงโคจรเป็นวงรีมากหรือน้อย หรือมีค่าภาวะเยื้องศูนย์กลางมากน้อยเท่าใด ดังแสดงในตาราง

ค่าภาวะเยื้องศูนย์กลางของวงโคจรของดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์	ภาวะเยื้องศูนย์กลาง (Eccentricity)
ดาวพุธ	0.2056
ดาวศุกร์	0.0067
โลก	0.0167
ดาวอังคาร	0.0934
ดาวพฤหัสบดี	0.0484
ดาวเสาร์	0.0556
ดาวยูเรนัส	0.0472
ดาวเนปจูน	0.0086
ดาวพลูโต	0.250

จะเห็นว่าดาวเคราะห์ส่วนใหญ่จะมีภาวะเยื้องศูนย์น้อยคือเป็นวงรีที่มีความรีน้อยจนเกือบจะเป็นวงกลม ยกเว้นดาวพุธและดาวพลูโตที่มีภาวะเยื้องศูนย์หรือมีความรีมากสักหน่อย โดยเฉพาะดาวพลูโตถือเป็นดาวเคราะห์ที่มีวงโคจรเป็นวงรีที่มีความรีมากที่สุด

ระยะห่างของดาวเคราะห์

มนุษย์สามารถรู้ได้ว่าดวงดาวบนฟ้าดวงใดอยู่ใกล้หรือไกลออกไปจากโลกมากกว่ากัน โดยการสังเกตการเคลื่อนที่บนฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงไปแต่ละคืน เช่นรู้ว่าดวงจันทร์อยู่ใกล้โลกที่สุด โดยการดูดวงจันทร์แต่ละ

คืนที่เคลื่อนสวนทางกับดาวดวงอื่น ๆ เห็นได้อย่างชัดเจน เหมือนกับการที่ผู้สังเกตนั่งอยู่บนรถไฟกำลังเคลื่อนที่ มองออกมานอกหน้าต่างจะเห็นว่าสิ่งที่อยู่ใกล้ตัวเรามากกว่าจะเคลื่อนที่สวนทางเราไปเร็วกว่าสิ่งที่อยู่ไกลกว่านั่นเอง

ในช่วงที่เคปเลอร์รู้ว่าดาวเคราะห์มีวงโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีนั้น แม้จะบอกได้ว่าดาวดวงใดอยู่ใกล้ไกลดวงอาทิตย์มากกว่ากัน แต่ไม่ได้ใช้หน่วยวัดระยะทางที่เราใช้กันบนโลกเป็นตัวบอกระยะทางหรือความกว้างใหญ่ของวงโคจรของดาวเคราะห์แต่ละดวง วิธีการในยุคนั้นเคปเลอร์ใช้การวัดด้วยระยะเปรียบเทียบว่าวงโคจรของดาวเคราะห์แต่ละดวงกว้างใหญ่กว่ากันกี่เท่า

จากกฎข้อที่ 3 ของเคปเลอร์ที่ว่า ดาวเคราะห์ทุกดวงมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกัน จากวงโคจรที่แต่ละดวงเคลื่อนไปรอบดวงอาทิตย์โดยกำลังสองของเวลาที่ใช้ในการโคจรครบรอบเท่ากับกำลังสามของระยะทางครึ่งแกนยาวของวงรี (วงโคจร) ซึ่งถือว่าระยะทางครึ่งแกนยาวนั้นคือระยะทางเฉลี่ยระหว่างดาวเคราะห์ดวงนั้นกับดวงอาทิตย์

$$p^2 = a^3$$

ค่า p เป็นระยะเวลาที่ดาวเคราะห์โคจรรอบดวงอาทิตย์ครบรอบโดยเทียบเวลากับโลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ ใช้เวลา 1 ปี

ค่า a เป็นระยะทางครึ่งแกนยาวของวงโคจรถือเป็นระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่างดาวเคราะห์กับดวงอาทิตย์เทียบกับระยะทางที่กำหนดให้โลกห่างจากดวงอาทิตย์ 1 หน่วยดาราศาสตร์ (AU.)

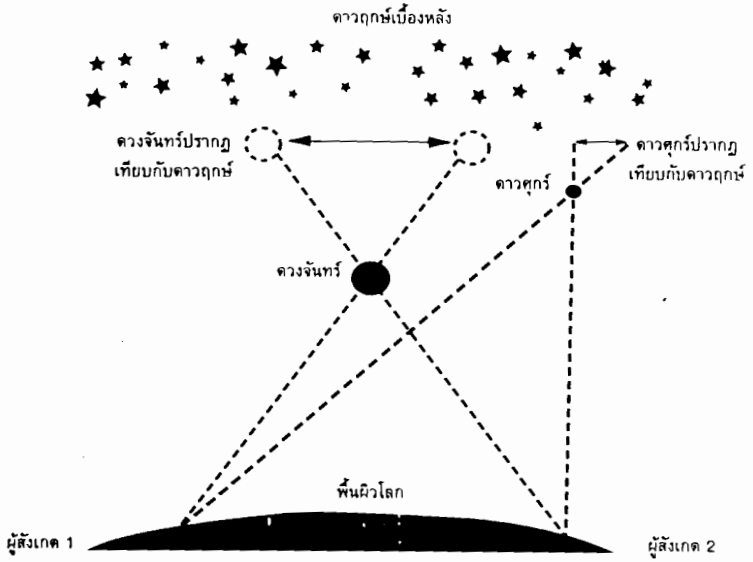
เคปเลอร์สังเกตดาวเคราะห์ที่รู้จักกันในยุคนั้น ทำให้รู้วงโคจรและระยะห่างของดาวเคราะห์กับดวงอาทิตย์ แล้วนำมาทดสอบกฎข้อที่ 3 ของเขาดามตาราง

