บทที่ 4
ดาวแปรแสง

ดาวแปรแสงเป็นดาวที่เราสามารถวัดการเปลี่ยนแปลงความสว่างหรือสภาพส่องสว่างได้ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมและการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางแม่เหล็กด้วย การเปลี่ยนแปลงความสว่างดังกล่าวจะต้องไม่ใช่เกิดเนื่องจากผลของบรรยากาศของโลก ดาวแปรแสงยังรวมถึงระบบดาวคู่ที่มีการแปรแสงเนื่องจากการบังกันของดาวคู่ก็ได้ และดาวประเภทนี้เราจัดให้เป็นดาวแปรแสงไม่จริง (Extrinsic Variables) หรือดาวแปรแสงทางเราขาคณิต (Geometric Variables) ในบทนี้เราจะพิจารณาเฉพาะดาวที่มีการแปรแสงอย่างเห็นได้ชัดภายในช่วงเวลาอันสั้น ๆ ซึ่งเกิดจากกลไกการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในของดาวฤกษ์อย่างรวดเร็ว รวมทั้งผลของการเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็กและการหมุนรอบตัวเองของดาวฤกษ์ด้วย เราเรียกว่าดาวแปรแสงจริง (Intrinsic Variables)

4.1 ดาวแปรแสงจริง

ดาวแปรแสงจริงสามารถจำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ

(1) **ดาวแปรแสงไม่สม่ำเสมอ (Irregular Variables)**

(2) **ดาวแปรแสงสม่ำเสมอ (Regular Variables)** หรือเรียกอีกอย่างว่า ดาวแปรแสงเป็นคาบ (Periodic Variables)

ดาวแปรแสงไม่สม่ำเสมอสามารถแบ่งออกเป็น 3 จำพวกคือ

(ก) ดาวแปรแสงไม่สม่ำเสมอโดยสมบูรณ์ (Completely Irregular Variables) เป็นดาวที่มีการแปรแสงอย่างช้า ๆ ไม่เป็นคาบที่แน่นอน ส่วนมากดาวประเภทนี้จะเป็นดาวยักษ์แดง (Red Giants) ซึ่งมีการแปรแสงอยู่ในช่วงไม่เกิน 2 โชติมาตร

(ข) ดาวแปรแสงกึ่งสม่ำเสมอ **(Semiregular Variables)** เป็นดาวที่มีคาบเฉลี่ย (Mean Periods) โดยที่แต่ละคาบมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ

(ค) ดาวแปรแสงชนิดระเบิด (Explosive Variables) หรือดาวแปรแสงรุนแรง ซึ่งมีการแปรแสงอย่างรุนแรงและรวดเร็ว ได้แก่ พวกนวดาราชนิดต่าง ๆ

ดาวแปรแสงสม่ำเสมอหรือเป็นคาบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

(ก) ดาวแปรแสงคาบยาว (Long-period Variables) ซึ่งมีคาบประมาณ 100 วันหรือมากกว่า

(ข) ดาวแปรแสงคาบสั้น (Short-period Vairables) ซึ่งมีคาบประมาณ 2–3 ชั่วโมงถึง 100 วัน

ดาวแปรแสงสม่ำเสมอส่วนมากเป็นดาวฤกษ์ที่มีบรรยากาศขยายตัวออกและหดกลับเป็นรอบ ๆ ได้แก่ ดาวแปรแสง เซเฟอิด (Cepheid Variables) ดาวแปรแสง อาร์ อาร์ ไลรา (R R Lyrae Variables) ดาวแปรแสง อาร์ วี ทอรี (R V Tauri Variables) และดาวแปรแสงคาบยาวชื่อ ดาวไมรา (Mira Stars) เป็นต้น

