

โลก

ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

6

ตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551

ผู้เรียบเรียง

ดร.มติพล ตั้งมติธรรม

ผู้ตรวจ

ผศ. ดร.वासुเทพ หลวงทิพย์
นายธีรยุทธ์ ลอยลิบ
นายบุญญฤทธิ์ ชุนหกิจ

บรรณาธิการ

รศ.บุญรักษา สุนทรธรรม



สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

ปีที่พิมพ์ 2567

พิมพ์ครั้งที่ 1

จำนวนพิมพ์ 10,000 เล่ม

ISBN : 978-616-606-086-7

รหัสสินค้า 3618017

อักษ
www.aksorn.com

จัดพิมพ์และจำหน่ายทั่วประเทศโดย
บริษัท อักษรเจริญทัศน์ อจก. จำกัด
142 ถนนตะนาว เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200
โทร. 0 2622 2999 (อัตโนมัติ 20 คู่สาย)
พิมพ์ที่: บริษัท ไทยรับเกล้า จำกัด โทร. 0 2903 9101-6





คำแนะนำในการใช้สื่อ



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 เล่ม 1 จัดทำขึ้นสำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6 โดยดำเนินการจัดทำให้สอดคล้องตามผลการเรียนรู้ในสาระการเรียนรู้เพิ่มเติม กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. 2560) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช 2551 ส่งเสริมการจัดการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning) และทักษะที่จำเป็นสำหรับการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 เพื่อให้ผู้เรียนรู้เท่าทันการเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจ สังคม วัฒนธรรม และสภาพแวดล้อม สามารถแข่งขันและอยู่ร่วมกับประชาคมโลกได้

Big Question

คำถามกระตุ้นการเรียนรู้
ก่อนเข้าสู่เนื้อหา
เพื่อให้เกิด
กระบวนการ
สืบเสาะหาความรู้

Big Question

คำถามกระตุ้นการเรียนรู้
ก่อนเข้าสู่เนื้อหา
เพื่อให้เกิด
กระบวนการ
สืบเสาะหาความรู้

Key Question

คำถามสำคัญของเนื้อหาแต่ละหัวข้อ
เพื่อนำไปสู่การสรุปสาระสำคัญ

Check for Understanding

คำถามตรวจสอบความเข้าใจของผู้เรียน
ก่อนเข้าสู่การเรียนการสอน

Earth Science Focus

ความรู้เสริมจากเนื้อหา
เพื่อขยายความรู้ของผู้เรียน

Earth Science in Real Life

เชื่อมโยงความรู้ทาง
โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ
สู่ชีวิตประจำวัน

Core Concept

เชื่อมโยงให้ผู้เรียนได้สรุป
สาระสำคัญในแต่ละหัวข้อ

Topic Questions

คำถามตรวจสอบความเข้าใจ
ของผู้เรียนในแต่ละหัวข้อ



H.O.T.S.

คำถามท้าทายการคิดขั้นสูง

คำถามเพื่อให้ผู้เรียนพัฒนา
การคิดวิเคราะห์ คิดสร้างสรรค์
คิดอย่างมีวิจารณญาณ

Concept Question?

คำถามตรวจสอบความเข้าใจ
ของผู้เรียนระหว่างเรียน



QR Code

ใช้สแกนเพื่อสแกนเพื่อดู
สื่อดิจิทัลเพิ่มเติม



เชื่อมโยงสู่แบบฝึกหัดเพื่อให้ผู้เรียน
ฝึกฝนจนเกิดความเชี่ยวชาญ

กิจกรรม

กิจกรรมให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะ
ทางวิทยาศาสตร์

Summary

สรุปเนื้อหาเพื่อให้ผู้เรียนได้บทวน
สาระสำคัญประจำหน่วยการเรียนรู้

Apply Your Knowledge

กิจกรรมให้ผู้เรียนประยุกต์ใช้
ความรู้ในสถานการณ์ที่กำหนด

Self Check

คำถามเพื่อ
ให้ผู้เรียน
ตรวจสอบ
ความรู้
ความเข้าใจ
ด้วยตนเอง

Unit questions

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้
เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์
ทางการเรียน

Unit questions

แบบฝึกหัดประจำหน่วยการเรียนรู้
เพื่อใช้ประเมินผลสัมฤทธิ์
ทางการเรียน

แนวข้อสอบ A-Level

แนวข้อสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อ
ในระดับอุดมศึกษา

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

กิจกรรมที่เน้น
ให้ผู้เรียนได้
ลงมือปฏิบัติจริง
เพื่อให้เกิด
การเรียนรู้ และ
สร้างองค์ความรู้
ด้วยตนเอง

กิจกรรม

กิจกรรมให้ผู้เรียนฝึกปฏิบัติเพื่อเสริมสร้างทักษะ
ทางวิทยาศาสตร์

Summary

สรุปเนื้อหาเพื่อให้ผู้เรียนได้บทวน
สาระสำคัญประจำหน่วยการเรียนรู้

Apply Your Knowledge

กิจกรรมให้ผู้เรียน
ประยุกต์ใช้
ความรู้ใน
สถานการณ์
ที่กำหนด

Self Check

คำถามเพื่อ
ให้ผู้เรียน
ตรวจสอบ
ความรู้
ความเข้าใจ
ด้วยตนเอง

แนวข้อสอบ A-Level

แนวข้อสอบเพื่อเข้าศึกษาต่อ
ในระดับอุดมศึกษา

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

กิจกรรมที่เน้น
ให้ผู้เรียนได้
ลงมือปฏิบัติจริง
เพื่อให้เกิด
การเรียนรู้ และ
สร้างองค์ความรู้
ด้วยตนเอง



โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม 1

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 6

กลุ่มสาระการเรียนรู้
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เวลา 40 ชั่วโมง

ศึกษา วิเคราะห์ และอธิบายกำเนิดวิวัฒนาการของเอกภพ หลักฐานที่สนับสนุนทฤษฎีบิกแบง กาแล็กซี และกาแล็กซีทางช้างเผือก สมบัติของดาวฤกษ์ กำเนิดดาวฤกษ์ กระบวนการเกิดพลังงานของดาวฤกษ์ วิวัฒนาการของดาวฤกษ์ กำเนิดระบบสุริยะและการแบ่งเขตบริวารรอบดวงอาทิตย์ การโคจรของดาวเคราะห์ รอบดวงอาทิตย์ โครงสร้างและปรากฏการณ์บนดวงอาทิตย์

โดยใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ กระบวนการสืบเสาะหาความรู้ การสืบค้นข้อมูล การสังเกต การวิเคราะห์ การอภิปราย การอธิบาย และการสรุปผล เพื่อให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ความคิด และความเข้าใจ มีความสามารถในการตัดสินใจ สื่อสารสิ่งที่เรียนรู้และนำความรู้ไปใช้ในชีวิตตนเอง ตลอดจนมีจิตวิทยาศาสตร์ จริยธรรม คุณธรรม และค่านิยมที่ถูกต้อง

- อธิบายกระบวนการสร้างพลังงานของดาวฤกษ์และผลที่เกิดขึ้น โดยวิเคราะห์ปฏิกิริยาฟิวชันโปรตอน-โปรตอน และวัฏจักรคาร์บอนไนโตรเจน ออกซิเจน
- ระบุปัจจัยที่ส่งผลต่อความส่องสว่างของดาวฤกษ์ และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับโชติมาตรของดาวฤกษ์
- อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสี อุณหภูมิผิว และสเปกตรัมของดาวฤกษ์
- อธิบายวิธีการหาระยะทางของดาวฤกษ์ด้วยหลักการพารัลแลกซ์ และคำนวณระยะทางของดาวฤกษ์
- อธิบายลำดับวิวัฒนาการที่สัมพันธ์กับมวลตั้งต้น และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสมบัติบางประการของดาวฤกษ์ในลำดับวิวัฒนาการ จากแผนภาพแฮิร์ตซ์สปริง-รัสเซลล์
- อธิบายกระบวนการเกิดระบบสุริยะ การแบ่งเขตบริวารของดวงอาทิตย์ และลักษณะของดาวเคราะห์ที่เอื้อต่อการดำรงชีวิต
- อธิบายการโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์ด้วยกฎเคปเลอร์ และกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน พร้อมคำนวณคาบการโคจรของดาวเคราะห์
- อธิบายโครงสร้างของดวงอาทิตย์ การเกิดลมสุริยะ พายุสุริยะ และวิเคราะห์ นำเสนอปรากฏการณ์หรือเหตุการณ์ที่เกี่ยวข้องกับผลของลมสุริยะและพายุสุริยะที่มีต่อโลก รวมทั้งประเทศไทย

รวม 12 ผลการเรียนรู้



ผลการเรียนรู้

- อธิบายการกำเนิดและการเปลี่ยนแปลงพลังงาน สสาร ขนาดอุณหภูมิของเอกภพหลังเกิดบิกแบง ในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามวิวัฒนาการของเอกภพ
- อธิบายหลักฐานที่สนับสนุนทฤษฎีบิกแบงจากความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วกับระยะทางของกาแล็กซี รวมทั้งข้อมูลการค้นพบไมโครเวฟพื้นหลังจากอวกาศ
- อธิบายโครงสร้างและองค์ประกอบของกาแล็กซีทางช้างเผือก และระบุตำแหน่งของระบบสุริยะ พร้อมอธิบาย เชื่อมโยงกับการสังเกตเห็นทางช้างเผือกของคนบนโลก
- อธิบายกระบวนการเกิดดาวฤกษ์ โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงความดัน อุณหภูมิ ขนาด จากดาวฤกษ์ ก่อนเกิดจนเป็นดาวฤกษ์



สารบัญ

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1



เอกภพและกาแล็กซี 2-41

การขยายตัวของเอกภพ

- การศึกษาเกี่ยวกับเอกภพ
- กฎของฮับเบิล

ทฤษฎีกำเนิดเอกภพ

- วิวัฒนาการของเอกภพ
- คุณสมบัติของเอกภพ
- รังสีไมโครเวฟพื้นหลัง
- อนาคตของเอกภพ

องค์ประกอบและความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ

- องค์ประกอบของเอกภพ
- ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ
- ผลการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ที่แสดงถึงโครงสร้างของเอกภพ

กาแล็กซีและกาแล็กซีทางช้างเผือก

- การกำเนิดและวิวัฒนาการของกาแล็กซี
- ประเภทของกาแล็กซี
- กาแล็กซีทางช้างเผือก
- กระจุกกาแล็กซี

Unit questions 1

แนวข้อสอบ A-Level

กำเนิดดาวฤกษ์

- กระบวนการเกิดดาวฤกษ์
- แหล่งกำเนิดพลังงานของดาวฤกษ์

สมบัติของดาวฤกษ์

- การแผ่รังสีของวัตถุดำ
- กำลังส่องสว่าง
- โชติมาตรของดาวฤกษ์
- แพร่ลแลกซ์

วิวัฒนาการของดาวฤกษ์

- สเปกตรัมของดาวฤกษ์
- ระบบของดาวฤกษ์

Unit questions 2

แนวข้อสอบ A-Level

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2



ดาวฤกษ์

42-79

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3



ระบบสุริยะ

80-113

กำเนิดระบบสุริยะและการแบ่งเขตบรีวารของดวงอาทิตย์

- กระบวนการเกิดระบบสุริยะ
- การแบ่งเขตบรีวารของดวงอาทิตย์
- แบบจำลองระบบสุริยะ

การโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์

- กฎการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ของเคปเลอร์
- แรงโน้มถ่วงระหว่างดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์

การโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์

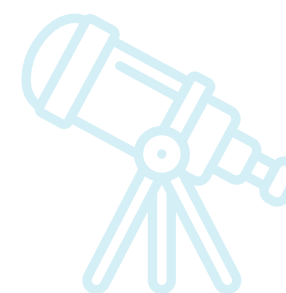
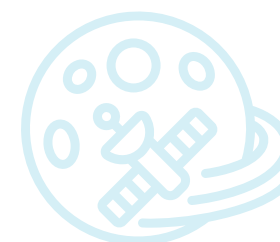
- โครงสร้างภายในดวงอาทิตย์
- ชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มดวงอาทิตย์
- ปรากฏการณ์บนดวงอาทิตย์

Unit questions 3

แนวข้อสอบ A-Level

กิจกรรมการเรียนรู้เชิงรุก (Active Learning)

บรรณานุกรม





? **เอกภพและกาแล็กซี**
มีจุดกำเนิดเดียวกัน
หรือไม่ อย่างไร

หน่วยการเรียนรู้ที่

1

เอกภพและกาแล็กซี

มนุษย์เกิดขึ้นมาพร้อมกับความอยากรู้อยากเห็นและความต้องการที่จะเข้าใจในธรรมชาติรอบตัว รวมไปถึงเอกภพที่เราอยู่ คำถามที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งที่เรากำลังต้องการคำตอบก็คือ เอกภพและกาแล็กซีนั้นกำเนิดมาอย่างไร ประกอบขึ้นจากอะไร กลไกอะไรเป็นแรงผลักดันให้เอกภพมีการเปลี่ยนแปลงไป และเอกภพจะมีวันสิ้นสุดลงหรือไม่ อย่างไร

Check for Understanding

พิจารณาข้อความตามความเข้าใจของนักเรียนว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุดบันทึก

ถูก/ผิด

1. เอกภพเป็นที่ว่างที่มีอาณาเขตขนาดใหญ่และกำหนดขอบเขตได้
2. หลังจากเกิดบิกแบง เอกภพมีการขยายตัว และอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้พลังงานเปลี่ยนรูปเป็นสสารชนิดต่าง ๆ
3. ฮับเบิลค้นพบว่า อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างของกาแล็กซีนั้นแปรผกผันกับระยะทาง
4. จากมุมมองของคนบนโลกบริเวณแถบสีฟ้าขาวจาง ๆ ของทางช้างเผือก คือ ดาวเคราะห์
5. สสารมืด คือ มวลส่วนมากที่ยึดเกาะจุกาแล็กซีเข้าไว้ด้วยกันประกอบไปด้วยสสารที่ไม่ส่องแสงได้ออกมาเลย

บันทึกลงในสมุด

Key

Question



เอกภพมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร

1 การขยายตัวของเอกภพ

เอกภพนั้นมีขนาดใหญ่และดูเหมือนจะไร้ซึ่งการเปลี่ยนแปลงในชั่วอายุของมนุษย์ อย่างไรก็ตาม เอกภพนั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา และการค้นพบการขยายตัวของเอกภพนี้เองที่นำไปสู่การศึกษายุคใหม่ในการทำความเข้าใจเกี่ยวกับต้นกำเนิดและจุดจบของเอกภพ

1.1 การศึกษาเกี่ยวกับเอกภพ

อาจกล่าวได้ว่า หนึ่งในจุดมุ่งหมายสูงสุดในการศึกษาวิทยาศาสตร์ก็เพื่อทำความเข้าใจในธรรมชาติของเอกภพที่อาศัยอยู่ อย่างไรก็ตาม จะไม่สามารถศึกษาหลักการการทำงานของเอกภพโดยตรงได้ แต่การสังเกตปรากฏการณ์ธรรมชาติจะนำไปสู่ความเข้าใจในธรรมชาติของเอกภพในที่สุด

โดยอาจจะสามารถสรุปแนวคิดของนักเอกภพวิทยาได้ด้วยภาพ Flammarion Engraving เพียงภาพเดียว โดยในโลกที่มีดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ และดวงดาวอยู่เหนือทุ่งหญ้า ต้นไม้ และเมืองที่สงบและเป็นระเบียบ แต่มีเด็กเลี้ยงแกะคนหนึ่งกลับพยายามมุดเข้าไปดูสิ่งที่อยู่เบื้องหลังทุกอย่างว่า กลไกที่เป็นแรงผลักดันให้ดวงจันทร์และดวงดาวนี้เคลื่อนที่ไป มีธรรมชาติและการทำงานอย่างไร ซึ่งเด็กเลี้ยงแกะที่มีความใฝ่ฝันที่จะค้นพบกลไกที่ผลักดันจักรวาลให้เคลื่อนที่ไปนี้ ก็คือ นักเอกภพวิทยา นั่นเอง



▲ ภาพที่ 1.1 Flammarion Engraving เป็นภาพแกะสลักโดยจิตรกรชาวฝรั่งเศสชื่อ Camille Flammarion ที่มา : คลังภาพ อจท.

