



หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชั้นมัธยมศึกษาปีที่

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)

ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

๖





หนังสือเรียน

รายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี

โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ

ชั้น

มัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕

ตามผลการเรียนรู้

กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐)
ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑

จัดทำโดย

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ

จัดทำเป็นฉบับ e-book ครั้งที่ ๒ พ.ศ. ๒๕๖๖

มีลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติ

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ขึ้น โดยมีเนื้อหาเช่นเดียวกับหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ ฉบับสิ่งพิมพ์ ที่ได้จัดทำตามผลการเรียนรู้ กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลาง การศึกษาขั้นพื้นฐาน พุทธศักราช ๒๕๕๑ ทุกประการเพื่อให้นักเรียน ครู ผู้ปกครอง นักวิชาการ และ ผู้สนใจทั่วไปเข้าถึงได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว รวมทั้งสามารถเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับ จุดประสงค์ต่าง ๆ ทั้งนี้ สสวท. ขอสงวนสิทธิ์ในหนังสือเรียนฉบับ e-book นี้ตามกฎหมายลิขสิทธิ์ ห้ามผู้ใดทำซ้ำ คัดลอก ดัดแปลง เลียนแบบ จำหน่าย หรือ เผยแพร่โดยมิได้รับอนุญาต

สามารถเข้าถึงสื่อดิจิทัลต่าง ๆ ของ สสวท. ได้ที่ <https://www.ipst.ac.th/ebook-resource/>

คำชี้แจง

สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ได้จัดทำตัวชี้วัดและสาระการเรียนรู้แกนกลาง กลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) ตามหลักสูตรแกนกลางการศึกษาขั้นพื้นฐานพุทธศักราช ๒๕๕๑ โดยมีจุดเน้นเพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีความรู้ความสามารถที่ทัดเทียมกับนานาชาติ ได้เรียนรู้วิทยาศาสตร์ที่เชื่อมโยงความรู้อะบบการ ใช้กระบวนการสืบเสาะหาความรู้และแก้ปัญหาที่หลากหลาย มีการทำกิจกรรมด้วยการลงมือปฏิบัติเพื่อให้ผู้เรียนได้ใช้ทักษะกระบวนการทางวิทยาศาสตร์และทักษะแห่งศตวรรษที่ ๒๑ ซึ่งในปีการศึกษา ๒๕๖๑ เป็นต้นไป โรงเรียนจะต้องใช้หลักสูตรกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (ฉบับปรับปรุง พ.ศ. ๒๕๖๐) สสวท. จึงได้จัดทำหนังสือเรียนที่เป็นไปตามมาตรฐานหลักสูตรเพื่อให้โรงเรียนได้ใช้สำหรับจัดการเรียนการสอนในชั้นเรียน

หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๖ เล่ม ๕ มีผลการเรียนรู้และสาระการเรียนรู้เพิ่มเติมที่ครอบคลุมเนื้อหาบางส่วนที่ปรากฏตามตัวชี้วัดรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ โดยเมื่อผู้เรียนเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๑-๖ ครบทุกชั้นปีในชั้นมัธยมศึกษาปีที่ ๔-๖ แล้ว จะสามารถบรรลุผลสัมฤทธิ์ตามตัวชี้วัดของรายวิชาพื้นฐานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาศาสตร์โลกและอวกาศได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อยอดเนื้อหาจากรายวิชาพื้นฐานไปสู่เนื้อหาในรายวิชาเพิ่มเติมได้โดยไม่ต้องเสียเวลาเรียนซ้ำซ้อน ทั้งนี้หนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๕ นี้ มีเนื้อหาที่จำเป็นที่ต้องเรียนประกอบด้วยเรื่อง เอกภพและกาแล็กซี ดาวฤกษ์ ระบบสุริยะ เทคโนโลยีอวกาศและการประยุกต์ใช้ ซึ่งเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการศึกษาดำเนินระดับอุดมศึกษาในด้านวิทยาศาสตร์ หรือประกอบอาชีพในสาขาที่ใช้วิทยาศาสตร์เป็นฐาน เช่น นักวิจัย วิศวกร สถาปนิก ฯลฯ โดยเน้นกระบวนการคิดวิเคราะห์และการแก้ปัญหา เชื่อมโยงความรู้สู่การนำไปใช้ในชีวิตจริง ผู้เรียนจะได้ทำกิจกรรมที่เป็นพื้นฐานที่สำคัญ รวมทั้งกิจกรรมที่ผู้เรียนสามารถคิดค้นและออกแบบการทดลองด้วยตนเองมีแบบตรวจสอบความรู้ ความเข้าใจก่อนเรียน มีแบบฝึกหัดเพื่อให้ตรวจสอบความรู้หลังจากที่เรียนไปแล้วรวมทั้งสรุปความรู้ในแต่ละบทด้วย ในการจัดทำหนังสือเรียนเล่มนี้ได้รับความร่วมมือเป็นอย่างดีจากผู้ทรงคุณวุฒิ นักวิชาการอิสระ คณาจารย์ทั้งหลาย รวมทั้งครูผู้สอน นักวิชาการ จากสถาบันและสถานศึกษาทั้งภาครัฐและเอกชน จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สสวท. หวังเป็นอย่างยิ่งว่าหนังสือเรียนรายวิชาเพิ่มเติมวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โลก ดาราศาสตร์ และอวกาศ เล่ม ๕ นี้ จะเป็นประโยชน์แก่ผู้เรียนและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ที่จะช่วยให้การจัดการศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล หากมีข้อเสนอแนะใดที่จะทำให้หนังสือเรียนเล่มนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โปรดแจ้ง สสวท. ทราบด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(ศาสตราจารย์ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

ผู้อำนวยการสถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
กระทรวงศึกษาธิการ

ข้อเสนอแนะทั่วไปในการใช้หนังสือเรียน

หนังสือเรียนเป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อให้นักเรียนได้ใช้ในการศึกษาเนื้อหาที่สำคัญและเกิดทักษะที่จำเป็นที่สอดคล้องกับมาตรฐานและสาระการเรียนรู้ รวมทั้งยังมีสื่อที่ช่วยเสริมการเรียนรู้ของนักเรียน โดยสามารถเชื่อมโยงไปยังหน้าเว็บไซต์รายการสื่อได้จาก QR code หรือ URL ที่ปรากฏในหนังสือเรียน การทำความเข้าใจเกี่ยวกับสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ จะช่วยให้นักเรียนใช้หนังสือเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญลักษณ์หรือข้อความตามหัวข้อต่าง ๆ ที่ปรากฏในหนังสือเรียน มีดังนี้

- คำถามสำคัญ
- จุดประสงค์การเรียนรู้
- ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน
- ขวนคิด
- ตรวจสอบความเข้าใจ
- กิจกรรม
- ลองทำดู
- ความรู้เพิ่มเติม
- ศัพท์น่ารู้
- สรุปเนื้อหาภายในบทเรียน
- แบบฝึกหัดท้ายบท

1

คำถามสำคัญ



คำถามประจำบทที่นักเรียนต้องอาศัยความรู้ทั้งหมดในบทเรียนในการตอบคำถาม ซึ่งนักเรียนควรตอบได้หลังจากได้เรียนรู้ในบทนั้นแล้ว

2

จุดประสงค์การเรียนรู้



เป้าหมายของการจัดการเรียนรู้ที่ต้องการให้นักเรียนเกิดความรู้หรือทักษะหลังจากผ่านกิจกรรมการจัดการเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ ซึ่งนักเรียนควรศึกษาทำความเข้าใจก่อนเริ่มเรียนรู้ในแต่ละหัวข้อ

3

ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน



ชุดคำถามที่ใช้ในการตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน ซึ่งนักเรียนควรตอบคำถามให้ถูกต้องทั้งหมด หากไม่ถูกต้องควรทบทวนเนื้อหานั้นก่อนเริ่มการเรียนรู้เรื่องใหม่ในแต่ละบท

4

ชวนคิด



คำถามระหว่างเรียนที่เชื่อมโยงหรือต่อยอดความรู้เดิมที่ศึกษาแล้วกับความรู้ใหม่หรือความรู้ในศาสตร์อื่น เพื่อให้นักเรียนเห็นความสัมพันธ์หรือความต่อเนื่องของเนื้อหา

