สารบัญ

บทที่ 1 เอกภพและกาแล็กซี 6

- เอกภพ
- กาแล็กซี

บทที่ 2 ดาวฤกษ์และวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ 18

- สมบัติทางกายภาพพื้นฐานของดาวฤกษ์
- การหาระยะห่างของดาวฤกษ์โดยใช้วิธีพารัลแลกซ์
- วิวัฒนาการของดาวฤกษ์

บทที่ 3 ระบบสุริยะ 46

บทที่ 4 เทคโนโลยีอวกาศ 72

บทที่ 5 โลกและปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา 86

- โครงสร้างโลก
- ปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา

บทที่ 6 ธรณีภาค 106

GANBATTE

บทที่ 7 ธรณีประวัติ 114
- ข้อมูลทางธรณีวิทยา

แนวข้อสอบและเฉลยแนวข้อสอบอย่างละเอียด 125
ชุดที่ 1

แนวข้อสอบและเฉลยแนวข้อสอบอย่างละเอียด 141
ชุดที่ 2

แนวข้อสอบและเฉลยแนวข้อสอบอย่างละเอียด 157
ชุดที่ 3

แนวข้อสอบและเฉลยแนวข้อสอบอย่างละเอียด 172
ชุดที่ 4

แนวข้อสอบและเฉลยแนวข้อสอบอย่างละเอียด 188
ชุดที่ 5

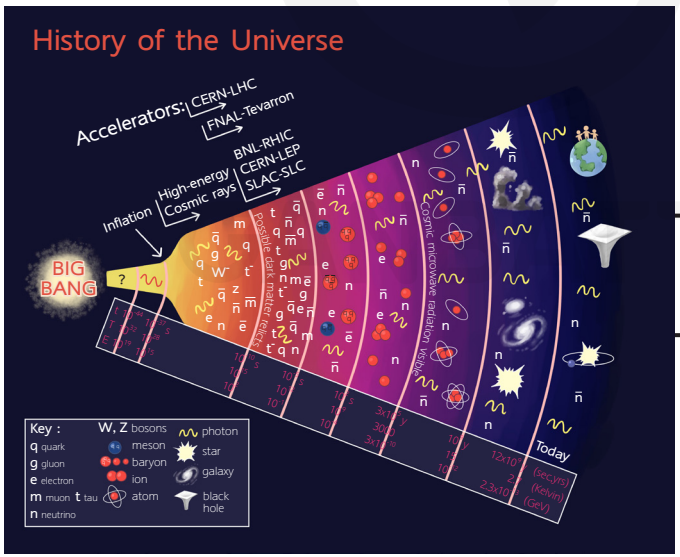
บทที่

1

เอกภพและกาแล็กซี

เอกภพ

เอกภพ (Universe) คือ บริเวณอันกว้างใหญ่ไพศาล และเป็นหนึ่งเดียว ประกอบไปด้วย กาแล็กซี สสารระหว่างกาแล็กซีและที่ว่าง (ซึ่งอาจจะเป็นสสารมืด) อยู่รวมกันด้วยแรงโน้มถ่วงระหว่างมวล ประมาณกันว่ามีกาแล็กซีอยู่เป็นจำนวนกว่าสามถึงสี่แสนล้านกาแล็กซี โดยมีทฤษฎีการกำเนิดเอกภพที่มีความน่าเชื่อถือและมีหลักฐานสนับสนุนมากที่สุดคือ ทฤษฎีบิกแบง (Big Bang theory) ค้นพบโดย เลอแมทร์ (Lemaître) บาทหลวงนักฟิสิกส์และดาราศาสตร์ชาวเบลเยียม ซึ่งกล่าวไว้ว่า เอกภพมีจุดเริ่มต้นจากการขยายตัวของอวกาศ (Space) ออกไปอย่างรวดเร็ว (ไม่ใช่การระเบิดออก) โดยไม่มีจุดใดเป็นจุดศูนย์กลางของการขยายตัว เมื่อประมาณ 13,700 ล้านปีก่อน โดยเริ่มจากจุดเอกฐาน (Singularity) ที่มีขนาดเล็ก มีมวลและความหนาแน่นเป็นอนันต์ เอกภพนี้มีแนวโน้มที่จะขยายตัวเรื่อยไปไม่มีที่สิ้นสุดและมีอุณหภูมิต่ำลง ดังภาพที่ 1 โดยการขยายตัวนี้จะมีลักษณะคล้ายการพองตัวของลูกโป่งเมื่อถูกสูบลมเข้าไป ซึ่งจะพบว่าลายจุดบนลูกโป่งจะเคลื่อนที่ออกห่างจากกันเรื่อยๆ โดยไม่สามารถระบุได้ว่าจุดใดเป็นจุดศูนย์กลางของการขยายตัว



ภาพที่ 1 จำลองลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตั้งแต่ Big Bang จนถึงปัจจุบัน

ลำดับเหตุการณ์ที่สำคัญโดยประมาณของการเกิด Big Bang

ขณะเกิด Big Bang

เกิดสสารขึ้นในรูปของอนุภาคมูลฐาน คือ ควาร์ก (Quark) อิเล็กตรอน (Electron) นิวทริโน (Neutrino) และโฟตอน (Photon)

หลังเกิด Big Bang 10^{-6} วินาที

อุณหภูมิของเอกภพลดลงเป็นสิบล้านล้านเคลวิน ทำให้ควาร์กเกิดการรวมตัวกัน กลายเป็นโปรตอนและนิวตรอน

หลังเกิด Big Bang 100 วินาที

อุณหภูมิลดลงเหลือพันล้านเคลวิน เทียบกับอุณหภูมิของดาวฤกษ์ที่ร้อนที่สุด โปรตอนและนิวตรอนรวมกันเป็นนิวเคลียสของดิวเทอเรียม

หลังเกิด Big Bang 3 นาที

อุณหภูมิของเอกภพลดลงเป็นร้อยล้านเคลวิน มีผลให้โปรตอนและนิวตรอนเกิดการรวมตัวเป็นนิวเคลียสของฮีเลียม

หลังเกิด Big Bang 3.8×10^{5} ปี

อุณหภูมิลดลงเหลือ 10,000 เคลวิน นิวเคลียสของไฮโดรเจนและฮีเลียมดึงอิเล็กตรอนเข้ามาอยู่ในวงโคจร และเกิดเป็นอะตอมไฮโดรเจนและฮีเลียม

หลังเกิด Big Bang 10^{9} ปี

ภายในกาแล็กซีมีธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียมเป็นสสารเบื้องต้น ซึ่งก่อกำเนิดเป็นดาวฤกษ์รุ่นแรกๆ

ธาตุที่มากที่สุดในเอกภพคือ ธาตุไฮโดรเจน (Hydrogen) ด้วยเหตุผลที่ว่า ธาตุนี้มีโครงสร้างอะตอมอย่างง่ายที่สุด นั่นคือ ประกอบด้วยโปรตอน 1 ตัว เป็นนิวเคลียส และมีอิเล็กตรอน 1 ตัว วิ่งรอบนิวเคลียส ดังนั้นจึงมีโอกาสเกิดได้ง่ายและมีปริมาณมากที่สุดในเอกภพ การเกิดทุกสิ่งทุกอย่างที่มีอยู่ในเอกภพนี้ เกิดเนื่องมาจากจำนวนสสาร (Matter) มากกว่าจำนวนปฏิสสาร (Anti-matter) ในปริมาณที่ว่า ปฏิสสารทุกๆ 10^{10} ตัว จะมีสสารจำนวน $10^{10} + 1$ ตัว ซึ่งสสารที่มีเศษ 1 ตัวนี่เองที่ทำให้เกิดเอกภพอย่างที่เป็นอยู่ทุกวันนี้

หลักฐานสำคัญที่สนับสนุนทฤษฎี Big Bang

1. การขยายตัวของเอกภพ

ค้นพบโดย เอ็ดวิน พี. ฮับเบิล (Edwin P. Hubble) นักดาราศาสตร์ชาวอเมริกัน ได้ศึกษาสเปกตรัมของกาแล็กซีที่อยู่ไกลเราออกไป และได้แสดงให้เห็นว่า กาแล็กซีกำลังเคลื่อนตัวออกไปจากกาแล็กซีทางข้างเผือกด้วยความเร็วที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางที่อยู่ไกลออกไป นั่นคือ “ยิ่งกาแล็กซีอยู่ห่างออกไปมากเท่าใด ก็จะยิ่งเคลื่อนที่หนีห่างจากโลกด้วยความเร็วมากขึ้นเท่านั้น” และในช่วงเวลาเดียวกันนั้น Lemaître ก็ได้ค้นพบว่าเอกภพมีการขยายตัวด้วยเช่นเดียวกัน ซึ่งภายหลังรู้จักกันในชื่อ กฎของฮับเบิล-เลอแมทร์ (Hubble-Lemaître Law)

Hubble-Lemaître Law : $v = H_0 d$

โดยที่ v = ความเร็วในแนวเล็งของกาแล็กซี ($km\ s^{-1}$)

H_0 = ค่าคงที่ของฮับเบิล

= $67.8\ km\ s^{-1}\ Mpc^{-1}$ (ข้อมูลวันที่ 21 มีนาคม 2013 จาก Plank mission)

d = ระยะทางของกาแล็กซี (Mpc)

Doppler Effect คือ ปรากฏการณ์ของคลื่นที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดคลื่นสัมพัทธ์กับผู้สังเกต แล้วมีผลทำให้ความยาวคลื่นที่ผู้สังเกตได้รับมีการเปลี่ยนแปลงจากค่าเดิม ดังภาพที่ 2 ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c}$$

โดยที่ z = ค่าเรดชิฟท์ (Redshift) ของกาแล็กซี

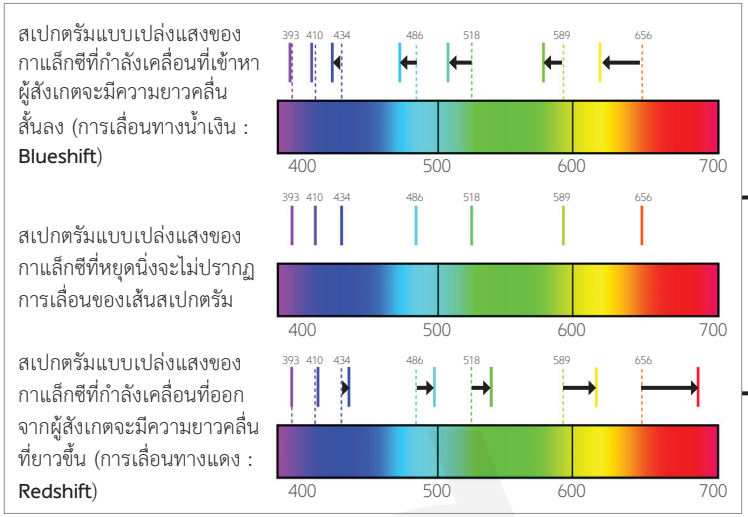
λ = ค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่วัดได้จากการสังเกตการณ์จริงของกาแล็กซี

λ_0 = ค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมมาตรฐาน

v = ความเร็วในแนวเล็งของกาแล็กซี

c = อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

= $3 \times 10^8\ m\ s^{-1}$



ภาพที่ 2
ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ของวัตถุท้องฟ้าเมื่อสังเกตจากเส้นสเปกตรัม

ตัวอย่างการคำนวณ

สเปกตรัมย่านความยาวคลื่นวิทยุของกลุ่มเมฆระหว่างดวงดาวเลื่อนจาก 21 cm ไปเป็น 21.007 cm กลุ่มเมฆนี้กำลังเคลื่อนที่เข้าหา อยู่กับที่ หรือออกจากผู้สังเกตด้วยความเร็วเท่าใด และกลุ่มเมฆระหว่างดาวนี้อยู่ห่างจากผู้สังเกตประมาณเท่าใด กำหนดให้ (H_0 = 67.8 km s^{-1} Mpc^{-1})

แสดงวิธีหาคำตอบ :

สังเกตว่าสเปกตรัมของกลุ่มเมฆระหว่างดาวนี้เกิดการเลื่อนแล้วมีความยาวคลื่นที่มากขึ้นจากเดิม นั่นแสดงว่ากลุ่มเมฆระหว่างดาวนี้กำลังเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต ต่อไปทำการคำนวณหาความเร็วจากสมการดอปเพลอร์

$$\frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0} = \frac{v}{c} = \frac{21.007\ \text{cm} - 21\ \text{cm}}{21\ \text{cm}} = \frac{v}{3 \times 10^5\ \text{km s}^{-1}}$$

v = 100 km s^{-1} (ความเร็วเป็นค่าบวก แสดงว่าเป็นเรดชิฟท์)

ต่อไปหาระยะทางโดยประมาณจากกลุ่มเมฆระหว่างดาวถึงผู้สังเกตจากกฎของฮับเบิล-เลอแมทร์

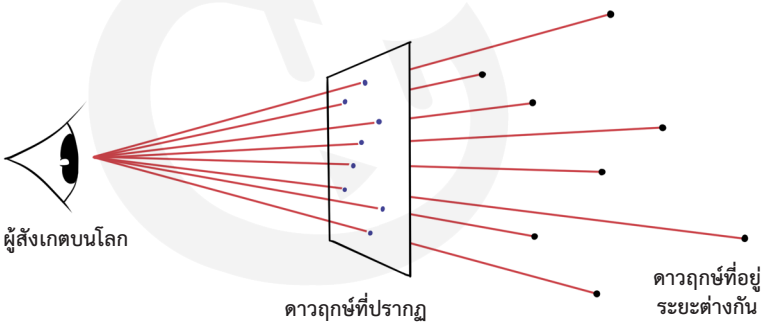
$$d = \frac{v}{H_0} = \frac{100\ \text{km s}^{-1}}{67.8\ \text{km s}^{-1}\ \text{Mpc}^{-1}} = 1.47\ \text{Mpc} = 4.81\ \text{Mly} = 4.55 \times 10^{19}\ \text{km}$$

