

Article

การฟื้นฟูใหม่ของทฤษฎีบิกแบง และ James Peebles นักฟิสิกส์ รางวัลโนเบลปี 2019 (The Renaissance of Big Bang Theory and James Peebles, Nobel Laureate in Physics 2019)

อิษฏา ทองกุล*

สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

*Corresponding author E-mail: ithongkool@gmail.com

วันที่รับบทความ: 7 กรกฎาคม 2563, วันที่แก้ไขบทความ: 11 กันยายน 2563, วันที่ตอบรับบทความ: 27 กันยายน 2563

บทคัดย่อ

บทความนี้แสดงให้เห็นภาพของกลุ่มวิจัยด้านแรงโน้มถ่วงโดย R. H. Dicke ที่มหาวิทยาลัย Princeton ช่วงทศวรรษที่ 1950-1960 ได้เปลี่ยนทฤษฎีบิกแบงจากทฤษฎีแห่งการคาดคะเนกลายเป็นสาขาของวิทยาศาสตร์กายภาพที่ได้รับการทดสอบเป็นอย่างดี อีกทั้งยังสำรวจช่วงเริ่มต้นอาชีพของนักฟิสิกส์รางวัลโนเบล James Peebles ผลงานระยะเริ่มแรกของท่านในทฤษฎีบิกแบง และบทบาทของท่านในการวางรากฐานวิชาจักรวาลวิทยาเชิงกายภาพ เรื่องราวของผู้ยิ่งใหญ่ในวิชาจักรวาลวิทยาอย่าง R. H. Dicke, G. Gamow และ Y. B. Zeldovich ได้ถูกอภิปรายไว้โดยละเอียด ผลที่เกิดจากการค้นพบ Cosmic microwave background radiation (CMB) และความเข้าใจปัจจุบันของจักรวาลวิทยาสมัยใหม่ได้ถูกรวบรวมไว้ในส่วนสุดท้ายของบทความ

คำสำคัญ: จักรวาลวิทยา, บิกแบงร้อน, รังสีคอสมิกไมโครเวฟพื้นหลัง, การทดลองความโน้มถ่วง

Abstract

This article aims to illustrate how the Gravity Research Group of Robert H. Dicke at Princeton University during 1950s-1960s transformed the Big Bang theory from the theory of speculation to the well-tested branch of physical science. It also explores the early career of the Nobel laureate James Peebles, his initial contribution to Big Bang theory and his role in laying a foundation of physical

cosmology. The stories of the prodigious minds in cosmology such as R. H. Dicke, G. Gamow and Y. B. Zeldovich, are discussed in detail. The impact of CMB discovery and the current understanding of modern cosmology are also included the last section.

Keywords: Cosmology, Hot Big Bang, Cosmic microwave background, Gravity experiment

ชีวิตเป็นสิ่งอัศจรรย์ เป็นสิ่งล้ำค่าหาหายยิ่งในจักรวาลอันไพศาล โลกเราจึงนับเป็นสถานที่พิเศษที่หาได้ยากยิ่ง ดาวเคราะห์ที่เอื้ออำนวยให้ชีวิตสามารถกำเนิดและวิวัฒนาการได้ ผู้เขียนมีความเชื่อส่วนตัวว่า ความกระหายในใจนักจักรวาลวิทยาที่อยากจะตอบคำถามว่า ทุกสิ่งทุกอย่างมันมาจากไหน มันเกิดขึ้นมาได้อย่างไร เป็นผลมาจากวิวัฒนาการขั้นสูงของชีวิต โลกเรามีอายุประมาณ 4.5 พันล้านปี มีชีวิตเกิดขึ้นมานับไม่ถ้วน มีรูปแบบของชีวิตหลากหลายไม่สิ้นสุด แต่เหมือนจะมีเพียงแค่พวกเรา Homo sapiens ที่สามารถตั้งคำถามว่า ตัวเรามาจากไหน ทุกสิ่งทุกอย่างมาจากไหน ซึ่งคำตอบก็เป็นแบบเพลงเปิดเข้าสู่ทีวีซีรีส์ดลกเบาสมอง The Big Bang Theory ที่เนื้อเพลงเริ่มว่า "จักรวาลของเราทั้งหมดเริ่มต้นในสถานะที่ร้อนและมีความหนาแน่นสูง จากนั้นเกือบหนึ่งหมื่นสี่พันล้านปีที่แล้ว การขยายตัวได้เริ่มขึ้น.... (Our whole universe was in a hot, dense state. Then nearly fourteen billion years ago expansion started...)"

[1] เนื้อเพลงเปิดของซีรีส์เรื่องนี้ คือ ความรู้ที่สืดยอดที่มนุษย์เราค้นพบ พวกเราตัวแทนหนึ่งเดียวของชีวิตบนโลกใบนี้ที่สามารถวิวัฒนาการรับรู้ความรู้นี้ได้ และอาจเป็นจิตที่ตระหนักรู้ (Consciousness) เพียงหนึ่งเดียวในอาณาจักรที่มีหลายล้านปีแสงรอบดวงอาทิตย์ที่รู้และพยายามทำความเข้าใจกำเนิดของเอกภพ ทฤษฎีบิกแบง (Big Bang Theory) เป็นหนึ่งในทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่โด่งดังในหมู่ประชาชนทั่วไป เช่นเดียวกับสมการ $E = mc^2$ ที่คนนิยมเอาไปพิมพ์เป็นลายเสื้อยืด มันจึงเป็นเรื่องที่ไม่น่าแปลกใจอะไรสำหรับคนทั่วไปที่ท่าน Phillip James Edward Peebles (เกิดปี ค.ศ. 1935) รูปที่ 1 นักฟิสิกส์ผู้ร่วมพัฒนาทฤษฎีบิกแบงขึ้นมา จะได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ประจำปี ค.ศ. 2019 (พ.ศ. 2562) ไป แต่สำหรับคนที่อยู่ในวงการจักรวาลวิทยาอย่างผู้เขียนจะรู้สึกประหลาดใจมากกว่าทำไมท่าน Peebles ถึงได้รับรางวัลนี้

ไม่ใช่ที่ท่านมีผลงานทางฟิสิกส์ที่ไม่คู่ควร เพียงแต่ธรรมเนียมการมอบรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ที่ผ่านมาในอดีต เขามักไม่ได้ให้เพราะว่ามีผลงานสม่าเสมอยาวนาน แต่เขาจะให้กับงานที่สำคัญเพียงชิ้นเดียว แม้ท่าน Peebles เป็นปูชนียบุคคลของวงการอย่างแท้จริง มีผลงานเยอะมาก ใคร ๆ ก็ใช้การคำนวณของท่านเป็นฐานในการสร้างงานต่อ ท่านร่วมสร้างจักรวาลวิทยาตั้งแต่วิชานี้ยังเป็นวัน ตอนที่ เป็นทฤษฎีที่ดูไม่น่าเชื่อถือในหมู่นักฟิสิกส์ด้วยกัน กลายเป็นสาขาฟิสิกส์ที่เยี่ยมยอด มีผลการสังเกตการณ์สนับสนุนมากมาย ดังดูดใจจนรุ่นใหม่ ๆ ที่มีพรสวรรค์มากมายมาศึกษาสาขานี้ คิดแค่เรื่องเดียว คือ แต่ท่านไม่ได้โชคคิค้นพบอะไรที่ใหญ่ ๆ ที่มีชื่อของท่านแปะอยู่แบบประมาณว่าพอพูดเรื่องนี้ขึ้นมาทุกคนจะต้องนึกถึงท่าน ตัวอย่างเช่น เวลาพูดถึงการพองตัวของเอกภพยุคเริ่มแรก หรือที่เรียกว่า Inflation ทุกคนก็จะนึกถึงนักฟิสิกส์ชาวอเมริกันอย่าง Alan Guth หรือนักฟิสิกส์ชาวรัสเซียอย่าง Andrei Linde และ Alexei Starobinsky โดยเฉพาะ Guth เราจะเห็นท่านได้ออกโทรทัศน์ ให้สัมภาษณ์ในสารคดีบ่อย แต่ท่าน Peebles ไม่ได้มีงานที่ดังระดับนั้น Peebles เป็นนักฟิสิกส์เจียบ ๆ ที่มีผลงานคุณภาพมากมายไม่หวือหวา งานของท่านถูกต่อยอดใช้งานจริงอย่างกว้างขวางในวงการวิจัย แต่พอออกนอกพื้นที่ของการวิจัยไป คนคงไม่ค่อยรู้จักท่านเหมือนกับที่รู้จัก Stephen Hawking หรือแม้แต่เทียบกับ Neil deGrasse Tyson เพราะท่านไม่ค่อยได้ปรากฏตามหน้าหนังสือพิมพ์เหมือนนักฟิสิกส์ชื่อดังท่านอื่น ๆ



© Nobel Media. Photo: A. Mahmoud
James Peebles
Prize share: 1/2



© Nobel Media. Photo: A. Mahmoud
Michel Mayor
Prize share: 1/4



© Nobel Media. Photo: A. Mahmoud
Didier Queloz
Prize share: 1/4

รูปที่ 1 ผู้ที่ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ประจำปี 2019 ทั้งสามท่าน โดยมี J. Peebles ได้รับรางวัลในส่วนของการพัฒนาสาขา *Physical cosmology* ส่วน M. Mayor และ D. Queloz ได้รับรางวัลจากการค้นพบดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะที่โคจรรอบดาวฤกษ์แบบเดียวกับดวงอาทิตย์ (เครดิตภาพ: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2019>)

Peebles และรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ที่จะผิคนบไป

รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ประจำปี ค.ศ. 2019 ได้มอบให้กับบุคคลสามท่าน ดังรูปที่ 1 โดยรางวัลครึ่งหนึ่งแบ่งให้ Michel Mayor (เกิดปี ค.ศ. 1942) และ Didier Queloz (เกิดปี ค.ศ. 1966) สำหรับการค้นพบและบุกเบิกด้านดาวเคราะห์นอกระบบสุริยะ หรือ Exoplanet ซึ่งรางวัลในส่วนนี้ไม่มีอะไรผิดแปลกจากธรรมเนียมปฏิบัติของรางวัลนี้ แต่สำหรับอีกครึ่งหนึ่งของรางวัลที่มอบให้กับบุคคลเพียงคนเดียวคือ James Peebles สร้างความประหลาดใจอย่างมากให้ผู้เขียนและเพื่อน ๆ ในแวดวงจักรวาลวิทยา (Cosmology) และดาราศาสตร์ฟิสิกส์ (Astrophysics) พอสมควร พวกเราต้องถามกันว่าท่าน Peebles ได้รางวัลจากการค้นพบอะไร? ตามขนบของการมอบรางวัลโนเบลที่ผ่านมา มันเป็นรางวัลที่มอบให้ผลงานหนึ่งที่โดดเด่นสักเรื่องและมีแนวโน้มจะมอบให้กับนักทดลองหรือนักทฤษฎีที่มีการทดลองยืนยันสิ่งที่ค้นพบได้อย่างชัดเจน ตัวอย่างเช่น Einstein ได้รางวัลโนเบลจากการอธิบายปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก แม้ทำงานชิ้นเอกแห่งชีวิตของท่านจะเป็นการค้นพบทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป ที่นำมนุษยชาติไปสู่การค้นพบสิ่งอัศจรรย์มากมายไม่ว่าจะเป็นคลื่นความโน้มถ่วงหรือล่าสุดก็ภาพถ่ายของหลุมดำ แต่ท่านก็ไม่ได้รางวัลโนเบลจากทฤษฎีสัมพัทธภาพทั้งแบบพิเศษและแบบทั่วไป ท่านกลับได้จากงานที่เล็กกว่า มีชื่อเสียงน้อยกว่าอย่างปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริกแทน

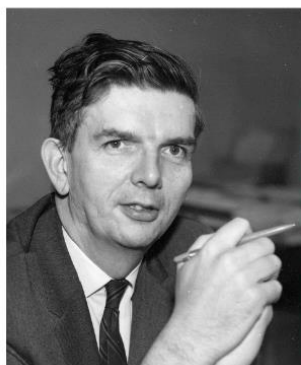
เมื่ออ่านกิตติกรรมประกาศที่คณะกรรมการรางวัลโนเบลเขียนถึงท่าน Peebles ที่บรรยายไว้ว่า **"For theoretical discoveries in physical cosmology"** ยิ่งทำให้ยิ่งมากขึ้น เพราะกิตติกรรมประกาศใช้คำว่า Discoveries เป็นรูปพหูพจน์ ซึ่งหมายถึงการค้นพบมากกว่า 1 อย่าง จริงอยู่รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในอดีตก็เคยให้สำหรับการค้นพบหลายอย่างรวมกัน แต่ส่วนมากมักจะมอบให้ผู้ที่เป็เหมือนบิดา (หรือมารดา) ของฟิสิกส์สาขาใหม่ เพราะผู้ที่ริเริ่มสาขานั้นย่อมมีโอกาสค้นคว้าและค้นพบสิ่งที่สำคัญ ๆ ก่อนที่คนอื่น ๆ จะเริ่มเข้ามาศึกษา เป็นเรื่องธรรมดา แต่กรณีนี้จะต่างจากกรณีของจักรวาลวิทยาเชิงกายภาพ (Physical cosmology) เพราะสาขานี้มันมีมาก่อนนานแล้ว แม้แต่ตัวท่าน Peebles เองก็นับว่าเป็นนักศึกษาริเริ่มเอกที่มหาวิทยาลัยเพนซิลวาเนีย ท่านไม่ใช่ผู้ริเริ่ม และถ้าเราแปลประโยคดังกล่าวว่า "สำหรับการค้นพบทางทฤษฎีหลายอย่างในวิชาจักรวาลวิทยาเชิงกายภาพ" คนทั่วไปอาจคิดว่าสาขาฟิสิกส์ Physical cosmology ริเริ่มโดยท่าน Peebles จริง ๆ แล้วก็ไม่ใช่ อันที่จริงแนวคิดทฤษฎีที่สำคัญส่วนใหญ่ในจักรวาลวิทยา ถ้ามันไม่มีอยู่ก่อนแล้ว ก็ถูกค้นพบโดยท่านอื่น เป็นเรื่องยากมากจริง ๆ ที่คนนอกวงการจักรวาลวิทยาและดาราศาสตร์ฟิสิกส์จะทราบว่าคุณ Peebles มีส่วนช่วยพัฒนาสาขา Physical cosmology แค่ไหน อย่างไร

ภาพของผู้ยิ่งใหญ่ที่ท่านในการบรรยายของ Peebles

ในความเห็นส่วนตัวของผู้เขียน Peebles มีผลงานสำคัญที่สุดอันหนึ่งที่เป็นเครดิตของท่านอย่างชัดเจน คือ การทำนายปริมาณของธาตุฮีเลียมในเอกภพได้ถูกต้อง หากผู้อ่านลองค้น Wikipedia ดูหัวข้อ "Timeline of cosmological theories" [2] ที่ไล่เรียงการค้นพบที่สำคัญ ๆ ของวิชาจักรวาลวิทยา ก็จะพบว่าชื่อของท่าน Peebles ปรากฏเด่นที่สุดแค่เพียงปี ค.ศ.1966 โดยให้เครดิตว่าท่านสามารถทำนาย Helium abundance ได้ถูกต้อง ส่วนการค้นพบที่สำคัญอีกมากมายใน Physical cosmology ตาม Timeline ไม่ได้ขึ้นชื่อเป็นเครดิตของท่าน ซึ่งเขาก็เขียนถูกแล้ว และถ้าใครได้ย้อนดูการบรรยายเนื่องในโอกาสที่ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ของ Peebles ถึงสไลด์หน้าที่ท่านกล่าวถึงงานทำนาย Helium abundance ซึ่งงานชิ้นแรกที่ท่านเลือกมานำเสนอในหน้าถัดไป ท่านก็ได้ขึ้นรูปนักฟิสิกส์ 4 ท่าน พร้อมบรรยายว่าหลังจากสงครามโลกครั้งที่สองได้ปลดปล่อยพลังทำให้เกิดนักจักรวาลวิทยา (Cosmologist) ที่โดดเด่นี่ท่าน ได้แก่ Bob Dicke, George Gamow, Fred Hoyle และ Yakov Zeldovich ดังรูปที่ 2 ซึ่งทั้งสี่ท่านนี้ก็ถือว่าเป็นผู้ยิ่งใหญ่ ช่วยวางรากฐานที่สำคัญให้กับวิชา Physical cosmology ไม่น้อยไปกว่าที่ท่าน Peebles ได้ทำ ซึ่งในบทความนี้จะขอขยายความถึงประวัติศาสตร์และผลงานท่านทั้งสี่ให้ผู้อ่านทั่วไปที่ไม่ได้อยู่ในวงการได้รู้จัก โดยเน้นประวัติศาสตร์ที่ท่าน Peebles ได้มีส่วนเป็นแกนนำเสนอ

ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 นักฟิสิกส์และนักคณิตศาสตร์ชั้นยอดในหลายประเทศถูกเกณฑ์ให้ไปช่วยงานด้านการทหาร ไม่ว่าจะเป็น Gamow ซึ่งเข้าไปเกี่ยวข้องกับโครงการอาวุธนิวเคลียร์ Robert Henry Dicke ช่วยพัฒนาระดาร์ ทั้งสองท่านนี้ทำงานให้กองทัพสหรัฐอเมริกา ส่วน Zeldovich เป็นนักฟิสิกส์คนสำคัญของโครงการพัฒนาระเบิดนิวเคลียร์ของสหภาพโซเวียต หลังจากสงครามสิ้นสุดหรือภารกิจพัฒนาอาวุธสำเร็จ ท่านเหล่านี้ก็หันมาพัฒนาฟิสิกส์ของหลุมดำ ฟิสิกส์ของดวงดาว และทฤษฎีบิกแบง [3-4] สาขาฟิสิกส์ที่เรียกว่า Physical cosmology ไม่ใช่ทฤษฎีเดียวที่สมบูรณ์ในตัวมันเองแบบทฤษฎีแรงโน้มถ่วงของ Newton แต่เป็นทฤษฎีฟิสิกส์เชิงประยุกต์ เป็นการรวมกันของทฤษฎีฟิสิกส์ในสาขาต่าง ๆ มากมาย ซึ่งเมื่อดูจากพัฒนาการของทฤษฎีบิกแบงจากอดีตจนถึงปัจจุบันจะเห็นว่าทฤษฎียังคงห่างไกลคำว่าสมบูรณ์ ยังมีคำถามหลัก ๆ ที่สำคัญมากมายที่ยังตอบไม่ได้ มันจึงเป็นไปไม่ได้ที่ท่าน Peebles หรือใครคนใด

คนหนึ่งจะสามารถค้นพบทุกสิ่งทุกอย่างในวิชานี้ อาจจะมีบางท่านทำมากกว่าท่านอื่น แต่การค้นพบที่สำคัญจริง ๆ ในวิชานี้ดูเหมือนว่าจะกระจายแบ่ง ๆ กันไป ดังที่ปรากฏใน "Timeline of cosmological theories" ที่กล่าวไว้ข้างต้น



R.H. Dicke



Ya. B. Zeldovich



G. Gamow



F. Hoyle

รูปที่ 2 รูปของนักจักรวาลวิทยาหลังสงครามโลกครั้งที่สองทั้งสี่ท่านที่ Peebles นำมาระลึกถึงในलेखเซอร์รางวัลโนเบลของท่าน มี Dicke ผู้ที่เป็นอาจารย์และชักชวนท่านมาทำจักรวาลวิทยา Zeldovich เป็นผู้นำกลุ่มวิจัยด้านแรงโน้มถ่วง ดาราศาสตร์ฟิสิกส์ หลุมดำ และจักรวาลวิทยาของสภาพโซเวียต Gamow บิดาของทฤษฎีบิกแบง และ Hoyle บิดาของทฤษฎี Steady state และผู้ที่สามารถอธิบายที่มาของธาตุหนักในเอกภพได้ถูกต้อง (เครดิตภาพ: นำมาจากประวัติของท่านทั้งสี่ใน <https://www.wikipedia.org>)

ในการบรรยายเนื่องในโอกาสได้รับรางวัลโนเบล Peebles จึงได้นำภาพผู้ยิ่งใหญ่ทั้งสี่มาแสดงเพื่อให้พวกเราได้ระลึกถึงกัน ทั้งสี่ท่านในภาพล้วนแต่เสียชีวิตไปหมดแล้ว โดยเฉพาะ Gamow ซึ่งถือว่าเป็นผู้ริเริ่มทฤษฎีบิกแบง ดีพิมพ์งานวิจัยที่อธิบายการสังเคราะห์ธาตุเบาในเอกภพก่อนหน้า Peebles มาร่วมยี่สิบปี [5] ซึ่งท่านก็เขียนให้เครดิตอย่างชัดเจนในการบรรยายสำหรับรางวัลโนเบลว่างานคำนวณการสังเคราะห์ฮีเลียมในปี ค.ศ. 1966 ท่านก็ได้ทำซ้ำ (ท่านใช้คำว่า "Reinventing the wheel") งานวิจัยของ Gamow ที่ทำไว้แล้วในปี ค.ศ. 1948 [6] แต่ Peebles ก็ออกตัวว่าท่านไม่เคยเห็นงานของ Gamow มาก่อนจึงไม่ได้ให้เครดิต ท่านบอกว่าท่านคำนวณตาม Hoyle ซึ่งเป็นนักจักรวาลวิทยาที่มีชื่อเสียงที่สุดในตอนนั้น ทฤษฎีการกำเนิดธาตุในเอกภพของ Hoyle เป็นที่ยอมรับมากที่สุด ประวัติของทฤษฎีบิกแบงที่ช่วงหลังสงครามโลกครั้งที่สองถึงยุค 1960s นั้นยุ่งเหยิง อรุณรุ่งนึ่ง แต่ก็สนุกและน่าสนใจ ในสมัยก่อนการสืบค้นงานวิจัยมันไม่ได้ง่ายดายเหมือนยุคปัจจุบัน พวกเขาไม่มี Search engine แนวคิดสำคัญที่มาก่อนกาลอย่างทฤษฎีบิกแบงก็เกิดแล้วตายไปในกองกระดาษไม่มีใครอ่าน เกือบยี่สิบปีต่อมาเมื่อ Dicke ตั้งกลุ่มวิจัยหาหลักฐานของทฤษฎีบิกแบง พวกเขาเล่นนึกเอาเองว่าตนเองคิดเรื่องนี้เป็นกลุ่มแรก ซึ่งที่จริงแล้วกลุ่มของ Dicke ทำการคำนวณด้วยแนวคิดซ้ำกับงานวิจัยที่เคยตีพิมพ์ไปแล้วของ Gamow แทบทั้งหมด เมื่องานเสร็จ