ทดสอบกฎข้อที่ 3 ของเคปเลอร์จากการสังเกต				
ดาวเคราะห์	ระยะทางเฉลี่ย a (AU.)	ระยะเวลาโคจรครบรอบ P (ปี)	a^3	p^2
ดาวพุธ	0.387	0.241	0.058	0.058
ดาวศุกร์	0.723	0.615	0.378	0.378
โลก	1.000	1.000	1.000	1.000
ดาวอังคาร	1.524	1.881	3.537	3.537
ดาวพฤหัสบดี	5.203	11.862	140.8	140.7
ดาวเสาร์	9.539	29.456	867.9	867.7

ถ้าวงโคจรดาวเคราะห์ทุกดวงเป็นวงกลมมีดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลาง ดาวเคราะห์จะอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์เท่ากันตลอดวงโคจร แต่วงโคจรของดาวเคราะห์เป็นวงรีและมีดวงอาทิตย์อยู่บนจุดโฟกัสจุดหนึ่งของวงรี (ดวงอาทิตย์ไม่ได้อยู่ที่จุดศูนย์กลางของวงรี) ดังนั้นขณะที่ดาวเคราะห์เคลื่อนรอบดวงอาทิตย์ เมื่อมาอยู่ ณ ตำแหน่งปลายวงรีด้านใกล้ดวงอาทิตย์ จะมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์ใกล้กว่าเมื่ออยู่อีกปลายด้านหนึ่งของวงรีที่อยู่ไกลดวงอาทิตย์

จุดที่ดาวเคราะห์อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดเรียกว่า "เพอริฮีเลียน" (Perihelion) จากจุดนี้ในวงโคจรดาวเคราะห์จะเคลื่อนห่างจากดวงอาทิตย์มากขึ้นเรื่อย ๆ จนมาถึงปลายด้านไกลของแกนยาวของวงรี ดาวเคราะห์จะอยู่ไกลดวงอาทิตย์ที่สุดเรียกว่า "อะฟีเลียน" (Aphelion) เช่น โลกของเราที่โคจรไปรอบดวงอาทิตย์จะอยู่ที่เพอริฮีเลียน ประมาณวันที่ 3 มกราคม และอยู่ที่อะฟีเลียน ประมาณวันที่ 3 กรกฎาคมของทุกปี

วงโคจรของดาวเคราะห์ ถ้ามีค่าภาวะเยื้องศูนย์กลางมากเท่าใดคือมีความรีมาก ความแตกต่างของระยะเพอริฮีเลียนกับอะฟีเลียน ยิ่งมีค่าสูงขึ้นเท่านั้น แต่ดาวเคราะห์ในระบบสุริยะมีค่าภาวะเยื้องศูนย์กลาง



น้อยมาก คือเป็นวงรีที่เกือบจะเป็นวงกลม ค่าเพอริฮีเลียนกับอะฟีเลียนจึงแตกต่างกันน้อยมาก ยกเว้นเฉพาะดาวพุธกับดาวพลูโตที่มีวงรีมากกว่าดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ ดังนั้นเราจึงมักเห็นการบอกระยะห่างของดาวเคราะห์กับดวงอาทิตย์เป็นระยะทางเฉลี่ยทั้งในแบบระยะห่างเปรียบเทียบกับโลกตามหน่วยดาราศาสตร์ หรือระยะห่างเฉลี่ยมีหน่วยกิโลเมตร หรือไมล์ ตามหน่วยที่ใช้วัดระยะทางบนโลก

ปัจจุบันอาจมีเทคโนโลยีที่ทันสมัย วัดระยะห่างของดาวเคราะห์ดวงต่าง ๆ ได้มากมายหลายวิธีแต่ในสมัยเก่าก่อนนักดาราศาสตร์ใช้หลักการพาราลแลกซ์ (Parallax หมายถึง การเปลี่ยนตำแหน่ง) วัดระยะห่างของวัตถุท้องฟ้า

เราสามารถทดลองหลักการพาราลแลกซ์ได้ด้วยตัวเอง โดยยืดแขนออกไปข้างหน้าให้สุดแขน ชูนิ้วขึ้นมา 1 นิ้ว หลับตา 1 ข้าง สมมุติว่าหลับตาข้างซ้าย แล้วมองนิ้วที่ชูขึ้นนั้นด้วยตาข้างขวาตาเดียว

สังเกตว่านิ้วได้ไปบังสิ่งหนึ่งสิ่งใดที่อยู่ไกลออกไป ต่อจากนั้นให้หลับตาขวาแล้วมองดาซ้ายข้างเดียว โดยนิ้วและศีรษะคงอยู่ที่เดิม จะเห็นว่านิ้วเปลี่ยนตำแหน่งไปบังสิ่งอื่นอีกตำแหน่งหนึ่ง ลักษณะการเห็นนิ้วมือที่อยู่ใกล้ตาหรือจุดสังเกตเปลี่ยนตำแหน่งไปเมื่อเทียบกับวัตถุอื่นที่อยู่ไกลกว่าขณะที่จุดสังเกตเปลี่ยนไป ดังกล่าวนี้คือหลักการของพาราลแลกซ์

เมื่อเรารู้ว่าตา.2 ข้างห่างกันเท่าไร คือจุดสังเกตห่างกันเท่าไร และรู้ว่านิ้วมือที่ชูขึ้นห่างจากตาเราเท่าไร เราสามารถใช้หลักในวิชาตรีโกณมิติหาระยะห่างของวัตถุที่อยู่ไกล ๆ ได้ หรือในทางกลับกันถ้าเรารู้ระยะห่างของวัตถุไกล ๆ ก่อนแล้ว เราสามารถคำนวณหาระยะทางของวัตถุที่อยู่ใกล้กว่าได้

ปี ค.ศ. 1670 กลุ่มนักดาราศาสตร์ฝรั่งเศสได้ทำการศึกษาเพื่อวัดระยะห่างของดาวอังคารโดย จิโอวานนิ โดเมนิโก แคสสินี (Giovanni Domenico Cassini) (1625-1712) นักดาราศาสตร์เชื้อสายอิตาเลียน-ฝรั่งเศส สังเกตตำแหน่งดาวอังคารจากหอดูดาวของเขาในกรุงปารีส ในเวลาเดียวกันทีมงานของเขาสังเกตตำแหน่งดาวอังคารจากประเทศกิอานาที่เป็นอาณานิคมของฝรั่งเศสที่อยู่ห่างไกลกันเป็นพันกิโลเมตรบนพื้นโลก ระยะทางที่จุดสังเกตอยู่ห่างกันนี้ ทำให้เห็นดาวอังคารเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อเทียบกับดาวฤกษ์ที่อยู่ไกลออกไป ยิ่งใช้กล้องโทรทรรศน์ขยายภาพ จึงสามารถวัดระยะการเปลี่ยนตำแหน่งได้ชัดเจนมากขึ้น

