

จักรวาลวิทยายุคใหม่และพลังงานมืด

ดริศ สามีภัก

หน่วยวิจัยฟิสิกส์รากฐานและจักรวาลวิทยา กลุ่มฟิสิกส์ทฤษฎีท่าโพธิ์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก และ

โปรแกรมวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี อ.เมือง จ.อุบลราชธานี

1. บทนำ

วิชาฟิสิกส์ เป็นวิชาด้วยการอธิบายสิ่งที่เกิดขึ้นตามปรากฏการณ์ธรรมชาติ ซึ่งเกิดจากความสงสัยใคร่รู้อย่างที่ไม่มีสิ้นสุดของมนุษย์จึงทำให้มนุษย์ต้องทำทุกวิถีทางที่จะหาคำตอบให้ได้ และหนึ่งในความอยากรู้อยากเห็น ที่เก่าแก่ที่สุดของมนุษย์ก็คือ เราอยู่ที่ไหน สิ่งที่เราอยู่อาศัยนี้เกิดมาจากสิ่งใด และชะตากรรมของเราในอนาคตจะเป็นอย่างไร ฯลฯ คำถามเหล่านี้ก่อให้เกิดวิชาความรู้อย่างหนึ่งซึ่งเราเรียกว่า 'จักรวาลวิทยา' โดยในขอบเขตของวิชานี้ มนุษย์ได้พยายามจะใช้กฎ หลักการ หรือ ทฤษฎีทางฟิสิกส์มาอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในเอกภพที่เราอาศัยอยู่นี้ เพื่อตอบสนองความอยากรู้อยากเห็นของมนุษย์ ดังที่ จอห์น วีเลอร์ (John Wheeler) นักฟิสิกส์ที่เป็นผู้ตั้งชื่อหลุมดำ กล่าวไว้ว่า "สิ่งที่สำคัญที่สุดที่คุณได้เรียนรู้ในเรื่องนั้นคืออะไร? คำตอบก็คือพลังงานแห่งความจนของจิตมนุษย์ความกระตือรือร้นเป็นพักๆ เมื่อจนตรอกก็จะเกิดการก้าวกระโดดในการพัฒนาการเรียนรู้เพื่อเปิดเผยคลี่คลายความซับซ้อนแห่งเอกภพของเราและเปิดให้เห็นความง่าย สละสลวย และความสง่างามของกฎพื้นฐานที่ที่ควบคุมมันไว้" [1] และในบทความนี้ผู้เขียนจะนำเสนอวิชาจักรวาลวิทยาตั้งแต่ยุคของนิวตันจนถึงไอน์สไตน์และมรดกทางความคิดของเขามีสื่อต่อจักรวาลอีกทั้งยังได้อธิบายความลึกลับใหม่ในวิชาจักรวาลวิทยานั้นก็คือ พลังงานมืด เอาไว้อีกด้วย ซึ่งในการนำเสนอในครั้งนี้ผู้เขียนจะหลีกเลี่ยงการใช้คณิตศาสตร์ขั้นสูง (เทนเซอร์แคลคูลัส) แต่จะใช้คณิตศาสตร์ในระดับแคลคูลัสธรรมดาเพื่อง่ายแก่การทำความเข้าใจสำหรับนักศึกษา ระดับปี 1 ในคณะวิทยาศาสตร์ หรือนักเรียนชั้น ม. 6 ที่ได้เรียนแคลคูลัสมาบ้าง ครูอาจารย์ ที่สอนฟิสิกส์ หรือวิทยาศาสตร์ และผู้ที่สนใจศึกษา

1. เป็นวิชาที่ว่าด้วยการเกิดเอกภพ แบบจำลองของเอกภพ ความเป็นไปในเอกภพ ชะตากรรมของเอกภพ มวลสารและพลังงานต่างๆที่อยู่ในเอกภพของเรา ในปัจจุบันนี้นักฟิสิกส์เชื่อว่า จักรวาลประกอบไปด้วยพหุภพ (multiverse) ดังนั้นความหมายของคำว่า จักรวาล (cosmos) จึงใช้ได้กว้างและครอบคลุมกว่าคำว่า เอกภพ (universe) โดยที่เอกภพที่เรากำลังกล่าวถึงอยู่นี้คือ เอกภพที่เราอาศัยอยู่

