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

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

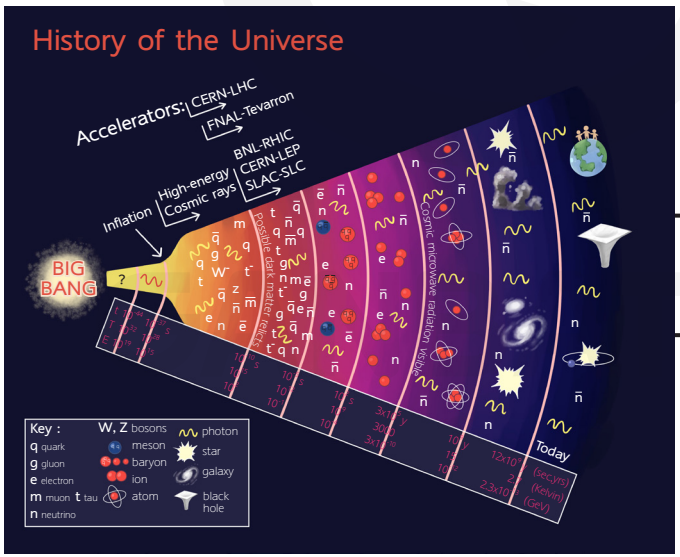
บทที่

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}

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

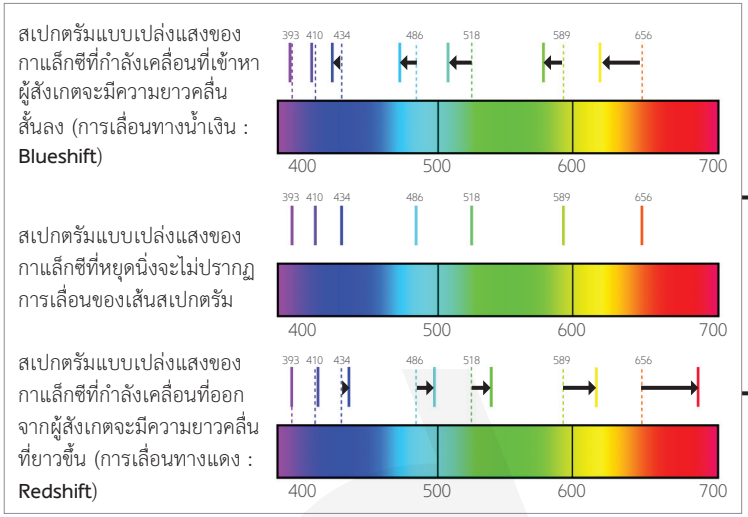
λ = ค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมที่วัดได้จากการสังเกตการณ์จริงของกาแล็กซี

λ_0 = ค่าความยาวคลื่นของสเปกตรัมมาตรฐาน

v = ความเร็วในแนวเล็งของกาแล็กซี

c = อัตราเร็วของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

= 3×10^8 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

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

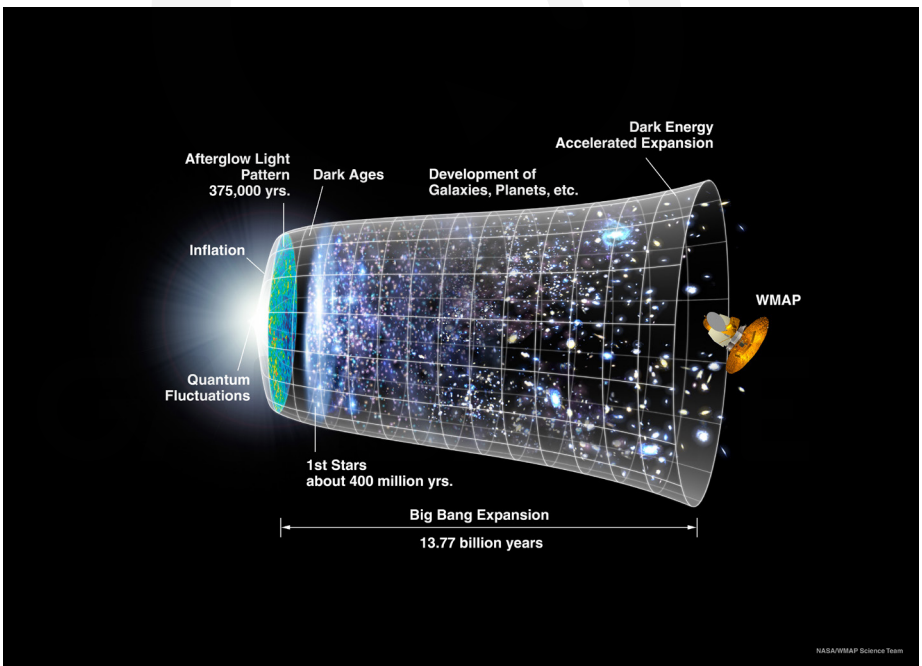
v = 100 km s^{-1} (ความเร็วเป็นค่าบวก แสดงว่าเป็นเรดชิฟท์)