จักรวาลวิทยา (cosmology) คือ การศึกษาเกี่ยวกับเอกภพ โดยศึกษาว่าเอกภพเกิดขึ้นอย่างไร ประกอบขึ้นจากอะไรบ้าง เอกภพมีการวิวัฒนาการอย่างไร และสิ่งใดที่เป็นแรงผลักดันให้เอกภพมีวิวัฒนาการต่อไป และเอกภพมีจุดสิ้นสุดหรือไม่ อย่างไร

อย่างไรก็ตาม แบบจำลองหรือทฤษฎีที่คิดค้นขึ้นมาเพื่ออธิบายจักรวาลนั้น จะไม่มีความหมายแต่อย่างใดเลย หากทฤษฎีนั้นไม่มีความสอดคล้องกับธรรมชาติที่สังเกตได้ ด้วยเหตุนี้ วิชาจักรวาลวิทยาจะต้องอาศัยข้อมูล และปรากฏการณ์ที่ได้มาจากการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ควบคู่ไปกับการสังเกตการณ์ใหม่ ๆ จนนำไปสู่ความเข้าใจในจักรวาลที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งนำไปสู่การล้มล้างทฤษฎีเดิมและพัฒนาทฤษฎีใหม่เพื่อมาอธิบายเอกภพ ในขณะเดียวกันทฤษฎีใหม่ ๆ ก็สามารถช่วยเปิดมุมมองที่นำไปสู่การทำนายปรากฏการณ์ และนำไปสู่การค้นพบทางดาราศาสตร์ที่ไม่เคยมีใครพบมาก่อนได้เช่นเดียวกัน

1.2 กฎของฮับเบิล

ในอดีตเพียงแค่มองดูท้องฟ้าผ่านกล้องโทรทรรศน์ นักดาราศาสตร์ยังเชื่อกันว่า ดาวทุกดวงในเอกภพนั้น อยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือก ซึ่งกาแล็กซีทางช้างเผือกเป็นเพียงสิ่งเดียวที่อยู่ในเอกภพ โดยวัตถุที่เป็นกาแล็กซีในปัจจุบันถูกเชื่อว่าเป็นเพียงแค่นิวลา จนกระทั่งเอ็ดวิน ฮับเบิล (Edwin Hubble) ได้วัดระยะทางถึงเนบิวลาแอนโดรเมดา และพบว่า ระยะทางถึงเนบิวลาแอนโดรเมดานั้นไกลออกไปเกินกว่าดาวและวัตถุทุกอย่างในกาแล็กซีทางช้างเผือกมาก ทำให้ค้นพบว่า วัตถุนี้ไม่ใช่เนบิวลาในกาแล็กซีทางช้างเผือกอีกต่อไป แต่เป็นกาแล็กซีอีกกาแล็กซีหนึ่ง ซึ่งกาแล็กซีแอนโดรเมดานี้เป็นอีกกาแล็กซีหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะคล้ายกาแล็กซีทางช้างเผือก และประกอบไปด้วยกระจุกดาวเนบิวลา และดาวฤกษ์นับพันล้านดวงไม่ต่างจากกาแล็กซีของเรา นอกจากนี้ฮับเบิลยังค้นพบว่า เอกภพประกอบด้วยกาแล็กซีอื่นอีกจำนวนมาก และกาแล็กซีทางช้างเผือกนั้นเปรียบเสมือนกับเกาะเล็ก ๆ เกาะหนึ่ง ท่ามกลางมหาสมุทรที่เต็มไปด้วยเกาะอีกหลายล้านเกาะในเอกภพ

ต่อมาฮับเบิลยังได้วัดระยะทางถึงกาแล็กซีต่าง ๆ อีกจำนวนมาก นอกจากนั้น เขายังได้ทำการวัดเส้นสเปกตรัมของกาแล็กซีเหล่านี้ ฮับเบิลมีแนวคิดที่ว่า กาแล็กซีที่กำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากผู้สังเกตนั้น จะมีการเลื่อนของความยาวคลื่นแสงไปทางแสงสีแดง เรียกว่า **การเลื่อนทางแดง (redshift)** และกาแล็กซีที่กำลังเคลื่อนที่เข้าใกล้ผู้สังเกตนั้น จะมีความยาวคลื่นแสงที่สั้นลง เรียกว่า **การเลื่อนทางน้ำเงิน (blueshift)** เช่นเดียวกับปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ (Doppler effect) ของคลื่นผิวน้ำและคลื่นเสียง

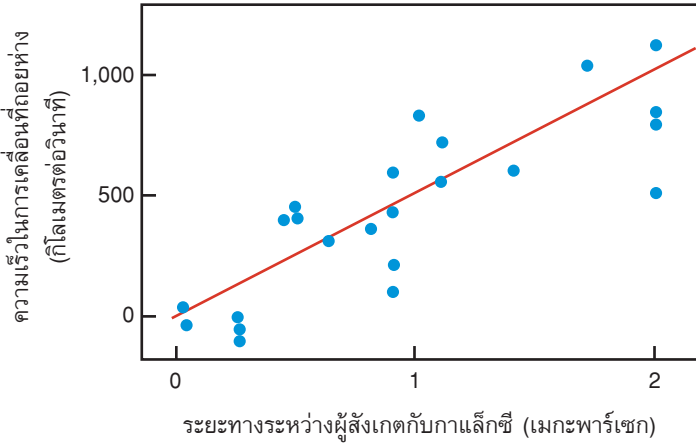
จากการทดลองของฮับเบิลทำให้ฮับเบิลสามารถหาอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของกาแล็กซีได้ โดยฮับเบิลพบว่า กาแล็กซีส่วนมากมีการเลื่อนทางแดง ในขณะที่กาแล็กซีที่มีการเลื่อนทางน้ำเงินมีน้อยมาก ทำให้ได้ข้อสรุปว่า กาแล็กซีส่วนมากกำลังมีการเคลื่อนที่ออกห่างจากกาแล็กซีทางช้างเผือกของเรา ดังนั้น หากกาแล็กซีส่วนมากกำลังเคลื่อนที่หนีห่างออกไปจากเรา แสดงว่า ในอนาคตระยะห่างระหว่างกาแล็กซีก็ควรที่จะมากกว่านี้ ในทางกลับกันในอดีตกาแล็กซีก็ต้องอยู่ใกล้กันมากกว่านี้ ด้วยการสังเกตพบการเลื่อนทางแดงของกาแล็กซีส่วนมากนี้เองทำให้ฮับเบิลสรุปได้ว่า เอกภพกำลังขยายตัวอยู่

**Earth Science Focus**

การเลื่อนทางแดงกับปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

- ปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ เป็นปรากฏการณ์ที่คลื่นมีความยาวคลื่นเปลี่ยนแปลงไปเมื่อต้นกำเนิดคลื่นมีการเคลื่อนที่ เช่น คลื่นน้ำด้านหน้าของเรือจะมีความถี่ที่สูงกว่าด้านหลัง ในขณะที่เรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้า คลื่นแสงก็สามารถเกิดปรากฏการณ์ดอปเพลอร์ได้ โดยต้นกำเนิดแสงที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกตจะมีความถี่ของแสงเลื่อนไปในทางแสงสีน้ำเงิน ในขณะที่ต้นกำเนิดแสงที่กำลังถอยห่างออกไปจะมีความถี่เลื่อนไปในทางแสงสีแดง จึงเรียกว่า การเลื่อนทางแดง

ไม่เพียงแต่ฮับเบิลจะค้นพบว่า กาแล็กซีที่ไกลออกไปจะมีการถอยห่างออกไปเพียงเท่านั้น แต่ฮับเบิลยังค้นพบว่า อัตราเร็วในการถอยห่างนั้นแปรผันตรงกับระยะทางไปถึงกาแล็กซี ซึ่งแสดงได้เป็นกราฟเส้นตรง ดังภาพที่ 1.2



▲ ภาพที่ 1.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการถอยห่างกับระยะทางของกาแล็กซี ที่มา : <https://starchild.gsfc.nasa.gov/docs/StarChild/questions/redshift.html>

จากภาพที่ 1.2 พบว่า อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างของกาแล็กซีนั้นแปรผันตรงกับระยะทาง นั่นคือ กาแล็กซีที่อยู่ไกลขึ้น 2 เท่า จะมีอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างเพิ่มขึ้น 2 เท่า ซึ่งเรียกกฎนี้ว่า **กฎของฮับเบิล (Hubble's law หรือ Hubble-Lemaitre law)** สามารถเขียนแสดงได้ด้วยสมการ

$$v = H_0 D$$

v คือ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างของกาแล็กซี มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อวินาที (km s^{-1})

H_0 คือ ค่าคงที่ของฮับเบิล มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก ($\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$)

D คือ ระยะห่างระหว่างผู้สังเกตกับกาแล็กซี มีหน่วยเป็น เมกะพาร์เซก (Mpc) (1 เมกะพาร์เซก = 3.26 ล้านปีแสง)

ค่าคงที่ของฮับเบิลมีค่าประมาณ 70 กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก นั้นหมายความว่า ปัจจุบัน ผู้สังเกตการณ์บนโลกจะเห็นเอกภพมีการขยายตัวด้วยอัตราเร็ว 70 กิโลเมตรต่อวินาทีสำหรับระยะทางทุก ๆ 1 เมกะพาร์เซกที่ออกห่างจากโลก

การค้นพบของฮับเบิลช่วยยืนยันว่าเอกภพกำลังมีการขยายตัวออก ดังนั้นหากย้อนเวลากลับไปในอดีต ระยะห่างระหว่างกาแล็กซีย่อมน้อยลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งมวลสารทั้งเอกภพอยู่รวมกันเป็นจุดเดียว อันเป็นที่มาของแนวคิดทฤษฎีบิกแบง (big bang theory)

¹ เนื่องจากเอกภพมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ค่าคงที่ของฮับเบิลมีค่าเปลี่ยนแปลง เช่น ในปี พ.ศ. 2561 ค่าคงที่ของฮับเบิลเท่ากับ 73.5 กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก ในปี พ.ศ. 2562 ค่าคงที่ของฮับเบิลเท่ากับ 74.03 กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก จึงกล่าวได้ว่าเป็นค่าที่ไม่แน่นอน ดังนั้น หนังสือเล่มนี้จึงขอใช้ค่าคงที่ของฮับเบิลมีค่าประมาณ 70 กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก



กิจกรรม

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การวัด

จิตวิทยาศาสตร์

- ความรอบคอบ
- ความมุ่งมั่น อดทน

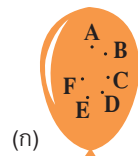
การขยายตัวของเอกภพ

วัสดุอุปกรณ์

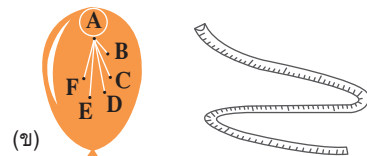
1. ลูกโป่ง
2. สายวัด
3. ปากกาเมจิก

วิธีปฏิบัติ

1. เป่าลูกโป่งให้พองพอประมาณ ใช้ปากกาเมจิกวาดจุด 6 จุด เพื่อแทนกาแล็กซี แล้วเขียนตัวอักษร A B C D E และ F กำกับไว้
2. เลือกกาแล็กซีใดกาแล็กซีหนึ่งแทนตำแหน่งของผู้สังเกต วัดระยะทางถึงกาแล็กซีอื่น ๆ บันทึกผล

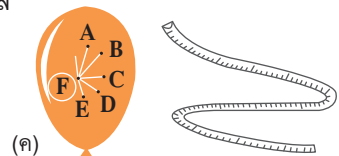


(ก)

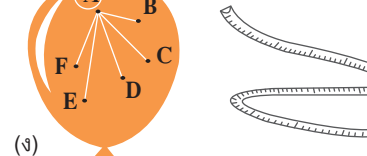


(ข)

3. เลือกอีกกาแล็กซีหนึ่งแทนตำแหน่งของผู้สังเกต ที่อยู่ต่างกาแล็กซีกัน วัดระยะทางถึงกาแล็กซีอื่น ๆ บันทึกผล
4. เป่าลูกโป่งให้พองขึ้นอีก แล้ววัดระยะทางระหว่างกาแล็กซีของผู้สังเกตถึงกาแล็กซีอื่น ๆ บันทึกผล



(ค)



(ง)

▲ ภาพที่ 1.3 การจัดอุปกรณ์กิจกรรมการขยายตัวของเอกภพ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

คำถามท้ายกิจกรรม

1. กาแล็กซีมีการเคลื่อนที่อย่างไร
2. ตำแหน่งใดในเอกภพเป็นศูนย์กลางการขยายตัวของเอกภพ

อภิปรายผลกิจกรรม

จากกิจกรรมพบว่า จุดบนลูกโป่งที่แทนกาแล็กซีไม่ได้มีการเลื่อนตำแหน่ง ซึ่งอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างของกาแล็กซีที่สังเกตได้นั้น เกิดจากการที่มีพื้นที่ว่างระหว่างกาแล็กซีเพิ่มขึ้น และผู้สังเกตที่อยู่ตำแหน่งต่าง ๆ ในเอกภพจะสังเกตเห็นการเคลื่อนที่ของกาแล็กซีถอยห่างออกไปโดยเสมือนว่า ผู้สังเกตเป็นจุดศูนย์กลางของการขยายตัวของเอกภพ



การขยายตัว
ของเอกภพ



จากกิจกรรมข้างต้นอาจจำลองได้โดยใช้ภาพกระจุกกาแล็กซีใด ๆ มาขยายภาพ แล้วเทียบกับภาพเดิม ซึ่งจะพบว่า ระยะห่างระหว่างกาแล็กซีทุกกาแล็กซีจะเพิ่มขึ้น และทุกตำแหน่งจะเสมือนว่าเป็นศูนย์กลางของการขยายตัวของเอกภพ



(ก) ภาพกระจุกกาแล็กซีก่อนขยายภาพ

(ข) ภาพกระจุกกาแล็กซีหลังขยายภาพ

▲ ภาพที่ 1.4 ตัวอย่างภาพกาแล็กซีที่นำมาพิจารณาการขยายตัวของเอกภพ
ที่มา : กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล

การขยายตัวของเอกภพไม่ได้เหมือนกับการระเบิดทั่วไป ซึ่งการระเบิดทั่วไปนั้นสารเคมีจะผลักดันให้เกิดขยายตัวออกไปในพื้นที่ว่างที่ไม่มีแก๊สอยู่ ขอบเขตของการขยายตัวจึงเป็นบริเวณที่แก๊สกำลังเคลื่อนที่ไปในพื้นที่ว่าง แต่การขยายตัวของเอกภพนั้นไม่มีขอบเขตและไม่มีพื้นที่ว่างที่เอกภพจะเคลื่อนที่เข้าไป ดังนั้น การขยายตัวของเอกภพอาจพิจารณาว่าเป็นการเพิ่มพื้นที่ว่างขึ้นมาระหว่างพื้นที่ว่างที่มีอยู่เดิม



Earth Science Focus กระจุกกาแล็กซี

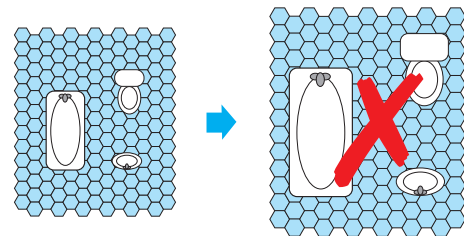
- กระจุกกาแล็กซี (galaxy cluster) ประกอบด้วยกาแล็กซีประมาณ 50-1,000 กาแล็กซี ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ดังนี้
- 1. กระจุกปกติ (regular cluster) มีโครงสร้างเป็นทรงกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-10 ล้านพาร์เซก มวลประมาณ 10^{15} เท่าของมวลดวงอาทิตย์
- 2. กระจุกไม่มีรูปแบบ (irregular cluster) ไม่มีศูนย์กลางหรือขนาดที่ชัดเจน มีมวล 10^{12} - 10^{14} เท่าของมวลดวงอาทิตย์

หากเปรียบเทียบเอกภพเป็นห้องน้ำ พื้นกระเบื้องจะแทนพื้นที่ว่างในเอกภพ ส่วนสุขภัณฑ์ต่าง ๆ จะแทนกาแล็กซีในเอกภพ การขยายตัวของเอกภพไม่ใช่การขยายขนาดของห้องน้ำ และสุขภัณฑ์ขึ้น เพราะกาแล็กซีต่าง ๆ ไม่ได้เพิ่มขนาดขึ้น และการขยายตัวของเอกภพไม่ใช่การขยายพื้นกระเบื้องบริเวณรอบ ๆ เพราะหากเป็นเช่นนั้น จะทำให้ระยะห่างระหว่างสุขภัณฑ์คงเดิม ดังนั้น การขยายตัวของเอกภพเปรียบเสมือนกับการวางแผ่นกระเบื้องแทรกลงไประหว่างแผ่นกระเบื้องเดิม ในขณะที่สุขภัณฑ์ต่าง ๆ ยังคงอยู่เช่นเดิม ดังภาพที่ 1.5 (ค)

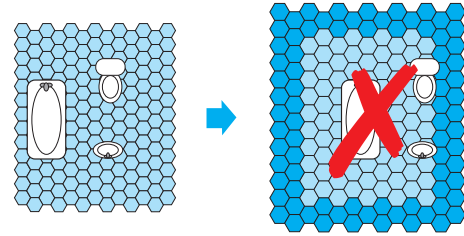
การขยายตัวของเอกภพเป็นการขยายตัวของพื้นที่ว่างในเอกภพ แต่กาแล็กซีในเอกภพยังคงอยู่เช่นเดิม ดังนั้น วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์จะยังคงเดิม เนื่องจากแรงโน้มถ่วงระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์นั้นมีมากพอที่จะเอาชนะการขยายตัวของพื้นที่ว่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ได้

หากสังเกตกาแล็กซีที่อยู่ใกล้กับกาแล็กซีทางช้างเผือก ตัวอย่างเช่น กาแล็กซีแอนโดรเมดา (andromeda galaxy) พบว่า กาแล็กซีแอนโดรเมดากำลังเคลื่อนที่เข้าหากาแล็กซีทางช้างเผือก หรือมีการเลื่อนทางน้ำเงิน ทั้งนี้ เนื่องจากอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงระหว่างสองกาแล็กซีมีอิทธิพลมากกว่าการขยายตัวของเอกภพระหว่างกาแล็กซีแอนโดรเมดากับกาแล็กซีทางช้างเผือก ซึ่งมีระยะห่างเพียง 2,600 ล้านปี และกาแล็กซีแอนโดรเมดากับกาแล็กซีทางช้างเผือกจะยังคงเคลื่อนที่เข้าหากันต่อไปและจะชนกันได้อีก 4 พันล้านปีข้างหน้า ไม่ว่าเอกภพจะขยายตัวไปเท่าใดก็ตาม

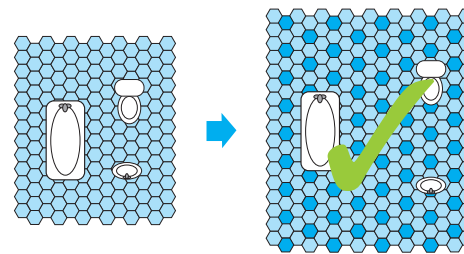
อย่างไรก็ตาม สำหรับกาแล็กซีที่อยู่ห่างออกไปจากกาแล็กซีทางช้างเผือก อัตราการเคลื่อนที่ถอยห่างเนื่องจากการขยายตัวของเอกภพจะมีค่ามากกว่าการเคลื่อนที่จำเพาะของดาวมาก และที่ระยะห่างมาก ๆ อัตราเร็วในแนวสายตาเกือบทั้งหมดจะมาจากการขยายตัวของเอกภพ โดย การเคลื่อนที่จำเพาะแทบไม่มีผลใด ๆ



(ก) การขยายขนาดของห้องน้ำและสุขภัณฑ์



(ข) การขยายพื้นกระเบื้องบริเวณรอบ ๆ



(ค) การวางกระเบื้องแทรกลงไประหว่างแผ่นกระเบื้องเดิม

▲ ภาพที่ 1.5 เปรียบเทียบการขยายตัวของเอกภพกับพื้นที่ห้องน้ำ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Concept Question?