2. จักรวาลวิทยายุคใหม่

2.1 แนวความคิดเกี่ยวกับจักรวาลวิทยาจาก นิวตัน ถึง ไอน์สไตน์

ในคริสต์ศตวรรษที่ 17 เซอร์ ไอแซก นิวตัน (Sir Isac Newton) ได้นำเสนอกฎแรงโน้มถ่วงสากลขึ้นเพื่อใช้อธิบายว่ามวลสารหรือเทหวัตถุในฟากฟ้านั้นอยู่ได้ด้วยแรงโน้มถ่วงที่มีมวลสารอันตรกิริยาต่อกัน นิวตันมีความเชื่อว่าเอกภพที่เราอาศัยอยู่มีขนาดเป็นอนันต์ และเป็นเอกภพแบบสถิตย์ (ไม่ขยายหรือหดตัว) ซึ่งทำให้คนในสมัยนั้นมีความเชื่อในเรื่องเอกภพเหมือนกับนิวตัน

จนกระทั่งปี ค.ศ.1915 อัลเบิร์ต ไอน์สไตน์ (Albert Einstein) ได้ค้นพบทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป คำตอบที่ได้จากสมการสนามของไอน์สไตน์ได้บอกว่าเอกภพที่เราอยู่นั้นมันไม่สถิตย์ แต่ด้วยความเชื่อของไอน์สไตน์เองและข้อจำกัดของข้อมูลทางดาราศาสตร์ในขณะนั้นที่เชื่อว่าเอกภพของเรานั้นสถิตย์ เขาจึงบวกได้ค่าคงที่ตัวหนึ่ง เรียกว่า ค่าคงที่จักรวาล (cosmological constant) (Λ) ในคำตอบที่ได้เพื่อให้แบบจำลองของเอกภพเป็นแบบสถิตย์แม้ว่าจะมีนักฟิสิกส์สมัยนั้นหลายคนที่พบคำตอบจากสมการของไอน์สไตน์ว่า เอกภพของเรานั้นต้องขยายตัวออกหรือยุบตัวลง (หรือเป็นแบบไม่สถิตย์นั่นเอง)

2.2 เอกภพขยายตัว

จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่ามีนักฟิสิกส์หลายคนเชื่อว่าเอกภพของเราจะขยายตัวออกหรือไม่ก็จะยุบตัวลง ซึ่งมีการถกเถียงกันเป็นอย่างมากในสมัยนั้น จนกระทั่งปี ค.ศ. 1929 เอ็ดวิน ฮับเบิล (Edwin Hubble) ได้ค้นพบว่าเอกภพของเรานั้นได้ขยายตัวจากปรากฏการณ์ สเปกตรัมเลื่อนไปทางสีแดงของคลื่น ที่ตรวจพบได้จากอวกาศนอกโลก ซึ่งฮับเบิลได้แสดงความสัมพันธ์ของการขยายตัวของเอกภพด้วยสมการ

$$v = H_0 R \quad (1)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วในการขยายตัว

H_0 คือ ค่าคงที่

R คือ ระยะทางในการขยายตัวของเอกภพ

2.3 จักรวาลวิทยาเชิงสัมพัทธภาพทั่วไปและ บิ๊กแบง

หลังจากที่ไอน์สไตน์ค้นพบทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปแล้ว ก็ได้มีนักฟิสิกส์ได้นำทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปไปประยุกต์เพื่ออธิบายปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในเอกภพ ทฤษฎีสัมพัทธ

ภาพทั่วไปนั้นเป็นทฤษฎีที่เกี่ยวกับแรงโน้มถ่วงซึ่งสามารถอธิบายปรากฏการณ์ในระดับมหภาคได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

2.3.1 สมการสนามของไอน์สไตน์และฟรีดมานน์-เลอแมตร์-โรเบิร์ตสัน-วอล์คเกอร์ มีทริก

ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปมีใจความสำคัญว่า “กาลอวกาศถูกบิดเบือนให้โค้งด้วยพลังงานของมวลสาร” ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปสมการ เทนเซอร์ได้ดังนี้

$$G_{\mu\nu} = 8\pi T_{\mu\nu} \quad (2)$$

สำหรับความหมายของความโค้งของอวกาศผู้อ่านสามารถอ่านเพิ่มเติมได้ที่[2] สำหรับผู้ที่สนใจรายละเอียดในเชิงคณิตศาสตร์และความหมายของสมการเทนเซอร์สามารถอ่านเพิ่มเติมได้ที่[3]

เมื่อหาผลเฉลยของสมการที่ (2) ได้แล้วจะสามารถเขียนอยู่ในรูปของมีทริก¹(metric) ซึ่งถูกค้นพบโดย ฟรีดมานน์ (Friedmann 1922) เลอแมตร์ (Lemaitre 1927) โรเบิร์ตสัน และ วอล์คเกอร์ (Robertson, Walker 1936) ดังนี้

$$ds^2 = dt^2 - a^2(t) \left[\frac{dr^2}{1 - kr^2} + r^2 d\theta^2 + r^2 \sin^2 \theta d\phi^2 \right] \quad (3)$$

