Faculty of Education
SUAN SUNANDHA RAJABHAT UNIVERSITY

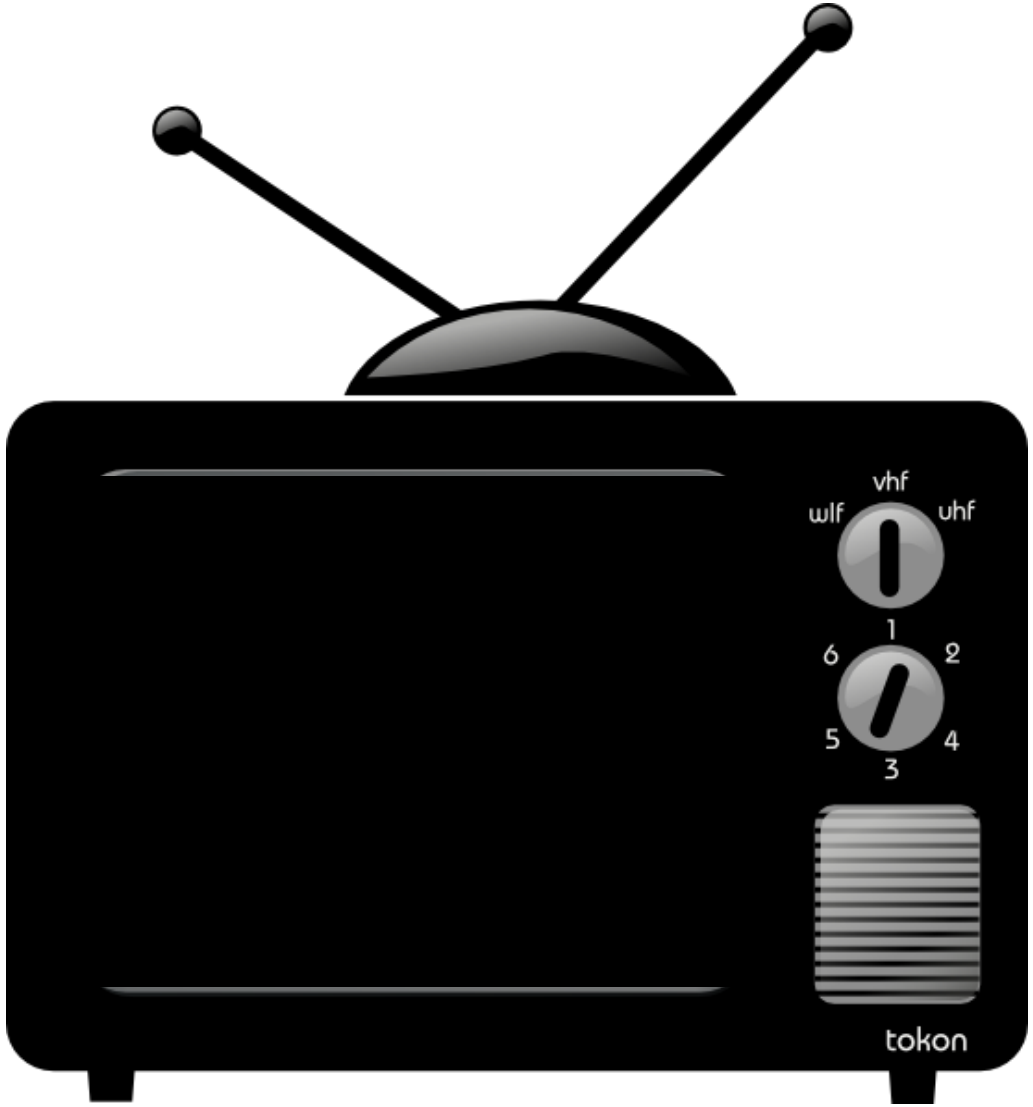
GSI2305

กระบวนการเกิดและวิวัฒนาการของเอกภพ

ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. กรกมล ชูช่วย

ความสัมพันธ์ของดาราศาสตร์กับมนุษย์ในแต่ละยุค

- สสารมืด
- กฎของฮับเบิล
- ทฤษฎีบิกแบง



กำเนิดเอกภพ

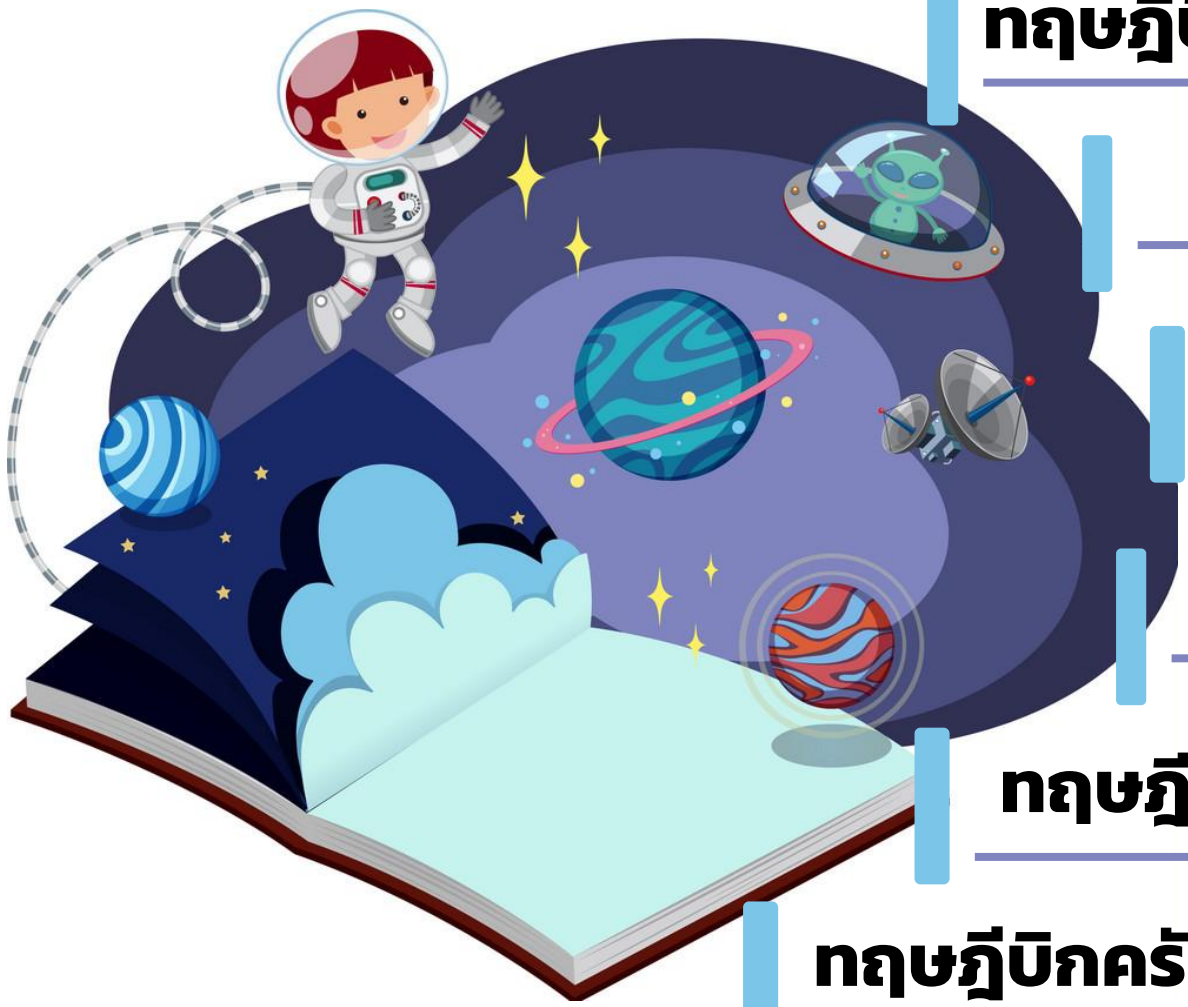
https://www.youtube.com/watch?v=-3-bL9kN2kU

เอกภพ (Universe)

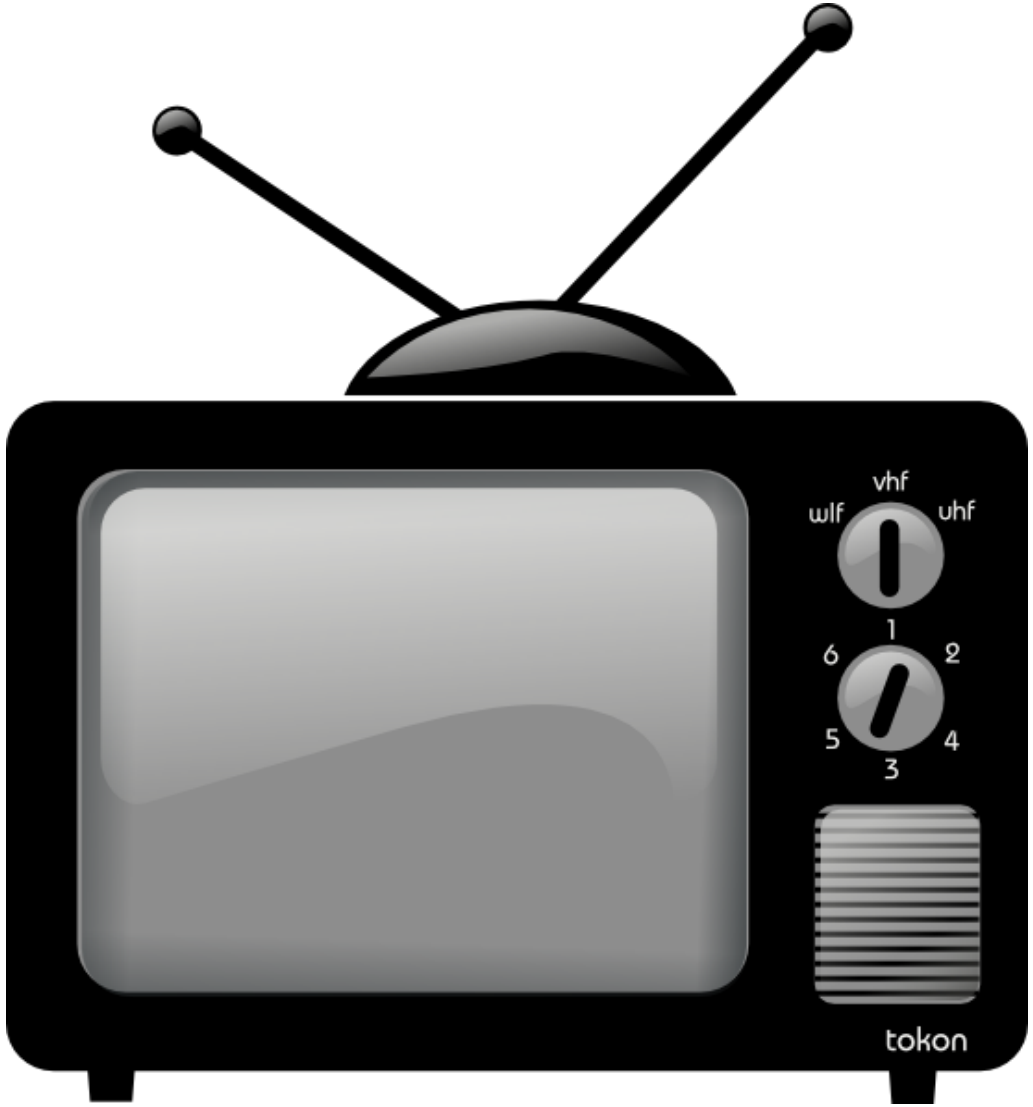
พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถานให้ความหมายไว้ว่า ระบบซึ่งเป็นผลรวมของกาแล็กซีทั้งหมด เอกภพมีระบบกาแล็กซีประมาณ 10,000 ล้านกาแล็กซี เราสามารถศึกษากาแล็กซีที่เห็นได้ด้วยกล้องโทรทรรศน์ขนาดใหญ่