ต่อไปหาระยะทางโดยประมาณจากกลุ่มเมฆระหว่างดาวถึงผู้สังเกตจากกฎของฮับเบิล-เลอแมทร์

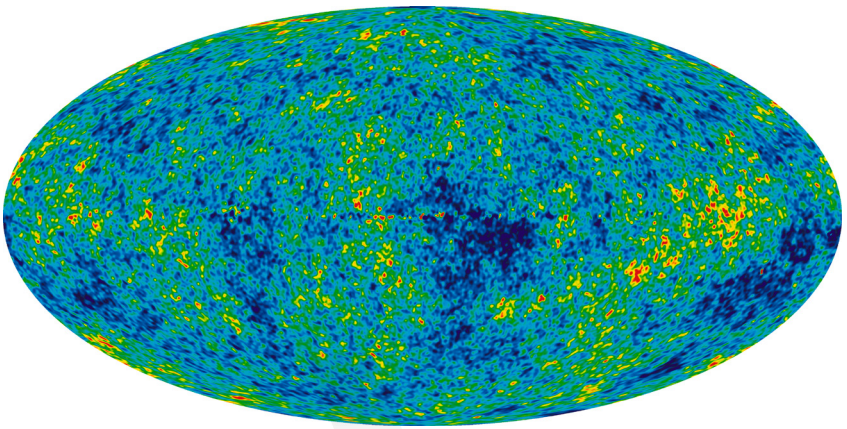
$$d = \frac{v}{H_0} = \frac{100\ \text{km s}^{-1}}{67.8\ \text{km s}^{-1}\ \text{Mpc}^{-1}} = 1.47\ \text{Mpc} = 4.81\ \text{Mly} = 4.55 \times 10^{19}\ \text{km}$$

2. อุณหภูมิพื้นหลังของอวกาศ

ตรวจพบครั้งแรกอย่างบังเอิญ โดยนักฟิสิกส์ด้านโซลิดสเตต คือ อาร์โน เพนเซียส และโรเบิร์ต วิลสัน โดยพวกเขาได้ยินเสียงรบกวนซึ่งรับได้โดยเสาอากาศของกล้องโทรทรรศน์วิทยุสำหรับรับคลื่นไมโครเวฟ ไม่ว่าเสาอากาศจะหันไปทางทิศใดก็ยังได้ยินเสียงรบกวนนี้อยู่เสมอ ถึงแม้ว่าจะแก้ไขอย่างไรก็ยังมีเสียงรบกวน ซึ่งในภายหลังได้ทราบว่าสัญญาณรบกวนนั้นคือเสียงที่เกิดจากอุณหภูมิพื้นหลังของอวกาศที่เกิดจากบิกแบง ซึ่งเป็นสัญญาณที่เหลืออยู่ในอวกาศ เทียบได้กับพลังงานของการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประมาณ 3 เคลวิน หรือ -270 องศาเซลเซียส โดยเป็นการศึกษาต่อเนื่องของ NASA โดยใช้ดาวเทียม 2 ดวง คือ COBE (Cosmic Background Explorer) และ WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) นอกจากนี้ยังมีแบบจำลองการพองตัวของเอกภพ (Cosmic inflation) เข้ามาช่วยอธิบายว่าทำไมเอกภพจึงมีความสม่ำเสมอที่สูงมากในภาพรวม และอธิบายจุดกำเนิดของโครงสร้างขนาดใหญ่ในจักรวาล เนื่องจากความแปรปรวนในบริเวณการพองตัวขนาดเล็กมากๆ ที่มีความไม่สมมาตร และไม่สม่ำเสมอในแต่ละทิศทาง ดังภาพที่ 3.1 และ 3.2 ทำให้เกิดเป็นจุดที่เติบโตขึ้นเป็นโครงสร้างในเอกภพ



