

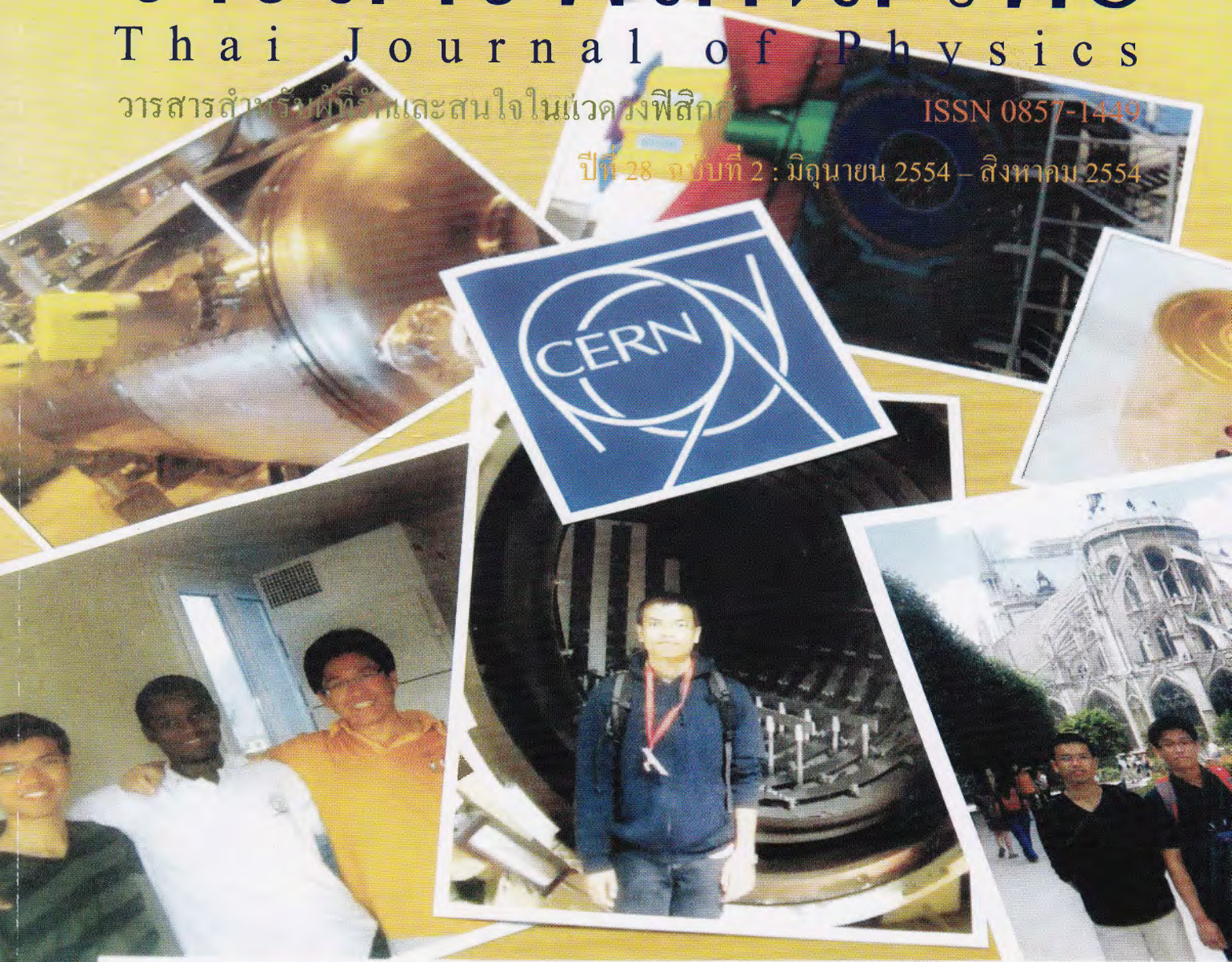
วารสารฟิสิกส์ไทย

Thai Journal of Physics

วารสารสำหรับผู้ที่รักและสนใจในแวดวงฟิสิกส์

ISSN 0857-1449

ปีที่ 28 ฉบับที่ 2 : มิถุนายน 2554 – สิงหาคม 2554



ประสบการณ์จากโครงการ
CERN Summer School 2010

เขนเซอร์สภาวะแวดล้อม

ความลึกซึ้งของอุณหพลศาสตร์

เราเข้าใจจักรวาลดีแค่ไหน?