กาแล็กซีจำนวนมากที่ปรากฏในภาพถ่ายโดยกล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิล

การเกิดและอนาคตของเอกภพ



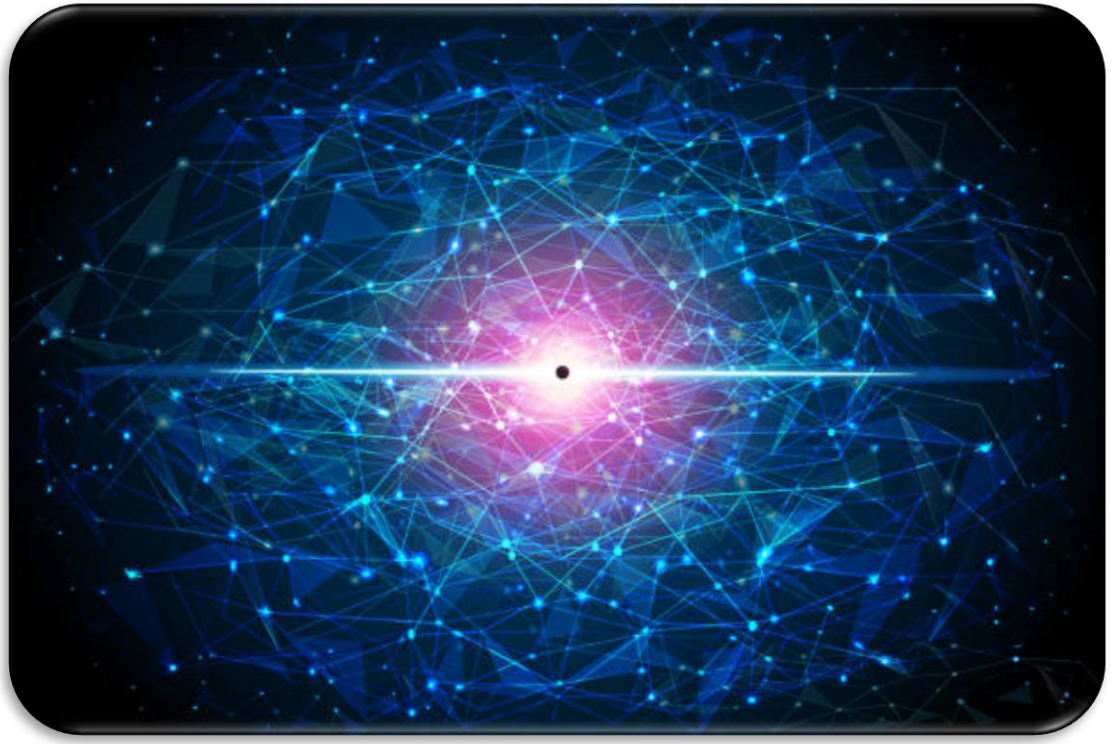
- ทฤษฎีบิกแบง (Big-bang Theory)
- ทฤษฎีสภาวะคงตัว
- ทฤษฎีเอกภพแกว่งกวัด
- ทฤษฎีการขยายตัวลดลง
- ทฤษฎีเอกภพหดตัวและขยายตัว
- ทฤษฎีบิกครันซ์



การเกิดบิกแบง

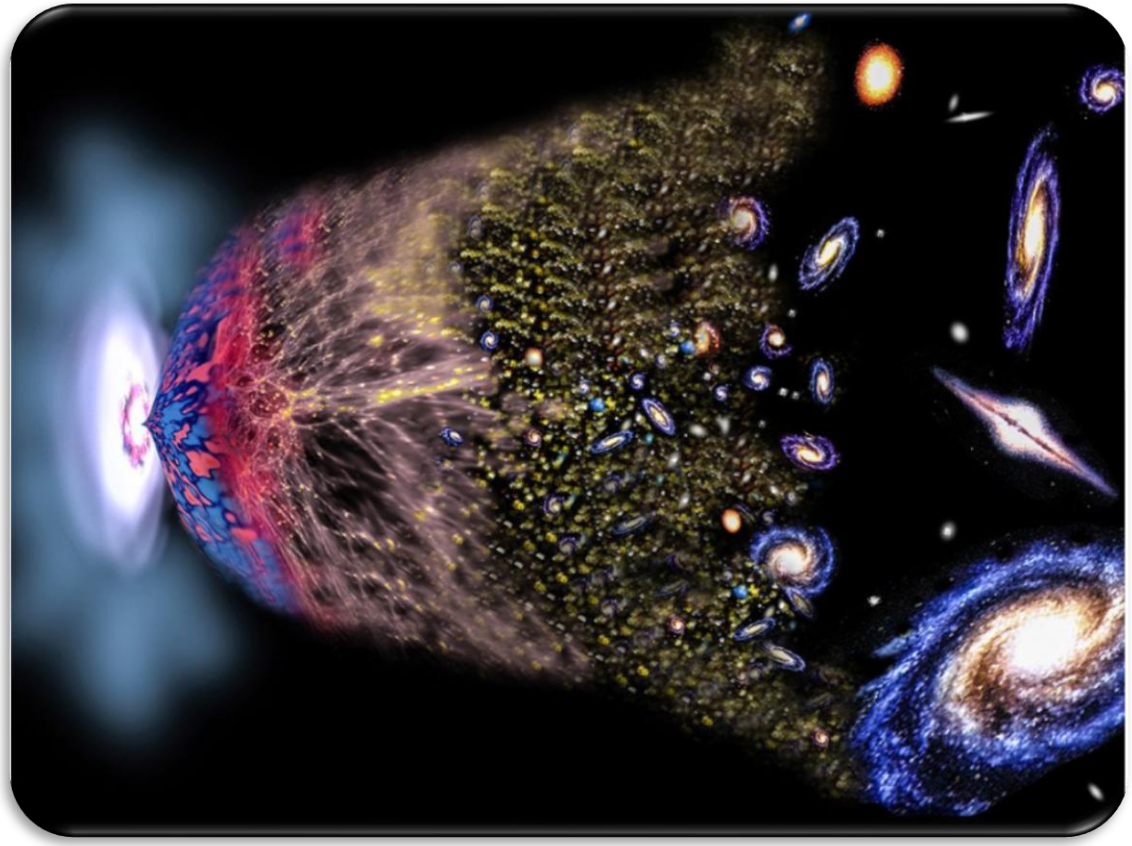
https://www.youtube.com/watch?v=wT21EAa_65k

ทฤษฎีบิกแบง (Big-bang Theory)



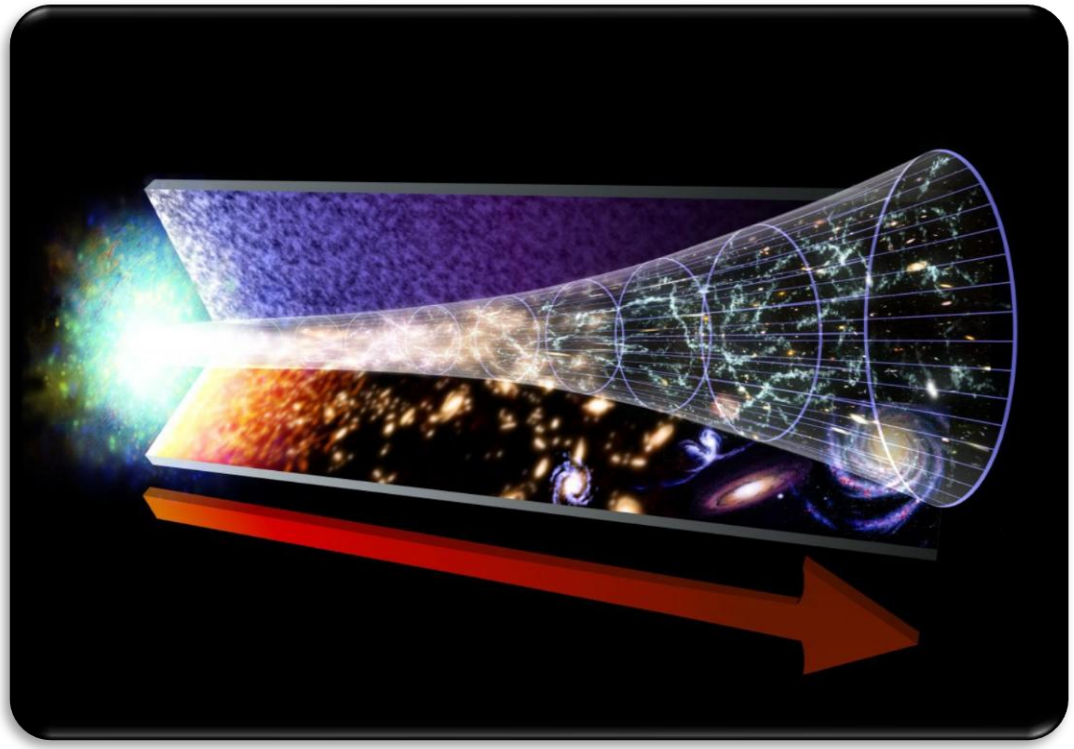
ทฤษฎีนี้กล่าวว่า กาแล็กซีทั้งหลายและสรรพสิ่งทั้งหลายครั้งหนึ่งรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ถูกบีบคั้นอัดตัวหนาแน่นอย่างยิ่งด้วยพลังงานมหาศาลสูงยิ่ง เอกภพเกิดขึ้นเมื่อเกิดการระเบิดครั้งยิ่งใหญ่ หรือที่เรียกว่า **“บิกแบง (Big-bang)”**