ก็นำไปส่งตีพิมพ์โดยไม่ได้ให้เครดิต Gamow โดยไม่ได้ตั้งใจ ในปัจจุบัน Gamow ได้เครดิตการเป็นผู้ค้นพบทฤษฎีบิกแบงกึ่งจากวงการวิชาการเรียบร้อยแล้ว

ในสมัยระหว่างและหลังสงครามโลกครั้งที่ 2 อย่างที่ทราบกันดี ทั้งสหรัฐอเมริกาและสหภาพโซเวียตต่างแข่งขันกันเป็นมหาอำนาจทางนิวเคลียร์ นักฟิสิกส์ชั้นนำของทั้งสองค่ายต่างถูกบีบให้เก็บความรู้ออกมาเพื่อพัฒนาระเบิดให้ได้เร็วที่สุดเพื่อชนะฝ่ายตรงข้ามให้ได้ ถ้าเป็นปัจจุบันก็คือ ต้องนึกภาพว่าเป็นโครงการวิจัยที่ไม่โดนตัดงบเลย ตรงกันข้าม จะมีคนคอยถามตลอดว่าอยากได้เงินเพิ่มไหม อยากได้ทำอะไรให้ออกมา การพัฒนาฟิสิกส์นิวเคลียร์จึงเกิดขึ้นรวดเร็วอย่างก้าวกระโดด การคำนวณต่าง ๆ ที่สำคัญ การคำนวณเชิงตัวเลข และคอมพิวเตอร์เครื่องยี่ห้อที่ดีที่สุดเท่าที่สมัยนั้นจะเสกได้ ก็ถูกระดมกำลังสร้างขึ้นมา สิ่งที่น่าประหลาดหลังจากสงครามจบ ความรู้ทางฟิสิกส์นิวเคลียร์ที่ไม่ได้เป็นส่วนของความลับทางทหารก็ถูกนำมาเป็นพลังอันยิ่งใหญ่ในการพัฒนาวิชาดาราศาสตร์ฟิสิกส์และจักรวาลวิทยาให้ก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุนี้ นักฟิสิกส์นิวเคลียร์ที่พัฒนาระเบิดนิวเคลียร์ให้สหภาพโซเวียตอย่าง Zeldovich สามารถตั้งกลุ่มวิจัยที่ถือว่าเป็นแนวหน้าที่สุดของโลกในเวลานั้น ความรู้ทางฟิสิกส์ของ Zeldovich กว้างใหญ่ไพศาลน่าเกรงขามมาก นอกจากท่านจะประสบความสำเร็จช่วยพัฒนาระเบิดไฮโดรเจนแข่งกับสหรัฐอเมริกาได้ ทำวิจัยด้านหลุมดำแข่งกับกลุ่มของ Stephen Hawking ที่อังกฤษ และกลุ่มของ John Archibald Wheeler ที่อเมริกาได้สูติ ช่วยวางรากฐานความเข้าใจทางดาราศาสตร์ฟิสิกส์เยอะมาก หนังสือ Stars and Relativity ที่ท่านและ Igor Dmitriyevich Novikov มือวิชาการคำนวณหลุมดำของท่านร่วมกันเขียนขึ้น ก็เป็นหนังสือคลาสสิกที่คนยังซื้ออ่านจนถึงปัจจุบัน งานอีกสาขาที่ Zeldovich ทำแข่งได้ด้วยไปพร้อม ๆ กัน คือ วางรากฐาน Physical cosmology แข่งกับทีมของ Dicke และ Peebles ทีมของ Zeldovich แข็งแกร่งมาก มีงานวิจัยออกมาอย่างรวดเร็ว จน Hawking เคยเขียนขึ้นชมหลังจากที่ได้พบ Zeldovich ไว้ว่า **"ในที่สุดผมก็รู้ว่า Zeldovich เป็นคนที่มีตัวตนจริง ๆ ไม่ใช่กลุ่มของนักวิทยาศาสตร์อย่าง Bourbaki"** [4] ซึ่งชื่อ Nicolas Bourbaki ที่ Hawking ยกมาใช้อธิบาย Zeldovich คือ นามแฝงร่วมกันของกลุ่มนักคณิตศาสตร์ชั้นนำของฝรั่งเศส ที่ช่วยกันแต่งตำรารวมรวมคณิตศาสตร์สำคัญ ๆ ในเวลานั้นไว้ด้วยกัน

เมื่อดูในเอกสาร Scientific background [7] ซึ่งเป็นเอกสารปริทัศน์ในเชิงเทคนิคเกี่ยวกับรางวัลโนเบลฟิสิกส์ปี ค.ศ. 2019 ของคณะกรรมการรางวัลโนเบล ก็เขียนให้เครดิตงานทฤษฎีเกี่ยวกับ Acoustic waves ของรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง หรือ CMB (Cosmic microwave background radiation) ไว้ว่า "Sunyaev และ Zeldovich เป็นผู้ค้นพบฟิสิกส์ที่บรรยาย Acoustic waves และอธิบายธรรมชาติเป็นคาบของมันได้ ส่วนทีม Peebles และ Yu สนใจในแง่มุมอื่นที่ต่างออกไป คือ สนใจทำการคำนวณเชิงตัวเลขเกี่ยวกับ Acoustic peaks และหาทางทำนายว่าเราจะวัดมันจริง ๆ ได้อย่างไร" งานวิจัยของทั้ง Peebles และ Zeldovich ก็ถูกตีพิมพ์ในปีเดียวกัน ได้เครดิตในการค้นพบอย่างเท่าเทียมกัน ยิ่งไปกว่านั้น ยังมีปรากฏการณ์สำคัญของ CMB ที่ Zeldovich และ Sunyaev ได้ทำนายไว้ ที่รู้จักกันในชื่อ Sunyaev-Zeldovich effect หรือ SZ effect [8] ซึ่งถือเป็นเรื่องสำคัญมากในงานวิจัยปัจจุบัน ใช้วัดการกระจายตัวของคลัสเตอร์ของกาแล็กซีต่าง ๆ ในเอกภพ ดังนั้นหากท่าน Rashid Sunyaev ซึ่งยังคงมีชีวิตอยู่ในปัจจุบันจะได้รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์จากการค้นพบปรากฏการณ์นี้ก็ถือว่าคู่ควรเช่นเดียวกัน ผู้เขียนเองรวันนั้นอยู่ ในการบรรยายของรางวัลโนเบล Peebles ได้พูดถึง กลุ่มวิจัยของ Zeldovich ว่าน่าเสียดายต้องปิดตัวลงพร้อมกับการล่มสลายของสหภาพโซเวียต ในขณะที่กลุ่มของท่านในสหรัฐอเมริกามีโอกาสทำวิจัยต่อมาเรื่อย ๆ จนถึงปัจจุบัน

เอกภพที่มนุษย์รับรู้ก่อนทฤษฎีบิกแบง

ก่อนจะไปถึงยุค 1960s ที่เป็นช่วงเวลาที่ Peebles และนักฟิสิกส์ท่านอื่น ๆ ร่วมกันวางรากฐานวิชาจักรวาลวิทยาสมัยใหม่นั้น มนุษย์เราก็คงจะได้วิชา Physical cosmology จะต้องผ่านการสั่งสมความรู้มาอย่างยาวนาน ผ่านการเปลี่ยนโลกทัศน์มากมายหลายต่อหลายครั้ง ความรู้เกิดขึ้นและส่งต่อผ่านหลายอารยธรรม ซึ่งหลายครั้งก็ถูกหลงลืมไปกับกาลเวลา คนไทยส่วนใหญ่คงไม่ทราบว่าช่วงเวลาประมาณ ค.ศ. 476-550 หรือเมื่อ 1,400 ปีที่แล้ว มีพราหมณ์คนหนึ่งในประเทศอินเดียชื่อ Aryabhata [9-10] สามารถมองเห็นการเคลื่อนที่แบบสัมพัทธ์ก่อน Galileo แล้วเข้มนอธิบายการขึ้นและตกของดวงอาทิตย์ได้ถูกต้อง Aryabhata อธิบายได้ว่าที่เรามองเห็นดวงอาทิตย์ขึ้นลงไม่ใช่เพราะดวงอาทิตย์เคลื่อนที่รอบโลก เหมือนที่ความรู้ของมนุษย์ลวงพวกเรา แต่แท้จริงมันเป็นการหมุนรอบตัวเองของโลก ผู้อ่านลองจินตนาการดู ย้อนเวลาไปแค่พันปี ก่อนที่จะมีกรุงสุโขทัย คนส่วนใหญ่บนโลก 99.9% ยังไม่รู้หนังสือ แล้วมีคน ๆ หนึ่งบอกทุกคนว่า "โลกหมุน" จะมีคนคิดว่าเขาไม่ได้บ้าสักกี่คน การรับรู้ของมนุษย์ (Perception) จากประสาทสัมผัส สามัญสำนึก ความเคยชิน ตลอดจนเรื่องเล่าที่บอกต่อ ๆ กัน มันทำให้เรารู้สึกว่ามันปกติ และความจริงในธรรมชาติก็มักจะดูน่าอัศจรรย์ที่สุดเสมอ ก่อนที่คนเราจะเข้าใจและยอมรับความจริงได้ ทฤษฎีบิกแบงก็เช่นเดียวกัน

การจะบอกว่าโลกกำลังหมุนอยู่ แต่สิ่งต่าง ๆ ที่อยู่บนโลกยังเป็นปกติดี ไม่ถูกเหวี่ยงกระเด็นเพราะการหมุนมันเป็นอะไรที่ขัดกับสามัญสำนึกเป็นอย่างยิ่ง คนโบราณรวมถึง Aryabhata อาจเข้าใจได้ในเชิงคุณภาพ แต่จะอธิบายได้จริงก็ต้องใช้หลักสัมพัทธภาพ (Galilean relativity) ที่เริ่มโดย Galileo ซึ่งต้องเข้าใจแนวคิดเรื่องกรอบอ้างอิงเฉื่อย (Inertial frame of reference) หากปราศจากหลักฟิสิกส์ข้อนี้ก็จะไม่มีรากฐานของวิชากลศาสตร์ในการทำความเข้าใจปัญหาการโคจรของดาวและการเคลื่อนที่ แม้ว่าเราจะเรียนกันมาว่า Nicolaus Copernicus เป็นผู้ตั้งทฤษฎีว่าดวงอาทิตย์เป็นจุดศูนย์กลางของจักรวาล โลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ แต่เมื่อศึกษาประวัติศาสตร์ให้ละเอียดถึงแม้ท่านเสนอมุมมองใหม่ ท่านก็ยังต้องอาศัย Epicycles ในการคำนวณวงโคจรของดาวเคราะห์ และไม่ได้พิสูจน์หลักฐานอย่างเคร่งครัดแบบนักฟิสิกส์ในยุคหลัง และที่สำคัญหนังสือของท่าน "Book of the Revolutions of the Heavenly Spheres" ก็ไม่มีคนอ่านเท่าไร หนังสือตีพิมพ์ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1543 ประมาณพันเล่มก็ขายไม่ออก พิมพ์ซ้ำอีกแค่ 4 ครั้งในรอบสี่ร้อยปี คือ ปี ค.ศ. 1566, 1617, 1854 และ 1973 ดังนั้น A. Koestler จึงวิเคราะห์ไว้ว่า Copernicus น่าจะมีอิทธิพลน้อยต่อการสร้างผลงานของ Kepler และ Galileo [11] แต่ทฤษนะแบบ Copernicus มีชื่อเสียงจาก Galileo และ Kepler สิ่งหนึ่งที่ทำให้คนไม่ค่อยอ่านหนังสือของ Copernicus ก็เพราะสิ่งที่กล่าวอ้างในหนังสือขาดความน่าเชื่อถือ ท่านไปแอบเพิ่มจำนวน Epicycles ในแบบจำลอง Ptolemy เป็น 80 อัน แล้วอ้างว่าตนเองใช้แค่ 43 อัน แบบจำลองของตนเองจึงดีกว่า ซึ่งจริง ๆ แล้วผู้เชี่ยวชาญในยุคนั้นน่าจะรู้ว่า Ptolemy ท่านใช้ Epicycles แค่เพียง 40 อันเท่านั้นในการคำนวณดวงดาว มนุษย์เรายึดติดกับวงกลมที่สมบูรณ์อยู่หลายพันปี ทุกอารยธรรมล้วนแต่ต้องมี Epicycles เป็นตัวช่วยให้คำนวณดวงดาวให้แม่นยำ แม้แต่ Aryabhata ก็ใช้ โลกต้องรอบันพันปีกว่าที่จะมีคนคำนวณขึ้นยอดอย่าง Johannes Kepler และข้อมูลทางดาราศาสตร์ที่ดีที่สุดจากหอสังเกตการณ์ของ Tycho Brahe จึงจะค้นพบว่าวงโคจรของดวงดาวเป็นวงรี และสร้างบาง Epicycles ได้ มีแค่วงโคจรสวย ๆ อันเดียวพอ ในเรื่องโลกหมุน ผู้เขียนก็ไม่แน่ใจว่าพราหมณ์ Aryabhata จะสามารถเข้าใจเกี่ยวกับหลักสัมพัทธภาพได้มากน้อยเพียงใด เชื่อว่าน่าจะรู้บ้างอย่างจำกัด ท่านจึงได้เขียนโคลกบรรยายไว้ว่าโลกหมุน และเนื่องจากท่านเป็นพราหมณ์ งานคณิตศาสตร์ งานทางดาราศาสตร์ที่ท่านค้นพบจะเขียนอยู่ในรูปของโคลก เป็นข้อความบรรยายสั้น ๆ เหมือนคัมภีร์ทางศาสนาทั่วไป ไม่ใช่ลักษณะการให้เหตุผลอย่างละเอียดจริงจริง โคลกจะเหมือนข้อความบอกใบ้ จุดประกายให้ผู้อ่านไปคิดเองมากกว่าที่จะบอกว่าผู้เขียนมีเหตุผลอย่างไร ส่วนวิธีคำนวณก็น่าจะ

สอนต่อกันโดยใช้คำพูดบรรยาย โศลกที่ 9 ในคัมภีร์ Gola-pada ของ Aryabhata กล่าวว่า "เหมือนชายผู้หนึ่ง นั่งอยู่ในเรือเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เขาก็จะเห็นสิ่งต่าง ๆ ที่หยุนนิ่งเคลื่อนที่ไปด้านหลัง ดังนั้นที่กรุงลงกา (Lanka) ดาวที่หยุนนิ่งอยู่กับที่ก็ปรากฏเหมือนเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตก" ต่อมาโศลกที่ 10 ท่านกล่าวไว้อย่างชัดเจนว่า "กลุ่มดาวต่าง ๆ บนท้องฟ้าแท้จริงแล้วหยุนนิ่งอยู่กับที่ โลกต่างหากที่หมุนรอบตัวเองทุกวัน ทำให้เกิดการขึ้นและตกของดวงดาวและดาวเคราะห์ต่าง ๆ" [9-10] แนวคิดของ Aryabhata ถูกต้องอย่างน่าอัศจรรย์ แต่ก็แปลกประหลาดเกินไปกว่าที่คนในสมัยก่อนจะรับได้ ปราชญ์ชาวอินเดียมากมายที่ศึกษางานของท่านก็ยังเขียนวิจารณ์ไม่เห็นด้วยกับแนวคิดนี้หลายท่าน แม้แต่ผู้ยิ่งใหญ่อย่าง Brahmagupta นักคณิตศาสตร์และนักดาราศาสตร์ชาวอินเดียคนสำคัญผู้คิดค้นระบบการใช้ 0 ให้กับชาวโลก (สังเกตว่าระบบดั้งเดิมของอารยธรรมอื่นจะไม่มีเลข 0 ไม่ได้นับแบบเลขไทยที่น่าจะมีต้นกำเนิดเป็นเลขฮินดูเหมือนกัน) Brahmagupta เกิดหลัง Aryabhata ราวห้าร้อยปี ก็ยังไม่สามารถเข้าใจได้ จึงได้เขียนตั้งคำถามไว้ว่า [9]

"ถ้าโลกหมุนจริง นกคงจะบินกลับรังไม่ถูก"

จุดเริ่มต้นของทฤษฎีบิกแบงตามประวัติศาสตร์ควรจะเริ่มตรงไหน ตามความเห็นของผู้เขียน มนุษย์เราจะต้องเอาชนะความยึดติดที่เกิดจากความเคยชินที่ลวงเรามาตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ หากยอมรับความจริง 5 ข้อนี้ได้ก็จะรับทฤษฎีบิกแบงได้

1) ยอมรับว่าโลกหมุน ซึ่งถ้ารู้ว่าโลกมันหมุนได้ ก็ต้องรู้ว่าโลกกลมมาก่อนหน้าแล้ว

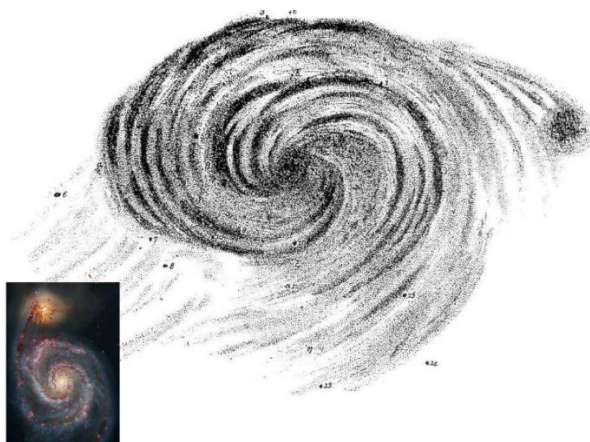
2) ยอมรับว่าโลกไม่ได้เป็นจุดศูนย์กลางของจักรวาล โลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์

3) ยอมรับว่าวงโคจรของดาวเคราะห์ต่าง ๆ ไม่ใช่วงกลม แต่เป็นวงรี

4) รู้ว่าดวงดาวทั้งหมดที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่ายามค่ำคืน เป็นเพียงดวงดาวที่อยู่ในกาแล็กซีทางช้างเผือกของเรา และกาแล็กซีทางช้างเผือกก็เป็นเพียงจุดเล็ก ๆ ในจักรวาลอันกว้างใหญ่ไพศาล

5) เอาชนะความยึดติดเรื่อง จักรวาล กาลนิรันดร์ แล้วยอมรับว่าทุกสิ่งทุกอย่างในจักรวาลนี้มีจุดเริ่มต้น

ข้อที่ 1) นั้นง่าย รู้กันอยู่แล้วในหมู่นักคิดในทุกอารยธรรมโบราณที่เจริญ ข้อ 2) และ 3) นั้นยากมาก ต้องใช้เวลาหลายพันปี นับตั้งแต่มนุษย์เริ่มศึกษาดาราศาสตร์ จนกระทั่งถึงยุคของ Kepler, Galileo และ Newton จึงจะเอาชนะ 2 ข้อนี้ได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนข้อที่ 4) ก็เป็นความรู้ที่เพิ่งได้มาเมื่อหนึ่งร้อยปีที่แล้วนี้เอง ย้อนกลับไปในปี ค.ศ.1920 มีการอภิปรายสำคัญที่รู้จักกันในชื่อ The Great Debate [12] เป็นการถกเถียงกันระหว่าง Harlow Shapley และ Heber Curtis โดยฝ่ายของ Shapley สนับสนุนความเชื่อเดิมที่ว่า Spiral nebulae (เนบิวลาชนิดก้นหอย) รูปที่ 3 ที่สังเกตเห็นเป็นฝ้ายขาว ๆ บนท้องฟ้าเป็นเทหวัตถุที่อยู่ในกาแล็กซีของเรา ไม่มีอะไรอยู่ข้างนอกนั้น ดวงดาวทั้งหมดที่เราเห็น คือจักรวาลทั้งหมดแล้ว ในขณะที่ Curtis เชื่อว่าแท้จริงแล้ว Spiral nebulae ไม่ใช่แค่กลุ่มหมอกธรรมดา มันคืออีกกาแล็กซีหนึ่งที่อยู่ไกลออกไปมาก ๆ ซึ่งหลังจากนั้นเพียง 2-3 ปี Edwin Hubble ได้ศึกษาดาวแปรแสงเซเฟอิด (Cepheid variables) ใน Spiral nebulae มากมายจนสรุปได้ว่าแท้จริงแล้ว Spiral nebula เหล่านั้นก็เป็นกาแล็กซีหนึ่งเหมือนกับกาแล็กซีทางช้างเผือกของเรา [12] จากการค้นพบของ Hubble เป็นการเปลี่ยนโลกทัศน์ที่สำคัญทำให้เรารู้ว่าจักรวาลใหม่มันกว้างใหญ่ไพศาลมากกว่าจักรวาลที่มนุษย์เรารู้จักมาเป็นพัน ๆ ปี มากมายนัก



รูปที่ 3 ภาพวาดเนบิวลากังหันหอย (Spiral nebulae) โดย Lord Rosse เมื่อ มีนาคม ค.ศ. 1848 เทียบกับภาพจาก Hubble space telescope ซึ่งปัจจุบันเรารู้แล้วว่ามันคือกาแล็กซี Messier 51a (M51) อยู่ห่างออกไป 23 ล้านปีแสง (เครดิตภาพ: Zenit magazine ของ Royal Dutch Association for Meteorology and Astronomy และ NASA)

แต่ความขัดแย้งข้อที่ 5) แนวคิดเรื่องจักรวาลไม่มีจุดเริ่มต้น ไม่มีจุดสิ้นสุดยังอยู่กับมนุษย์เราไปต่อไปอีกประมาณ 45 ปีหลัง The Great Debate นั่นคือ ต้องรอจนกระทั่งมีการค้นพบรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง เมื่อปี ค.ศ. 1965 มนุษย์เรารู้แล้วว่าข้อ 5) นี้ไปได้ และ Peebles โชคดีมากที่เริ่มศึกษาทฤษฎีบิกแบงในเวลานั้นพอดี ท่านได้ทำทฤษฎีบิกแบงมายาวนานกว่าทุกคน