เพื่อศึกษาพฤติกรรมของดาวแปรแสงและโครงสร้างของมัน นักดาราศาสตร์ได้สร้างเส้นโค้งความสว่างของดาวแปรแสงขึ้นมา โดยเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของดาวที่มีการเปลี่ยนแปลงเทียบกับเวลา การศึกษาเส้นโค้งความสว่างอาจทำได้ทั้งวิธีถ่ายภาพและวิธีทางโฟโตอิเล็กตริก โฟโตเมตรี หรือแม้แต่ใช้สายตาสังเกตดู หลักของการวัดความสว่างก็คือวัดความสว่างของดาวแปรแสง (m_V) เมื่อเวลาใด ๆ หลังจากนั้นวัดความสว่างของดาวมาตรฐาน (m_S) ที่เลือกเอาไว้ ผลต่างระหว่างความสว่างของดาวแปรแสงและดาวมาตรฐานคือ

$$\Delta m = m_V - m_S \qquad (4.1)$$

นำค่าผลต่างนี้ไปเขียนกราฟเทียบกับเวลาที่ทำการสังเกตจะได้เส้นโค้งความสว่างของดาวแปรแสง สำหรับโชติมาตรปรากฏ m เราอาจพิจารณาในช่วงจักษุภาพหรือช่วงการถ่ายภาพก็ได้ โดยใช้แผ่นกรองแสงที่เหมาะสม ข้อมูลขั้นพื้นฐานของดาวแปรแสงจะบรรจุอยู่ในเส้นโค้งความสว่างนี้ทำให้เราสามารถแยกแยะชนิดต่าง ๆ ของดาวแปรแสงได้

4.2 ดาวแปรแสงเซเฟอิด

ดาวแปรแสงเซเฟอิดเป็นดาวแปรแสงที่ตั้งชื่อตามดาว เดลตา เซฟาย (δ Cephi) เส้นโค้งความสว่างของดาวแปรแสงชนิดนี้มีรอบซ้ำค่อนข้างสม่ำเสมอมากและมีคาบกำหนดแน่นอน เราสามารถจำแนกดาวแปรแสงเซเฟอิดได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

(1) ดาวแปรแสงเซเฟอิดยุคเก่า (Classical Cepheids Variables)

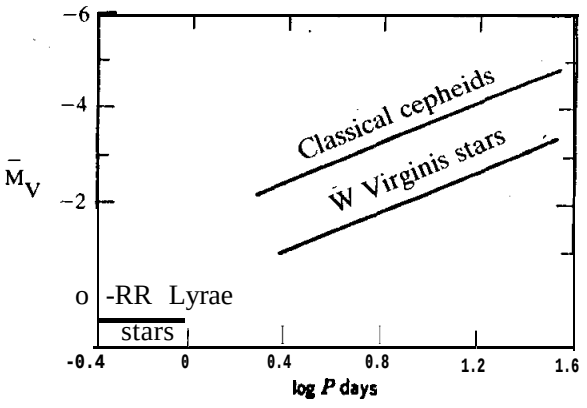
เป็นดาวแปรแสงที่มีเส้นโค้งความสว่างคล้ายกับดาว เดลตา เซฟายมาก เท่าที่พบในดาราจักรของเรามีอยู่ประมาณ 625 ดวง ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในบริเวณระนาบของดาราจักร มีคาบของการแปรแสงอยู่ในช่วงประมาณ 2 วัน ถึง 2 เดือน และส่วนมากมีคาบเฉลี่ยประมาณ 5 วัน เส้นโค้งความสว่างจะมีการแปรแสงอย่างราบเรียบ และมีการเพิ่มขึ้นของแสงรวดเร็ว

กว่าตอนที่แสงลดความสว่างลง ซึ่งเป็นผลให้เส้นโค้งมีความชันมากในช่วงที่แสงเพิ่มความสว่างขึ้น และความชันน้อยในขณะที่แสง สว่างลดลง นอกจากนั้นยังพบว่ายอดของเส้นโค้งในช่วงที่มีแสงสว่างมากที่สุดจะแหลมกว่าช่วงที่มีแสงสว่างน้อยที่สุดอย่างมากด้วย

ดาวแปรแสงเซเฟอิดยุคเก่านี้เป็นดาวมหายักษ์สีเหลือง (Yellow Supergiants) ซึ่งมีชนิดของสเปกตรัมในขณะสว่างที่สุดไม่เกิน Go และในขณะมีการแปรแสงชนิดของสเปกตรัมจะแปรจาก F2 จนถึง G2 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าอุณหภูมิพื้นผิวของดาวประเภทนี้เปลี่ยนแปลงได้ถึง 1500° ซ. โดยจะเย็นที่สุดเมื่อความสว่างน้อยที่สุด และร้อนที่สุดเมื่อความสว่างมากที่สุด