หลักการนี้ทำให้แคสสินีคำนวณระยะห่างระหว่างโลกกับดาวอังคารได้และต่อมาเขาคำนวณระยะทางระหว่างโลกกับดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ได้ (ตอนนั้นยังไม่มีการค้นพบดาวยูเรนัส ดาวเนปจูนและดาวพลูโต) และระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ได้ ค่าที่แคสสินีคำนวณได้น้อยกว่าค่าที่รู้กันในปัจจุบันนี้ แต่ก็เป็นจุดเริ่มต้นให้นักดาราศาสตร์หาวิธีการวัดระยะดวงดาวที่พัฒนาต่อเนื่องเรื่อยมา จนปัจจุบันเรารู้ว่าระยะเฉลี่ยจาก

โลกถึงดวงอาทิตย์ คือ 149,597,870 กิโลเมตร คือระยะ 1 หน่วยดาราศาสตร์ และระยะห่างของดาวเคราะห์ดวงอื่น ๆ กับดวงอาทิตย์ เปรียบเทียบกันดังตาราง

ระยะห่างของดาวเคราะห์กับดวงอาทิตย์		
ดาวเคราะห์	ระยะห่างเฉลี่ย (ล้านกม.)	ระยะห่างเปรียบเทียบ (AU.)
ดาวพุธ	57.9	0.387
ดาวศุกร์	108.2	0.723
โลก	149.6	1.000
ดาวอังคาร	227.9	1.523
ดาวพฤหัสบดี	778.3	5.202
ดาวเสาร์	1427.0	9.538
ดาวยูเรนัส	2869.6	19.181
ดาวเนปจูน	4496.7	30.058
ดาวพลูโต	5900.0	39.44

ระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์

ในขณะที่ดาวเคราะห์อยู่ในวงโคจรใกล้ไกลดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ดาวเคราะห์แต่ละดวงมีระนาบวงโคจรแตกต่างกัน ลองคิดถึงแผ่นกระดาษแบน ๆ สักแผ่นหนึ่ง แผ่นแบนนี้แหละที่เรียกว่าระนาบ (Plane เป็นภาษาละตินหมายถึงแบน) ถ้าขยายกระดาษแผ่นแบนนี้ จากดาวเคราะห์แผ่กว้างออกไปเรื่อย ๆ ตามวงโคจรของดาวเคราะห์ดวงนั้น และไปผ่านศูนย์กลางของดวงอาทิตย์ แผ่นแบนในจินตนาการนี้คือระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์ดวงนั้น

ระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์แต่ละดวงจะเอียงเหลื่อมกันไม่มากนัก เมื่อมนุษย์สังเกตวัตถุท้องฟ้าจากโลก จึงใช้ระนาบวงโคจรของโลก

เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบที่จะบอกว่าระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์ดวงอื่นเอียงไปจากระนาบวงโคจรของโลกเท่าใด

ระนาบวงโคจรของโลกเรียกว่า อีคลิปติก (Ecliptic) ถ้าสังเกตจากโลก คือแนวเส้นทางที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนเปลี่ยนตำแหน่งไปบนท้องฟ้าในรอบปี บางคนเรียกว่าแนวเส้นทางเดินของดวงอาทิตย์ หรือสุริยวิถี เมื่อดวงอาทิตย์และดวงจันทร์เข้ามาอยู่ในอีคลิปติก และอยู่ในแนวตรงกันจะเกิดการบังกันขึ้น คือปรากฏการณ์จันทรุปราคา (Lunar Eclipse) และสุริยุปราคา (Solar Eclipse)

หากเราขยายระนาบวงโคจรของโลกหรืออีคลิปติกนี้ให้ขยายใหญ่ไปทั่วระบบสุริยะ ดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ ก็จะมีระนาบวงโคจรของตัวเองตัดกับอีคลิปติกเป็นมุมที่แตกต่างกัน เราเรียกมุมที่ตัดกันนี้ว่า "ความลาดเอียงต่ออีคลิปติก" (Inclination to the ecliptic) ซึ่งหมายความว่า ระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์ดวงนั้นๆเอียงไปจากระนาบวงโคจรของโลกเท่าใด ดังแสดงในตาราง

ความลาดเอียงต่ออีคลิปติกของดาวเคราะห์	
ดาวเคราะห์	ความลาดเอียงต่ออีคลิปติก (องศา)
ดาวพุธ	7
ดาวศุกร์	3.39
โลก	-
ดาวอังคาร	1.85
ดาวพฤหัสบดี	1.30
ดาวเสาร์	2.49
ดาวยูเรนัส	0.77
ดาวเนปจูน	1.77
ดาวพลูโต	17.2

เห็นได้ว่าดาวเคราะห์แต่ละดวงมีความลาดเอียงต่ออีคลิปติก เป็นมุมน้อยมาก ยกเว้นดาวพลูโตที่มีความเอียงมากเป็นพิเศษ

แสดงว่าระบบสุริยะของเรามีรูปร่างเกือบจะแบนเป็นแผ่นเดียวกัน เมื่อมองด้านข้าง อาจเรียกได้ว่าดาวเคราะห์ส่วนใหญ่เกือบจะโคจรอยู่ในระนาบเดียวกัน ซึ่งเชื่อว่าเป็นสาเหตุมาจากการก่อเกิดระบบสุริยะเมื่อครั้งแรกเริ่มในช่วงที่ก่อตัวของเนบิวลาดวงอาทิตย์ที่ลักษณะเป็นแผ่นแบนนั่นเอง

การเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์ทุกดวงในระบบสุริยะมีการเคลื่อนที่ 2 ลักษณะไปพร้อม ๆ กัน คือการหมุนรอบตัวเอง (Rotation) และขณะเดียวกันก็เคลื่อนที่โคจรไปรอบดวงอาทิตย์ในวงโคจรของตัวเองด้วย เรียกว่าโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ (Revolution)

มนุษย์รู้ว่าดาวเคราะห์ทุกดวงมีการโคจรครบรอบในวงโคจรของตัวเองมานานแล้ว แม้จะคิดว่าโคจรเป็นวงกลมโดยมีโลกเป็นศูนย์กลางก็ตาม จากการสังเกตดาวเคราะห์เปลี่ยนตำแหน่งไปบนท้องฟ้าเมื่อเทียบกับดาวฤกษ์ที่อยู่เบื้องหลัง เช่น ดวงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งไปบนท้องฟ้า เมื่อครบรอบจะมาปรากฏ ณ ตำแหน่งเดิมบนฟ้าอีกครั้ง นั่นคือโลกเคลื่อนโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ครบ 1 รอบ ส่วนการหมุนรอบตัวเองของดาวเคราะห์และกำหนดคาบเวลาครบรอบการหมุน วิธีแรก ๆ ที่นักดาราศาสตร์ใช้ คือ ใช้กล้องโทรทรรศน์ส่องสังเกตดาวเคราะห์และกำหนดจุดสังเกตบนดาวเคราะห์ดวงนั้นไว้ แล้วตามสังเกตจุดนั้นเรื่อยไปจนครบรอบจับเวลาที่จุดนั้นกลับมาปรากฏที่เดิมอีกครั้ง ก็จะรู้ว่าดาวเคราะห์ดวงนั้นหมุนรอบตัวเองไปได้ 1 รอบ วิธีนี้ใช้สังเกตดาวอังคารกับดาวพฤหัสบดีมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1660 ซึ่งอาจไม่เที่ยงตรงนัก เพราะปัจจุบันมีวิธีการที่ทันสมัย แม่นยำมากขึ้น เช่น การส่งและรับคลื่นวิทยุสะท้อนจากดาว

เคราะห์แต่ละดวงจะสามารถรู้ได้ทั้งการหมุนรอบตัวเอง และการโคจรรอบดวงอาทิตย์

คาบเวลาการหมุนรอบตัวเองของดาวเคราะห์แต่ละดวงคือช่วงเวลา 1 วันของดาวเคราะห์ดวงนั้น และคาบเวลาการโคจรไปรอบดวงอาทิตย์คือช่วงเวลา 1 ปี ของดาวเคราะห์ดวงนั้น แต่เพื่อให้เห็นภาพว่าการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์แต่ละดวงใช้เวลายาวนานเท่าใด จึงนำมาเปรียบเทียบกับการวัดช่วงเวลาที่เราคุ้นเคยกันบนโลก เป็นชั่วโมง วัน และปี

จะเห็นว่า ดาวเคราะห์ยิ่งอยู่ไกลดวงอาทิตย์ออกไปมากเท่าไร จะยิ่งเคลื่อนโคจรรอบดวงอาทิตย์ช้าลงไปเท่านั้น นอกจากวงโคจรที่กว้าง

คาบเวลาการหมุนรอบตัวเอง และโคจรรอบดวงอาทิตย์ของดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์	เวลาหมุนรอบตัวเอง (Rotation)	คาบเวลาโคจรรอบดวงอาทิตย์ (Revolution)
ดาวพุธ	58.6 วัน	87.9 วัน
ดาวศุกร์	243 วัน	224.7 วัน
โลก	23.9 ชั่วโมง	365.2 วัน
ดาวอังคาร	24.6 ชั่วโมง	686.9 วัน
ดาวพฤหัสบดี	9.9 ชั่วโมง	11.8 ปี
ดาวเสาร์	10.6 ชั่วโมง	29.4 ปี
ดาวยูเรนัส	17.2 ชั่วโมง	84.0 ปี
ดาวเนปจูน	16.1 ชั่วโมง	164.7 ปี
ดาวพลูโต	6.4 วัน	247.7 ปี

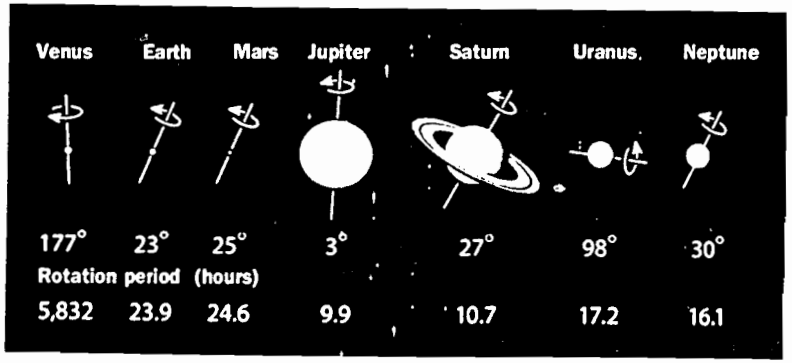
ใหญ่กว่าดาวเคราะห์ที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากกว่าแล้ว อิทธิพลแรงโน้มถ่วงจากดวงอาทิตย์ที่ไปถึงดาวเคราะห์ดวงไกลจะน้อยลงตามระยะทางที่ไกลมากขึ้น ดาวเคราะห์ดวงไกลกว่าจึงเคลื่อนที่ช้ากว่าดวงที่อยู่ใกล้