ภาพที่ 3.1 แผนที่การกระจายของความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิของอวกาศจากดาวเทียม WMAP (ที่มา : nasa.gov)



ภาพที่ 3.2 แผนที่การกระจายของความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิของอวกาศจากดาวเทียม WMAP (ที่มา : nasa.gov)

ระยะทางในทางดาราศาสตร์

1 AU คือ ระยะทางเฉลี่ยจากโลกถึงดวงอาทิตย์

$= 1.496 \times 10^{8}$ km

$= 4.848 \times 10^{-6}$ pc

$= 1.581 \times 10^{-5}$ ly

1 ปีแสง (light–year, ly) คือ ระยะทางที่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเดินทางได้ในเวลา 1 ปี

$= 9.461 \times 10^{12}$ km

$= 0.307$ pc

$= 6.324 \times 10^{4}$ AU

1 พาร์เซก (parsec, pc) คือ ระยะทางที่ห่างจากโลกแล้วทำให้ดาวเกิดมุมพารัลแลกซ์เท่ากับ 1 พิลิปดา ขณะที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์

$= 3.086 \times 10^{13}$ km

$= 206264.8$ AU

$= 3.262$ ly

GANBATTE

การคำนวณอายุของเอกภพโดยประมาณ (Hubble Time) จากค่าคงที่ของฮับเบิล

(กำหนดให้ $H_0 = 67.8\ \text{km s}^{-1}\ \text{Mpc}^{-1}$)

$$\text{Hubble Time} = \frac{1}{H_0}$$

$$= \frac{1}{67.8\left[\frac{\text{km/s}}{\text{Mpc}}\right]}$$

$$= \frac{1}{67.8}\left[\frac{\text{Mpc}}{\text{km/s}}\right]$$

$$= \frac{1}{67.8}\left[\frac{\text{Mpc·s}}{\text{km}}\right]$$

$$= \frac{1}{67.8} \times \frac{3.086 \times 10^{13} \times 10^{6}\ [\text{km·s}]}{[\text{km}]}$$

$$\therefore \text{Hubble Time} = 4.552 \times 10^{17}\ \text{s}$$

$$\approx 1.442 \times 1^{10}\ \text{ปี}$$

Hubble Time ≈ 14,420 ล้านปี

หรือคำนวณจากสูตรอย่างง่ายดังนี้

$$\text{Hubble Time} = \frac{9.779 \times 10^{5}}{H_0}$$

โดยที่ H_0 = ค่าคงที่ของฮับเบิล

ซึ่งจะได้คำตอบ Hubble Time ออกมาในหน่วยล้านปี

เช่น กำหนดให้ $H_0 = 67.8\ \text{km s}^{-1}\ \text{Mpc}^{-1}$

จะได้ $\text{HubbleTime} = \frac{9.779 \times 10^{5}}{67.8}$

$\approx$ 14,423 ล้านปี

(คำตอบอยู่ในช่วงเวลาใกล้เคียงกัน)

กาแล็กซี

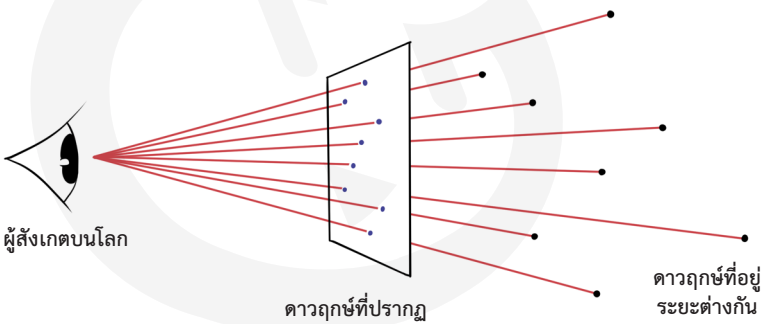
กาแล็กซีหรือดาราจักร (Galaxy) หมายถึง อาณาบริเวณที่ดาวฤกษ์มาอยู่รวมกันเป็นระบบ ซึ่งจะประกอบด้วยดาวฤกษ์ ดาวเคราะห์ ดาวบริวารของดาวเคราะห์ ดาวหาง อุกกาบาต ฝุ่นผง แก๊สในอวกาศ และที่ว่าง ทุกสิ่งทุกอย่างที่อยู่ในกาแล็กซีมาอยู่รวมกันด้วยแรงดึงดูดระหว่างมวลสารต่างๆ ภายในกาแล็กซีกับหลุมดำมวลมหาศาล (Super massive black hole) บริเวณใจกลางของกาแล็กซี หลายๆ ครั้งที่กาแล็กซีมาอยู่รวมกันหลายๆ กาแล็กซี ซึ่งจะเรียกว่ากลุ่มกาแล็กซี (Galaxy group) หรือกระจุกกาแล็กซี (Galaxy cluster หรือ Supercluster) โดยกาแล็กซีที่เป็นสมาชิกอาจจะมีอันตรกิริยาต่อกันได้ และในบางครั้งกาแล็กซีอาจจะอยู่อย่างโดดเดี่ยว ซึ่งจะเรียกว่า กาแล็กซีสนาม (Field galaxy)