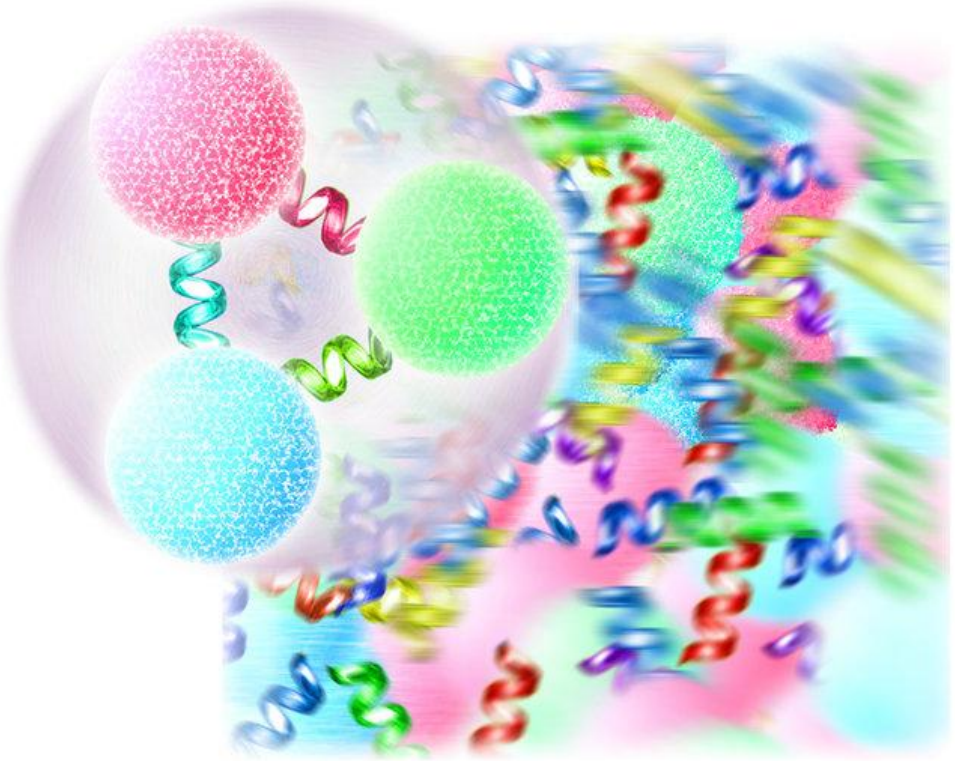
มวลสารและพลังงานมหาศาลถูกปล่อยออกไป การระเบิดใหญ่มีความร้อนแรงสูงที่สุด สสารและพลังงานของการระเบิดทำให้เกิดการขยายตัวออกไป เกิดแรงโน้มถ่วงและแรงยึดนิวเคลียสของอะตอม เกิดอะตอมของธาตุและเกิดสรรพสิ่งต่างๆ ดาวฤกษ์ กระจุก ดาวกาแล็กซีต่างๆ พลังงานความร้อนและรังสีต่างๆ ลดลงตามกาลเวลา



จากการตรวจวัดและการคำนวณการขยายตัวของเอกภพ

ทราบว่า เอกภพเกิดขึ้นเมื่อ14,500 ล้านปีมาแล้ว จากผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่า ก่อนเกิดการระเบิดใหญ่สสารทั้งหลายในเอกภพรวมตัวกันเป็นสสารก้อนเดียวกัน เมื่อสสารก้อนนั้นได้ระเบิดครั้งใหญ่ขึ้น ชิ้นส่วนต่างๆ ได้กระจายออกสู่อวกาศด้วยความเร็วต่างๆ เกิดลูกไฟขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อเย็นตัวลงเกิดเป็นอนุภาค สสารอะตอมของธาตุ ดาวฤกษ์ สสารระหว่างดวงดาว กระจุกดาว และกาแล็กซีต่างๆ ซึ่งทุกสิ่งที่เกิดขึ้นต่างเคลื่อนที่ออกไปจากกัน เอกภพขยายตัวเคลื่อนที่ออกไปตั้งแต่วันแรกและปัจจุบันก็ยังคงขยายตัวต่อไป

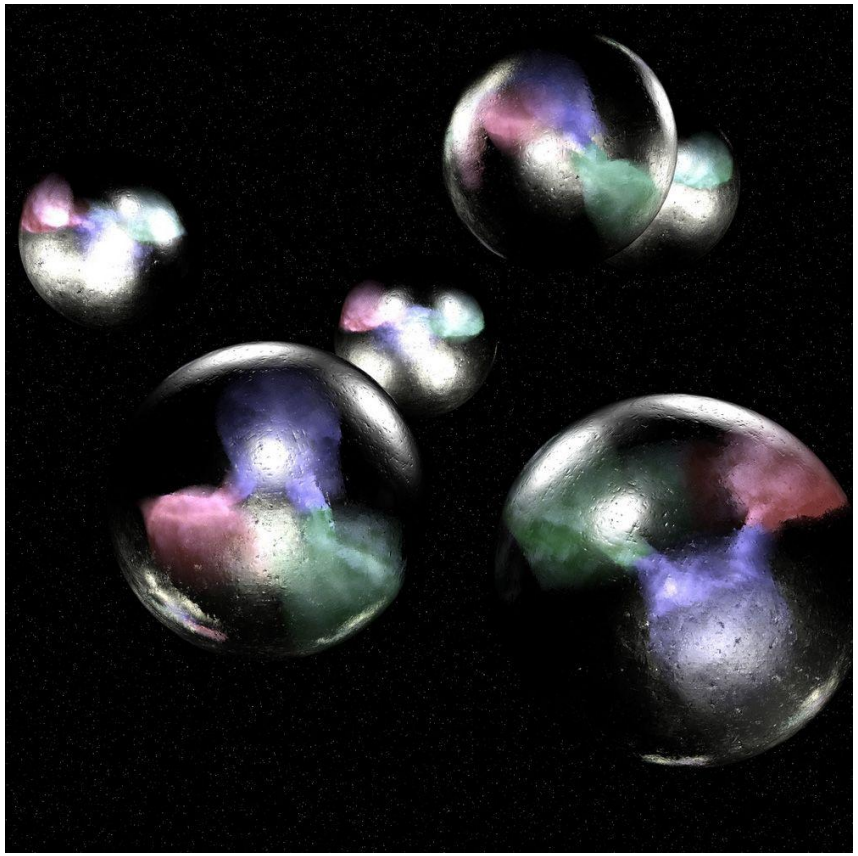




ขณะเกิดบิกแบง

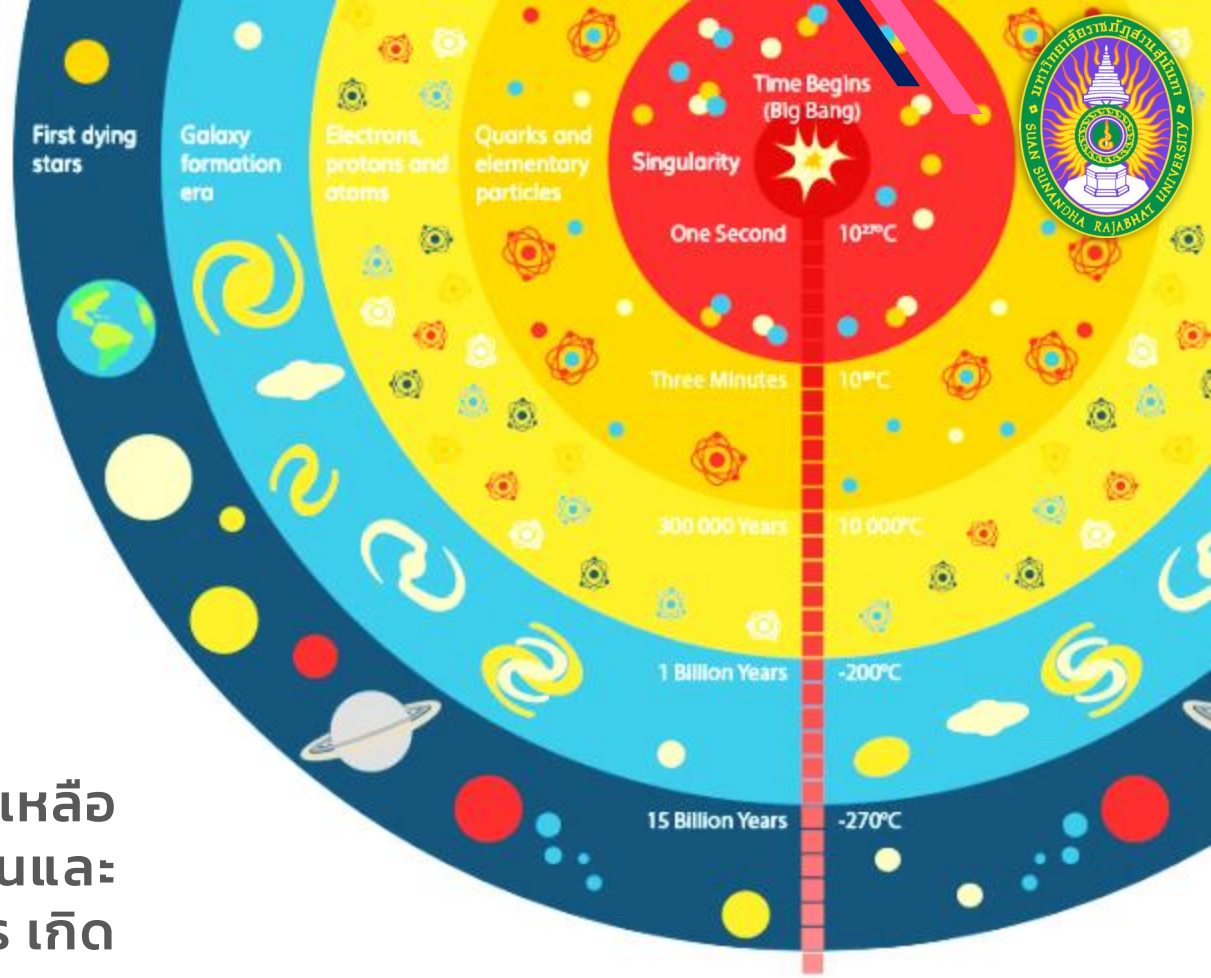
มีเนื้อสารเกิดขึ้นในรูปของอนุภาคพื้นฐานชื่อ ควาร์ก (Quark) อิเล็กตรอน (Electron) นิวทริโน (Neutrino) และโฟตอน (Photon) ซึ่งเป็นพลังงานด้วย เมื่อเกิดอนุภาคก็จะเกิดปฏิอนุภาค (Anti-particle) ที่มีประจุไฟฟ้าตรงข้าม ยกเว้นนิวทริโนและแอนตินิวทริโน ไม่มีประจุไฟฟ้า

เมื่อปฏิอนุภาคพบกับอนุภาคชนิดเดียวกันจะหลอมรวมกัน เนื้อสารเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจนหมดสิ้น ถ้าเอกภพมีจำนวนอนุภาคเท่ากับปฏิอนุภาคพอดี เมื่อพบกันจะกลายเป็นพลังงานทั้งหมด ก็จะไม่เกิดกาแล็กซี่ ดาวฤกษ์และระบบสุริยะ โชคดีที่ในธรรมชาติมีอนุภาคมากว่าปฏิอนุภาค ดังนั้น เมื่อปฏิอนุภาคพบกับอนุภาค นอกจากจะได้พลังงานเกิดขึ้นแล้ว ยังมีอนุภาคเหลืออยู่และนั่นคือ อนุภาคที่ก่อกำเนิดเป็นสสารของเอกภพในปัจจุบัน



หลังบิกแบงเพียง 10^{-6} วินาที อุณหภูมิของเอกภพลดลงเป็นสิบล้านล้านเคลวิน ทำให้ ควาร์กเกิดการรวมตัวกัน กลายเป็นโปรตอน (นิวเคลียสของไฮโดรเจน) และนิวตรอน