5

ตรวจสอบความเข้าใจ



คำถามระหว่างเรียนที่ช่วยประเมินการเรียนรู้ ซึ่งนักเรียนสามารถใช้ตรวจสอบว่า ตนเองมีความรู้ความเข้าใจในเนื้อหาแล้วหรือยัง

6

กิจกรรม



การปฏิบัติที่ช่วยในการเรียนรู้เนื้อหาหรือฝึกฝนให้เกิดทักษะตามจุดประสงค์การเรียนรู้ของบทเรียน โดยอาจเป็นการทดลอง การสืบค้นข้อมูล หรือกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งนักเรียนควรลงมือปฏิบัติกิจกรรมด้วยตนเอง

7

ลองทำดู



การปฏิบัติที่ช่วยเสริมความรู้ที่เกี่ยวข้องกับเนื้อหาในบทเรียน ซึ่งนักเรียนสามารถลงมือปฏิบัติด้วยตนเองนอกเวลาเรียนได้

8

ความรู้เพิ่มเติม



ความรู้ที่เพิ่มเติมจากเนื้อหาในบทเรียน เพื่อให้นักเรียนมีความรู้ความเข้าใจมากขึ้น โดยไม่มีการวัดและประเมินผล

9

ศัพท์น่ารู้



ความหมายของคำศัพท์ต่าง ๆ ที่เพิ่มเติมและสอดคล้องกับเนื้อหาภายในบทเรียน

13

เอกภพและกาแล็กซี

บทที่ 13 เอกภพและกาแล็กซี	1
13.1 กำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพ	3
13.2 หลักฐานที่สนับสนุนทฤษฎีบิกแบง	6
13.2.1 การขยายตัวของเอกภพ	6
13.2.2 ไมโครเวฟพื้นหลังจากอวกาศ	13
13.3 กาแล็กซีและกาแล็กซีทางช้างเผือก	15
แบบฝึกหัดท้ายบท	24

14

ดาวฤกษ์

บทที่ 14 ดาวฤกษ์	26
14.1 สมบัติของดาวฤกษ์	29
14.1.1 ความส่องสว่าง และโชติมาตรของดาวฤกษ์	29
14.1.2 สี อุณหภูมิผิว และชนิดสเปกตรัมของดาวฤกษ์	46
14.1.3 แผนภาพแฮร์ตสปรุง-รัสเซลล์	51
14.2 กำเนิดและวิวัฒนาการของดาวฤกษ์	53
14.2.1 กำเนิดดาวฤกษ์	54
14.2.2 วิวัฒนาการของดาวฤกษ์	58
แบบฝึกหัดท้ายบท	65

15

ระบบสุริยะ

บทที่ 15 ระบบสุริยะ	69
15.1 กำเนิดระบบสุริยะและการแบ่งเขตบริวารรอบดวงอาทิตย์	71
15.2 การโคจรของดาวเคราะห์	79
15.3 โครงสร้างและปรากฏการณ์บนดวงอาทิตย์	85
15.3.1 ปรากฏการณ์บนดวงอาทิตย์	88
แบบฝึกหัดท้ายบท	94

16

เทคโนโลยีอวกาศและการประยุกต์ใช้

บทที่ 16 เทคโนโลยีอวกาศและการประยุกต์ใช้	95
16.1 เทคโนโลยีอวกาศกับการสำรวจอวกาศ	97
16.1.1 กล้องโทรทรรศน์ที่ใช้ศึกษาวัตถุท้องฟ้าในช่วง ความยาวคลื่นต่าง ๆ	97
16.1.2 ยานอวกาศ สถานีอวกาศ และดาวเทียม	105
16.2 เทคโนโลยีอวกาศกับการประยุกต์ใช้	111
16.2.1 ด้านวัสดุศาสตร์	112
16.2.2 ด้านอาหาร	113
16.2.3 ด้านการแพทย์และสุขภาพ	114
แบบฝึกหัดท้ายบท	118