โดยที่ t คือ เวลา r, θ, ϕ คือพิกัดในทรงกลม, $a(t)$ คือตัวแปรประกอบสเกล และ k คือค่าคงที่ ที่บอกลักษณะทางเรขาคณิต ซึ่งลักษณะทางกายภาพโดยรวมของเอกภพทั้งหมดนี้ จะมีสมบัติพื้นฐานอยู่บน ฟรีดมานน์-เลอแมตร์-โรเบิร์ตสัน- วอล์คเกอร์ มีทริก

2.3.2 สมการฟรีดมานน์

ในปี ค.ศ.1922 อเล็กซานเดอร์ ฟรีดมานน์ (Alexander Friedmann) นักฟิสิกส์และคณิตศาสตร์ ชาวรัสเซีย ได้ใช้คำตอบจากสมการสนามของไอน์สไตน์หาสมการ เพื่อใช้อธิบายแบบจำลองของเอกภพ ซึ่งประกอบด้วย 2 สมการดังนี้

1.ความหมายทางฟิสิกส์ของมีทริก คือ ลักษณะที่บ่งบอกถึงลักษณะทางเรขาคณิต(ความโค้ง)ในกาลอวกาศใดที่อธิบายด้วยมีทริกนั้นๆ

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3} \rho - \frac{k}{a^2} \quad (4)$$

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3P) \quad (5)$$

โดยที่ a คือ ตัวประกอบสเกล (scale factor) ซึ่งเป็นค่าที่ใช้อธิบายขนาดของเอกภพ

G คือ ค่าโน้มถ่วงสากล

ρ คือ ความหนาแน่นของเอกภพ

P คือ ความดันของเอกภพ

k คือ ค่าคงที่ ที่บอกถึงลักษณะเรขาคณิตของเอกภพ

สมมติฐานของเอกภพจะมีสมบัติพื้นฐานอยู่บน ฟรีดมานน์-เลอแมร์-โรเบิร์ตสัน-วอล์คเกอร์ มีทริก คือเอกภพประกอบด้วยของไหลโดยสมบูรณ์ (ของไหลที่ไม่มีความหนืด มีความหนาแน่นเท่ากันโดยตลอด ไม่นำความร้อน และไม่มีควมดันภายใน ($P = 0$)) ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการฟรีดมานน์ที่ (5) ตามสมมติฐานของจักรวาลที่เป็นของไหลสมบูรณ์ได้ดังนี้

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G\rho}{3} \quad ; P = 0 \quad (6)$$

ต่อไปนี้จะพิสูจน์สมการที่ (4) และ (6) ซึ่งอันที่จริงนั้น ฟรีดมานน์ ได้พิสูจน์จากสมการสนามของไอน์สไตน์ แต่การพิสูจน์ด้วยวิธีนี้จะซับซ้อนและยืดเยื้อ อีกทั้งผู้อ่านจะต้องมีความรู้ความเข้าใจในเทนเซอร์แคลคูลัสอีกด้วย แต่ผู้เขียนจะพิสูจน์จากกฎอนุรักษ์พลังงานซึ่งเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ง่ายแก่การทำความเข้าใจมากกว่า แต่ผลที่ได้นั้นจะออกมาเหมือนกันโดยที่เราจะเริ่มจาก กฎอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

$$E \text{ (พลังงานรวมของระบบ)} = T \text{ (พลังงานจลน์)} + V \text{ (พลังงานศักย์)}$$

$$T \text{ (พลังงานจลน์) ของระบบมีค่าเท่ากับ } \frac{1}{2}mv^2$$

$$V \text{ (พลังงานศักย์) ของระบบมีค่าเท่ากับ } -\frac{GMm}{R}$$

แทนค่าของพลังงานทั้งหมดในสมการของกฎอนุรักษ์พลังงาน จะได้ว่า

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{GMm}{R} \quad (7)$$

กำหนด v (ความเร็ว) $= \frac{dR}{dt} = \dot{R}$, M (มวลของเอกภพ) $= \rho V = \rho \frac{4}{3}\pi R^3$ เมื่อ V คือ ปริมาตรของเอกภพในขอบเขตที่เราพิจารณาสมมติเป็นทรงกลม แทนค่าที่กำหนดเหล่านี้ใน สมการที่ (7) จะได้

$$E = \frac{1}{2}m\dot{R}^2 - \frac{4\pi G\rho m}{3}R^2 \quad (8)$$

คูณ $\frac{2}{mR^2}$ ตลอดสมการที่(8)จะได้ว่า

$$\frac{2E}{mR^2} = \frac{\dot{R}^2}{R^2} - \frac{8\pi G\rho}{3} \quad (9)$$

เราจะนิยามให้ $R = a(t)x$ และ $\dot{R} = \dot{a}(t)x$ เมื่อ x คือ พิกัดเคลื่อนที่ร่วม¹ (comoving coordinate) ซึ่งเป็นค่าคงที่ แทนค่า R และ $\dot{R}$ ในสมการที่ (9)