ดวงอาทิตย์คาบเวลาการโคจรจึงยาวนานกว่า

ส่วนการหมุนรอบตัวเองของดาวเคราะห์แต่ละดวง มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้มีความแตกต่างกัน อาจเป็นผลมาจากการก่อตัวของดาวเคราะห์แต่ละดวงยุคแรกเริ่มกำเนิดระบบสุริยะที่ทำให้ดาวเคราะห์แต่ละดวงมีลักษณะแตกต่างกันและหมุนรอบตัวเองเร็วช้าต่างกัน เชื่อกันว่าการหมุนของเนบิวลาดวงอาทิตย์ในช่วงแรก เป็นผลให้ดาวเคราะห์ทุกดวงโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ในทิศทางเดียวกันทั้งหมด ถ้ามองจากที่สูงลงมา ดาวเคราะห์จะโคจรรอบดวงอาทิตย์ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา ขณะเดียวกันดาวเคราะห์ทุกดวงหมุนรอบตัวเองในทิศทางเดียวกับการโคจรรอบดวงอาทิตย์ คือทวนเข็มนาฬิกาด้วย มียกเว้นดาวศุกร์ที่หมุนรอบตัวเองตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นถ้ามนุษย์ไปอยู่บนดาวศุกร์ ดวงอาทิตย์จะขึ้นกลับทิศกับที่เราคุ้นเคยบนโลก ข้อน่าสังเกตเกี่ยวกับดาวศุกร์อีกอย่างหนึ่งคือ ระยะเวลา 1 ปีบนดาวศุกร์จะสั้นกว่า 1 วันบนดาวศุกร์

ความเอียงของแกนดาวเคราะห์

วัตถุใด ๆ ก็ตามที่หมุนเป็นวง ถือเป็นการหมุนรอบแกนหนึ่งที่ขอบของการหมุนจะรักษาระยะห่างจากแกนนี้เท่ากัน และทิศทางการหมุนของวัตถุนั้น ๆ จะมีแนวตั้งฉากกับแกนสมมุตินี้



พิจารณาจากลูกข่างที่กำลังหมุนรอบแกนตัวเองอยู่บนพื้น โดยส่วนที่เป็นแกนก็คือ ส่วนที่ยื่นออกจากตัวลูกข่างลงไปติดกับพื้นดิน บางครั้งเราอาจสังเกตเห็นแกนนี้ตั้งฉากกับพื้น ลูกข่างจะหมุนในลักษณะตั้งตรงแต่บางคราวเราจะเห็นลูกข่างหมุนส่ายไปเมื่อสังเกตแกนของลูกข่างจะเห็นว่าเอียงไปไม่ได้ตั้งฉากกับพื้น

ความเอียงของแกนดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์	ความเอียงของแกนไปจากแนวตั้งฉาก (องศา)
ดาวพุธ	0.1
ดาวศุกร์	177.4
โลก	23.45
ดาวอังคาร	25.19
ดาวพฤหัสบดี	3.12
ดาวเสาร์	26.73
ดาวยูเรนัส	97.86
ดาวเนปจูน	29.56
ดาวพลูโต	119.6

ดาวเคราะห์ก็มีการหมุนรอบตัวเองคือเป็นการหมุนตัวรอบเส้นตรงที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางในแนวตั้งฉากกับทิศทางการหมุน เรียกว่าแกน (Axis) สมมุติของดาวเคราะห์ โดยแกนนี้สมมุติว่าอยู่ใจกลางของดาวเคราะห์ในแนวเหนือ - ใต้ ขณะที่ดาวเคราะห์หมุนรอบตัวเองและเคลื่อนโคจรไปรอบดวงอาทิตย์นั้น ถ้าแกนหมุนตัวของดาวเคราะห์ดวงนั้นตั้งตรงในแนวดิ่ง โดยทำมุมฉากกับระนาบวงโคจรรอบดวงอาทิตย์คล้ายกับลูกข่างหมุนตั้งตรงบนพื้น เมื่อนั้นบริเวณพื้นที่ครึ่งหนึ่งของดาวเคราะห์ที่ลากแนวจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้ จะได้รับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ และอีกครึ่งที่เหลือจะมืดมิด และเมื่อดาวเคราะห์หมุนไปทุกจุดบนพื้นผิว

ดาวเคราะห์ จะสลับกันมารับแสงสว่างของดวงอาทิตย์ในเวลาเท่ากับไปอยู่ในส่วนมืด นั่นคือจะมีเวลากลางวันยาวนานเท่ากับกลางคืน

แต่ดาวเคราะห์ทุกดวงในระบบสุริยะมีแกนที่เอียงไปจากแนวตั้งฉากระนาบวงโคจรของดาวเคราะห์ดวงนั้น เหมือนกับลูกข่างที่หมุนรอบตัวเองและมีแกนเอียงไม่ตั้งฉากกับพื้น และแกนเอียงดังกล่าวนี้จะเอียงคงที่ตลอดในวงโคจรรอบดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้เกิดฤดูกาลขึ้นบนโลก

เมื่อส่องกล้องสังเกตดาวศุกร์จากโลกจะเห็นว่าดาวศุกร์ดูว่าแกนสมมุติไม่ได้เอียงไปจากแนวตั้งฉากมากนัก คือเอียงไปแค่เพียง 2.6 องศาเท่านั้น เพราะดาวศุกร์มีการหมุนรอบตัวเองกลับทิศกับดาวเคราะห์ดวงอื่น

มวล ความหนาแน่น และแรงโน้มถ่วง

มวล (Mass) คือเนื้อสารของวัตถุ วัตถุทุกชนิดอาจมีมวลเท่ากันหรือมากน้อยแตกต่างกัน ตัวมนุษย์ทุกคนก็มีมวล คนตัวใหญ่กว่าจะมีมวลมากกว่าคนตัวเล็ก มนุษย์อวกาศขณะอยู่ในยานอวกาศโคจรรอบโลกที่อยู่ในสภาพไร้น้ำหนัก คือไม่มีน้ำหนักแต่ก็ยังมีมวล น้ำหนักเกิดขึ้นเมื่อมวลใด ๆ อยู่ในที่ที่มีแรงโน้มถ่วง เช่น อยู่บนดาวเคราะห์ บนโลก มนุษย์และวัตถุทุกชนิดมีน้ำหนัก มวลของดาวเคราะห์คือเนื้อสารของดาวเคราะห์นั้น ๆ ดาวพฤหัสบดีมีมวลมากที่สุด และดาวพลูโตมีมวลน้อยที่สุด

