

จากเทคโนโลยี บนฟากฟ้าสู่พื้นดิน



ผลการประเมิน PISA 2012

สำหรับการพัฒนาการบริหารจัดการ
การศึกษาขั้นพื้นฐานของไทย

สนุกกับความน่าจะเป็น :
เรียน ๆ เล่น ๆ อย่างสะเต็มศึกษา

ความรู้ใหม่เกี่ยวกับชะตาชีวิตของดวงอาทิตย์



ความรู้ใหม่เกี่ยวกับ ชะตาชีวิตของดวงอาทิตย์



สแกนโค้ดนี้เพื่อ
ชมภาพเคลื่อนไหว

หลังจากที่อากาศหนาวมาพักใหญ่ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2556 ต่อต้นปี พ.ศ. 2557 ตอนนี้อากาศก็เริ่มจะร้อนขึ้นแล้ว แดดก็จ้า พาก็โปร่งจนทำให้บางคนเริ่มไม่ชอบขึ้นมา แต่ว่าร้อน ๆ อย่างนี้คงเทียบไม่ได้เลยกับสิ่งที่โลกในยุค 5,000 ล้านปีจากนี้จะได้เจอในตอนปลายอายุขัยของดวงอาทิตย์ (ถ้ามีใครอายุยืนยาวได้ถึงขนาดนั้นคงจะได้เจอกับประสบการณ์ตรง) ซึ่งตอนนั้นโลกจะอยู่ภายในดวงอาทิตย์เลยทีเดียว เนื่องจากดวงอาทิตย์จะขยายขนาดและมวลขึ้นมาก สมมติว่าขนาดของดวงอาทิตย์ในปัจจุบันเทียบกับลูกฟุตบอล ในอนาคตมันจะขยายขนาดจนมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของสนามฟุตบอลเลยทีเดียว ก่อนที่จะลดขนาดลงจนมีขนาดเท่ากับมดที่เดินอยู่บนสนามฟุตบอลนั้น หลายคนคงสงสัยว่าทราบได้อย่างไร ซึ่งคำตอบก็คือเราคาดเดาคำตอบจากการสังเกตวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ดวงอื่นๆ ที่คล้ายกับดวงอาทิตย์ในทางช้างเผือก ซึ่งผลการศึกษาเหล่านี้ได้บ่งชี้ให้เราทราบในการทำนายชะตาชีวิตของดวงอาทิตย์ ถ้าเช่นนั้นเรามาเรียนรู้สิ่งที่จะเกิดขึ้นกับดาวฤกษ์กันดีกว่า อยากรู้จริงว่าจุดจบของมันเป็นเช่นไร

วงจรรชีวิตของดาวฤกษ์

ราวหนึ่งศตวรรษที่ผ่านมา นักวิทยาศาสตร์ชาวเดนมาร์กชื่อ เอ็ดนาร์ เฮิร์ตซสปรุง (Ejnar Hertzsprung) และนักดาราศาสตร์ชาวอเมริกันชื่อ เฮนรี นอร์ริส รัสเซลล์ (Henry Norris Russell) ต่างคนต่างสังเกตพบสิ่งที่น่าทึ่งในขณะที่กำลังวิเคราะห์ดาวฤกษ์หลายดวงที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด โดยพบว่าดาวฤกษ์บางดวงที่มีสีเดียวกันและอยู่ห่างจากโลกในระยะทางที่เท่ากันกลับมีความสว่างที่แตกต่างกันมาก เฮิร์ตซสปรุงเรียกดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้ซึ่งมีความสว่างมากกว่า “ดาวยักษ์” และดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้ซึ่งมีความสว่างน้อยกว่า “ดาวแคระ” จากนั้นในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2456 รัสเซลล์ได้นำเสนอแผนภูมิชุดแรกของสิ่งที่เราเรียกกันในปัจจุบันว่าแผนภูมิเฮิร์ตซสปรุง-รัสเซลล์ (Hertzsprung-Russell diagram) หรือแผนภูมิเอช-อาร์ แผนภูมินี้เปรียบเทียบความสว่างของดาวฤกษ์ (ในแกนตั้ง) กับสีของดาวฤกษ์หรือสเปกตรัม (ในแกนนอน)

โดยอาศัยข้อมูลจากการสังเกตดาวฤกษ์ในท้องฟ้าในศตวรรษที่ 20 ทำให้เริ่มมีความคิดเห็นแรก ๆ เกี่ยวกับฟิสิกส์ของดวงดาวออกมา โดยเชื่อว่ามวลและความสว่างของดาวฤกษ์มีความสัมพันธ์กัน ในตอนนั้นนักดาราศาสตร์เริ่มสงสัยว่าดาวฤกษ์มีวิวัฒนาการอย่างไรและคิดว่าอาจเป็นไปได้ที่ดาวฤกษ์เหล่านั้นมีวิวัฒนาการและเคลื่อนที่ไปบนแผนภูมิเอช-อาร์ เป็นระยะเวลานานหลายทศวรรษแล้วที่เราได้เรียนรู้ว่ามวลของดาวฤกษ์บ่งการชีวิตของมันเอง ทั้งยังเป็นตัวกำหนดความสว่างและอุณหภูมิของดาวฤกษ์อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบันเรารู้ทุกขั้นตอนของวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ไว้ในแผนภูมิที่สำคัญดังกล่าว