คุณลักษณะต่าง ๆ ของดาวแปรแสงเซเฟอิดเกี่ยวข้องกันอย่างใกล้ชิดกับช่วงคาบของมัน ตัวอย่างเช่น ดาวแปรแสงเซเฟอิดดวงหนึ่งมีคาบ 10 วัน จะมีความคล้ายคลึงกันมากกับดาวเซเฟอิดที่มีคาบ 10 วันดวงอื่น ๆ แต่ละดวงแตกต่างกันมากกับดาวเซเฟอิดที่มีคาบสั้นกว่าหรือยาวกว่ามาก จากความจริงข้อนี้ทำให้เรามีวิธีหาสมบัติอย่างประมาณของดาวเซเฟอิดได้สะดวก ซึ่งเราสามารถพิจารณาคาบของมันได้ง่ายกว่าสมบัติอย่างอื่นมาก สมบัติที่สำคัญที่สุดของดาวเซเฟอิดที่พบว่าสัมพันธ์กับคาบก็คือ โชติมาตรสัมบูรณ์

ความสัมพันธ์ระหว่างคาบและความสว่างของดาวแปรแสงนี้ได้พบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1912 โดย เฮนริเอตตา ลีวิตต์ (Henrietta Leavitt) ซึ่งเป็นนักดาราศาสตร์หญิงของมหาวิทยาลัย-ฮาร์วาร์ด (Harvard) ได้ทำการศึกษากลุ่มเมฆแมกเจลแลน (Magellanic Clouds) ซึ่งเป็นดาราจักรรูปร่างไม่สม่ำเสมอ (Irregular Galaxy) ขนาดเล็กสองระบบอยู่ใกล้กับดาราจักรของเราในท้องฟ้าทางใต้ และอยู่ห่างจากโลกเราประมาณ 150,000 ปีแสง พบว่ามีดาวแปรแสงแบบเซเฟอิดอยู่เป็นจำนวนมาก เนื่องจากดาวเหล่านี้อยู่ห่างจากเราไกลมากเมื่อเทียบกับขนาดของมัน จึงทำให้เราสามารถประมาณได้ว่าดาวทุกดวงในกลุ่มเมฆแมกเจลแลนมีระยะห่างจากเราโดยประมาณเท่ากันหมด ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างคาบและโชติมาตรปรากฏที่สังเกตได้จะบ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างคาบและโชติมาตรสัมบูรณ์ หรือความสัมพันธ์ระหว่างคาบและสภาพส่องสว่างสำหรับดาวแปรแสงเหล่านั้น จากการหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบและโชติมาตรปรากฏลีวิตต์พบว่ายิ่งดาวแปรแสงมีคาบยาวมันจะมีค่าโชติมาตร ปรากฏน้อยลง นั่นหมายความว่าดาวปรากฏสว่างขึ้นนั่นเอง รูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างลอการิธึมของคาบและค่าโชติมาตรสัมบูรณ์จักษุภาพของดาวแปรแสงเซเฟอิด ความสัมพันธ์นี้เราสามารถตรวจสอบได้ โดยวัดโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวเซเฟอิดอย่างน้อยสองสามดวงซึ่งไม่ขึ้นต่อกันครึ่งหนึ่ง และเราสามารถนำกราฟที่ได้นี้ไปใช้กับดาวเซเฟอิดดวงอื่น ๆ ซึ่งเราทราบคาบของมันแล้ว



รูป 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบและสภาพส่องสว่างของดาวแปรแสง