ความหนาแน่น (Density) คือการบอกว่า ในวัตถุชิ้นหนึ่งมีมวลอัดตัวกันอยู่มากหรือน้อย ในวัตถุที่มีความหนาแน่นมาก แม้มีชิ้นเล็กก็จะมีน้ำหนักมาก เช่น หิน 1 กิโลกรัม กับนุ่น 1 กิโลกรัม แม้มีมวลเท่ากันแต่หินมีความหนาแน่นมากกว่า จะมีชิ้นเล็กกว่า น้ำในสภาพปกติมีความหนาแน่น 1 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร คือมีมวลของน้ำ 1 กรัม ในปริมาตร 1 ลูก-

มวลและความหนาแน่นของดาวเคราะห์			
ดาวเคราะห์	มวล (กรัม)	มวลเทียบกับโลก	ความหนาแน่น (น้ำ = 1 กรัม / ลูกบาศก์ซม.)
ดาวพุธ	3.3×10^{26}	0.055	5.4
ดาวศุกร์	4.8×10^{27}	0.814	5.2
โลก	5.9×10^{27}	1.000	5.5
ดาวอังคาร	6.4×10^{26}	0.107	3.9
ดาวพฤหัสบดี	1.9×10^{30}	317.92	1.3
ดาวเสาร์	5.6×10^{29}	95.22	0.7
ดาวยูเรนัส	8.6×10^{28}	14.53	1.3
ดาวเนปจูน	1.0×10^{29}	17.15	1.6
ดาวพลูโต	1.3×10^{25}	0.002	2.0

บาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของวัตถุใดจะเทียบมวลของวัตถุนั้น ในปริมาตร 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร (หรือลูกบาศก์เมตร, ลูกบาศก์ฟุต)

ดาวเคราะห์ที่มีขนาดใหญ่ จะมีมวลมากกว่าดาวเคราะห์ขนาดเล็ก แต่ดาวเคราะห์ชั้นในพวกโลก แม้มีขนาดเล็กแต่เป็นการอัดแน่นของหินและโลหะจะมีความหนาแน่นเฉลี่ยมากกว่าดาวเคราะห์ชั้นนอกที่เป็นดาวเคราะห์ก๊าซ เพราะองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซ ส่วนดาวพลูโตมีส่วนประกอบเป็นน้ำแข็งขนาดเล็ก

จะเห็นว่าดาวเสาร์เป็นดาวเคราะห์เพียงดวงเดียวที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ หากสมมุติมีมหาสมุทรขนาดมหึมาที่นำดาวเคราะห์ทั้งหมดไปใส่ไว้ได้ ดาวเสาร์จะลอยน้ำ แต่ดาวเคราะห์ดวงอื่นจมน้ำหมด

แรงโน้มถ่วง คือความสามารถที่มวลสารจะดึงดูดซึ่งกันและกัน วัตถุที่มีมวลมากจะมีอิทธิพลดึงดูดวัตถุที่มีมวลน้อยกว่า วัตถุที่มีมวลเท่ากันถ้าอยู่บนดาวเคราะห์ที่มีมวลมาก มีแรงโน้มถ่วงมากจะมีน้ำหนักมาก

กว่าอยู่บนดาวเคราะห์ที่มีมวลน้อยกว่า เช่น โลกมีแรงโน้มถ่วงมากกว่าดวงจันทร์ 6 เท่า มนุษย์อวกาศที่ไปดวงจันทร์จะมีน้ำหนักน้อยกว่าอยู่บนโลก 6 เท่า ถ้ามนุษย์ไปชั่งน้ำหนักบนดาวพฤหัสบดีจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นเกือบ 3 เท่า นั่นคือดาวพฤหัสบดีมีแรงโน้มถ่วงมากกว่าโลกเกือบ 3 เท่า เมื่อเทียบขนาดและมวลของดาวพฤหัสบดีกับโลกแล้วเห็นว่า ดาวพฤหัสบดีมีมวลมากกว่าโลกประมาณ 318 เท่า แต่แรงโน้มถ่วงไม่ได้มากกว่าโลก 318 เท่า เพราะแรงโน้มถ่วงขึ้นอยู่กับระยะทาง พื้นผิวของดาวเคราะห์แต่ละดวงอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางไม่เท่ากัน พื้นผิวของดาวพฤหัสบดีจะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางดาวพฤหัสบดีมากกว่าพื้นผิวของโลกอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของโลก ดังนั้น แรงโน้มถ่วงที่พื้นผิวของดาวพฤหัสบดีจึงไม่มากเป็น 318 เท่าของแรงโน้มถ่วงที่พื้นผิวโลก ระยะทางไกลนี้ทำให้แรงโน้มถ่วงที่พื้นผิวดาวพฤหัสบดีลดลงจนมีแค่มากกว่าแรงโน้มถ่วงที่พื้นผิวโลกเพียง 3 เท่า เท่านั้น

แรงโน้มถ่วงที่พื้นผิวดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์	แรงโน้มถ่วงที่พื้นผิวเทียบกับโลก
ดาวพุธ	0.377
ดาวศุกร์	0.902
โลก	1.000
ดาวอังคาร	0.379
ดาวพฤหัสบดี	2.69
ดาวเสาร์	1.19
ดาวยูเรนัส	0.93
ดาวเนปจูน	1.22
ดาวพลูโต	0.20

เมื่อแรงโน้มถ่วงลดลงตามระยะทางที่ห่างจากจุดศูนย์กลางของดาวเคราะห์ ถ้าเราชั่งน้ำหนักตัวเราต่ำกว่าพื้นผิวโลกที่เราอาศัยอยู่ น้ำหนักเราจะมากขึ้น แต่ถ้าอยู่สูงจากผิวโลกขึ้นไป ยิ่งมีความสูงเท่าไรน้ำหนักตัวเราจะน้อยลงเท่านั้น