นักดาราศาสตร์ใช้กล้องโทรทรรศน์ที่มีประสิทธิภาพทั้งบนภาคพื้นและในอวกาศ เพื่อวัดความสว่างสี และตำแหน่งของดาวฤกษ์ ตัวอย่างเช่น กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลสามารถสังเกตการณ์ดาวฤกษ์ที่คล้ายดวงอาทิตย์ที่อยู่ห่างออกไป 2.5 ล้านปีแสงในกาแล็กซีแอนโดรเมดา ดาวฤกษ์เหล่านั้นมีความสว่างน้อยกว่าดาวฤกษ์ที่สว่างน้อยที่สุดที่มนุษย์สามารถมองด้วยตาเปล่าถึง 1 หมื่นล้านเท่า

ในขั้นตอนสุดท้ายของวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ สิ่งที่อยู่รอบนอกของดาวฤกษ์ (ที่มีลักษณะเดียวกับดวงอาทิตย์) จะถูกพัดออกไปยังตัวกลางระหว่างดาวฤกษ์ที่อยู่รอบ ๆ เหลือไว้เพียงแกนกลางที่ร้อนและไม่มีอะไรห่อหุ้ม ภาพนี้แสดงถึงเนบิวลาดาวเคราะห์ โดยรังสีเหนือม่วงที่แผ่ออกจากแกนกลางให้แสงสว่างกับแก๊สและฝุ่นที่ถูกขับออกไป ก่อนเป็นรูปร่างซึ่งเป็นที่มาของชื่อ “เนบิวลาผีเสื้อ (Butterfly Nebula)” ในอนาคตเนบิวลานี้จะเหลือเพียงแกนกลางของดาวฤกษ์ตั้งต้นที่เผาไหม้ไฮโดรเจนเท่านั้น ที่เราเรียกว่า ดาวแคระขาว



เราทราบว่าช่วงเวลาแห่งความสงบอันยาวนานกินเวลาส่วนใหญ่ของช่วงชีวิตดาวฤกษ์ภายหลังการก่อตัวของดาวฤกษ์ใหม่ๆ แกนกลางของมันจะมีอุณหภูมิหลายสิบล้านองศา ซึ่งร้อนมากพอที่จะหลอมไฮโดรเจนเข้าด้วยกันไปเป็นฮีเลียมและพลังงาน ในช่วงระยะของ “การเผาไหม้” ทางนิวเคลียร์นั้นลักษณะที่ปรากฏของดาวฤกษ์ยังคงนิ่งเสถียร มีการเปลี่ยนแปลงของความสว่าง ขนาด และอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ในตอนปลายชีวิตดาวฤกษ์ส่วนใหญ่ที่มีมวลน้อยกว่า 10 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ เชื้อเพลิงนิวเคลียร์จะถูกใช้จนหมด ดาวจะพองออก และสลัดชั้นนอก ๆ ออกไป แกนกลางจะเย็นตัวลงเมื่อเวลาผ่านไปกลายเป็น “ดาวแคระขาว” อันเป็นซากที่ประกอบด้วยคาร์บอนและออกซิเจน (เนื่องจากธาตุเหล่านี้เป็นผลผลิตจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันของไฮโดรเจนและฮีเลียมในแกนกลางของดาวฤกษ์) และชั้นบาง ๆ ของไฮโดรเจนบนผิว และเนื่องจากไม่มีแหล่งพลังงานนิวเคลียร์มันจึงเย็นตัวลงตามกาลเวลา และแผ่รังสีความร้อนที่เก็บไว้ออกไป

อะไรที่หายไป??

เรามีความเข้าใจที่แจ่มแจ้งแล้วเกี่ยวกับขั้นการเผาไหม้ไฮโดรเจน และขั้นดาวแคระขาวในวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ แต่การติดตามว่าเกิดอะไรขึ้นในระหว่างกลางยังคงเป็นปริศนาอันยิ่งใหญ่ ในช่วงเวลาเหล่านี้เองที่ดาวฤกษ์ได้ผ่านการเปลี่ยนแปลงมากมาย และสามารถเปลี่ยนแปลงขนาดได้อย่างรวดเร็วเป็นหลักหลาย ๆ หมื่นเท่า วิวัฒนาการนี้เกิดขึ้นเมื่อดาวฤกษ์ที่ใช้ไฮโดรเจนในแกนกลางจนหมดเริ่มเผาไหม้ไฮโดรเจนบริเวณที่ห่อหุ้มส่วนที่อยู่ด้านใน ชั้นด้านนอกของดาวฤกษ์เริ่มกระจัดกระจายและขยายตัว ซึ่งเราเรียกว่าดาวยักษ์แดง ในขั้นตอนนี้ดาวฤกษ์จะมีความสว่างมากกว่าดาวแคระขาวที่มีอุณหภูมิเท่า ๆ กันมาก เนื่องจากมีการปลดปล่อยพลังงานออกจากพื้นที่ผิวที่มากกว่า