$$\frac{2E}{ma^2x^2} = \frac{\dot{a}^2}{a^2} - \frac{8\pi G\rho}{3} \quad (10)$$

กำหนดให้ $\frac{2E}{mx^2} = -k$, k คือ ค่าคงที่ ที่บอถึงลักษณะเรขาคณิตของเอกภพ แทน ค่า k ในสมการที่ (10) จะได้ว่า

$$\left(\frac{\dot{a}}{a}\right)^2 = \frac{8\pi G}{3}\rho - \frac{k}{a^2} \quad (11)$$

1. คือพิกัดที่มีกรอบอ้างอิงที่เคลื่อนที่ไปพร้อมกันกับสิ่งที่กำลังสังเกต

$$\dot{a}^2 = \frac{8\pi G\rho a^2}{3} - k \quad ; \quad \rho = \rho(t) \quad (12)$$

แล้วหาอนุพันธ์เทียบกับเวลา $\left(\frac{d}{dt}\right)$ ในสมการที่ (12)

$$\frac{d\dot{a}^2}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{8\pi G \rho a^2}{3} - k \right)$$

$$2\dot{a} \frac{d\dot{a}}{dt} = \frac{8\pi G}{3} \frac{d}{dt} (\rho a^2) - \frac{dk}{dt}$$

$$2\dot{a}\ddot{a} = \frac{8\pi G}{3} \left(a^2 \frac{d\rho}{dt} + 2\rho a \frac{da}{dt} \right) - 0 \quad \left(\frac{dk}{dt} = 0 \right) \quad (13)$$

สมการของไหลเชิงสัมพัทธภาพซึ่งเราสามารถนิยาม¹ ได้ดังนี้

$$\frac{d\rho}{dt} = \dot{\rho} = -3 \frac{\dot{a}}{a} \left(\rho + \frac{P}{c^2} \right) \quad (14)$$

แทนค่าสมการที่ (14) ในสมการที่ (13) จะได้ว่า

$$2\dot{a}\ddot{a} = \frac{8\pi G}{3} \left[-3 \frac{\dot{a}}{a} \rho \left(1 + \frac{P}{c^2} \right) a^2 + 2\rho a \dot{a} \right]$$

$$2\dot{a}\ddot{a} = \frac{8\pi G}{3} \left[-3a\dot{a}\rho - 3a\dot{a} \frac{P}{c^2} + 2\rho a \dot{a} \right]$$

$$2\dot{a}\ddot{a} = \frac{8\pi G}{3} \left(-a\dot{a}\rho - 3a\dot{a} \frac{P}{c^2} \right)$$

1. การพิสูจน์ที่มาของสมการที่(14)อ่านเพิ่มเติมได้ที่ [4] หน้า11-12 ในที่นี้จะยกมาใช้เพื่อความต่อเนื่องของเนื้อหา

$$2\dot{a}\ddot{a} = -\frac{8\pi G}{3}a\dot{a}\left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) \quad (15)$$

จากสมมติฐานเอกภพเป็นของไหลโดยสมบรูณ์คือ $P = 0$ เราจะเขียนสมการที่ (15) ได้ใหม่ว่า

$$2\dot{a}\ddot{a} = -\frac{8\pi G}{3}a\dot{a}\rho$$

หาร $2a\dot{a}$ ตลอดสมการข้างบนจะได้ว่า

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G\rho}{3} \quad (16)$$

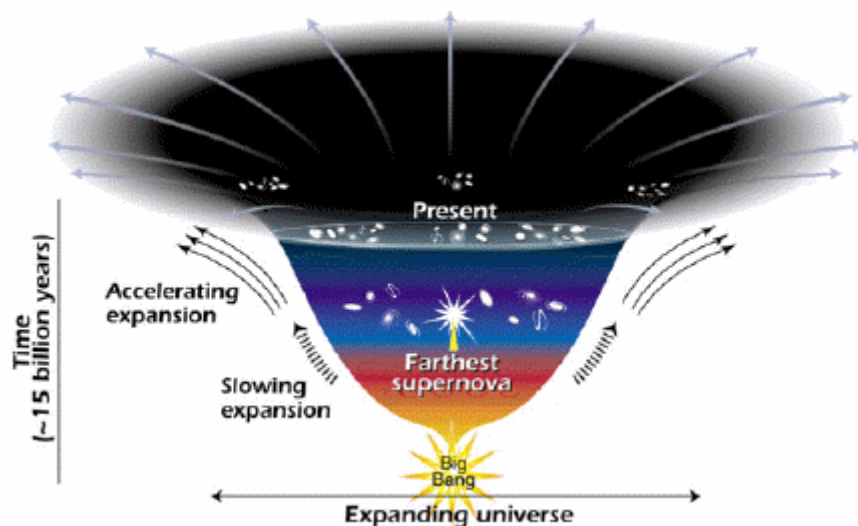
จะเห็นได้ว่าสมการที่ (11) และ (16) ที่ได้จากกฎอนุรักษ์พลังงานและใช้แคลคูลัสธรรมดาทำให้คำตอบเหมือนกันกับสมการฟรีดมานน์ ที่ได้จากสมการสนามของไอสไตน์และใช้เทนเซอร์แคลคูลัสที่สลับซับซ้อนยืดยาวและเข้าใจยาก ทั้งนี้เป็นเราพิจารณาผลของสเกลเล็ก (กลศาสตร์นิวโทเนียน) ไปประมาณผลศาสตร์ในสเกลใหญ่ (สัมพัทธภาพทั่วไป) เพื่อให้ง่ายสำหรับผู้เริ่มศึกษา