การขยายตัวของเอกภพมีลักษณะอย่างไร

ตัวอย่างที่ 1.1

กาแล็กซีแอนโดรเมดามีระยะห่างจากกาแล็กซีทางช้างเผือก 2,600 ล้านปีแสง หรือ 0.8 เมกะพาร์เซก หากค่าคงที่ฮับเบิลมีค่า 70 กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก พื้นที่ว่างระหว่างกาแล็กซีทางช้างเผือกกับกาแล็กซีแอนโดรเมดากำลังขยายตัวด้วยอัตราเร็วเท่าใด

วิธีทำ จากกฎของฮับเบิล

$$v = H_0 D$$

$$v = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \times 0.8 \text{ Mpc}$$

$$v = 56 \text{ km/s}$$

ดังนั้น พื้นที่ระหว่างกาแล็กซีทางช้างเผือกกับกาแล็กซีแอนโดรเมดากำลังขยายตัวด้วยอัตราเร็ว 56 กิโลเมตรต่อวินาที เมื่อเทียบกับอัตราการเคลื่อนที่ถอยห่างของกาแล็กซีแอนโดรเมดาที่วัดได้จากการสังเกต คือ 300 กิโลเมตรต่อวินาที พบว่า อัตราการขยายตัวของเอกภพมีค่าน้อยกว่าอัตราการเคลื่อนที่จำเพาะของกาแล็กซีแอนโดรเมดามาก จึงสังเกตเห็นกาแล็กซีแอนโดรเมดากำลังเคลื่อนที่เข้าหากาแล็กซีทางช้างเผือก

ตัวอย่างที่ 1.2

กาแล็กซีหนึ่งอยู่ห่างออกไป 30 เมกะพาร์เซก จะเห็นกาแล็กซีนี้มีการเคลื่อนที่อย่างไร เมื่อเทียบกับผู้สังเกต

วิธีทำ จากกฎของฮับเบิล

$$v = H_0 D$$

$$v = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \times 30 \text{ Mpc}$$

$$v = 2,100 \text{ km/s}$$

ดังนั้น กาแล็กซีนี้จะเคลื่อนที่ถอยห่างออกจากผู้สังเกตบนโลกด้วยอัตราเร็ว 2,100 กิโลเมตรต่อวินาที

Core Concept

ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญ เรื่อง
การขยายตัวของเอกภพ



Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

- กาแล็กซีที่อยู่ห่างออกไปจะมีสเปกตรัมของแสงเลื่อนไปในทางใด
- เราทราบได้อย่างไรว่า เอกภพกำลังมีการขยายตัวอยู่
- กาแล็กซีที่อยู่ห่างออกไป 100 เมกะพาร์เซก จะมีอัตราการถอยห่างออกไปเท่าใด



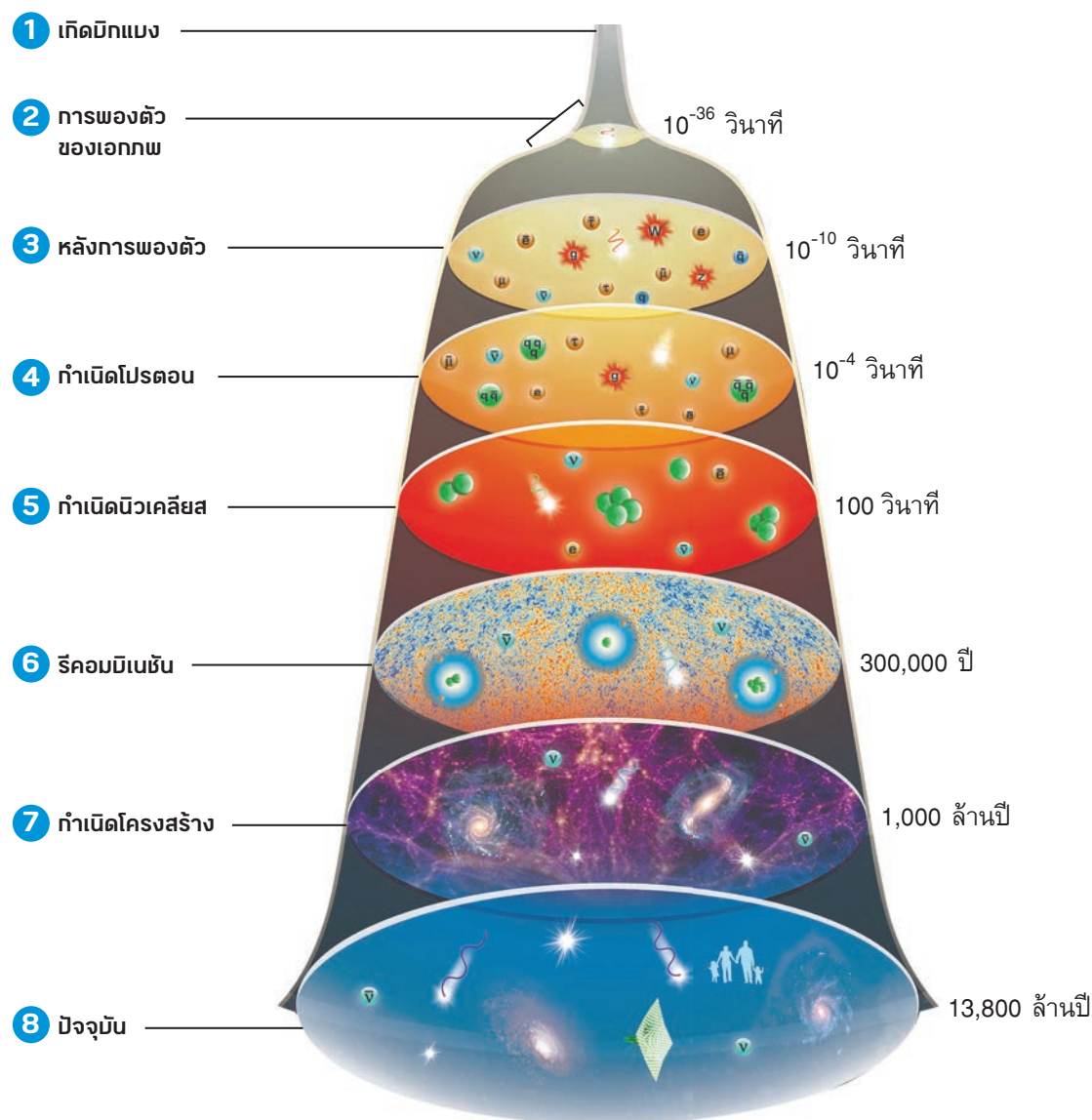
เอกภพกำเนิดขึ้นได้อย่างไร

2 ทฤษฎีกำเนิดเอกภพ

จากกฎของฮับเบิล หากมองย้อนกลับไปในอดีตเกี่ยวกับการขยายตัวของเอกภพ จะพบว่า ระยะห่างระหว่างกาแล็กซีต่าง ๆ ในเอกภพจะมีค่าน้อยกว่าและมีขนาดเล็กกว่าในปัจจุบัน จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งซึ่งมวลสารทั้งเอกภพอยุบรวมกันเป็นจุดเดียว อันเป็นที่มาของทฤษฎีบิกแบง

2.1 วิวัฒนาการของเอกภพ

เอกภพกำเนิดขึ้นตามทฤษฎีบิกแบง (big bang theory) ดังนี้



▲ ภาพที่ 1.6 วิวัฒนาการของเอกภพ
ที่มา : Particle Data Group, LBNL 2015

1 เกิดบิกแบง

เอกภพกำเนิดขึ้นเมื่อประมาณ 13,800 ล้านปีที่ผ่านมา จากจุดเริ่มต้นที่เรียกว่า ซิงกูลาริตี (singularity) ซึ่งขณะนั้นเอกภพมีอุณหภูมิสูงมากจนแรงต่าง ๆ ในเอกภพ (แรงนิวเคลียร์เข้ม แรงนิวเคลียร์อ่อน แรงแม่เหล็กไฟฟ้า แรงโน้มถ่วง) หลอมรวมกันกลายเป็นแรงเดียว และมวลสารไม่สามารถรวมตัวกันเป็นอนุภาคได้

2 การพองตัวของเอกภพ (inflation)

10⁻³⁶ วินาทีหลังเกิดบิกแบง เอกภพเข้าสู่ช่วงที่เกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็ว โดยกลไกการพองตัวของเอกภพนั้นยังไม่ทราบแน่ชัด ซึ่งยังคงเป็นปริศนาที่นักเอกภพวิทยากำลังพยายามหาคำตอบ

3 หลังการพองตัว (post-inflation)

10⁻¹⁰ วินาทีหลังเกิดบิกแบง หลังจากการพองตัวของเอกภพลสิ้นสุดลง เอกภพเต็มไปด้วยอนุภาคควาร์ก อิเล็กตรอน อนุภาคมูลฐานอื่น ๆ ซึ่งขณะนั้นเอกภพมีอุณหภูมิประมาณ 10²⁷ องศาเซลเซียส

4 กำเนิดโปรตอน (baryogenesis)

10⁻⁴ วินาทีหลังเกิดบิกแบง เอกภพเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 10¹³ องศาเซลเซียส ทำให้ควาร์กสามารถจับตัวกันกลายเป็นโปรตอนและนิวตรอน

5 กำเนิดนิวเคลียส (nucleogenesis)

100 วินาทีหลังเกิดบิกแบง เอกภพเย็นตัวลงจนโปรตอนและนิวตรอนสามารถรวมตัวกันได้ที่อุณหภูมิประมาณ 10⁸ องศาเซลเซียส กลายเป็นนิวเคลียสของธาตุไฮโดรเจนประมาณ 75% และธาตุฮีเลียมประมาณ 25% โดยไม่พบธาตุอื่น ๆ

6 รัคคอมบิเนชัน (recombination)

300,000 ปีหลังเกิดบิกแบง เอกภพมีอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 3,000 องศาเซลเซียส โปรตอนและอิเล็กตรอนจึงสามารถรวมตัวกันเป็นอะตอม ส่งผลให้เอกภพเปลี่ยนสภาพเป็นโปร่งแสง และปล่อยแสงออกมาจากพลาสมา ในลักษณะของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยในปัจจุบันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหล่านี้มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วงรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง ซึ่งเป็นแสงแรกที่สามารถสังเกตได้จากเอกภพ

7 กำเนิดโครงสร้าง (structure formation)

1,000 ล้านปีหลังเกิดบิกแบง แรงโน้มถ่วงดึงมวลสารในเอกภพเข้าหากัน โดยบริเวณที่มีมวลสารหนาแน่นจะดึงดูดส่วนอื่น ๆ เข้ามารวมตัวกันมากขึ้น เกิดเป็นโครงสร้างซึ่งนำไปสู่การพัฒนาไปเป็นกระจุกกาแล็กซี ส่วนบริเวณที่มีมวลสารหนาแน่นน้อย มวลสารจะไหลออกไปบริเวณนั้นจึงกลายเป็นที่ว่าง

8 ปัจจุบัน

13,800 ล้านปีหลังเกิดบิกแบง เอกภพประกอบไปด้วยดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ กาแล็กซี กระจุกกาแล็กซี และมวลสารต่าง ๆ

2.2 คุณสมบัติของเอกภพ

จากการสังเกตการณ์ของนักดาราศาสตร์ พบว่า เอกภพมีคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญ 2 ประการ ที่สำคัญยิ่งต่อการทำความเข้าใจเอกภพ ดังนี้

1. เอกภพมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) หมายถึง ทุกบริเวณของเอกภพมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ นั่นคือ ในสเกลที่ใหญ่พอ ไม่ว่าเราจะสุ่มบริเวณใด จะพบว่า เอกภพมีความหนาแน่นของสสารใกล้เคียงกันทุกประการ

2. เอกภพมีลักษณะเหมือนกันทุกทิศทาง (anisotropic) นั่นคือ ไม่ว่าจะสังเกตเอกภพในทิศทางใด จะพบว่า เอกภพมีลักษณะไม่ต่างกัน เช่น รังสีไมโครเวฟพื้นหลังที่มีความเข้มเท่ากันในทุกทิศทาง

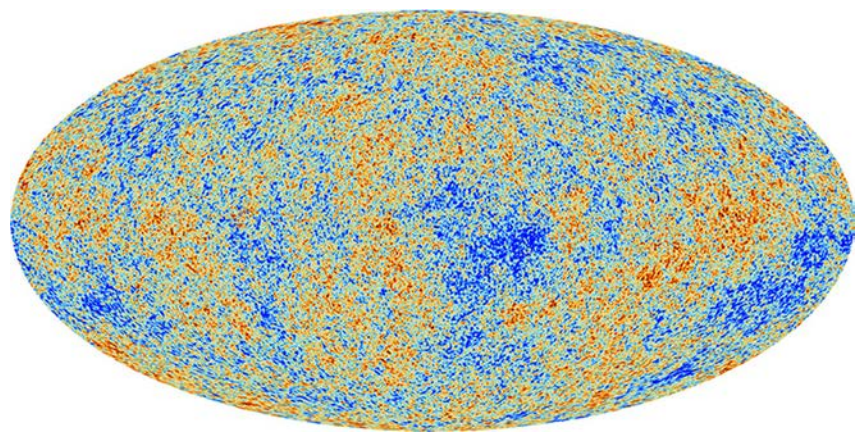
2.3 รังสีไมโครเวฟพื้นหลัง

หลักฐานที่สำคัญที่สุดของทฤษฎีบิกแบง คือ การค้นพบรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง (Cosmic Microwave Background; CMB) ซึ่งเป็นพลังงานที่เกิดจากการขยายตัวของเอกภพในยุคแรก ๆ

รังสีไมโครเวฟพื้นหลังถูกค้นพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2507 โดยอาร์โน อัลลัน เพนเซียส (Arno Allan Penzias) และร็อบเบิร์ต วูดร็อบ วิลสัน (Robert Woodrow Wilson) โดยพบว่า เครื่องตรวจจับรังสีไมโครเวฟพบรังสีไมโครเวฟที่มาจากท้องฟ้า ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ ไม่ว่าจะหันเครื่องตรวจจับไปทิศทางใด จากนั้นพวกเขาก็ค้นพบว่า รังสีดังกล่าวนี้ คือ พลังงานที่หลงเหลืออยู่ของเอกภพจากช่วงแรกของการเกิดบิกแบง ซึ่งจากการค้นพบนี้ทำให้พวกเขาได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี พ.ศ. 2521

ในช่วงกำเนิดนิวเคลียสนั้น นิวเคลียสของไฮโดรเจนและฮีเลียมได้ถือกำเนิดขึ้นมาแล้วในเอกภพ แต่เอกภพมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าที่อิเล็กตรอนจะรวมตัวกับนิวเคลียสเป็นอะตอมได้ทั้งนิวเคลียส อิเล็กตรอน และอนุภาคแสงต่างก็รวมตัวกันอยู่ในลักษณะของพลาสมา ทำให้การสังเกตการณ์คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเอกภพในช่วงนั้นแทบเป็นไปไม่ได้ เนื่องจากพลาสมามีคุณสมบัติที่สามารถดูดกลืนแสงได้ดีมาก ดังนั้น แสงใด ๆ ที่ถูกปล่อยออกมาในช่วงรีคอมบิเนชันจะถูกดูดกลืนกลับไปหมด ไม่สามารถเหลือมาจนถึงปัจจุบันได้

รังสีไมโครเวฟพื้นหลังเกิดขึ้นในช่วงรีคอมบิเนชัน ซึ่งเอกภพมีอายุประมาณ 300,000 ปี โดยอิเล็กตรอนรวมตัวกับนิวเคลียสเป็นอะตอมที่มีประจุเป็นกลาง ทำให้พลาสมาที่บดบังแสงเปลี่ยนเป็นโปร่งแสงโดยเฉียบพลัน ส่งผลให้แสงที่ติดอยู่ในพลาสมาทั้งหมดหลุดออกมาในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นในช่วงรังสีไมโครเวฟในยุคปัจจุบัน เกิดเป็นรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง



▲ ภาพที่ 1.7 ภาพรังสีไมโครเวฟพื้นหลังที่บันทึกโดยดาวเทียมพลังค์ (Planck) แสดงให้เห็นถึงรังสีไมโครเวฟที่มาจากทุกทิศทาง โดยสอดคล้องกับอุณหภูมิวัดได้ที่ 2.7 เคลวิน โดยจุดสีแดงและสีฟ้าแสดงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิไม่ถึงไมโครเคลวิน
ที่มา : The European Space Agency (ESA)

รังสีไมโครเวฟพื้นหลังเป็นรังสีที่แผ่มาจากทุกทิศทางและมีปริมาณเท่ากันทุกส่วน ซึ่งเป็นการแผ่รังสีที่สอดคล้องกับทฤษฎีการแผ่รังสีของวัตถุดำได้อย่างสมบูรณ์ โดยมีการผิดเพี้ยนจากทฤษฎีไม่เกินหนึ่งในล้านส่วน แสดงให้เห็นว่า ในอดีตเอกภพเป็นวัตถุดำที่สมบูรณ์ที่สุด ซึ่งขณะเกิดรีคอมบิเนชัน เอกภพมีการแผ่รังสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 3,000 เคลวิน แต่รังสีนั้นเกิดการเลือนทางแดงอย่างมาก จากการขยายตัวของเอกภพตลอดระยะเวลาที่แสงเดินทาง จนกระทั่งปัจจุบันการแผ่รังสีของรังสีไมโครเวฟพื้นหลังสอดคล้องกับอุณหภูมิของวัตถุดำที่ 2.7 เคลวิน หากเรานับจำนวนโฟตอน (photon) ซึ่งเป็นอนุภาคของแสง เราจะพบว่า โฟตอนที่เกิดจากการส่องสว่างของดาวฤกษ์นั้น มีจำนวนน้อยกว่าโฟตอนที่เกิดจากรังสีไมโครเวฟพื้นหลังเป็นอย่างมาก โฟตอนเกือบทั้งหมดที่มีอยู่ในเอกภพปัจจุบันจึงถือกำเนิดขึ้นมารังสีไมโครเวฟพื้นหลังเมื่อเอกภพมีอายุเพียง 300,000 ปี