เมื่อดาววิวัฒนาการต่อไปใน “เส้นทางของดาวยักษ์แดง” ตามชื่อที่มันถูกเรียกบนแผนภูมิเอช-อาร์ โดยจะมีความสว่างมากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ลมดาวฤกษ์ (stellar wind)¹ สามารถขับดันชั้นนอกออกไปจากดาวฤกษ์และทิ้งมันไปในสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบ ๆ ขนาดของมวลที่ดาวฤกษ์ทิ้งไปในตอนที่เป็นดาวยักษ์แดงจะเป็นตัวกำหนดอนาคตของดาวฤกษ์โดยตรง

หลังจากขั้นดาวยักษ์แดง ดาวฤกษ์จะเผาไหม้ฮีเลียมในแกนกลางของมันและมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและขนาดอีกครั้งเมื่อดาวฤกษ์เคลื่อนที่ไปตาม “เส้นกำกับตามเส้นทางดาวยักษ์ (asymptotic giant branch)” และเผาไหม้ฮีเลียมที่ล้อมรอบอยู่ ช่วงชีวิตของดาวฤกษ์ตามเส้นทางนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการพ่นแก๊สที่ห่อหุ้มอยู่ออกไปจนหมดรวมถึงความสว่างที่มันจะไปถึง ถ้าดาวฤกษ์สูญเสียสิ่งห่อหุ้มอย่างรวดเร็วขั้นวิวัฒนาการจะสิ้นสุดลงและก่อตัวเป็นดาวแคระขาว แต่ถ้าดาวฤกษ์สูญเสียสารไปอย่างช้า ๆ มันจะมีชีวิตอยู่บนเส้นกำกับตามเส้นทางดาวยักษ์นานขึ้นและดำเนินต่อไปจนมีความสว่างมากขึ้นและพองตัวมากขึ้น การทราบว่าดาวฤกษ์สูญเสียสารไปมากเพียงไรช่วยให้เราเข้าใจระยะต่อมาของวิวัฒนาการดาวฤกษ์ เราสามารถใช้การสังเกตสีและความสว่างของดาวฤกษ์ รวมทั้งใช้แบบจำลองที่ทำนายถึงผลของการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่ส่งผลต่อสเปกตรัมปรากฏ (emergent spectrum) เพื่อที่จะเรียนรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น อายุ องค์ประกอบทางเคมี และอัตราการเกิดของดาวฤกษ์ ของกาแล็กซีที่ดาวฤกษ์เหล่านั้นอาศัยอยู่

ปะติดปะต่อ

คาลิไร (Kalirai) และคณะได้ศึกษาดาวฤกษ์หลายดวงในระยะต่าง ๆ ของวิวัฒนาการเพื่อที่จะปะติดปะต่อกระบวนการเข้าด้วยกัน การจะหาว่าดาวฤกษ์สูญเสียสารไปเพียงใดในวิวัฒนาการนั้น เราจำเป็นต้องทราบมวลตั้งต้นและมวลสุดท้ายของดาวฤกษ์ดวงเดียวกัน แต่มาตราส่วนเวลา (timescale) ในช่วงเวลาหลายล้านถึงหลายพันล้านปีก็ยาวนานเกินไปที่จะเฝ้าดูดาวฤกษ์ดวงใดดวงหนึ่ง วิวัฒนาการ เราไม่มีทางเลยที่จะอนุมานคุณสมบัติสุดท้ายของดาวแคระขาวจากดาวฤกษ์ที่เผาไหม้ไฮโดรเจนที่กำลังฉายแสงอยู่บนท้องฟ้าในเวลากลางคืน ในทำนองเดียวกัน เราไม่มีทางที่จะอนุมานมวลดาวฤกษ์ในตอนตั้งต้นของดาวแคระขาวที่อยู่ใกล้เคียง

ในความเป็นจริงเรามีห้องปฏิบัติการที่จะจัดการกับปัญหา ซึ่งก็คือกระจุกดาวต่าง ๆ อันเป็นสภาพแวดล้อมของดาวฤกษ์หลายพันดวงที่ล้วนมาจากแหล่งเดียวกัน ดาวฤกษ์ทุกดวงภายในกระจุกดาวก่อกำเนิดในเวลาเดียวกันและมีองค์ประกอบเหมือนกัน แต่มีมวลที่หลากหลายต่างกัน แต่ละกระจุกดาวให้ข้อมูลดาวฤกษ์ที่อายุหนึ่ง ๆ เราจึงสามารถเห็นผลกระทบที่วิวัฒนาการของดาวฤกษ์มีต่อดาวฤกษ์ที่มีมวลต่างกันได้อย่างไร