ความขัดแย้งเรื่อง จักรวาล กาลนิรันดร์ เป็นสิ่งที่แฝงอยู่ในศาสนาและปรัชญาของมนุษย์มาอย่างยาวนาน แม้ว่าโลกอาจมีจุดกำเนิด อาจจะถูกสร้างขึ้นมาในช่วงเวลาหนึ่ง แต่หลายศาสนาก็มองว่าสรวงสวรรค์ก็จะคงอยู่เป็นนิรันดร์ไม่เปลี่ยนแปลง ไม่มีจุดเริ่มต้น ไม่มีจุดสิ้นสุด ความเชื่อนี้ได้รับการสนับสนุนอย่างดีจากวิชาดาราศาสตร์ ตั้งแต่มนุษย์เราเริ่มดูดาว ทำบันทึก ส่งต่อกันมาหลายพันปี กลุ่มดาวต่าง ๆ บนท้องฟ้ามันก็อยู่ของมันเช่นนั้นเหมือนเดิมไม่เปลี่ยนแปลง บนโลกมนุษย์เกิดและตายลง โลกเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ แต่ดาวบนท้องฟ้าไม่เปลี่ยน สรวงสวรรค์มีเวลาอันเป็นนิรันดร์ มนุษย์เรามีหลายวิธีที่จะอธิบายความไม่แปรเปลี่ยนของกลุ่มดาวที่บันทึกไว้เป็นพัน ๆ ปี บางอารยธรรมที่ชื่นชอบตัวเลขเป็นพิเศษ เช่น พวกพราหมณ์ในศาสนาฮินดู พวกเขาสามารถสร้างเลขที่ใหญ่โตมาก ๆ ได้ เช่น เวลา 1 กัลป์ (Kalpa) เทียบกับเวลา 4.32 พันล้านปีของโลกมนุษย์ [13] ซึ่งเป็นเวลากลางวันหรือกลางคืนของพระพรหม เมื่อสร้างโลกเสร็จใช้เวลา 1 กัลป์ ท่านก็จะบรรทมไปอีก 1 กัลป์ ซึ่งจะเป็นเวลาที่โลกถึงการอวสานพอดีจากนั้นก็สร้างใหม่ พระพรหมองค์หนึ่งมีอายุยืนยาว 100 ปีของพระพรหม ซึ่งมีค่าเท่ากับ 3×10^{14} ปีของมนุษย์ เวลาช้านานขนาดนั้นก็ไม่ต่างจากเป็นนิรันดร์ ตามคติจักรวาลวิทยาของศาสนาฮินดู ทุกสิ่งทุกอย่างแม้แต่ตัวพระพรหมเองก็ไม่พ้นการเวียนว่ายตายเกิด เพียงแต่เวลาบนสรวงสวรรค์มันมีสเกลที่ยาวนานกว่าเวลาของมนุษย์มาก ๆ จนเราเองต่างหากที่มองว่ามันเป็นนิรันดร์ ซึ่งจริง ๆ แล้วมันไม่ใช่ มีความบังเอิญที่น่าตกมาก ไม่รู้ว่ามันเป็นไปได้อย่างไรที่เวลา 1 กัลป์ มันเป็นสเกลเวลาของการเกิดและดับของดาวฤกษ์ตามความรู้ของดาราศาสตร์ฟิสิกส์สมัยใหม่พอดี Carl Sagan เองก็ยังทิ้งเลยว่า พวกพราหมณ์โบราณเขาได้สเกลเวลา 1 กัลป์ มาได้อย่างไร

มีแบบจำลองทางจักรวาลวิทยาที่มีแนวคิดคล้ายกับปรัชญาของศาสนาฮินดู คือ มีเป็นวัฏจักร มีการเกิดและดับสลับกันไป โดยคิดว่าโลกของเราเกิดขึ้นมาหลังจากที่เอกภพเคยมีความหนาแน่นของมวลสารและพลังงานที่สูงมาก ๆ อาจเรียกว่า บิกแบง (Big Bang) และหลังจากที่เอกภพขยายตัว ความหนาแน่นของมวลสารและพลังงานลดลง จนถึงเวลาหนึ่งโลกและชีวิตต่าง ๆ ก็เกิดขึ้นมา เมื่อขยายตัวต่อไปเรื่อย ๆ ในอนาคตอันไกลโพ้น พลังงานจลน์ของการขยายตัวจะพ่ายแพ้ต่อแรงดึงดูดระหว่างมวล เอกภพก็จะเปลี่ยนจากการขยายตัวเป็นหดตัว จนในที่สุดก็กลับไปสู่สถานะที่ความหนาแน่นของมวลสารและพลังงานสูงมาก ๆ อีกทีเรียกว่า บิกครันช์ (Big Crunch) ซึ่งจะ เป็นบิกแบงของรอบถัดไป แบบจำลองของเอกภพที่มีการขยายตัวและหดตัวสลับกันไปนี้ เราเรียกว่า แบบจำลองแบบวัฏจักร (Cyclic model) ถ้าคิดง่าย ๆ ก็ดูเป็นแบบจำลองที่สอดคล้องกับทฤษฎีกำเนิดจักรวาลด้วยพระพรหมของเหล่าพราหมณ์โบราณ มันเป็นแบบจำลองที่ Einstein เองก็ชอบและนำมาใช้อธิบายการขยายตัวของเอกภพที่เพิ่งค้นพบโดย Hubble การแกว่งกวัด (Oscillation) ของเอกภพแบบนี้ไม่ใช่สิ่งที่คิดเอาเอง แต่มันเป็นผลเฉลยของสมการ Einstein ที่ค้นพบโดย Alexander Friedmann เนื่องจากคาบของการขยายตัว/หดตัวมันขึ้นกับสสารและพลังงานในเอกภพที่สมัยนั้นยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจน ดังนั้นเราก็สามารถปรับแต่งแบบจำลองให้คาบของการขยายตัวและหดตัวมันยาวนานกว่าอายุของโลกและดวงดาวต่าง ๆ ได้ง่าย ๆ มันก็ไม่ควรจะมีปัญหาอะไร กลายเป็นแค่อีกหนึ่งแนวคิดของมนุษย์ที่พิสูจน์ไม่ได้ แต่พิลึกพิลั่นจริง ๆ มันไม่ได้ง่ายเสมอไป ในปี ค.ศ. 1928 Richard Tolman นักจักรวาลวิทยาคนแรก ๆ ของโลก ได้ตีพิมพ์งานวิจัยที่อ้างถึงว่า Einstein ลืมคิดถึงกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ในการคำนวณจะต้องคิดว่าเอกภพเป็นระบบโดดเดี่ยว (Isolated system) เพราะข้างนอกเอกภพนั้นมันไม่มีอะไรอยู่เลย ดังนั้นจึงไม่มีมวลสารหรือพลังงานงานใด ๆ ที่หลุดออกไปจากเอกภพได้ และสำหรับระบบโดดเดี่ยวใด ๆ ถ้าคิดตามหลักวิชาอุณหพลศาสตร์โดย ทฤษฎีบทเคลอซิอุส (Clausius theorem) จะได้ว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงเอนโทรปีของระบบจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ แต่สำหรับเอกภพที่ประกอบด้วยสสารอย่างเดียว (ในภาษาจักรวาลวิทยา คือ คิดแค่ Dust ไม่คิดการแผ่รังสี) Tolman คำนวณแล้วพบว่าจะเป็นกรณีที่ $dS > 0$ หมายความว่าเอนโทรปีจะต้องเพิ่มขึ้นในทุก ๆ รอบของการขยาย/หดตัว นี่คือการทำลายความเป็นนิรันดร์ของแบบจำลองได้อย่างเด็ดขาด เหมือนกับที่ไอเอนโทรปีไปไปปฏิเสธการมีอยู่ของเครื่องจักรที่เคลื่อนไหวได้เอง (Perpetual motion machine) จากการคำนวณของ Tolman โดยใช้อุณหพลศาสตร์ประยุกต์กับทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป ท่านสามารถบอกได้ชัดเจนว่าการขยายตัว/หดตัวของเอกภพเป็นกระบวนการผันกลับไม่ได้ (Irreversible process) ที่เอนโทรปีในแต่ละรอบเพิ่มขึ้น เปรียบเทียบง่าย ๆ Einstein มองเอกภพเหมือนลูกบอลที่ยัดหยุ่นอย่างสมบูรณ์ เมื่อกระทบพื้นก็กระดอนขึ้นไปเท่ากับความสูงที่มันตกลงมา แต่ละรอบทุกอย่างเหมือนเดิมทุกประการเป็นกระบวนการผันกลับได้ (Reversible process) แต่ Tolman สามารถพิสูจน์ได้ว่าเอกภพเหมือนลูกบอลที่เราพบเจอจริง ๆ ในชีวิตประจำวัน คือ แต่ละรอบของการกระดอนจากพื้นความสูงมันเปลี่ยนไปสุดท้ายก็ต้องหยุด โดยปกติแล้ววัฏจักรต่าง ๆ ในโลกจริงไม่สามารถดำเนินได้ชั่วนิรันดร์ มักถูกทำลายด้วยกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์เสมอ สำหรับ Cyclic universe รอบถัด ๆ ไปมันจะมีคาบที่ยาวนานขึ้น [14]

ผู้อ่านอาจสงสัยว่า แล้วท่าน Peebles หรือรางวัลโนเบลปี ค.ศ. 2019 มีความเกี่ยวข้องอะไรกับแบบจำลอง Cyclic universe ที่ Einstein เคยคิดว่าใช้ได้ แต่ถูก Tolman พิสูจน์ให้เห็นแล้วว่ามันใช้ไม่ได้ มันผิดหลักฟิสิกส์ แบบจำลองนี้มันควรตายไปแล้ว 30-40 ปี ก่อนที่ Peebles จะเริ่มทำวิจัยด้วยซ้ำ แต่ประวัติศาสตร์ในโลกของความเป็นจริงก็มักทำให้เราอึ้งได้เสมอ เพราะ Dicke อาจารย์ของ Peebles ท่านชอบแบบจำลอง Cyclic universe มาก และตามประวัติศาสตร์ Peebles ถูกดึงตัวมาร่วมกับงานวิจัยเพื่อหาหลักฐานของ Cyclic universe เพื่อตามหาแสงที่เป็นหลักฐานของบิกครันช์ รางวัลโนเบล ปี ค.ศ. 2019 เริ่มต้นจากทฤษฎีที่ผิด

เหตุผลที่ Dicke สนใจ Cyclic universe ก็เพราะท่านถามคำถามที่ตรงไปตรงมาว่า อะไรคือสิ่งที่มาก่อนบิกแบง แล้วไม่มีแบบจำลองไหนสามารถให้คำตอบที่น่าพอใจได้ ถ้ามองแบบปรัชญา มันก็ง่ายกว่าที่จะซ่อนกาลนิรันดร์ไว้ใน **วัฏสงสารของเอกภพ** นั่นคือเราก็สร้างทฤษฎีให้เอกภพมันก็ขยายและหดตัวของมันอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ เหมือนการเวียนว่ายตายเกิดของมนุษย์ตามคติฮินดู ในเมื่อมันไม่มีจุดเริ่มต้นและไม่มีจุดสิ้นสุดอยู่แล้วตั้งแต่ต้น เมื่อมันเป็นของมันอยู่อย่างนั้นเอง ก็ไม่มีความจำเป็นใด ๆ ที่ต้องตอบคำถามว่า อะไรคือสิ่งที่มาก่อนบิกแบง ทุกอย่างก็ดูดี ถ้าไม่มีกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์เข้ามาขวาง [14]

Dicke ผู้นำจุดเปลี่ยนมาสู่ทฤษฎีบิกแบง

ในความรู้ลึกของผู้เขียน ชายที่ชื่อ Robert H. Dicke อาจารย์ของ Peebles เป็นนักฟิสิกส์น่าทึ่งที่สุดคนหนึ่งในประวัติศาสตร์ ท่านสามารถฝากงานวิจัยที่มีชื่อเสียงได้ทั้งทฤษฎีและการทดลองมากมาย ในด้านทฤษฎีท่านสามารถขยายทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปของ Einstein ไปเป็นทฤษฎีความโน้มถ่วงใหม่ [15] ที่รู้จักกันในชื่อของ Brans–Dicke theory (ที่จริงมี Pascual Jordan เคยเสนอแนวคิดนี้มาก่อน แต่ไม่ได้เริ่มจาก Mach principle เหมือน Dicke) สำหรับคนที่ไม่ได้ศึกษาด้านแรงโน้มถ่วงก็อาจไม่เคยได้ยินชื่อทฤษฎีนี้มาก่อน แต่ทฤษฎีนี้สำคัญมากทั้งในแง่ทฤษฎีและการทดลองเกี่ยวกับความโน้มถ่วงสมัยใหม่ ในแง่การทดลอง Brans–Dicke theory ให้พารามิเตอร์ใหม่ที่สามารถทำการทดลองวัดได้จริง ในปัจจุบันการทดลองเพื่อพิสูจน์ว่าทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปถูกต้องมากน้อยเพียงใด ก็จะมี Brans–Dicke theory เป็นคู่แข่งที่สำคัญ แม้ว่าผลการทดลองล่าสุดในปี 2003 จากโมดูล Huygens ที่ติดไปกับดาวเทียม Cassini จะให้ค่าพารามิเตอร์ $\omega > 40,000$ [16] ซึ่งตีความได้ว่าความโน้มถ่วงแบบ Brans–Dicke ถูกบีบให้มีผลแทบไม่ต่างจากความโน้มถ่วงแบบ Einstein ก็ตาม ในแง่มุมทางทฤษฎี Brans–Dicke theory ถือว่าเป็นต้นแบบของทฤษฎีความโน้มถ่วงที่เรียกรวม ๆ กันว่า Scalar–tensor theory พุดแบบหยาบ ๆ คือ เป็นทฤษฎีที่นำ Scalar field มารวมกับ Metric tensor ของกาลอวกาศในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป ในปัจจุบันหากมีปัญหาใหม่อะไรที่แก้ไม่ได้ในทางจักรวาลวิทยา นักทฤษฎีก็จะเรียกใช้บริการ Scalar–tensor theory เสมอ ๆ กล่าวคือ ถ้าคิดอะไรไม่ออก ก็เสนอ Scalar field ตัวใหม่มาใช้อธิบายปรากฏการณ์นั้น ๆ ตัวอย่างเช่น งานวิจัยที่ท่าน Peebles ได้รับการอ้างอิงสูงสุด (ไม่นับรวมตำรา) คืองาน Peebles และ Ratra ปี ค.ศ. 1988 [17] ก็เป็นการนำเอา Scalar field ที่ชื่อ Quintessence มาอธิบายการขยายตัวด้วยความเร่งของเอกภพ ซึ่งมันก็คือ Brans–Dicke theory ในรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอันนี้ก็ไม่รู้ว่าจะไรคลาให้ Peebles เขียนบทความนี้ขึ้นมา เพราะการค้นพบที่ต้องใช้ผลในบทความนั้นอธิบายมันยังไม่เกิด ต้องรออีกสิบปี ต่อมาในปี ค.ศ. 1998 ทีมค้นหา High-*z* supernova ค้นพบว่าเอกภพขยายตัวด้วยความเร่ง (รางวัลโนเบลปี ค.ศ. 2011) คนก็เลยกลับไปค้นดูงานเก่า ๆ ก็พบว่างานที่ Peebles และ Ratra เคยคิดไว้ก็เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถอธิบายพลังงานมืด (Dark energy) ที่เป็นเหตุให้เอกภพขยายตัวด้วยความเร่งได้ นอกจาก Peebles และ Ratra แล้ว ก็ยังมี Christof Wetterich ที่เสนอ Scalar field มาอธิบายการขยายตัวด้วยความเร่งของเอกภพในปี ค.ศ. 1988 [18] ทั้งสามท่านถือบิดาของทฤษฎี Quintessence ที่อธิบายพลังงานมืด แข่งกับ Cosmological constant ของ Einstein

ในโลกอีกใบหนึ่งของ Dicke ท่านไม่ได้นักทฤษฎี แต่ท่านเป็นวิศวกร เป็นนักประดิษฐ์ เป็นนักทดลองที่เก่งอย่างสุดขั้ว ท่านได้จดสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ประมาณ 50 รายการ ตั้งแต่เครื่องอบผ้า ไปจนถึงเทคโนโลยีเลเซอร์ ตามประวัติท่านประดิษฐ์ Lock-in amplifier ใช้เองส่วนตัวตั้งแต่สมัยทำวิจัยด้านเรดาร์ให้กองทัพ ต่อมาพอมาอยู่มหาวิทยาลัย Princeton ท่านและลูกศิษย์ได้ตั้งบริษัท Princeton Applied Research (ปัจจุบันเป็นบริษัท AMETEK Scientific Instruments) ทำเครื่อง Lock-in amplifier ขายในเชิงพาณิชย์ มีส่วนช่วยให้วิศวกรและ

นักฟิสิกส์ค้นพบสิ่งใหม่ ๆ มากมาย ท่านคิดทฤษฎีและออกแบบการทดลองเพื่อทดสอบเองจนค้นพบปรากฏการณ์ที่ดังตามชื่อท่านว่า Dicke narrowing ซึ่งปัจจุบันถูกนำไปใช้ในนาฬิกาอะตอมสำหรับระบบ GPS นอกจากนี้ Dicke ยังมีส่วนสำคัญในการพัฒนา Adaptive optics ซึ่งใช้อย่างกว้างขวางในวงการดาราศาสตร์ปัจจุบัน Dicke นับเป็นยอดมนุษย์คนหนึ่งที่มีงานโดดเด่นในแทบทุกสาขาที่ท่านสนใจ ทำต่อมา Dicke มองว่างานด้านความโน้มถ่วงยังขาดแคลนการทดลอง ท่านก็เปลี่ยนมาบุกเบิกจนสร้างสาขาวิชาใหม่ขึ้นมาได้ [19]

กลุ่มวิจัยของ Dicke ที่ต่อมาเป็นผู้เปลี่ยนเกมทำให้ทฤษฎีบิกแบงเป็นทฤษฎีกระแสหลักและทำให้ Peebles ได้รับรางวัลโนเบล ได้เริ่มต้นขึ้นในปี ค.ศ. 1955 เมื่อ Dicke เปลี่ยนมาสนใจความโน้มถ่วง ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าว Peebles เรียกว่า ยุคทองของการทดลองด้านความโน้มถ่วง [20] (Peebles ใช้คำว่า Naissance หมายถึงจุดเริ่มต้นของความรุ่งเรือง อาจนึกถึง Renaissance ที่แปลว่ายุคฟื้นฟูศิลปวิทยาการ) ในงานประชุมวิชาการ Chapel Hill Conference on The Role of Gravitation in Physics ที่จัดขึ้นใน ค.ศ. 1957 ในการประชุมนั้น Dicke ได้เสนอว่าควรนำเทคโนโลยีใหม่ในสมัยนั้นมาทดสอบทฤษฎีความโน้มถ่วงเพื่อพัฒนาต่อจากยุคของ Einstein ได้แล้ว ท่านได้เขียนว่า "เป็นที่น่าเศร้าที่ต้องบันทึกว่าสถานการณ์ในการทำการทดลองเพื่อทดสอบความถูกต้องของทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปในปัจจุบัน (ค.ศ. 1957) ไม่ได้ดีไปกว่าสมัยไม่กี่ปีหลังจากที่ทฤษฎีถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1920 มันช่างแตกต่างอย่างมากระหว่างการทดลองเกี่ยวกับทฤษฎีควอนตัม ที่พวกเรามีการทดลองเพื่อตรวจสอบแล้วจำนวนหลายพันการทดลอง" [20] ก่อนหน้าที่ Dicke จะเข้ามาจับงานวิจัยด้านความโน้มถ่วง คนก็คิดกันว่าการทดลองเกี่ยวกับความโน้มถ่วงมันไม่มีอะไรน่าสนใจ เพราะคงทำการทดลองได้ยาก เป็นไปไม่ได้ อย่างที่เราทราบกันดีว่าแรงโน้มถ่วงเป็นแรงที่อ่อนที่สุดเมื่อเทียบกับแรงพื้นฐานอื่น ๆ เช่น แรงแม่เหล็กไฟฟ้า อันหนึ่งก็สามารถดึงคลิปหนีบกระดาษให้ลอยขึ้นและเอาชนะแรงโน้มถ่วงที่เกิดจากมวลของโลกทั้งใบได้ แล้วเราจะทดลองอะไรได้ แต่สิ่งที่ดูยากแบบนี้ Dicke กลับมองเห็นว่าเป็นเรื่องท้าทาย ท่านได้ออกแบบและสร้างการทดลองที่ประสบความสำเร็จมากมาย การทดลองหนึ่งที่ Dicke ภูมิใจคือ ท่านได้หิบบการทดลองยุคก่อน คือ Eötvös experiment (รูปที่ 4) ที่ใช้ทดสอบทฤษฎีของ Newton ที่ว่า มวลที่เป็นความเฉื่อยตามกฎการเคลื่อนที่ กับ มวลที่ปรากฏในสูตรแรงโน้มถ่วง เป็นมวลเดียวกันหรือไม่ เพื่อนำมาใช้ทดสอบหลักความสมมูล (Equivalence principle) ในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป ท่านสามารถแสดงให้เห็นว่าความเร่งของมวลเนื่องจากสนามแรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์ ที่ทำต่อมวลสองแบบที่แตกต่างกัน คือ ทองและอลูมิเนียม มีความแตกต่างอยู่ในระดับเพียง 1.3 ± 10^{-11} ขึ้นชั้นหลักความสมมูลว่าเป็นจริงในระดับที่ละเอียดที่สุดเท่าที่จะทำได้ในยุคนั้น ผลการทดลองดังกล่าวมาจากการปรับปรุงการทดลอง Eötvös อย่างชาญฉลาดให้ผลที่แม่นยำกว่าเดิมถึง 100 เท่า รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ปี ค.ศ. 2019 ในส่วนของ Peebles นอกจากจะมี Dicke เป็นผู้ตั้งกลุ่มวิจัย รวมถึงมอบหมายให้ Peebles ช่วยทดสอบแนวคิดของท่านแล้ว ยังโชคดีว่ามีคุณูปการสำคัญในการเปลี่ยนทฤษฎีบิกแบงที่คนในเวลานั้นไม่ค่อยเชื่อกลายมาเป็นทฤษฎีกระแสหลัก ผู้เขียนเชื่อว่า Dicke เองก็มีอิทธิพลต่อวิธีวิจัยของ Peebles อย่างยิ่ง แม้ว่า Dicke จะเป็นนักทดลอง ส่วน Peebles จะเป็นนักทฤษฎี ว่ากันว่า Dicke ชอบทฤษฎีที่น่าสนใจเหมือนว่าจะหาวิธีทำการทดลองพิสูจน์ได้ Dicke จะหัวเราะให้กับทฤษฎีนั้น แล้วหาทางพิสูจน์ด้วยการทดลองให้ได้ ตรงนี้สำคัญมาก ๆ เพราะย้อนไปประมาณทศวรรษ 1960s ทฤษฎีทางจักรวาลวิทยา คือ ทฤษฎีที่ดูเหลวไหลน่าหัวเราะ ไม่ใช่ทฤษฎีที่ดูดี ที่มีคนเชื่อเยอะอย่างในปัจจุบัน สมัยก่อนนักฟิสิกส์ที่ดีที่สุดของโลกคนหนึ่ง Lev Landau กล่าวไว้ว่า "พวกนักจักรวาลวิทยาทำผิดพลาดบ่อยครั้ง แต่ไม่เคยสงสัย (ว่าตัวเองผิด)" (Cosmologists are often in error, but never in doubt) [21] ในสมัยก่อนวิชาจักรวาลวิทยามันเป็นเช่นนั้นจริง ๆ ผลงานแห่งชีวิตของ Peebles คือ ท่านได้ทุ่มเททำงานมากมายที่จะเปลี่ยนทฤษฎีที่ดู