รังสีไมโครเวฟพื้นหลังเป็นกุญแจสำคัญที่สุดที่ช่วยให้เข้าใจเกี่ยวกับกำเนิดของเอกภพ เนื่องจากข้อมูลหรือแสงใด ๆ ที่เกิดขึ้นก่อนหน้ารีคอมบิเนชันจะถูกดูดกลืนและสลายไปในพลาสมา ก่อนกำเนิด (primordial plasma) รังสีไมโครเวฟพื้นหลังจึงเป็นข้อมูลที่ช่วยอธิบายเกี่ยวกับเอกภพก่อนหน้านั้นได้ แต่เนื่องจากก่อนหน้าการเกิดรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง แสงและสสารรวมกันเป็นเนื้อเดียวอยู่ในพลาสมา ก่อนกำเนิด โฟตอนจึงบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับความหนาแน่นของสสารในเอกภพเอาไว้ โดยโฟตอนที่ต้องหนีออกมาจากบริเวณความหนาแน่นสูงจะเกิดการเลือนทางแดงส่งผลให้มีอุณหภูมิวัดได้ของรังสีไมโครเวฟพื้นหลังนั้นต่ำกว่าปกติเล็กน้อย จากการศึกษาการแปรผันอุณหภูมิระดับไมโครเคลวินในรังสีไมโครเวฟพื้นหลังนี้เอง ทำให้ทราบถึงสภาพของสสาร และการกระจายตัวของสสาร ซึ่งนำไปสู่การค้นพบที่สำคัญหลายประการทางเอกภพวิทยา ตั้งแต่การค้นพบลักษณะทางเรขาคณิตของเอกภพ องค์ประกอบพลังงานของเอกภพ ตลอดจนค่าคงที่ของฮับเบิล

2.4 อนาคตของเอกภพ

นับตั้งแต่การค้นพบการขยายตัวของเอกภพ นักจักรวาลวิทยาได้พยายามศึกษาว่าอนาคตของเอกภพจะเป็นอย่างไร เอกภพจะขยายตัวมากขึ้นหรือช้าลง และเอกภพจะสิ้นสุดลงอย่างไร

ปัจจุบันทราบว่า มีแรงเพียง 4 แรงในเอกภพ ได้แก่ แรงนิวเคลียร์อย่างอ่อน แรงนิวเคลียร์อย่างเข้ม แรงแม่เหล็กไฟฟ้า และแรงโน้มถ่วง เนื่องจากแรงนิวเคลียร์อย่างอ่อนและนิวเคลียร์อย่างเข้มสามารถทำงานได้เฉพาะในช่วงระยะทางที่มีขนาดเล็กกว่าอะตอมเท่านั้น จึงไม่ส่งผลต่อการขยายตัวของเอกภพ และเนื่องจากแรงแม่เหล็กไฟฟ้ามีทั้งแรงดูดและแรงผลัก อีกทั้งเอกภพมีประจุบวกและลบในปริมาณเท่ากัน แรงแม่เหล็กไฟฟ้าจึงหักล้างกัน ดังนั้น จึงเหลือเพียงแรงโน้มถ่วงระหว่างมวลเท่านั้นที่มีผลต่อการขยายตัวของเอกภพ และเนื่องจากแรงโน้มถ่วงระหว่างมวลเป็นแรงที่ดึงดูดเพียงอย่างเดียว นักเอกภพวิทยาในยุคแรกจึงมีความเชื่อว่าเอกภพจะขยายตัวช้าลง

หากเอกภพกำลังขยายตัวช้าลง แล้วเอกภพกำลังขยายตัวช้าลงในอัตราเท่าใด ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยเปรียบเทียบการขยายตัวช้าลงของเอกภพกับวัตถุที่ถูกโยนขึ้นจากพื้นโลก เช่น ก้อนหินที่ถูกโยนขึ้นจะมีอัตราเร็วในการลอยช้าลงเรื่อย ๆ เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกดึงดูดไว้ ซึ่งหากมีแรงโน้มถ่วงมากพอ ก็จะดึงดูดให้ก้อนหินลอยขึ้นช้าลงจนหยุดนิ่งและเริ่มตกกลับลงมาที่พื้นโลก แต่หากก้อนหินถูกโยนขึ้นด้วยอัตราเร็วที่สูงเกินกว่าแรงโน้มถ่วงจะสามารถยึดเอาไว้ได้ ก้อนหินจะหลุดออกจากแรงโน้มถ่วงของโลกไปและไม่ตกกลับลงมาอีก

เราสามารถนำกรณีของการโยนก้อนหินมาพิจารณากับการขยายตัวของเอกภพได้ในลักษณะคล้ายกัน โดยพิจารณาว่า อัตราในการขยายตัวปัจจุบันของเอกภพนั้นเพียงพอที่จะเอาชนะแรงโน้มถ่วงได้หรือไม่ โดยเริ่มจากการพิจารณาเอกภพที่เต็มไปด้วยความหนาแน่นเฉลี่ย (average density; ρ) เท่ากันทุกบริเวณ **ความเร็วขั้นต่ำที่จะทำให้เอกภพไม่ยุบตัวก็คือ ความเร็วหลุดพ้น (escape velocity; v_{es})** ซึ่งจากกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตัน สามารถเขียนความเร็วหลุดพ้นได้ ดังนี้

$$v_{es} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

v_{es} คือ ความเร็วหลุดพ้น

G คือ ค่าคงตัวความโน้มถ่วง (gravitational constant) มีค่า $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ kg}^{-2}$

M คือ มวลทั้งหมดที่อยู่ภายในระบบ

r คือ รัศมีของระบบ

สมมติให้มวลของเอกภพทรงกลมที่มีความหนาแน่นคงที่ ρ จึงสามารถเขียนได้ในรูปของ

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

แทนค่า M ลงในสมการความเร็วหลุดพ้น จะได้

$$v_{es} = \sqrt{\frac{2G \left(\frac{4}{3} \pi r^3 \rho \right)}{r}}$$

$$v_{es} = \left(\frac{8\pi}{3} G \rho \right)^{\frac{1}{2}} r$$

ซึ่งจากกฎของฮับเบิล สามารถอธิบายความเร็วในการขยายตัวได้ในรูปของ $v = H_0 r$ และหากอธิบายความหนาแน่นขั้นต่ำที่ทำให้เอกภพสามารถยุบตัวลงได้ด้วยความหนาแน่นวิกฤต (critical density; ρ_c) จะได้ว่า

$$H_0 r = \left(\frac{8\pi}{3} G \rho_c \right)^{\frac{1}{2}} r$$

$$H_0 = \left(\frac{8\pi}{3} G \rho_c \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\rho_c = \frac{3H_0^2}{8\pi G}$$

หากแทนค่า $H_0 = 70 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$ จะได้ค่าความหนาแน่นวิกฤตของเอกภพ ดังนี้

$$\rho_c = 3 \times 10^{-27} \text{ kg m}^{-3}$$



Earth Science Focus

เราจะต้องส่งจรวดขึ้นไปด้วยความเร็ว 11.2 กิโลเมตรต่อวินาทีไหม?

- ความจริงแล้วนี่เป็นสิ่งที่หลาย ๆ คนมักจะเข้าใจกันผิด ๆ ว่าจรวดจะต้องขึ้นจากฐานด้วยอัตราเร็วหลุดพ้น วิธีพิสูจน์ง่าย ๆ ว่าจรวดขึ้นไปด้วยอัตราเร็วหลุดพ้นหรือไม่ ก็คือลองเปิดดูวิดีโอจรวดใดก็ตามที่ขึ้นจากฐาน และถ้าหากเรากระพริบตาหนึ่งครั้งแล้วเรายังเห็นจรวดนั้นอยู่ที่ฐานได้ ก็แสดงว่าจรวดนั้นไม่ได้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วหลุดพ้นแล้ว แน่หนอนว่าไม่มีจรวดใดที่ขึ้นไปด้วยความเร็วขนาดนั้น นี่เป็นเพราะว่าความเร็วหลุดพ้น 11.2 กิโลเมตรต่อวินาทีนั้นเป็นความเร็วที่สูงมาก (เทียบเท่ากับ 40,000 กิโลเมตรต่อวินาที เลย์ที่เดียว) เร็วกว่ายานพาหนะใด ๆ ที่มนุษย์เคยสร้างมาทั้งหมด ความเร็วหลุดพ้นนั้นเป็นเพียงขอบเขตทางทฤษฎีที่จะระบุว่า เราจะต้องมีความสามารถในการเร่งวัตถุได้เร็วถึงเท่าใด ก่อนที่เราจะสามารถนำมันออกไปจากแรงโน้มถ่วงของโลกได้



▲ ภาพที่ 1.8 การออกตัวของจรวด
ที่มา : คลังภาพ อจท.

หากพิจารณาตามการยุบตัวเนื่องจากแรงโน้มถ่วง สามารถคาดการณ์อนาคตการขยายตัวของเอกภพได้ 3 กรณี ดังนี้

1. เมื่อความหนาแน่นเฉลี่ยของเอกภพมีค่ามากกว่าความหนาแน่นวิกฤตของเอกภพ ($\rho > \rho_c$) เอกภพจะชะลอการขยายตัวลงเรื่อย ๆ จนในที่สุดจะหยุดนิ่งก่อนที่จะหดกลับเข้ามาอีกครั้ง ซึ่งเรียกว่า บิกครันช์ (big crunch) และเอกภพอาจจะหดเล็กลงพอที่จะเกิดบิกแบงอีกครั้ง เป็นวัฏจักรซ้ำไปเรื่อย ๆ

2. เมื่อความหนาแน่นเฉลี่ยของเอกภพมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นวิกฤตของเอกภพ ($\rho < \rho_c$) เอกภพไม่มีมวลและแรงโน้มถ่วงมากพอที่จะชะลอการขยายตัวได้ ซึ่งการขยายตัวจะช้าลง แต่เมื่อเอกภพขยายตัวมากขึ้น แรงโน้มถ่วงก็จะมีอิทธิพลลดลงและไม่สามารถที่จะต้านการขยายตัวได้ ในที่สุดเอกภพจะขยายตัวและเย็นตัวลงเรื่อย ๆ เหลือเพียงซากกระจุกกาแล็กซีที่อยู่ห่างกันออกไปไม่มีที่สิ้นสุด

3. เมื่อความหนาแน่นเฉลี่ยของเอกภพมีค่าเท่ากับ ความหนาแน่นวิกฤตของเอกภพ ($\rho = \rho_c$) เอกภพจะขยายตัวช้าลงเรื่อย ๆ แต่ไปหยุดที่ระยะอนันต์ เช่นเดียวกับก้อนหินที่โยนออกไปจากโลกที่ความเร็วหนึ่ศูนย์กลางจะมีพลังงานเพียงพอที่จะหลุดออกจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่ระยะอนันต์

อย่างไรก็ตาม ทั้ง 3 กรณีที่กล่าวมา เป็นแนวความคิดแบบเดิมเท่านั้น จนกระทั่งมีการศึกษาการระเบิดของซูเปอร์โนวาประเภทหนึ่งเอ (type Ia supernova) จึงค้นพบว่า แท้จริงแล้วเอกภพมีอัตราการขยายตัวเร็วขึ้นเรื่อย ๆ เรียกว่า การขยายตัวแบบมีความเร่ง (accelerating universe) ซึ่งการค้นพบนี้ได้นำไปสู่การค้นพบพลังงานอีกชนิดหนึ่ง เรียกว่า พลังงานมืด (dark energy)

H.O.T.S.

คำถามท้าทาย การคิดขั้นสูง

สสารที่มนุษย์รู้จัก จำต้อง
ได้ และสังเกตได้เป็นสสาร
ที่เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่
ของเอกภพหรือไม่อย่างไร

Core Concept

ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญ เรื่อง
ทฤษฎีกำเนิดเอกภพ



Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. อุณหภูมิของเอกภพมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร ในขณะที่เอกภพมีการขยายตัว
2. เราสามารถสังเกตเห็นพลังงานที่หลงเหลืออยู่ของบิกแบงได้จากรังสีประเภทใด
3. ในอนาคตการขยายตัวของเอกภพจะมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้นหรือลดลง



Key

Question

เอกภพมีองค์ประกอบ
อะไรบ้าง

3 องค์ประกอบและความหนาแน่น สัมพัทธ์ของเอกภพ

จากความรู้เกี่ยวกับการขยายตัวของเอกภพและข้อมูลจากรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง ทำให้นักเอกภพวิทยาทราบองค์ประกอบและสัดส่วนขององค์ประกอบของเอกภพได้ โดยพบว่า เอกภพประกอบด้วยสสารและพลังงานต่าง ๆ

3.1 องค์ประกอบของเอกภพ

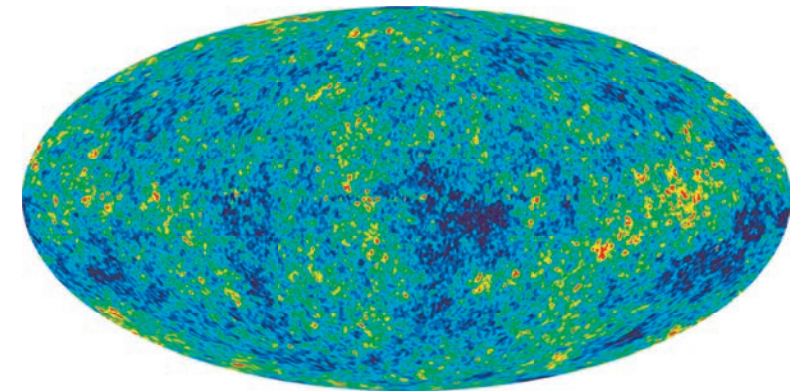
เอกภพมีองค์ประกอบ ดังนี้

1. สสาร (baryonic matter) คือ สสารทุกอย่างที่มนุษย์รู้จัก ธาตุทุกธาตุในตารางธาตุอนุภาคทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นโปรตอน นิวตรอน อิเล็กตรอน นิวทริโน และอนุภาคต่าง ๆ ซึ่งอาจประกอบกันขึ้นเป็นดาวฤกษ์ กาแล็กซี หรือเป็นแก๊สภายในกระจุกกาแล็กซีหรือเนบิวลา

2. โฟตอน คือ อนุภาคของแสง หรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยแสงจากดาว กาแล็กซี และแสงทั้งหมดในเอกภพที่สามารถสังเกตเห็นได้ รวมไปถึงคลื่นวิทยุ ไมโครเวฟ อินฟราเรด รังสียูวี รังสีเอกซ์ และรังสีแกมมา แต่โฟตอนส่วนใหญ่ที่อยู่ในเอกภพปัจจุบัน คือ โฟตอนที่หลุดออกมาเมื่อ 13,700 ล้านปีที่แล้ว ในช่วงรีคอมบิเนชันในรูปของรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง



▲ ภาพที่ 1.9 กระจุกกาแล็กซี Abell 2744 ประกอบด้วยกาแล็กซี ดาวฤกษ์ และแก๊สต่าง ๆ รวมเป็นสสารซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเอกภพ
ที่มา : กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล



▲ ภาพที่ 1.10 รังสีไมโครเวฟพื้นหลังประกอบขึ้นเป็นโฟตอนเกือบทั้งหมดที่มีอยู่ในเอกภพปัจจุบัน
ที่มา : ข้อมูล 9 ปี จากดาวเทียม WMAP

3. สสารมืด (dark matter) จากการศึกษาเกี่ยวกับแรงโน้มถ่วง ไม่ว่าจะเป็นการหมุนของกาแล็กซีหรือการเคลื่อนที่ของกาแล็กซีรอบกระจุกกาแล็กซี ทำให้พบว่า เมื่อพยายามรวมมวลของดาวฤกษ์และแก๊สทั้งหมดในกาแล็กซี มวลที่ได้นั้นไม่สอดคล้องกับแรงโน้มถ่วงที่สังเกตเห็น การศึกษาแรงโน้มถ่วงรอบกาแล็กซี ทำให้ทราบว่า มีมวลสารที่แผ่ออกไปเป็นทรงกลมเกินกว่าขอบเขตของกาแล็กซีหลายเท่า ซึ่งเรียกว่า ฮาโลของสสารมืด (dark matter halo) การศึกษาเหล่านี้ช่วยยืนยันว่า แรงโน้มถ่วงส่วนมากที่ยึดกาแล็กซีและกระจุกกาแล็กซีเอาไว้ด้วยกันมาจากมวลของสสารอีกประเภทหนึ่งที่มีแรงโน้มถ่วงเช่นเดียวกับสสารทั่วไป แต่ไม่มีการปลดปล่อยแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงไม่สามารถสังเกตได้โดยตรง จึงเรียกว่า สสารมืด



▲ ภาพที่ 1.11 กระจุกกาแล็กซี bullet cluster แสดงการกระจายตัวของสสารที่ได้จากการสังเกตรังสีเอกซ์ (สีชมพู) และการกระจายตัวของแรงโน้มถ่วง (สีน้ำเงิน) จากความเหลื่อมล้ำระหว่างการกระจายตัวของสสารและแรงโน้มถ่วงเป็นหลักฐานที่ยืนยันการมีอยู่ของสสารมืด
ที่มา : NASA