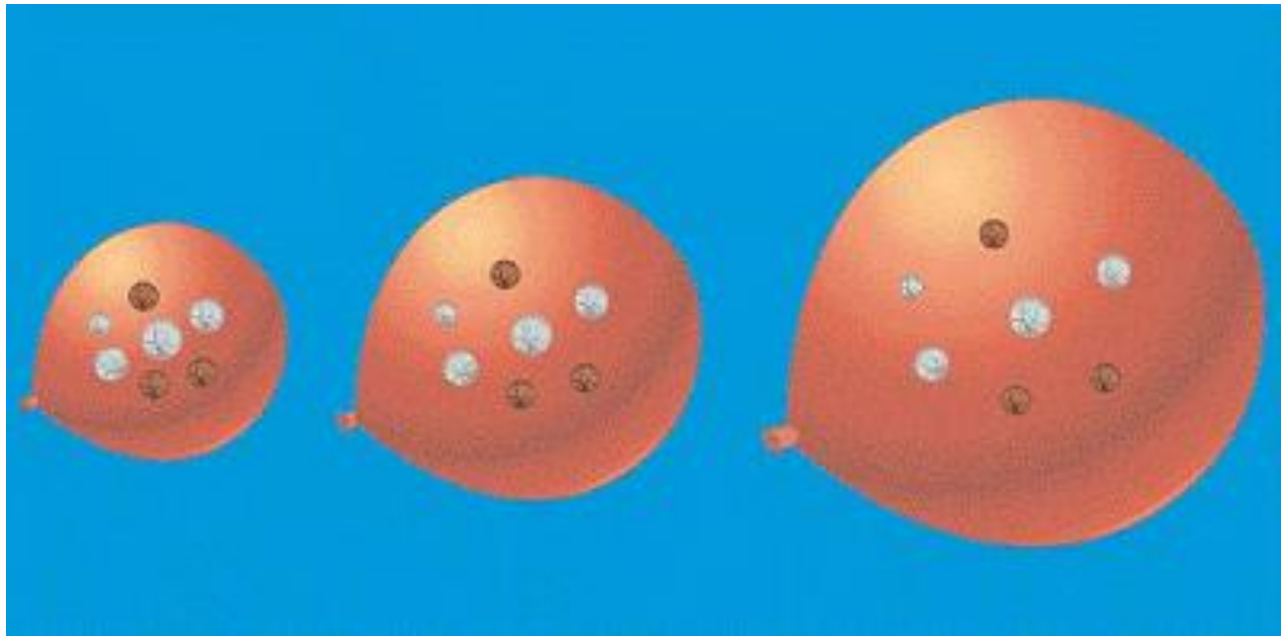
หลังบิกแบง 3 นาที อุณหภูมิของเอกภพลดลงเป็นร้อยล้านเคลวิน มีผลให้โปรตอนและนิวตรอนเกิดการรวมตัวเป็นนิวเคลียสของฮีเลียม ช่วงแรกๆ นี้เอกภพขยายตัวอย่างรวดเร็วมาก



หลังบิกแบง 300,000 ปี อุณหภูมิลดลงเหลือ 10,000 เคลวิน นิวเคลียสของไฮโดรเจนและฮีเลียมดึงอิเล็กตรอนเข้ามาอยู่ในวงโคจร เกิดเป็นอะตอมไฮโดรเจนและฮีเลียม

กาแล็กซีต่างๆ เกิดหลังบิกแบง 1,000 ล้านปี ภายในกาแล็กซีมีธาตุไฮโดรเจนและฮีเลียมเป็นสารเบื้องต้น ซึ่งก่อกาเนิดเป็นดาวฤกษ์รุ่นแรกๆ ส่วนธาตุต่างๆ ที่มีมวลมากกว่าฮีเลียมเกิดจากดาวฤกษ์ขนาดใหญ่

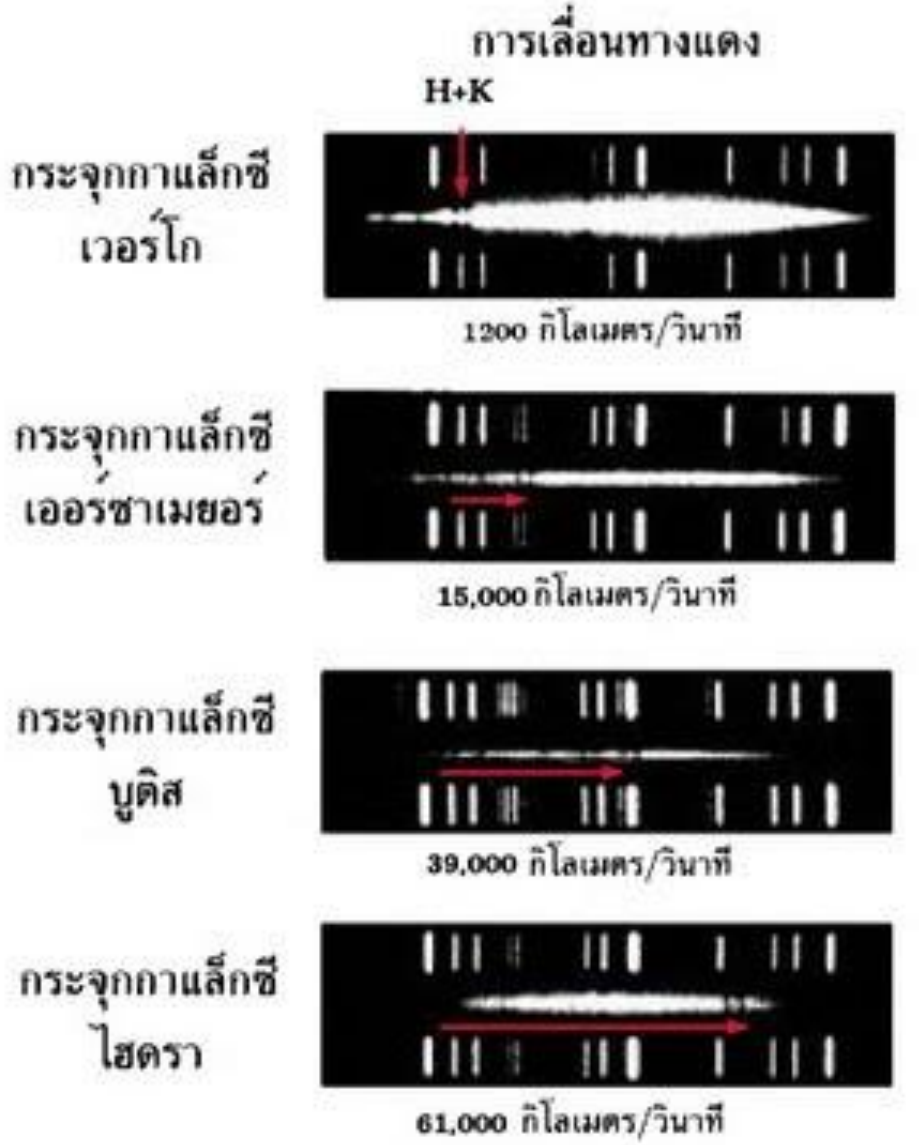
ปรากฏการณ์ที่สนับสนุนทฤษฎีบิกแบง

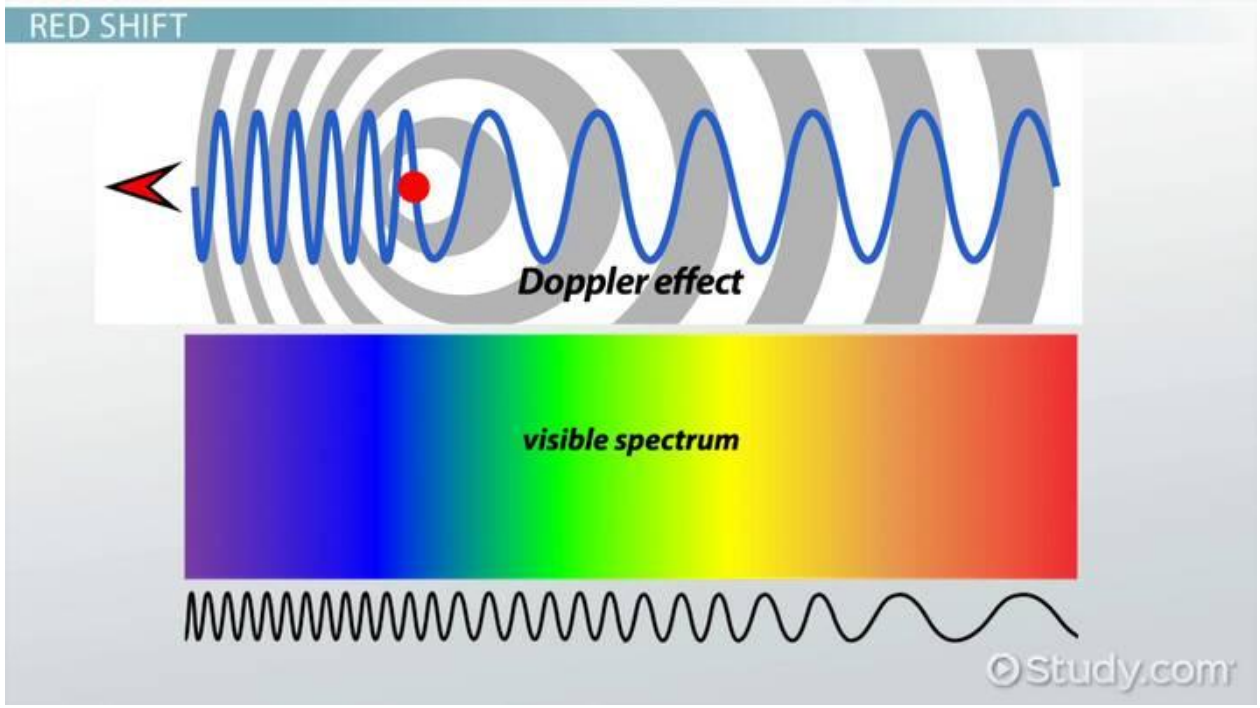


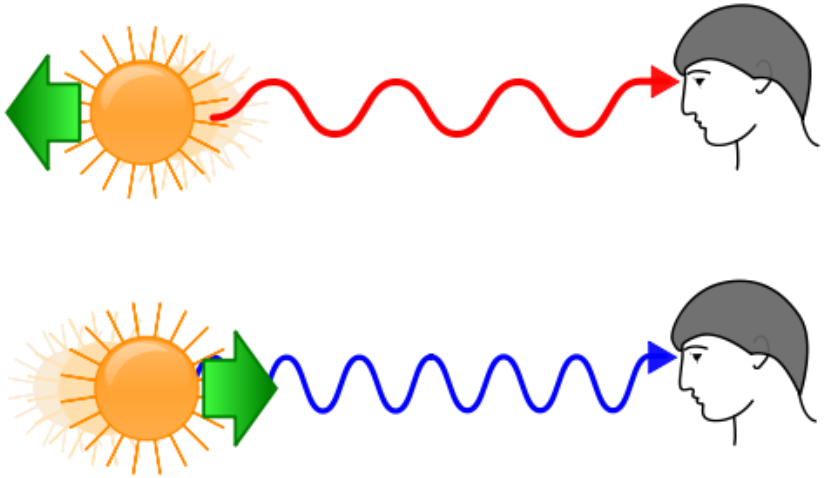
การขยายตัวของเอกภพ

เอ็ดวิน ฮับเบิล (Edwin Powell Hubble) กระจุกกาแล็กซีกำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากโลกมากขึ้นในทุกทิศทาง จึงตั้งสมมติฐานว่าเอกภพกำลังขยายตัว โดยเปรียบเทียบว่า ถ้าลูกโป่งคือเอกภพ และจุดบนผิวลูกโป่งคือกระจุกกาแล็กซี เมื่อเราเป่าลูกโป่ง จุดแต่ละจุดบนผิวลูกโป่งจะมีระยะทางห่างจากกันมากขึ้น

เอ็ดวิน ฮับเบิล ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระยะทางของกระจุกกาแล็กซีกับการเลื่อนทางแดง (Red shift) พบว่า “การเลื่อนทางแดงของกระจุกกาแล็กซีที่อยู่ห่างไกล แปรผันตามระยะทางระหว่างโลกถึงกระจุกกาแล็กซี” นั่นหมายความว่า กาแล็กซียิ่งอยู่ห่างไกลเท่าไร การเลื่อนทางแดงก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น