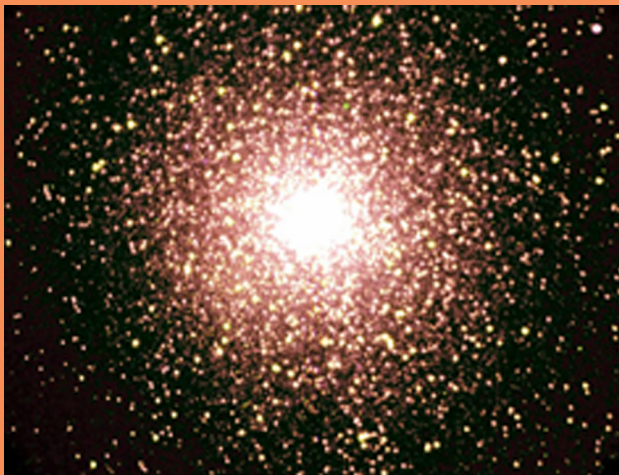
เพื่อที่จะสำรวจทั้งระยะแรกเริ่มและระยะสุดท้ายในเวลาเดียวกัน และเพื่อที่จะวัดว่าดาวฤกษ์สูญเสียมวลไปเท่าใดในวิวัฒนาการ เราสามารถใช้กระบวนการ 3 ขั้นตอนต่อไปนี้

¹ ลมดาวฤกษ์ คือ การไหลของสสาร (โปรตอน อิเล็กตรอน และอะตอมของโลหะที่หนัก) ซึ่งถูกขับออกมาจากดาวฤกษ์ ลมนี้มีลักษณะพิเศษคือเป็นการไหลออกอย่างต่อเนื่องของสสารที่เคลื่อนที่ในอัตราเร็วระหว่าง 20 ถึง 2,000 กิโลเมตรต่อวินาที

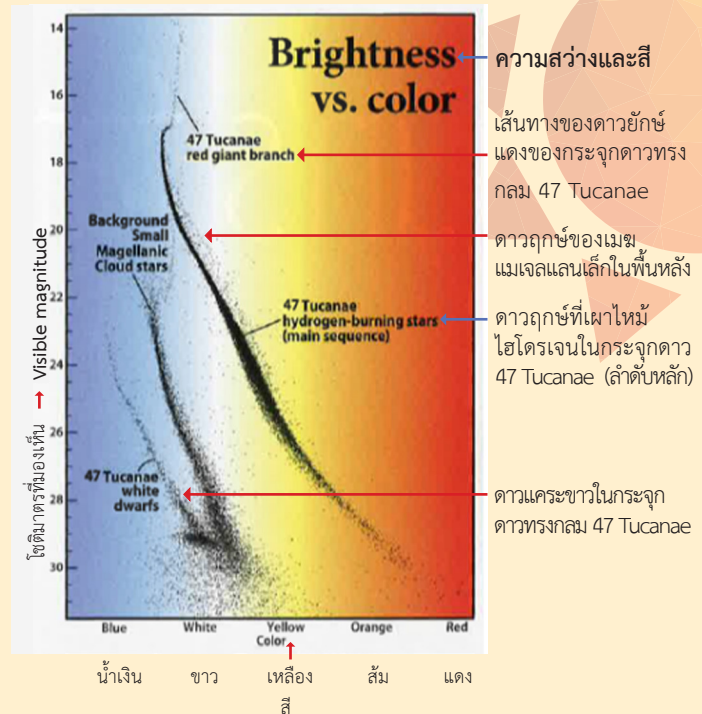
ขั้นตอนที่ 1 จมเข็มในมหาสมุทร

ในทศวรรษที่ผ่านมาทีมนักวิจัยได้วัดความสว่างและสีของดาวฤกษ์ทุกดวงในกระจุกดาวแห่งนี้ ในขั้นตอนนี้เราศึกษาทั้งดาวฤกษ์ที่เผาไหม้ไฮโดรเจนซึ่งมีความสว่างมากกว่ารวมถึงตอนที่เป็นดาวยักษ์ ในกระบวนการวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ และยังค้นหาร่องรอยของดาวเคราะห์ที่มีความสว่างน้อยกว่ามาก ดาวเคราะห์เหล่านี้ก็เคยเผาไหม้ไฮโดรเจนในแกนกลางของมันเช่นกันในอดีตที่ผ่านมาไม่นาน แต่มันดำเนินไปเร็วกว่าดาวฤกษ์อื่นๆ ในกระจุกดาวเนื่องจากมีมวลตั้งต้นมากกว่า

เมื่อเร็ว ๆ นี้ คาลิโรรและคณะได้ใช้กล้องโทรทรรศน์อวกาศฮับเบิลในการสังเกตการณ์กระจุกดาวทรงกลม 47 Tucanae (NGC 104) ในกลุ่มดาวนกทูแคน (Tucana) ภาพคมชัดที่ได้จากฮับเบิลช่วยให้เห็นดาวเคราะห์ที่จางที่สุดที่โชติมาตรเกือบ 30 คาลิโรรและคณะได้กำหนดตำแหน่งของดาวฤกษ์ทั้งหมดบนแผนภูมิเฮอร์ตซ์-รัสเซลล์ จากแผนภูมิสามารถใส่ข้อจำกัดที่เข้มงวดจากคุณสมบัติพื้นฐานของแต่ละกระจุกดาวลงไป เช่น อายุของกระจุกดาว เนื่องจากวิวัฒนาการของดาวฤกษ์เชื่อมโยงกับมวลของดาวฤกษ์ในตอนกำเนิด ในการระบุอายุของกระจุกดาวสามารถเห็นได้ว่ามวลใดของดาวฤกษ์ในกระจุกดาวที่ยังคงเผาไหม้ไฮโดรเจน และมวลใดที่ไ้วิวัฒนาการผ่านจุดนั้นไปแล้ว โดยใช้แผนภูมินี้ เราสามารถวัดจำนวนประชากรของดาวเคราะห์ที่สว่างกว่า ซึ่งจะถูกศึกษาเพิ่มเติมในรายละเอียดโดยกล้องโทรทรรศน์อื่นต่อไป ทีมนักดาราศาสตร์ทีมอื่น ๆ ทำงานกับกลุ่มของคาลิโรรเพื่อสร้างแผนภูมิที่คล้ายคลึงกันโดยใช้กล้องโทรทรรศน์ทั้งที่อยู่บนภาคพื้นและที่อยู่ในอวกาศในการศึกษากระจุกดาวต่าง ๆ ที่มีอายุระหว่าง 50 ล้านถึง 13,000 ล้านปี โดยที่ 47 Tuc มีอายุประมาณ 10,500 ล้านปี