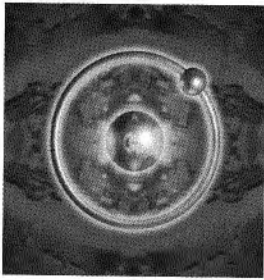


เราเข้าใจจักรวาลดีแค่ไหน?

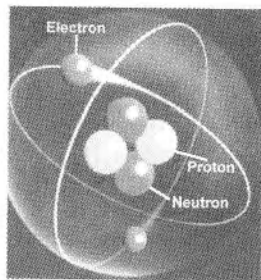
พงษ์พิชิต จันทรน้อย¹ และ อรุณี ชูนาวา²

องค์ประกอบของสสาร: โปรตอน นิวตรอนและอิเล็กตรอน

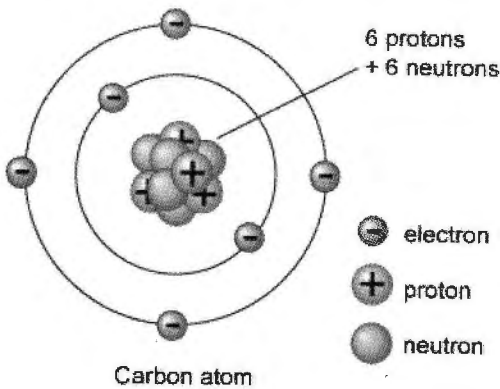
ตัวเรา ตัวอักษรที่เรากำลังอ่าน มด คอมพิวเตอร์ อากาศที่เราหายใจเข้า-ออก ดาวเคราะห์ ดาวฤกษ์ กาแล็กซี และทุกสิ่งทุกอย่างที่เรามองเห็นประกอบไปด้วยโปรตอน (Protons) นิวตรอน (Neutrons) และอิเล็กตรอน (Electrons) โปรตอนและนิวตรอนรวมตัวกันภายในนิวเคลียสที่ถูกห้อมล้อมไปด้วยอิเล็กตรอน



อะตอมไฮโดรเจน



อะตอมฮีเลียม



Carbon atom

อะตอมคาร์บอน

รูปที่ 1 ตัวอย่างอะตอมของธาตุต่างๆ

ไฮโดรเจน (Hydrogen) ประกอบด้วยโปรตอนและอิเล็กตรอนอย่างละ 1 ตัว ฮีเลียม (Helium) ประกอบด้วยโปรตอน นิวตรอนและอิเล็กตรอนอย่างละ 2 ตัว คาร์บอน (Carbon) ประกอบด้วย โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนอย่างละ 6 ตัว

ธาตุที่หนักกว่านี้ เช่น เหล็ก (Iron) ตะกั่ว (Lead) ยูเรเนียม (Uranium) จะมีจำนวนโปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอนเพิ่มขึ้น

นักวิทยาศาสตร์เรียกวัตถุทั้งหมดที่ประกอบไปด้วยโปรตอน นิวตรอนและอิเล็กตรอนว่า สสารแบรีโอนิก (Baryonic matter) หรือเรียกง่ายๆ ว่า อะตอม (Ordinary atoms)

นับเป็นเวลาหลายศตวรรษที่เราเชื่อว่าสิ่งที่เรามองเห็นและบริเวณที่ว่างเปล่าบนท้องฟ้ายามค่ำคืน คือทั้งหมดที่มีและประกอบขึ้นเป็นจักรวาล แต่เราไม่รู้หรือไม่ว่าทั้งหมดเหล่านั้นคิดเป็นเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ของสรรพสิ่งที่อยู่ในจักรวาลเท่านั้น



รูปที่ 2 กาแล็กซีต่างๆ ในอวกาศ

ถ้าเป็นเช่นนั้นมื่อะไรอีกนอกเหนือจากสิ่งที่เราเห็น? ^๑จะเป็นคำถามที่แสนธรรมดาแต่เป็นหนึ่งในปริศนาที่ลึกซึ้งมากที่สุดที่รอคำอธิบาย