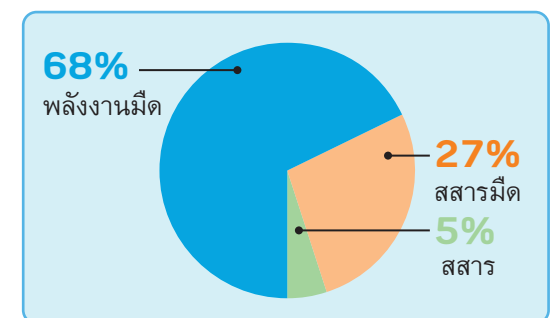
4. พลังงานมืด (dark energy) นักดาราศาสตร์ได้ทำการสังเกตการระเบิดของดาวฤกษ์ที่ห่างไกลออกไปประเภทหนึ่ง เรียกว่า ซูเปอร์โนวาประเภทหนึ่งเอ ซึ่งมีความสว่างสัมบูรณ์ที่แน่นอน เนื่องจากเกิดจากการระเบิดของดาวแคระขาวที่มีมวล 1.4 เท่าของดวงอาทิตย์ทุกครั้งจากการนำความสว่างปรากฏไปเปรียบเทียบกับระยะทางที่ห่างไกลนี้เอง ที่ทำให้นักดาราศาสตร์สามารถคำนวณย้อนกลับไปหาอัตราการขยายตัวของเอกภพในอดีต และค้นพบว่า อัตราการขยายตัวของเอกภพในปัจจุบันนี้มีอัตราที่เร็วกว่าในอดีตและคาดว่าจะเร็วขึ้นอีกในอนาคต ทำให้ค้นพบว่าการขยายตัวของเอกภพนั้นเป็นการขยายตัวแบบมีความเร่ง

เดิมมีการคาดการณ์ว่า การขยายตัวของเอกภพควรจะมีการขยายตัวที่ช้าลง อันเป็นผลมาจากการยุบตัวลงภายใต้แรงโน้มถ่วง แต่เมื่อค้นพบว่า เอกภพมีการขยายตัวแบบมีความเร่ง จึงเกิดข้อสันนิษฐานว่า ในเอกภพจะต้องมีพลังงานบางอย่างที่ส่งผลคล้ายพลังงานที่ผลักทุกอย่างให้ออกห่างจากกันเร็วขึ้นเรื่อย ๆ เรียกพลังงานนี้ว่า พลังงานมืด ซึ่งปัจจุบันยังทราบรายละเอียดเกี่ยวกับธรรมชาติของพลังงานมืดยังน้อยมาก แต่มีหลักฐานอย่างชัดเจนถึงการขยายตัวแบบมีความเร่งของเอกภพ



▲ ภาพที่ 1.12 การระเบิดซูเปอร์โนวาประเภทหนึ่งเอ SN 2011fe ทำให้ดาวฤกษ์ดวงหนึ่งสามารถสว่างขึ้นได้มากกว่าดาวฤกษ์ทั้งกาแล็กซีรวมกัน ซึ่งช่วยให้ค้นพบพลังงานมืด
ที่มา : BJ Fulton (Las Cumbres Observatory Global Telescope/Palomar Transient Factory/Space Telescope Science Institute)

จากข้อมูลที่ได้จากการสังเกตรังสีไมโครเวฟพื้นหลังด้วยดาวเทียมพลังค์ล่าสุด ในปี พ.ศ. 2556 พบว่า องค์ประกอบต่าง ๆ ของเอกภพมีสัดส่วน ดังนี้



▲ ภาพที่ 1.13 องค์ประกอบของเอกภพ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ตารางที่ 1.1 : ตารางแสดงความหนาแน่นสัมพัทธ์ขององค์ประกอบต่างๆ ของเอกภพ	
องค์ประกอบ	ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Ω)
สสาร	0.049
สสารมืด	0.0268
พลังงานมืด	0.683
โฟตอน	10^{-5}

ที่มา : ข้อมูลจากดาวเทียมพลังค์ (วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2556)

จากภาพที่ 1.13 และตารางที่ 1.1 สรุปได้ว่า เอกภพประกอบด้วยพลังงานมืดที่ทำให้เอกภพขยายตัวแบบมีความเร่งประมาณ 68% รองลงมาเป็นสสารมืดที่เราไม่สามารถมองเห็นแต่สัมผัสได้ถึงแรงโน้มถ่วงประมาณ 27% สสารทุกชนิดที่เรารู้จักมีประมาณ 5% และอีกไม่ถึง 0.001% อยู่ในรูปของอนุภาคโฟตอนของแสง

3.2 ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ

จากองค์ประกอบของเอกภพ เราสามารถวัดสัดส่วนขององค์ประกอบแต่ละส่วนได้ โดยนิยามความหนาแน่นสัมพัทธ์ขององค์ประกอบใด ๆ (density parameter; Ω) ได้ ในรูปของสัดส่วนระหว่างความหนาแน่นเฉลี่ยของเอกภพ (ρ) กับความหนาแน่นวิกฤตของเอกภพ (ρ_c) ดังนี้

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$$

นั่นคือ หากรวมความหนาแน่นขององค์ประกอบทุกอย่างในเอกภพ จะได้ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ (Ω) ดังนี้

$$\Omega = \Omega_b + \Omega_m + \Omega_\Lambda + \Omega_\gamma$$

Ω

คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ

Ω_b

คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของสสาร

Ω_m

คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของสสารมืด

Ω_Λ

คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของพลังงานมืด

Ω_γ

คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของโฟตอน

โดยเราพบว่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของโฟตอนมีค่าน้อยมาก ซึ่งมีค่าเพียง 10^{-5} เท่านั้น ถึงแม้ว่าจะมีอนุภาคโฟตอนอยู่จำนวนมากในเอกภพ แต่ปัจจุบันโฟตอนมีพลังงานน้อยเมื่อเทียบกับสสาร ดังนั้น ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของโฟตอนจึงแทบไม่มีผลต่อความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพปัจจุบันมีค่า ดังนี้

$$\Omega_0 = \frac{\rho_0}{\rho_{c_0}}$$

Ω_0

คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ ณ เวลาปัจจุบัน

ρ_0

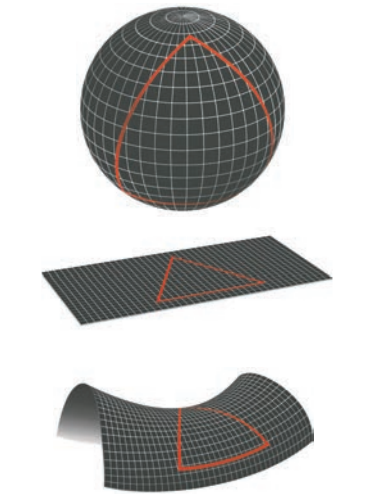
คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยของเอกภพ ณ เวลาปัจจุบัน

ρ_{c_0}

คือ ความหนาแน่นวิกฤตของเอกภพ ณ เวลาปัจจุบัน

ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ เป็นตัวบ่งบอกถึงรูปทรงทางเรขาคณิตและความโค้งของเอกภพ (โครงสร้างปริภูมิเวลาของเอกภพ) เราสามารถเปรียบเทียบความโค้งของเอกภพได้ด้วยพื้นผิว 2 มิติ เราอาจจะเคยทราบกันว่า มุมภายในรูปสามเหลี่ยมจะรวมกันได้ 180 องศา แต่กฎนี้เป็นจริงเฉพาะในกระดาษที่แบนราบหรือมีความโค้งเป็นศูนย์เท่านั้น แต่หากวาดรูปสามเหลี่ยมบนพื้นผิว 2 มิติที่มีความโค้งงอ เช่น ผิวของลูกบอล มุมรวมภายในสามเหลี่ยมจะมีค่ามากกว่า 180 องศา เรียกพื้นผิวแบบนี้ว่า มีความโค้งเป็นบวก (positive curvature) ในขณะที่หากวาดรูปสามเหลี่ยมลงบนรูปทรงอานม้า จะได้มุมรวมภายในสามเหลี่ยมมีค่าน้อยกว่า 180 องศา เรียกพื้นผิวแบบนี้ว่า มีความโค้งเป็นลบ (negative curvature) ซึ่งรูปทรงทางเรขาคณิตและความโค้งที่เป็นไปได้ของเอกภพ มีทั้งสิ้น 3 แบบ ดังนี้

- เมื่อความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1 ($\Omega_0 > 1$) เอกภพจะมีความโค้งเป็นบวก เรียกว่า เอกภพแบบปิด (closed universe)
- เมื่อความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่าเท่ากับ 1 ($\Omega_0 = 1$) เอกภพจะมีความโค้งเป็นศูนย์ เรียกว่า เอกภพแบนราบ (flat universe)
- เมื่อความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่าน้อยกว่า 1 ($\Omega_0 < 1$) เอกภพจะมีความโค้งเป็นลบ เรียกว่า เอกภพแบบเปิด (open universe)



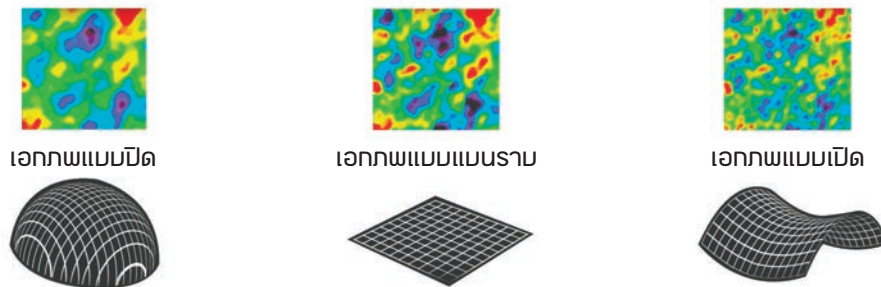
▲ ภาพที่ 1.14 แบบจำลองรูปทรงทางเรขาคณิตและความโค้งที่เป็นไปได้ของเอกภพ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ปัจจุบันพบว่า ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพมีค่าใกล้เคียง 1 นั่นคือ ความหนาแน่นรวมของเอกภพ ณ เวลาปัจจุบันมีค่าใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นวิกฤต ซึ่งบ่งบอกได้ว่าเอกภพมีรูปทรงทางเรขาคณิตเป็นแบบแบนราบในที่สุด

3.3 ผลการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ที่แสดงถึงโครงสร้างของเอกภพ

หลังจากเกิดบิกแบงได้ไม่นาน ข้อมูลของเอกภพในยุคนั้นได้ถูกบันทึกเอาไว้ในรูปของรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง การสังเกตรังสีไมโครเวฟพื้นหลังไม่เพียงบอกได้ถึงสภาพของเอกภพในยุคครีคอมบินันชัน แต่ยังสามารถบอกได้ถึงรูปทรงเรขาคณิตของเอกภพที่รังสีไมโครเวฟพื้นหลังได้เดินทางผ่านกาลเวลามาอีกด้วย

โครงสร้างของเอกภพในยุคครีคอมบินันชัน ได้ถูกบันทึกเอาไว้ในรูปของจุดร้อนและจุดเย็นในรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง อย่างไรก็ตาม เมื่อโฟตอนจากรังสีไมโครเวฟพื้นหลังได้เดินทางผ่านห้วงอวกาศมาเป็นเวลา 13.8 พันล้านปี ตำแหน่งจุดร้อนและจุดเย็นเหล่านี้จะถูกบิดเบือนไปโดยความโค้งงอของเอกภพ การศึกษารังสีไมโครเวฟพื้นหลังยังช่วยบอกถึงความโค้งงอของเอกภพได้อีกด้วย



▲ ภาพที่ 1.15 แบบจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิการแผ่รังสีไมโครเวฟพื้นหลัง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

ผลสรุปจากโครงการสำรวจการกระจายตัวของรังสีไมโครเวฟพื้นหลังจากอวกาศที่ชื่อว่า

การทดลองบูมเมอแรง (Boomerang experiment)

พบว่า ความหนาแน่นเฉลี่ยของเอกภพมีค่าเท่ากับ
ความหนาแน่นวิกฤตของเอกภพ และได้ข้อสรุปว่า
เอกภพมีโครงสร้างปริภูมิเวลา 4 มิติ แบบแบนราบ

Core Concept

ให้นักเรียนสรุปสาระสำคัญ เรื่อง
องค์ประกอบและความหนาแน่นสัมพัทธ์
ของเอกภพ



Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. องค์ประกอบของเอกภพเกิดขึ้นจากอะไรบ้าง
2. สสารธรรมดาที่ประกอบขึ้นเป็นธาตุต่าง ๆ ในตารางธาตุ อนุภาคมูลฐาน และอนุภาคอื่น ๆ คิดเป็นอัตราส่วนเท่าใดในเอกภพ
3. โครงสร้างของปริภูมิเวลาของเอกภพ มีลักษณะความโค้งงอเป็นแบบใด



Key

Question

กาแล็กซีประกอบด้วย
สิ่งใดบ้าง

4 กาแล็กซีและกาแล็กซีทางช้างเผือก

ดาวฤกษ์ กระจุกดาว ฝุ่น และแก๊สเป็นส่วนหนึ่งของ
กาแล็กซีที่ถูกดึงดูดไว้ด้วยแรงโน้มถ่วง กาแล็กซีประกอบด้วย
ดาวฤกษ์ตั้งแต่ 10^7 - 10^{14} ดวง แม้กระทั่งระบบสุริยะก็เป็นส่วนหนึ่งของกาแล็กซีทางช้างเผือก
ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100,000-120,000 ปีแสง และประกอบไปด้วยดาวฤกษ์กว่า
4 แสนล้านดวง

4.1 การกำเนิดและวิวัฒนาการของกาแล็กซี

กาแล็กซีแรกกำเนิดขึ้นเมื่อประมาณ 500 ล้านปี หลังจากที่เกิดเอกภพกำเนิดขึ้น ในช่วงแรก
เอกภพประกอบไปด้วยแก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียม ซึ่งบางบริเวณที่มีความหนาแน่นของแก๊สมาก
จะมีแรงดึงดูดให้แก๊สรวมตัวกันมากขึ้น แล้วเริ่มยุบตัวลงเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ก่อนที่จะเป็น
กาแล็กซี เรียกว่า กาแล็กซีก่อนเกิด (protogalaxy)

อย่างไรก็ตาม รายละเอียดเกี่ยวกับการกำเนิดกาแล็กซียังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่จนถึงปัจจุบัน
โดยบางทฤษฎีเชื่อว่า เกิดการยุบตัวของกาแล็กซีก่อนเกิดพร้อม ๆ กันทั่วทั้งเอกภพ จากนั้นแต่ละ
กาแล็กซีจึงเกิดกระจุกดาวขึ้น ขณะที่บางทฤษฎีเชื่อว่าโครงสร้างขนาดเล็ก เช่น กระจุกดาวทรงกลม
กำเนิดขึ้นก่อน แล้วโครงสร้างขนาดเล็กเหล่านี้จึงรวมตัวกันเป็นกาแล็กซี

▼ ภาพที่ 1.16 ภาพถ่าย Hubble eXtreme Deep Field (XDF) เกือบทุกจุดในภาพ คือ กาแล็กซีที่ถือกำเนิดขึ้น
เมื่อเอกภพมีอายุเพียง 500 ล้านปี กาแล็กซีเหล่านี้อยู่ห่างไกลออกไปมาก จนแสงที่เราเห็นเป็นแสงที่ออกมาจาก
กาแล็กซีเหล่านี้เมื่อ 13,200 ล้านปีที่แล้ว
ที่มา : กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล



เมื่อเวลาผ่านไปดาวฤกษ์ในกาแล็กซีจำนวนมากจะกำเนิดขึ้นแล้วดับลงเป็นวัฏจักร ทำให้มีการหมุนเวียนสารต่าง ๆ ทั่วกาแล็กซี กลายเป็นโครงสร้างจานของกาแล็กซี ในขณะที่กระจุกดาวทรงกลมที่กำเนิดมาก่อนหน้านั้นยังคงอยู่ในบริเวณของเฮโล จากนั้นกาแล็กซี 2 กาแล็กซีอาจชนกัน หลอมรวมกัน หรือกลืนกัน ทำให้มีรูปร่างแตกต่างไปจากเดิม ซึ่งกาแล็กซีทางช้างเผือกก็เกิดจากการรวมกันของกาแล็กซีขนาดเล็กหลายกาแล็กซี และใน



▲ ภาพที่ 1.17 กาแล็กซีนีววน (Whirlpool Galaxy; M51) เป็นกาแล็กซีกังหันที่กำลังกลืนกาแล็กซีขนาดเล็กอยู่
ที่มา : NASA and European Space Agency

อนาคตกาแล็กซีทางช้างเผือกอาจรวมตัวกับกาแล็กซีแอนโดรเมตาที่เป็นกาแล็กซีเพื่อนบ้าน

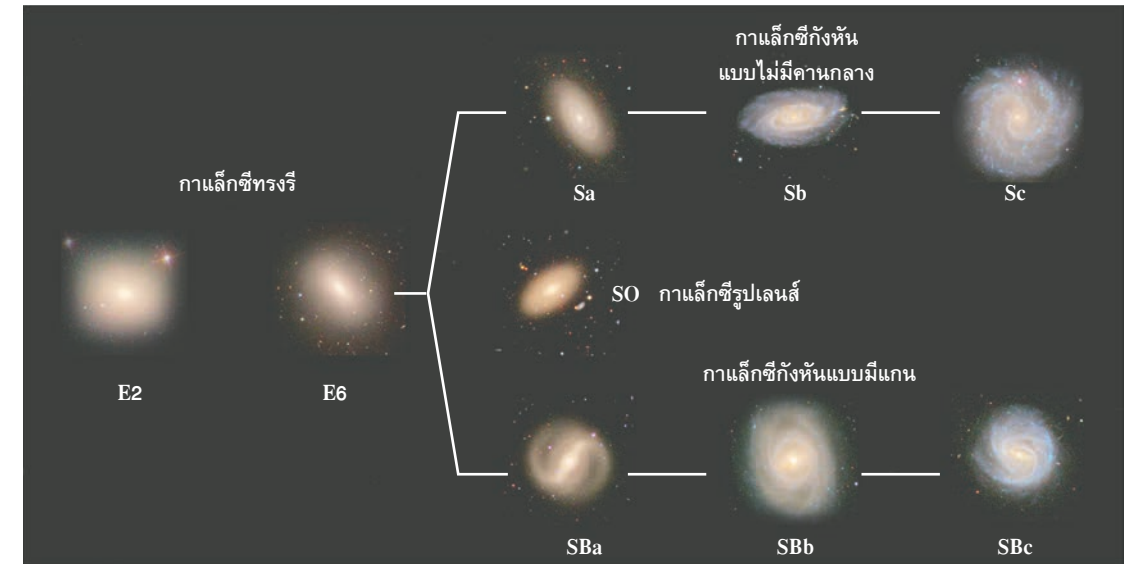
ซึ่งในปัจจุบันยังไม่สามารถเห็นภาพที่แท้จริงของกาแล็กซีทางช้างเผือกได้ เนื่องจากระบบสุริยะอยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือก จึงไม่สามารถสังเกตเห็นได้ว่า กาแล็กซีทางช้างเผือกมีรูปร่างอย่างไรจากภายนอก แต่สามารถสังเกตเห็นแถบที่เป็นจานของกาแล็กซีได้ในลักษณะแถบสว่างบนท้องฟ้าที่เรียกว่า ทางช้างเผือก