ถ้าเราขว้างก้อนหินขึ้นไปด้านบน ก้อนหินจะลอยขึ้นไปด้วยแรงและความเร็วที่เราขว้าง แล้วความเร็วจะค่อย ๆ ลดลงอย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นผลจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ดึงดูดก้อนหินให้ตกสู่โลก ผลสุดท้ายความเร็วก้อนหินจะเป็นศูนย์และถูกโลกดึงดูดตกลงมา

หากเพิ่มแรงและความเร็วในการขว้างก้อนหินมากขึ้น ก้อนหินจะขึ้นไปสูงกว่าเดิมและใช้เวลานานกว่าเดิมก่อนที่จะตกลงมา ดังนั้นหากเราสามารถมีแรงมากพอที่จะขว้างก้อนหินให้ไปได้ไกลมากที่สุด จนแรงโน้มถ่วงของโลกที่ลดลงตามความสูงจากพื้นผิวโลกไม่สามารถหน่วง

ความเร็วหลุดพ้นของดาวเคราะห์

ดาวเคราะห์	ความเร็วหลุดพ้น (กม./วินาที)	ความเร็วหลุดพ้นเทียบกับโลก
ดาวพุธ	4.25	0.38
ดาวศุกร์	10.40	0.93
โลก	11.18	1.00
ดาวอังคาร	5.02	0.44
ดาวพฤหัสบดี	59.6	5.33
ดาวเสาร์	35.6	3.18
ดาวยูเรนัส	21.2	1.89
ดาวเนปจูน	23.3	2.08
ดาวพลูโต	7.7	0.68

หมายเหตุ ดาวพลูโตยังเป็นการคาดคะเนจากข้อมูลที่มีอยู่

ความเร็วของก้อนหินจนเป็นศูนย์ได้ ก้อนหินจะหลุดพ้นจากแรงโน้มถ่วงเคลื่อนที่ไปอย่างอิสระ เราเรียกความเร็วน้อยที่สุดที่ทำให้วัตถุไม่ตกลงสู่พื้นผิวดาวเคราะห์ว่า "ความเร็วหลุดพ้น" (Escape Velocity) ซึ่งถือว่าเป็นมาถึงยุคปัจจุบัน โดยการยิงจรวดให้ขึ้นไปในอวกาศต้องให้จรวดมีความเร็วเท่ากับหรือสูงกว่าความเร็วหลุดพ้นจากโลก จรวดจะนำยานอวกาศไปปฏิบัติงานต่าง ๆ ในอวกาศโดยไม่ตกสู่โลก

ดาวดวงน้อย

ในยุคเก่าก่อนที่มนุษย์สังเกตท้องฟ้าด้วยตาเปล่า เชื่อกันว่าสิ่งที่มีอยู่คือสิ่งที่มองเห็นปรากฏอยู่บนฟ้า แต่หลังจากที่กาลิเลโอศึกษาท้องฟ้าด้วยกล้องโทรทรรศน์ เขารู้ว่ามีสิ่งที่มองไม่เห็นอยู่บนฟ้าด้วย กาลิเลโอเห็นบริวาร 4 ดวงใหญ่ของดาวพฤหัสบดี ทำให้เขาคิดว่า ดาวเคราะห์มีบริวารเหมือนกับโลก มีดวงจันทร์เป็นบริวาร และมีวงโคจรรอบดาวดวงแม่ เคลื่อนไปพร้อมกับดาวเคราะห์โคจรไปรอบดวงอาทิตย์

เมื่อกล้องโทรทรรศน์มีประสิทธิภาพมากขึ้น มนุษย์ได้ค้นพบสมาชิกของระบบสุริยะเพิ่มขึ้น ทั้งดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน และดาวพลูโต ขณะเดียวกันก็ค้นพบบริวารของดาวเคราะห์แต่ละดวง ค้นพบดาวเคราะห์น้อย และดาวหางเพิ่มขึ้นด้วย เป็นสิ่งที่มีอยู่แต่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เพราะมีขนาดเล็ก หรือไม่ก็อยู่ไกลออกไปมาก

บริวาร์ของดาวเคราะห์ (Satellites) บางทีเรียกว่าดวงจันทร์ (Moon) ตามที่เราเรียกบริวารของโลกว่าดวงจันทร์ ดาวเคราะห์แต่ละดวงมีจำนวนบริวารมากน้อยแตกต่างกัน บางดวงก็ไม่มีบริวารเลย จำนวนบริวารของดาวเคราะห์ที่อยู่ไกลออกไปและมีจำนวนมาก เช่นดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน อาจมีการค้นพบเพิ่มเติมได้ จำนวนจึงไม่คงที่ เช่น ในปี ค.ศ. 2001 มีการค้นพบบริวารดาวพฤหัสบดีเพิ่มเป็น 28 ดวง ดาวเสาร์เป็น 30 ดวง แต่ตัดดาวบริวารของดาวยูเรนัสออก 1

ดวงจึงเหลือ 20 ดวง จนมาถึงเดือนเมษายน ค.ศ. 2003 ได้พบบริวารดาวพฤหัสบดีและดาวเสาร์เพิ่มขึ้นอีกและคาดว่าจะพบเพิ่มขึ้นต่อไป

บริวารของดาวเคราะห์	
ดาวเคราะห์	จำนวนบริวาร
ดาวพุธ	-
ดาวศุกร์	-
โลก	1
ดาวอังคาร	2
ดาวพฤหัสบดี	58
ดาวเสาร์	31
ดาวยูเรนัส	20
ดาวเนปจูน	8
ดาวพลูโต	1

ดวงจันทร์บริวารดวงสำคัญ ๆ ที่มนุษย์คุ้นเคยมักเป็นดวงจันทร์ขนาดใหญ่พอ ๆ กับดาวเคราะห์ดวงเล็ก ๆ ไม่ว่าจะเป็นดาวพลูโตหรือดาวพุธ ดาวพฤหัสบดีมีบริวารขนาดใหญ่ 4 ดวง ที่กาลิเลโอสังเกตพบเมื่อเกือบ 400 ปีที่แล้ว เรียกว่า ดวงจันทร์ของกาลิเลโอ (Galileo Moons) คือดวงจันทร์ ไอโอ (Io) ยูโรปา (Europa) กานิมีด (Ganymede) และคาลลิสโต (Callisto) ดวงจันทร์ของโลกอยู่ในกลุ่มบริวารขนาดใหญ่ รวมถึงไททัน (Titan) บริวารของดาวเสาร์และไทรทัน (Triton) บริวารของดาวเนปจูน โดยเฉพาะ 2 ดวงหลังนี้นักวิทยาศาสตร์พบว่ามีบรรยากาศห่อหุ้มตัวดวงด้วย ดวงจันทร์กานิมีดเป็นดวงจันทร์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เพราะใหญ่กว่าดาวพุธเสียอีก