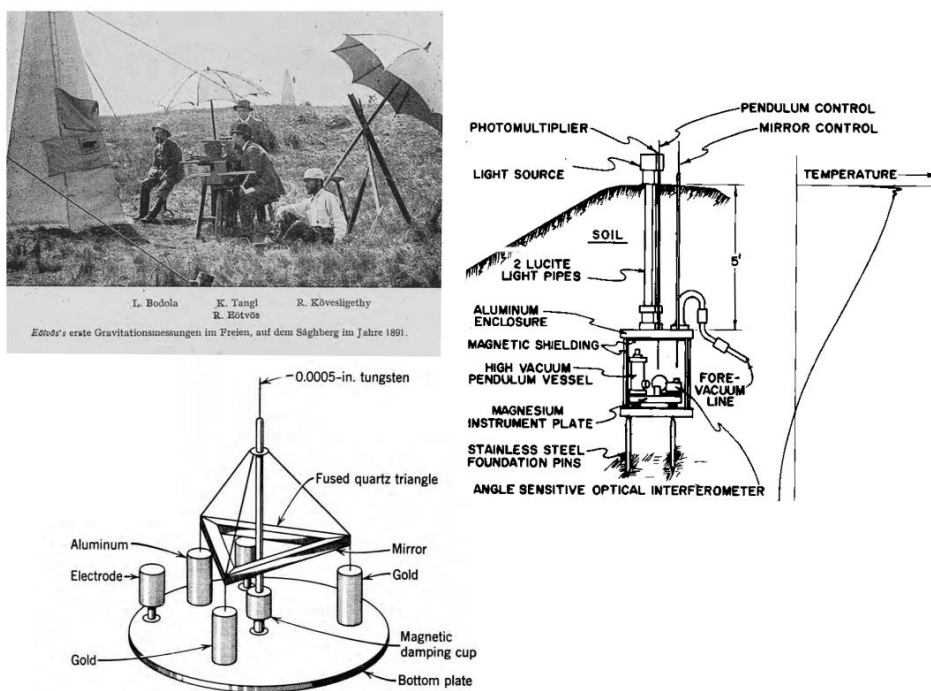
เหลวไหล ไม่มีหลักฐาน ให้เชื่อมโยงกับค่าประมาณต่าง ๆ ในฟิสิกส์ที่วัดได้จริงที่ละเอียดละน้อย ในความเห็นของผู้เขียน คุณูปการที่ท่านสั่งสมมาเหล่านี้ทำให้ท่านได้รับรางวัล ไม่ได้ใช้แค่เพียงงานชิ้นเด่นชิ้นเดียวเหมือนท่านอื่นที่เคยได้รับรางวัล

Dicke เป็นคนที่ชอบตั้งคำถามที่ไม่เหมือนใคร แล้วพยายามทดลองหาคำตอบให้จึงได้ เช่น เมื่อท่านสงสัยว่าหลักฐานแรกของทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป คือ การคำนวณแรกของ Einstein เกี่ยวกับการหมุนควงของตำแหน่งใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุดของวงโคจรดาวพุธ (Precession of Mercury's perihelion) (รูปที่ 5) อาจจะไม่ถูกต้อง เพราะ Einstein ใช้การคำนวณโดยคิดว่าดวงอาทิตย์เป็นทรงกลมสมบูรณ์แท้จริง ๆ แล้วดวงอาทิตย์อาจมีความแป้น (Solar oblateness) เล็กน้อยที่เรายังไม่รู้ เนื่องจากดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองคล้ายกับกรณีของโลก Dicke ก็เลยนำการทดลองของ Eötvös สมัยทศวรรษ 1900s ซึ่งรู้กันว่าวัดความแป้นของโลก มาปรับให้แม่นยำขึ้นเพื่อวัดความแป้นของดวงอาทิตย์ มนุษย์เรารู้ว่าโลกกลมมาตั้งแต่สมัยกรีก แต่การที่จะรู้ว่าโลกแท้จริงเป็นทรงรีน้อย ๆ (Oblate spheroid) เป็นเรื่องยากมากตามความรู้ปัจจุบัน รัศมีโลกด้านสั้นประมาณ 6,356.8 กิโลเมตร รัศมีโลกด้านยาว 6,378.1 กิโลเมตร มันแตกต่างกันเพียง 0.33% เท่านั้น มองในมุมของนักทฤษฎี ดวงอาทิตย์ก็หมุนรอบตัวเองเช่นเดียวกัน ดังนั้นที่ Einstein ใช้ดวงอาทิตย์เป็นทรงกลมอาจจะไม่ถูกต้อง ความริเริงเล็กน้อยของดวงอาทิตย์อาจส่งผลต่อวงโคจรของดาวพุธได้ Dicke จึงหาหาญปรับปรุงการทดลอง Eötvös เพื่อทดสอบหลักความสมมูลของทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปและวัดความแป้นของดวงอาทิตย์ไปพร้อมกัน นับเป็นการทดลองที่ทะเยอทะยานมากจริง ๆ แต่ความแป้นของดวงอาทิตย์ก็วัดได้ง่าย ๆ กลุ่มลูกศิษย์ของ Dicke ทำการทดลองเรื่องนี้จากห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัย Princeton แล้วย้ายไปที่หอสังเกตการณ์ที่ภูเขา Wilson ค้นพบว่าความแป้นของดวงอาทิตย์มีความเปลี่ยนแปลงในรอบปี และท้ายที่สุดกลุ่มลูกศิษย์ของ Dicke ก็ได้เป็นส่วนหนึ่งของทีมวิจัยดาวเทียมเพื่อสำรวจดวงอาทิตย์โดยตรง SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) ที่สามารถวัดโครงสร้างภายในของดวงอาทิตย์ได้อย่างละเอียด พวกเขาใช้ประสบการณ์การทดลองที่สั่งสมมาช่วยสร้างทฤษฎีว่าโครงสร้างภายในของดวงอาทิตย์แท้จริงแล้วมีลักษณะเป็นระบบพลวัต (Dynamic system) และสุดท้ายก็พบว่า ความแป้นของดวงอาทิตย์เองก็ค่าน้อยมาก ไม่ได้มีผลต่อการหมุนควงของตำแหน่งใกล้ดวงอาทิตย์ที่สุดของวงโคจรดาวพุธ นั่นคือ การคำนวณของ Einstein ถูกต้องแล้ว สิ่งที่ยากบันทึกไว้ในบทความนี้ คือ การทดลอง Eötvös ของ Dicke (รูปที่ 4) ถือว่าเป็นครั้งแรกที่มีการออกแบบการทดลองนำเทคโนโลยีมาช่วยวัดสิ่งที่ดูทะเยอทะยานเกินตัว แม้ว่าสุดท้ายแล้ว การทดลองที่วัดได้อย่างแท้จริงจะอยู่ห่างไกลในอนาคต (SOHO ปลอยปี ค.ศ. 1995) แต่มันก็ได้ปลุกสปีริตจิตวิญญาณของนักทดลองในอเมริกา ให้สร้างการทดลองที่มหัศจรรย์ทั้งในสาขาความโน้มถ่วงและสาขาจักรวาลวิทยาตามมามากมาย

ภารกิจค้นหาบิกแบง

ทีมแรกของโลกที่ทำการภารกิจค้นหาบิกแบง คือ กลุ่มลูกศิษย์และนักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoc) ของ Dicke ที่มหาวิทยาลัย Princeton ในสมัยนั้นพวกเขายังไม่ได้เรียกสิ่งที่กำลังทำวิจัยอยู่ว่าทฤษฎีบิกแบง จะว่าไปแล้วคำว่า "บิกแบง" ที่ใช้เป็นชื่อทฤษฎีมันก็เพิ่งเกิดขึ้นได้ไม่นานเท่าไร น่าจะยังไม่เป็นที่นิยมอย่างแพร่หลายเหมือนในปัจจุบัน มีบันทึกอยู่ว่า คำว่าบิกแบงถูกนำไปใช้เรียกทฤษฎีครั้งแรกในปี ค.ศ. 1950 เมื่อสถานีวิทยุ BBC ของอังกฤษเชิญ Sir Fred Hoyle ไปบรรยายเกี่ยวกับจักรวาลวิทยาให้ประชาชนทั่วไปฟัง การบรรยายมีทั้งหมด 5 ตอน และตอนสุดท้าย Hoyle ก็ได้เล่าว่า ในตอนนั้นมีทฤษฎีสองอันที่เป็นคู่แข่งกัน โดยทฤษฎีที่ดีกว่าคือ ทฤษฎี Steady State ของท่าน ส่วนอีกทฤษฎีที่ดีกว่านั้นเสนอโดย George Gamow โดยที่ Hoyle เล่าว่า มีทฤษฎีหนึ่งที่เชื่อว่าเอกภพได้กำเนิดขึ้นมา

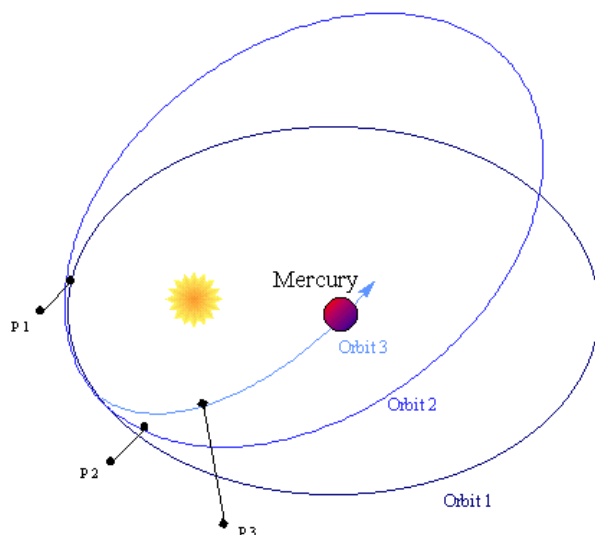
มีอายุเป็นช่วงเวลาที่จำกัด เกิดจากการระเบิดครั้งใหญ่ในอดีต และคิดว่าการขยายตัวของเอกภพในปัจจุบันเป็นผลที่เกิดจากความรุนแรงของการระเบิดนั้น แนวคิดบิกแบงนี้เป็นกระบวนการที่เหลวไหลไร้เหตุผล ไม่สามารถบรรยายได้ด้วยวิทยาศาสตร์ ท่านไม่เห็นว่ามีเหตุผลดี ๆ ข้อใดที่จะทำให้เร้าชอบแนวคิดบิกแบงนี้ ในทุกครั้งที่ Hoyle พูดคำว่า "บิกแบง" ท่านจะใช้น้ำเสียงในเชิงเหยียดหยาม [22] แต่ก็ตลกดีที่คำที่ Hoyle ประดิษฐ์เพื่อล้อเลียนทฤษฎีคู่แข่งกลายเป็นชื่ออย่างเป็นทางการของทฤษฎีทางฟิสิกส์ที่มีชื่อเสียงที่สุด



รูปที่ 4 ด้านบนซ้ายเป็นภาพของ Eötvös และทีมงานกำลังวัดเกรเดียนต์ของสนามแรงโน้มถ่วง เครื่องวัดของ Eötvös ใญ่มา เวลาทำการวัดต้องปล่อยตั้งไว้ในที่โล่ง ๆ แล้วใช้กล้องโทรทรรศน์ส่องดูผลเอา ด้านขวาเป็นแบบของการทดลอง Eötvös ที่สร้างใหม่โดยกลุ่มของ Dicke ส่วนของ Torsion balance ถูกใส่ไว้ในท่อสุญญากาศผิวดินไว้ วิธีการดังกล่าวช่วยลดสัญญาณรบกวนได้มาก ระบบการวัดทอร์กก็ถูกออกแบบใหม่ ซับซ้อนและแม่นยำมาก การอ่านผลและทำการทดลองด้วยเครื่องควบคุมระยะไกล (เครดิตภาพ: [20])

แต่ผู้ที่ทำให้ Dicke สนใจจักรวาลวิทยาไม่ใช่ทั้ง Hoyle หรือ Gamow แต่เป็นแนวคิด Large numbers hypothesis (LNH) ของ Paul Dirac ดังนั้น Dicke จึงไม่ใช่แฟนของทั้งทฤษฎี Steady state และทฤษฎีบิกแบง ท่านไม่พอใจคำอธิบายที่มาของสสารและพลังงานในเอกภพของทั้งสองทฤษฎี ท่านไม่เชื่อว่าอยู่ดี ๆ เมื่อประมาณหมื่นล้านปีที่แล้ว ก็มีสสารและพลังงานที่มาจากไหนไม่รู้เกิดขึ้นมาในเอกภพเกิดขึ้นมาจากความว่างเปล่าตามทฤษฎีบิกแบง ส่วนอีกฟากหนึ่งทฤษฎี Steady state ก็พอกัน Hubble แสดงให้ทุกคนเห็นว่าเอกภพมันขยายตัวอยู่ตลอดเวลา แต่ทฤษฎี Steady state ฟิโนอยากให้ออกภพคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เป็นจักรวาลกาลนิรันดร์ ไม่ต้องมี

จุดกำเนิด สิ่งที่ต้องทำในทฤษฎีนี้ เมื่อปริมาตรของเอกภพเพิ่มความหนาแน่นของเอกภพไม่เปลี่ยนแปลง ก็ต้องเพิ่มมวลสารเข้าไปในเอกภพตลอดเวลา มวลสารก็เกิดจากความว่างเปล่าเช่นเดียวกัน ดูแล้วไม่น่าเชื่อถือเลย



รูปที่ 5 รูปแสดงการหมุนควงของตำแหน่งใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด (Perihelion precession) ของวงโคจรดาวพุธ ในภาพแสดงผลเกินจริง เพื่อให้เห็นภาพชัดเจน ปรากฏการณ์นี้เป็นหลักฐานชิ้นแรกที่ Einstein ใช้ยืนยันทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปว่าถูกต้องเพราะคำนวณได้แม่นยำกว่า Newton แต่ Dicke สงสัยในผลการคำนวณดังกล่าวว่าน่าจะยังไม่ได้คิดผลความเป็นของดวงอาทิตย์ (Solar oblateness) (เครดิตภาพ: <http://hosting.astro.cornell.edu/academics/courses/astro201>)

ด้วยเหตุนี้ Dicke จึงเลือกเชื่อสิ่งที่ต่างออกไป คือ Cyclic universe หรือ Bouncing universe เพื่อที่จะได้ไม่ต้องตอบคำถามว่าอะไรเกิดก่อนบิกแบง สสารและพลังงานมันมีอยู่แล้วในเอกภพของมันอยู่อย่างนี้อยู่แล้ว เอกภพขยายตัวก็เย็นลง เอกภพหดตัวก็ร้อนขึ้น และเมื่อหดตัวถึงจุดหนึ่งความหนาแน่นของพลังงานสูงพอก็เกิดบิกแบง (จริง ๆ เรียก Big crunch หรือ Bouncing) ในตอนนั้นความหนาแน่นของพลังงานเอกภพสูงมาก ฉีกธาตุอื่น ๆ ที่หนักกระจุยกระจาย ให้กลับมาเหลือแค่ธาตุที่เบาที่สุดคือ ไฮโดรเจน สำหรับการขยายตัวในรอบถัดไป หดตัวและขยายตัวสลับกันไปไม่สิ้นสุด

การวิจัยตามสไตล์ของ Dicke เมื่อได้แนวคิดใหม่ที่น่าสนใจ ท่านก็จะตั้งทีมและมอบภารกิจให้แบ่งกันไปทำ การตั้งทีมเริ่มต้นในช่วงฤดูร้อนปี ค.ศ. 1964 โดยมี Peebles ทำหน้าที่ศึกษาผลทางทฤษฎี มี Peter Roll และ David Wilkinson ทำหน้าที่สร้างเครื่องมือตรวจวัด ในช่วงเวลานั้น Roll เพิ่งช่วย Dicke ทำการทดลอง Eötvös สำเร็จ ส่วน Wilkinson ก็เพิ่งจบปริญญาเอกมาทำงานใหม่ที่ Princeton ยังไม่มีโครงการวิจัยระยะยาวให้ทำ ย้อนกลับไปในปีนั้น Wilkinson คงมองไม่ออกว่า โปรเจกต์ค้นหาบิกครันช์ที่ Dicke พามาทำ มันจะ

ขยายเป็นธุรกิจใหญ่โต จนสุดท้ายถึงขั้นเป็นดาวเทียมดวงสำคัญที่สุดในวิชาจักรวาลวิทยาที่ถูกตั้งชื่อตามท่าน นั่นคือดาวเทียม **Wilkinson Microwave Anisotropy Probe** หรือ **WMAP** ในบทความแรกที่เป็นรายงานของดาวเทียมดวงนี้ [23] ซึ่งก็คือ ภาพถ่ายแรกของเอกภพที่ได้รับการอ้างอิงไปเกิน 12,000 ครั้งแล้วในปัจจุบัน มันเป็นภาพมาตรฐานของเอกภพที่เราคุ้นในทุกวันนี่ สิ่งที่เราเห็นตามสื่อต่าง ๆ ก็ล้วนเป็นการแปลผลมาจากดาวเทียม WMAP แทบทั้งสิ้น ไม่ว่าจะเป็น อายุของเอกภพประมาณ 13,800 ล้านปี เอกภพประกอบด้วยสสารทั้งหมดที่อยู่ในตารางธาตุ (Ordinary baryonic matter) มีอยู่แค่ไม่เกิน 4.6% เท่านั้น องค์ประกอบหลักของเอกภพเป็นสสารมืด (Dark matter) ประมาณ 22% และพลังงานมืด (Dark energy) ประมาณ 73% และจากความรู้ที่ดีที่สุดในปัจจุบัน เรายังบอกไม่ได้ว่าสสารมืดและพลังงานมืดคืออะไร องค์ประกอบเกินกว่า 95% ของเอกภพเป็นสิ่งที่ยังไม่มีคำอธิบายที่ชัดเจน

ภาพการกำเนิดเอกภพของ Dicke กระจ่างชัดและสมเหตุสมผลตามที่ความรู้สมัยนั้นจะเอื้ออำนวย โจทย์ของ Dicke คือ ทำอย่างไรให้เอกภพเริ่มต้นด้วยไฮโดรเจนธาตุที่เบาที่สุดให้ได้ เมื่อได้ไฮโดรเจนเป็นวัตถุดิบหลัก ก็สังเคราะห์ดาวต่าง ๆ เป็นโรงงานผลิตธาตุที่หนักกว่าต่อไป ซึ่งความรู้เกี่ยวกับกระบวนการสังเคราะห์ธาตุในใจกลางดาวฤกษ์ เรารู้อยู่แล้วจากงานของ Hoyle ที่ตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1957 ซึ่งรู้จักกันในชื่อบทความ B²FH [24] (งานชื่อ Synthesis of the Elements in Stars โดย Burbidge, Burbidge, Fowler และ Hoyle) จากงานชิ้นนี้ทำให้ William Alfred Fowler ซึ่งเป็นนักทดลองด้านนิวเคลียร์ฟิสิกส์ ได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 1983 แต่นักดาราศาสตร์ฟิสิกส์ชื่อดังอย่าง Hoyle ผู้คิดทฤษฎีนี้ขึ้นมากลับถูกคณะกรรมการโนเบลหั่นชื่อออก แม้ว่าบทความ B²FH จะเป็นงานที่ทดลองเพื่อทดสอบทฤษฎีของ Hoyle ที่ตีพิมพ์ในปี ค.ศ. 1946 และ 1954 ก็ตาม แต่การสร้างสสารและพลังงานจากความว่างเปล่าไม่น่าถูกใจ Dicke ท่านเลยเลือกการย่อยสลายธาตุที่มีอยู่ในอดีตของเอกภพแทน เครื่องมือในการย่อยธาตุของ Dicke คือ อนุภาคแสงหรือโฟตอน (Photon) ที่ง่ายที่สุด และมีอยู่แล้ว คือ โฟตอนจากแสงของดวงดาวต่าง ๆ ที่มีพลังงานในระดับประมาณ eV (electron Volt) ซึ่งต่ำมากเมื่อเทียบกับพลังงานยึดเหนี่ยว (Nuclear binding energy) ของธาตุต่าง ๆ อยู่ในระดับหลายล้าน eV นั้นหมายความว่า ในกระบวนการนี้แต่ละนิวเคลียสก็จะปลดปล่อยพลังงานหลายล้านเท่าของโฟตอนจากแสงดาว จักรวาลในตอนนั้นจะสุกสว่างฟุ้งฟุ้งกว่าสุริยันพื้นดวง [20, 25]