บททวนบทเรียน: กฎข้อที่สามของเคปเลอร์

จากกฎข้อที่สามของเคปเลอร์ (Kepler's 3rd Law) เราทราบว่า คาบ (T) ของการโคจรของวัตถุมวล m รอบวัตถุมวล M ยกกำลังสองนั้น แปรผันตรงกับระยะทาง (r) จาก m ไปยัง M ยกกำลังสาม กล่าวคือ

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{G(M+m)} r^3, G = 6.673 \times 10^{11} m^3 kg^{-1} s^{-2} \quad (1)$$

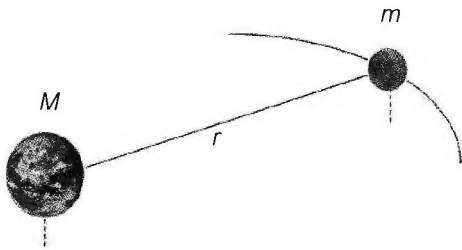
¹ นักศึกษาปริญญาเอก สาขาฟิสิกส์ แห่ง CP3-Origins and DIAS มหาวิทยาลัยเซาท์เทิร์นเดนมาร์ก ประเทศเดนมาร์ก

² ครูหมวดวิชาภาษาต่างประเทศ โรงเรียนพูนพิทยาคม จังหวัดสุราษฎร์ธานี

โดย G คือค่าคงที่ความโน้มถ่วงสากล จากสูตรข้างต้น ความเร็วโคจร v (Orbital velocity) ของวัตถุมวล m ณ ตำแหน่ง r ใดๆ ห่างจากวัตถุมวล M มีค่าโดยประมาณ คือ

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (2)$$

ในที่นี้ทำการประมาณด้วยเงื่อนไข M มากกว่า m มากๆ ($M \gg m$) สมการความเร็วโคจรบอกเราว่า ความเร็วของมวล m จะลดลงเมื่อระยะห่างจาก M มากขึ้น

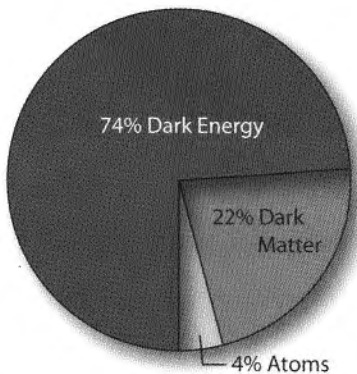


รูปที่ 3 ระบบของวัตถุมวล m และ M

96 เปอร์เซนต์: ความลึกลับที่ครอบครองจักรวาล!

จากหลักฐานที่ปรากฏในขณะนี้นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่า จักรวาลมี 3 องค์ประกอบ ได้แก่

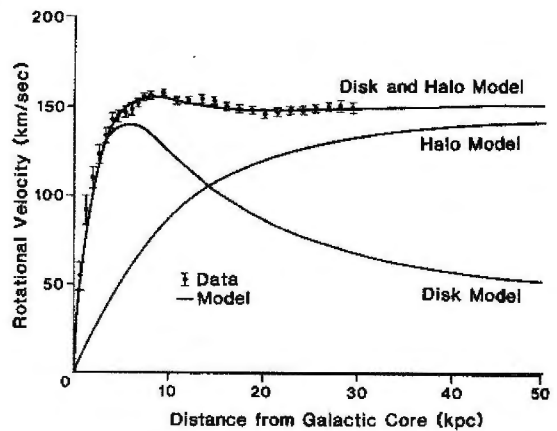
1. สสารที่เรามองเห็นได้ (Ordinary atom or Bright Matter) มีประมาณ 4 เปอร์เซนต์
2. สสารมืด (Dark Matter (DM)) มีประมาณ 22 เปอร์เซนต์
3. พลังงานมืด (Dark Energy (DE)) มีประมาณ 74 เปอร์เซนต์



รูปที่ 4 แผนภูมิวงกลมแสดงองค์ประกอบของจักรวาล

สสารมืด: มันเกิดมาได้ก็เพราะคุณ!

เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย พิจารณาแกนดาราจักรในลักษณะเดียวกันกับระบบของวัตถุมวล m และ M ในที่นี้ M คือความหนาแน่นของมวลใจกลางดาราจักร และ m คือฝุ่นและก๊าซที่มองเห็นรอบๆ ใจกลางดาราจักร จากสมการที่ (2) เราจะได้ว่า สสารบริเวณรอบนอกจะเคลื่อนที่ช้ากว่าสสารที่อยู่ใจกลางดาราจักร ยิ่งอยู่ห่างออกมาเท่าใด ความเร็วก็จะยิ่งลดลงเท่านั้น (รูปที่ 5 เส้นกลาง)



รูปที่ 5 ความเร็วโคจรของสสารรอบๆแกนดาราจักร เส้นกลาง เป็นค่าที่ได้จากทฤษฎีเมื่อสสารรอบๆ แกนดาราจักรมีเฉพาะสสารแบรีออนิก เส้นบนสุด เป็นกราฟที่ได้จากการวัด



รูปที่ 6 กลุ่มดาวดาราจักรโคมาซึ่งประกอบไปด้วยดาวดาราจักรนับพันดาวดาราจักร

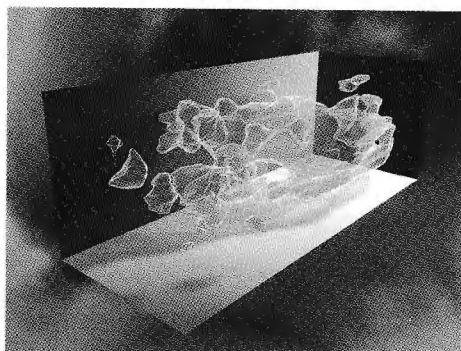
ในปี 1934 ชวิกกี (F. Zwicky) ขณะกำลังศึกษากลุ่มกาแล็กซีโคมา (Coma cluster) สังเกตเห็นว่ามีส่วนอย่างผิดปกติ กล่าวคือ เขาพบว่ากาแล็กซีเหล่านั้นหมุนเร็วเกินไปเมื่อดูจากสิ่งที่เขามองเห็น ชวิกกีก็กล่าวว่ามันควรจะมีความเร็วที่ส่องสว่างมากกว่านั้น จึงจะทำให้กาแล็กซีเหล่านั้นอยู่ตัวได้ เขาเรียกมวลที่หายไปว่า สสารมืด



รูปที่ 7 ชวิกกีและเวอรา รูบิน

อีก 36 ปีต่อมา สิ่งที่ชวิกกีเสนอ ก็ได้รับการยืนยัน เมื่อเวอรา รูบิน² (Vera Rubin) ใช้กล้องดูดาวเพื่อสังเกตความเร็วโคจรของสสาร (ฝุ่น ก๊าซ และดาวฤกษ์) รอบๆ กาแล็กซี รูบินคิดว่าความเร็วของสสารบริเวณรอบนอกของกาแล็กซีจะมีความเร็วโคจรลดลงเมื่อเทียบกับสสารที่อยู่ใกล้ๆ ใจกลางกาแล็กซี แต่สิ่งที่รูบินพบคือความเร็วโคจรของสสารรอบนอกไม่ได้ลดลงเลย แต่กลับมีความเร็วคงที่ จากการค้นพบดังกล่าวนี้ รูบินตระหนักดีว่าเธอได้ค้นพบหลักฐานชิ้นสำคัญของการมีอยู่ของสสารมืด

นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสสารมืดกระจายตัวอยู่ในกาแล็กซี และมีมวลมากพอที่จะทำให้ความเร็วของกาแล็กซีนั้นๆ คงที่ สสารทั่วไปจะสะสมตัวในสนามแรงโน้มถ่วงของสสารมืดและจับตัวกันจนเกิดเป็นดวงดาวและกาแล็กซีในที่สุด



รูปที่ 8 แผนที่สสารมืดในสามมิติ โดยใช้หลักการของเลนส์ความโน้มถ่วง

การค้นพบของเอดวิน ฮับเบิล: กาแล็กซีอื่นๆ กำลังเคลื่อนที่ออกจากเรา

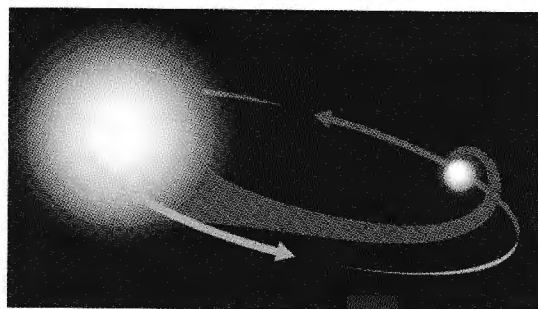
ประมาณปี ค.ศ.1920 เอดวิน ฮับเบิล (Edwin Hubble) ค้นพบกาแล็กซีที่อยู่ไกล กำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากเราตามสมการ

$$v = H_0 d \quad (3)$$

ซึ่ง v คือ ความเร็วของกาแล็กซีที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากเรา d คือ ระยะห่างระหว่างกาแล็กซี และ H_0 คือ ค่าคงที่ของฮับเบิล มีค่าประมาณ 74 กิโลเมตรต่อวินาทีต่อเมกะพาร์เซก ($kms^{-1} Mpc^{-1}$) ความเร็วมีหน่วยเป็นกิโลเมตรต่อวินาที (kms^{-1}) ส่วนระยะทางนิยมใช้กันในหน่วยเมกะพาร์เซก (Mpc) ซึ่ง 1 Mpc มีค่าประมาณ 3.26 ล้านปีแสง หรือ 30,800,000,000,000,000 กิโลเมตร

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจได้ง่ายขึ้น สมมุติว่ามีกาแล็กซีหนึ่งอยู่ห่างจากเรา (กาแล็กซีทางช้างเผือก) 1 Mpc นั่นก็เท่ากับว่า กาแล็กซีดังกล่าวนั้นเคลื่อนที่ออกห่างจากเราด้วยความเร็วประมาณ 74 กิโลเมตรต่อวินาที หรือถ้ามีอีกกาแล็กซีหนึ่ง อยู่ห่างจากเรา 10 Mpc ก็เท่ากับว่ากาแล็กซีนั้น ต้องเคลื่อนที่ออกห่างจากเราด้วยความเร็วประมาณ 740 กิโลเมตรต่อวินาที กล่าวโดยสรุป คือ ยิ่งอยู่ห่างจากเรามากขึ้นเท่าใด ความเร็วก็จะมากขึ้นเท่านั้น ลองคิดเล่นๆ ถ้าเป็นอย่างนั้น ณ ตำแหน่งอันไกลโพ้น คงมีกาแล็กซีที่กำลังเคลื่อนที่ออกห่างจากเราด้วยความเร็วมากกว่าแสง?

ดาวแคระขาว: ที่มาของซูเปอร์โนวาชนิด Ia

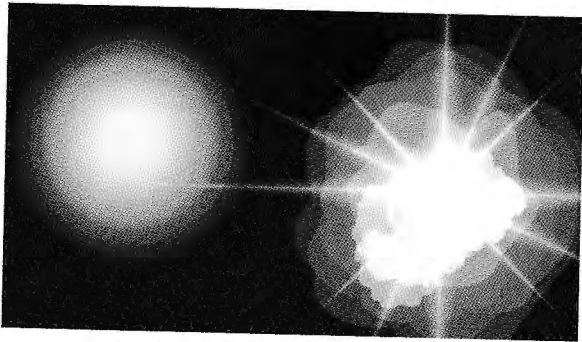


รูปที่ 9 ดาวแคระขาว (ขาว) ในระบบดาวคู่ (Binary system) ขโมยฝุ่นและก๊าซจากดาวเพื่อนบ้าน

ก่อนจะกล่าวถึงซูเปอร์โนวา ชนิด Ia (Type Ia Supernova) มารู้จักกับสถานะหนึ่งของดาวฤกษ์ขนาดใหญ่ที่เราเรียกว่า ดาวแคระขาว (White dwarf)

สมมุติว่ามีดาวฤกษ์ดวงหนึ่งซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าดวงอาทิตย์ เมื่อเวลาผ่านไปพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันบนดาวดวงนั้นจะค่อยๆ หดลง แรงนิวเคลียร์ไม่สามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงของดาวได้ ผลของแรงโน้มถ่วงมีผลทำให้ดาวมีขนาดเล็กลงในขณะที่ความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้นจนถึงที่ระดับหนึ่ง ดาวจะมีมวลประมาณ 1.4 เท่าของดวงอาทิตย์แต่มีรัศมีเท่ากับโลก เราเรียกดาวในลักษณะนี้ว่า ดาวแคระขาว