▼ ภาพที่ 1.18 แถบกาแล็กซีทางช้างเผือกที่สามารถสังเกตเห็นได้จากยอดดอยอินทนนท์
ที่มา : มติพล ตั้งมติธรรม



4.2 ประเภทของกาแล็กซี

เอ็ดวิน ฮับเบิล (Edwin Hubble) ได้มีการพยายามจัดแบ่งกาแล็กซีออกตามรูปร่างพื้นฐานที่สังเกตได้ โดยแบ่งออกเป็นกาแล็กซีทรงรี กาแล็กซีกังหัน กาแล็กซีรูปลেনส์ และกาแล็กซีแบบไร้รูปร่าง



▲ ภาพที่ 1.19 กาแล็กซีประเภทต่าง ๆ ตามแบบของฮับเบิล
ที่มา : Karen L. Masters, Galaxy Zoo project

1. กาแล็กซีทรงรี (elliptical galaxy)

แทนด้วยสัญลักษณ์ E ตามด้วยเลข 1-7 เพื่อแสดงความรีของกาแล็กซี โดย E0 มีลักษณะใกล้เคียงทรงกลมมากที่สุด จนถึง E7 มีความรีมากที่สุด มักเป็นกาแล็กซีขนาดใหญ่ ไม่มีโครงสร้างแบบจาน มีอัตราการเกิดของดาวฤกษ์ต่ำ ประกอบไปด้วยดาวฤกษ์ที่มีอายุมากแต่มีมวลน้อย ซึ่งดาวฤกษ์ภายในกาแล็กซีมีวงโคจรรอบกาแล็กซีที่ค่อนข้างเป็นไปแบบสุ่ม



▲ ภาพที่ 1.20 กาแล็กซี ESO 325-G004 เป็นกาแล็กซีทรงรีขนาดใหญ่
ที่มา : กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล

จากลักษณะเหล่านี้ ทำให้นักดาราศาสตร์เชื่อว่า กาแล็กซีทรงรีน่าจะเกิดจากการรวมตัวกันของกาแล็กซีมากกว่า 2 กาแล็กซีขึ้นไป ซึ่งทำให้สามารถอธิบายได้ว่า เพราะเหตุใดกาแล็กซีทรงรีจึงมักมีมวลมาก และเหตุใดจึงพบกาแล็กซีทรงรีได้มากในบริเวณที่มีกาแล็กซีอยู่อย่างหนาแน่น

2. กาแล็กซีกังหัน (spiral galaxy) มีลักษณะแบนออกคล้ายจาน บริเวณแกนกลางเรียกว่า นิวเคลียส (nucleus) หรือส่วนป่อง (galactic bulge) มีแขนหมุนเป็นเกลียวรอบแกนกลาง กาแล็กซี เรียกว่า จานกาแล็กซี (galactic disk) และอาจมีดาวที่กระจายเป็นทรงกลมรอบจานกาแล็กซี เรียกว่า กาลดกาแล็กซี (galactic halo)

▼ ภาพที่ 1.21 กาแล็กซีแบบกังหัน M 101 หรือ Pinwheel Galaxy แสดงให้เห็นถึงจานกาแล็กซีแบนและส่วนป่องตรงกลางของกาแล็กซีแบบกังหัน
ที่มา : กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล



1 นิวเคลียส (nucleus)

คือ บริเวณแกนหรือส่วนป่องกลางของกาแล็กซีซึ่งเป็นบริเวณที่มีความหนาแน่นของดาวฤกษ์มากที่สุด ประกอบด้วยดาวฤกษ์อายุมาก และมักมีหลุมดำมวลยวดยิ่ง (supermassive black hole) อยู่ที่ใจกลาง หากมีสารตกลงไปในหลุมดำมวลมหาศาลบริเวณใจกลางกาแล็กซี จะสามารถปล่อยรังสีพลังงานสูงออกมา และกลายเป็นนิวเคลียสกาแล็กซีกัมมันต์ (active galactic nuclei)

2 จาน (disk)

คือ บริเวณที่แบนออกเป็นระนาบ ประกอบด้วยฝุ่นและแก๊สในกาแล็กซีที่หมุนวนกันอยู่ ซึ่งเมื่อแก๊สหมุนวนมาชนกันทำให้เกิดเป็นแขนกาแล็กซี และเป็นบริเวณที่เกิดกระจุกดาวใหม่อยู่เสมอ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ส่วนจานของกาแล็กซีเป็นส่วนที่มีดาวเกิดใหม่จำนวนมาก และเต็มไปด้วยฝุ่นจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ของดาวฤกษ์ ซึ่งฝุ่นเหล่านี้เป็นอุปสรรคต่อการศึกษาของนักดาราศาสตร์ เนื่องจากบดบังแสงของกาแล็กซีและดาวที่อยู่เบื้องหลัง

3 เฮโล (halo)

คือ อาณาเขตทรงกลมที่ล้อมรอบส่วนของจานกาแล็กซี ส่วนของเฮโลนี้โดยมากปราศจากแก๊สและฝุ่น เนื่องจากแก๊สและฝุ่นที่อยู่ในเฮโลจะต้องโคจรตัดผ่านและชนกับฝุ่นในจาน แล้วรวมตัวกันกลายเป็นจานในที่สุด แต่เมื่อฝุ่นยุบตัวลงเป็นดาวฤกษ์แล้ว จะมีพื้นที่หน้าตัดรวมที่น้อยกว่าดาวฤกษ์ที่กำเนิดมานานแล้ว จึงยังสามารถโคจรอยู่ในเฮโลต่อไปได้ เช่น กระจุกดาวทรงกลมหรือดาวฤกษ์ที่มาจากกาแล็กซีอื่นที่ถูกกาแล็กซีของเราดูดกลืนลงไป

1) กาแล็กซีกังหันแบบธรรมดา (normal spiral galaxy) แทนด้วยสัญลักษณ์ S ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็ก ได้แก่ a b c และ d เพื่อใช้แทนขนาดของส่วนป่องบริเวณตรงกลางกาแล็กซีและความหนาแน่นของแขน โดยกาแล็กซีแบบ Sa เป็นกาแล็กซีที่มีส่วนป่องบริเวณตรงกลางใหญ่ มีความหนาแน่นของแขนมาก จนสังเกตแยกแยะแขนแต่ละอันได้ยาก ในขณะที่กาแล็กซีแบบ Sd เป็นกาแล็กซีที่มีส่วนป่องบริเวณตรงกลางเล็ก มีแขนเปิด เห็นแขนเกลียวได้ชัดเจน กาแล็กซีกังหันแบบธรรมดา เช่น กาแล็กซี M 101 ซึ่งจัดอยู่ในกาแล็กซีแบบ Sc กาแล็กซี M 81 ซึ่งจัดอยู่ในกาแล็กซีแบบ Sb

2) กาแล็กซีกังหันแบบมีคาน (barred spiral galaxy) แทนด้วยสัญลักษณ์ SB ตามด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็ก ได้แก่ a b c และ d เพื่อใช้แทนขนาดของส่วนป่องบริเวณตรงกลางกาแล็กซี มีลักษณะคล้ายกาแล็กซีกังหันแบบธรรมดา แต่ต่างกันที่โครงสร้างของส่วนป่องตรงกลางที่มีลักษณะยืดออกมาเป็นคาน เช่น กาแล็กซี M 83

จากการศึกษา พบว่า ส่วนคานของกาแล็กซีไม่ได้ประกอบไปด้วยสสารที่หมุนไปพร้อม ๆ กัน แต่เป็นลักษณะของคลื่นความหนาแน่น (density wave) คล้ายกับถนนที่มีการจราจรคับคั่ง ซึ่งแม้ว่าจะมีรถยนต์บางคันออกไปจากถนนเส้นนี้ แต่ก็จะมีรถยนต์คันใหม่เข้ามาเพิ่มเติมอยู่ตลอดเวลา จึงเห็นเสมือนว่าถนนเส้นนี้มีรถยนต์อยู่หนาแน่นตลอดเวลา

นอกจากนี้ ส่วนของคานอาจเป็นโครงสร้างชั่วคราว เมื่อเวลาผ่านไปอาจสลายตัวไป จนกลายเป็นกาแล็กซีกังหันแบบธรรมดา และอาจจะเปลี่ยนกลับมาเป็นกาแล็กซีกังหันแบบมีคานอีกในช่วงระยะเวลาประมาณ 2,000 ล้านปี ซึ่งปัจจุบันพบกาแล็กซีที่มีลักษณะคล้ายคลึงอยู่ระหว่างกาแล็กซีกังหันแบบธรรมดาและแบบมีคานด้วย เช่น กาแล็กซี NGC 253



▲ ภาพที่ 1.22 กาแล็กซี M 101 เป็นกาแล็กซีกังหันแบบธรรมดา
ที่มา : กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล



▲ ภาพที่ 1.23 กาแล็กซี M 83 เป็นกาแล็กซีกังหันแบบมีคาน
ที่มา : มติพล ตั้งมติธรรม



▲ ภาพที่ 1.24 กาแล็กซี NGC 253 เป็นกาแล็กซีที่มีลักษณะคล้ายคลึงอยู่ระหว่างกาแล็กซีกังหันแบบธรรมดาและแบบมีคาน
ที่มา : มติพล ตั้งมติธรรม

3. กาแล็กซีรูปเลนส์ (lenticular galaxy) หรือกาแล็กซีลูกสะบ้า แทนด้วยสัญลักษณ์ S0 มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างกาแล็กซีทรงรีกับกาแล็กซีกังหัน โดยมีลักษณะเป็นจานคล้ายกับกาแล็กซีกังหันแต่ไม่มีแขน มีส่วนป่องตรงกลางขนาดใหญ่ เมื่อเทียบกับขนาดของจาน เช่น กาแล็กซี NGC 2787



▲ ภาพที่ 1.25 กาแล็กซี NGC 2787 เป็นกาแล็กซีรูปเลนส์
ที่มา : กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล

4. กาแล็กซีแบบไร้รูปร่าง (irregular galaxy) นอกจากประเภทของกาแล็กซีที่กล่าวไปเบื้องต้นแล้ว กาแล็กซีบางประเภทมีรูปร่างที่ไร้รูปแบบและไม่สามารถจำแนกได้ตามเงื่อนไขที่กล่าวมาเบื้องต้น จึงเรียกกาแล็กซีนี้ว่า กาแล็กซีแบบไร้รูปร่าง แทนด้วยสัญลักษณ์ I ส่วนมากเกิดจากการชนกันของกาแล็กซี 2 กาแล็กซีขึ้นไป หรือเกิดจากการรบกวนด้วยแรงโน้มถ่วงของกาแล็กซีข้างเคียง เช่น กาแล็กซีแมกเจลแลนใหญ่



▲ ภาพที่ 1.26 กาแล็กซีแมกเจลแลนใหญ่ เป็นกาแล็กซีแคระแบบไร้รูปร่าง
ที่มา : Wei-Hao Wang

Earth Science Focus การจำแนกประเภทกาแล็กซี

- ประเภทของกาแล็กซีนั้น ไม่ได้มีนิยามที่มีเงื่อนไขตายตัว แต่ขึ้นอยู่กับรูปพรรณสัณฐานที่ปรากฏ
- ซึ่งขึ้นอยู่กับการศึกษาของแต่ละบุคคล และในหลาย ๆ ครั้งกาแล็กซีหลายกาแล็กซีก็มีความก้ำกึ่งกัน
- ระหว่าง 2 ประเภท นอกจากนั้น เรายังถูกจำกัดจากมุมมองที่เราสามารถสังเกตกาแล็กซีได้จากบนโลก เช่น อาจจะเป็นการยากที่จะจำแนกกาแล็กซีกังหันที่หันด้านขอบให้ว่าเป็นกังหันแบบมีแกนหรือไม่
- ยิ่งไปกว่านั้นกาแล็กซีที่อยู่ห่างไกลออกมาจาก ๆ จะมีขนาดเล็ก และมีรายละเอียดที่น้อย การจำแนกประเภทของกาแล็กซีจึงจำเป็นต้องใช้สายตาและวิจารณญาณของมนุษย์ในการตัดสินใจ เช่น โครงการ Galaxy Zoo ที่ให้อาสาสมัครเข้ามาช่วยกันจำแนกประเภทของกาแล็กซีจำนวนหลายแสนกาแล็กซี
- ที่เคยมีการบันทึกภาพเอาไว้ด้วยกล้องโทรทรรศน์ต่าง ๆ



กิจกรรม

ทักษะกระบวนการวิทยาศาสตร์

- การสังเกต
- การจำแนกประเภท

จิตวิทยาศาสตร์

- ความรอบคอบ
- ความมุ่งมั่น อดทน

ลักษณะของกาแล็กซี

วัสดุอุปกรณ์

1. ปากกา
2. สมุดบันทึก

วิธีปฏิบัติ

1. พิจารณาภาพกาแล็กซีที่กำหนดให้ แล้วจัดกลุ่มกาแล็กซี พร้อมระบุเกณฑ์ในการจัดกลุ่ม
2. เปรียบเทียบประเภทของกาแล็กซีแต่ละกาแล็กซีที่จำแนกได้ว่าเหมือนหรือต่างกัน อย่างไร และอภิปราย



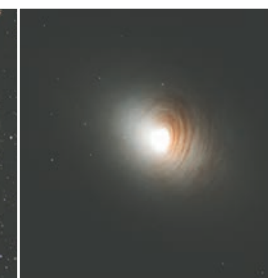
กาแล็กซี NGC 1427A



กาแล็กซี NGC 1132



กาแล็กซี M 83



กาแล็กซี NGC 2787

▲ ภาพที่ 1.27 ภาพกาแล็กซีสำหรับกิจกรรมลักษณะของกาแล็กซี
ที่มา : มติพล ตั้งมติธรรม

คำถามท้ายกิจกรรม

1. การจำแนกประเภทของกาแล็กซีเป็นสิ่งที่ตายตัวหรือไม่ หรือขึ้นอยู่กับบุคคล
2. กาแล็กซีประเภทใดที่มีการจำแนกยากที่สุด



อภิปรายผลกิจกรรม

จากกิจกรรม สรุปได้ว่า กาแล็กซีมี 4 ประเภท ซึ่งแบ่งตามลักษณะที่สังเกตเห็น ได้แก่ กาแล็กซีทรงรี กาแล็กซีกังหัน กาแล็กซีเลนส์ และกาแล็กซีแบบไร้รูปแบบ อย่างไรก็ตาม การจำแนกกาแล็กซีเป็นเพียงการจำแนกที่ใช้การสังเกตของมนุษย์เพียงเท่านั้น ประเภทของกาแล็กซีจึงไม่ได้เป็นสิ่งตายตัว แต่เปลี่ยนแปลงได้ตามการสังเกต

4.3 กาแล็กซีทางช้างเผือก

เนื่องจากระบบสุริยะที่เราอาศัยอยู่นั้นอยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือก เราจึงไม่สามารถสังเกตเห็นได้ว่า กาแล็กซีทางช้างเผือกนั้นมีหน้าตาเป็นอย่างไร แต่ในคืนที่มีดสนิหปราศจากเมฆบดบัง ผู้สังเกตที่อยู่บนโลกสามารถสังเกตเห็นแถบสว่างพาดไปบนท้องฟ้าที่แท้จริงซึ่งประกอบด้วยดวงดาวนับพันล้านดวงในกาแล็กซีของเรา แถบสว่างนี้เองจึงเป็นที่มาของชื่อกาแล็กซีที่ว่า กาแล็กซีทางช้างเผือก (Milky Way Galaxy)

ถึงแม้ว่าเราจะไม่สามารถออกไปภายนอกกาแล็กซีเพื่อสังเกตลักษณะที่แท้จริงของกาแล็กซีได้ แต่เราสามารถอนุมานรูปร่างทรงของกาแล็กซีได้จากแถบกาแล็กซีทางช้างเผือกที่มองเห็น หากมองจากโลกเราจะสังเกตเห็นว่า แถบสว่างที่ประกอบไปด้วยดาวฤกษ์นั้นพาดเป็นวงไปรอบทรงกลมท้องฟ้า จึงทราบได้ว่า กาแล็กซีมีลักษณะเป็นจานแบน ๆ และจากลักษณะของจานที่ไม่สมมาตรกันและมีทิศทางหนึ่งที่มีดาวหนาแน่นกว่า จึงทราบได้ว่า ดวงอาทิตย์นั้นไม่ได้อยู่ในบริเวณกึ่งกลางของจาน

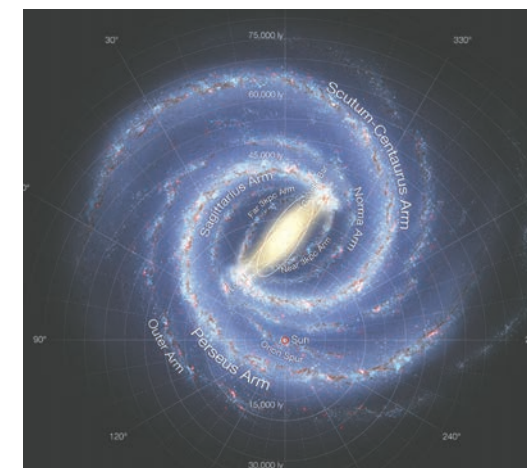
▼ ภาพที่ 1.28 แถบกาแล็กซีทางช้างเผือกที่มองเห็นจากยอดเขาเมานาเคอาในหมู่เกาะฮาวาย
ที่มา : มติพล ตั้งมติธรรม