ภาคผนวก	119
คำศัพท์	120
บรรณานุกรม	125
ที่มาของรูป	127

บทที่

13

| เอกภพและกาแล็กซี (The Universe and Galaxies)



ipst.me/10869



ในยามค่ำคืนเมื่อเรามองท้องฟ้าด้วยตาเปล่าจะเห็นดวงดาวมากมาย แต่ถ้าใช้กล้องโทรทรรศน์สังเกตท้องฟ้าและเล็งไปยังบริเวณหนึ่ง ซึ่งเป็นที่ว่างระหว่างดวงดาวต่าง ๆ เราจะเห็นวัตถุท้องฟ้าหรือ เทห์ฟ้า (celestial object) อีกจำนวนมากที่ไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่า จากรูปด้านบนเป็นภาพถ่ายจากกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลที่เล็งไปยังพื้นที่ว่างในทิศทางของกลุ่มดาวเตาหลอม (Fornax) พบกาแล็กซีจำนวนมากในพื้นที่นั้น แสดงว่ายังมีวัตถุท้องฟ้าจำนวนมากกว่าที่เรามองเห็น และวัตถุท้องฟ้าเหล่านี้มีความสัมพันธ์กัน



คำถามสำคัญ

- เอกภพมีกำเนิดและวิวัฒนาการอย่างไร
- นักวิทยาศาสตร์ใช้หลักฐานใดบ้างในการอธิบายกำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพ และนำหลักฐานดังกล่าวมาใช้อธิบายอย่างไร
- กาแล็กซีทางช้างเผือกมีโครงสร้างและองค์ประกอบอย่างไร



จุดประสงค์การเรียนรู้

1. วิเคราะห์และอธิบายกำเนิด อุณหภูมิและขนาดของเอกภพ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงสสารตามวิวัฒนาการของเอกภพ
2. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการเคลื่อนที่ของกาแล็กซีออกจากผู้สังเกตกับระยะห่างระหว่างผู้สังเกตกับกาแล็กซี เพื่อใช้สนับสนุนการขยายตัวของเอกภพตามทฤษฎีบิกแบง
3. อธิบายการค้นพบไมโครเวฟพื้นหลังจากอวกาศที่นำมาใช้สนับสนุนทฤษฎีบิกแบง
4. อธิบายโครงสร้าง และองค์ประกอบของกาแล็กซีทางช้างเผือก และระบุตำแหน่งของระบบสุริยะในกาแล็กซีทางช้างเผือก
5. อธิบายลักษณะทางช้างเผือกที่คนบนโลกสังเกตเห็น



ตรวจสอบความรู้ก่อนเรียน

ให้นักเรียนพิจารณาข้อความต่อไปนี้แล้วเติมเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคำตอบท้ายข้อความที่ถูกต้อง หรือเครื่องหมาย ✗ ลงในช่องคำตอบท้ายข้อความที่ผิด

ข้อที่	ความรู้พื้นฐาน	คำตอบ
1	นิวเคลียสของอะตอมประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน	
2	พลังงานและสสารสามารถเปลี่ยนรูปกลับไปกลับมาได้	
3	เอกภพประกอบด้วยกาแล็กซีจำนวนมาก	
4	อุณหภูมิ 1 เคลวิน มีค่าเท่ากับ 273 องศาเซลเซียส	
5	ปีแสงเป็นหน่วยของระยะทาง	
6	นิวเคลียสของไฮโดรเจนประกอบด้วยโปรตอน 1 อนุภาค	
7	ไมโครเวฟเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสง	
8	โลกอยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือก	

ข้อที่	ความรู้พื้นฐาน	คำตอบ
9	เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต คลื่นที่แผ่ออกจากวัตถุนั้นมีความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น	
10	หากผู้สังเกตอยู่ที่ประเทศไทยต้องการศึกษากลุ่มดาวโดยใช้แผนที่ดาว ต้องใช้แผนที่ดาวซีกฟ้าใต้	