การจะหาโฟตอนพลังงานสูงที่สามารถทำให้เกิดกระบวนการ Photodissociation ขึ้นสูงสุด คือ ย่อยทุกสิ่งทุกอย่างในจักรวาลให้เหลือแค่ โปรตอน อิเล็กตรอน นั้นไม่ใช่เรื่องยากเลยในวิชาจักรวาลวิทยา เพราะจากทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป เมื่อเอกภพขยายตัว คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า หรือโฟตอนทุกย่านคลื่น จะเกิด Redshift คือ ความยาวคลื่นเพิ่มขึ้น หรือ ความถี่ลดลง เมื่อคำนวณพลังงานต่อโฟตอนตามสูตรของ Planck ก็จะได้พลังงานลดลง (คือ ค่าคงตัวของ Planck และคือ ความถี่ของโฟตอน) จากความรู้นี้ Dicke ก็แค่คิดในทางตรงข้าม คือ ถ้าเอกภพหดตัว (Contraction) โฟตอนก็จะเกิด Blueshift ทำให้ความถี่เพิ่มขึ้นแทน การหดตัวของเอกภพถ้ามากพอก็สามารถเพิ่มพลังงานของโฟตอนให้สูงเท่าที่ต้องการได้ ถ้าหดตัวถึงพอ โฟตอนระดับ eV ของแสงดาวก็สามารถเพิ่มจนเป็นพลังงานหลายล้าน eV สามารถเอาชนะพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอมธาตุต่าง ๆ ได้ เมื่อ Dicke ได้ลองทำการคำนวณเพื่อประมาณดู พบว่าโฟตอนเพียงไม่กี่ตัวจากแสงดาวก็เพียงพอที่จะทำให้ธาตุต่าง ๆ ย่อยสลายกลายเป็น โปรตอน อิเล็กตรอน เมื่อธาตุย่อยสลายพลังงานยึดเหนี่ยวก็จะเปลี่ยนเป็นทะเลของการแผ่รังสีความร้อน (Sea of thermal radiation) ทำให้จักรวาลในตอนนั้นจะเต็มไปด้วยลำแสงที่เจิดจ้า กลุ่มวิจัยของ Dicke ก็แค่พยายามตรวจวัดรังสีพื้นหลังดังกล่าวให้ได้ ก็จะยืนยันได้ว่าแนวคิด Dicke ถูก นั่นคือ ถ้า บิกแบง หรือ บิกครันช์ มีจริง จะต้องมีการแผ่รังสีพื้นหลังอยู่ทั่วจักรวาลให้ตรวจวัดได้ในปัจจุบัน

แบบจำลองการกำเนิดจักรวาลของ Dicke มีฟิสิกส์ที่ชัดเจนและทำนายผลการสังเกตการณ์ที่สามารถตรวจวัดได้ นับว่าเป็นจุดเริ่มต้นของวิชา Physical cosmology ซึ่งก็มี Peebles อยู่ตรงนั้นในฐานะลูกทีม แต่แบบจำลองนี้ไม่สามารถใช้อธิบายเอกภพตามความรู้ปัจจุบันได้ ยกตัวอย่างง่าย ๆ หลุมดำ ก็เป็นสิ่งที่ Dicke ไม่ได้คิดในทฤษฎี เพราะในสมัยนั้น ไม่มีใครรู้ว่าหลุมดำมันมีอยู่จริงหรือไม่ เราจะเห็นได้ชัดเจนว่าหลุมดำเป็นวัตถุที่ถูกกลบออกจากเอกภพรอบที่แล้วด้วยกระบวนการแบบที่ Dicke คิดไม่ได้ เพราะไม่ว่าโฟตอนจะมีพลังงานแค่ไหน ก็ไม่ใช่ปัญหาของหลุมดำ มันก็กลืนกินได้หมดอย่างไม่มีปัญหาอะไร Cyclic universe ที่มีหลุมดำด้วยก็คงดูสนุกสนานดี ผู้เขียนยังไม่เคยได้ค้นคว้าว่าเขาแก้กันอย่างไรเหมือนกัน ถ้าผู้เขียนลองเองคิดแบบง่าย ๆ ตอนที่เอกภพหดตัวลง ทุกอย่างก็ถูกบีบให้มาใกล้หลุมดำแล้วโดนดูดกลืนไปหมด หลุมดำสามารถรวมกันกลายเป็นหลุมดำที่ใหญ่ขึ้นได้ ตอนสุดท้ายเป็นอย่างไร ไม่เหลืออะไร นอกจากหลุมดำสุดท้ายที่ใหญ่ที่สุดเพียงอันเดียว? มันคงไม่มีรอบต่อไปแน่ ๆ อย่างไรก็ตามก็ปัญหาเก่าที่ Einstein เคยโดนท้วงจาก Tolman ว่าโมเดล Cyclic universe มีปัญหา เพราะเอนโทรปีในแต่ละรอบมันต้องเพิ่มขึ้นตามกฎข้อที่สองของอุณหพลศาสตร์ ปัญหาข้อนี้ Dicke และ Peebles ไม่น่าจะพลาด เพราะหนังสือจักรวาลวิทยาของ Tolman ที่เขียนไว้เมื่อปี ค.ศ. 1934 [26] เป็นตำรามาตรฐาน ทุกคนที่จะทำวิจัยทางจักรวาลวิทยาน่าจะต้องอ่าน อย่างไรก็ตาม Dicke เสนอว่าท่านมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาเอนโทรปีที่จุดเด็งกลับ (Bounce) ไว้แล้ว ดังนั้นพวกเรา มาค้นหารังสีพื้นหลังกันเถอะ (เรื่องเอนโทรปีที่จริงท่าน Dicke ก็แก้ไม่ได้หรอก โมเดลที่ท่านใช้ก็ยังคงไม่ถูกอยู่ดี อย่างไรก็ตาม ทฤษฎี Cyclic universe ยุคปัจจุบัน อย่าง Ekpyrotic universe ซึ่งต้องมี Extra-dimension และ Brane ก็เหมือนจะก๊อปปี้วิธีการจัดการเอนโทรปีของ Dicke ไปปรับปรุง [20] แต่โมเดลยุคหลังมีของเล่นให้โกงเยอะกว่า เช่น พลังงานมืด เป็นต้น)

แสงที่เป็นหลักฐานของบิกแบง

ทั้ง Gamow และ Dicke มองเหมือนกันว่า ช่วงแรกเริ่มของเอกภพจะต้องเต็มไปด้วยโฟตอนที่มีพลังงานสูง เหมือนลูกไฟที่สว่างเจิดจ้า ทั้งสองอาจเริ่มต้นคิดต่างกัน โดย Gamow พยายามใช้บิกแบงสร้างธาตุต่าง ๆ ในจักรวาลขึ้นมาจากโปรตอนและอิเล็กตรอน ส่วน Dicke พยายามทำลายธาตุต่าง ๆ ให้เหลือแค่โปรตอนและอิเล็กตรอน เพื่อรีเซ็ตเริ่มต้นรอบใหม่ให้กับ Cyclic universe ของท่าน อย่างไรก็ตาม ทั้งคู่รู้ว่าผลของการขยายตัวของเอกภพจะยืดความยาวคลื่นรังสีพื้นหลังมีความยาวคลื่นมากขึ้น ทำให้พลังงานต่อโฟตอนในรังสีพื้นหลังลดลง จากที่เคยเป็นรังสีพลังงานสูงอย่างรังสีแกมมาในช่วงแรกของเอกภพ ก็จะกลายเป็นคลื่นไมโครเวฟที่มีอุณหภูมิเพียงไม่กี่องศาเหนือศูนย์สัมบูรณ์ในปัจจุบัน ทั้ง Gamow และ Dicke ต่างก็ทำนายตรงกันว่า จะต้องมีการมี CMB อยู่ทั่วไปหมดทั้งจักรวาล ไม่ว่าเราจะหันไปทางทิศใดก็วัดได้เหมือนกัน

สิ่งหนึ่งที่ทำให้ทีม Dicke ถือไฟเหนือกว่า นักทฤษฎีบิกแบงรุ่นแรกอย่าง George Gamow, Ralph Alpher และ Robert Herman จนสามารถวางรากฐานจักรวาลวิทยายุคใหม่ได้ ก็คือ การมีเทคโนโลยีอยู่ในมือ ทำให้ทีมของท่านสามารถพัฒนาวิธีวัดแสงที่เป็นหลักฐานของบิกแบงได้ ส่งให้ลูกทีม คือ Peebles ได้รับรางวัลโนเบลใน 55 ปีถัดมา

ในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง Dicke เคยเป็นนักวิจัยอยู่ศูนย์วิจัยพัฒนาเทคโนโลยีเรดาร์ที่ MIT Radiation Laboratory ท่านได้ประดิษฐ์คิดค้นสิ่งต่าง ๆ ให้กับเทคโนโลยีสื่อสารด้วยคลื่นไมโครเวฟหลายชิ้น มีสิ่งประดิษฐ์ที่มีชื่อเสียงที่ท่านคิดค้นขึ้น เมื่อปี ค.ศ. 1946 รู้จักกันในชื่อว่า Dicke radiometer ซึ่งกลายเป็นต้นแบบของเรดิโอมิเตอร์ในย่านคลื่นไมโครเวฟที่ใช้ทั่วไปในงานวิจัยด้านดาราศาสตร์วิทยุ ในปัจจุบัน เรดิโอมิเตอร์ที่ Dicke ประดิษฐ์ขึ้นนั้นสามารถใช้ตรวจวัดอุณหภูมิของรังสีไมโครเวฟพื้นหลังได้เป็นอย่างดี และในปี

ค.ศ. 1946 นั้นเอง Dicke, Beringer, Kyhl และ Vance ได้เคยลองใช้เรดิโอมิเตอร์ดังกล่าววัดอุณหภูมิของรังสีไมโครเวฟพื้นหลังของเอกภพมาแล้ว และพบว่าถ้ามันมีอยู่จริง มันก็จะมีอุณหภูมิไม่เกิน 20 เคลวิน ถึงตรงนี้ผู้อ่านบางท่านอาจมีคำถามว่าอุณหภูมิของ CMB คืออะไร ตามทฤษฎีบิกแบง เอกภพจะเคยอยู่ในสมดุลความร้อน (Thermal equilibrium) ที่สมบูรณ์แบบมาก่อน ณ เวลานั้น อุณหภูมิของเอกภพสามารถบรรยายได้ด้วยหลักการแผ่รังสีของวัตถุดำ (Black body radiation) ซึ่งก็หมายความว่ารังสีพื้นหลังมันสามารถมีได้ทุกช่วงคลื่น แต่ความยาวคลื่นใดมีค่าสูงสุดก็ขึ้นกับอุณหภูมิของเอกภพในเวลานั้นซึ่งเราสามารถรู้ได้จากฟิสิกส์นิวเคลียร์ เมื่อเอกภพขยายตัว ความยาวคลื่นของโฟตอนทุกตัวจะถูกยืดหรือเกิด Redshift ในอัตราที่เท่ากัน ทำให้ยอดกราฟของ Black body curve เคลื่อนไปแต่รูปร่างของเส้นกราฟยังคงรักษาแบบแผนสเปกตรัมของการแผ่รังสีวัตถุดำ ซึ่งตำแหน่งของยอดกราฟนี้เองที่เราใช้บอกอุณหภูมิของเอกภพ ตามการคำนวณของ Dicke ความยาวคลื่นสูงสุดของ CMB น่าจะอยู่ในช่วงคลื่นไมโครเวฟ คือ ยาวประมาณเซนติเมตร หรือ เมตร จึงไม่จำเป็นต้องสร้างเครื่องตรวจวัดขนาดใหญ่ อีกทั้งเครื่องรับส่งเรดาร์ที่ Dicke พัฒาตอนสงครามโลกก็ยังมีขนาดเล็กเพื่อที่จะนำไปติดไว้กับเครื่องบินได้ โพรเจกต์นี้จึงใช้คนเพียงไม่กี่คนช่วยกันทำได้ ช่วงฤดูใบไม้ผลิ Wilkinson และ Roll ก็ช่วยกันสร้างเครื่องตรวจวัด CMB จากความรู้เก่าของ Dicke พวกเขาเรียกมันว่าเครื่องตรวจวัดลูกไฟดึกดำบรรพ์ (Primeval fireball) [27]

Peebles ผู้ที่รับหน้าที่นำแนวคิดของ Dicke ไปคำนวณอย่างจริงจังว่า ลูกไฟดึกดำบรรพ์มันจะเล็กร่องรอยอะไรให้เป็นหลักฐานวัดได้ในปัจจุบันบ้าง จากการคำนวณของท่าน อุณหภูมิของ CMB จะมีค่าประมาณ 10 เคลวิน ท่านย้อนระลึกถึงช่วงเวลานั้นแล้วให้สัมภาษณ์ว่า แนวคิดกำเนิดเอกภพของ Dicke มันเป็นแนวคิดที่ดีมาก และเช่นเดียวกับแนวคิดที่ดีทั้งหลาย มันจะจุดประกายให้เกิดความคิดต่าง ๆ ตามมามากมายเป็นลูกโซ่ หลังจากที่เราตรวจวัด CMB ได้ในปี ค.ศ. 1964 ท่าน Peebles ก็เป็นคนแรก ๆ ที่มีโอกาสปรับการคำนวณศึกษา ผลที่เกิดจากทฤษฎีบิกแบงโดยใช้ผลจาก CMB นำไปสู่การพบสิ่งสำคัญที่สร้างชื่อให้ท่าน ตามทฤษฎีมีอยู่ว่าในช่วงเริ่มแรกของเอกภพ ฮีเลียมและธาตุเบาอื่น ๆ อีกไม่กี่อย่างจะถูกสร้างขึ้นอย่างมากมาย ในกระบวนการที่ปัจจุบันรู้จักในชื่อของ **Big Bang nucleosynthesis** (ย่อเป็น **BBN**) ซึ่งท่านก็ทราบคืออยู่แล้วว่า ธาตุอื่น ๆ ที่หนักกว่า ตัวอย่างเช่น คาร์บอน หรือ ออกซิเจน จะต้องใช้ Stellar nucleosynthesis อันมีชื่อเสียงโด่งดังของ Hoyle แทน ส่วนนิวเคลียสของอะตอมไฮโดรเจนนั้นเป็นเพียงโปรตอนตัวเดียวอยู่แล้วจึงไม่ต้องสังเคราะห์นิวเคลียสอะไรใหม่ ขอเพียงอุณหภูมิของเอกภพลดต่ำที่จะจับกับอิเล็กตรอนได้ ก็เกิดอะตอมไฮโดรเจนขึ้นแล้ว มันจึงเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในการวัดตามทฤษฎีบิกแบง เมื่อ Peebles ปรับการคำนวณใหม่ ลองตรวจสอบดูว่าขณะที่อุณหภูมิของเอกภพลดเหลือเท่ากับที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน เราจะพบปริมาณฮีเลียมในเอกภพเท่าไร ผลการคำนวณทำให้ท่านรู้สึกประหลาดใจมาก ที่คำตอบคือฮีเลียม (^4He) จะเกิดขึ้น 25% โดยมวล ที่เหลืออีก 75% โดยมวล คือ ไฮโดรเจน (^1H) หมายความว่า ในยุคนั้นคนยังไม่รู้ถึงบทบาทของสสารมืด (Dark matter) ในเอกภพเลยไม่ได้นำมาคิด สำหรับความรู้ปัจจุบันมวลสารของทุกธาตุในตารางธาตุ (Baryonic matter) จะมีได้ไม่เกิน 5% ของมวลสารและพลังงานของเอกภพ มวลส่วนใหญ่ในเอกภพ คือ สสารมืดจะคิดเป็นประมาณ 26% เมื่อคิดตามแบบจำลองจักรวาลวิทยามาตรฐาน (LambdaCDM model) แต่เนื่องจากบทความนี้ต้องการบอกเล่าประวัติศาสตร์ เราจะใช้คำว่า "25% โดยมวลสำหรับ ^4He " ตามความรู้สมัยนั้นต่อไป

Peebles ในตอนนั้นเป็นหน้าใหม่ของวงการดาราศาสตร์ฟิสิกส์ ที่ผ่านมามีท่านทำแต่วิจัยด้านฟิสิกส์อนุภาค เลยจึงไม่รู้ว่ 25% โดยมวลนั้นมันมากไปหรือน้อยไป เมื่อลองค้นคว้าดูก็พบว่ามีการศึกษาทางดาราศาสตร์ฟิสิกส์ว่า ทั้งดวงอาทิตย์และดาวฤกษ์ต่างก็มีฮีเลียมอยู่ 25% โดยมวล ดังนั้นท่านจึงดีใจและสรุปในบทความอย่างเรียบง่ายว่าอย่างน้อยการคำนวณการสังเคราะห์ธาตุจากทฤษฎีบิกแบง

ของท่านสามารถใช้ได้กับระบบสุริยะ ตลอดจนที่ Peebles ยังไม่รู้ตัวว่าตนเองสามารถแก้ปริศนาที่ใหญ่ที่สุดในโลกของดาราศาสตร์ฟิสิกส์ได้ ซึ่งจะทำให้ท่านเป็นนักจักรวาลวิทยาที่มีชื่อเสียง เพราะทฤษฎี Stellar nucleosynthesis ที่ยิ่งใหญ่ของ Hoyle ก็ไม่สามารถสร้างฮีเลียมให้เอกภพได้ถึง 25% โดยมวล ในขณะที่นักดาราศาสตร์ฟิสิกส์ในคอนนั้นก็มีหลักฐานอยู่ในมือแล้วมากมายว่าเอกภพน่าจะมีฮีเลียมประกอบถึง 25% ซึ่งมันไม่มีทางที่ฮีเลียมปริมาณมหาศาลนี้จะเกิดขึ้นจากใจกลางดาวฤกษ์ ตามทฤษฎีของ Hoyle ได้ ตรงจุดนี้แม้แต่ Hoyle เองก็ยอมแพ้และบอกว่า Helium ปริมาณมหาศาลในเอกภพคงจะถูกสร้างมาจากกระบวนการอื่น เช่น Little bang คือ สมมุติว่ามีดาวฤกษ์มวลมหาศาลเกิดการระเบิดขึ้นเป็นบิกแบงเล็ก ๆ ในทฤษฎี Steady state ซึ่งดูไม่ค่อยสมเหตุสมผล ดังนั้นการค้นพบของ Peebles ถือเป็นงานหนึ่งที่ทำให้ทฤษฎีบิกแบงมีแต้มต่อ อย่าลืมนะว่าในเวลานั้นนักฟิสิกส์ส่วนใหญ่เชื่อทฤษฎีของ Hoyle มากกว่าบิกแบง งานที่ท่านทำถือว่าเป็นเพียงทฤษฎีทางเลือกที่ดูไม่น่าเชื่อถือ ไม่ใช่กระแสหลัก

เมื่อ Peebles คำนวณ BBN ได้ถูกต้อง ท่านก็มั่นใจบอกทีมได้ว่ารังสีพื้นหลังที่เป็นหลักฐานของทฤษฎีบิกแบง ควรจะอยู่ในรูปของ CMB ที่มีอุณหภูมิประมาณ 10 เคลวิน ผลการคำนวณของ Peebles สำคัญมากต่อทีม แต่ผลการคำนวณ BBN ของ Peebles ก็ไม่ใช่การคำนวณใหม่ แม้ว่าท่านจะทำเองทั้งหมดก็ตาม เพราะเมื่อเกือบยี่สิบปีก่อนหน้า Gamow, Alpher และ Herman ได้เคยตีพิมพ์ผลการคำนวณเหล่านี้ไปหมดแล้วในหลายบทความ พวกนักทฤษฎีรุ่นแรกได้ทำการคำนวณไว้หมดแล้วทั้ง BBN และทำนายอุณหภูมิของ CMB ซึ่งถ้าดูแค่ตัวเลข Alpher และ Herman ทำนายอุณหภูมิของ CMB ได้ใกล้เคียงกว่าที่ Peebles ทำนายใหม่เสียอีก ในจุดนี้ Peebles เองก็เคยกล่าวออกตัวไว้ก่อนการบรรยายผลงานของท่านในครั้งหนึ่งว่า "ผมไม่ได้ตระหนักเลยว่า Alpher และ Herman ได้คำตอบที่คล้ายกัน ด้วยหลักคิดที่คล้ายกันมาเมื่อ 16 ปีก่อนหน้านี้" [27] ที่จริง Gamow, Alpher และ Herman เขาแค่โชคร้าย ที่ได้ผลการคำนวณตามทฤษฎีบิกแบง ที่ถูกต้องก่อนเวลาไปสิบกว่าปี ก่อนที่จะมีการค้นพบทางดาราศาสตร์อื่น ๆ สนับสนุนอย่างเพียงพอ