บทที่

2

ดาวฤกษ์และวิวัฒนาการของดาวฤกษ์

ดาวฤกษ์ (Star) คือ ก้อนสสารขนาดใหญ่ที่รวมตัวอยู่ด้วยกัน เนื่องจากแรงโน้มถ่วงระหว่างอะตอมของสสารนั้น สามารถสร้างพลังงานขึ้นได้ด้วยปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์แบบฟิวชันของธาตุไฮโดรเจน ดาวฤกษ์ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าบนท้องฟ้าล้วนแล้วแต่เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือกทั้งสิ้น เพราะกาแล็กซีอื่นนั้นอยู่ไกลจากเรามาก และสายตาของมนุษย์หรือแม้แต่กล้องโทรทรรศน์อวกาศไม่สามารถที่จะมองเห็นดาวฤกษ์แยกเป็นดวงได้ นอกจากการสิ้นอายุขัยของดาวฤกษ์ในกาแล็กซีอื่นแล้วระเบิดกลายเป็นซูเปอร์โนวา ก็จะสามารถมองเห็นแสงสว่างของดาวฤกษ์ออกมาจากกาแล็กซีนั้นๆ ได้ เนื่องจากว่าดาวฤกษ์แต่ละดวงอยู่ห่างจากผู้สังเกตเป็นระยะทางที่ไกลมาก จนตาของเราไม่สามารถที่จะแยกแยะได้ว่าดาวฤกษ์ดวงไหนอยู่ใกล้หรืออยู่ไกลเท่าใด ทำให้ดาวฤกษ์บนท้องฟ้าที่ปรากฏแก่สายตาดูเหมือนว่ามีระยะห่างจากผู้สังเกตเท่ากันทุกดวง คล้ายเป็นภาพฉายตกลงบนฉากและปรากฏเป็นรูปกลุ่มดาวต่างๆ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การสังเกตดาวฤกษ์แต่ละดวงที่ระยะต่างกัน คล้ายกับการปรากฏบนฉากที่ระยะห่างเท่ากัน

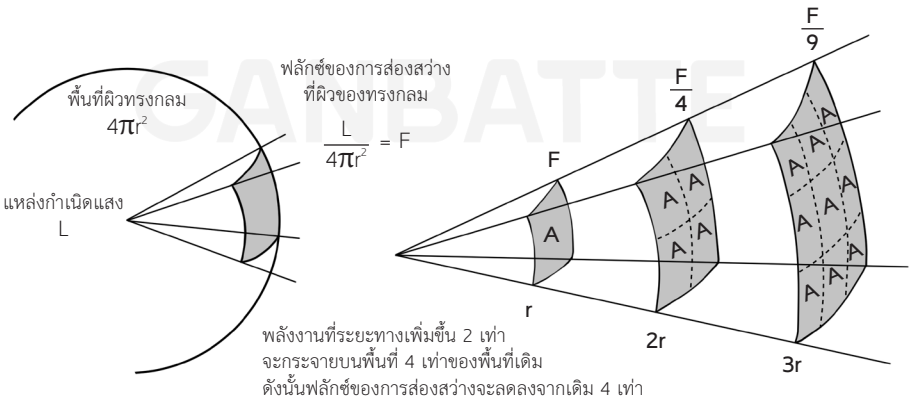
แนวคิดที่ว่า เมื่อสังเกตดาวฤกษ์บนท้องฟ้าด้วยตาเปล่าจะเห็นการกะพริบแสง ซึ่งแตกต่างจากดาวเคราะห์ซึ่งไม่กะพริบแสงนั้น เป็นความเข้าใจที่ผิดเป็นอย่างยิ่ง เพราะจริงๆ แล้วทั้งดาวฤกษ์และดาวเคราะห์สามารถเกิดการกะพริบได้ทั้งคู่ แต่ดาวฤกษ์จะกะพริบมากกว่าดาวเคราะห์เมื่อมองที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันบนท้องฟ้า เนื่องจากแสงของดาวฤกษ์และดาวเคราะห์ต่างก็ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกที่มีความแปรปรวนของสภาพอากาศก่อนมาถึงเรานั่นเอง

การศึกษาดาวฤกษ์ในทางดาราศาสตร์ โดยทั่วไปแล้วจะมีเทคนิคหลักๆ อยู่ 3 เทคนิค คือ Astrometry (วัดการเคลื่อนที่หรือการเปลี่ยนตำแหน่งของดาวฤกษ์), Photometry (การวัดสมบัติทางแสงของดาวฤกษ์) และ Spectroscopy (การวัดสมบัติทางสเปกตรัมของดาวฤกษ์) โดยแต่ละวิธีการก็จะมีข้อได้เปรียบที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับว่านักดาราศาสตร์ต้องการศึกษาคุณสมบัติของดาวฤกษ์ในด้านใด

สมบัติพื้นฐานทางกายภาพของดาวฤกษ์

กำลังส่องสว่างและความสว่าง

ดาวฤกษ์แต่ละดวงมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะเป็นมวล ขนาด กำลังส่องสว่าง สี อุณหภูมิ อายุ ฯลฯ การสังเกตดาวฤกษ์จากโลกเป็นเพียงการสังเกตแค่แสงสว่างหรือโฟตอนที่ดาวฤกษ์ปล่อยออกมา โดยพลังงานที่ได้รับจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับว่าดาวฤกษ์จะปล่อยพลังงานออกมาเพียงใด และดาวฤกษ์นั้นอยู่ห่างจากผู้สังเกตเท่าใด แต่การวัดพลังงานที่ปล่อยออกมาจากดาวฤกษ์ต่อหนึ่งหน่วยเวลา (ซึ่งเรียกว่า **กำลังส่องสว่าง (Luminosity)** เป็นสมบัติเฉพาะของดาวฤกษ์แต่ละดวง) นั้น เราไม่สามารถเข้าไปวัดที่ผิวดาวได้โดยตรง จึงทำได้โดยการวัดแบบทางอ้อม นั่นคือ การวัดพลังงานที่ปล่อยออกมาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลาแทน ซึ่งสามารถทำได้บนโลก โดยจะเรียกพลังงานที่ปล่อยออกมาต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหนึ่งหน่วยเวลานี้ว่า **ฟลักซ์ของการส่องสว่างหรือความสว่าง (Radiative flux or Brightness)** นั่นเอง โดยฟลักซ์ของการส่องสว่างนี้จะเป็นไปตามกฎกำลังสองผกผัน (Inverse square law) นั่นคือ เมื่อระยะห่างจากดาวเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า ฟลักซ์ของการส่องสว่างจะลดลงเป็น 4 เท่า แต่กำลังส่องสว่างยังคงเท่าเดิม ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและฟลักซ์ของการส่องสว่าง

ตัวอย่างเช่น ดวงอาทิตย์มีกำลังส่องสว่างเท่ากับ $L = 3.828 \times 10^{26}$ J s^{-1} (W) = 1 $L_{\odot}$ เมื่อสังเกตจากโลกจะพบว่า ดวงอาทิตย์มีฟลักซ์ของการส่องสว่างเท่ากับ $f = 1.37 \times 10^{3}$ W m^{-2} สำหรับดาวฤกษ์ซึ่งอาจจะมีขนาดใหญ่กว่าดวงอาทิตย์หลายสิบเท่า หรือวัตถุท้องฟ้าอื่นๆ นั้นอยู่ไกลจากโลกมาก ดังนั้นแสงหรือโฟตอนที่ตกกระทบมายังโลกจึงเหลือเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้ค่าความสว่างที่วัดได้บนโลกมีค่าน้อยมากเช่นกัน การวัดค่าฟลักซ์ของการส่องสว่าง (f) จึงเป็นค่าตัวเลขที่ค่อนข้างจะสื่อความหมายให้เห็นเป็นรูปธรรมได้ยาก จึงมีการคิดระบบการบอกความสว่างของดาวฤกษ์ขึ้นมาใหม่ โดยใช้การเปรียบเทียบความสว่างของดาวอ้างอิงที่ได้กำหนดขึ้น โดยจะเรียกค่านี้ว่า **อันดับความสว่างหรือโชติมาตร (Magnitude)**

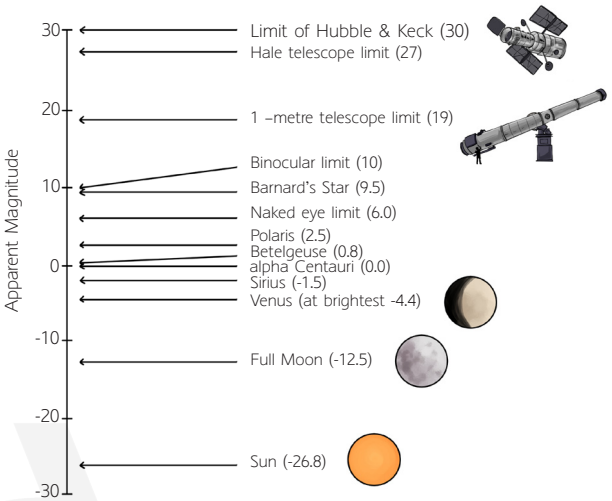
อันดับความสว่างปรากฏหรือโชติมาตรปรากฏ (Apparent magnitude : m)

อันดับความสว่างปรากฏหรือโชติมาตรปรากฏ คือ อันดับความสว่างของดาวฤกษ์ที่สังเกตได้จากโลก ซึ่งเป็นอันดับความสว่างที่นำมาเปรียบเทียบกับอันดับความสว่างจริงๆ ของดาวไม่ได้ เพราะความสว่างที่ปรากฏให้เราเห็นบนโลกขึ้นอยู่กับระยะห่างของดาวจากโลก รวมไปถึงสภาพอากาศ และการรบกวนของแสงบริเวณรอบจุดสังเกต โดยมีหลักการพิจารณาอันดับความสว่างปรากฏดังนี้

1. ดาวฤกษ์ที่ริบหรี่ที่สุดที่ตาเปล่ามองเห็นมีอันดับความสว่างปรากฏเท่ากับ 6 และดาวฤกษ์ที่สว่างที่สุดมีอันดับความสว่างปรากฏเท่ากับ 1 นั่นหมายความว่า ดาวที่มีค่าอันดับความสว่างปรากฏมากจะมีความสว่างน้อย และดาวที่มีค่าอันดับความสว่างปรากฏน้อยจะมีความสว่างมาก
2. ดาวที่มีอันดับความสว่างปรากฏต่างกัน 5 มีความสว่างปรากฏต่างกัน 100 เท่า หรือดาวที่มีอันดับความสว่างต่างกัน 1 จะมีความสว่างต่างกันประมาณ 2.5 เท่า
3. ค่าอันดับความสว่างเป็นปริมาณที่ไม่มีหน่วย
4. ค่าอันดับความสว่างเป็นค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบ จึงมีค่าเป็นได้ทั้งบวก ศูนย์ และลบ

ข้อสังเกต :

สำหรับการสังเกตวัตถุท้องฟ้าด้วยตาเปล่านั้นจะมีขอบเขตการสังเกตอยู่ที่อันดับความสว่างเท่ากับ 6 แต่ต้องตั้งอยู่บนเงื่อนไขว่า ต้องไม่มีแสงไฟรบกวน และสภาพอากาศดีมาก เช่น ชานเมืองหรือชนบท แต่ถ้าในตัวเมืองซึ่งมีแสงไฟรบกวน อาจจะสังเกตได้เพียงดาวที่มีอันดับความสว่างไม่เกิน 3 เท่านั้น เช่น ดาวที่มีอันดับความสว่าง 4 ก็จะสามารถมองเห็นได้ในชนบท แต่จะไม่สามารถสังเกตดาวดวงนี้ได้ในตัวเมือง



ภาพที่ 3 อันดับความสว่างปรากฏของวัตถุท้องฟ้าที่น่าสนใจ

สมการการคำนวณ Magnitude

$$m_1 - m_2 = -2.5\log\frac{f_1}{f_2} \quad \text{.....(1)}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = 2.512^{m_2-m_1} = 10^{(m_2-m_1)/2.5} \quad \text{.....(2)}$$

หรือ $\frac{f_1}{f_2} = 2.5^{m_2-m_1}$ .....(3) (โดยประมาณ)

ตัวอย่างการคำนวณ

ดาวที่มีอันดับความสว่าง -3.5 และ 4.5 จะมีความสว่างต่างกันกี่เท่า

แสดงวิธีหาคำตอบ :

จากโจทย์ต้องการทราบว่าดาวทั้งสองดวงนี้มีความสว่างต่างกันกี่เท่า ก็คือการหาค่า $\frac{f_1}{f_2}$ นั่นเอง จากสมการ (1) ทราบว่า ค่า $m_1 = -3.5$ และ $m_2 = 4.5$ เมื่อแทนค่าในสมการจะได้

$$-3.5 - 4.5 = -2.5\log\frac{f_1}{f_2}$$

$$\frac{-8.0}{-2.5} = \log\frac{f_1}{f_2}$$

$$\log\frac{f_1}{f_2} = 3.2$$

$$\therefore \frac{f_1}{f_2} = 10^{3.2} = 1,585$$

และยังสามารถใช้สมการ (2) และ (3) ในการหาคำตอบได้ดังนี้

บทที่

3

ระบบสุริยะ

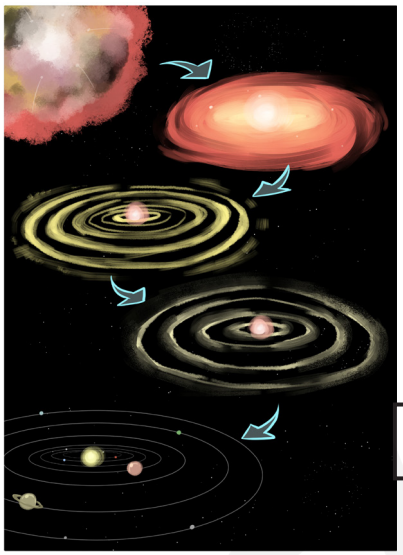
ระบบสุริยะ คือ ระบบดาวฤกษ์หนึ่งในกาแล็กซีทางช้างเผือก ที่ประกอบไปด้วยดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นดาวฤกษ์เพียงดวงเดียวในระบบ ดาวเคราะห์ทั้ง 8 ดวงที่เป็นบริวาร รวมไปถึงดวงจันทร์ที่เป็นบริวารของดาวเคราะห์ ดาวเคราะห์แคระ ดาวเคราะห์น้อย ดาวหาง อุกกาบาต ฝุ่นผง แก๊สต่างๆ และเศษวัตถุขนาดเล็กจำนวนมาก ที่อยู่รวมกันเป็นระบบด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงระหว่างวัตถุเหล่านั้นกับดวงอาทิตย์ ระบบสุริยะกำเนิดจากกลุ่มแก๊ส ฝุ่นและสสารระหว่างดาว (เนบิวลาดั้งเดิม และเนบิวลาที่มาจากซูเปอร์โนวา) ที่รวมเรียกว่า เนบิวลาสุริยะ (Solar nebula) เมื่อประมาณ 4,600 ล้านปีที่แล้ว โดยที่มวลของแก๊สและฝุ่นเกือบทั้งหมด หรือประมาณร้อยละ 99.8 รวมเป็นดวงอาทิตย์ มวลที่เหลือกลายเป็นดาวบริวาร โดยวัตถุเหล่านั้นมีการหมุนรอบตัวเองพร้อมกับการโคจรรอบดวงอาทิตย์