47 Tucanae (NGC 104) หรือ 47 Tuc เป็นกระจุกดาวทรงกลมที่อยู่ในกลุ่มดาวนกทูแคน (Tucana) อยู่ห่างจากโลกราว 15,000 ปีแสง และมีความกว้างของกระจุกดาวที่กินระยะทางถึง 120 ปีแสง ประกอบด้วยดาวเคราะห์หลายพันดวง กระจุกดาวทรงกลมนี้สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า โดยมีค่าโชติมาตรปรากฏ 4.03

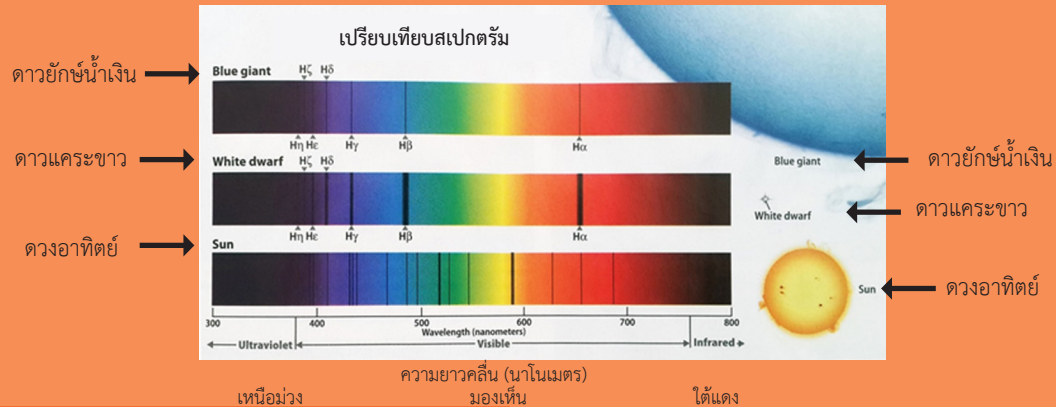


แผนภูมิเฮอร์ตซ์-รัสเซลล์แสดงความสว่างของดาวฤกษ์ในกระจุกดาวทรงกลม 47 Tucanae ตามแกน Y และสีของดาว (ซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิ) ตามแกน X ข้อมูลแสดงถึงประชากร 3 กลุ่มภายในกระจุกดาวทรงกลมรวมถึงดาวฤกษ์ที่เผาไหม้ไฮโดรเจนในแกนหลักซีเครส (เมฆแมเจลแลนเล็ก) ที่อยู่บนพื้นหลัง กาแล็กซีอยู่ห่างจาก 47 Tuc ออกไปทางด้านหลัง 200,000 ปีแสง

ขั้นตอนที่ 2 ใช้ประโยชน์จากห้องปฏิบัติการตามธรรมชาติ

หนึ่งในคุณสมบัติที่เด่นมากที่สุดอย่างหนึ่งของดาวเคราะห์คือความหนาแน่นของมัน มวลของดาวเคราะห์ที่เป็นแบบฉบับมีขนาดประมาณครึ่งหนึ่งของดวงอาทิตย์ แต่มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของโลก ดังนั้นความหนาแน่นสสารของดาวเคราะห์อาจจะมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของดวงอาทิตย์หนึ่งล้านเท่า

เนื่องจากความหนาแน่นของดาวเคราะห์มีค่าสูงมาก เราจึงเรียกขานที่เหล็อยู่ของดาวฤกษ์ว่าเป็นห้องปฏิบัติการสสารควบแน่นตามธรรมชาติ ความดันที่พื้นผิวของดาวเคราะห์สูงมากเนื่องจากความหนาแน่นของมัน และสิ่งนี้ทำให้มันมีลักษณะทางแสงที่มีลักษณะเฉพาะหรือมีสเปกตรัมที่ไม่เหมือนกับของดาวฤกษ์อื่นใด สเปกตรัมเหล่านี้เก็บร่องรอยที่สำคัญเกี่ยวกับคุณสมบัติของดาวฤกษ์ไว้ สำหรับดาวเคราะห์ “ปกติ” ที่มีอุณหภูมิราว 20,000 ถึง 30,000 เคลวิน สเปกตรัมแสดงเส้นที่มีร่วมกันของธาตุไฮโดรเจน แต่เส้นเหล่านี้ดูไม่คล้ายเลยกับที่จะสังเกตพบในห้องปฏิบัติการหรือแม้แต่จากดาวฤกษ์ที่เป็นแบบฉบับมากกว่าซึ่งร้อนและเผาไหม้ไฮโดรเจนเช่นดาวซิริอุส เอ (Sirius A) ความดันบนพื้นผิวของดาวเคราะห์ทำให้เส้นดูดกลืนไม่ชัดเจน คือมีความกว้างของเส้นสเปกตรัมมากกว่าของดาวฤกษ์ปกติ 5 – 10 เท่า