คลื่นไมโครเวฟที่เย็นเยือกและแผ่วเบา

ทั้ง Wikinson และ Roll เริ่มต้นจากศูนย์ คือ ไม่รู้อะไรเกี่ยวกับไมโครเวฟเลย แต่กำลังจะทำเครื่องวัดสิ่งเพื่อตรวจหาสิ่งที่วัดได้ยากที่สุดอันหนึ่ง นั่นคือ CMB แสงที่เย็นเยือกหลักฐานของทฤษฎีบิกแบง แม้ท่านทั้งสองไม่รู้อะไรเลยก็จริง แต่ Dicke รู้ทุกอย่าง หน้าที่หลักของ Wikinson และ Roll ชื่อของจากร้านขายอุปกรณ์ให้กับทางทหาร เอามาประกอบเป็นชิ้นงานแล้วเดินไปถาม Dicke ว่ามันใช้ได้หรือไม่หรือยัง? ชิ้นส่วนของเครื่องมือที่พวกเขาพยายามสร้าง เป็นสิ่งที่หาได้ไม่ยากเพราะย่านคลื่นที่ต้องการวัดเป็นที่ยอมรับอยู่แล้ว แม้แต่ Dicke เองเคยพูดไว้ว่า "ที่จริงแล้วมันก็ไม่มีอะไร พวกเขาแค่สร้างเครื่องแบบเดียวกับที่ผมเคยทำที่ MIT ในช่วงสงคราม" "ผมก็ให้คำแนะนำว่าอย่างไร พวกเขาแค่ไปปฏิบัติตามงานที่บอก" [27] แน่ละสิ่งที่คิดไว้และหน้างานจริงมันมักจะต่างกันฟ้ากับเหวอยู่โดยปกติ งานนี้ก็ไม่ได้มีข้อยากแะไรอะไร Wikinson และ Roll เลือกคาเฟ่ของตึกธรณีของมหาวิทยาลัย Princeton เป็นที่ตั้งของการทดลองที่อาจหาจะตรวจวัดแสงที่เป็นหลักฐานของบิกแบง โดยสร้างเครื่องวัดจากไม้อัดและกรงนกพิราบที่ไม่ใช้งานแล้ว หัวใจของเครื่องมือวัดคือ ส่วนรับสัญญาณ (Antenna) สำหรับกรณีของคลื่นไมโครเวฟนิยมใช้รูปแบบฮอร์น (Horn) ซึ่งส่วนนี้จะต้องออกแบบเอง เพื่อให้เหมาะสมกับคลื่นที่ต้องการจะวัด Wikinson สร้างฮอร์นจากแผ่นทองแดงสี่แผ่น รูปร่างคล้ายทรัมเป็ตสี่เหลี่ยม ยาวประมาณ 6 ฟุต ปากรับสัญญาณพื้นที่ประมาณ 1 ตารางฟุต ออกแบบเพื่อรับ CMB โดยเฉพาะ (ดูรูปที่ 6) เพื่อต้องการให้รับสัญญาณจากท้องฟ้าได้เป็นบริเวณกว้าง ความยากลำบากที่สุดของ Roll และ Wikinson อยู่ที่การจัดการกับสัญญาณรบกวน (Noise) ได้อย่างไร เนื่องจากพวกเขาต้องการวัด

แสงที่อุณหภูมิประมาณ 10 เคลวิน ซึ่งเยือกเย็นสุดขั้ว ดังนั้นไม่ว่าสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าอะไรก็สามารถรับกวนได้หมด แม้แต่คลื่นความร้อนจากร่างกายมนุษย์เองก็มีอุณหภูมิประมาณ 300 เคลวินเข้าไปแล้ว สามารถกลบสัญญาณได้สบาย ๆ CMB สิ่งที่พวกเขาพยายามวัด สัญญาณมันอ่อนกว่ารังสีอินฟราเรดที่พื้นโลกปลดปล่อยเป็นร้อยล้านเท่า พวกเขาจึงต้องสร้าง Ground shield เพื่อป้องกันการแผ่รังสีจากสิ่งแวดล้อมให้ได้ดีที่สุดอีกด้วย เพื่อที่จะวัดให้ได้ ส่วนปัญหาที่ว่าจะแยกสัญญาณที่ต้องการวัดจากสัญญาณที่ไม่ต้องการอย่างไร ในดาราศาสตร์วิทยุ ใช้ทริค On source/Off source คือการนำสัญญาณที่วัดได้ (On source) จากดาวหรือกาแล็กซี ไปลบด้วยสัญญาณเมื่อวัดบริเวณใกล้เคียง (Off source) ที่นี้ปัญหาของ CMB มันสนุกตรงที่ ตัวมันเป็นรังสีพื้นหลังมาจากทุกทิศทาง เพราะมันมีอยู่ทั่วไปหมดทั้งจักรวาล ดังนั้นจึงไม่สามารถหันฮอว์กไปหาบริเวณที่เป็น Off source ได้เลย ตรงจุดนี้ Wilkinson และ Roll แก้ปัญหาโดยการสร้างแหล่งสัญญาณเทียม (Artificial source) และใช้ฮีเลียมเหลวหล่อเย็น มันจึงมีอุณหภูมิอยู่ที่ 4.2 เคลวิน ซึ่งเรียกว่า Cold load ในการวัด CMB ก็จะต้องทำการวัดสลับไปมาระหว่างห้องฟ้าและ Cold load อย่างรวดเร็ว ซึ่งพวกเขาสามารถทำได้เพราะสิ่งประดิษฐ์ที่ชื่อว่า Dicke switch เป็นสิ่งที่ Dicke เคยคิดไว้เมื่อปี ค.ศ. 1946 ในช่วงสงคราม Dicke รู้หมดทุกอย่างอยู่แล้วเช่นเคย แต่ผ่านไปวันแล้ววันเล่า ก็ยังวัด CMB ไม่ได้



รูปที่ 6 David Wilkinson (คนเสื้อสีขาว) และ Peter Roll กำลังติดตั้งการทดลองตรวจวัดรังสีไมโครเวฟพื้นหลังหลักฐานของทฤษฎีบิกแบงที่บนคาบฟ้าของอาคาร Guyot Hall ตึกสาขาธรณีวิทยา โครงไม้ที่เห็นคือกรงนกพิราบเก่า ส่วนที่คล้ายทรมเป้รูปเหลี่ยมด้านบน คือ ฮอว์ก ที่พวกเขาออกแบบสำหรับการรับสัญญาณ CMB (เครดิตภาพ: Robert Matthews circa 1964-65)

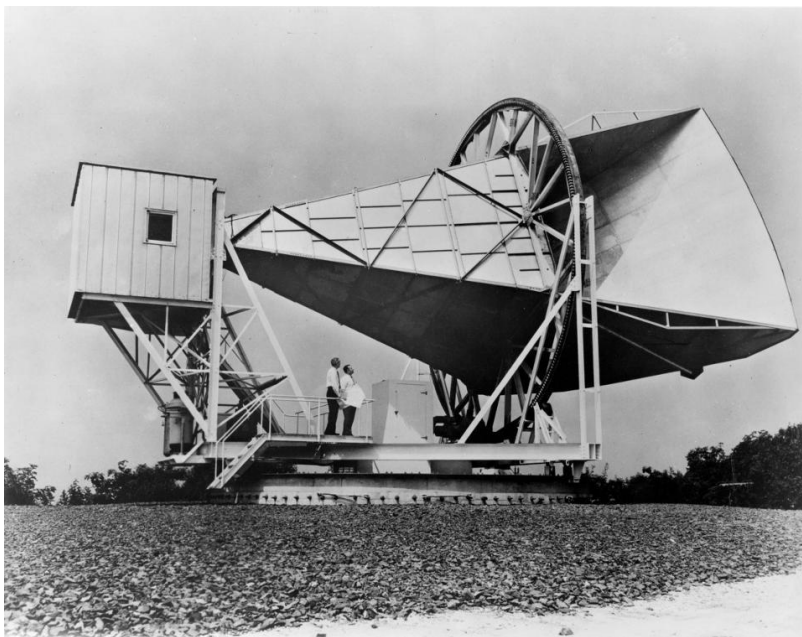
ในที่สุดวันที่ทำให้ทฤษฎีบิกแบงได้รับการยอมรับก็ได้มาถึง ในเดือนเมษายน ปี ค.ศ. 1965 เสียงโทรศัพท์ในออฟฟิศของ Dicke ได้ดังขึ้น ปลายสายเป็นคนที่พวกเขาไม่รู้จัก ในตอนนั้นทั้ง Wilkinson, Roll และ Peebles อยู่กันครบ ในขณะนั้นทุกคนกำลังจิบกาแฟรับประทานแซนด์วิช พูดคุยเรื่องความก้าวหน้าของการทดลองประจำสัปดาห์อยู่พอดี Peebles เล่าถึงเหตุการณ์ในวันนั้นว่า ในการคุยโทรศัพท์ Dicke เป็นฝ่ายฟังเสียส่วนใหญ่ พักหน้า และพูดทวนสิ่งที่อีกฝ่ายพูด เช่น "ฮอว์กมันรับสัญญาณ" "จิ้งก่าไฟ" ในตอนนั้นพวกเขารู้ว่าทางออกไปราวสามสิบไมล์ Bell Labs (ชื่อย่อของ Bell Telephone Laboratories ในสมัยนั้น) ซึ่งเป็นบริษัทเอกชนที่ทำงานวิจัยและพัฒนาทางเทคโนโลยี มีฮอว์กที่มีพื้นที่รับสัญญาณขนาด 20 ตารางฟุตอยู่ ถือมีขนาดใหญ่โตมาก เมื่อเทียบกับฮอว์กที่พวกเขาสร้างกันเองพื้นที่รับสัญญาณเพียง 1 ตารางฟุต แต่ฮอว์กของ Bell Labs อันนั้นสร้างเพื่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมซึ่งก็ไม่น่าจะเกี่ยวอะไรกับพวกเขา นี่นา Dicke ยังฟังปลายสายพูดอย่างตั้งใจ จนกระทั่งในที่สุดท่านก็ทวนคำว่า "Cold load" เมื่อคำนี้หลุดออกมา Wilkinson ที่แอบฟังโทรศัพท์อยู่ก็รู้ดีว่าจบเกมแล้ว เนื่องจากความจำเป็นที่จะต้องสร้าง Cold load สำหรับ Off source นั้นมีอยู่กรณีเดียว คือ ไม่สามารถทำ Off source ได้จากการหักล้างไปทางอื่น เพราะสิ่งที่ต้องการวัดมันเป็นรังสีพื้นหลังกระจายอยู่ทุกที่บนท้องฟ้า ในตอนนั้น Roll และ Wilkinson ก็คิดว่าเขาจะเป็นทีมวิจัยเดียวในโลกที่ทำ Cold load แต่จริง ๆ แล้ว มันมีอีกทีม หลังจากทางสาย Dicke ก็หันมาพูดกับทุกคนว่า "เด็ก ๆ ทั้งหลาย พวกเราโดนตัดหน้าแล้ว" [27]

การค้นพบแสงหลักฐานจากบิกแบง หรือ CMB เกิดขึ้นแล้วโดยบังเอิญ ที่ Bell Labs ใน Holmdel

วันถัดมา Dicke, Roll และ Wilkinson เดินทางไปพบ Arno Allan Penzias และ Robert Woodrow Wilson ที่ Bell Labs ก่อนจะเดินทางไป ทีมของ Dicke ก่อนข้างมันใจอยู่แล้วว่า Penzias และ Wilson ได้ค้นพบ CMB ที่พวกเขาพยายามตรวจวัดอยู่ เมื่อทั้งสองทีมวิจัยได้พบกัน มันก็ไม่มีอะไรที่ต้องพูดกันมาก เพราะการทดลองมันคล้ายกันมาก โดยเฉพาะ Cold load ที่หล่อด้วยฮีเลียมเย็นที่ Penzias สร้างขึ้นก็เหมือนที่ Roll ใช้ไม่ผิดเพี้ยน แต่ Penzias และ Wilson ไม่ได้ต้องการหาสัญญาณจากบิกแบงอะไรเลย ในทางตรงข้าม Wilson ก็เหมือนคนส่วนใหญ่ที่ชอบทฤษฎี Steady state มากกว่าทฤษฎีบิกแบงด้วยซ้ำไป อันที่จริงแล้วฮอว์กบน Crawford Hill ที่มีรูปร่างคล้ายไอศกรีมโคนนั้น เป็นรูปแบบเฉพาะที่วิศวกร Bell Labs ออกแบบเพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนอื่น ๆ โดยเฉพาะจากพื้น ดัดให้เหลือเฉพาะสัญญาณที่มาจากดาวเทียมที่ต้องการรับจริง ๆ ซึ่งตรงนี้ก็บังเอิญทำหน้าที่ตรงกับ Ground shield ที่ Roll และ Wilkinson พยายามทำอยู่ แต่ฮอว์กของ Bell Labs มันดีกว่ามาก เพราะด้วยรูปร่างที่ออกแบบมาโดยเฉพาะและขนาดที่ใหญ่ของมันเป็นไปไม่ได้ที่สัญญาณจากพื้นจะจวกเข้าไปสู่ฮอว์กได้เลย และจากจุดประสงค์การสร้างที่ต้องการที่จะรับสัญญาณวิทยุอ่อน ๆ จากดาวเทียมที่อยู่บนท้องฟ้าห่างไกล เครื่องรับสัญญาณมันก็ต้องไวมาก ๆ เหมาะสำหรับรับ CMB อย่างยิ่ง

เป็นความบังเอิญมาก ที่ฮอว์กของ Bell Labs บน Crawford Hill จะต้องถูกปรับเปลี่ยนเพื่อรับสัญญาณจากดาวเทียมรุ่นใหม่กว่า ระหว่างการปรับจูน มันจะมีช่วงที่ฮอว์กไม่ได้ใช้ บริษัทจึงคิดว่าน่าจะจ้างนักดาราศาสตร์วิทยามาเช่าเครื่องมือให้ น่าจะดี พวกเขาจึงจ้าง Penzias และ Wilson มาอยู่เฝ้า ในระหว่างที่ฮอว์กไม่ถูกใช้ในการสื่อสาร พวกเขาสามารถใช้ฮอว์กทำงานวิจัยทางดาราศาสตร์ฟิสิกส์ได้ตามสบาย การทดลองที่ Penzias และ Wilson ตั้งใจจะทำคือ ใช้ฮอว์ก 20 ฟุต (รูปที่ 7) วัดบริเวณเฮโล (Halo) ของกาแล็กซีทางช้างเผือก พวกเขาเชื่อว่าบริเวณเฮโลน่าจะประกอบด้วยไฮโดรเจน ถ้ามันเรืองแสงควรจะมีควมยาวคลื่น 21 เซนติเมตร แสงจากเฮโลน่าจะอ่อนมาก และวัดยากมาก Penzias และ Wilson จึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจฮอว์ก 20 ฟุตที่ตนใช้อย่างดีที่สุด เพื่อขจัดสัญญาณรบกวนทุกอย่าง

ออกไปทั้งหมดให้ได้ พวกเขาตั้งใจว่าเมื่อส่งไปที่อื่นบนท้องฟ้าต้องได้อุณหภูมิ 0 เคลวิน ฮอว์กที่พวกเขาใช้มันถูกตั้งไว้เพื่อรับสัญญาณไมโครเวฟจากดาวเทียมความยาวคลื่น 7.35 เซนติเมตร ซึ่งพวกเขาคิดว่าที่ย่านคลื่นนี้ก็ได้อยู่แล้วสำหรับการทดลองเพื่อหาวิธีจัดสัญญาณพื้นหลัง เมื่อ Penzias และ Wilson เริ่มสแกนท้องฟ้าในเดือนมิถุนายน ค.ศ. 1964 พวกเขาพบสิ่งผิดปกติ คือ มันมีสัญญาณที่ไม่ต้องการที่อุณหภูมิ 3.5 เคลวินอยู่เต็มท้องฟ้าไปหมด หากจะวัดสัญญาณอ่อน ๆ ในย่าน 21 เซนติเมตรให้ได้ สัญญาณพื้นหลังนี้ก็ควรถูกกำจัดออกไป ด้วยเหตุนี้ Penzias จึงสร้าง Cold load ขึ้นมาทดสอบ หล่อด้วยฮีเลียมเหลวเหมือนที่ Roll ทำ แล้วก็พบว่าสัญญาณรบกวน 3.5 เคลวินเป็นของจริง มันสม่ำเสมอไม่ขึ้นกับทิศทาง ไม่ว่าจะพยายามอย่างไรก็ทำให้สัญญาณรบกวนนี้หายไปไม่ได้ เนื่องจากหันไปทางไหนก็เจอ Penzias และ Wilson จึงคิดว่ามันอาจเป็นปัญหาที่ฮอว์กก็ได้ เมื่อพวกเขาลองคว้าฮอว์กหันลงพื้น แหงนหน้ามองหาความผิดปกติ พวกเขาได้พบว่าในฮอว์กมีสารไดอิเล็กทริกสีขาวอยู่เต็มไปหมด ซึ่งสารดังกล่าวผู้อ่านน่าจะรู้จักกันในชื่อเรียกสามัญว่า **ขี้นกพิราบ** เมื่อ Penzias และ Wilson เห็นขี้นกพิราบพวกเขาก็ใจมาก เพราะคิดว่าในที่สุดก็ค้นพบวิธีที่จะได้จัดสัญญาณรบกวน 3.5 เคลวินนี้ได้เสียที จะได้เริ่มวิจัยดังที่วาดฝันไว้ แต่ตามเจ้าหน้าที่มาจัดการนกพิราบเข้าปัญหา ซึ่งนำประหลาดที่หลังจากหมดคนกลุ่มนั้นแล้วก็ไม่มียกพิราบตัวอื่น ๆ อยากรู้ว่าฮอว์กอีก



รูปที่ 7 ฮอว์กรูปไอศกรีมที่มีปากรับสัญญาณขนาด 20 ตารางฟุต มีแกนหมุนปรับได้ 360 องศา เป็นของบริษัทเอกชน Bell Labs ตั้งอยู่บนเนิน Crawford ใน Holmdel เป็นเครื่องมือที่ A. A. Penzias และ R. W. Wilson ใช้ค้นพบ CMB โดยไม่ได้ตั้งใจ เครื่องรับคลื่นไมโครเวฟดังกล่าวสร้างขึ้นเพื่อการสื่อสารผ่านดาวเทียมในธุรกิจของ Bell Labs (เครดิตภาพ: NASA)

Penzias และ Wilson ได้ทำการเก็บกวาดขึ้นนกพิราบและทำความสะอาดฮอร์นของเครื่องวัดให้เอี่ยมอ่อง พยายามตรวจเช็คทุกตารางนิ้วของฮอร์น ดูเหลี่ยม ดูขอบ ว่าไม่มีสิ่งใดที่จะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนได้ ไม่ว่าจะอย่างไรสัญญาณที่ 3.5 เคลวินก็ไม่ยอมหายไปไหน พวกเขาพยายามหาทางกำจัดสัญญาณ CMB ที่เป็นการค้นพบที่สำคัญที่สุดในชีวิตของพวกเขาอยู่เกือบปี จนในที่สุดก็จนปัญญา แก้ไขไม่ได้ Penzias จึงโทรหาผู้รู้ด้านดาราศาสตร์วิทยุเพื่อขอความช่วยเหลือ บังเอิญกลุ่มวิจัยที่โทรไปตามมีลูกศิษย์ของ Dicke ที่เป็นเพื่อนของ Peebles อยู่ในกลุ่มด้วย Penzias จึงได้รับคำแนะนำว่าสิ่งที่พวกเขาค้นพบอาจจะเป็น CMB ที่กลุ่มวิจัย Princeton กำลังหาอยู่ หลังจากทีม Princeton และ Bell Labs ได้คุยกัน ทั้งสองทีมก็ร่วมกันประกาศการค้นพบแห่งศตวรรษนี้ลงใน Astrophysical Journal Letters (ApJL) และอย่างที่ทราบกัน ผลของความพยายามในการกำจัดสัญญาณรบกวนและจัด "สารไดอิเล็กทริกสีขาว" ออกจากฮอร์นรับสัญญาณดาวเทียมในครั้งนั้นส่งผลให้ Penzias และ Wilson ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปี ค.ศ. 1978

ทฤษฎีบิกแบงหลังการค้นพบ CMB และเก็บตกประวัติศาสตร์อื่น ๆ

ทีม Princeton รู้ดีว่านี่คือ การค้นพบที่ยิ่งใหญ่ที่สุด พวกเขาคงติดต่อหนังสือพิมพ์ The New York Times มาทำข่าวและได้ขึ้นกรอบใหญ่หน้าหนึ่ง พาดหัวว่าวัดสัญญาณจากจักรวาลบิกแบงได้ ในเวลานั้น Gamow ที่เกษียณแล้วได้อ่านข่าวในหนังสือพิมพ์ ก็รู้ว่าสิ่งที่ค้นพบเป็นผลอันเดียวกับสิ่งที่ตัวเองเคยตีพิมพ์งานวิจัยไปนานแล้ว ท่านจึงลองหาชื่อตัวเองและชื่อ Alpher และ Herman ที่ไม่พบ ท่านคิดว่ามันเป็นธรรมดาของหนังสือพิมพ์ ในบทความจริงน่าจะกล่าวถึง และเมื่อบทความโนเบลของ Penzias และ Wilson ออกมาก็ไม่มีตรงไหนที่บอกว่า CMB ที่พวกเขาค้นพบมาจากทฤษฎีบิกแบงเลย พวกเขาถือว่าไว้เพียงเล็กน้อย ว่า มีคำอธิบายหนึ่งที่เป็นไปได้เกี่ยวกับสัญญาณรบกวนนี้ในอีกบทความหนึ่งโดย Dicke, Peebles, Roll และ Wilkinson ที่ตีพิมพ์ในวารสารเดียวกัน แม้แต่ทีม Princeton ก็เหมือนถูกกีดกันออกไปจากการค้นพบ เข้าทางเพื่อนรักหักเหลี่ยมโหด ต่อมา Wilson ได้อธิบายแบบน้ำขุ่น ๆ ว่า พวกเขาเป็นคนทำการทดลองทั้งหมดด้วยตนเอง จนค้นพบ CMB ด้วยตนเอง ทีม Dicke ไม่ได้ช่วยเหลือที่เกี่ยวข้องกับการค้นพบเลย ที่สำคัญคำอธิบายของสัญญาณจาก CMB อาจไม่จำเป็นต้องใช้ทฤษฎีบิกแบงหรือทฤษฎีของ Dicke อธิบายก็ได้ คำอธิบายนี้อาจทำให้คนฟังรู้สึกงงๆ เพราะถ้าไม่ได้ Dicke คงไม่มีข่าวหน้าหนึ่ง ไม่มีบทความในวารสาร Astrophysical Journal Letters คู่กัน แต่ไม่ว่าคำอธิบายของ Wilson จะน้ำขุ่นแค่ไหน ก็ได้แย้งอะไรไม่ได้ ส่วนบิดาของทฤษฎีบิกแบง Gamow เมื่อได้อ่านบทความการค้นพบ CMB ใน Astrophysical Journal Letters ทั้งสองฉบับเสร็จก็ควั่นออกหู เพราะไม่มีตรงไหนที่กล่าวถึงงานของ Gamow, Alpher หรือ Herman (รูปที่ 8) ที่ทำไว้เมื่อช่วงทศวรรษ 1940s เลย งานของพวกเขาก็ลงในวารสารที่มีชื่อเสียงอย่าง Physical Review ซึ่งก็เป็นที่เดียวกับที่ Dicke ตีพิมพ์ผลงานมาโดยตลอด ตอนสมัยหนุ่ม ๆ ที่ Dicke ทำวิจัยเรื่องไมโครเวฟก็อาจเคยตีพิมพ์งานใน Physical Review ฉบับเดียวกับที่ Gamow ตีพิมพ์งานบิกแบงด้วยซ้ำ [22] งานบางชิ้นของ Alpher และ Herman ก็ได้ลงวารสารอย่าง Nature ด้วยซ้ำไป ถ้าเป็นมุมมองของปัจจุบันมันก็น่าจะพลาดกันได้ใช่มั้ย เพราะแม้แต่ นักข่าวยังรู้และพาดหัวได้ถูกว่าเลยว่า CMB เป็นหลักฐานของทฤษฎีบิกแบง พอพูดถึงบิกแบงมันก็ต้องนึกถึง Gamow