2.3.3 บิ๊กแบง

ในปี ค.ศ 1946 นักฟิสิกส์ชาวรัสเซียชื่อ จอร์จ แกมอว์ (George Gamow) ได้นำเสนอแนวคิดเกี่ยวกับการกำเนิดเอกภพ โดยที่เขาเสนอว่า เอกภพเกิดจากการระเบิดครั้งใหญ่จากจุดๆ หนึ่งที่มีขนาดเป็นศูนย์ มีความหนาแน่นและอุณหภูมิเป็นอนันต์ ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า บิ๊กแบง (Big Bang) หลังจากการระเบิดเอกภพจะขยายตัวและอุณหภูมิจะค่อยๆ เย็นตัวลงขณะที่เอกภพกำลังขยายตัวแนวคิดเรื่องบิ๊กแบงของกาโมว์นี้ ไม่ค่อยได้รับความสนใจเท่าใดนัก จนกระทั่งมีการตรวจพบรังสีจากอวกาศนอกโลกที่ถูกทำนายไว้ด้วยทฤษฎีของ บิ๊กแบง หลังจากนั้นได้มีการค้นพบหลักฐานอื่นๆ ที่สนับสนุนความถูกต้องของแนวคิดทฤษฎี บิ๊กแบง ซึ่งมีดังนี้

- การเลื่อนไปทางสีแดงของกาแล็คซี่ ซึ่งถูกค้นพบโดย ฮับเบิล และเป็นหลักฐานชิ้นแรกที่บอกว่าเอกภพของเรา กำลังขยายตัว

- การสังเคราะห์นิวเคลียสในระยะแรกเริ่ม การทำนายจากทฤษฎี บิ๊กแบงที่กล่าวถึง การสังเคราะห์นิวเคลียสของธาตุเบาที่มีอยู่อย่างมากมายในระยะแรกเริ่มหลังจากการเกิดบิ๊กแบงนั้น ให้ผลที่สอดคล้องกันเป็นอย่างดีจากการสังเกตการณ์ทางดาราศาสตร์
- การตรวจจับสนามแม่เหล็กพื้นหลังไมโครเวฟ (Cosmic Microwave Background) ถูกค้นพบโดยบังเอิญโดย อาร์โนลด์ เพนเซียส (Arnold Penzias) และโรเบิร์ต วิลสัน (Robert Wilson) ในปี ค.ศ.1965 ซึ่งมีเส้นสเปกตรัมพื้นหลังที่ใกล้เคียงกับทฤษฎีบิ๊กแบงที่ทำนายว่า เอกภพหลังการเกิดบิ๊กแบงจะมีลักษณะการแผ่รังสีคล้ายกับวัตถุดำ



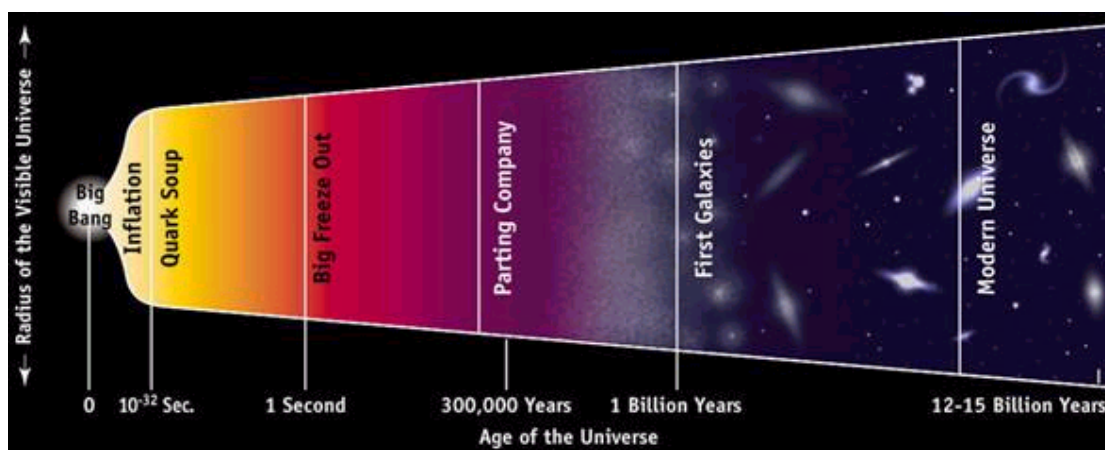
รูปที่ 1 แสดงการเกิดบิ๊กแบง (ที่มา www.innerx.net/personal/tsmith/cosm.html)