ในขณะที่ดวงอาทิตย์แสดงแถบมืดของเส้นการดูดกลืนหลายเส้น ดาวฤกษ์ที่ร้อนกว่ามีเส้นสเปกตรัมง่าย ๆ ที่แสดงเพียง “ลำดับบาลเมอร์” ของไฮโดรเจน ดาวแคระขาวที่ก่อตัวขึ้นใหม่มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิของดาวยักษ์น้ำเงินที่ร้อน ดังนั้นจึงแสดงเส้นบาลเมอร์ให้เห็นเช่นกัน แต่เนื่องจากความดันที่รุนแรงบนพื้นผิวของดาวแคระขาว เส้นการดูดกลืนเหล่านี้จึง “ถูกทำให้กว้างขึ้นจากความดัน” และมีความกว้างมากกว่าของดาวฤกษ์ที่เผาไหม้ไฮโดรเจนอยู่มาก โดยการสังเกตเส้นบาลเมอร์เหล่านี้ นักวิทยาศาสตร์สามารถวัดอุณหภูมิของซากและแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวได้อย่างถูกต้อง

เพื่อที่จะสังเกตเส้นสเปกตรัมที่กว้างมากขึ้นเหล่านี้ คาลิโรและคณะอาศัยเครื่องมือพิเศษที่เรียกว่า สเปกโตรกราฟ (spectrograph) เพื่อแยกแสงจากดาวฤกษ์ โดยเจาะจงใช้สเปกโตรกราฟสำหรับวัตถุหลายชิ้นบนกล้องโทรทรรศน์ขนาด 10 เมตร เช่น กล้องโทรทรรศน์เค็ก (Keck telescope) ในรัฐฮาวาย สหรัฐอเมริกา เพื่อที่จะวัดสเปกตรัมของดาวแคระขาวนับเป็นโหล ๆ ในกระจุกดาวแห่งหนึ่งในเวลาเดียวกัน จากนั้นเปรียบเทียบแบบจำลองคอมพิวเตอร์ของเส้นสเปกตรัมไฮโดรเจนเหล่านั้นกับสเปกตรัมของดาวแคระขาวเพื่อวัดความดันบนพื้นผิว อุณหภูมิ และแรงโน้มถ่วงบนพื้นผิวของมัน จากสารสนเทศนี้ทำให้สามารถคำนวณมวลของดาวฤกษ์ในปัจจุบันได้อย่างถูกต้อง ทั้งยังทราบว่าดาวฤกษ์มีมวลขนาดดังกล่าวมานานเพียงไรนับตั้งแต่ดาวฤกษ์แรกเริ่ม (original star) พ่นชั้นแก๊สภายนอกออกมาและเหลือไว้เพียงแกนกลาง

ขั้นตอนที่ 3 นำมันมาไว้ด้วยกัน (รวบรวม)

อายุของแต่ละกระจุกดาว (ที่หาได้ในขั้นตอนที่ 1) เป็นอายุเดียวกันกับอายุของดาวฤกษ์ทุกดวงที่เป็นสมาชิกอยู่ สำหรับดาวแคระขาว คำดังกล่าวคือผลรวมของเวลาเย็นตัวที่หาได้เป็นที่เรียบร้อยแล้วของแต่ละซากและช่วงชีวิตในการเผาไหม้ไฮโดรเจนของดาวฤกษ์ตั้งต้น นั่นหมายความว่าเราสามารถคำนวณช่วงชีวิตของดาวฤกษ์ตั้งต้นโดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{อายุของกระจุกดาว} - \text{เวลาในการเย็นตัวของดาวแคระขาว} = \text{ช่วงชีวิตของดาวฤกษ์ตั้งต้น}$$

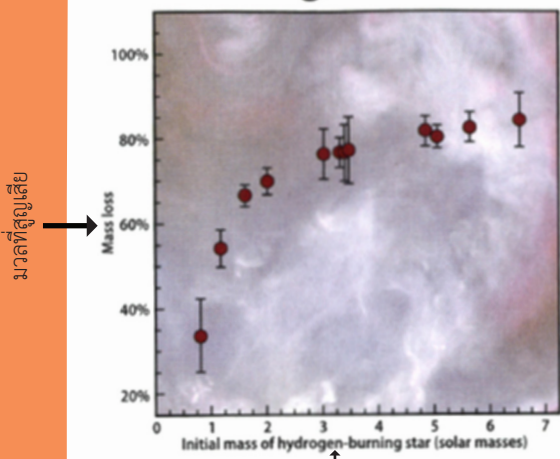
เราสามารถหาที่มาของมวลของดาวฤกษ์ตั้งต้นโดยใช้แบบจำลองทางทฤษฎีที่ได้รับการทดสอบมาเป็นอย่างดีที่อายุนั้น วิธีการใหม่ช่วยให้เราสามารถสำรวจได้ทั้งมวลตั้งต้นและมวลสุดท้ายของดาวฤกษ์ดวงเดียวกัน