บทนำ

เอกภพเป็นระบบที่ใหญ่ที่สุดที่มนุษย์ศึกษาได้ในขณะนี้ ในอดีตมนุษย์เคยเชื่อว่าโลกเป็นศูนย์กลางของเอกภพ แต่เมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้ามากขึ้นจึงพบว่าโลกเป็นเพียงส่วนหนึ่งของเอกภพ และเพื่ออธิบายความเป็นมาของสิ่งต่าง ๆ ในเอกภพ มนุษย์จึงศึกษาและสำรวจอวกาศเพื่อไขข้อสงสัยเกี่ยวกับกำเนิดรวมทั้งวิวัฒนาการและจุดจบของเอกภพที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เอกภพมีกำเนิด และวิวัฒนาการอย่างไร และมีหลักฐานใดบ้างที่นำมาอธิบายกำเนิดของเอกภพ ศึกษาได้จากหัวข้อต่อไปนี้

13.1 กำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพ

แนวคิดที่นักวิทยาศาสตร์ใช้อธิบายกำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพเป็นอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรม 13.1



กิจกรรม 13.1 กำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพ

จุดประสงค์กิจกรรม

- วิเคราะห์และระบุสารที่พบในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามวิวัฒนาการของเอกภพ
- สรุปการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ ขนาดของเอกภพ และการเปลี่ยนแปลงของสสารในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามวิวัฒนาการ

วัสดุ-อุปกรณ์

1. แผนภาพกำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพตามทฤษฎีบิกแบง	1 แผ่น
2. เอกสารความรู้เรื่อง อนุภาคมูลฐาน	1 ชุด
3. ตารางบันทึกการเปลี่ยนแปลงสสารและอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ตามวิวัฒนาการของเอกภพ	1 แผ่น

หมายเหตุ สามารถดาวน์โหลดแผนภาพและเอกสารความรู้ได้จาก QR code



ipst.me/11070

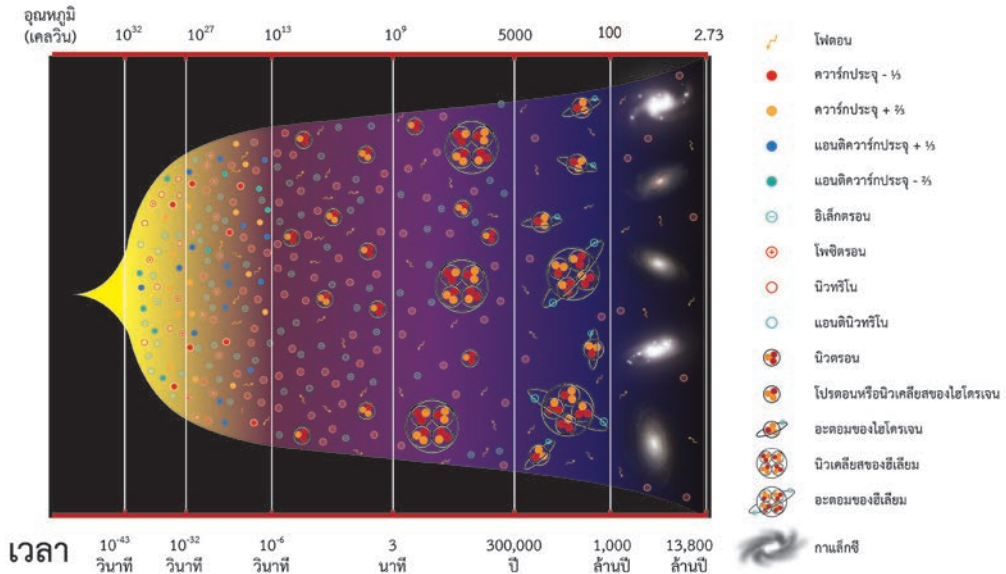
วิธีการทำกิจกรรม

1. ศึกษาความรู้เรื่องอนุภาคมูลฐานจากเอกสารที่กำหนด
2. ศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอนุหภูมิ ขนาด และสสารของเอกภพในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวิวัฒนาการ จากแผนภาพที่กำหนด
3. ระบุสสารที่พบในช่วงเวลาต่าง ๆ ของวิวัฒนาการ ในตารางบันทึกที่กำหนด
4. สรุป และนำเสนอผลการทำกิจกรรม