การกำเนิดระบบสุริยะ

ระบบสุริยะมีขั้นตอนการกำเนิดโดยสรุปคือ เมื่อแก๊สและฝุ่นในเนบิวลาสุริยะ มีการเคลื่อนที่หมุนวนและยุบตัวลงบริเวณใจกลาง ทำให้มีความหนาแน่นและอุณหภูมิสูงขึ้น พร้อมกันนั้นแรงดึงดูดก็เพิ่มขึ้นตามและสามารถดึงมวลสารรอบๆ ให้มารวมตัวกันมากขึ้น จนบริเวณใจกลางเกิดเป็น Protosun ซึ่งยังไม่สามารถเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์ได้ เมื่อแรงดันเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมีค่ามากกว่าแรงดันการแผ่รังสี มวลสารจึงสามารถยุบตัวต่อไปได้อีก จนกระทั่งอุณหภูมิภายในสูงถึง 15 ล้านเคลวิน มากพอที่จะจุดปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน หลอมรวมไฮโดรเจนและเป็นแหล่งพลังงานหลักในการสร้างสภาวะ Hydrostatic equilibrium และเกิดเป็นดวงอาทิตย์นั่นเอง

สำหรับฝุ่นแก๊สที่เหลือบริเวณรอบๆ ก็เคลื่อนที่หมุนวนรอบดวงอาทิตย์เป็นแผ่นจานแบนๆ และเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนมวลที่มีขนาดใหญ่ขึ้น สำหรับบริเวณที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มวลสารที่เป็นของแข็ง (โลหะหรือหิน) จะสามารถคงอยู่ได้ ในบางครั้งก้อนมวลอาจจะถูกชนจากมวลก้อนอื่นแตกออกเป็นมวลที่มีขนาดเล็กลง แต่ในบางครั้งเมื่อก้อนมวลมีขนาดใหญ่พอที่จะทนแรงกระแทกก็จะดึงมวลที่มาชนให้ติดเป็นมวลก้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ โดยเรียกมวลนี้ว่า Planetesimal และจะมีการพอกพูนมวลต่อไป พร้อมกับดึงมวลสารที่อยู่ในวงโคจรให้ยึดติดกับตัวมวลนี้ ทำให้เส้นทางของวงโคจรของมวลแต่ละก้อนเริ่มปรากฏให้เห็นชัดเจนมากขึ้นจนสุดท้ายกลายเป็นดาวเคราะห์หิน นั่นคือ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก และดาวอังคาร เศษที่เหลือจากการสร้างดาวเคราะห์แข็งนี้จะอยู่ในบริเวณที่เรียกว่า แถบดาวเคราะห์น้อย (Asteroid belt) ซึ่งอยู่ระหว่างวงโคจรของดาวอังคารกับดาวพฤหัสบดี

ส่วนของแก๊สที่เบาและระเหยง่าย รวมทั้งสารประกอบของไฮโดรเจนที่เป็นของแข็ง จะถูกลมสุริยะพัดออกมาให้มารวมตัวกันบริเวณรอบนอก ถัดจากแถบดาวเคราะห์น้อย ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่ามาก เกิดเป็นดาวเคราะห์แก๊สขนาดใหญ่ที่มีมวลและแรงโน้มถ่วงมากจนสามารถดึงแก๊สที่มีน้ำหนักเบาอย่างไฮโดรเจนและฮีเลียมให้เป็นองค์ประกอบหลักของดาวได้ ได้แก่ ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส และดาวเนปจูน ส่วนแก๊สที่เหลือที่กระจายออกรอบนอกระบบสุริยะก็จะกลายเป็นแถบไคเปอร์ (Kuiper belt) และเมฆออร์ต (Oort cloud) ซึ่งจะเป็นแหล่งกำเนิดของดาวหาง



ภาพที่ 1 แผนภาพการกำเนิดระบบสุริยะ

หลักเกณฑ์การพิจารณาคุณสมบัติการเป็นดาวเคราะห์

1. มีวงโคจรรอบดาวฤกษ์แม่ (ในที่นี้คือดวงอาทิตย์)
2. มีมวลมากพอที่จะมีแรงโน้มถ่วงในการรักษาตัวเองให้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) และมีสัณฐานแบบทรงกลมด้วย Hydrostatic equilibrium
3. ระหว่างเส้นทางการโคจรต้องปราศจากดาวเคราะห์ หรือบริวารของดาวเคราะห์ดวงอื่นๆ

ปัจจัยหลักของการเกิดสนามแม่เหล็กบนดาวเคราะห์

1. มีโครงสร้างภายในเป็นของไหล (ของเหลว แก๊ส) ที่สามารถนำไฟฟ้าได้ เช่น โลหะเหลวหรือ Metallic hydrogen
2. โครงสร้างของดาวส่วนที่เป็นแก่นเป็นของไหล มีการไหลวน (Core convection)
3. ดาวเคราะห์ดวงนั้นมีการหมุนรอบตัวเอง (Planetary rotation)

องค์ประกอบของระบบสุริยะ

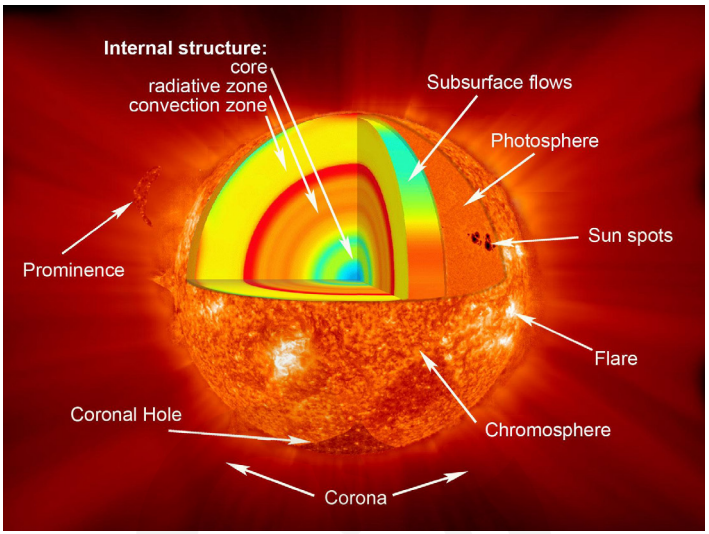
ระบบสุริยะประกอบขึ้นด้วย ดวงอาทิตย์ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก ดาวอังคาร ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน ดาวบริวารของดาวเคราะห์ (บริวารของโลกเรียกว่า The Moon ดาวบริวารของดาวเคราะห์ดวงอื่นเรียกว่า Moon หรือ Satellite) ดาวเคราะห์แคระ ดาวเคราะห์น้อย ดาวหาง อุกกาบาต ฝุ่นแก๊ส เศษวัตถุขนาดเล็ก และที่ว่าง โดยจะแบ่งออกเป็น 4 บริเวณหลักๆ คือ

1. **เขตดาวเคราะห์ชั้นใน (Inner planets)** ซึ่งประกอบด้วยดาวเคราะห์หิน (Terrestrial planets : ดาวเคราะห์ที่มีลักษณะคล้ายโลก) คือ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก และดาวอังคาร
2. **แถบดาวเคราะห์น้อย (Asteroid belt)** ประกอบด้วยเศษที่เหลือจากการสร้างดาวเคราะห์หิน อยู่ระหว่างวงโคจรของดาวอังคารกับดาวพฤหัสบดี นักดาราศาสตร์เชื่อว่า การถูกรบกวนจากแรงโน้มถ่วงของดาวพฤหัสบดีซึ่งมีขนาดใหญ่ และแรงโน้มถ่วงจากดวงอาทิตย์ เป็นเหตุให้ดาวเคราะห์น้อยเหล่านี้ไม่สามารถรวมตัวกันเป็นดาวเคราะห์ขนาดใหญ่ได้
3. **เขตดาวเคราะห์ชั้นนอก (Outer planets)** ประกอบด้วยดาวเคราะห์แก๊ส (Jovian planets : ลักษณะคล้ายดาวพฤหัสบดี) คือ ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส และดาวเนปจูน
4. **แถบไคเปอร์และเมฆออร์ต (Kuiper belt and Oort cloud)** คือ บริเวณด้านนอกของระบบสุริยะ ซึ่งประกอบไปด้วยฝุ่นแก๊ส เศษหิน น้ำแข็ง แก๊สแข็งตัวที่เหลือจากการสร้างระบบสุริยะและดาวหาง

ดวงอาทิตย์ (The Sun)

ดวงอาทิตย์ถือว่าเป็นดาวฤกษ์รุ่นหลัง (Population I star หรือ 2nd Generation star) เพราะเมื่อสังเกตสเปกตรัมของดวงอาทิตย์ จะปรากฏเส้นการดูดกลืนของธาตุหนักปนอยู่จำนวนมาก แต่ถ้าเป็นดาวรุ่นแรก (ดาวฤกษ์ที่เกิดขึ้นหลังการระเบิดครั้งใหญ่) จะปรากฏสเปกตรัมการดูดกลืนของธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียมเป็นหลัก ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์สีเหลือง มีสเปกตรัมชนิด G2 มีอุณหภูมิผิวประมาณ 5,770 เคลวิน โดยมวลขนาดดวงอาทิตย์นี้จะมีอายุขัยประมาณ 10,000 ล้านปี ซึ่งปัจจุบันดวงอาทิตย์และระบบสุริยะมีอายุประมาณ 4,600 ล้านปี

โครงสร้างภายในของดวงอาทิตย์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 โซน ได้แก่ แก่นดวงอาทิตย์ โซนการแผ่รังสี และโซนการพาความร้อน ดังภาพที่ 2 ซึ่งแต่ละโซนจะมีการถ่ายโอนความร้อนด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสมบัติของสสารในแต่ละโซน



ภาพที่ 2 โครงสร้างภายในและชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์ (ที่มา : nasa.gov)

ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์

ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ชั้น ได้แก่

1. **โฟโตสเฟียร์ (Photosphere)** เป็นบรรยากาศชั้นในสุดของดวงอาทิตย์ มีการแผ่สเปกตรัมแบบต่อเนื่อง และเป็นชั้นที่ให้แสงสว่างส่องมายังโลก เป็นบริเวณที่เกิดจุดบนดวงอาทิตย์ (Sunspots)

2. **โครโมสเฟียร์ (Chromosphere)** อยู่เหนือชั้นโฟโตสเฟียร์ขึ้นมา มีสีแดงซึ่งเกิดจากการลุกจ้าของไฮโดรเจน หนาหลายพันกิโลเมตร บรรยากาศชั้นนี้ยังรวมถึงพวยก๊าซ (Prominences) ที่พุ่งขึ้นสูงหลายหมื่นกิโลเมตรด้วย บรรยากาศชั้นนี้มีความสว่างน้อยมากเมื่อเทียบกับชั้นโฟโตสเฟียร์ จึงสามารถสังเกตได้เฉพาะที่เกิดปรากฏการณ์สุริยุปราคาเต็มดวงเท่านั้น

3. **คอโรนา (Corona)** สังเกตได้เมื่อดวงอาทิตย์ถูกบังเพราะมีความสว่างน้อยมาก เช่น การเกิดสุริยุปราคาเต็มดวง บรรยากาศชั้นนี้แผ่ออกไปเป็นบริเวณกว้างถึงหลายล้านกิโลเมตร มีอุณหภูมิสูงถึง 2 ล้านเคลวิน แต่มีความหนาแน่นของอนุภาคเบาบางมาก บางกว่าสภาวะสุญญากาศที่สร้างขึ้นได้บนโลกเสียอีก เป็นชั้นที่นำเอาอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าพลังงานสูง (Plasma) แผ่ไปทั่วทั้งระบบสุริยะ เรียกว่า ลมสุริยะ (Solar wind)

บทที่

4

เทคโนโลยีอวกาศ

เทคโนโลยีอวกาศ คือ การนำความรู้ทางด้านวิทยาศาสตร์แขนงต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา ดาราศาสตร์ คณิตศาสตร์ ฯลฯ มาประยุกต์ใช้ในการสำรวจอวกาศ เริ่มตั้งแต่การสังเกตการณ์ การสำรวจตรวจสอบ การประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือและอุปกรณ์ ตลอดจนการค้นคว้าวิจัย เพื่อตอบสนองความอยากรู้อยากเห็นของมนุษย์ ให้เข้าใจถึงกลไกของเอกภพ และนำไปสู่การพัฒนาเทคโนโลยีให้ก้าวหน้าอย่างไม่มีที่สิ้นสุด

มนุษย์เริ่มสังเกตท้องฟ้าด้วยตาเปล่าในยุคเริ่มต้น มีการประดิษฐ์กล้องโทรทรรศน์อย่างง่าย และพัฒนาจนถึงการสร้างยานอวกาศเพื่อไปสำรวจดาวเคราะห์ดวงใหม่ การส่งมนุษย์ออกไปสำรวจอวกาศ และอาจตั้งถิ่นฐานบนดาวเคราะห์ดวงอื่นในอนาคต