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

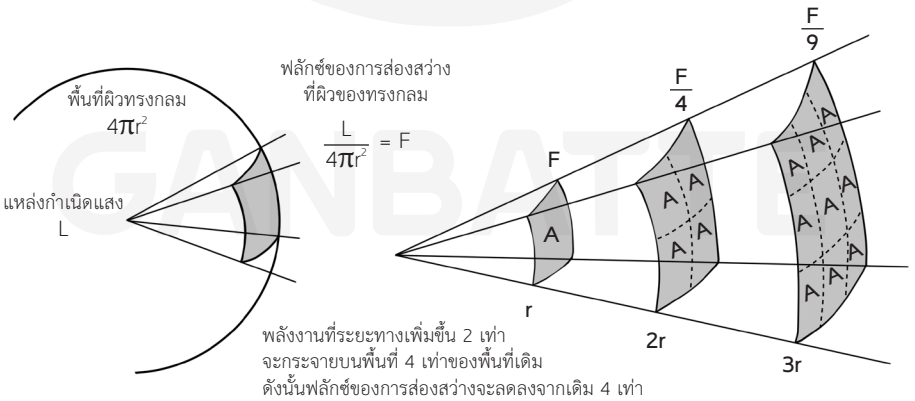
แนวคิดที่ว่า เมื่อสังเกตดาวฤกษ์บนท้องฟ้าด้วยตาเปล่าจะเห็นการกะพริบแสง ซึ่งแตกต่างจากดาวเคราะห์ซึ่งไม่กะพริบแสงนั้น เป็นความเข้าใจที่ผิดเป็นอย่างยิ่ง เพราะจริงๆ แล้วทั้งดาวฤกษ์และดาวเคราะห์สามารถเกิดการกะพริบได้ทั้งคู่ แต่ดาวฤกษ์จะกะพริบมากกว่าดาวเคราะห์เมื่อมองที่ตำแหน่งใกล้เคียงกันบนท้องฟ้า เนื่องจากแสงของดาวฤกษ์และดาวเคราะห์ต่างก็ผ่านชั้นบรรยากาศของโลกที่มีความแปรปรวนของสภาพอากาศก่อนมาถึงเรานั่นเอง

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)**

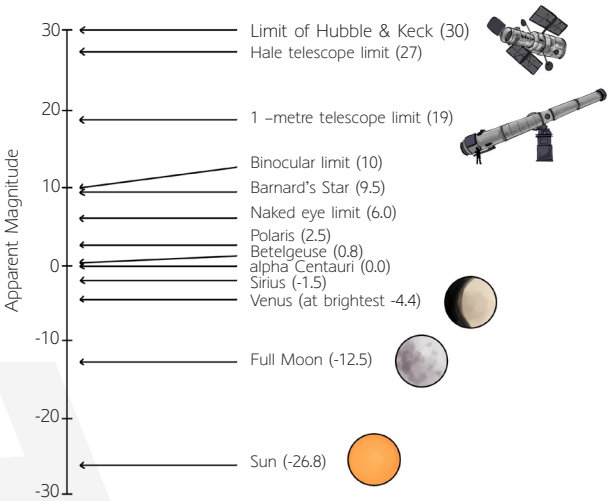
อันดับความสว่างปรากฏหรือโชติมาตรปรากฏ (Apparent magnitude : m)