คำถามท้ายกิจกรรม

1. หลังบิกแบง อนุหภูมิของเอกภพมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
2. หลังบิกแบง ขนาดของเอกภพมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
3. ช่วงเวลาใดที่เริ่มเกิดอนุภาคมูลฐาน
4. ระยะเวลาที่เกิดโปรตอนและนิวตรอนห่างจากช่วงเวลาที่เริ่มเกิดอนุภาคมูลฐานประมาณเท่าใด
5. ในช่วงที่เกิดโปรตอนและนิวตรอนเอกภพมีการเปลี่ยนแปลงอนุหภูมิจากช่วงที่เริ่มเกิดอนุภาคมูลฐานอย่างไร
6. โฟตอนเกิดขึ้นในช่วงเวลาใด
7. ปฏิอนุภาคเริ่มหายไปในช่วงเวลาใด
8. นิวเคลียสของไฮโดรเจนและนิวเคลียสของฮีเลียมเกิดขึ้นพร้อมกันหรือไม่ และเกิดเมื่อเอกภพมีอนุหภูมิประมาณเท่าใด
9. อะตอมของไฮโดรเจนและอะตอมของฮีเลียมเกิดขึ้นพร้อมกันหรือไม่ และเกิดขึ้นเมื่อเอกภพมีอนุหภูมิประมาณเท่าใด
10. ระยะเวลาที่เกิดนิวเคลียสของไฮโดรเจนและเกิดอะตอมของไฮโดรเจนห่างกันประมาณเท่าใด
11. ระยะเวลาที่เกิดนิวเคลียสของฮีเลียมและเกิดอะตอมของฮีเลียมห่างกันประมาณเท่าใด
12. อนุหภูมิในช่วงเวลาที่เกิดอะตอมของไฮโดรเจนและฮีเลียมแตกต่างจากอนุหภูมิในช่วงเวลาที่เกิดนิวเคลียสของไฮโดรเจนและฮีเลียมหรือไม่ อย่างไร และระยะเวลาห่างกันประมาณเท่าใด
13. หลังบิกแบงเอกภพมีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรบ้าง

จากกิจกรรมพบว่า หลังบิกแบงเอกภพมีวิวัฒนาการโดยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ขนาด และสสาร จนกระทั่งเกิดเป็นเอกภพในปัจจุบัน นักวิทยาศาสตร์มีแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้อธิบายกำเนิดเอกภพหลาย ทฤษฎี แต่ปัจจุบันทฤษฎีที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือ **ทฤษฎีบิกแบง (Big Bang Theory)** ซึ่งทฤษฎีนี้ ตั้งกล่าวอธิบายวิวัฒนาการของเอกภพในช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้



รูป 13.1 กำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพตามทฤษฎีบิกแบง

ตามทฤษฎีบิกแบง เอกภพเริ่มจากบริเวณที่มีขนาดเล็กมากและเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิและความหนาแน่นสูงมาก ต่อมาเอกภพเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วที่เรียกว่า **บิกแบง (Big Bang)** ทำให้อุณหภูมิลดลง และมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาต่าง ๆ ดังนี้

ในช่วงเวลาก่อน 10^{-43} วินาที นักวิทยาศาสตร์อธิบายได้เพียงว่า เอกภพประกอบด้วยพลาสมาของอนุภาคที่มีพลังงานสูง มีอุณหภูมิสูงกว่า 10^{32} เคลวิน ต่อมาในช่วงเวลา 10^{-43} – 10^{-32} วินาที เอกภพเกิดการขยายตัวอย่างรวดเร็วทำให้อุณหภูมิลดลง เกิดสสารในรูปของอนุภาคมูลฐาน (elementary particle) ซึ่งได้แก่ ควาร์ก อิเล็กตรอน นิวตริโน และปฏิอนุภาคหรือปฏิยานุภาค (antiparticle) ของอนุภาคมูลฐาน ได้แก่ แอนติควาร์ก โพซิตรอน และแอนตินิวตริโน

ต่อมาที่เวลา 10^{-32} วินาที อนุภาคและปฏิอนุภาคประเภทเดียวกันรวมตัวกัน เกิดกระบวนการประลัย (annihilation) กลายเป็นพลังงานซึ่งอยู่ในรูปโฟตอนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แต่เนื่องจากเอกภพมีอนุภาคมากกว่าปฏิอนุภาค หลังกระบวนการประลัยจึงมีอนุภาคคงเหลืออยู่ในเอกภพ