หลังจากการค้นพบหลักฐานที่รองรับทฤษฎีบิ๊กแบงแล้วนั้น ทำให้นักฟิสิกส์ส่วนใหญ่มีความเชื่อในทฤษฎีบิ๊กแบง แต่ก็ยังมีปัญหาที่ทฤษฎีบิ๊กแบงไม่สามารถอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างที่เกิดขึ้นในปัจจุบันได้

2.3.4 การพองตัวของเอกภพ

แนวคิดเรื่อง การพองตัวของเอกภพ(Inflationary Universe) [5] นี้ได้ถูกเสนอขึ้นโดยกลุ่มนักฟิสิกส์เหล่านี้โดย อัลัน กูธ (Alan Guth) พอล สไตน์ฮาร์ดท (Paul Steinhardt) แอนดริว ลินเด (Andrew Linde) และคนอื่นๆ ในราวปี ค.ศ.1980

การพองตัวของเอกภพมีความคิดพื้นฐานว่า หลังจากเกิดบิกแบงใหม่ๆ เอกภพในระยะแรกเริ่มนั้นร้อนและในช่วงเวลานั้นเอกภพจะถูกขับเคลื่อนด้วยสนามสเกลาร์ (Scalar Field) ชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า สนามอินเฟลตอน (inflaton field) (โดยในปัจจุบันนี้นักฟิสิกส์เชื่อว่า สนามสเกลาร์ชนิดนี้เป็นปฐมสสารของเอกภพ) ให้พองตัวออกอย่างรวดเร็วซึ่งเราเรียกช่วงการพองตัวของเอกภพนี้ว่า เฟสความเร่ง (accelerating phase) อุณหภูมิของเอกภพจะเป็นตัวลงอย่างยิ่งยวด (supercooled) หลังจากหยุดการพองตัว สนามอินเฟลตอนจะเริ่มสลายตัวแล้วก่อให้เกิดสสารและรังสี รังสีที่ได้รับการสลายตัวของสนามอินเฟลตอนนี้จะทำให้เอกภพเริ่มร้อนอีกครั้ง (reheat universe)



รูปที่ 2 แสดงช่วงการพองตัวของเอกภพหลังการเกิดบิกแบง (ที่มาจาก www.cas.muohio.edu/.../group22/influniverse.htm)

การพองตัวของเอกภพนี้สามารถแก้ปัญหาคือทฤษฎีบิกแบงอธิบายไม่ได้ แนวคิดเรื่องการพองตัวของเอกภพ ไม่ได้มาแทนที่ทฤษฎีบิกแบงแต่กลับช่วยขยายความแนวคิดของบิกแบงให้สามารถอธิบายการกำเนิดของเอกภพให้ถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

3.พลังงานมืด

ในปี ค.ศ. 1998 ได้มีการศึกษาซูเปอร์โนวาชนิด Ia ของนักฟิสิกส์สองกลุ่ม คือ Supernova Cosmology Project และ The High-z Supernova Team ได้ค้นพบหลักฐานชิ้นสำคัญที่ทำให้วงการฟิสิกส์ตื่นตัวอีกครั้งคือ

1.สเปกตรัมที่วัดได้จากซูเปอร์โนวาชนิด Ia นั้นเลื่อนไปทางสีแดงมากกว่า ค่าที่ทำนายได้จากแบบจำลองเอกภพแบบเปิด กล่าวคือ กาแล็คซี่ที่อยู่ใกล้เรานั้นเคลื่อนตัวห่างจากเราด้วยความเร็วที่มากกว่าอดีตหรือเอกภพมีการขยายตัวด้วยความเร่ง [6]