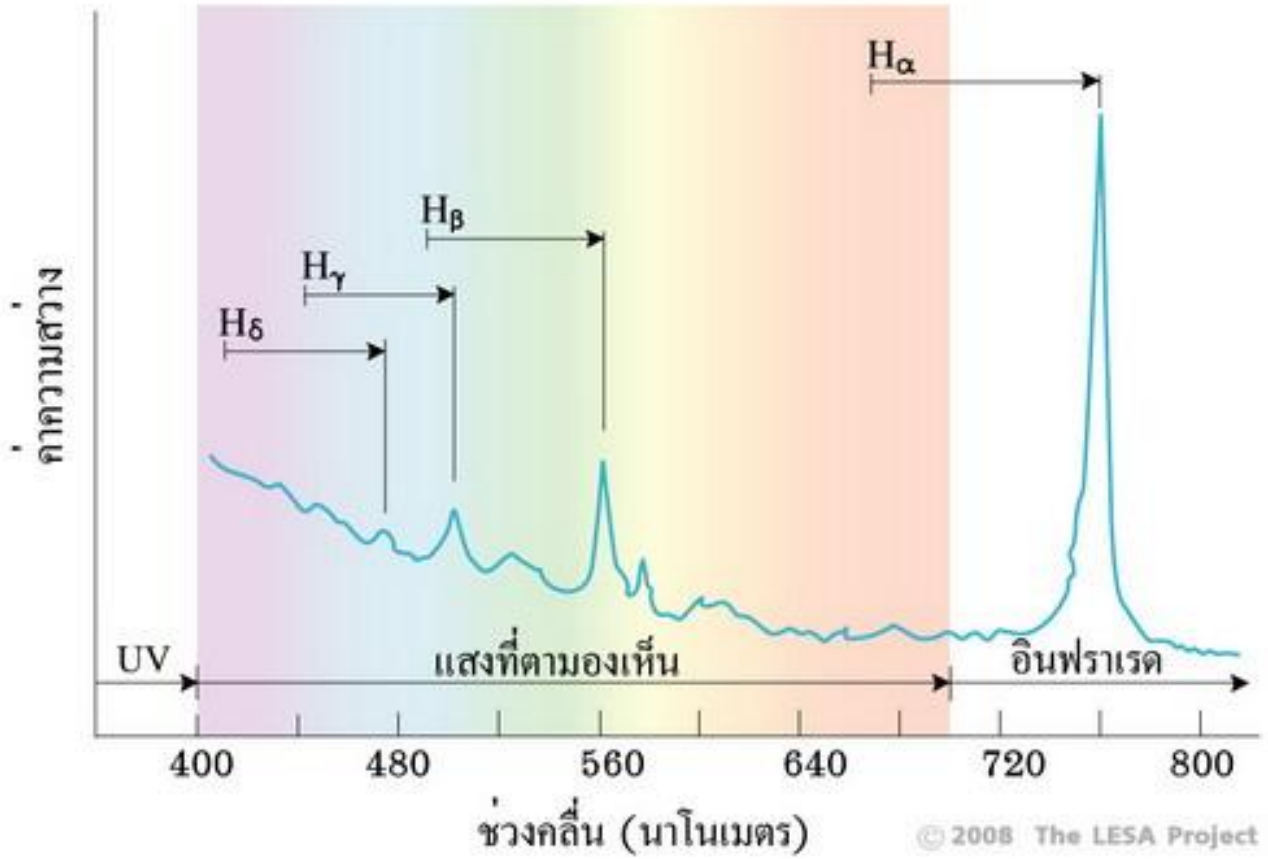






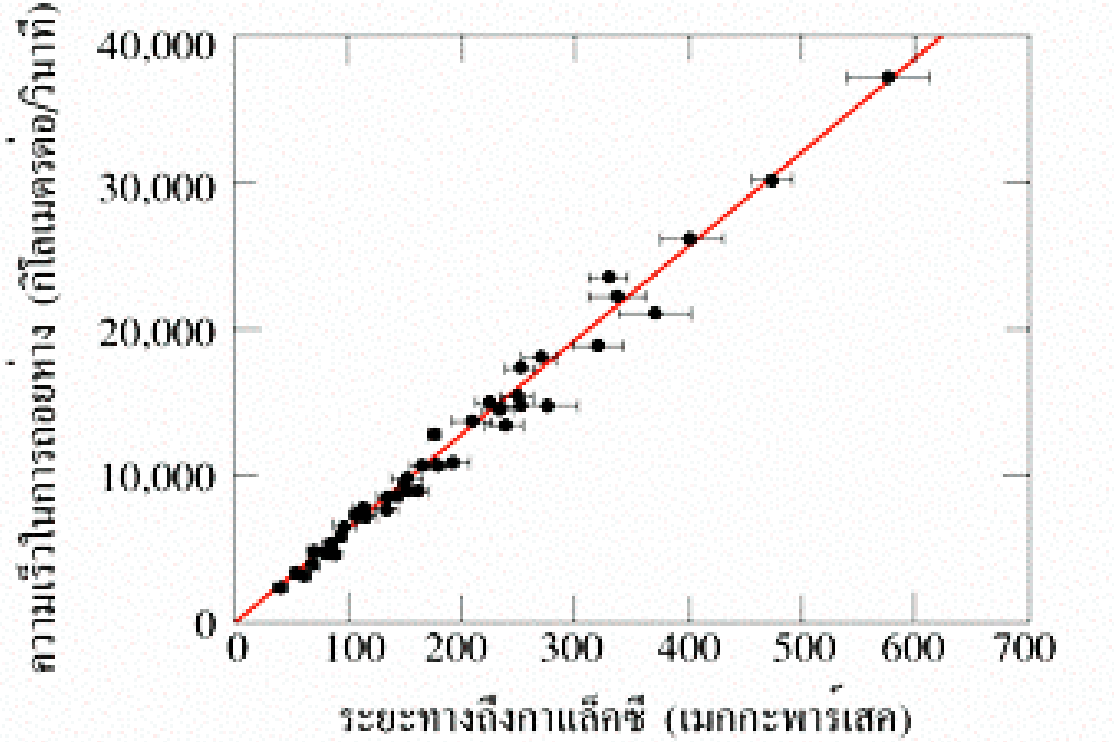
ปรากฏการณ์ดอปเปลอร์ (Doppler Effect)

เป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่น เนื่องจากความสัมพัทธ์ระหว่างทิศทางการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดกับผู้สังเกตการณ์ ขณะที่แหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่เข้าหา ผู้สังเกตการณ์จะสังเกตเห็นความยาวคลื่นสั้นลง (ความถี่สูงขึ้น) และเมื่อแหล่งกำเนิดคลื่นเคลื่อนที่ออก ผู้สังเกตการณ์จะสังเกตเห็นความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น (ความถี่ต่ำลง)



กระจุกกาแล็กซีกำลังเคลื่อนที่ห่างจากโลกในทุกทิศทาง กระจุกกาแล็กซียิ่งอยู่ห่างไกล ยิ่งมีค่าการเลื่อนแดงที่สูง เป็นหลักฐานยืนยันว่าเอกภพกำลังขยายตัว ภาพแสดงให้เห็น การเลื่อนทางแดงบนสเปกตรัมของกระจุกกาแล็กซีแห่งหนึ่ง เส้นไฮโดรเจนอัลฟา (H) ซึ่งปกติอยู่ที่ความยาวคลื่น 653 nm ในช่วงแสงที่ตามองเห็น กลับเลื่อนไปอยู่ที่ความยาวคลื่น 760 นาโนเมตร ซึ่งอยู่ในช่วงรังสีอินฟราเรด

เอ็ดวิน ฮับเบิล วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของกาแล็กซีกับความเร็วในการถอยห่าง ด้วยสมการกราฟเส้นตรง ซึ่งต่อมาถูกเรียกว่า “กฎฮับเบิล” (Hubble Law)



$$\nu = H_0 D$$

เมื่อ ν = ความเร็วในการถอยห่างของกาแล็กซี (km/s)
D = ระยะทางจากโลกถึงกาแล็กซี (Mpc)
H_0 = ค่าคงที่ของฮับเบิล
= 75 km/s/Mpc (กิโลเมตร/วินาที/เมกะพาร์เซก)

1 เมกะพาร์เซก (Mpc) = 3.26 ล้านปีแสง = 31 ล้านล้านกิโลเมตร

Example

กาแล็กซี่กลุ่มหนึ่ง มีความเร็วถอยห่างจากผู้สังเกตเป็น 1,500 km/s จงหาว่า กาแล็กซี่กลุ่มนี้อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทางเท่าใด (กำหนดค่าคงตัวของฮับเบิล = 75 km/s/Mpc

จากกฎฮับเบิล $v = H_0 D$

$1500 \text{ km/s} = 75 \text{ km/s/Mpc} \times D$

$$D = \frac{1500 \text{ km/s}}{75 \text{ km/s/Mpc}}$$

$D = 20 \text{ Mpc}$

$\therefore$ กาแล็กซี่กลุ่มนี้อยู่ห่างจากโลกเป็นระยะทาง 20 Mpc

การประมาณอายุของเอกภพ

อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของกาแล็กซีใดๆ (v) หาได้จากระยะทางที่กาแล็กซีนั้นเคลื่อนที่ได้ (D) ต่อเวลาในการเคลื่อนที่นั้น (t)

$$v = \frac{D}{t} \quad \rightarrow \quad t = \frac{D}{v}$$

จากกฎของฮับเบิล $v = HD$

สามารถประมาณอายุของเอกภพ ได้จากสมการ

$$t = \frac{1}{H}$$

$$t = \frac{1}{H_0} \quad \text{(เมื่อ t คืออายุของเอกภพ)}$$

แต่ $H_0 = 75 \text{ km s}^{-1} \text{ . Mpc}^{-1}$

แทนค่า $t = \frac{1}{75 \text{ km s}^{-1} \text{ . Mpc}^{-1}}$

$$t = \frac{1 \text{ Mpc}}{7.5 \text{ km s}^{-1}}$$

$$t = \frac{3.1 \times 10^{19} \text{ km}}{75 \text{ km s}^{-1}} \quad (1 \text{ Mpc} = 3.1 \times 10^{19} \text{ km})$$

☆☆☆ $t = 4.13 \times 10^{17}$ วินาที

แต่ 1 ปีมีเวลา $= 365 \times 24 \times 60 \times 60$ วินาที

$$\therefore t = \frac{4.13 \times 10^{17}}{365 \times 24 \times 60 \times 60} \text{ ปี}$$

$$t = 1.3 \times 10^{10} \text{ ปี}$$

จากการคำนวณเราจะทราบได้ว่า เอกภพมีอายุตั้งแต่เกิดเหตุการณ์บิกแบงมาจนถึงปัจจุบันมีอายุทั้งหมดประมาณ 13,000 ล้านปีมาแล้ว นอกจากนี้เราสามารถคำนวณหาขนาดของเอกภพโดยประมาณได้

เมื่อเราทราบอายุของเอกภพ ก็จะสามารถทราบขนาดของเอกภพด้วยเช่นกัน

ถ้าให้ R = รัศมีของเอกภพ หน่วย ปีแสง (ly)

c = ความเร็วของแสง = 3.0×10^{8} เมตร/วินาที (ms^{-1})

t = เวลาของเอกภพ = 4.13×10^{17} วินาที (s)