ดาวแคระขาวจะมีแรงโน้มถ่วงสูงมากๆ ซึ่งสามารถขโมยฝุ่นและก๊าซจากดาวเพื่อนบ้านได้เมื่อมีก๊าซเพียงพอ ดังรูปที่ 9 ดาวแคระขาวจะสามารถจุดติดพลังงานนิวเคลียร์ฟิวชันได้ใหม่ ซึ่งปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วส่งผลให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรง เราเรียกการระเบิดในลักษณะนี้ว่า ซูเปอร์โนวาชนิด Ia ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ซูเปอร์โนวาชนิด Ia

พลังงานมืด: จุดจบที่หนาวเย็น!

การค้นพบที่สำคัญเกิดขึ้นในปี ค.ศ. 1990 ทีมนักวิจัยสองทีมค้นพบว่า จักรวาลกำลังขยายตัวด้วยความเร่ง การค้นพบดังกล่าวนับเป็นกุญแจดอกสำคัญที่ช่วยให้นักดาราศาสตร์มีความเข้าใจจักรวาลมากยิ่งขึ้น

สมมุติว่าจักรวาลถูกเติมด้วยสสารเฉพาะที่เรามองเห็น สสารเหล่านั้นจะดึงดูดซึ่งกันและกันด้วยแรงโน้มถ่วงซึ่งจะมีผลไปยับยั้งการขยายตัวของจักรวาล แต่ทีมนักวิจัยทั้งสองกลับพบว่า จักรวาลของเราตอนนี้กำลังขยายตัวแบบเร่ง (Accelerating

expansion) จากการค้นพบดังกล่าวนี้ รางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ ในปีนี้ (2011) จึงตกเป็นของนักวิจัยทั้งสองทีม

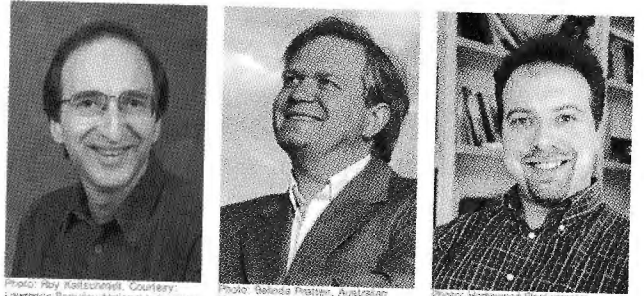
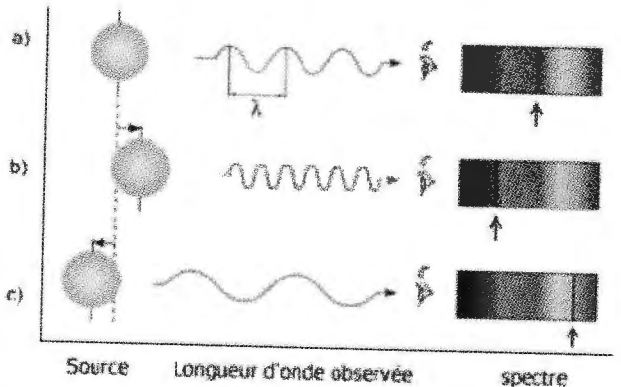


Photo: Roy Kallender, Courtesy: Lawrence Berkeley National Laboratory; Photo: Belinda Pratten, Australian National University; Photo: Homework Photography

Saul Perlmutter Brian P. Schmidt Adam G. Riess

รูปที่ 11 ผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ประจำปี ค.ศ. 2011

นั่นก็หมายความว่า มีแรงหรือพลังงานที่เราไม่รู้ว่าเป็นอะไร สามารถเอาชนะแรงโน้มถ่วงดังกล่าวได้ นักดาราศาสตร์เสนอว่าน่าจะมีพลังงานในรูปแบบหนึ่งซึ่งเรียกว่า พลังงานมืด กำลังครองจักรวาลและมันจะผลักดันให้แต่ละกาแล็กซีเคลื่อนที่ห่างออกจากกัน



รูปที่ 12 แถบสเปกตรัมที่วัดได้เมื่อแหล่งกำเนิดแสงอยู่นิ่ง (ภาพบนสุด) เมื่อแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่เข้าหาผู้วัด (ภาพกลาง) และเมื่อแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่ออกจากผู้วัด (ภาพล่างสุด)