หมายเหตุ สามารถดาวน์โหลดรูป 13.1 ได้จาก QR code ประจำบท

ต่อมาที่เวลา 10^{-6} วินาที อุณหภูมิของเอกภพลดลงเหลือประมาณ 10^{13} เคลวิน ส่งผลให้ควาร์กรวมตัวเป็นโปรตอนหรือนิวเคลียสของไฮโดรเจนและนิวตรอน ซึ่งโปรตอนและนิวตรอนเป็นองค์ประกอบของสสารส่วนใหญ่ในเอกภพ

หลังจากนั้นที่เวลาประมาณ 3 นาที อุณหภูมิของเอกภพลดลงอีก เหลือประมาณ 10^9 เคลวิน โปรตรอนและนิวตรอนรวมตัวกันเกิดเป็นนิวเคลียสของธาตุฮีเลียม

ต่อมาที่เวลาประมาณ 300,000 ปีหลังบิกแบง อุณหภูมิของเอกภพลดลงเหลือประมาณ 5,000 เคลวิน ส่งผลให้พลังงานจลน์ของอิเล็กตรอนลดลง นิวเคลียสของไฮโดรเจนและนิวเคลียสของฮีเลียม จึงดึงอิเล็กตรอนเข้ามาอยู่ร่วมกัน เกิดเป็นอะตอมไฮโดรเจนและอะตอมฮีเลียม ทำให้เอกภพเกิดที่ว่างและส่งผลให้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่ออกสู่อวกาศได้ ซึ่งคงเหลือมาถึงปัจจุบันในรูปของไมโครเวฟพื้นหลังจากอวกาศ

ท้ายสุดที่เวลาประมาณ 1,000 ล้านปีหลังบิกแบง อุณหภูมิของเอกภพลดลงเหลือประมาณ 100 เคลวิน อะตอมของธาตุไฮโดรเจนและอะตอมของธาตุฮีเลียมรวมตัวกันด้วยแรงโน้มถ่วงเกิดเป็นเนบิวลารุ่นแรกที่กำลังกำเนิดเป็นดาวฤกษ์และกาแล็กซีรุ่นแรก ปัจจุบันเอกภพประกอบด้วยกาแล็กซีจำนวนมาก ดังนั้นสสารที่พบในปัจจุบันจึงมีกำเนิดมาจากบิกแบง และนักวิทยาศาสตร์คาดว่าเอกภพมีอายุประมาณ 13,800 ล้านปี

แนวคิดเกี่ยวกับกำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพตามทฤษฎีบิกแบงที่กล่าวมา พัฒนามาจากแนวคิดของ **อเล็กซานเดอร์ ฟรีดแมนน์** (Alexander Friedmann) ในปี พ.ศ. 2465 และ **จอร์จ เลอแมตร์** (Georges Lemaitre) ในปี พ.ศ. 2470 กำเนิดและวิวัฒนาการของเอกภพนี้เกิดขึ้นมาเป็นเวลานาน นักดาราศาสตร์ใช้หลักฐานใดบ้างในการสนับสนุนแนวคิดดังกล่าว จะศึกษาได้จากหัวข้อต่อไป

13.2 หลักฐานที่สนับสนุนทฤษฎีบิกแบง

หลักฐานสำคัญที่นักดาราศาสตร์นำมาใช้สนับสนุนทฤษฎีบิกแบง คือ การขยายตัวของเอกภพ และ **ไมโครเวฟพื้นหลังจากอวกาศ** (cosmic microwave background: CMB) ซึ่งแต่ละหลักฐานมีการศึกษาอย่างไรและนำมาใช้สนับสนุนได้อย่างไร จะได้ศึกษาต่อไป

13.2.1 การขยายตัวของเอกภพ

นักวิทยาศาสตร์ทราบได้อย่างไรว่าเอกภพมีการขยายตัวและมีวิธีการศึกษาอย่างไร ศึกษาได้จากกิจกรรม 13.2