นอกจากนี้ เรายังสามารถสังเกตแถบฝุ่นดำมืดที่บดบังแสงดาวเอาไว้ตามแนวระนาบของกาแล็กซีทางช้างเผือก และในบริเวณระนาบนี้ เราสามารถพบกระจุกดาวและดาวฤกษ์เกิดใหม่ได้เป็นจำนวนมาก ในขณะที่บริเวณกึ่งกลางของทางช้างเผือกนั้นมีส่วนป่องตรงกลางที่ประกอบไปด้วยดาวฤกษ์อายุมาก ซึ่งทั้งหมดนี้สอดคล้องกับลักษณะกาแล็กซีแบบกังหัน



▲ ภาพที่ 1.29 บริเวณใจกลางกาแล็กซีทางช้างเผือกที่สังเกตได้จากบนโลก บริเวณระนาบของจานกาแล็กซีนั้นเต็มไปด้วยแถบฝุ่นที่คอยบดบังแสงสว่างจากดาวเอาไว้ แต่ยังคงสามารถสังเกตเห็นส่วนป่องบริเวณกลางกาแล็กซีที่ยื่นออกมาเหนือและใต้ระนาบของจานกาแล็กซีเอาไว้ได้
ที่มา : มติพล ตั้งมติธรรม



▲ ภาพที่ 1.30 ภาพจำลองของกาแล็กซีทางช้างเผือกแสดงให้เห็นโครงสร้างกังหันแบบมีคาน (วงกลมสีแดงแสดงถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์)
ที่มา : NASA/JPL-Caltech/ESO/R. Hurt

จากการศึกษาความหนาแน่นของกระจุกดาว กลุ่มแก๊สและฝุ่นในระนาบทางช้างเผือก ทำให้เรายืนยันได้ถึงโครงสร้างแบบแขนของกาแล็กซีที่แบ่งออกเป็นหลาย ๆ แขน และจากความหนาแน่นของแขนกาแล็กซีในบริเวณใกล้ส่วนใจกลางนั้นบ่งชี้ว่ากาแล็กซีทางช้างเผือกเป็นกาแล็กซีกังหันแบบมีคาน โดยที่ระบบสุริยะของเรานั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางทางช้างเผือกไปประมาณ 26,000 ปีแสง ในแขนที่มีชื่อว่า แขนนายพราน (Orion Arm)



กาแล็กซี



กาแล็กซีทางช้างเผือกเป็นกาแล็กซีที่มีขนาดปานกลาง และมีกาแล็กซีเพื่อนบ้านอยู่ในกลุ่มเดียวกันอีกหลายกาแล็กซี รอบ ๆ กาแล็กซีทางช้างเผือกประกอบไปด้วยกาแล็กซีแคระบริวารที่โคจรไปรอบ ๆ คือ กาแล็กซีเมฆแมกเจลแลนใหญ่ (Large Magellanic Cloud; LMC) และกาแล็กซีเมฆแมกเจลแลนเล็ก (Small Magellanic Cloud; SMC) ถัดออกไปเป็นกาแล็กซีเพื่อนบ้านที่อยู่ใกล้กาแล็กซีทางช้างเผือก กาแล็กซีเพื่อนบ้านที่อยู่ใกล้มากที่สุด คือ กาแล็กซีแอนโดรเมดา (Andromeda Galaxy; M31) ซึ่งอยู่ห่างออกไป 2.6 ล้านปีแสง

นักดาราศาสตร์เรียกกลุ่มของกาแล็กซีทางช้างเผือก กาแล็กซีแคระบริวาร และกาแล็กซีเพื่อนบ้านว่า กลุ่มท้องถิ่น (local group)



▲ ภาพที่ 1.31 กาแล็กซีเมฆแมกเจลแลนใหญ่ เป็นกาแล็กซีแบบไร้รูปร่างที่เป็นกาแล็กซีบริวารของทางช้างเผือก สามารถสังเกตเห็นได้ในทางภาคใต้ของประเทศไทยเหนือขอบฟ้าบริเวณทิศใต้
ที่มา : มติพล ตั้งมติธรรม

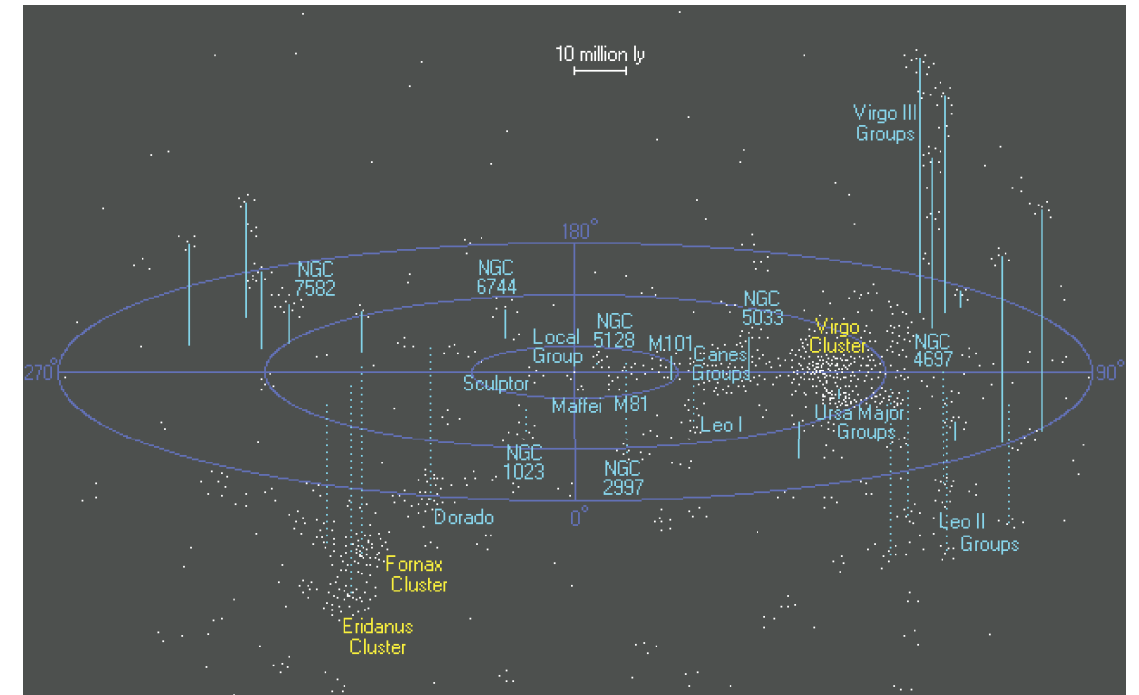
Earth Science Focus

เมฆแมกเจลแลน

■ เมฆแมกเจลแลน (Magellanic Clouds) นั้นไม่ใช่เมฆ แต่เป็นกาแล็กซีบริวารที่อยู่ใกล้ทางช้างเผือกมากที่สุดกาแล็กซีหนึ่ง ด้วยระยะทางที่ใกล้ทำให้เมฆแมกเจลแลนใหญ่นั้นมีขนาดปรากฏใหญ่กว่าดวงจันทร์เต็มดวงถึงกว่า 20 เท่า เมฆแมกเจลแลนนั้นจัดเป็นกาแล็กซีแคระ และเคยเป็นกาแล็กซีแคระแบบกึ่งหั่นมีคานามาก่อนที่จะถูกแรงไทดัลจากแรงโน้มถ่วงของกาแล็กซีทางช้างเผือกบดจนเป็นภาพที่เห็นทุกวันนี้ ด้วยตำแหน่งที่อยู่ค่อนข้างใกล้ในทางช้างเผือก ทำให้ถึงแม้ว่าเมฆแมกเจลแลนทั้งสองจะสามารถสังเกตเห็นได้จากทุกบริเวณของประเทศไทย แต่จะโผล่ขึ้นมาพ้นขอบฟ้าทางทิศใต้เพียงไม่เกิน 10 องศา และสามารถสังเกตได้ง่ายกว่าในทางภาคใต้ของประเทศไทย

4.4 กระจุกกาแล็กซี

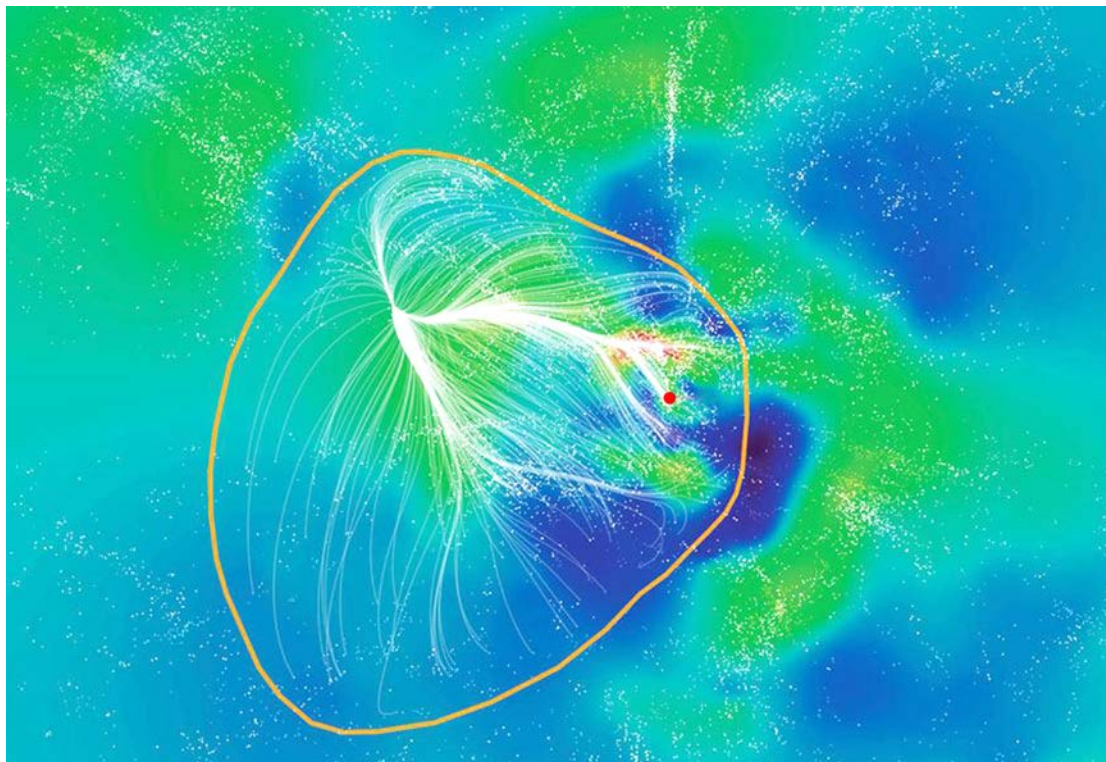
กาแล็กซีไม่ได้อยู่เพียงลำพังในเอกภพ แต่มักรวมตัวกันด้วยแรงโน้มถ่วงกลายเป็นกระจุกกาแล็กซี (galaxy cluster) เช่น กระจุกเวอร์จิโก (Virgo cluster) กระจุกฟอร์แนกซ์ (Fornax cluster) กระจุกเฮอร์คิวลีส (Hercules cluster) กระจุกโคมา (Coma cluster) ซึ่งรวมตัวกันเป็นกระจุกดาราจักรยิ่งยวดอีกต่อหนึ่ง



▲ ภาพที่ 1.32 เอกภพในรัศมี 100 ล้านปีแสงจากโลก แสดงให้เห็นถึงกระจุกกาแล็กซียิ่งยวดเวอร์จิโก (Virgo supercluster) บริเวณกึ่งกลางแสดงบริเวณของกลุ่มท้องถิ่นซึ่งมีกาแล็กซีทางช้างเผือกของเรา รวมไปถึงกาแล็กซีแอนโดรเมดา และกาแล็กซีแคระอื่นๆ อีกอย่างน้อย 54 กาแล็กซี กลุ่มท้องถิ่นรวมกับกระจุกกาแล็กซีเวอร์จิโกและกระจุกกาแล็กซีอื่น ๆ รวมกัน เรียกว่า กระจุกกาแล็กซียิ่งยวดเวอร์จิโก
ที่มา : Richard Powell

ภายในกระจุกกาแล็กซีนอกจากจะประกอบไปด้วยกาแล็กซีแล้ว ยังประกอบด้วยสสารภายในกระจุกกาแล็กซี (intracluster medium; ICM) ซึ่งเป็นแก๊สที่ได้รับพลังงานความร้อนจากพลังงานศักย์โน้มถ่วงของการยุบตัวของกระจุกกาแล็กซี ทำให้มีอุณหภูมิประมาณ 10-100 ล้านเคลวิน และสามารถสังเกตเห็นในช่วงคลื่นรังสีเอกซ์ นอกจากนี้ เรายังค้นพบว่า มวลส่วนมากของกาแล็กซีที่ยึดกระจุกกาแล็กซีเข้าไว้ด้วยกัน ประกอบไปด้วยสสารที่ไม่ส่องแสงได้ออกมาเลย เรียกว่า สสารมืด

ปี พ.ศ. 2557 ทีมนักดาราศาสตร์จากมหาวิทยาลัยฮาวายได้นำตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ของกาแล็กซีที่สามารถสังเกตได้ มาสร้างแผนที่การเคลื่อนที่ของกาแล็กซีคล้ายกับแผนที่การไหลของกระแสน้ำ ทำให้สามารถสังเกตเห็นบริเวณที่กาแล็กซีแยกออกจากกัน ซึ่งทีมนักดาราศาสตร์เหล่านี้ได้นำแนวการแยกของกาแล็กซีเป็นเขตแบ่งโครงสร้างของกาแล็กซีตามแรงโน้มถ่วง และพบว่ากระจุกดาวที่เราอาศัยอยู่เป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างที่ใหญ่กว่านั้น จึงตั้งชื่อว่า Laniakea ซึ่งเป็นภาษาฮาวาย แปลว่า สรวงสวรรค์อันกว้างใหญ่



▲ ภาพที่ 1.33 โครงสร้างขนาดใหญ่ที่กระจุกกาแล็กซีกำลังไหลไปรวมตัวกันภายใต้แรงโน้มถ่วง ซึ่งเขตเส้นสีเหลือง เรียกว่า Laniakea ส่วนจุดสีแดง คือ ตำแหน่งของกาแล็กซีทางช้างเผือก
ที่มา : R. Brent Tully

Topic Questions

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. กาแล็กซีทางช้างเผือกมีรูปร่างแบบใด
2. เอ็ดวิน ฮับเบิลจัดแบ่งประเภทของกาแล็กซีตามเงื่อนไขใด
3. กาแล็กซีประเภทใดที่มักจะมีแถบฝุ่นและดาวเกิดใหม่ได้มาก



เอกภพถือกำเนิดขึ้นมาพร้อม ๆ กับบิกแบง การระเบิดครั้งยิ่งใหญ่ที่เป็นจุดเริ่มต้นของสสาร พลังงาน อวกาศ และเวลาทั้งปวง พลังงานส่วนหนึ่งที่หลงเหลืออยู่จากการระเบิดครั้งใหญ่นี้ ในปัจจุบันก็ยังคงเดินทางไปทั่วเอกภพในรูปของรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง

หากใครยังมีโทรทัศน์แอนะล็อกเครื่องเก่า ๆ สักเครื่องหนึ่ง และเคยเปลี่ยนไปช่องที่ยังไม่ได้มีการจูนสัญญาณ เราจะพบกับเสียงซ่าพร้อมกับจุดขาวดำที่กะพริบไปทั่วหน้าจอ ดังภาพที่ 1.34 หรือหากเราจูนวิทยุไปในช่องที่ยังไม่ได้มีคลื่นจากสถานีวิทยุ เราอาจจะได้ยินเสียงซ่าที่เต็มไปด้วยสัญญาณรบกวน

สัญญาณรบกวนทั้งในโทรทัศน์แอนะล็อก และในวิทยุ นั้น มีแหล่งที่มาส่วนมากจากบนโลก ทั้งอุณหภูมิของเครื่องมือ ชั้นบรรยากาศโลก ที่แผ่รังสีวัตถุดำส่วนหนึ่งไปยังช่วงคลื่นวิทยุ สัญญาณวิทยุจากบนพื้นโลก สัญญาณรบกวนที่มาจากชั้นไอโอโนสเฟียร์หรือแม้กระทั่งดวงอาทิตย์ที่ปล่อยคลื่นออกมาในช่วงคลื่นวิทยุ ล้วนแล้วแต่เป็นส่วนหนึ่งของสัญญาณรบกวนที่โทรทัศน์และวิทยุสามารถตรวจพบได้ทั้งนั้น

นอกจากสัญญาณรบกวนที่มีแหล่งที่มาจากบนโลกหรือในระบบสุริยะแล้ว สัญญาณรบกวนอีกส่วนหนึ่งประมาณไม่ถึง 1% นั้น มาจากสัญญาณที่มีต้นกำเนิดมาจากรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง เป็นคลื่นวิทยุที่เดินทางข้ามที่ว่างในเอกภพมาเป็นเวลากว่า 13,800 ล้านปีที่ผ่านมา ก่อนที่จะถูกตรวจพบโดยโทรทัศน์หรือวิทยุของเรา ซึ่งนี่เป็นหลักฐานชิ้นหนึ่งที่บ่งชี้ให้เราทราบว่า เอกภพถือกำเนิดขึ้นมาจากการระเบิดครั้งยิ่งใหญ่



▲ ภาพที่ 1.34 หน้าจอโทรทัศน์แอนะล็อกที่ยังไม่ได้จูนสัญญาณ
ที่มา : คลังภาพ อจท.



▲ ภาพที่ 1.35 การจูนวิทยุเพื่อหาคลื่นสัญญาณ
ที่มา : คลังภาพ อจท.