จะได้ $R = c \times t$

แทนค่าในสูตร $R = 3.0 \times 10^{8} \times 4.13 \times 10^{17}$ เมตร

$= 12.39 \times 10^{25}$ เมตร

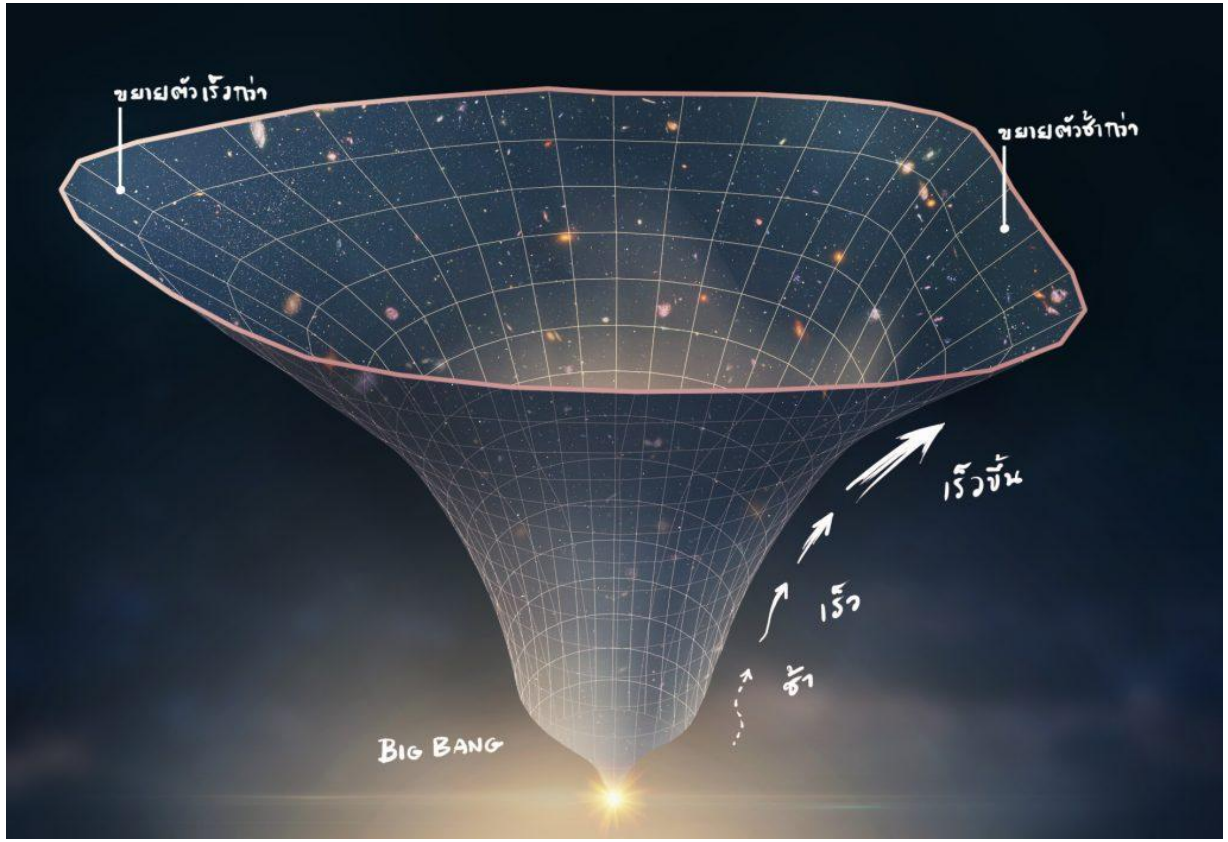
$= \dfrac{12.39 \times 10^{25}}{9.46 \times 10^{15}}$ ปีแสง (1 ปีแสง = 9.46×10^{15} เมตร)

$R = 1.3 \times 10^{10}$ ปีแสง

$\therefore$ รัศมีของเอกภพ $= 1.3 \times 10^{10} = 1.3 \times 10^{4} \times 10^{6}$ ปีแสง

$= 13{,}000 \times 10^{6}$ ปีแสง

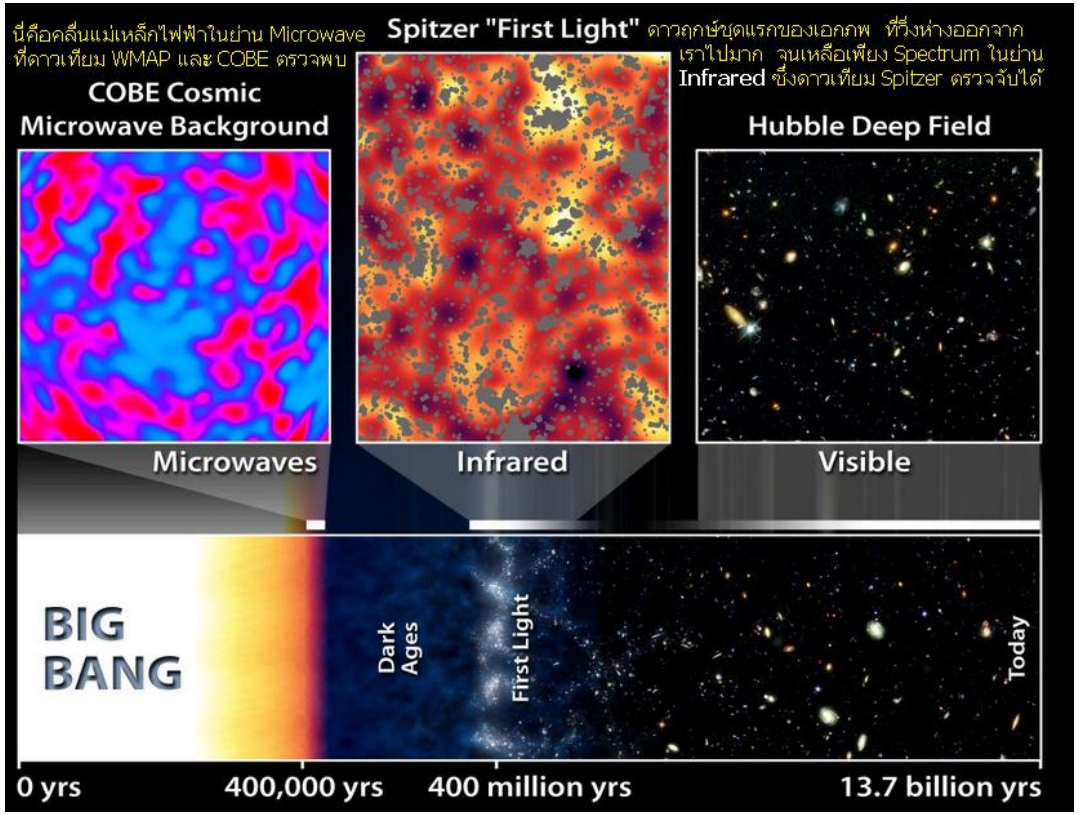
ดังนั้นเอกภพในปัจจุบันจะมีรัศมีเป็นระยะทางที่แสงเดินทางได้ในเวลาประมาณ 13,000 ล้านปี

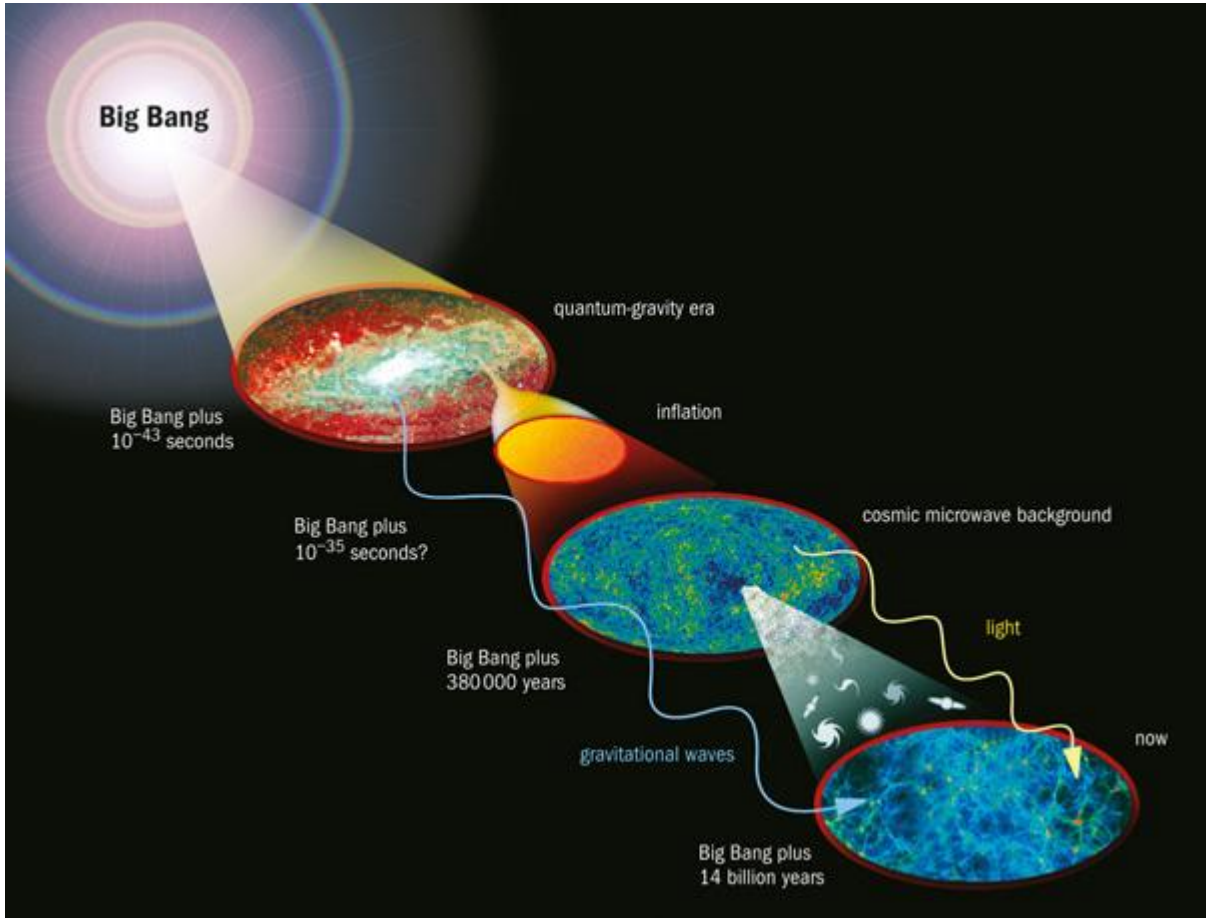


ฮับเบิลเป็นนักดาราศาสตร์ชาวอเมริกาที่ค้นพบว่า กาแล็กซีจะเคลื่อนที่ไกลออกไปด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นตามระยะห่าง กาแล็กซีที่อยู่ไกลยิ่งเคลื่อนที่ห่างออกไปเร็วกว่ากาแล็กซี่ที่อยู่ใกล้ นั่นคือ เอกภพกำ ลังขยายตัว จากความเข้าใจนี้ทำให้นักดาราศาสตร์สามารถคำนวณหาอายุของเอกภพได้