รูปที่ 8 G. Gamow (ซ้าย), R. Alpher (กลาง) และ R. Herman (ไว้หนวด) นักวิจัยกลุ่มแรกที่ศึกษาทฤษฎีบิกแบง สามารถคำนวณ Big Bang nucleosynthesis และทำนายการมีอยู่ของรังสีไมโครเวฟพื้นหลังได้ ก่อนที่ Peebles จะทำการคำนวณ ในอีกยี่สิบปีถัดมา (เครดิตภาพ: https://www.aldebaran.cz/bulletin/2015_11_sum.php)

ส่วนตัวผู้เขียนเชื่อว่าพลาดโดยสุจริต อย่างลืมนว่า Dicke ที่สนใจทำทุกสิ่งทุกอย่างข้ามสาขาไปมามากมายและเพิ่งเริ่มสนใจจักรวาลวิทยาได้ไม่นาน น่าจะไม่ใช่ักงานเก่า ๆ ของทฤษฎีบิกแบงที่ตอนนั้นถือว่าเกือบตายไปในกองกระดาษที่ไม่มีคนอ่านแล้ว ส่วน Peebles ก็เพิ่งเปลี่ยนจากสาขาฟิสิกส์อนุภาค ยังใหม่อยู่ แม้แต่งานวิจัยทางดาราศาสตร์ฟิสิกส์ที่ต้องใช้เปรียบเทียบผลของตนเองก็ยังไม่ค่อยรู้เลย ต่างจากทุกวันนี้ลืบลบ ตั้งแต่ที่มี Peebles ผู้ที่ได้รับรางวัลโนเบลทำวิจัยด้าน Physical cosmology มาตลอด 55 ปี มีงานร่วมกับการค้นพบสำคัญ ๆ ตั้งแต่นั้นจนถึงวันนี้แทบทุกอย่างจริง ๆ ไม่ว่าปัญหาอะไรใหม่เข้ามา เช่น การก่อตัวของกาแล็กซี (Galaxy formation) สสารมืด หรือล่าสุด พลังงานมืด ก็ล้วนแต่มีงานที่มีชื่อเสียงของท่านอยู่ด้วยทั้งสิ้น และจากคำบอกเล่าของ Peebles เอง ท่านเขียนบทความเกี่ยวกับการคำนวณ CMB ของท่านส่งไป Physical Review ในช่วงต้นปี ค.ศ. 1965 ท่านก็ถูกบรรณาธิการปฏิเสธ บอกว่าท่านควรศึกษางานเก่า ๆ ก่อนว่างานของท่านมีอะไรที่แตกต่างจากของเดิมที่ Gamow และลูกศิษย์ได้ทำคำนวณไว้แล้ว

ถ้าต้นฉบับของ Peebles ถูก Physical Review ปฏิเสธเร็วกว่านั้นสักหน่อย ทีมของ Dicke ก็คงจะรู้ว่าแนวคิดลูกไฟของ Dicke มันเหมือนที่ Gamow และ Alpher คิดทุกประการ การคำนวณทุกอย่างมีอยู่แล้วจากมุมมองของนักฟิสิกส์นิวเคลียร์ จะว่าไป Gamow นำความรู้ด้านฟิสิกส์นิวเคลียร์ที่ได้จากช่วงสงครามโลกบางส่วนที่กองทัพให้เปิดเผยได้มาใช้อธิบายการเกิดธาตุเบาได้อย่างดี คำนวณปริมาณฮีเลียมได้ถูกต้องเหมือนกับที่ Peebles ทำ เพียงแต่ไม่ได้คำนวณสัดส่วนเลข 25% โดยมวลเมื่อเทียบกับผลทางดาราศาสตร์ฟิสิกส์ซึ่งในช่วงเวลาของ Gamow และ Alpher ยังไปไม่ถึงตัวเลขนี้ แต่ท่านทั้งสองสามารถคำนวณสัดส่วนของปริมาณฮีเลียมที่เกิดขึ้นเทียบกับไฮโดรเจนในเอกภพได้ถูกต้อง และที่สำคัญงานของ Alpher และ Herman ที่ลง Nature ก็ทำนายอุณหภูมิ CMB ได้ 5 เคลวินใกล้เคียงของจริงกว่าอุณหภูมิ 10 เคลวินที่ Peebles ทำนาย ความโชคร้ายมีเพียงว่าทฤษฎีที่ถูกต้องนั้น โศกความสำเร็จของ Stellar nucleosynthesis ของ Hoyle กลบไว้ให้คนลืม

Steven Weinberg เคยตั้งคำถามไว้ในหนังสือของท่าน [28] ว่า ทำไมหลังจากที่ Gamow ทำนายการมีอยู่ CMB ได้ ทำไมถึงไม่มีใครค้นหามัน อันที่จริงเทคโนโลยีนี้ก็จะพร้อมสำหรับการค้นพบมานานแล้ว Roll และ Wilkinson ก็สร้างเครื่องวัดตามเทคโนโลยีในสมัยสงครามโลกครั้งที่สอง แต่หลังจากที่ค้นพบ CMB นักดาราศาสตร์ฟิสิกส์ก็มีโอกาสกลับไปค้นดูงานเก่า ๆ ว่ายังมีงานไหนยังเป็นปริศนาหาคำอธิบายไม่ได้ แล้วก็พบว่าที่จริงแล้ว CMB ถูกค้นพบก่อนหน้า Penzias และ Wilson ถึง 25 ปี โดย Andrew McKellar ท่านศึกษาโมเลกุลแก๊สระหว่างดวงดาว (Interstellar molecules) โดยเลือกใช้โมเลกุล Cyanogen หรือ CN คาร์บอนจับกับไนโตรเจน ตามงานวิจัยดังกล่าวที่เลือกศึกษา CN เป็นโมเลกุลไวต่ออุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสี มากกว่า อุณหภูมิของสสารระหว่างดวงดาว (Interstellar matter) ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการวัดรังสีพื้นหลัง Adams เองก็ไม่คิดว่าจะเจออะไรพิเศษในที่ว่างเปล่าอุณหภูมิใกล้ 0 เคลวิน แต่จากการศึกษารูปแบบการดูดกลืนรังสีของโมเลกุล CN เขาต้องประหลาดใจ เพราะดูเหมือนว่ามีรังสีสลับมากระตุ้นพวกมันอยู่ตลอดเวลา เมื่อใช้โมเดลของแก๊สเจือจาง (Dilute gas) คำนวณด้วยสูตรการแผ่รังสีของวัตถุดำ ก็พบว่ารังสีสลับนั้นมียุณหภูมิ 2.3 เคลวิน หลังจากนั้นนักดาราศาสตร์ฟิสิกส์ก็มีรายงานลักษณะเดียวกันออกมาเรื่อย ๆ แต่ไม่มีใครสนใจคิดอย่างจริงจังจนนั่นคือ CMB ที่เราทราบว่ายุณหภูมิที่แท้จริงคือ 2.725 เคลวินในปัจจุบัน

เมื่อ Einstein ต้องการนำทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปไปใช้กับเอกภพทั้งหมดทุกส่วน ท่านได้ใช้ Cosmological principle คือ เอกภพควรจะมีความสม่ำเสมอ (Homogeneous) และเหมือนกันทุกทิศทาง (Isotropic) ด้วยเหตุผลคือ จะได้ไม่มีที่ใดที่เป็นพิเศษ กฎทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ที่ส่วนใหญ่เราก็ค้นพบกันบนโลก ก็สามารถใช้ได้กับทุก ๆ ที่เหมือนกันในจักรวาล ปัจจุบันเราทราบแล้วว่าเอกภพมีลักษณะนี้จริง ๆ ที่สเกลใหญ่ ๆ CMB ที่วัดได้ก็มีอุณหภูมิเท่ากันหมดทุกที่ในท้องฟ้า แต่ปัญหาคือ ถ้าเอกภพเริ่มต้นด้วยความราบเรียบปราศจาก ริ้วรอยใด ๆ แล้วดวงดาวและกาแล็กซีต่าง ๆ จะเกิดขึ้นมาได้อย่างไร เรื่องนี้ก็เป็นปัญหาใหญ่ที่ Peebles พยายามหาคำตอบให้ได้ภายหลังจากที่มีการค้นพบ CMB แล้ว สิ่งที่รบกวนจิตใจท่านมาตลอดคือ ลูกไฟดึกดำบรรพ์ที่ประกอบด้วยโฟตอนพลังงานสูงในช่วงต้นของเอกภพมันจะสร้างแรงดันเชิงสัมพัทธภาพ (Relativistic pressure) อย่างมหาศาล เพียงพอลบทุกสิ่งทุกอย่างหายไปให้เหลือแค่ทะเลของรังสีที่ราบเรียบ ซึ่ง Dicke ก็ต้องการแบบนี้ในตอนแรก แต่ความราบเรียบและสม่ำเสมอเกินไปของมวลสารและพลังงานในช่วงต้นของเอกภพเป็นปัญหาใหญ่มาก เพราะเราจะอธิบายไม่ได้ว่ากาแล็กซีจะก่อตัวได้อย่างไร การที่กาแล็กซีจะก่อตัวได้มันต้องมีกลุ่มก้อนของมวลสาร (Clump) หรือมีบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงกว่าบริเวณอื่น จากนั้นก็ดึงดูดมวลสารในบริเวณใกล้เคียงมาก่อเป็นโครงสร้างของสิ่งต่าง ๆ ในเอกภพ ถ้ากลุ่มก้อนเหล่านั้นไม่สามารถมีได้ในช่วงต้นของเอกภพ แล้วกาแล็กซีจะมาจากไหน และเช่นเดียวกับปัญหาสำคัญอื่น ๆ ในจักรวาลวิทยา ปัญหาที่ Gamow ก็เคยคิดไว้หมดแล้ว ในปี ค.ศ. 1945 เมื่อ Alpher เข้ามาทำปริญญาเอกกับ Gamow งานที่ได้รับมอบหมายให้ทำวิจัยคือ การคำนวณการรบกวนของความหนาแน่น (Density perturbation) ของเอกภพเป็นงานที่ต้องใช้ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปคำนวณอย่างหนัก ถ้าทำได้ก็สามารถอธิบายได้ว่ากาแล็กซีมาได้อย่างไร หลังจากทำไปได้สักพัก ได้ผลพอสมควร Gamow ได้อ่าน Journal of Theoretical Physics of USSR (วารสารฟิสิกส์ทฤษฎีของสหภาพโซเวียต) แล้วพบงานของ Evgeny Lifshitz คำนวณ Perturbation ไว้เสร็จเรียบร้อยแล้ว [29] เป็นงานปริญญาเอกเหมือนกัน Gamow เลยนึกว่า **"Ralph คุณถูกตัดหน้าแล้วละ"** [30] งานนี้ทำเป็นปริญญาเอกต่อไม่ได้ Gamow เลยนำทฤษฎีบทของเขามาให้ Alpher คำนวณ BBN เป็นงานปริญญาเอกแทน และดึง Hans Bethe มาร่วมชื่อโดยไม่ได้ทำอะไร เพื่อให้มีชื่อผู้แต่งเรียงตามลำดับอักษรกรีก "Alpha, Beta, Gamma" เท่านั้น [31]

Joseph Silk ผู้ที่นักฟิสิกส์ชื่อดังทาง CMB คนหนึ่ง (ผู้ที่ค้นพบปรากฏการณ์ Silk damping) ได้เคยลองคำนวณปัญหาที่ Peebles และ Gamow สงสัยจนได้ตัวเลขมาแล้ว ในทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป พวกรังสีต่าง ๆ หรืออนุภาคที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วใกล้เคียงแสง เช่น โฟตอนหรือนิวทริโน จะถูกมองเป็นก๊าซที่มีความดัน มันจะทำหน้าที่เหมือนเตาที่เคลือบความไม่สม่ำเสมอในมวลสารให้หายไป เมื่อ Silk ลองศึกษาความดันก๊าซปฐมฐาน (Primordial gas) ตามทฤษฎีบิกแบงว่ามีผลต่อการรบกวนของความหนาแน่น (Density perturbation) อย่างไร ก็อนของมวลสารที่มีมวลน้อยกว่า 10^{13} เท่าของมวลดวงอาทิตย์จะถูกกลืนหายไปหมด ซึ่งมวลขนาดดังกล่าวนี้ใหญ่มาก ประมาณหนึ่งร้อยเท่าของมวลของกาแล็กซีทางช้างเผือก หรือเทียบเท่ากับมวลของกาแล็กซีคลัสเตอร์ขนาดกลาง

การรบกวนในทางจักรวาลวิทยา (Cosmological perturbation) ถือเป็นธุรกิจที่ใหญ่และซับซ้อนมาก Peebles และ Zeldovich เป็นสองนักจักรวาลวิทยาแรกที่ถูกเบิกการสร้างความเล็กซ์จากการรบกวนเหล่านี้อย่างจริงจัง ทั้งสองเลือกแนวทางที่แตกต่างกันโดย Peebles เลือกสร้างกาแล็กซีแบบ Bottom-up คือ เริ่มจากการรบกวนเล็ก ๆ ค่อยดึงดูดมวลรอบข้างเข้ามา กลายเป็นดวงดาว เป็นกาแล็กซี เป็นคลัสเตอร์ ส่วน Zeldovich ได้รับแรงบันดาลใจจากการคำนวณของ Silk ที่ว่าการรบกวนที่มวลมาก ๆ ระดับคลัสเตอร์จึงจะเหลือรอดผ่านช่วงแรกของเอกภพมาได้ ท่านเลยคิดโมเดลการสร้างกาแล็กซีแบบ Top-down คือมี โครงสร้างใหญ่ ๆ แบบคลัสเตอร์เกิดขึ้นก่อน จากนั้นแรงโน้มถ่วงก็ทำหน้าที่ของมันสร้างความซับซ้อนให้กับโครงสร้าง กลายเป็นกาแล็กซี เป็นดวงดาวต่าง ๆ แนวทาง Bottom-up ของ Peebles ดูเป็นที่คุ้นเคยมากกว่าในปัจจุบัน แต่แนวทาง Top-down ของ Zeldovich ก็มีส่วนถูกต้องเช่นกัน

ถ้าสมมุติว่ามีการรบกวนของมวลสารปฐมฐาน (Primordial density perturbation) อยู่ก่อนแล้ว ซึ่งในสมัยนั้น Peebles และคนอื่น ๆ ก็ยังไม่มีทฤษฎีว่าสิ่งนี้มาได้อย่างไร ท่านสามารถคิดต่อได้ว่า จะสร้างดวงดาว กาแล็กซี และคลัสเตอร์ขึ้นมาได้อย่างไร สิ่งนี้ Peebles คิดมันใหม่มากในสมัยนั้น ว่ากันว่าหลังจาก Peebles ได้ข้อมูล CMB มา ท่านเขียนบทความการกำเนิดของกาแล็กซีและโครงสร้างต่าง ๆ ของจักรวาลตามแนวคิดของท่านเพื่อส่งตีพิมพ์ในวารสาร Astrophysical Journal ก็เจอปัญหาว่าหากคนประเมินบทความให้ไม่ได้เลย เพราะไม่มีใครเข้าใจงานของท่าน จนท่าน Subrahmanyan Chandrasekhar นักดาราศาสตร์ฟิสิกส์รางวัลโนเบล ผู้เป็นบรรณาธิการใหญ่ของวารสารต้องลงมาประเมินเองจึงจะได้ตีพิมพ์ การคำนวณของจริงมันซับซ้อนมาก แม้ตัวท่าน Peebles เองก็ไม่มีทางรู้ได้เลยว่าสิ่งที่คิดไว้มันถูกจริงหรือไม่ ในปี ค.ศ. 1969 ตอนที่กลับจาก California Institute of Technology ระหว่างทางท่านลองขับรถไปเที่ยวเล่น Los Alamos National Laboratories สถานที่พัฒนาอาวุธนิวเคลียร์ของสหรัฐ Peebles พบว่าคอมพิวเตอร์ทางการทหารที่นั่นมันช่างทรงพลังกว่าคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่มีในมหาวิทยาลัยระดับโลกมากมายนัก การแข่งขันเป็นมหาอำนาจทางนิวเคลียร์ของโลกนี้ต้องใช้ทรัพยากรมหาศาลจริง ๆ คนที่ Los Alamos ก็บอกว่าใช้ไปเลย Peebles อยากจะรันทั้งคืนก็ได้ และที่นั่นเอง โลกก็ได้รัน N-body simulations จำนวน 2,000 จุด เพื่อสร้างกาแล็กซีคลัสเตอร์เป็นครั้งแรก ผลคือ Peebles เป็นท่านแรกที่ได้เห็นภาพยนตร์ของกาแล็กซีที่เป็นจุด ๆ ค่อย ๆ รวมตัวกันตามผลของแรงโน้มถ่วง กลายเป็นกาแล็กซีคลัสเตอร์และโครงสร้างสเกลใหญ่ต่าง ๆ ของเอกภพ ภาพยนตร์แบบเดียวกันนี้ พวกเราสามารถหาได้ทั่วไปในเว็บไซต์ YouTube อย่างไรก็ดีงานนี้ก็เป็นงานหนึ่งที่สะท้อนให้เห็นการทำงานของ Peebles ที่ท่านสั่งสมมาจนได้รับรางวัลโนเบล ในปัจจุบันงานสร้างจักรวาลด้วย N-body simulations ก็ยังเป็นธุรกิจใหญ่ที่ยังทำกันอยู่เป็นลำเป็นสัน ซึ่งก็จะหนีไม่พ้นที่จะต้องใช้วิธีการคำนวณที่ Peebles บุกเบิกไว้

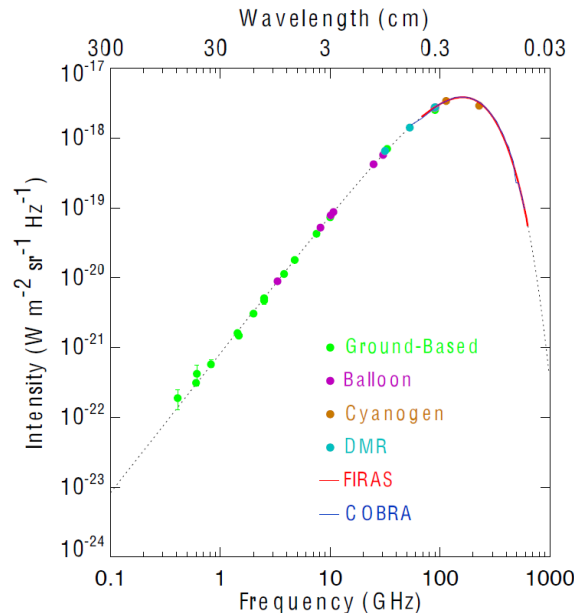
ยุคที่จักรวาลวิพากลายเป็นสาขาที่แม่นยำ

หลังจากที่การทดลองด้วยเครื่องมือวัดสร้างจากรังนกพิราบที่ Princeton เลิกกันไป Wilkinson ก็ได้ทำการทดลอง CMB ร่วมกับคนอื่น ๆ อีกมากมาย ท่านได้ไปทำการทดลองหลายที่ ทั้งในค่ายทหารกลางทะเลทรายที่แอริโซนา ซึ่งก็ล้มเหลว ก็ย้ายที่ทำการทดลองบนยอดเขา White ในแคลิฟอร์เนีย ก็ไม่ได้ผลอะไรมาก จนกระทั่งช่วงต้นของทศวรรษ 1970s Wilkinson ถึงมีโอกาสได้ใช้บอลลูน ด้วยวิธีนี้ Wilkinson สามารถนำเครื่องมือวัดขึ้นไปได้สูงกว่า 3-4 เท่าของความสูงยอดเขาเอเวอเรสต์ สำหรับการทดลองด้วยบอลลูน การเตรียมการทดลองจะมีความกดดันมากกว่าการทดลองบนพื้นโลกมาก ต้องเตรียมการให้สมบูรณ์แบบก่อนปล่อย เมื่อบอลลูนลอยขึ้นไปแล้วจะไม่สามารถแก้ไขอะไรได้อีก มีเวลาวัดได้ประมาณ 10 ชั่วโมงก่อนที่จะลมจะพัดไปให้อยู่ไกลเกินกว่าที่สัญญาณวิทยุจะส่งกลับมาได้ สำหรับการทดลองโดยทั่วไปก็มีงบประมาณสำหรับการปล่อยได้ปีละ 1 หรือ 2 ครั้งเท่านั้น มันจึงพลาดไม่ได้ บอลลูนทำให้ผล CMB ดีขึ้นเรื่อย ๆ แต่ก็ไม่ได้ถึงกับก้าวกระโดด ต่อมาวิธีวัด CMB ใหม่ ด้วยฟิสิกส์ที่ต่างออกไปคือ Bolometer ซึ่งสามารถวัดแสงที่ตกกระทบได้ทุกความถี่ การทดลองยากขึ้น ต้องทำระบบหล่อเย็นติดไปกับบอลลูนด้วย แต่ผลก็ดีขึ้นอย่างก้าวกระโดดคู่กับที่ลงทุน กลายเป็นวิธีหลักในการวัด CMB ก่อนที่จะมีดาวเทียม WMAP การทดลองหลากหลายรูปแบบที่ท่านบนโลก เมื่อนำมาประกอบกันก็จะช่วยให้เราสามารถวัดเอกภพได้แม่นยำพอสมควรพอที่จะหาค่าพารามิเตอร์ของเอกภพได้บ้าง ตัวอย่างในรูปที่ 9 จุดข้อมูลจากการทดลอง CMB หลายอันรวมกันแสดงความสอดคล้องกับกราฟของการแผ่รังสีของวัตถุดำ ซึ่งบอกเราว่าเอกภพเคยผ่านช่วงเวลาที่อยู่ในสมดุลความร้อนอย่างสมบูรณ์แบบมาก่อน เป็นหลักฐานที่ยืนยันทฤษฎีบิกแบงได้อย่างชัดเจน จากกราฟนี้เราสามารถหาอุณหภูมิเฉลี่ยปัจจุบันของเอกภพได้ไม่ยาก