Summary

เอกภพและกาแล็กซี

การขยายตัวของเอกภพ

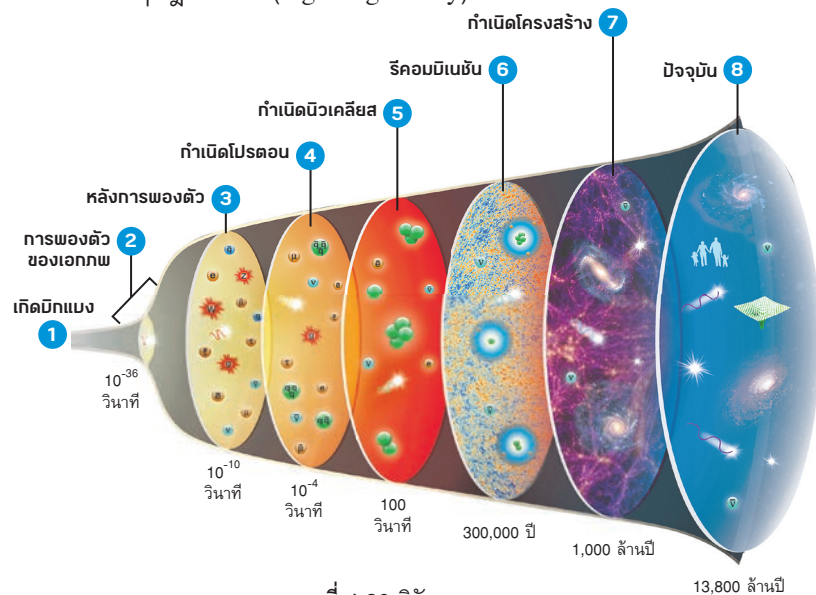
- การศึกษาเกี่ยวกับเอกภพ
 - จักรวาลวิทยา (Cosmology) คือ การศึกษาเกี่ยวกับเอกภพว่าเอกภพเกิดขึ้นอย่างไร ประกอบขึ้นจากอะไร บ้าง สิ่งใดที่ทำให้เอกภพวิวัฒนาการต่อไป เอกภพมีวิวัฒนาการอย่างไร และมีจุดสิ้นสุดหรือไม่ อย่างไร
- กฎของฮับเบิล
 - ฮับเบิลวัดการเลื่อนทางแดงของกาแล็กซี พบว่า กาแล็กซีส่วนมากกำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากกาแล็กซีทางช้างเผือก ทำให้สรุปได้ว่า เอกภพกำลังขยายตัวอยู่
 - กฎของฮับเบิล กล่าวว่า อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างของกาแล็กซีแปรผันตรงกับระยะทาง

$$v = H_0 D$$

- เมื่อ v คือ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างของกาแล็กซี มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อวินาที (km s^{-1})
- H_0 คือ ค่าคงที่ของฮับเบิล มีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก ($\text{km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$)
- D คือ ระยะห่างระหว่างผู้สังเกตกับกาแล็กซี มีหน่วยเป็น เมกะพาร์เซก (Mpc) โดย 1 เมกะพาร์เซก เท่ากับ 3.26 ล้านปีแสง
- ค่าคงที่ของฮับเบิลมีค่าประมาณ $70 \text{ km s}^{-1} \text{Mpc}^{-1}$ นั้นหมายความว่า เอกภพมีการขยายตัวด้วยอัตราเร็ว 70 กิโลเมตรต่อวินาที ในทุก ๆ 1 เมกะพาร์เซก

ทฤษฎีกำเนิดเอกภพ

- เอกภพกำเนิดขึ้นตามทฤษฎีบิกแบง (big bang theory)



▲ ภาพที่ 1.36 วิวัฒนาการของเอกภพ
ที่มา : Particle Data Group, LBNL 2015

- คุณสมบัติของเอกภพ

เอกภพมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน หมายถึง ทุกบริเวณของเอกภพมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ

เอกภพมีลักษณะเหมือนกันทุกทิศทาง หมายถึง ไม่ว่าเราจะสังเกตเอกภพในทิศทางใด จะพบว่า เอกภพมีลักษณะไม่ต่างกัน

- รังสีไมโครเวฟพื้นหลัง เป็นรังสีที่แผ่มาจากทุกทิศทางและมีปริมาณเท่ากันทุกส่วน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการแผ่รังสีของวัตถุดำที่อุณหภูมิ 2.7 เคลวิน

องค์ประกอบและความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ

- องค์ประกอบของเอกภพ

- สสาร คือ สสารทุกอย่างที่มนุษย์รู้จัก วัตถุทุกวัตถุในตารางธาตุและอนุภาคทุกชนิด
- โฟตอน คือ อนุภาคของแสง ซึ่งโฟตอนในเอกภพปัจจุบันส่วนใหญ่อยู่ในรูปของรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง
- สสารมืด คือ มวลของสสารส่วนมากในเอกภพที่ไม่มีแรงตอบสนองต่อแรงแม่เหล็กไฟฟ้า
- พลังงานมืด คือ พลังงานบางอย่างที่มีผลทำให้เอกภพขยายตัวแบบมีความเร่ง

- ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ

$$\Omega = \frac{\rho}{\rho_c}$$

เมื่อ Ω คือ ความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ

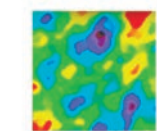
ρ คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยของเอกภพ

ρ_c คือ ความหนาแน่นวิกฤตของเอกภพ

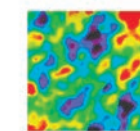
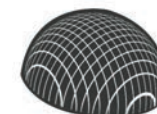
ปัจจุบันความหนาแน่นสัมพัทธ์ของเอกภพ (Ω_0) มีค่าใกล้เคียง 1 บ่งบอกได้ว่า เอกภพมีรูปร่างทางเรขาคณิตเป็นแบบแบนราบ (Ω_0 มักใช้แทนค่า Ω ณ เวลาปัจจุบัน)

- ผลการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์ที่แสดงถึงโครงสร้างของเอกภพ

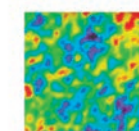
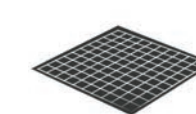
การหาความแปรปรวนการกระจายตัวของอนุกรมการแผ่รังสีไมโครเวฟพื้นหลัง ช่วยให้นักเอกภพวิทยาสรุปได้ว่า เอกภพมีโครงสร้างปริภูมิเวลา 4 มิติ แบบแบนราบ



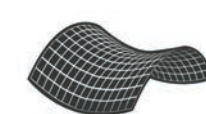
เอกภพแบบปิด



เอกภพแบบแบนราบ



เอกภพแบบเปิด



▲ ภาพที่ 1.37 แบบจำลองการกระหน่ำตัวของอนุกรมการแผ่รังสีไมโครเวฟพื้นหลัง
ที่มา : คลังภาพ อจท.

กาแล็กซีและกาแล็กซีทางช้างเผือก

กาแล็กซี

กาแล็กซีแรกกำเนิดขึ้นเมื่อประมาณ 500 ล้านปี หลังจากที่เกิดเอกภพกำเนิดขึ้น ในช่วงแรกเอกภพประกอบไปด้วยแก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียม ซึ่งบางบริเวณที่มีความหนาแน่นของแก๊สมากจะมีแรงดึงดูดให้แก๊สรวมตัวกันมากขึ้น แล้วเริ่มยุบตัวลงเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ก่อนที่จะเป็นกาแล็กซี เรียกว่า กาแล็กซีก่อนเกิด (protogalaxy)

ประเภทของกาแล็กซี แบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

1) กาแล็กซีทรงรี

- แทนด้วยสัญลักษณ์ E ตามด้วยเลข 1-7 เพื่อแสดงความรีของกาแล็กซี
- ไม่มีโครงสร้างแบบจาน และมีอัตราการเกิดของดาวฤกษ์ต่ำ
- ประกอบด้วยดาวฤกษ์ที่มีอายุมาก แต่มีมวลน้อย
- ดาวฤกษ์มีวงโคจรที่ค่อนข้างเป็นไปแบบสุ่ม

2) กาแล็กซีกังหัน

- กาแล็กซีกังหันแบบธรรมดา แทนด้วยสัญลักษณ์ S ตามด้วยตัวอักษร a b c เพื่อแสดงขนาดของส่วนป่องตรงกลาง
- กาแล็กซีกังหันแบบมีคาน แทนด้วยสัญลักษณ์ SB ตามด้วยตัวอักษร a b c เช่นกัน ซึ่งคล้ายกาแล็กซีกังหันแบบธรรมดา แต่มีส่วนยื่นออกมาเป็นคาน

3) กาแล็กซีรูปเลนส์

- แทนด้วยสัญลักษณ์ S0
- มีลักษณะก้ำกึ่งระหว่างกาแล็กซีรีกับกาแล็กซีกังหัน
- ส่วนป่องตรงกลางจะมีขนาดใหญ่

4) กาแล็กซีแบบไร้รูปร่าง

- แทนด้วยสัญลักษณ์ I
- ไม่มีรูปร่างที่แน่นอน
- เกิดจากการหลอมรวมหรือชนกันของกาแล็กซีมากกว่า 2 กาแล็กซีขึ้นไป

กาแล็กซีทางช้างเผือก

เนื่องจากระบบสุริยะที่เราอาศัยอยู่นั้นอยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือก เราจึงไม่สามารถสังเกตเห็นกาแล็กซีทางช้างเผือกได้ แต่ในคืนที่มีดสนิทปราศจากเมฆบดบังแล้ว ผู้สังเกตที่อยู่บนโลกสามารถสังเกตเห็นแถบสว่างพาดไปบนท้องฟ้า ซึ่งที่แท้จริงแล้วประกอบด้วยดวงดาวนับ 1,000 ล้านดวงในกาแล็กซีของเรา แถบสว่างนี้เองจึงเป็นที่มาของชื่อกาแล็กซีของเราว่า กาแล็กซีทางช้างเผือก

กระจุกกาแล็กซี

ประกอบด้วยกาแล็กซี สสารภายในกระจุกกาแล็กซี และสสารที่ไม่ส่องแสงใด ๆ ออกมาเลย เรียกว่า สสารมืด



Apply Your Knowledge

คำชี้แจง ให้นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 3-4 คน แล้วศึกษาสถานการณ์ที่กำหนดให้ต่อไปนี้

ผู้สังเกต 2 คน สังเกตทางช้างเผือกซึ่งเป็นบริเวณหนึ่งของกาแล็กซีทางช้างเผือกในเวลาเดียวกัน แต่ละจุดดูต่างกัน

จากสถานการณ์ นักเรียนคิดว่า ผู้สังเกตทั้ง 2 คน จะสังเกตเห็นทางช้างเผือกเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร โดยให้แต่ละกลุ่มใช้แผนที่ดาวช่วยในการพิจารณาคำตอบ



Self Check

ให้นักเรียนตรวจสอบความเข้าใจ โดยพิจารณาข้อความว่าถูกหรือผิด แล้วบันทึกลงในสมุด หากพิจารณาข้อความไม่ถูกต้อง ให้กลับไปทบทวนเนื้อหาตามหัวข้อที่กำหนดให้

	ถูก/ผิด	บทตอนที่หัวข้อ
1. การขยายของเอกภพ คือ การเพิ่มขนาดของกาแล็กซี และกาแล็กซีในเอกภพยังคงอยู่ที่เดิม	☐	1.2
2. กาแล็กซีที่กำลังเคลื่อนที่เข้าใกล้ผู้สังเกตนั้นจะมีความยาวคลื่นแสงที่สั้นลง เรียกว่า การเลือนทางน้ำเงิน	☐	1.2
3. 10^{-4} วินาที หลังจากเกิดบิกแบง เอกภพเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ควาร์กสามารถจับตัวกันกลายเป็นนิวเคลียสของไฮโดรเจน	☐	2.1
4. รังสีไมโครเวฟพื้นหลังเกิดขึ้นในช่วงกำเนิดนิวเคลียส ซึ่งเอกภพมีอายุประมาณ 300,000 ปี	☐	2.3
5. เอกภพประกอบไปด้วยโฟตอนเป็นองค์ประกอบหลัก	☐	3.1
6. เมื่อความหนาแน่นสัมพัทธ์มีค่ามากกว่า 1 เอกภพจะมีความโค้งเป็นบวกเรียกว่า เอกภพแบบเปิด	☐	3.2
7. กาแล็กซีทรงรี เป็นกาแล็กซีที่ประกอบไปด้วยดาวฤกษ์ที่มีอายุมาก แต่มีมวลน้อย	☐	4.2
8. กาแล็กซีทางช้างเผือกเป็นกาแล็กซีกังหันแบบมีคาน	☐	4.3
9. สามารถพบนิวเคลียสกาแล็กซีกัมมันต์ได้ในกาแล็กซีแมกเจลแลนใหญ่	☐	4.3
10. กาแล็กซีทางช้างเผือก กาแล็กซีแคระบิวาร์ และกาแล็กซีเพื่อนบ้านเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มที่เรียกว่า กลุ่มท้องถิ่น	☐	4.3



Unit questions 1

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. เอ็ดวิน ฮับเบิล หาดัตราเร็วในการเคลื่อนที่ถอยห่างของกาแล็กซีจากการสังเกตสิ่งใด
2. เพราะเหตุใดจึงสังเกตเห็นกาแล็กซีที่อยู่ไกลออกไปมีการเลื่อนทางแดงของแสง
3. เพราะเหตุใดจึงสังเกตเห็นกาแล็กซีส่วนใหญ่กำลังเคลื่อนที่ถอยห่างออกจากโลก
4. กาแล็กซีหนึ่งอยู่ห่างออกไป 10 เมกะพาร์เซก หากค่าคงที่ของฮับเบิลมีค่า 70 กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก กาแล็กซีนี้มีอัตราเร็วในการถอยห่างจากโลกเท่าใด
5. ในช่วงแรก ๆ หลังการเกิดบิกแบง เอกภพมีขนาดและอุณหภูมิเป็นอย่างไร
6. รังสีไมโครเวฟพื้นหลังเกิดได้อย่างไร
7. การขยายตัวของเอกภพจะทำให้โลกหลุดออกจากวงโคจรของดวงอาทิตย์ได้หรือไม่ อย่างไร
8. กาแล็กซีส่วนใหญ่กำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากโลก แต่บางกาแล็กซีที่อยู่ใกล้กับกาแล็กซีทางช้างเผือกกำลังเคลื่อนที่เข้าหาโลก เหตุใดกาแล็กซีเหล่านี้จึงไม่เคลื่อนที่ออกห่างจากโลกเช่นเดียวกับกาแล็กซีอื่น
9. อัตราการขยายตัวของเอกภพในอนาคตจะเป็นอย่างไร
10. เมื่อสังเกตจากโลกจะเห็นกาแล็กซีส่วนใหญ่กำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากโลก หากผู้สังเกตอยู่ในกาแล็กซีอื่น จะสังเกตเห็นปรากฏการณ์นี้เหมือนหรือต่างกัน อย่างไร
11. ดวงอาทิตย์อยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือกหรือไม่ อย่างไร
12. เพราะเหตุใดจึงแทบจะไม่พบดาวฤกษ์อายุอยู่ในกาแล็กซีทรงรีและกาแล็กซีแบบไร้รูปร่างได้เลย
13. กาแล็กซีกังหันและกาแล็กซีเลนส์มีสิ่งๆที่เหมือนกันหรือไม่ อย่างไร
14. นักดาราศาสตร์เชื่อว่ากาแล็กซีทรงรีเกิดขึ้นได้อย่างไร จงอธิบาย
15. แก่นกาแล็กซีก็มัมมีลักษณะอย่างไร และสามารถพบได้ในกาแล็กซีแบบใด



แนวข้อสอบ A-Level

คำชี้แจง : ให้นักเรียนตอบคำถามต่อไปนี้

1. การขยายตัวของเอกภพเป็นการขยายตัวของพื้นที่ว่างในเอกภพ แต่กาแล็กซีในเอกภพยังคงอยู่ที่เดิม ข้อสรุปใดต่อไปนี้อาจต้องใช่หรือไม่

ข้อความ	ใช่/ไม่ใช่
1. กาแล็กซีทุกกาแล็กซีกำลังถอยห่างออกจากโลกของเรา	ใช่/ไม่ใช่
2. กาแล็กซีที่อยู่ไกลออกไป กำลังถอยห่างออกไปในอัตราที่เร็วกว่า	ใช่/ไม่ใช่
3. การขยายตัวของเอกภพไม่มีผลต่อวงโคจรของดวงจันทร์รอบโลก	ใช่/ไม่ใช่
4. การขยายตัวของเอกภพไม่มีผลต่อวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	ใช่/ไม่ใช่
5. กาแล็กซีแอนโดรเมดากำลังถอยห่างออกจากกาแล็กซีทางช้างเผือก	ใช่/ไม่ใช่

2. ระบบสุริยะที่เราอาศัยอยู่นั้นอยู่ภายในกาแล็กซีทางช้างเผือก ซึ่งเราสามารถสังเกตได้ในคืนที่มืดสนิทและไม่มีเมฆบัง ข้อสรุปใดต่อไปนี้อาจต้องใช่หรือไม่

ข้อความ	ใช่/ไม่ใช่
1. ระบบสุริยะอยู่ที่ใจกลางกาแล็กซีทางช้างเผือก	ใช่/ไม่ใช่
2. กาแล็กซีทางช้างเผือกจัดเป็นกาแล็กซีประเภทกังหันแบบมีแกน	ใช่/ไม่ใช่
3. ส่วนที่อยู่ล้อมรอบส่วนโป่งของกาแล็กซีทางช้างเผือก คือ ส่วนป่อง	ใช่/ไม่ใช่
4. กาแล็กซีทางช้างเผือกเป็นสมาชิกของกลุ่มกาแล็กซี เรียกว่า กลุ่มกาแล็กซีท้องถิ่น	ใช่/ไม่ใช่
5. เนื่องจากเราอยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือก เราจึงไม่สามารถเห็นกาแล็กซีทางช้างเผือกได้	ใช่/ไม่ใช่

3. เอ็ดวิน ฮับเบิล ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องใดที่ทำให้พบว่าเอกภพมีการขยายตัว

1. การสังเกตการเคลื่อนที่ของดาวฤกษ์ โดยใช้การวัดสเปกตรัม
2. การสร้างสมการเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดของทฤษฎีสัมพัทธภาพ
3. ศึกษาโครงสร้างของกาแล็กซี ว่าประกอบด้วยดาวฤกษ์จำนวนมาก
4. การวัดการเลื่อนตำแหน่งของสเปกตรัมจากกาแล็กซี เทียบกับระยะห่างจากโลก
5. ศึกษาแรงโน้มถ่วงรอบกาแล็กซี จึงทำให้ทราบว่า มีมวลสารที่แผ่ออกไปเป็นทรงกลมเกินกว่าขอบเขตของกาแล็กซีหลายเท่า