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

$$\frac{f_1}{f_2} = 2.512^{4.5-(-3.5)} = 2.512^8 = 1,585$$

หรือ

$$\frac{f_1}{f_2} = 10^{(4.5-(-3.5))/2.5} = 10^{3.2} = 1,585$$

หรือ

$$\frac{f_1}{f_2} = 2.5^{4.5-(-3.5)} = 2.5^8 = 1,526 \quad \text{(โดยประมาณ)}$$

(หมายเหตุ : สำหรับสมการ (3) จะเป็นเพียงการประมาณสำหรับการคำนวณคร่าวๆ เท่านั้น ซึ่งความแตกต่างของคำตอบจะมากขึ้นเมื่อดาวทั้งสองดวงมีอันดับความสว่างที่แตกต่างกันค่อนข้างมาก)

ตัวอย่างการคำนวณ

ระบบดาวคู่ (Binary Star) ระบบหนึ่ง ซึ่งประกอบด้วยดาวฤกษ์ 2 ดวง โดยดาวดวงแรกมีอันดับความสว่าง (m_1) เท่ากับ 1.00 และดาวดวงที่ 2 มีอันดับความสว่าง (m_2) เท่ากับ 2.00 ซึ่งเมื่อสังเกตจากระยะไกลจากโลก พบว่าดาวทั้งสองปรากฏอยู่บนท้องฟ้า คล้ายกับว่าเป็นดาวเพียงดวงเดียวเท่านั้น ซึ่งอันดับความสว่างรวมของดาวฤกษ์ทั้งสองจะไม่เท่ากับ 3 จงหาอันดับความสว่างรวมของระบบดาวคู่นี้

แสดงวิธีหาคำตอบ :

อย่างที่ทราบแล้วว่าค่าอันดับความสว่างไม่สามารถที่จะนำมาคำนวณได้โดยตรง ดังนั้นจึงต้องมีการเทียบกับดาวอ้างอิงที่จะสมมติขึ้นมา เพื่อให้คำนวณได้ง่ายขึ้น จะกำหนดให้ดาวอ้างอิงมีอันดับความสว่าง $m_0 = 0.00$ และมีความสว่างเท่ากับ f_0 ทั้งนี้ต้องแยกคิดหาความสว่างของดาวแต่ละดวงออกมา (f_1 และ f_2) ถึงจะนำค่าความสว่างมารวมกันได้และคิดกลับไปเป็นอันดับความสว่างอีกครั้งหนึ่ง

ดาวดวงที่ 1 มี $m_1 = 1$ จากสมการ (2) จะได้

$$\frac{f_1}{f_0} = 2.512^{(0-1)} = 0.398$$

$$\therefore f_2 = 0.398 f_0$$

ดาวดวงที่ 2 มี $m_2 = 2$ จากสมการ (2) จะได้

$$\frac{f_2}{f_0} = 2.512^{(0-2)} = 0.158$$

$$\therefore f_2 = 0.158 f_0$$

หาผลรวมของความสว่างของดาวทั้งสองดวง จะได้

$$f_{tot} = f_1 + f_2 = 0.398f_0 + 0.158f_0 = 0.556f_0$$

นำความสว่างรวมที่ได้ไปคำนวณหาอันดับความสว่างรวมของระบบดาวคู่นี้จากสมการ (1) จะได้

$$m_{tot} - m_0 = -2.5\log \frac{f_{tot}}{f_0}$$

$$m_{tot} - 0 = -2.5\log \frac{0.556f_0}{f_0}$$

$$m_{tot} = -2.5\log 0.556 = 0.64$$

ทดสอบความเข้าใจ :

อันดับความสว่างรวมของระบบดาวสามดวง (Triple Star) ระบบหนึ่ง เท่ากับ 0.0 ซึ่งดาวฤกษ์สองดวงแรกมีอันดับความสว่างเท่ากับ 1.0 และ 2.0 ตามลำดับ จงหาอันดับความสว่างของดาวดวงที่ 3 **(ตอบ 0.87)**

อันดับความสว่างสัมบูรณ์หรือโชติมาตรสัมบูรณ์ (Absolute Magnitude : M)