กล้องโทรทรรศน์ (Telescope)

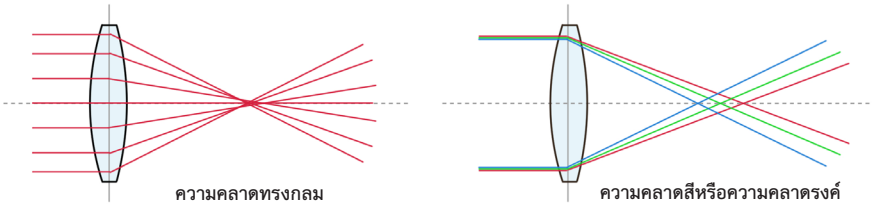
เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยขยายภาพของวัตถุท้องฟ้าให้มีรายละเอียดเพิ่มมากขึ้น สำหรับการสังเกตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible light) ทำให้สังเกตรายละเอียดของวัตถุท้องฟ้าได้เพิ่มมากขึ้น โดยหน้าที่หลักของกล้องโทรทรรศน์มีอยู่ 3 ประการ คือ

1. การสะสมแสงจากวัตถุท้องฟ้า เพื่อให้ศึกษาแหล่งกำเนิดแสงที่มีความสว่างน้อยๆ ได้
2. ทำหน้าที่เพิ่มขนาดเชิงมุมปรากฏของวัตถุและเพิ่มกำลังการแยกภาพ (Resolving power)
3. ใช้เพื่อวัดตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า

สำหรับกล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยทางดาราศาสตร์ อาจตรวจวัดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นอื่นๆ นอกเหนือจากช่วงที่ตามองเห็น และนอกจากนี้ยังมีเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ (Detector) แตกต่างกันออกไปตามจุดประสงค์ของงานวิจัย ดังนั้นจึงสามารถแบ่งประเภทของกล้องโทรทรรศน์ออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

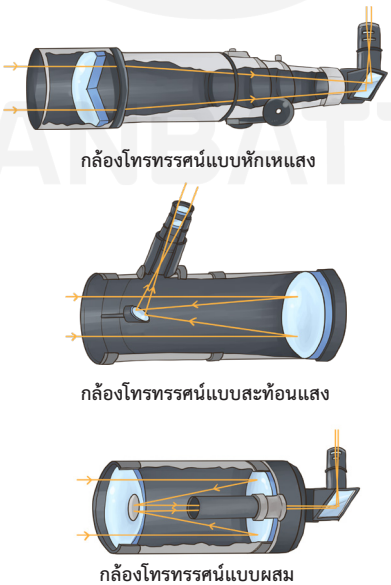
1. กล้องโทรทรรศน์ชนิดแสง (Visible light telescope) ซึ่งจะใช้อุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ (Optical instrument) เป็นตัวรับแสง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1.1 กล้องโทรทรรศน์ประเภทหักเหแสง (Refracting telescope) มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เลนส์นูน 2 ชิ้น คือ เลนส์ใกล้วัตถุ (Objective lens) และเลนส์ใกล้ตา (Eyepieces) กล้องโทรทรรศน์ชนิดนี้จะมีความยาวอย่างน้อยเท่ากับความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุรวมกับความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้ตา เพราะแสงเดินทางโดยไม่มีการสะท้อน กล้องโทรทรรศน์ชนิดหักเหแสงที่ใช้กันในปัจจุบันโดยส่วนใหญ่ คือ กล้องชนิดเคปเลอเรียน (Keplerian) ข้อบกพร่องของกล้องโทรทรรศน์ชนิดนี้ คือ ความคลาดสี (Chromatic aberration) ดังภาพที่ 1 ซึ่งทำให้ขอบภาพเบลอและปรากฏเป็นสีรุ้ง เพราะแสงแต่ละความยาวคลื่นมีมุมหักเหผ่านเลนส์ที่แตกต่างกัน ทำให้จุดโฟกัสของแต่ละสีตกลงที่ตำแหน่งต่างกัน และมีความคลาดทรงกลม (Spherical aberration) เนื่องมาจากรูปร่างของเลนส์ ซึ่งทำให้ภาพไม่ชัด และเกิดการสะท้อนของแสงภายในตัวกล้องโทรทรรศน์ตกมาที่จุดโฟกัส แต่ในปัจจุบันก็มีการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยการปรับรูปทรงของเลนส์เพื่อลดความคลาดทรงกลม และการใส่แผ่นฟิล์มหรือเลนส์เพิ่มเข้าไปเพื่อลดความคลาดสี ทำให้ภาพที่ได้จากกล้องมีคุณภาพมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 1 ความคลาดทรงกลมและความคลาดสีของเลนส์นูน

1.2 กล้องโทรทรรศน์ประเภทสะท้อนแสง (Reflecting telescope) มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ กระจกปฐมภูมิ (Primary mirror) ซึ่งอาจเป็นกระจกเว้าแบบทรงกลม พาราโบลา หรือไฮเพอร์โบลา ซึ่งพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับเพื่อแก้ไขความคลาดทรงกลมและความคลาดสี คล้ายกับปัญหาของกล้องหักเหแสง และกระจกทุติยภูมิ (Secondary mirror) ซึ่งอาจเป็นกระจกเงาราบหรือกระจกโค้ง แล้วแต่ชนิดของกล้องโทรทรรศน์ เช่น กล้องนิวโทเนียน (Newtonian) กล้องแคสสิเกรน (Cassigrain) กล้อง Catadioptric หรือกล้องแบบผสม และยังมีชนิดย่อยลงไปอีก เช่น กล้องริชชี-เครเทียน (Ritchey-Chretien) กล้องชมิดท์แคสสิเกรน (Schmidt Cassigrain) กล้องมาคซูทอฟแคสสิเกรน (Maksutov Cassigrain) กล้องโทรทรรศน์ประเภทสะท้อนแสงจะมีความยาวของกล้องที่สั้นกว่ากล้องชนิดหักเหแสง เมื่อความยาวโฟกัสเท่ากัน เพราะมีการสะท้อนแสงไป-กลับภายในตัวกล้อง กล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่ของโลกส่วนใหญ่เป็นกล้องชนิดสะท้อนแสง



ภาพที่ 2 ทางเดินแสงภายในกล้องโทรทรรศน์แต่ละชนิด

การหากำลังขยายของกล้องโทรทรรศน์

$$m = \frac{f_o}{f_e} \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่ m คือ กำลังขยายของกล้องโทรทรรศน์

f_o คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้วัตถุหรือกระจกปฐมภูมิ

f_e คือ ความยาวโฟกัสของเลนส์ใกล้ตา

ตัวอย่างการคำนวณ

นักดาราศาสตร์สมัครเล่นกำลังส่องหลุมบนดวงจันทร์ด้วยกล้องโทรทรรศน์นิวโทเนียนตัวหนึ่งที่มีความยาวโฟกัสของกระจกปฐมภูมิ 2 เมตร พบว่าต้องใช้เลนส์ใกล้ตาที่มีความยาวโฟกัส 10 มิลลิเมตร ภาพที่ได้จะมีกำลังขยายเท่าใด และถ้าหากต้องการสังเกตดวงจันทร์ได้เต็มทั้งดวงต้องทำอย่างไร

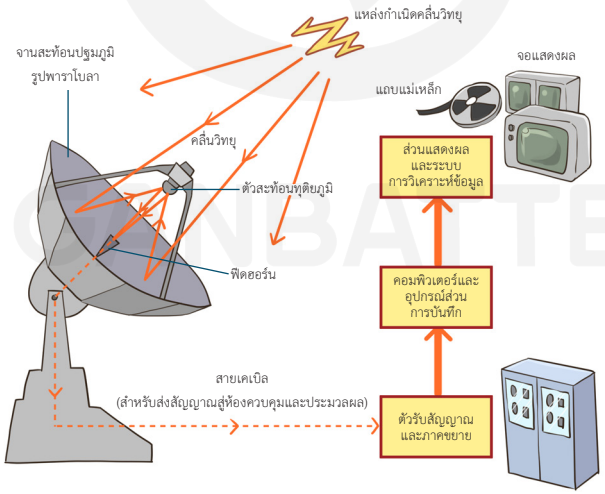
แสดงวิธีหาคำตอบ :

จากสมการ (1) สามารถแทนค่าดังนี้

$$m = \frac{f_o}{f_e} = \frac{2000(mm)}{10(mm)} = 200 \text{ เท่า}$$

ซึ่งกำลังขยาย 200 เท่า มากเกินที่จะสามารถสังเกตดวงจันทร์ทั้งดวงได้ในมุมมองของเลนส์ใกล้ตา ดังนั้นต้องลดกำลังขยายลง เพื่อให้มุมมองกว้างขึ้น โดยการเปลี่ยนเลนส์ใกล้ตาที่มีความยาวโฟกัสที่มากขึ้น เพื่อสังเกตดวงจันทร์ได้ทั้งดวง

2. กล้องโทรทรรศน์วิทยุ (Radio telescope) เป็นกล้องโทรทรรศน์ที่สามารถจับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นวิทยุ โดยคลื่นวิทยุสามารถสะท้อนบนผิววัตถุได้เช่นเดียวกับคลื่นที่ตามองเห็น ดังนั้นองค์ประกอบของกล้องโทรทรรศน์วิทยุจึงคล้ายกับกล้องโทรทรรศน์สะท้อนแสง หรือจานรับสัญญาณดาวเทียม โดยส่วนของจาน (Disc) อาจเป็นโลหะหรือตาข่ายโลหะ มีรูปร่างโค้งแบบพาราโบลา สามารถหมุนเล็งไปยังวัตถุที่เป็นเป้าหมายได้ โดยสัญญาณจะถูกโฟกัสไปยังตัวรับสัญญาณ (Antenna) และเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไฟฟ้า ดังภาพที่ 3 คล้ายกับหลักการของเครื่องรับวิทยุ นักดาราศาสตร์วิทยุสามารถปรับเครื่องรับในช่วงคลื่นที่ต้องการศึกษา คล้ายกับนักดาราศาสตร์ที่ศึกษาช่วงความยาวคลื่นที่ตามองเห็นโดยใช้ฟิลเตอร์ต่างๆ ในการศึกษาวัตถุท้องฟ้านั่นเอง กล้องโทรทรรศน์วิทยุสามารถทำงานพร้อมกันหลายตัวจากแต่ละตำแหน่งของโลกที่เป็นเครือข่ายกัน (Radio telescope array) หรือในบางครั้งอาจใช้ยานอวกาศทำหน้าที่เป็นจานรับสัญญาณร่วมกับจานบนโลก เช่น โครงการ VLBI ทำให้ข้อมูลสังเกตการณ์มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ข้อดีของการสังเกตการณ์ในคลื่นวิทยุ คือ ทัศนวิสัย ความแปรปรวน หรือสภาวะของบรรยากาศ มีผลกระทบน้อยมากต่อการสังเกตการณ์ด้วยคลื่นวิทยุ และสามารถศึกษาได้ตลอดเวลา แม้แต่ช่วงเวลากลางวัน แต่ปัญหาสำหรับกล้องโทรทรรศน์วิทยุบนโลกคือ การรบกวนของสัญญาณวิทยุที่สร้างขึ้นโดยมนุษย์เอง



ภาพที่ 3 หลักการทำงานของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ

บทที่

5

โลกและปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา

โครงสร้างโลก

การศึกษาโครงสร้างโลกเป็นความพยายามของนักวิทยาศาสตร์ที่จะใช้หลักการ กฎ ทฤษฎี ทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีที่มีอยู่ในแต่ละยุคสมัยมาใช้ในการศึกษาทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อได้เปรียบและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไป ข้อจำกัดของเทคโนโลยีที่จะศึกษาโครงสร้างโลกโดยการเจาะลงไปในผิวโลกโดยตรงเพื่อศึกษาตัวอย่างหินในปัจจุบัน สามารถเจาะได้ลึกที่สุดเพียง 12.3 กิโลเมตรเท่านั้น ดังนั้นนักวิทยาศาสตร์จึงจำเป็นที่จะต้องใช้การศึกษาโดยอ้อม เช่น การศึกษาจากปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา (ภูเขาไฟ และแผ่นดินไหว) การเปลี่ยนแปลงของเปลือกโลกที่สามารถสังเกตได้ การศึกษาจากส่วนประกอบทางเคมีของอุกกาบาต ทฤษฎีการกำเนิดระบบสุริยะ การศึกษาโครงสร้างภายในโลกจากคลื่นไหวสะเทือน หรือแม้แต่การศึกษาจากค่าของแรงโน้มถ่วงบริเวณผิวโลก

กระบวนการกำเนิดโลก

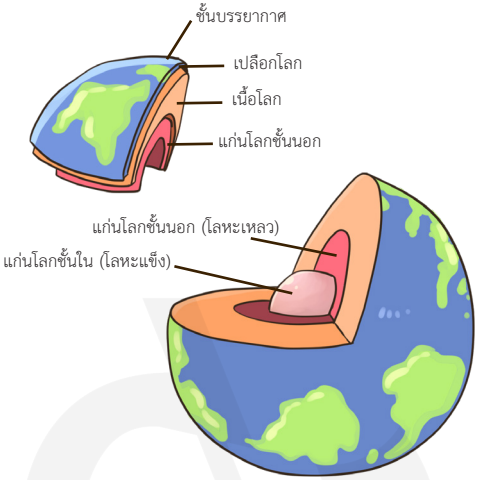
1. โลกเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่งในระบบสุริยะ ที่เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 4,600 ล้านปีมาแล้ว นักดาราศาสตร์ส่วนใหญ่สันนิษฐานว่า ระบบสุริยะเกิดจากการหมุนวนของฝุ่นและแก๊สในอวกาศ (เนบิวลา) แรงโน้มถ่วงระหว่างมวลทำให้ฝุ่นและแก๊สในอวกาศเกิดการยุบตัวและรวมกันจนกลายเป็นระบบสุริยะ