อุณหภูมิพื้นหลังของเอกภพปัจจุบันลดลง เหลือ 2.73 เคลวิน

การค้นพบอุณหภูมิของเอกภพในปัจจุบันหรืออุณหภูมิพื้นหลัง เป็นการค้นพบโดยบังเอิญโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวอเมริกา 2 คน ชื่ออาร์โน เพนเซียส และโรเบิร์ต วิลสัน แห่งห้องปฏิบัติการเบลเทเลโฟน เมื่อปี พ.ศ. 2508 ขณะนั้นนักวิทยาศาสตร์ทั้งสองคนกำลังทดสอบระบบเครื่องรับสัญญาณของกล้องโทรทรรศน์วิทยุ ปรากฏว่า มีสัญญาณรบกวนตลอดเวลา ไม่ว่า จะเป็นกลางวัน หรือกลางคืน หรือฤดูต่างๆ

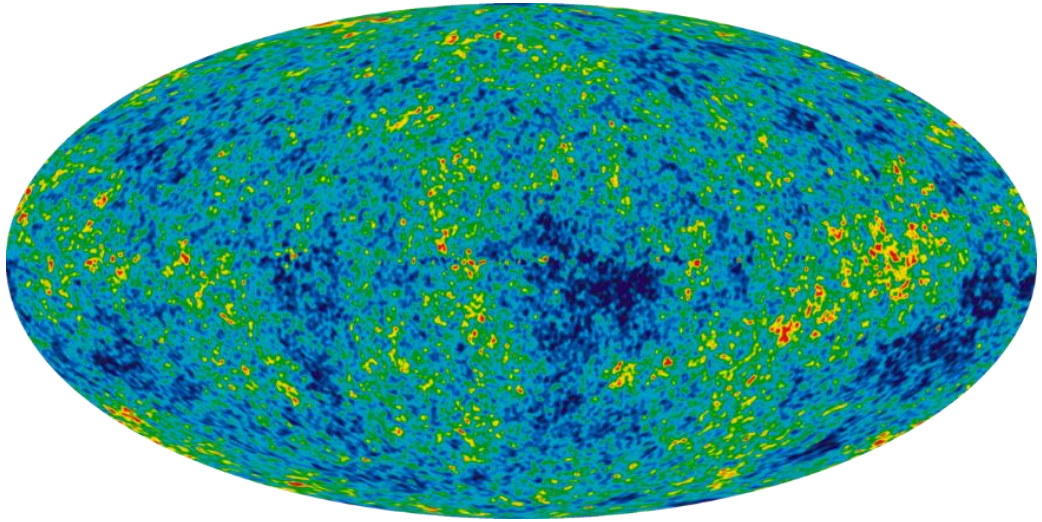




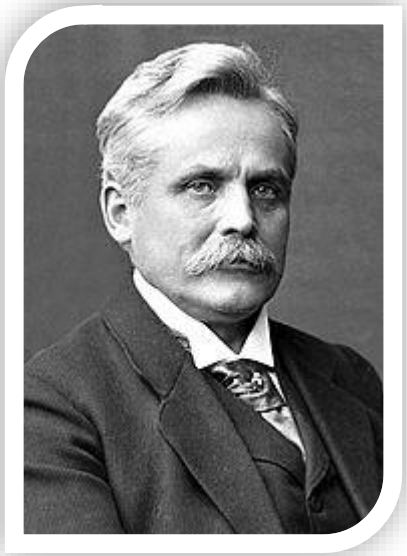
ต่อมาทราบภายหลังว่า เป็นสัญญาณที่เหลืออยู่ในอากาศ เทียบได้กับพลังงานของการแผ่รังสีของวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประมาณ 3 เคลวิน หรือประมาณ –270 องศาเซลเซียส ดังนั้น การพบพลังงานจากทุกทิศทุกทางในปริมาณที่เทียบได้กับพลังงานที่เกิดจากการแผ่รังสีของวัตถุดำ ที่มีอุณหภูมิประมาณ 3 เคลวิน จึงเป็นข้อที่สนับสนุนทฤษฎีบิกแบงได้เป็นอย่างดี

การค้นพบคลื่นไมโครเวฟพื้นหลังจากอวกาศ

รังสีไมโครเวฟพื้นหลังของเอกภพ (Cosmic Microwave Background Radiation) หรือเรียกสั้นๆ ว่า CMB (ควันหลงของบิกแบง) เป็นสิ่งที่มีการเลื่อนทางแดงมากที่สุดในเอกภพ นั่นหมายความว่า CMB เป็นปรากฏการณ์ที่เก่าแก่ที่สุดในเอกภพ ในปี ค.ศ.1989 NASA ได้ส่งยานอวกาศ Cosmic Background Explorer (COBE) ขึ้นไปศึกษาพบว่า CMB ความยาวคลื่นเข้มสุด 1.06 mm



กฎของวีน (Wien's law) แผ่รังสี



วิลเฮล์ม วีน
(Wilhelm Wien)

"อุณหภูมิของสสารแปรผกผันกับ
การแผ่คลื่นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า"

$$\lambda_{max} = \frac{0.0029}{T}$$

- λ_{max} หมายถึง ความยาวคลื่นเข้มสุดของการแผ่รังสี มีหน่วยเป็นเมตร (m)
- T หมายถึง อุณหภูมิของวัตถุ มีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

วัตถุอุณหภูมิสูงแผ่รังสีคลื่นสั้น วัตถุอุณหภูมิต่ำแผ่รังสีคลื่นยาว
รังสีที่มีความยาวคลื่นน้อยกว่าแสงที่ตามองเห็น เรียกว่า **คลื่นสั้น** เป็นอันตรายต่อมนุษย์
รังสีที่มีความยาวคลื่นมากกว่าแสงที่ตามองเห็น เรียกว่า **คลื่นยาว** ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์

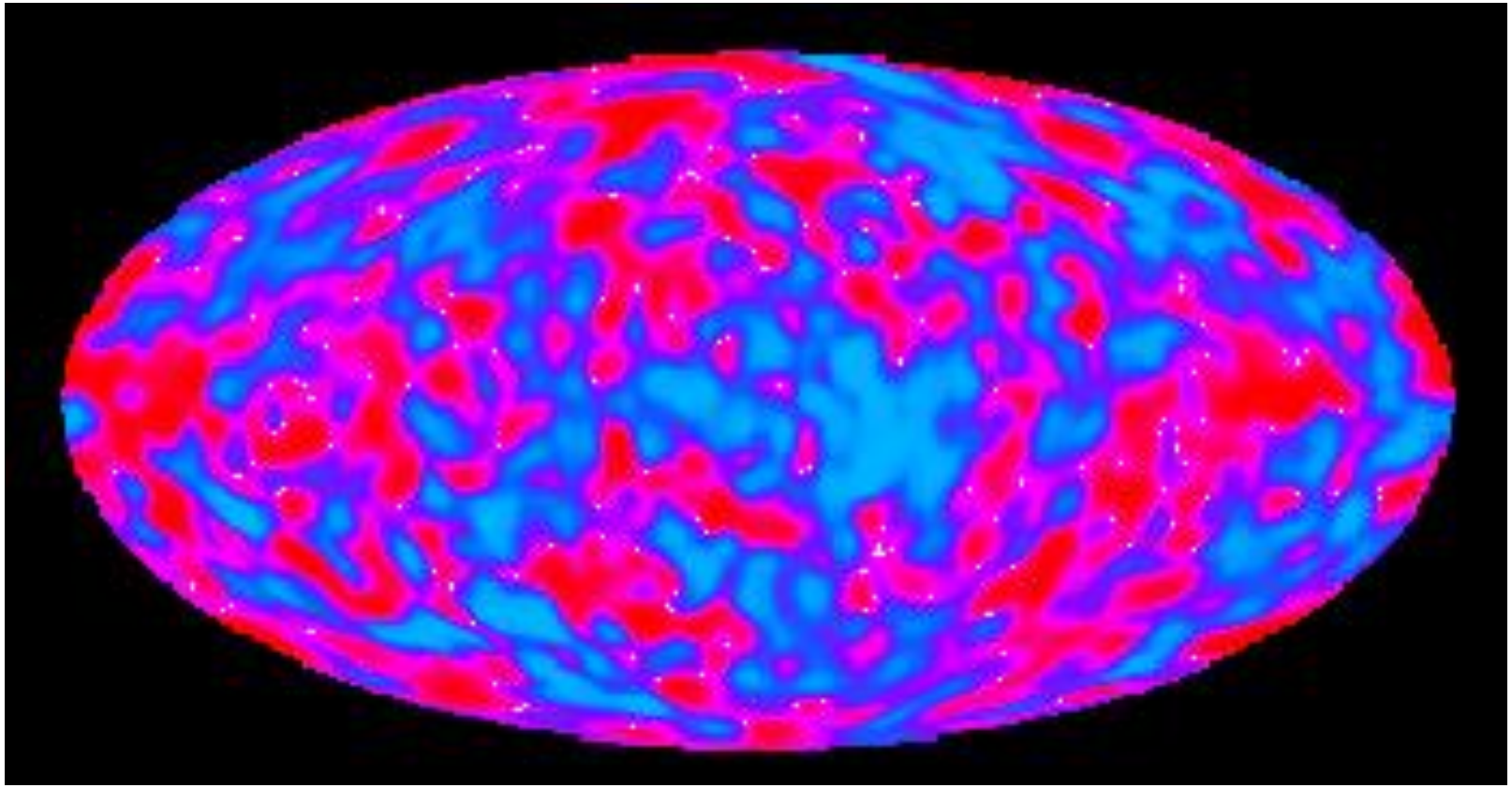
ดังนั้น คำนวนหาอุณหภูมิของเอกภพได้

$$\lambda_{max} = \frac{0.0029}{T}$$

$$T = \frac{0.0029}{\lambda_{max}}$$

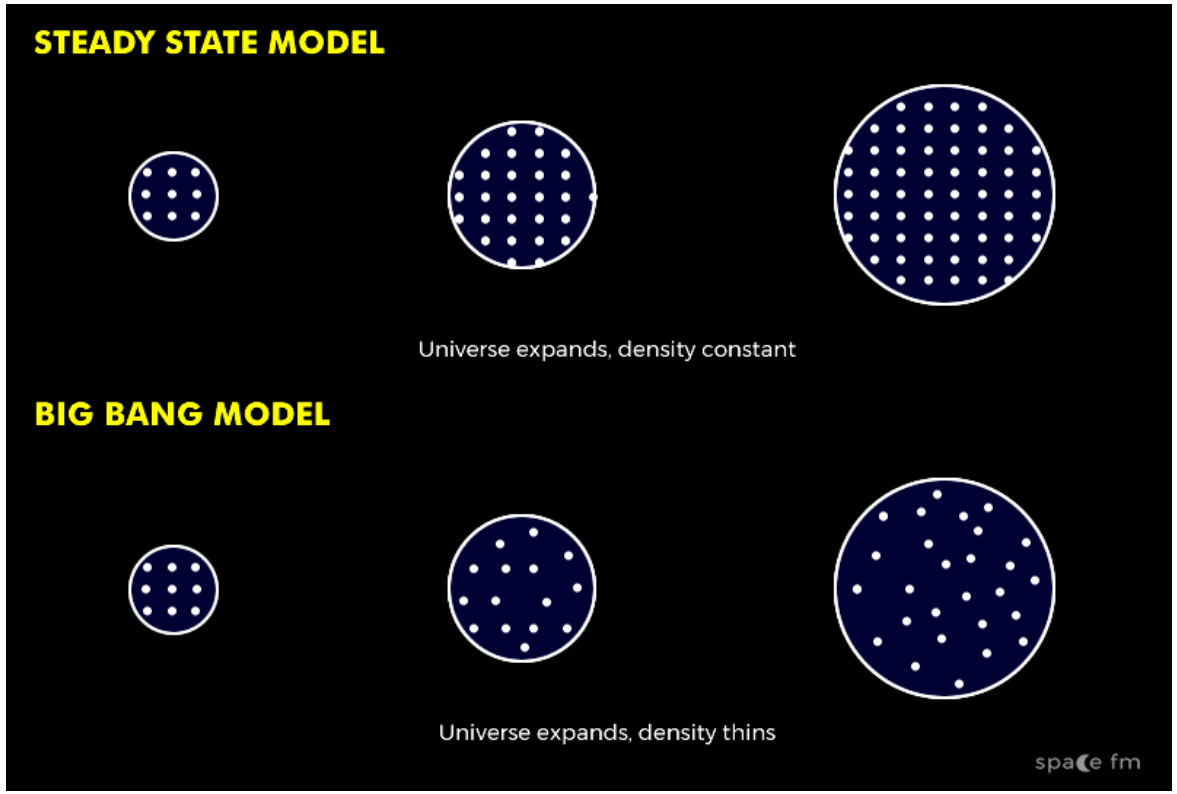
$$= \frac{0.0029}{1 \times 10^{-9}\ m} = 2.726\ K$$