2.จากการวัดองค์ประกอบของเอกภพพบว่าองค์ประกอบที่เป็นพลังงานของเอกภพนั้นมีความเกี่ยวข้องกับค่าความดันที่เป็นลบ กล่าวคือรังสีพื้นหลังไมโครเวฟ (CMB) ที่ตรวจพบเป็นตัวบอกเราว่าเอกภพของเรานั้นเป็นเอกภพแบบแบน และในแบบจำลองเอกภพแบนนั้น ความหนาแน่นของมวลสารและพลังงานจะต้องมีผลรวมเท่ากับ ความหนาแน่นวิกฤต (critical density) แต่อย่างไรก็ดีค่าที่ตรวจวัดได้จริงในเอกภพกลับมีแค่ค่าความหนาแน่นของมวลสารเท่านั้น ซึ่งคิดเป็น 1 ใน 3 ของความหนาแน่นวิกฤต นั่นก็หมายความว่าองค์ประกอบ 2 ใน 3 ของความหนาแน่นวิกฤตในเอกภพนั้นหายไป [6] ทำไมเราไม่สามารถตรวจพบได้

จากการค้นพบปรากฏการณ์ทางดาราศาสตร์ทั้งสองนี้ สร้างความสงสัยให้แก่นักฟิสิกส์และนักจักรวาลวิทยาเป็นอย่างยิ่ง เพราะในเวลานั้น (ค.ศ.1998) มีความเชื่อว่าเอกภพขยายตัวด้วยความเร็วคงที่ตามกฎของฮับเบิล ดังนั้นนักฟิสิกส์และนักจักรวาลวิทยาจึงต้องถูกบังคับด้วยหลักฐานที่มี ให้สรุปว่าเอกภพขยายตัวด้วยความเร่งและจะต้องมีบางสิ่งบางอย่างขับเคลื่อนให้เอกภพขยายตัวแบบเร่ง ซึ่งเราจะพิจารณาจากสมการที่ 2 ของฟรีดมานน์ดังนี้

$$\frac{\ddot{a}}{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3P) \quad (17)$$

จากสมการข้างบนเราจะพิจารณาได้ว่าเอกภพจะขยายตัวแบบเร่ง ก็ต่อเมื่อความดัน(P) จะต้องมามีค่าเป็นลบ ($P < -\frac{1}{3}$) จึงจะทำให้เอกภพขยายตัวแบบเร่ง ($\ddot{a}$ มีค่าเป็นบวก) ดังนั้นจากหลักฐานที่ได้กล่าวมาแล้วเป็นสิ่งที่ยืนยันว่า ทฤษฎีหรือกฎทางฟิสิกส์ที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับเอกภพนั้นไม่ถูกต้อง จึงต้องมีการแก้ไขและพัฒนาทฤษฎีหรือที่ใช้อธิบายปัญหาที่เกิดขึ้นได้

จนในที่สุดนักฟิสิกส์และนักจักรวาลวิทยาจึงได้เสนอแบบจำลองของบางสิ่งบางอย่างที่เป็นสาเหตุให้เอกภพขยายตัวแบบเร่งซึ่งจะต้องสอดคล้องกับการสังเกตการณ์ที่ตรวจพบ และเราจะเรียกบางสิ่งบางอย่างนั้นว่า พลังงานมืด (dark energy) โดยอาจจะกล่าวว่า พลังงานมืดนี้เป็นสิ่งลึกลับที่เราไม่สามารถเข้าใจมันได้อย่างถ่องแท้ แต่เราพอจะบอกสมบัติของมันได้อย่างคร่าวๆได้ดังนี้

1. พลังงานมืดจะไม่ปลดปล่อยแสงออกมา (เราจึงไม่สามารถตรวจพบมันได้โดยตรง)
 2. พลังงานมืดเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของเอกภพถึง 70% (ประมาณ 2 ใน 3 ของพลังงานที่หายไป)

3. เราจะอนุมานได้ว่าพลังงานมืดนี้เป็นเอกพันธ์ (มีเนื้อเดียวกันตลอด) เพราะเราจะเปรียบเทียบความดันของมันให้เป็นความหนาแน่นของพลังงาน ดังนั้นมันจะเหมือนพลังงานมากกว่าสสาร คือสสารจะมีความดันน้อยกว่าความหนาแน่นมากๆ ($P \ll \rho$)

จากสมบัตินี้ดังกล่าวเราสามารถหาสมการที่พอจะใช้อธิบายลักษณะโดยรวมของมันได้โดยใช้ สมการของไหลเชิงสัมพัทธภาพ ดังนี้

$$\dot{\rho} = -3 \frac{\dot{a}}{a} (\rho + P) \quad (18)$$

นิยามให้ $w = \frac{P}{\rho}$ เราจะเรียกสมการนี้ว่า สมการสถานะของพลังงานมืด เมื่อเราหาผลเฉลยของสมการที่ (18) และแทนค่าสมการสถานะของพลังงานมืด¹ แล้วจะได้ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของพลังงานมืด กับ ตัวประกอบสเกล² ดังนี้

$$\rho \propto a^{-3(1+w)} \quad (19)$$

โดยที่ $w = w(t)$ เป็นฟังก์ชันที่ขึ้นกับเวลา ปัจจุบันนี้มีแบบจำลองที่เป็นไปได้ของพลังงานมืด 2 แบบจำลอง ดังนี้