อันดับความสว่างสัมบูรณ์หรือโชติมาตรสัมบูรณ์ คือ อันดับความสว่างปรากฏ เมื่อพิจารณาให้ดาวฤกษ์ทุกดวงอยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทางที่เท่ากันคือ 10 pc (32.6 ly) เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบความสว่างของดาวทั้งหลายได้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับระยะทางอีกต่อไป ซึ่งอันดับความสว่างสัมบูรณ์นี้ สามารถนำไปใช้ในการหาระยะห่างของวัตถุท้องฟ้าที่ทราบความสว่างแน่นอนได้ หรือที่เรียกว่า มอดุลัสของระยะทาง (Distance modulus) นั่นเอง

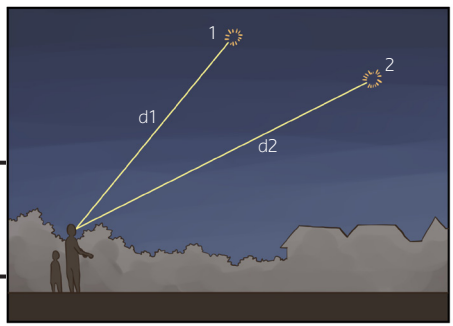
ระยะทางกับอันดับความสว่าง

ดาวฤกษ์ 2 ดวงที่เหมือนกันทุกประการแต่อยู่ห่างจากผู้สังเกตด้วยระยะทางไม่เท่ากัน ดังภาพที่ 4 จะมีความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและฟลักซ์ของการส่องสว่างดังนี้

$$f = \frac{L}{4\pi d^2}$$

$$f_1 = \frac{L}{4\pi d_1^2} \text{ และ } f_2 = \frac{L}{4\pi d_2^2}$$

$$\therefore \frac{f_1}{f_2} = \frac{L}{4\pi d_1^2} \times \frac{4\pi d_2^2}{L} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$$



ภาพที่ 4 การสังเกตดาว 2 ดวงที่มีระยะห่างต่างกัน (L เท่ากัน)

อันดับความสว่างสัมบูรณ์

จากสมการ $m_1 - m_2 = -2.5\log\frac{f_1}{f_2}$

จะได้ $m_1 - m_2 = -2.5\log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

กำหนดให้ $d_1 = 10$ pc ซึ่งเป็นระยะทางที่กำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานในการคำนวณอันดับความสว่างสัมบูรณ์ และให้ $m_1 = M$, $m_2 = m$ และ $d_2 = d$ จะได้ว่า

$$M - m = -5\log\frac{d}{10pc}$$

$$M - m = -5\log d + 5\log 10$$

$$\therefore M = m - 5\log d + 5 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

โดย d คือระยะทางของวัตถุท้องฟ้าในหน่วย pc

มอดุลัสของระยะทาง (Distance modulus)

คือ การหาระยะทางของวัตถุท้องฟ้าอีกวิธีหนึ่ง โดยทราบอันดับความสว่างสัมบูรณ์และอันดับความสว่างปรากฏ จากสมการ

$$d = 10^{(m-M+5)/5} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

โดยระยะทางที่คำนวณได้จะอยู่ในหน่วย pc

ตัวอย่างการคำนวณ

ระยะห่างของดาวฤกษ์ดวงหนึ่งจากโลกเท่ากับ 100 pc และมีค่าอันดับความสว่างปรากฏเท่ากับ 6 จงหาค่าอันดับความสว่างสัมบูรณ์

แสดงวิธีหาคำตอบ :

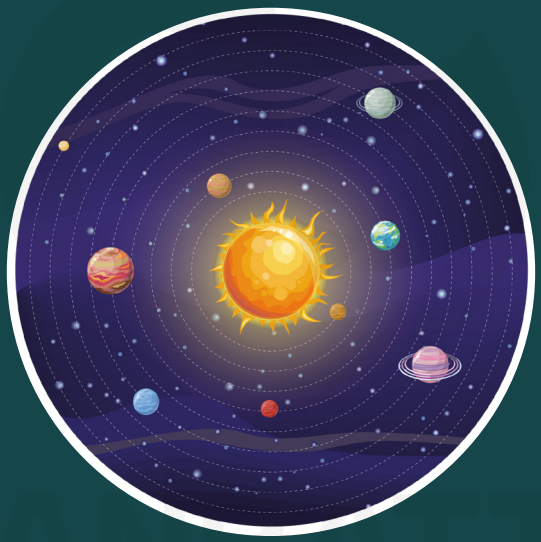
จากสิ่งที่โจทย์กำหนดให้ สามารถใช้สมการ (4) ในการคำนวณหาอันดับความสว่างสัมบูรณ์ได้