2. ช่วงแรกโลกยังไม่มีบรรยากาศและสนามแม่เหล็กห่อหุ้ม เพราะมวลสารต่างๆ รวมทั้งแก๊สที่เป็นองค์ประกอบของโลกในยุคแรกยังผสมปนกันอยู่ จึงทำให้ลมสุริยะ อุกกาบาต หรือวัตถุท้องฟ้าต่างๆ เข้ามาถึงผิวโลกได้

3. เมื่อเวลาผ่านไป เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งและมีความหนาแน่นมากกว่าถูกดึงเข้าสู่โครงสร้างโลกส่วนล่าง เมื่อความหนาแน่นและอุณหภูมิในบริเวณใจกลางสูงขึ้น ทำให้องค์ประกอบหลักที่เป็นโลหะ (เหล็กและนิกเกิล) เกิดการหลอมละลายเป็นของเหลวหมุนวนกลายเป็นตัวขับเคลื่อนให้เกิดสนามแม่เหล็ก และส่วนที่เป็นแก๊สน้ำหนักเบา ความหนาแน่นต่ำลอยขึ้นมา และรวมตัวกันเป็นสารประกอบของแก๊สที่กลายเป็นชั้นบรรยากาศของโลกในเวลาต่อมา

4. โลกอยู่ห่างจากดวงอาทิตย์ประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร ซึ่งเป็นระยะที่ทำให้น้ำที่เป็นปัจจัยหลักของการกำเนิดสิ่งมีชีวิต สามารถคงสถานะเป็นของเหลวได้ ซึ่งเรียกว่าอยู่ในเขตอยู่อาศัยได้ (Habitable zone) โลกมีสนามแม่เหล็กคอยป้องกันลมสุริยะและอนุภาคที่มีประจุอื่นๆ จากอวกาศ มีชั้นบรรยากาศคอยป้องกันรังสีอันตราย อุกกาบาตและวัตถุขนาดเล็กอื่นๆ ที่จะคอยพุ่งเข้าชนโลก นอกจากนี้ชั้นบรรยากาศยังทำหน้าที่เป็นเสมือนผ้าห่มคอยปกคลุมและรักษาอุณหภูมิของโลกไม่ให้สูงหรือต่ำจนเกินไป และไม่แตกต่างกันมากในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน

การแบ่งโครงสร้างโลก



ภาพที่ 1 โครงสร้างภายในของโลก

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาโดยทางตรง และศึกษาโดยทางอ้อมจากอุกกาบาต ภูเขาไฟระเบิด และคลื่นไหวสะเทือนจากแผ่นดินไหว ทำให้นักวิทยาศาสตร์แบ่งโครงสร้างโลกตามลักษณะมวลสาร องค์ประกอบ และความหนาแน่นของชั้นหิน เป็นชั้นใหญ่ๆ ได้ 3 ชั้น ดังภาพที่ 1 คือ

1. ชั้นเปลือกโลก (Crust) เป็นส่วนที่อยู่ชั้นนอกสุดของโลก เปรียบเสมือนผิวด้านนอกที่ปกคลุมโลก ประกอบด้วยส่วนที่เป็นพื้นดินและพื้นน้ำ และส่วนที่เป็นหินแข็ง ซึ่งฝังลึกลงไปใต้พื้นดินและพื้นน้ำ แบ่งออกได้เป็น 2 บริเวณ คือ เปลือกโลกภาคพื้นทวีป และเปลือกโลกใต้มหาสมุทร มีความหนาประมาณ 5-70 กิโลเมตร

1.1 เปลือกโลกภาคพื้นทวีป (Continental crust) เป็นส่วนประกอบของเปลือกโลกที่อยู่บนบกโดยทั่วไปมีความหนาประมาณ 35–50 กิโลเมตรโดยเฉลี่ย หินที่เป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นซิลิกากับอะลูมินา จึงเรียกชื่อชั้นที่เป็นเปลือกโลกภาคพื้นทวีปอีกชื่อว่า “ไซอัล” (Sial) เป็นกลุ่มหินที่มีสีจาง สีเทาขาว หรือสีเทา อายุหินหลากหลาย ตั้งแต่ 4.0 พันล้านปีจนถึงปัจจุบัน

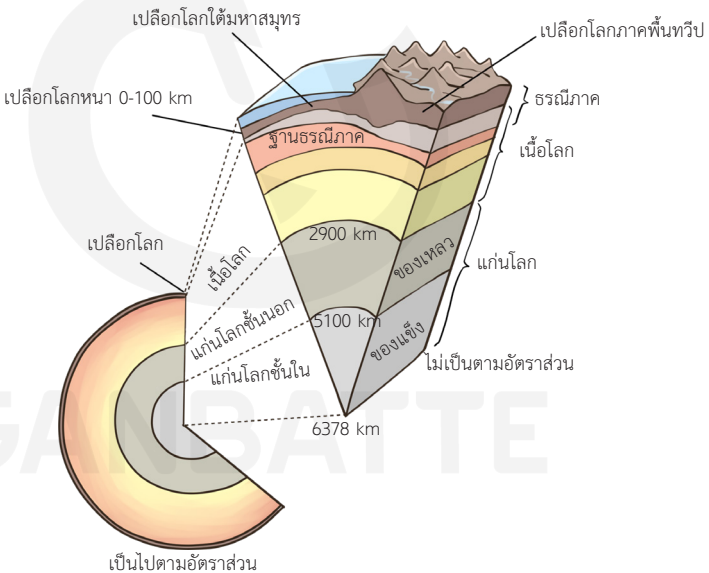
1.2 เปลือกโลกใต้มหาสมุทร (Oceanic crust) คือ ส่วนของเปลือกโลกที่ถูกปกคลุมด้วยน้ำ มีความหนาประมาณ 5-10 กิโลเมตร หินที่เป็นส่วนประกอบเป็นหินบะซอลต์และหินแกบโบรที่มีสีเข้ม เช่น สีเทาดำ สีเขียวแก่ ชั้นเปลือกโลกใต้มหาสมุทรนี้เรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่า “ไซมา” (Sima) เพราะองค์ประกอบส่วนใหญ่ของหินเป็นซิลิกาและแมกนีเซียม อายุหินโดยทั่วไปน้อยกว่า 200 ล้านปี

2. ชั้นเนื้อโลก (Mantle) ชั้นของโลกที่อยู่ระหว่างเปลือกโลกกับแก่นโลก ชั้นเนื้อโลกมีความหนาประมาณ 2,900 กิโลเมตร ชั้นเนื้อโลกแบ่งออกเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นเนื้อโลกส่วนบนกับชั้นเนื้อโลกส่วนล่าง

เป็นหินที่ประกอบด้วยแร่ที่มีโครงสร้างที่สามารถทนต่อสภาพความดันและอุณหภูมิสูงจากเนื้อโลก

2.1 เนื้อโลกส่วนบน (Upper mantle) ประกอบด้วยส่วนของชั้นธรณีภาค (Lithosphere) กับชั้นฐานธรณีภาค (Asthenosphere) มีความหนาประมาณ 100-350 กิโลเมตร มีสภาพเป็นพลาสติก ทำหน้าที่คล้ายฉนวนกันความร้อนจากเนื้อโลกส่วนล่างและมีความยืดหยุ่น เพื่อดูดซับแรงจากการเคลื่อนตัวของหินหลอมเหลว มีอุณหภูมิประมาณ 1,400–3,000 องศาเซลเซียส ชั้นเปลือกโลกกับชั้นเนื้อโลกส่วนบนรวมกันเรียกว่า ธรณีภาค ดังภาพที่ 2 มีความหนาประมาณ 100 กิโลเมตร และชั้นฐานธรณีภาคมีสภาพเป็นหินหลอมเหลวละลายร้อนที่เรียกว่า หินหนืด (Magma)

2.2 เนื้อโลกส่วนล่าง (Lower mantle) เป็นชั้นที่อยู่ใต้ฐานธรณีภาค มีสถานะเป็นของแข็ง อยู่ในระดับความลึกจากผิวโลก 350-2,900 กิโลเมตร ส่วนใหญ่ประกอบด้วยซิลิเกตของเหล็กและแมกนีเซียม มีอุณหภูมิประมาณ 3,000 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 โครงสร้างภายในของโลก

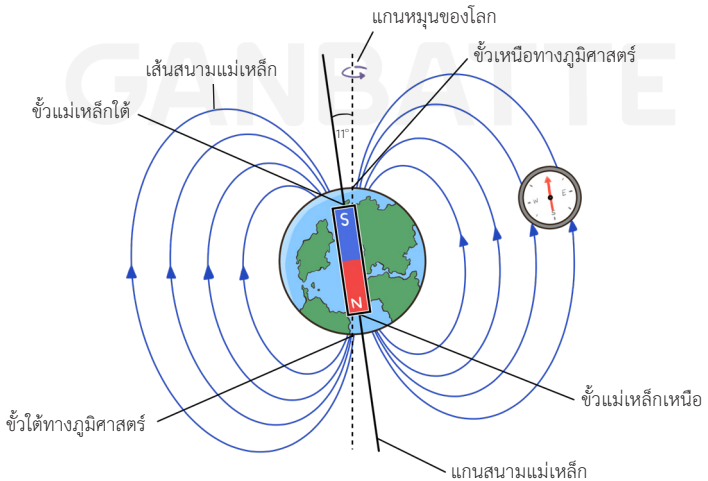
3. แก่นโลก (Core) ส่วนชั้นในสุดของโลก ถัดจากชั้นเนื้อโลก มีความหนาแน่นและความดันสูงมาก มีอุณหภูมิสูงถึงประมาณ 6,670 องศาเซลเซียส ประกอบด้วยธาตุเหล็กและนิกเกิลเป็นส่วนใหญ่ มีรัศมียาวประมาณ 3,500 กิโลเมตร แบ่งออกเป็นแก่นโลกชั้นนอกและแก่นโลกชั้นใน

3.1 แก่นโลกชั้นนอก (Outer core) อยู่ในระดับความลึกจากผิวโลกประมาณ 2,900 กิโลเมตร มีความหนาประมาณ 2,270 กิโลเมตร แก่นโลกชั้นนี้เป็นของเหลว ประกอบด้วยสารละลายโลหะผสมที่มี

ธาตุเหล็กและนิกเกิลเป็นองค์ประกอบหลัก การไหลหมุนวนของสารละลายนี้ทำให้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าเป็นสาเหตุที่ทำให้โลกมีสนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กโลก (Earth magnetic field)

สนามแม่เหล็กโลกตามทฤษฎีไดนาโม เกิดจากกระแสการพาความร้อนของสารละลายโลหะผสมของเหล็กกับนิกเกิลบริเวณแก่นโลกชั้นนอกรวมกับผลของแรงคอริออลิส (Coriolis) โดยแกนของแม่เหล็กจะเอียงทำมุมประมาณ 11 องศากับแกนหมุนของโลก ดังภาพที่ 3 ซึ่งที่ขั้วโลกเหนือ ทางภูมิศาสตร์จะแสดงอำนาจของแม่เหล็กขั้วใต้ และในทางกลับกัน ที่ขั้วโลกใต้ ทางภูมิศาสตร์จะแสดงอำนาจของแม่เหล็กขั้วเหนือ ซึ่งความเข้มของสนามแม่เหล็กโลกโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 25-65 ไมโครเทสลา (0.25-0.65 เกาส์) โดยตำแหน่งของขั้วแม่เหล็กมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา เนื่องจากพลวัตภายในโครงสร้างของโลก และมีทฤษฎีว่าขั้วแม่เหล็กของโลกสามารถมีการกลับขั้ว โดยมีช่วงระยะห่างตั้งแต่หลายหมื่นปีไปจนถึงหลายล้านปี โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 250,000 ปี ปรากฏการณ์กลับขั้วครั้งล่าสุดเรียกชื่อว่า Brunhes-Matuyama reversal เชื่อว่าได้เกิดขึ้นเมื่อประมาณ 780,000 ปีมาแล้ว



ภาพที่ 3 สนามแม่เหล็กของโลก

บทที่

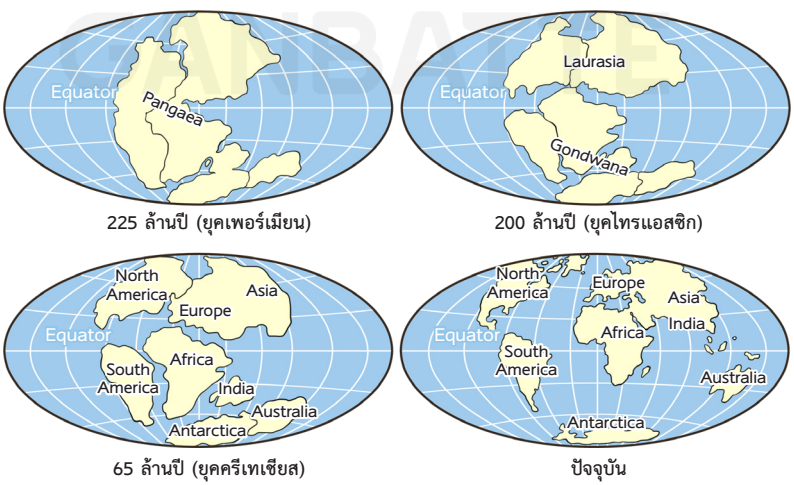
6

ธรณีภาค

ธรณีภาค (Lithosphere) คือ บริเวณที่เป็นชั้นเปลือกโลก (Crust) รวมไปถึงเนื้อโลกส่วนบน (Upper mantle) ซึ่งเป็นส่วนที่เป็นฉนวนความร้อนและมีสภาพยืดหยุ่นเป็นพลาสติก (เนื้อโลกส่วนบน (Upper mantle) ส่วนที่เป็นหินหนืดจะเรียกว่า ฐานธรณีภาค (Asthenosphere)) ซึ่งธรณีภาคนั้นจะรวมทั้งเปลือกโลกภาคพื้นทวีปและเปลือกโลกใต้มหาสมุทร ธรณีภาคแบ่งออกเป็นแผ่นๆ เรียกว่า เพลต และมีการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ ซึ่งทฤษฎีที่อธิบายการเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีภาคและยอมรับกันในปัจจุบัน คือ **ทฤษฎีการแปรสัณฐานแผ่นธรณีภาค (Plate tectonic theory)** โดยมีรากฐานมาจากสมมติฐานทวีปเลื่อน (Continental drift hypothesis) ของ อัลเฟรด เวเกเนอร์ (Alfred Wegener) และทฤษฎีพื้นสมุทรขยาย (Sea-floor spreading theory) ของ แฮร์รี เฮส (Harry H. Hess)