ในรูปที่ 9 ถ้าผู้อ่านดูที่แกนตั้งคือ ความเข้มแสง (Intensity) ซึ่งมีค่าอ่อนน้อยนิดก็อาจจะเห็นได้ว่าทำไม CMB มันถึงวัดได้ยากมาก ทำไม Roll และ Wilkinson ได้พยายามสร้างเครื่องมือแบบ DIY ในช่วงแรกแล้วก็วัดไม่สำเร็จ ผลในกราฟการแผ่รังสีของวัตถุดำรูปที่ 9 นี้เกิดจากการทดลองที่สั่งสมกันมาร่วม 40 ปี มีจุดของผลการทดลองเก่าแก่ที่สุดในกราฟ คือ การทดลอง Cyanogen ของ McKellar ที่ค้นพบในปี ค.ศ. 1941 (สองจุดใกล้ยอดกราฟที่สุด) ส่วนเส้นต่อเนื่องสีแดง (FIRAS) คือเครื่องมือที่ติดไปกับดาวเทียม COBE ที่ชื่อ Far Infrared Absolute Spectrophotometer (FIRAS) วัดอุณหภูมิของ CMB ได้ 2.725 ± 0.001 เคลวิน พิสูจน์ได้ว่าสเปกตรัมของ CMB เป็นไปตามการแผ่รังสีของวัตถุดำคลาดเคลื่อนไม่เกิน 50 ในล้านส่วน ผลจาก FIRAS ของดาวเทียม COBE นี้เองที่เป็นหลักฐานที่แม่นยำที่สุดของทฤษฎีบิกแบง และ CMB มีการแจกแจงความเข้มแสงตรงกับวัตถุดำได้ดีที่สุดเท่าที่มนุษย์เราเคยทำการทดลองมา ส่งผลให้ George Smoot และ John Mather ได้รับรางวัลโนเบลในปี ค.ศ. 2006 ต่อมาในปี ค.ศ. 2009 เราก็ได้เห็น Smoot ได้รับเชิญให้รับบทเป็นตัวเองในทีวีซีรีส์ The Big Bang Theory (ผู้ที่สนใจตามดูได้ใน Season 2, Episode 17)

เหตุการณ์ที่เป็นจุดเปลี่ยนสำคัญ นับจากการค้นพบ CMB ในช่วง 1960s เกิดขึ้นอีกครั้งเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1992 เมื่อมีดาวเทียมเพื่อตรวจวัด CMB ดวงแรก คือ ดาวเทียม COBE (Cosmic Background Explorer) สามารถตรวจจับความแตกต่างของอุณหภูมิ 1 ส่วน 100,000 ของ CMB ได้ เป็นความไม่สม่ำเสมอของเอกภพที่ทุกคนรอคอยการค้นพบนั้น Hawking ได้กล่าวว่า

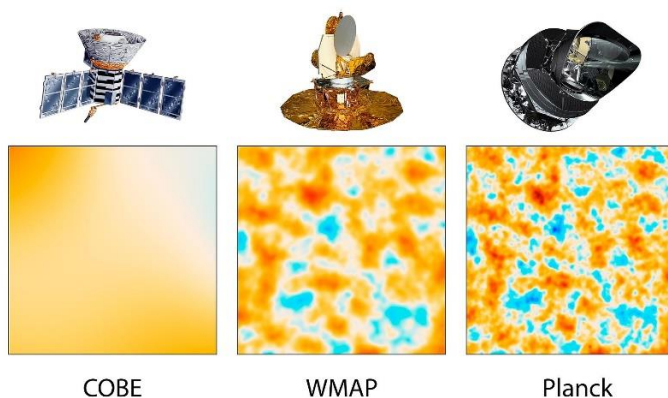
"เป็นการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ที่สำคัญที่สุดของศตวรรษ หรือไม่ก็สำคัญที่สุดตลอดกาล"



รูปที่ 9 เส้นประคือกราฟของสเปกตรัมวัตถุดำของ *Planck* ส่วนจุดสีต่าง ๆ แทนการทดลองวัด CMB ในรูปแบบแตกต่างกัน แต่ผลการทดลองจะมีความไวต่อความถี่ของ CMB ที่แตกต่างกัน เมื่อนำมารวมกันจะพบว่า CMB สอดคล้องกับการแผ่รังสีของวัตถุดำเป็นอย่างดี (เครดิตภาพ [20])

ความแตกต่างของอุณหภูมิ (Temperature fluctuation) ดังกล่าว (ดูรูปที่ 10) แสดงให้เห็นว่าบางบริเวณสสารและพลังงานมีความหนาแน่นมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ซึ่งก็เป็นหลักฐานของการรบกวนของความหนาแน่นปฐมฐาน (Primordial density perturbation) ในรูปที่ 10 ความผันผวนของอุณหภูมิ (Temperature fluctuation) ของ CMB หรือ $\delta T/T$ จะแทนด้วยการใช้สีน้ำเงินและสีแดง โดยสีน้ำเงินใช้แทนอุณหภูมิของ CMB ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย และสีแดงแทนอุณหภูมิของ CMB ที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย (สำหรับ WMAP ผลต่างของอุณหภูมิจากค่าเฉลี่ย 2.725 เคลวิน จะอยู่ที่ประมาณ 0.0002 เคลวิน) ถ้าไม่มีการรบกวนของความหนาแน่นปฐมฐาน หรือความหนาแน่นของสสารและพลังงานคงที่เท่ากันทั่วเอกภพ แผนที่ CMB จะมีแต่สีพื้น (สีส้ม) เหมือนกันหมด การรบกวนของความหนาแน่นปฐมฐาน หรือ $\delta\rho/\rho$ จะทำให้เกิดเป็นความแตกต่างสีแดงหรือน้ำเงินบนแผนที่ ปรากฏการณ์นี้ถูกทำนายไว้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1967 โดย Rainer Sachs และ Arthur Wolfe [32] โดยมองว่าความผันผวน $\delta T/T$ ที่เกิดขึ้นมาจากการที่โฟตอนสูญเสียหรือได้รับพลังงานจากศักย์โน้มถ่วง เปรียบเทียบง่าย ๆ เหมือนกับการกลิ้งลูกบิลเลียดจากกันหลุมไปปากหลุมพลังงานจลน์ก็จะลดลง ในกรณีตรงกันข้ามหากลูกบิลเลียดกลิ้งจากปากหลุมลงกันหลุมพลังงานจลน์ก็จะเพิ่มขึ้น โฟตอนก็คล้ายกับลูกบิลเลียดสามารถเพิ่มหรือลดพลังงานได้ขึ้นอยู่กับว่าบริเวณนั้นมีศักย์โน้มถ่วงเป็นอย่างไร ปรากฏการณ์ Gravitational redshift นี้ถูกทำนายไว้โดยทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไปและได้รับการทดลองยืนยันโดย R. Round และ G. A. Rebka ในปี ค.ศ. 1959 จากแนวคิดนี้เอง Sachs และ Wolfe มองว่าบริเวณที่มีกลุ่มก้อนของมวลสาร (Clump) หรือความหนาแน่นของบริเวณนั้นสูงกว่าบริเวณโดยรอบ ค่าศักย์โน้มถ่วงมีค่ามากกว่าพื้นหลังโฟตอนที่มาจากบริเวณนั้น จะคล้ายกับการถ่วงของลูกบิลเลียดที่ได้ขึ้น

จากกันหลุมจะมีการสูญเสียพลังงานกลายเป็นจุดสีน้ำเงินในแผนที่ CMB สำหรับกรณีตรงข้ามถ้าโฟตอนจากบริเวณที่มีความหนาแน่นน้อยกว่าพื้นหลังกำลังเคลื่อนที่ออกจากบริเวณนั้น แรงโน้มถ่วงจากมวลสารและพลังงานรอบ ๆ ที่มากกว่าก็จะดึงดูดให้โฟตอนตัวนั้นมีพลังงานเพิ่มขึ้น หรือเกิดปรากฏการณ์ Gravitational blueshift เมื่ออนุกรมของเอกภพลดต่ำลงจนอิเล็กตรอนสามารถรวมตัวกับนิวเคลียสได้ (Recombination) โฟตอนของ CMB ก็จะเป็นอิสระเก็บบันทึกข้อมูลว่า ณ เวลาดังกล่าวโฟตอนแต่ละตัวมีพลังงานมากหรือน้อยกว่าพื้นหลัง กลายเป็นจุดแดงและน้ำเงินบนแผนที่ CMB อย่างไรก็ดี ภายหลังช่วงเวลาที่มีอิเล็กตรอนรวมกับนิวเคลียสไปแล้ว CMB ยังสามารถมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้อีกจากหลายกระบวนการ เช่น เมื่อโฟตอนของ CMB เคลื่อนผ่านโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ซูเปอร์คลัสเตอร์ (Supercluster) ของกาแล็กซี ตอนที่เข้าสู่บริเวณที่มีความหนาแน่นของมวลสารสูง โฟตอนจะมีพลังงานจะเพิ่มขึ้นตามปรากฏการณ์ที่ Sachs และ Wolfe ทำนายไว้ แต่ในขณะที่เดียวกันการขยายตัวของเอกภพจะทำให้บริเวณซูเปอร์คลัสเตอร์มีความหนาแน่นน้อยลง โฟตอนจึงสูญเสียพลังงานตอนปีนออกน้อยกว่าที่มันได้รับเพิ่ม สุดท้ายโฟตอนของ CMB ที่ผ่านซูเปอร์คลัสเตอร์จะมีพลังงานสูงขึ้น กลายเป็นสีแดงในแผนที่ CMB ปรากฏการณ์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ CMB ในลักษณะดังกล่าว รู้จักกันในชื่อ Integrated Sachs–Wolfe effect

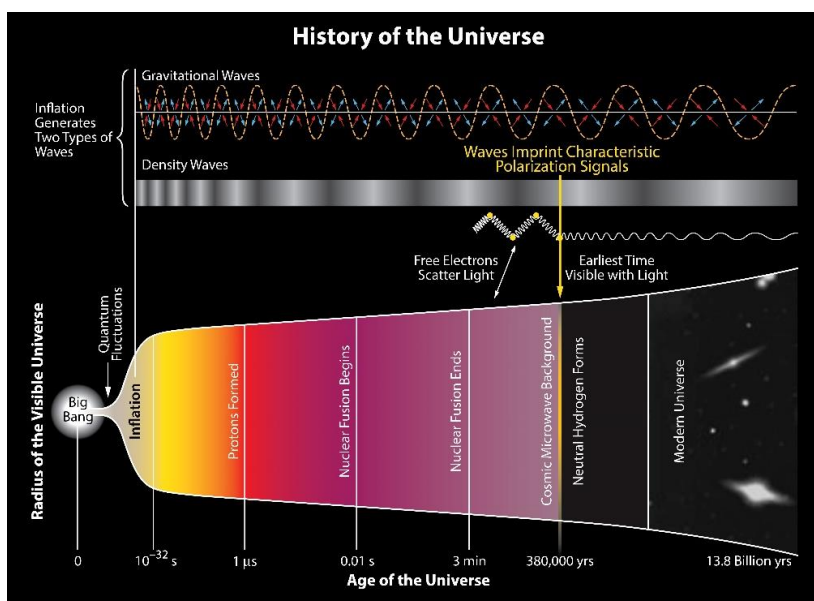


รูปที่ 10 การเปรียบเทียบกำลังขยายในการวัดความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิของรังสีไมโครเวฟพื้นหลัง (CMB anisotropy) ของดาวเทียมในสามรุ่น แม้ว่าในปัจจุบันค่า Cosmological parameters เราจะอ้างอิงจาก Planck ซึ่งละเอียดที่สุด แต่ภาพรวมว่าเอกภพเป็นเช่นไร เราได้รู้แล้วจาก WMAP ค่าที่ได้จาก Planck แคทำให้ภาพใหญ่ของเอกภพเราชัดเจนขึ้น (ตัวเลขละเอียดขึ้น) อย่างไรก็ตามภารกิจของ Planck ก็ยังมีอีกหลายอย่างที่ WMAP ทำไม่ได้ด้วยเช่นกัน ปัจจุบันดาวเทียมทั้งสามถูกเลิกใช้งานแล้ว (เครดิตภาพ: <https://en.wikipedia.org/>)

ขนาดของการรบกวนของความหนาแน่น ($\delta\rho/\rho$) ที่ Peebles และ Zeldovich จะต้องนำไปใช้ในการสร้างกาแล็กซีจะสอดคล้องกับ $\delta T/T$ ที่มีค่าน้อย ๆ ซึ่งผลที่ดาวเทียม COBE ค้นพบคือ $\delta T/T \sim 10^{-5}$ ขนาดของค่าความผันผวนดังกล่าวไม่ได้สร้างความประหลาดใจอะไรให้กับนักจักรวาลวิทยา เพราะจากการสำรวจกาแล็กซี การกระจายตัวโครงสร้างใหญ่ ๆ ของเอกภพก็จะวัด $\delta\rho/\rho$ ในปัจจุบันได้ จากนั้นก็คำนวณย้อนกลับไปหาการรบกวนของความหนาแน่นปฐมฐานและประมาณ $\delta T/T$ ซึ่งมีคนทำเรื่องนี้หลายคน Peebles, Zeldovich และ Silk เป็นผู้เด่นสำคัญ ค่าตอนประมาณ 1970s จะได้ $\delta T/T \sim 10^{-4}$ เพราะตอนนั้นยังไม่ได้คิดสตาร์มีด

และเมื่อใช้แบบจำลองที่เข้าที่เข้าทางขึ้น โดยรู้ว่าส่วนประกอบหลักของเอกภพเป็นสสารมืดแบบเย็น (Cold dark matter: CDM) ตามงานของ Peebles ในปี ค.ศ. 1982 [33] ก็สามารถปรับได้ค่า $\delta T/T \sim 10^{-5}$ เมื่อทฤษฎีมีเรียบร้อยแล้ว รอเพียงแค่เพียงการยืนยันจากดาวเทียม COBE ว่าจริงเท่านั้นเอง ซึ่งดาวเทียม COBE ก็ได้ผลตรงกับที่ทำนายพอดี

ความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีบิกแบงที่ถ่ายทอดมาทั้งหมดในบทความนี้ถูกนำเสนออยู่เพียงแค่นานเดียวเนื่องจากใช้ชีวิตและผลงานของท่าน Peebles เป็นแกนนำเสนอ แต่การจะอธิบายรูปที่ 11 ได้สมบูรณ์ยังต้องใช้ความรู้ในส่วนอื่น ๆ โดยเฉพาะฟิสิกส์อนุภาคจึงจะอธิบายได้ครบถ้วน ยังมีทฤษฎีสำคัญอีกมากที่บทความนี้ไม่ได้ไปถึง เช่น ทำอย่างไรให้ Quantum fluctuation ในรูปที่ 11 ถูกขยายเป็น $\delta\rho/\rho$ ในสเกลระดับ Classical ให้ดาวเทียมวัดได้ ซึ่งคำตอบที่นิยมที่สุดคือ ใช้ทฤษฎี Inflation ซึ่งต้องเชื่อมโยงกับฟิสิกส์พลังงานสูง ยังมีปรากฏการณ์ Baryon acoustic oscillations ที่มีความซับซ้อนและสร้าง $\delta T/T$ ในค่าน้อย ๆ ในสเกลของที่มุมเล็ก ๆ ต้องอาศัยการวัดโดยดาวเทียมรุ่นต่อมาอย่าง WMAP และ Planck ที่สามารถทำแผนที่ CMB anisotropy ได้ละเอียดยิ่งกว่า สาขา Physical cosmology ได้เดินทางมาไกลจากงานยุค 1960s ของ Peebles และ Zeldovich มากมาย สิ่งหนึ่งที่ผู้เขียนชื่นชมท่าน Peebles และคิดว่าน่าจะเป็นเหตุผลที่ทำให้ท่านได้รางวัล คือ การยืนหยัดของท่าน Peebles เปรียบเสมือนพ่อที่คิดหนึ่ง ผู้ที่คอยตามดูลูก ๆ ของท่านอย่างไม่ยอมละวางให้ห่างสายตา สอนตั้งไข่หัดเดิน สอนให้วิ่งเป็น และอุปการะของท่านอยู่ด้วยกันกับพวกเรามาถึงปัจจุบัน



รูปที่ 11 แผนภาพแสดงประวัติศาสตร์ของเอกภพตามความรู้ในปัจจุบัน CMB จะเกิดขึ้นเมื่อ 3.8 แสนปีหลังบิกแบง เมื่อพลังงานต่ำพอที่จะเกิดอะตอมของไฮโดรเจนได้ โฟตอนที่คู่ควกับอิเล็กตรอนและโปรตอนจึงเป็นอิสระ ที่รอยประทับของการกระจายตัวของ Density fluctuation ไว้ใน CMB หากต้องการจะได้ข้อมูลตรงที่ใกล้เคียงกับ 3.8 แสนปี ต้องวัดจากคลื่นความโน้มถ่วง (เครดิตภาพ: <http://bicepkeck.org/visuals.html>)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Barenaked Ladies (Canadian rock band), “Big Bang theory theme”, (2007).
- [2] Wikipedia, “Timeline of cosmological theories”, from https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_cosmological_theories.
- [3] D. Overbye, “Lonely hearts of the Cosmos”, Back Bay Books (1999).
- [4] K. S. Thorne, “Black holes and time warps”, W. W. Norton & Company (1995).
- [5] G. Gamow, “Expanding universe and the origin of elements”, Physical Review, 70, 572 (1946).
- [6] G. Gamow, “The origin of elements and the separation of galaxies”, Physical Review, 74, 505 (1948).
- [7] The Royal Swedish Academy of Sciences, “Scientific background: Physical cosmology and an exoplanet orbiting a solar-type star”, from <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2019/advanced-information>, (2019).
- [8] R. A. Sunyaev and Ya. B. Zeldovich, “Small-scale fluctuations of relic radiation”, Astrophysics and Space Science, 7, 3-19 (1970).
- [9] D. S. Hooda and J. N. Kapur, “Aryabhata life and contributions”, New Age International, (1996).
- [10] อธิษฐ์ ทองกุล, “Aryabhata พรหมณัฐ “เห็น” โลกหมุน”, Thai Journal of Physics, 26(2), 17-22 (2009).
- [11] A. Koestler, “The Sleepwalkers”, The Macmillan Company (1959).
- [12] “The Shapley - Curtis Debate in 1920”, from https://apod.nasa.gov/diamond_jubilee/debate20.html.
- [13] “Vedic Time System”, from <http://veda.wikidot.com/vedic-time-system>.
- [14] R. C. Tolman, “On the theoretical requirements for a periodic behaviour of the Universe”, Physical Review, 38, 1758 (1931).
- [15] C. Brans and R. H. Dicke, “Mach's principle and a relativistic theory of gravitation”, Physical Review, 124, 925 (1961).
- [16] C. M. Will, “The confrontation between general and experiment”, Living Reviews in Relativity, 17, 4 (2014).
- [17] P. J. E. Peebles and B. Ratra, “Cosmology with a time-variable cosmological 'constant' ”, The Astrophysical Journal Letters, 325, L17 (1998).
- [18] C. Wetterich, “Cosmology and the fate of dilatation symmetry”, Nuclear Physics, B302, 668 (1988).
- [19] W. Happer, P. J. E. Peebles, and D. T. Wilkinson, “Robert Henry Dicke 1916-1997”, National Academy Press: Biographical Memoirs, 77, (1999).
- [20] P. J. E. Peebles, “Robert Dicke and the naissance of experimental gravity physics, 1957–1967”, The European Physical Journal H42, 177, (2017).
- [21] S. Ratcliffe, “Oxford essential quotations”, 4th edition, Oxford University Press (2016).
- [22] S. Singh, “Big Bang”, Harper Perennial (2005).

- [23] D. N. Spergel, L. Verde, H. V. Peiris, E. Komatsu, M. R. Nolta, C. L. Bennett, M. Halpern, G. Hinshaw, N. Jarosik, A. Kogut, M. Limon, S. S. Meyer, L. Page, G. S. Tucker, J. L. Weiland, E. Wollack, and E. L. Wright, “First-year Wilkinson microwave anisotropy probe (Wmap) observations: Determination of cosmological parameters”, The Astrophysical Journal Supplement Series, 148, 175-194 (2003).
- [24] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, W. A. Fowler, and F. Hoyle, “Synthesis of the elements in stars”, Reviews of Modern Physics, 29, 547 (1957).
- [25] ถิรพัฒน์ วิสัยทอง และ ศดชื่น วิบูลเสข, สุกสว่างฟ้างเพียงสุริยัณกว่าพันดวง, แปลจาก Brighter than a Thousand Suns โดย R. Jungk, ชิลค์เวอร์ม (2562).
- [26] R. C. Tolman, “Relativity, thermodynamics and cosmology”, The Clarendon Press, Oxford (1934).
- [27] M. Chown, “Afterglow of creation”, University Science Books (1996).
- [28] S. Weinberg, “The first three minutes”, Basic Books (1977).
- [29] E. M. Lifshitz, “On the gravitational stability of the expanding universe”, Journal of physics (USSR) 110, 116-129 (1946).
- [30] R. A. Alpher and R. Herman, “Genesis of the Big Bang”, Oxford University Press (2001).
- [31] R. A. Alpher, H. Bethe, and G. Gamow, “The origin of chemical elements”, Physical Review, 73, 803 (1948).
- [32] R. K. Sachs and A. M. Wolfe, “Perturbations of a cosmological model and angular variations of the microwave background”, Astrophysical Journal, 147, 73 (1967).
- [33] P. J. E. Peebles, “Large-scale background temperature and mass fluctuations due to scale-invariant primeval perturbations”, Astrophysical Journal Letters, 263, L1 (1982).