นี่คือ อุณหภูมิที่เอกภพเย็นตัวลงนับจากตอนที่เอกภพมีอายุประมาณ 300,000 ปี (ช่วงเวลาของกำเนิดอะตอม) ซึ่งในปัจจุบันลดลงเหลือเพียง 2.726 K ยานอวกาศ COBE ได้ทำแผนที่แสดงอุณหภูมิของเอกภพ



สีแดงเป็นบริเวณที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ย 10^{-4} K สีน้ำเงินเป็นบริเวณที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ย 10^{-4} K แม้ว่าอุณหภูมิจะแตกต่างเพียงเล็กน้อย แต่ก็เป็นหลักฐานยืนยันว่า แต่ละอาณาบริเวณของเอกภพเย็นตัวลงไม่พร้อมกัน กาแล็กซีจึงก่อตัวเป็นหย่อมๆ เป็นกระจุก ไม่กระจายตัวเท่าๆ กันในเอกภพ

ทฤษฎีสภาวะคงตัว



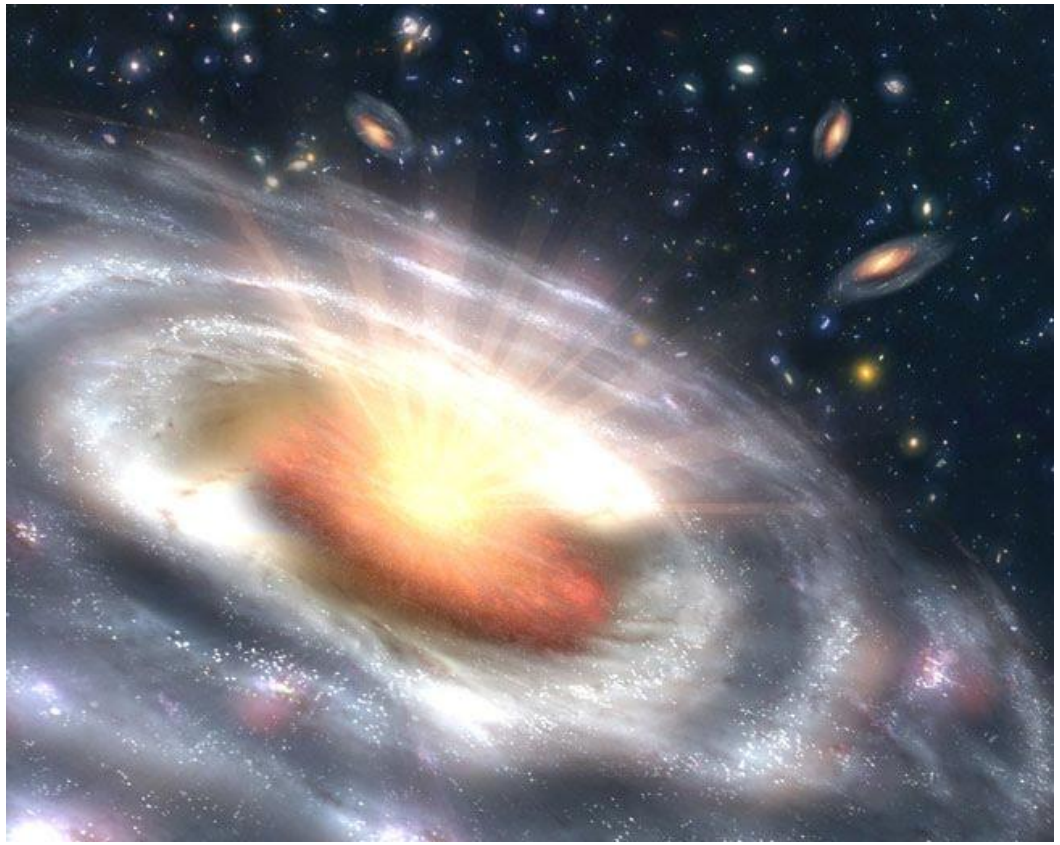
สสารในกาแล็กซีต่อหน่วยปริมาตรของอวกาศในเอกภพ จะเป็นค่าคงที่ ฉะนั้นสภาพของเอกภพจะเป็นเช่นเดิมโดยไม่มีความสิ้นสุดทั้งอวกาศและกาลเวลา ทฤษฎีนี้มีข้อจำกัดและมีข้อขัดแย้ง เมื่อเกิดเอกภพมีวิวัฒนาการตามทฤษฎีระเบิดใหญ่แล้ว ยังหาคำตอบว่า อนาคตเอกภพจะเป็นอย่างไรแน่จึงเกิดทฤษฎีที่ 3 ขึ้น

ทฤษฎีเอกภพแกว่งกวัด

ทฤษฎีนี้ปรับปรุงมาจากทฤษฎีสภาวะคงตัว เพื่อสามารถอธิบายอนาคตของเอกภพได้ การขยายตัวของเอกภพจะมีการช้าลงและหยุดลงได้สสารทั้งหลายจะหดตัวกลับและดึงมวลเข้าหากัน แล้วจะเริ่มยุบตัวของสสารลง กล่าวคือ กาแล็กซีทั้งหลายจะเคลื่อนที่เข้าหากัน และหลอมรวมกันเป็นก้อนเดียวกันอีก โดยเริ่มวัฏจักรใหม่เป็นรอบๆ ดังนั้น เอกภพจะเพิ่มและลดรัศมีของมันเป็นรอบๆ สลับกันไป

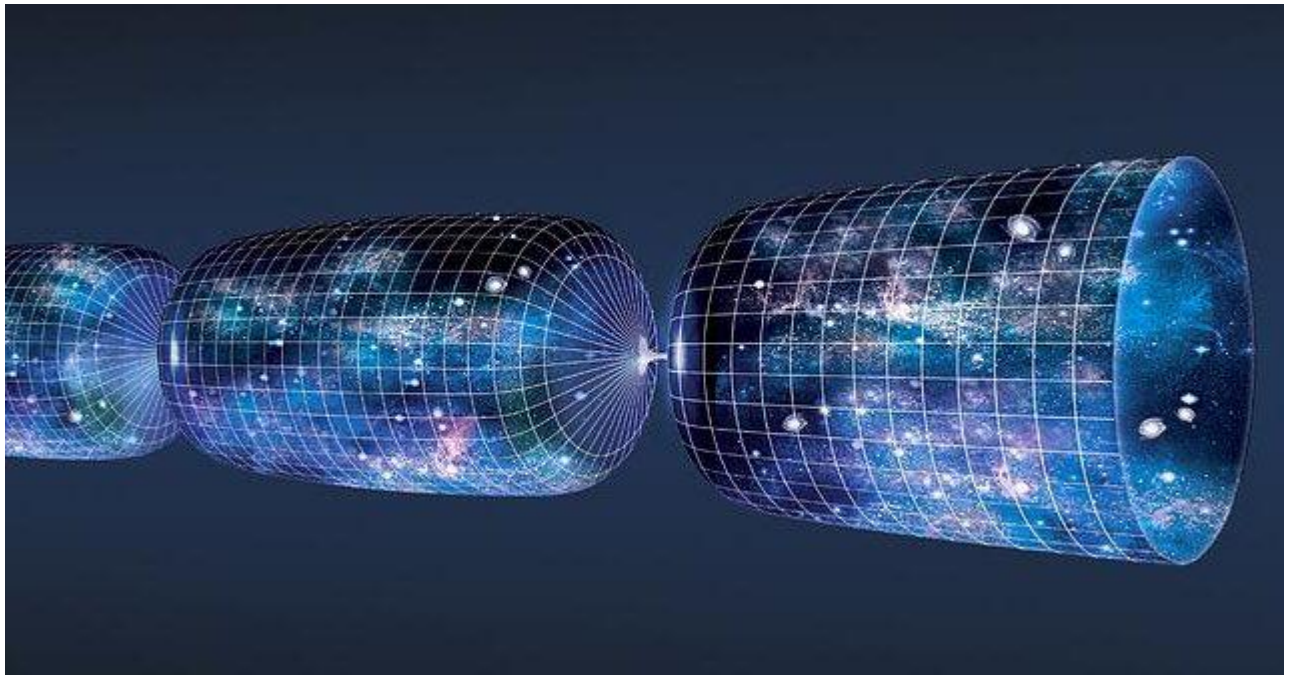
“ชีวิตหรือสรรพสิ่งเมื่อเกิดขึ้น ตั้งอยู่และแตกดับ
ทำลายไปหมุนเวียนไม่มีที่สิ้นสุด

ทฤษฎีการขยายตัวลดลง



ถ้าในเอกภพไม่มีสสารมากไปกว่าที่พบ เอกภพจะขยายตัวต่อไปเรื่อยๆ ในสภาวะของการขยายตัวอย่างไม่สิ้นสุดนี้ทุกสิ่งทุกอย่างจะจางหายไป ดาวฤกษ์ที่อายุมากเมื่อถึงวาระสุดท้ายจะไม่มีดาวฤกษ์ใหม่เกิดขึ้น ในที่สุดเอกภพทั้งหมดจะเหลือแต่เมฆหมอกของอนุภาคที่เย็นตัวลง

ทฤษฎีเอกภพหดตัวและขยายตัว



นักวิทยาศาสตร์หลายคนคิดว่า เอกภพมีการขยายตัวและหดตัวคล้ายหัวใจ จึงเชื่อว่า การระเบิดใหญ่จะตามมาด้วยการรวมกันครั้งใหญ่ ซึ่งเป็นการขยายตัวและหดตัวเช่นนี้เรื่อยๆ ไป

ทฤษฎีบิกครันช์

ถ้าเอกภพมีสสารมากกว่า ที่พบแรงโน้มถ่วงจากสสารจะดึงเอกภพให้เคลื่อนที่ช้าลง และดึงทุกอย่างกลับจนกระทั่งกาแล็กซีเกิดการชนกัน จึงจะมีการรวมกันครั้งยิ่งใหญ่ หรือบิกครันช์ ซึ่งตรงข้ามกับบิกแบง