ขนาดของบริวารดาวเคราะห์ขนาดใหญ่	
บริวาร - ดาวเคราะห์	เส้นผ่าศูนย์กลาง (กิโลเมตร)
กานิมีด - ดาวพฤหัสบดี	5,262'
ไททัน - ดาวเสาร์	5,150
คาลลิสโต - ดาวพฤหัสบดี	4,800
ไอโอ - ดาวพฤหัสบดี	3,630
ดวงจันทร์ - โลก	3,476
ยูโรปา - ดาวพฤหัสบดี	3,138
ไทรตัน - ดาวเนปจูน	2,706

ดาวเคราะห์น้อย (Asteroids) เป็นชิ้นส่วนขนาดเล็กที่เหลือจากการรวมตัวของดาวเคราะห์ แถบของดาวเคราะห์น้อยพวกหินและโลหะ มีวงโคจรอยู่ระหว่างดาวอังคารกับดาวพฤหัสบดี ซีเรส (Ceres) เป็นดาวเคราะห์น้อยที่มีขนาดโตที่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1,000 กิโลเมตร เปรียบเสมือนภูเขาขนาดใหญ่บนโลก มีแถบของดาวเคราะห์น้อยที่มนุษย์ศึกษาอีกแถบหนึ่ง ในบริเวณวงโคจรของดาวเนปจูนและเลยออกไป เรียกว่าแถบคอยเปอร์ (Kuiper Belt) มักมีองค์ประกอบเป็นน้ำแข็ง เพราะอยู่ห่างไกลจากดวงอาทิตย์ นักดาราศาสตร์บางกลุ่มเชื่อว่า ดาวพลูโตเป็นดาวเคราะห์น้อยขนาดใหญ่ที่อยู่ในแถบคอยเปอร์นี้

ลมสุริยะ พลังที่มองไม่เห็น

ในขอบเขตของระบบสุริยะที่มีสมาชิกหลากหลายทั้งดาวเคราะห์และบริวารตลอดจนชิ้นส่วนเล็ก ๆ มากมาย ล้วนแล้วแต่อยู่ภายใต้แรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์ที่ดึงดูดให้สมาชิกทั้งหมดโคจรไปรอบดวงอาทิตย์ หากเลยออกนอกระบบสุริยะไปก็คือขอบเขตที่ดวงอาทิตย์ส่งแรงดึงดูดไปไม่ถึง ที่ว่างในระบบสุริยะมีอยู่ทั่วไปทั้งที่ว่างระหว่างวงโคจรของดาว

เคราะห์แต่ละดวง เมื่อรวมกันแล้วถือว่าเป็นพื้นที่ส่วนใหญ่ แต่ขณะเดียวกันบริเวณที่คิดว่าเป็นที่ว่าง อาจไม่เป็นที่ว่างที่แท้จริง เพราะมีอนุภาคประจุไฟฟ้ากระจัดกระจายอยู่ทั่วไป อนุภาคประจุไฟฟ้าเหล่านี้เรียกว่า ลมสุริยะ (Solar Wind)

ดวงอาทิตย์ ดาวฤกษ์หนึ่งเดียวในระบบสุริยะปล่อยอนุภาคประจุไฟฟ้าพวกอิเล็กตรอน (ประจุลบ) และโปรตอน (ประจุบวก) ออกมาจากตัวดวงแล้วสาดกระจายออกไปทั่วระบบสุริยะ เหมือนสาดเศษฝุ่นฟุ้งกระจายออกไป โลกและดาวเคราะห์บางดวงมีสนามแม่เหล็กป้องกันลมสุริยะไม่ให้เข้าสู่โลกโดยตรง โดยมีการเบี่ยงเบนคล้าย ๆ กับกระแสน้ำปะทะชายฝั่งรอบ ๆ เกาะกลางน้ำไม่ให้เข้าสู่ใจกลางเกาะโดยตรง ลมสุริยะสามารถเล็ดลอดเข้าสู่โลกบริเวณขั้วเหนือและขั้วใต้ได้บางส่วน ทำให้เกิดแสงเรือง ๆ (Aurora) ในชั้นบรรยากาศบริเวณขั้วโลกเหนือและใต้ เพราะอนุภาคประจุไฟฟ้าของลมสุริยะไปกระตุ้นให้อะตอมและโมเลกุลของก๊าซในบรรยากาศของโลกแถบนั้นเกิดการแตกตัว ปล่อยพลังงานออกมาเป็นแสงสีในชั้นบรรยากาศ ที่เรียกกันว่าแสงเหนือเมื่อเกิดที่ขั้วโลกเหนือหรือแสงใต้เมื่อเกิดที่ขั้วโลกใต้

ลมสุริยะยังทำให้ดาวหางมีหางยาวออกไปด้านตรงข้ามกับดวงอาทิตย์ ขณะที่ดาวหางเข้าใกล้ดวงอาทิตย์ เพราะก๊าซที่ระเหิดออกมาจากหัวดาวหางถูกผลักให้เบนไปด้านตรงข้ามกับดวงอาทิตย์โดยลมสุริยะ เกิดเป็นหางก๊าซสวยงาม (ดาวหางมีหาง 2 ประเภท คือหางก๊าซกับหางฝุ่น)

สิทธิชัย ศรีมหาศิลปิน : ระบบสุริยะ: ดาวบริวารของดวงดาว
กรุงเทพฯ : ประพันธ์สาส์น 2546

Hum. Lib. 523.2
ส 3445