นักดาราศาสตร์ทั้งสองทีมทำการทดลองวัดแสงซึ่งมีซูเปอร์โนวาชนิด Ia เป็นต้นกำเนิดแสงโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า เรดชิฟท์ (Redshift) ซึ่งสามารถทราบได้ว่าแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่เข้าหาหรือออกจากผู้วัดโดยดูได้จากแถบสเปกตรัม ถ้าแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่ออกจากผู้วัด แถบสเปกตรัมที่วัดได้จะเลื่อนไปทางสีแดง (Redshift) ในทางกลับกันถ้าแหล่งกำเนิดแสงเคลื่อนที่เข้าหาผู้วัด แถบสเปกตรัมที่วัดได้จะเลื่อนไปทางสีน้ำเงิน (Blueshift) ดังภาพที่ 12

มีการตั้งคำถามมากมายเกี่ยวกับคอนวสานของจักรวาล บางคนเสนอว่าจักรวาลจะขยายตัวไประยะหนึ่งแล้วจะหดตัวลงอย่างแรง เราเรียกลักษณะดังกล่าวว่า บิ๊กครันช์ (Big Crunch) บางคนกลับเสนอว่า จักรวาลจะขยายตัวตลอดกาล ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งคิดว่าจักรวาลจะขยายแบบรุนแรงจนในที่สุด ทุกสิ่งทุกอย่างจะถูกฉีกกระชากออกจากกัน เราเรียกลักษณะดังกล่าวว่า บิ๊กริพ (Big Rip) ไม่ว่าจะอย่างไรก็ตาม หากเราเชื่อการค้นพบของผู้ได้รับรางวัลโนเบลสาขาฟิสิกส์ในปีนี้ เราสามารถคาดการณ์ได้ว่าจักรวาลจะมีตอนจบที่เห็นีบนหา

สำหรับบทความนี้ ผู้เขียนต้องการจะสื่อถึงผู้อ่านว่า “แท้จริงแล้วเรายังมีความเข้าใจเกี่ยวกับจักรวาลน้อยมาก ดังนั้นอีก 96 เปอร์เซ็นต์คงเป็นปริศนาที่รอคอยการเปิดเผย และได้แต่หวังว่าเรากำลังเดินถูกทาง อยู่ในแนววงศที่ดูเหมือนจะยิ่งซับซ้อนขึ้นทุกที”

เอกสารอ้างอิง

- [1] F. Zwicky, "Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln", *Helvetica Physica Acta* **6** (1933) 110–127.
- [2] Vera Rubin and Dark Matter” *American Museum of Natural History*. 2000. Retrieved 2011-03-21
- [3] The Nobel Prize in Physics 2011, <http://www.nobelprize.org>
- [4] R. R. Caldwell, K. Marc and N. N. Weinberg, “Phantom energy and cosmic doomsday”, *Phys. Rev. Lett.* **91** (2003) 071301

ความลึกข์ของอุณหพลศาสตร์: ตอนที่ 1 ผลต่างอนุพันธ์แม่นตรงและไม่แม่นตรง กับ ตัวประกอบอินทิเกรต

(ต่อจากหน้า 23)

- [4] P.T. Landsberg, *Thermodynamics and Statistical Mechanics*, (Oxford, Oxford, 1978).
- [5] W. Greiner, L. Neise, and H. Stöcker, *Thermodynamics and Statistical Mechanics* (Springer-Verlag, New York, 1995).
- [6] G.B. Arfken and H.J. Weber, *Mathematical Methods for Physicists* (Academic, San Diego, 1995).
- [7] K.F. Riley, M.P. Hobson, and S.J. Bence, *Mathematical Methods for Physics and Engineering* (Cambridge, Cambridge, 2002), 2nd ed.
- [8] T. Frankel, *The Geometry of Physics: An Introduction* (Cambridge, Cambridge, 2004), 2nd ed.
- [9] P. Szekeres, *A Course in Modern Mathematical Physics: Groups, Hilbert Space, and Differential Geometry* (Cambridge, Cambridge, 2004).
- [10] L. Pogliani and M.N. Berberan-Santos, "Constantin Carathéodory and the Axiomatic Thermodynamics," *Journal of Mathematical Chemistry*, **28**, 1-3 (2000).