แทนค่า จะได้ $M = 6 - 5\log 100\ (pc) + 5$

$$\therefore M = 1$$

บทที่

3



ระบบสุริยะ

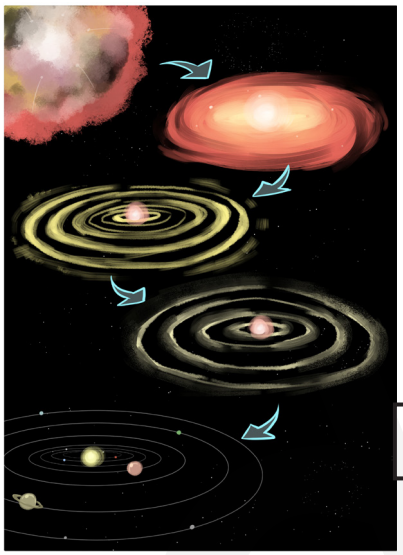
ระบบสุริยะ คือ ระบบดาวฤกษ์หนึ่งในกาแล็กซีทางช้างเผือก ที่ประกอบไปด้วยดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นดาวฤกษ์เพียงดวงเดียวในระบบ ดาวเคราะห์ทั้ง 8 ดวงที่เป็นบริวาร รวมไปถึงดวงจันทร์ที่เป็นบริวารของดาวเคราะห์ ดาวเคราะห์แคระ ดาวเคราะห์น้อย ดาวหาง อุกกาบาต ฝุ่นผง แก๊สต่างๆ และเศษวัตถุขนาดเล็กจำนวนมาก ที่อยู่รวมกันเป็นระบบด้วยอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงระหว่างวัตถุเหล่านั้นกับดวงอาทิตย์ 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

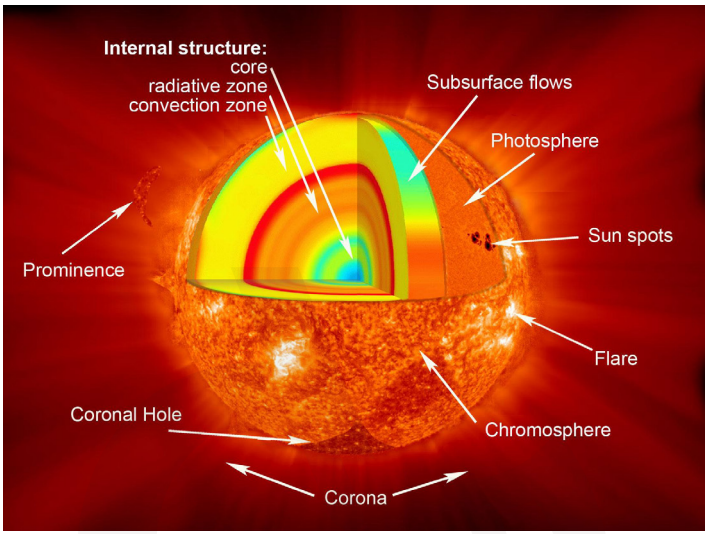
ระบบสุริยะประกอบขึ้นด้วย ดวงอาทิตย์ ดาวพุธ ดาวศุกร์ โลก ดาวอังคาร ดาวพฤหัสบดี ดาวเสาร์ ดาวยูเรนัส ดาวเนปจูน ดาวบริวารของดาวเคราะห์ (บริวารของโลกเรียกว่า The Moon ดาวบริวารของดาวเคราะห์ดวงอื่นเรียกว่า Moon หรือ Satellite) ดาวเคราะห์แคระ ดาวเคราะห์น้อย ดาวหาง อุกกาบาต ฝุ่นแก๊ส เศษวัตถุขนาดเล็ก และที่ว่าง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