สมมติฐานทวีปเลื่อน (Continental drift hypothesis) และทฤษฎีพื้นสมุทรขยาย (Sea-floor spreading theory) สู่ทฤษฎีการแปรสัณฐานแผ่นธรณีภาค (Plate tectonic theory)

- แนวคิด คือ แบ่งเปลือกโลกออกเป็นชิ้นที่เรียกว่า เพลต (Plate) แต่ละเพลตมีการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ และสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้ อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของแมกมาใต้แผ่นธรณีภาค
- อัลเฟรด เวเกเนอร์ กล่าวว่า เมื่อประมาณ 250 ล้านปีที่แล้ว ผืนทวีปทั้งหมดเชื่อมต่อกันเป็นมหาทวีปที่เรียกว่า พันเจีย (Pangaea) ล้อมรอบด้วยมหาสมุทรพันทาลัสซา และเมื่อ 200 ล้านปีที่แล้ว (ยุค Triassic) พันเจียเริ่มแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ผืนแผ่นดินลอเรเซีย (Laurasia) เป็นมหาทวีปทางซีกโลกเหนือ และผืนแผ่นดินกอนด์วานา (Gondwanaland) ซึ่งเป็นมหาทวีปทางซีกโลกใต้ และเคลื่อนมาอยู่ในตำแหน่งปัจจุบัน ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การเคลื่อนที่ของแผ่นธรณีภาคตามสมมติฐานทวีปเลื่อน

แผ่นดินลอเรเซีย (Laurasia) ประกอบด้วย 1. ทวีปอเมริกาเหนือ 2. ทวีปอาร์กติก (กรีนแลนด์) 3. ทวีปยูเรเซีย (ยุโรป เอเชีย ยกเว้นอินเดีย)	**แผ่นดินกอนด์วานา (Gondwana)** ประกอบด้วย 1. ทวีปอเมริกาใต้ 2. ทวีปแอฟริกา 3. ทวีปแอนตาร์กติกา 4. ทวีปออสเตรเลีย 5. อนุทวีปอินเดีย 6. เกาะมาดากัสการ์

- สมมติฐานทวีปเลื่อนไม่ได้รับการยอมรับในช่วงแรก เนื่องจากไม่สามารถอธิบายถึงกลไกที่ทำให้ทวีปเคลื่อนที่ได้
- แฮร์รี เฮส ได้เสนอทฤษฎีพื้นสมุทรขยาย โดยกล่าวว่า พื้นมหาสมุทรที่เกิดใหม่ เกิดอย่างต่อเนื่องในบริเวณแนวภูเขาใต้มหาสมุทร โดยแมกมาที่เคลื่อนที่มาจากส่วนล่าง และแมกมาที่แทรกตัวขึ้นมาดันพื้นมหาสมุทรเดิมให้เคลื่อนที่ห่างออกไปจากแนวภูเขาใต้มหาสมุทรทั้งสองข้าง
- สมมติฐานทวีปเลื่อนจึงได้รับความสนใจอีกครั้ง จนพัฒนาไปเป็นทฤษฎีการแปรสัณฐานแผ่นธรณีภาค (Plate tectonic theory) นั่นเอง

หลักฐานและข้อมูลทางธรณีวิทยาที่สนับสนุนทฤษฎีการแปรสัณฐานแผ่นธรณีภาค

หลักฐานที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ใช้เพื่อสนับสนุนคำกล่าวที่ว่า เมื่อประมาณ 250 ล้านปีที่แล้ว ผืนทวีปทั้งหมดเชื่อมต่อกันเป็นมหาทวีปที่เรียกว่า พันเจีย (Pangaea) และมีการเคลื่อนที่แยกออกจากกัน จนกระทั่งปรากฏอย่างที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน

1. รอยต่อของแผ่นธรณีภาค

- ขอบของทวีปต่างๆ ที่เชื่อว่าเคยอยู่ติดกันมาก่อน สามารถต่อเข้ากันได้อย่างพอดี โดยเฉพาะขอบด้านตะวันตกของทวีปแอฟริกากับขอบด้านตะวันออกของทวีปอเมริกาใต้
- การเชื่อมต่ออาจจะไม่สมบูรณ์ เนื่องจากผลการกัดเซาะชายฝั่ง และการสะสมตัวของตะกอน ทำให้ขอบของทวีปเปลี่ยนไป แต่หากพิจารณาขอบของทวีปที่ระดับความลึก 2,000 เมตร ซึ่งมีการกัดกร่อนและสะสมตัวของตะกอนน้อยกว่า ขอบของทวีปก็จะสามารถต่อกันได้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

2. ความคล้ายคลึงกันของกลุ่มหินและแนวภูเขา

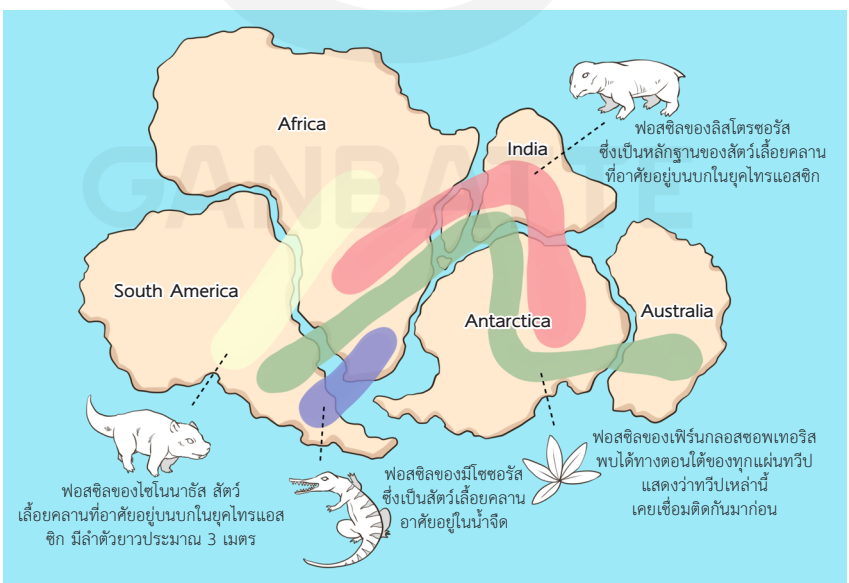
- กลุ่มหินที่ถูกพบในทวีปอเมริกาใต้ แอนตาร์กติกา แอฟริกา ออสเตรเลีย และอนุทวีปอินเดีย มีอายุที่เกิดในช่วงเดียวกัน คือ ยุคคาร์บอนิเฟอรัสถึงยุคจูแรสซิก
- แนวเทือกเขาแอปพาเลเชียนทางฝั่งตะวันออกของทวีปอเมริกาเหนือ จะมีอายุเดียวกันกับแนวเทือกเขาด้านตะวันตกของกรีนแลนด์ ไอร์แลนด์ อังกฤษ และนอร์เวย์

3. การสะสมของตะกอนธารน้ำแข็ง

- ในมหายุคพาลีโอโซอิกตอนปลาย (220–300 ล้านปีที่ผ่านมา) มีการสะสมตัวของธารน้ำแข็งแผ่นน้ำแข็งปกคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างในผืนแผ่นดินกอนด์วานา
- ชั้นของตะกอนที่ได้จากธารน้ำแข็งถูกพบในบริเวณตอนใต้ของทวีปแอฟริกาและอเมริกาใต้ รวมทั้งในอินเดียและออสเตรเลีย ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะริ้วลายขนานและร่องลึกที่แสดงให้เห็นว่ามีการเคลื่อนตัวของธารน้ำแข็งผ่านบริเวณดังกล่าว
- หินตะกอนที่เกิดจากธารน้ำแข็งมีอายุเดียวกัน และทิศทางการเคลื่อนที่ของธารน้ำแข็งที่พบตามทวีปต่างๆ สอดคล้องกัน

4. การค้นพบซากดึกดำบรรพ์

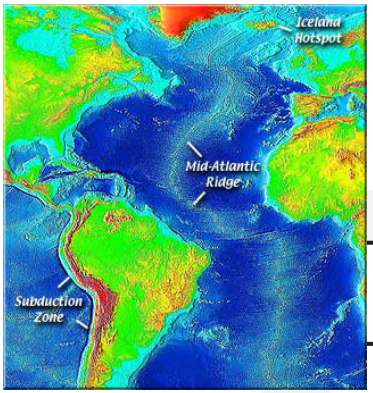
- การค้นพบซากดึกดำบรรพ์ชนิดเดียวกันที่พบอยู่ห่างกันเป็นระยะทางหลายพันกิโลเมตร โดยมีมหาสมุทรขวางกั้นอยู่
- สิ่งมีชีวิตที่พบนั้นมักจะเป็นสัตว์บก หรือสัตว์น้ำที่อาศัยอยู่ในน้ำจืด หรือถ้าเป็นพืชก็ไม่สามารถที่จะมีชีวิตรอดอยู่ในมหาสมุทรได้
- แต่ถ้าสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นทนได้จริง สามารถว่ายน้ำข้ามมหาสมุทรได้ เราต้องได้พบกับซากดึกดำบรรพ์ของสิ่งมีชีวิตเหล่านั้นกระจายอยู่ทั่วไปทุกๆ ทวีป แต่ในความเป็นจริงเราสามารถพบได้เพียงบางทวีปเท่านั้น



ภาพที่ 2 เส้นทางการค้นพบซากดึกดำบรรพ์ในทวีปต่างๆ ที่เชื่อว่าเคยอยู่ติดกันมาก่อน

5. เทือกสันเขาใต้สมุทรและร่องลึกก้นสมุทร

- เทือกเขากลางมหาสมุทรแอตแลนติกซึ่งเป็นเหมือนแนวเทือกเขายาวที่โค้งอ้อมไปตามรูปร่างของขอบทวีป ด้านหนึ่งเกือบขนานกับชายฝั่งทวีปอเมริกา และอีกด้านหนึ่งขนานกับชายฝั่งของทวีปยุโรปและแอฟริกา ดังภาพที่ 3
- ส่วนของยอดเขาจะมีลักษณะภูมิประเทศแบบหุบเขาทรุด เป็นรอยแยกตลอดความยาวของเทือกเขา

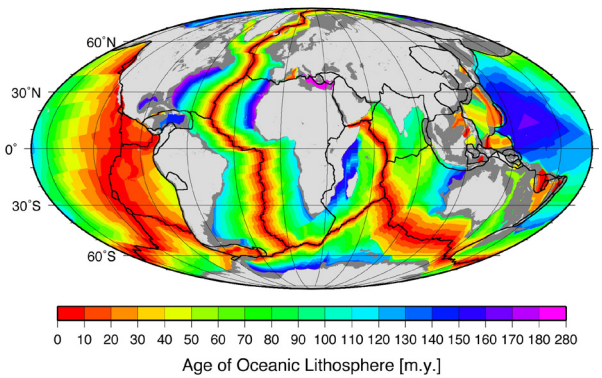


ภาพที่ 3 แนวเทือกเขาใต้มหาสมุทรแอตแลนติกที่โค้งอ้อมไปตามขอบของทวีป (ที่มา : usgs.gov)

- พบร่องลึกก้นสมุทรบริเวณขอบของทวีป หรือเกิดใกล้กับแนวหมู่เกาะภูเขาไฟรูปโค้ง
- การแทรกตัวของแมกมาบริเวณเทือกสันเขาใต้สมุทรจะดันให้แผ่นธรณีภาคใต้มหาสมุทรเคลื่อนที่ออกจากกัน

6. อายุหินบนเทือกเขากลางมหาสมุทร

- การพบหินบะซอลต์ที่ร่องลึกบริเวณหุบเขาทรุด หรือรอยแยกบริเวณเทือกเขากลางมหาสมุทรแอตแลนติก และยังพบว่าหินบะซอลต์ที่อยู่ไกลจากรอยแยกมีอายุมากกว่าหินบะซอลต์ที่อยู่ใกล้รอยแยกหรือในรอยแยก โดยจะมีอายุเท่ากันเมื่ออยู่ห่างจากรอยแยกที่ระยะใกล้เคียงกันทั้งสองข้าง
- โลกยังมีการสร้างเทือกสันเขาใต้มหาสมุทรขึ้นมาใหม่ตลอดเวลา



ภาพที่ 4 แสดงอายุของหินบะซอลต์บริเวณเทือกเขากลางมหาสมุทร (ที่มา : ngdc.noaa.gov)

บทที่

7

ธรณีประวัติ

"The present day is the key to the past." ปัจจุบันคือกุญแจไขไปสู่อดีต

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ยอมรับกันว่าเปลือกโลกแข็งตัวเมื่อประมาณ 4,600 ล้านปีก่อน โดยคำนวณได้จากการสลายตัวของธาตุกัมมันตรังสี ซึ่งถูกเก็บไว้ภายในหิน ซากสิ่งมีชีวิตในอดีตที่อยู่ในรูปของฟอสซิล ซึ่งอายุของฟอสซิลจะใกล้เคียงกับอายุของชั้นหิน จากหลักฐานร่องรอยต่างๆ ที่ปรากฏอยู่บนแผ่นหินหรือบนแผ่นธรณีภาคของโลก นักธรณีวิทยาใช้เป็นข้อมูลในการบอกเล่าประวัติความเป็นมาของพื้นที่ต่างๆ ในโลก

ข้อมูลทางธรณีวิทยา

คือ ข้อมูลที่สามารถอธิบายความเป็นมาของพื้นที่ในอดีต สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- อายุทางธรณีวิทยา
- ซากดึกดำบรรพ์
- โครงสร้างและการลำดับชั้นหิน