สูญเสียมวลไปมากเท่าใด ภายหลังจากที่ใช้การคำนวณนี้กับสิ่งที่สังเกตได้จากดาวแคระขาวในกระจุกดาวใกล้เคียงเป็นเวลา นับหลายทศวรรษรวมถึงผลที่ได้จากการศึกษา 47 Tuc ของคาลิโรและคณะ ทำให้ค้นพบว่าดาวฤกษ์ที่เผาไหม้ไฮโดรเจนจะสูญเสียมวลของมันไปมากในวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ ดาวฤกษ์ที่มีมวลมากกว่าก็จะสูญเสียมวลสามารถเป็นสัดส่วนกัน ตัวอย่างเช่น ดาวฤกษ์ที่ถือกำเนิดโดยมีมวลห้าเท่าของมวลดวงอาทิตย์จะสูญเสียมวลร้อยละ 80 ในวิวัฒนาการ และจบชีวิตลงในรูปของดาวแคระขาวมวลมาก โดยมีมวลเท่ากับมวลของดวงอาทิตย์โดยประมาณ (ดาวซีริอัส บี ซึ่งเป็นดาวแคระขาวที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มากที่สุด สอดคล้องกับการทำนายนี้เนื่องจากมันมีมวลโดยประมาณเท่ากับดวงอาทิตย์) ดาวฤกษ์ที่มีขนาดใหญ่เช่นนี้พบได้น้อยกว่าเนื่องจากธรรมชาติสร้างดาวฤกษ์มวลน้อยเป็นจำนวนมากกว่าดาวฤกษ์มวลมากอยู่มาก

ในขณะที่วิวัฒนาการของดาวฤกษ์ที่คล้ายดวงอาทิตย์นำไปสู่ดาวแคระขาวที่มีคาร์บอนและออกซิเจนเป็นองค์ประกอบซึ่งดูเป็นแบบฉบับมากกว่า บรรพบุรุษของดาวแคระขาวที่มีมวลมากเช่นนี้อาจพัฒนาไปจนมีอุณหภูมิและความหนาแน่นที่สูงกว่ามากในสภาพแวดล้อมที่สุดขีดนี้ แม้แต่คาร์บอนและออกซิเจนในแกนกลางของดาวก็สามารถหลอมตัวกลายเป็นธาตุที่หนักขึ้นเช่นนีออนและแมกนีเซียม ดังนั้นนักดาราศาสตร์จึงเชื่อว่าแกนกลางของดาวแคระขาวที่มีมวลมากเหล่านี้มีองค์ประกอบต่างจากดาวฤกษ์ที่ “เป็นแบบฉบับ” มากกว่า สำหรับดาวฤกษ์ที่มีขนาดปานกลางคือมีมวลราวสองถึงสามเท่าของมวลดวงอาทิตย์ มันจะสูญเสียมวลราว 2 ใน 3 ถึง 3 ใน 4 ของมวลของมัน

Stellar weight loss →

การสูญเสียน้ำหนัก
ของดาวฤกษ์



มวลเริ่มแรกของดาวฤกษ์ที่เผาไหม้ไฮโดรเจน

ยิ่งดาวฤกษ์ที่คล้ายดวงอาทิตย์มีมวลเริ่มต้นมากเท่าใด สัดส่วนของสสารที่จะสูญเสียผ่านวิวัฒนาการของดาวฤกษ์จะยิ่งมากขึ้นเท่านั้น คาลิโรและคณะเปรียบเทียบคุณสมบัติของดาวแคระขาวในกระจุกดาวและหาความสัมพันธ์ระหว่างมวลของดาวแคระขาวกับดาวฤกษ์ตั้งต้นที่เผาไหม้ไฮโดรเจน

ชะตาชีวิตของดวงอาทิตย์ของเรา (และของโลก)

การวัดมวลตั้งต้นและมวลสุดท้ายของดาวฤกษ์สามารถขยายออกไปถึงดาวฤกษ์คล้ายดวงอาทิตย์ที่อยู่ใกล้เคียง เพราะฉะนั้นจึงใช้ทำนายชะตาชีวิตของดวงอาทิตย์ได้ เราทราบมาว่าดวงอาทิตย์ของเราจะใช้ไฮโดรเจนในแกนกลางของมันจนหมดภายในระยะเวลาประมาณ 6,500 ล้านปี เมื่อไม่มีไฮโดรเจนหลงเหลือในแกนกลางของมัน ดวงอาทิตย์ของเราจะเริ่มเผาไหม้ธาตุในชั้นที่อยู่รอบ ๆ เวกเช่นเดียวกับดาวยักษ์แดงทั่วไป ชั้นที่ไม่สำคัญนี้จะขยายตัวเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นและขยายขนาดจนมีรัศมีเป็น 200 เท่าของรัศมีในปัจจุบัน อุนหภูมิพื้นผิวของดวงอาทิตย์จะลดลงมาถึงประมาณครึ่งหนึ่งของค่าในปัจจุบัน (ประมาณ 3,000 เคลวิน) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในตอนนั้นดวงอาทิตย์จะมีขนาดใหญ่กว่าในปัจจุบันมาก จึงจะมีความสว่างมากกว่าในปัจจุบัน 1,000 เท่า