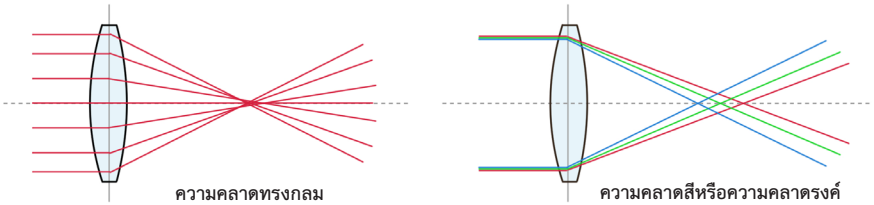
เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยขยายภาพของวัตถุท้องฟ้าให้มีรายละเอียดเพิ่มมากขึ้น สำหรับการสังเกตคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงที่ตามนุษย์มองเห็น (Visible light) ทำให้สังเกตรายละเอียดของวัตถุท้องฟ้าได้เพิ่มมากขึ้น โดยหน้าที่หลักของกล้องโทรทรรศน์มีอยู่ 3 ประการ คือ

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

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

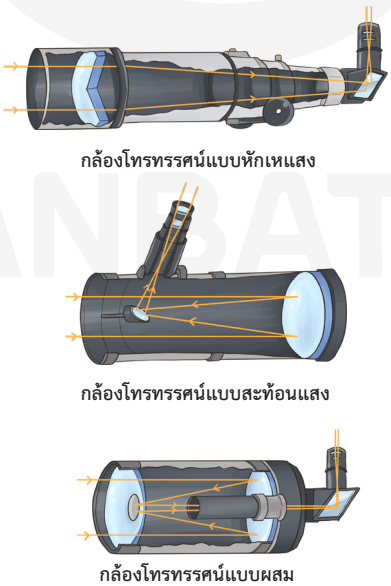
1. กล้องโทรทรรศน์ชนิดแสง (Visible light telescope) ซึ่งจะใช้อุปกรณ์ทางทัศนศาสตร์ (Optical instrument) เป็นตัวรับแสง แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

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

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

15. เอกภพมีอายุประมาณเท่าใด
1. สี่พันล้านปี
2. ห้าพันล้านปี
3. หนึ่งหมื่นล้านปี
4. หนึ่งหมื่นสี่พันล้านปี

16. กาแล็กซี A และ B ห่างจากโลกประมาณ 0.5 และ 3.0 เมกะพาร์เซกตามลำดับ พบว่าความเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างมีค่าเท่ากับ 200 และ 1,400 กิโลเมตรต่อวินาที ตามลำดับ จากข้อมูลที่ให้มานี้ สามารถประมาณค่าคงตัวฮับเบิลมีค่าเท่าใดในหน่วยกิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก
1. 0.21
2. 75
3. 480
4. 514

17. ดาวฤกษ์ ก และ ข เป็นดาวชนิดเดียวกัน แต่อันดับความสว่างปรากฏของดาว ก มีค่าน้อยกว่าดาว ข ข้อใดสรุปได้ถูกต้อง
1. ดาวฤกษ์ ก มีขนาดใหญ่กว่าดาวฤกษ์ ข
2. ดาวฤกษ์ ก อยู่ใกล้โลกมากกว่าดาวฤกษ์ ข
3. ดาวฤกษ์ ก มีอุณหภูมิสูงกว่าดาวฤกษ์ ข
4. ดาวฤกษ์ ก มีอายุมากกว่าดาวฤกษ์ ข

18. เมื่อพิจารณาจากมวล ดวงอาทิตย์จัดอยู่ในกลุ่มดาวฤกษ์ประเภทใด
1. ดาวฤกษ์มวลน้อย
2. ดาวฤกษ์มวลปานกลาง
3. ดาวฤกษ์มวลมาก
4. ดาวฤกษ์มวลมหาศาล

19. กลุ่มดาวจักรราศี มีความหมายตรงกับข้อใด
1. กลุ่มดาวตามเส้นสุริยวิถี
2. กลุ่มดาวที่ปรากฏบนท้องฟ้าทั้งหมด
3. กลุ่มดาวที่เห็นได้จากประเทศไทย
4. กลุ่มดาวที่เคลื่อนที่ไปรอบๆ ดาวเหนือ

20. กลุ่มใดต่อไปนี้มองเห็นได้จากประเทศไทยตลอดทั้งคืนในช่วงกลางฤดูหนาว
1. กลุ่มดาวนกอินทรี
2. กลุ่มดาวพิณ
3. กลุ่มดาวนายพราน
4. กลุ่มดาวคนยิงธนู

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 จากการหลอมรวมธาตุเบาอย่างเช่น 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)