อายุทางธรณีวิทยา (Geological time)

นักธรณีวิทยาได้จัดแบ่งประวัติความเป็นมาของโลกออกเป็นช่วงของเวลาต่างๆ คือ บรมยุค (Eon) มหายุค (Era) ยุค (Period) สมัย (epoch) ช่วงอายุ (age) และรุ่น (Chron)

- โลกของเราเกิดขึ้นมาในบรมยุคฮาเดียน (Hadean) เมื่อกว่า 4,600 ล้านปีมาแล้ว
- สิ่งมีชีวิตชนิดแรกของโลก คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดหนึ่ง ชื่อว่า สโตรมาโทไลต์ (Stromatolite) เกิดขึ้นในช่วงรอยต่อระหว่างบรมยุคอาร์เคียน (Archean) และบรมยุคโพรเทอโรโซอิก (ประมาณ 2,500 ล้านปีมาแล้ว)
- สิ่งมีชีวิตบนโลกในปัจจุบันเกิดขึ้นมาในบรมยุคฟาเนอโรโซอิก (Phanerozoic)
- บรมยุคฟาเนอโรโซอิก (Phanerozoic) แบ่งออกเป็น 3 มหายุค คือ มหายุคพาลีโอโซอิก (Paleozoic) มหายุคมีโซโซอิก (Mesozoic) และมหายุคซีโนโซอิก (Cenozoic)
- แต่ละมหายุคก็จะมียุคต่างๆ แยกย่อยออกไปอีก โดยจะมีสิ่งมีชีวิตเกิดขึ้นในแต่ละยุคแต่ละสมัยที่มีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันออกไป ซึ่งจะนำไปใช้ในการบอกอายุของชั้นหิน หรือที่มาของพื้นที่ต่างๆ ได้

การบอกอายุทางธรณีวิทยา สามารถบอกได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. อายุเปรียบเทียบ (Relative age)

เป็นอายุหินเปรียบเทียบ ซึ่งบอกว่าหินชุดใดมีอายุมากหรือน้อยกว่ากัน อายุเปรียบเทียบหาได้โดยอาศัยข้อมูลจากซากดึกดำบรรพ์ที่ทราบอายุ ลักษณะการลำดับชั้นหินชนิดต่างๆ และลักษณะโครงสร้างทางธรณีวิทยาของหิน แล้วนำมาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาทางธรณีวิทยาที่เรียกว่า ธรณีกาล (Geological Time)

2. อายุสัมบูรณ์ (Absolute age)

เป็นอายุของหินหรือซากดึกดำบรรพ์ที่สามารถบอกเป็นจำนวนปีที่ค่อนข้างแน่นอน การหาอายุสัมบูรณ์ใช้วิธีคำนวณจากครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสีที่มีอยู่ในหิน หรือซากดึกดำบรรพ์ที่ต้องการศึกษา ซึ่งธาตุกัมมันตรังสีที่นิยมนำมาหาอายุสัมบูรณ์ ได้แก่ ธาตุคาร์บอน-14 (C-14) ธาตุโพแทสเซียม-40 (K-40) ธาตุเรเดียม-226 (Ra-226) และธาตุยูเรเนียม-238 (U-238) การหาอายุสัมบูรณ์มักใช้กับหินที่มีอายุมากเป็นแสนปีหรือล้านปี

การหาอายุของซากดึกดำบรรพ์โดยคำนวณจากค่าครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี

ครึ่งชีวิต (Half Life) คือ ช่วงเวลาที่ธาตุกัมมันตรังสีสลายตัวเหลือเพียงครึ่งหนึ่งของปริมาณเดิม ธาตุกัมมันตรังสีที่นิยมนำมาหาอายุสัมบูรณ์ ได้แก่ C-14, K-40, Ra-226 และ U-238 การวัดอายุซากดึกดำบรรพ์หรือวัตถุโบราณโดยวิธี C-14 จะใช้ได้กับวัตถุโบราณหรือซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุไม่มากกว่า 50,000 ปี เพราะ C-14 มีครึ่งชีวิตน้อย (ครึ่งชีวิตของ C-14 เท่ากับ 5,730 ปี)

ถ้าต้องการหาอายุของสิ่งที่มีอายุมากกว่านี้ต้องใช้เทคโนโลยีของ U-238 ซึ่งมีครึ่งชีวิตประมาณ 4,500 ล้านปี หรือ K-40 ซึ่งมีครึ่งชีวิตประมาณ 11,900 ล้านปี

สมการที่ใช้หาอายุของซากดึกดำบรรพ์ พิจารณาจาก

$$N = \frac{N_0}{2^{t/T}} \quad \text{.....(1)}$$

โดยที่ N คือ ปริมาณธาตุที่เหลืออยู่เมื่อเวลาผ่านไป t

N_0 คือ ปริมาณธาตุที่มีอยู่เมื่อเริ่มพิจารณา

T คือ ค่าครึ่งชีวิตของธาตุกัมมันตรังสี

t คือ เวลาที่ธาตุใช้ในการสลายตัว

หรือสามารถแปลงสมการได้เป็น

$$t = 1.443T \ln\left[\frac{N_0}{N}\right] \quad \text{.....(2)}$$

ซึ่งสามารถใช้สมการใดในการคำนวณก็ได้

โดย T และ t ต้องเป็นหน่วยเดียวกัน N_0 และ N ต้องเป็นหน่วยเดียวกัน

ธาตุกัมมันตรังสี C-14 มีครึ่งชีวิตเท่ากับ 5,730 ปี ซึ่งหมายความว่า ภายใน 5,730 ปี ครึ่งหนึ่งของอะตอม C-14 ที่มีในซากดึกดำบรรพ์หรือวัตถุโบราณจะสลายตัว และอีก 5,730 ปีต่อมา ครึ่งหนึ่งของอะตอม C-14 ส่วนที่เหลือครึ่งหนึ่งก็จะสลายตัวลงไปอีก นั่นคือ ของเดิมจะสลายตัวเป็นเช่นนี้ตลอดไป โดยอะตอม C-14 จะสลายไปเป็นอะตอมของไนโตรเจนทีละครึ่งของที่เหลือทุกๆ 5,730 ปี จนกระทั่งอะตอมของ C-14 เหลือในปริมาณที่น้อยลงก็จะวัดปริมาณ C-14 ได้ยากขึ้น เมื่อเทียบกับธาตุกัมมันตรังสีอื่นที่มีค่าครึ่งชีวิตที่ยาวนานกว่า ก็จะเหมาะสำหรับซากดึกดำบรรพ์ที่มีอายุมากๆ นั่นเอง

ตัวอย่างการคำนวณ

ธาตุกัมมันตรังสีไอโอดีน-126 มีครึ่งชีวิต 13.3 วัน ถ้าในขณะหนึ่งไอโอดีนนี้มีมวล 10 กรัม จงหาว่าจะต้องใช้เวลานานเท่าใดจึงจะเหลือไอโอดีน-126 จากการสลายเท่ากับ 2.5 กรัม และถ้าเวลาผ่านไป 20 วัน จะมีไอโอดีน-126 เหลืออยู่กี่กรัม

แสดงวิธีหาคำตอบ :

จากคำถามแรกสามารถกำหนดค่าให้ตัวแปรตามสมการ (2) ได้คือ $N_0 = 10$ g และ $N = 2.5$ g และต้องการทราบเวลาที่ใช้ในการสลายตัว โดยมีค่าครึ่งชีวิต (T) เท่ากับ 13.3 วัน เมื่อแทนค่าลงไปในสมการจะได้

$$t = 1.443T \ln\left[\frac{N_0}{N}\right]$$

$$t = 1.443(13.3) \ln\left[\frac{10}{2.5}\right]$$

$$\therefore t = 26.6 \text{ days}$$

แสดงวิธีหาคำตอบ :

คำถามที่ 2 ต้องการทราบปริมาณธาตุกัมมันตรังสีที่เหลือ จึงพิจารณาจากสมการ (1) นั่นคือ N_0 = 10 g เมื่อเวลาผ่านไป (t) เท่ากับ 20 วัน จะเหลือไอโอดีน-126 เท่าใด ดังนั้นจึงแทนค่าต่างๆ ลงในสมการ (1) จะได้

$$N = \frac{N_0}{2^{t/T}}$$

$$N = \frac{10}{2^{20/13.3}}$$

$$\therefore N = 3.53 \text{ g}$$

ตัวอย่างการคำนวณ

นักโบราณคดีตรวจพบเรือไม้โบราณลำหนึ่ง พบว่ามีอัตราส่วนของปริมาณ C-14 ต่อ C-12 อยู่ 25% ของอัตราส่วนสำหรับสิ่งที่มีชีวิต สันนิษฐานได้ว่าซากเรือโบราณลำนี้มีอายุประมาณกี่ปี (กำหนดให้ครึ่งชีวิตของ C-14 เท่ากับ 5,730 ปี)

แสดงวิธีหาคำตอบ :

จากโจทย์กำหนดให้ปริมาณธาตุที่เหลืออยู่เท่ากับ $0.25N_0$ และกำหนดค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 5,730 ปี ดังนั้นจึงสามารถใช้สมการ (2) ในการหาคำตอบ นั่นคือ

$$t = 1.443T \ln\left[\frac{N_0}{N}\right]$$

$$t = 1.443(5730) \ln\left[\frac{N_0}{0.25N_0}\right]$$

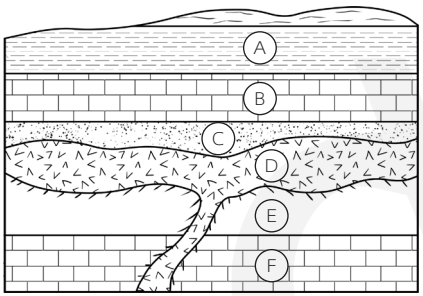
$$t = 1.443(5730) \ln[4]$$

$$\therefore t = 11{,}462 \text{ ปี}$$

4. Principle of cross-cutting relations --> รอยเลื่อนหรือหินอัคนี จะมีอายุน้อยกว่าหินที่รอยเลื่อนตัดผ่านหรือหินที่ถูกหินอัคนีแทรกตัวเข้าไป

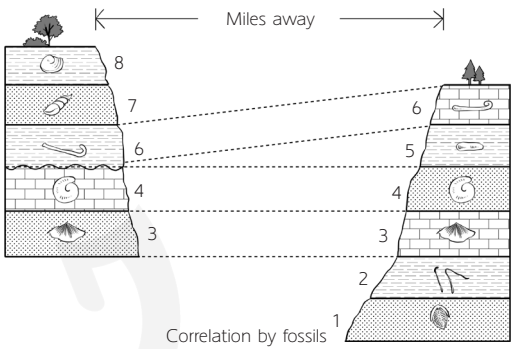
5. Principle of inclusion --> หินที่มีอายุมากกว่า อาจเกิดเป็นก้อนฝังตัวในหินอัคนีที่มีอายุน้อยกว่า หรือเศษหินที่อยู่ภายในมวลหิน จะมีอายุแก่กว่ามวลหินนั้น

Principle of superposition



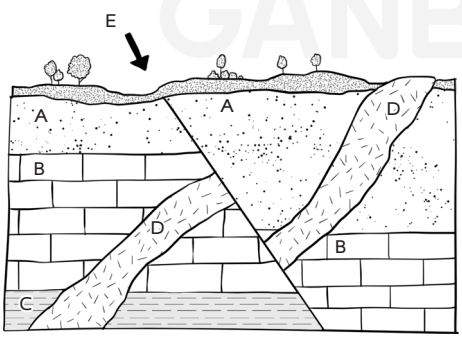
ชั้นหินใดอยู่ด้านล่างจะมีอายุมากกว่า

Principle of faunal succession



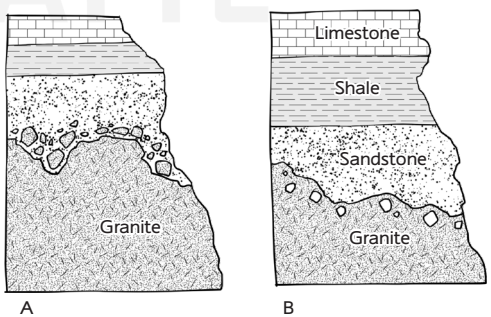
สถานที่ 2 บริเวณที่อยู่ห่างกัน ถ้ามีลำดับชั้นของซากดึกดำบรรพ์เหมือนกัน สามารถนำมาเปรียบเทียบอายุกันได้

Principle of crosscutting relations



รอยเลื่อน E ตัดชั้นหินทุกชั้น รวมทั้งหินอัคนี D แสดงว่า รอยเลื่อน E มีอายุน้อยที่สุด

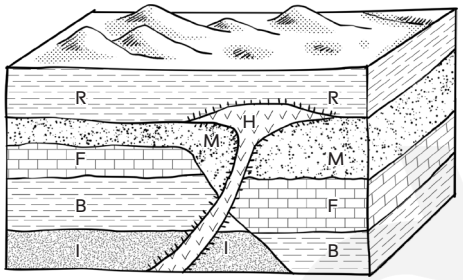
Principle of inclusion



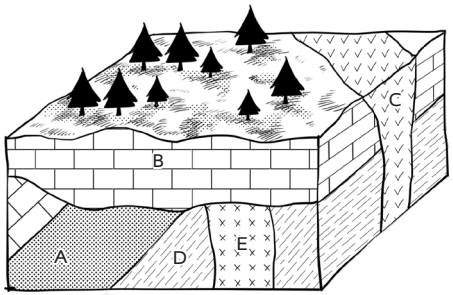
ภาพ A เศษหินแกรนิตเข้าไปรวมกับมวลหินทราย แสดงว่าหินแกรนิตมีอายุมากกว่าหินทราย ซึ่งจะตรงข้ามกับภาพ B