1. ค่าคงที่จักรวาล (cosmological constant) หรือ พลังงานสุญญากาศ (vacuum energy) โดยมีแนวคิดพื้นฐานจากสมมติฐานของไอน์สไตน์ที่กล่าวว่าค่าคงที่จักรวาลเป็นแรงต้านที่สมดุลกับแรงโน้มถ่วง แต่ค่าคงที่จักรวาลในปัจจุบันมีความหมายทางฟิสิกส์มากกว่าที่ไอน์สไตน์คิดไว้เสียอีก (พิจารณาจากทฤษฎีสนามควอนตัม) กล่าวคือค่าคงที่จักรวาลไม่ได้มีความหมายแค่เป็นแรงต้านแรงโน้มถ่วงเท่านั้นแต่เป็นตัวขับเคลื่อนให้เอกภพขยายตัวแบบเร่ง

2. ควินเทสเซนส์ (quintessence) หรือ สนามสเกลาร์ (scalar field) ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.3.4 ซึ่งจะเป็นวัตถุเชิงพลวัต (dynamical) และจะถูกกำหนดโดยค่า w ของพลังงานมืด

1. รายละเอียดของผลเฉลยอ่านเพิ่มเติมที่ [4] หน้า 13

2. ความหมายที่หัวข้อ 2.3.2

ในปัจจุบัน (ค.ศ.2004) แนวคิดเรื่องแบบจำลองของพลังงานมืดคือ ค่าคงที่จักรวาลไม่ค่อยเป็นที่น่าเชื่อถือสักเท่าใดเพราะเป็นเรื่องยากที่จะเชื่อว่าค่าคงที่จักรวาล คือ 2 ใน 3 ส่วนที่หายไปในเอกภพ [7] จึงทำให้แนวคิดของ ควินเทสเซนซ์ เป็นที่ยอมรับกันมากขึ้น ปัจจุบันปัญหาการทำวิจัยส่วนใหญ่ในวิชาจักรวาลวิทยาจะมุ่งเน้นไปยัง เรื่องพลังงานมืด เพื่อจะทำความเข้าใจธรรมชาติของพลังงานมืดในเรื่องต่างๆ โดยที่นักฟิสิกส์พยายามจะค้นหาทฤษฎีหรือกฎที่ใช้อธิบายพลังงานมืดให้สำเร็จ ซึ่งนักฟิสิกส์กลุ่มหนึ่งเชื่อว่าจะเป็นหนทางหนึ่งที่น่าไปสู่การค้นพบสุดยอดทฤษฎีอันยิ่งใหญ่ที่สามารถอธิบายทุกสรรพสิ่ง (Theory of Everything) ในเอกภพนี้ได้ ผู้เขียนเชื่อว่าอีกไม่นานพวกเราทั้งหมดจะได้เป็นประจักษ์พยานการเกิดขึ้นของทฤษฎีที่ว่านี้อย่างแน่นอน

เอกสารอ้างอิง

- [1] คีฟ เอส. ธอร์น, หลุมดำและการบิดเบือนเวลา: มรดกของไอน์สไตน์ที่เจ้าตัวปฏิเสธ แปลและเรียบเรียงโดย ดนัย วิโรจน์อุไรเรื่อง สถาบันราชภัฏอุบลราชธานี (2545)
- [2] สตีเฟน ฮอว์กิง ,ประวัติย่อของเวลา แปลและเรียบเรียงโดย รชสิม ปรามาส สำนักพิมพ์มติชน (2545)
- [3] B.F. Schutz, A First Course in General Relativity, Cambridge University Press (1985)
- [4] B. Gumjudpai, Overview of Modern Cosmology, Proceedings from The Second Tah Poe School of Cosmology 2003 (2003) [arXiv:astro-ph 0305063]
- [5] A.H. Guth, Phys. Rev. D23, 347 (1981)
A. Albrecht and P.J.Steinhardt, Phys.Rev.Lett.48,1220 (1982)
A.D. Linde, Phys. Lett.108B, 389 (1982)
- [6] M.S. Turner, Dark Energy and New Cosmology. SuperNova Acceleration Probe (SNAP)Yellow Book (2003) <http://supernova.lbl.gov/~evlinder/turner.pdf>
- [7] N. Strauman, Dark Energy (2003) [arXiv:gr-qc 0311083]