เมื่อดวงอาทิตย์ขยายตัว มันจะกลืนกินทั้งดาวพุธและดาวศุกร์จนหมด ในทางตรงกันข้ามโลกจะพยายามเล่น “ไล่จับ” กับดวงอาทิตย์เมื่อดวงอาทิตย์สูญเสียมวล มันจะมีผลต่อแรงโน้มถ่วงทำให้วงโคจรของโลกขยายออกไปไกลถึงประมาณร้อยละ 50 ของปัจจุบัน โลกไม่เหมาะสำหรับโลกที่ดวงอาทิตย์จะสูญเสียมวลอย่างรวดเร็วในตอนที่เป็นดาวยักษ์แดงและชั้นนอกของมันจะไล่ทันวงโคจรของโลก

และโลกก็จะถูกหุง เมื่อถึงตอนนั้นความร้อนก็จะทำให้มหาสมุทรแห้งและบรรยากาศถูกเผาไหม้ ภายหลังจากที่ได้เผชิญกับอนุภาคแก๊สในพื้นที่ผิวส่วนนอกที่ไม่มีความสำคัญของดวงอาทิตย์ โลกจะรับรู้ได้ถึง “แรงดัน” และเริ่มที่จะลดอัตราเร็วในการโคจรรอบดวงอาทิตย์ลง สุดท้ายวงโคจรของโลกจะวนเป็นก้นหอยไปสู่ศูนย์กลางของดวงอาทิตย์

ตามแบบจำลองวิวัฒนาการของดาวฤกษ์นั้น ภายหลังจากระยะที่เป็นดาวยักษ์แดง ดวงอาทิตย์จะสูญเสียสิ่งห่อหุ้มและเหลือไว้เพียงส่วนที่เป็นแกนกลาง แกนกลางนี้ซึ่งก็คือดาวแคระขาวจะร้อนมากในตอนแรก แต่เนื่องจากขาดเชื้อเพลิงนิวเคลียร์ มันจึงจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ชะตาชีวิตของดวงอาทิตย์ของเราจะเป็นดังนี้ คือ ภายหลังจากที่สูญเสียมวลไปร้อยละ 46 (ซึ่งเป็นค่าที่คาลิโรและคณะได้คำนวณไว้) มันจะกลายเป็นดาวแคระขาวปกติโดยมีน้ำหนักร้อยละ 54 ของน้ำหนักปัจจุบัน เวกเช่นเดียวกับดาวฤกษ์ที่เป็นบรรพบุรุษของดาวแคระขาวในกระจุกดาวทรงกลม 47 Tuc สุดท้ายดวงอาทิตย์ของเราจะมีมวลเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับมวลในตอนกำเนิด

อาจดูเหมือนกับว่ามันมีชีวิตอยู่อย่างค่อนข้างน่าเบื่อในขณะที่มันเผาไหม้ไฮโดรเจนในแกนกลางเป็นระยะเวลาหลายพันล้านปี ดวงอาทิตย์จะเข้าสู่อีกสถานะหนึ่งที่ยาวนานในวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ ในตอนที่เป็นดาวแคระขาว ดวงอาทิตย์ของเราจะค่อย ๆ ปลดปล่อยความร้อนที่เก็บสะสมไว้ไปในอวกาศและหรีแสงลงเมื่อเวลาผ่านไป มันจะเข้าร่วมกับสุสานดาวฤกษ์แห่งทางช้างเผือกอันเป็นสถานที่ซึ่งร้อยละ 98 ของดาวฤกษ์ในกาแล็กซีจบชีวิตลง



บรรณานุกรม

- Australian Astronomical Observatory. (2010, 1 August). The Globular Cluster 47 Tucanae (NGC 104). Retrieved February 21, 2014, from <http://www.aao.gov.au/images/captions/aat076.html>
- Frommert, Hartmut. (2006, 20 June). NGC 104. Retrieved February 21, 2014 from, <http://messier.secds.org/xtra/ngc/n0104.html>
- Howell, Elizabeth. (2013, 29 May). Why Are Dying Stars in 47 Tucanae Cooling Off So Slowly? Retrieved February 21, 2014, from <http://www.universetoday.com/102482/why-are-dying-stars-in-47-tucanae-cooling-off-so-slowly/>
- Kalirai, Jason. (2014, February). New light on our Sun's fate. *Astronomy*, 42 (2), 44-49.
- Swinburne University of Technology. Stellar Winds. Retrieved February 21, 2014, from <http://astronomy.swin.edu.au/cosmos/S/stellar+winds>