ตัวอย่างการพิจารณาลำดับชั้นหินโดยใช้หลักการการลำดับอายุ

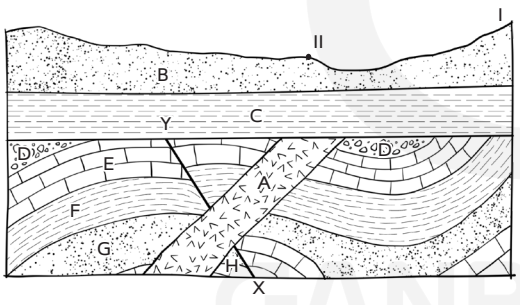
เรียงลำดับอายุของชั้นหินจากมากไปหาน้อย



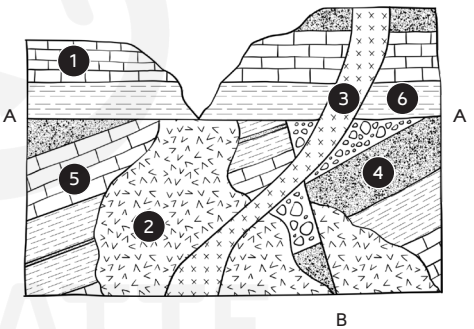
I –> B –> F –> M –> R –> H



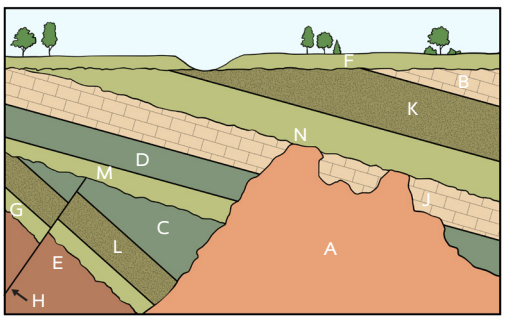
D –> A –> E –> B –> C



H –> G –> F –> E –> D –> XY –> A –> C –> B



4 –> 5 –> 2 –> B –> A –> 6 –> 1 –> 3



E –> G –> L –> C –> H –> M –> D –> J –> A –> N –> K –> B –> F

EX

แนวข้อสอบและเฉลยแนวข้อสอบอย่างละเอียด

แนวข้อสอบชุดที่ 1

1. จุดศูนย์กลางของเอกภพอยู่ที่ตำแหน่งใด
   1. ระบบสุริยะ
   2. หลุมดำมวลมาก
   3. กระจุกกาแล็กซีท้องถิ่น
   4. ไม่มี

2. ถ้าเราอยากสังเกตใจกลางกาแล็กซีทางช้างเผือก เราควรจะหันกล้องโทรทรรศน์ไปทางกลุ่มดาวใด
   1. กลุ่มดาวนายพราน
   2. กลุ่มดาวหมีใหญ่
   3. กลุ่มดาวคนยิงธนู
   4. กลุ่มดาวปลา

3. กลุ่มดาวต่างๆ ที่มองเห็นบนท้องฟ้ามีลักษณะตรงกับข้อใด
   1. อยู่ห่างจากโลกเท่าๆ กัน
   2. อยู่ในทิศทางจากโลกเดียวกัน
   3. อยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือกบ้าง กาแล็กซีอื่นๆ บ้าง
   4. มีความสว่างสัมบูรณ์ใกล้เคียงกัน

4. ดาวฤกษ์ A มีค่า “พารัลแลกซ์” มากกว่าดาวฤกษ์ B สองเท่า ข้อใดต่อไปนี้สรุปได้ถูกต้อง
   1. ดาวฤกษ์ A สว่างกว่า B
   2. ดาวฤกษ์ A ใหญ่กว่า B
   3. ดาวฤกษ์ A อยู่ใกล้โลกมากกว่า B
   4. ดาวฤกษ์ A มีอุณหภูมิสูงกว่า B

5. ในการเปรียบเทียบความสว่างของดาวฤกษ์ จะใช้การเทียบระยะห่างของดาวฤกษ์กับผู้สังเกตที่ระยะ 10 parsec ถ้าดวงอาทิตย์อยู่ที่ระยะทางนี้จากโลกจะมีลักษณะดังข้อใด
   1. ปรากฏให้เห็นสว่างที่สุดในกาแล็กซี
   2. มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า
   3. สว่างน้อยกว่าดาวซิริอุส
   4. มีสีเปลี่ยนไปเป็นสีแดง

6. 10 parsec เท่ากับกี่ปีแสง
   1. 3.26 ปีแสง
   2. 32.6 ปีแสง
   3. 206,265 ปีแสง
   4. 150,000,000 ปีแสง

7. พลังงานจากดวงอาทิตย์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาใดต่อไปนี้
   1. ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน
   2. ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิชชัน
   3. ปฏิกิริยาเคมี
   4. ปฏิกิริยาแม่เหล็กไฟฟ้า

8. อุณหภูมิภายในดวงอาทิตย์มีค่าประมาณเท่าใด
1. 5,700 เคลวิน
2. 10,000 เคลวิน
3. 15 ล้านเคลวิน
4. 100 ล้านเคลวิน

9. กาแล็กซีทางช้างเผือกเป็นกาแล็กซีแบบใด
1. กาแล็กซีกังหันแบบมีคาน
2. กาแล็กซีทรงรี
3. กาแล็กซีกังหัน
4. กาแล็กซีแบบไร้รูปร่าง

10. เนบิวลาดาวเคราะห์เป็นวัตถุท้องฟ้าตามข้อใดต่อไปนี้
1. กลุ่มของดาวเคราะห์จำนวนมากที่อยู่รวมกัน
2. ซากของดาวฤกษ์มวลน้อย
3. ฝุ่นรอบดาวเคราะห์
4. บริเวณดาวฤกษ์เคลื่อนที่มาชนกัน

11. ที่ตำแหน่งใดเราจะเห็นดาวเคราะห์วงนอกสว่างที่สุด
1. Conjunction
2. Opposition
3. Eastern Quadrature
4. Western Quadrature

12. 1 วันสุริยะถูกกำหนดจากเหตุการณ์ทางดาราศาสตร์ในข้อใด
1. โลกหมุนรอบตัวเองครบ 1 รอบ
2. ดวงอาทิตย์ขึ้นอีกครั้ง
3. ดวงอาทิตย์ผ่านเส้นเมริเดียนอีกครั้ง
4. ดาวดวงเดิมผ่านเส้นเมริเดียนอีกครั้ง

13. อุลกมณี มีต้นกำเนิดจากข้อใด
1. แถบดาวเคราะห์น้อย
2. แถบไคเปอร์
3. เมฆออร์ต
4. โลก

14. สุริยุปราคาเกิดในวันใดในปฏิทินจันทรคติ
1. วันขึ้น 7 ค่ำ
2. วันแรม 7 ค่ำ
3. วันขึ้น 15 ค่ำ
4. วันแรม 15 ค่ำ

เฉลยแนวข้อสอบ

1. 4	21. 4
2. 3	22. 3
3. 2	23. 2
4. 3	24. 2
5. 3	25. 2
6. 2	26. 3
7. 1	27. 1
8. 3	28. 3
9. 1	29. 1
10. 2	30. 3
11. 2	31. 3
12. 1	32. 2
13. 4	33. 1
14. 4	34. 4
15. 4	35. 2
16. 3	36. 2
17. 2	37. 1
18. 1	38. 4
19. 1	39. 2
20. 3	40. 3

GANBATTE

ชุดที่ 1

เฉลยแนวข้อสอบอย่างละเอียด

1. ตอบข้อ 4. ไม่มี

เอกภพมีจุดเริ่มต้นจากการขยายตัวของอวกาศ (Space) ออกไปอย่างรวดเร็ว (ไม่ใช่การระเบิดออก) โดยไม่มีจุดใดเป็นจุดศูนย์กลางของการขยายตัว เมื่อประมาณ 13,700 ล้านปี โดยการขยายตัวนี้จะมีลักษณะคล้ายการพองตัวของลูกโป่งเมื่อถูกสูบลมเข้าไป ซึ่งจะพบว่าลายจุดบนลูกโป่งจะเคลื่อนที่ออกห่างจากกันเรื่อยๆ โดยไม่สามารถระบุได้ว่าจุดใดเป็นจุดศูนย์กลางของการขยายตัว

2. ตอบข้อ 3. กลุ่มดาวคนยิงธนู

เนื่องจากว่าระบบสุริยะ ตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เป็นแขนง (Spur) ที่มีชื่อว่า Orion spur ซึ่งเป็นส่วนแยกของแขนคนยิงธนู (Sagittarius arm) โดยเมื่อสังเกตกลุ่มดาวฤกษ์บนท้องฟ้า กลุ่มดาวนายพรานจะอยู่ตรงกันข้ามกับกลุ่มดาวคนยิงธนูและแมงป่อง ดังนั้นการสังเกตใจกลางของกาแล็กซีทางช้างเผือกต้องหันกล้องโทรทรรศน์ไปที่บริเวณกลุ่มดาวคนยิงธนู

3. ตอบข้อ 2. อยู่ในทิศทางจากโลกเดียวกัน

เนื่องจากว่าดาวฤกษ์แต่ละดวงอยู่ห่างจากผู้สังเกตเป็นระยะทางที่ไกลมาก จนตาของเราไม่สามารถที่จะแยกแยะได้ว่าดาวฤกษ์ดวงไหนอยู่ใกล้หรืออยู่ไกลเท่าใด ทำให้ดาวฤกษ์บนท้องฟ้าที่ปรากฏแก่สายตาดูเหมือนว่ามีระยะห่างจากผู้สังเกตเท่ากันทุกดวง คล้ายเป็นภาพฉายตกลงบนฉากและภาพฉายบนฉากของดาวแต่ละดวงที่มีทิศทางเดียวกันเมื่อสังเกตจากโลก ก็จะปรากฏเป็นรูปกลุ่มดาวต่างๆ

4. ตอบข้อ 3. ดาวฤกษ์ A อยู่ใกล้โลกมากกว่า B

เนื่องจากดาวฤกษ์ที่มีระยะห่างจากโลกมาก จะปรากฏว่ามีการเคลื่อนที่เทียบกับดาวฉากหลังน้อยกว่าดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้กว่า จากสมการ $d(pc) = \frac{1}{p(")}$ พบว่า ระยะห่างของดาวฤกษ์จะแปรผกผันกับมุมพารัลแลกซ์

5. ตอบข้อ 3. สว่างน้อยกว่าดาวซิริอุส

เพราะว่าในความเป็นจริงดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลกเพียง 1.496×10^{8} กิโลเมตร (4.848×10^{-6} pc) จะปรากฏว่ามีอันดับความสว่างปรากฏ เท่ากับ -26.7 สมมติว่าดวงอาทิตย์อยู่ที่ระยะห่างจากโลก 10 pc ซึ่งคือระยะห่างมาตรฐานที่นักดาราศาสตร์กำหนดไว้ เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบอันดับความสว่างของดาวฤกษ์ ซึ่งเรียกว่า อันดับความสว่างสัมบูรณ์ ดังนั้นเมื่อนำระยะห่างและอันดับความสว่างปรากฏ ไปคำนวณหาอันดับความสว่างสัมบูรณ์ของดวงอาทิตย์ จะได้

$$M = m - 5\log d + 5$$

$$M = -26.7 - 5\log(4.848 \times 10^{-6}) + 5$$

$$M = 4.87$$

ซึ่งจากอันดับความสว่างนี้มีค่ามากกว่าอันดับความสว่างปรากฏของดาวซิริอุส (-1.46) ดังนั้น ดวงอาทิตย์เมื่ออยู่ห่างจากโลก 10 pc จะปรากฏสว่างน้อยกว่าดาวซิริอุส แต่ก็ยังสามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าได้ เมื่ออยู่ชานเมืองหรือชนบท

6. ตอบข้อ 2. 32.6 ปีแสง

เนื่องจากระยะทาง 1 pc มีค่าเท่ากับ 3.26 ปีแสง ดังนั้น ระยะทาง 10 pc จะมีค่าเท่ากับ 32.6 ปีแสง

7. ตอบข้อ 1. ปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชัน

พลังงานจากดาวฤกษ์ทุกดวง ส่วนใหญ่ได้มาจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ จากการหลอมรวมธาตุเบา อย่างเช่น ไฮโดรเจนและฮีเลียมไปเป็นธาตุที่หนักหรือใหญ่ขึ้น ซึ่งจะเรียกปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบหลอมรวมนี้ว่า ปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิวชัน (Fusion) ซึ่งอาจจะเป็น Proton-Proton chain หรือ CNO cycle เป็นต้น

8. ตอบข้อ 3. 15 ล้านเคลวิน

อุณหภูมิ 15 ล้านเคลวิน เป็นอุณหภูมิอย่างต่ำที่สภาพก่อนดาวฤกษ์ (Protostar) จะกลายเป็นดาวฤกษ์และสามารถเกิดปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบฟิวชันได้ ซึ่งดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์มวลน้อย ดังนั้น อุณหภูมิที่ใจกลางของดวงอาทิตย์ก็จะอยู่ที่ประมาณค่านี้

9. ตอบข้อ 1. กาแล็กซีกังหันแบบมีคาน

กาแล็กซีทางช้างเผือกตามแบบจำลองนั้น ถูกจัดให้มีรูปร่างแบบกังหันที่มีโครงสร้างคล้ายแกนหรือคานอยู่ในบริเวณส่วนโป่ง (Bulge) ซึ่งจะเรียกว่า กังหันแบบมีคาน (Barred spiral galaxy) โดยมีรหัสแสดงรูปร่างคือ SBb

10. ตอบข้อ 2. ซากของดาวฤกษ์มวลน้อย

ตามเส้นทางวิวัฒนาการของดาวฤกษ์มวลน้อย คือ ก่อนสิ้นอายุขัย จะมีการขยายตัวกลายเป็นดาวยักษ์แดง (Red giant) และอยู่ในช่วงที่ดาวฤกษ์มีการแปรแสง (Variable stage) และหลังจากนั้น ดาวฤกษ์จะระเบิดส่วนที่เป็นเปลือกออก แกนกลางยุบตัวลงและบีบอัด โดยส่วนที่เป็นเปลือกแก๊สจะกลายไปเป็นเนบิวลาดาวเคราะห์ (Planetary nebula) โดยแกนกลางที่ยุบตัวลงนั้นจะกลายเป็นดาวแคระขาว (White dwarf)