ที่จริงในการหาความสัมพันธ์ระหว่างคาบและโชติมาตรของดาวแปรแสงนั้น ค่าโชติมาตรที่สังเกตได้จะเป็นค่าโชติมาตรปรากฏเท่านั้น สำหรับการหาค่าโชติมาตรสัมบูรณ์เราจะต้องทราบระยะทางของดาวเซเฟอิดต่าง ๆ เสียก่อน ในกรณีของดาวเซเฟอิดที่อยู่นอกดาราจักรของเราออกไป เราไม่สามารถวัดระยะทางของดาวเหล่านั้นได้ อย่างไรก็ตาม **ฮาร์โลว์ แชปเลย์ (Harlow shapley)** ได้พยายามวัดระยะทางของดาวแปรแสงเซเฟอิดที่อยู่ภายในดาราจักรของเรา เขาพบว่าแม้ดาวเซเฟอิดที่อยู่ใกล้ที่สุดก็ยังไม่สามารถวัดค่าพารัลแลกซ์ตรีโกณมิติได้ เนื่องจากไม่มีดาวเซเฟอิดที่อยู่ใกล้กันอย่างเพียงพอ และเมื่อพิจารณาด้วยวิธีพารัลแลกซ์สเปกโทรสโกปิก ก็พบว่า ชั้นของสเปกตรัมของดาวแปรแสงเหล่านั้นมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเขาจึงต้องหาด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ระยะทางของดาว ผลที่ได้ปรากฏว่าไม่ค่อยถูกต้องแน่นอนนัก

(2) ดาวแปรแสงเซเฟอิดชนิดที่ 2 (Type II Cepheids)

ในต้นทศวรรษของปี 1950 วอลเตอร์ บาด (Walter Baade) ได้ตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างคาบและโชติมาตรสัมบูรณ์เขาได้พบว่า ดาวเซเฟอิดที่มีคาบกำหนดให้มีความสว่างกว่าที่คิดไว้แต่แรกถึง 1.5 โชติมาตร ซึ่งหมายความว่าระยะห่างที่แท้จริงของดาวเซเฟอิดอยู่ห่างไกลกว่าที่คิดไว้แต่เดิมถึง 2 เท่า การค้นพบข้อผิดพลาดอย่างมากมายนี้เกิดจากความสับสนแต่แรกเริ่มที่ให้ดาวเซเฟอิดต่าง ๆ กันเป็นชนิดเดียวกัน จุดที่ผิดพลาดก็คือไม่มีดาวเซเฟอิดที่อยู่ใกล้กันอย่างเพียงพอสำหรับการหาระยะทางด้วยพารัลแลกซ์ตรีโกณมิติ แต่ต้องหาด้วยวิธีทางสถิติมากกว่า อย่างไรก็ตามในการพิจารณาตอนแรกได้รวมเอาดาวแปรแสงสองกลุ่มเข้าด้วยกัน ซึ่งขณะนี้เราทราบแล้วว่ามันแตกต่างจากดาวแปรแสงเซเฟอิดยุคเก่ามากทีเดียวเข้าไปด้วย และดาวแปรแสงสองกลุ่มนั้นก็คือดาวเซเฟอิดชนิดที่ 2 หรือดาวดับบลิวเวอร์จีนีส (W

Verginis Stars) และอีกกลุ่มหนึ่งคือ อาร์ อาร์ ไลรา หรือดาวแปรแสงกระจุกดาว และเราจะจัดให้ดาวแปรแสงทั้งสองกลุ่มนี้เป็นดาวแปรแสงเซเฟอิดชนิดที่ 2 รูป 4.1 ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคาบและสภาพส่องสว่างสำหรับดาวแปรแสงเซเฟอิดชนิดที่ 2 นี้ด้วย

ดาวแปรแสงเซเฟอิดยุคเก่าเป็นดาวที่สว่างที่สุด จึงทำให้มันมีความสำคัญมากเหมือนเป็นเครื่องชี้ระยะทาง กลุ่มดาวอื่น ๆ ซึ่งมีดาวเซเฟอิดอยู่ด้วยสามารถพิจารณาระยะทางของมันได้จากความสัมพันธ์นี้ และสภาพส่องสว่างค่าสูงหมายถึงเราสามารถสังเกตมันได้ที่ระยะทางห่างไกลมาก ๆ มีที่น่าสนใจก็คือ ความผิดพลาดสัมพัทธ์ในการหาระยะทางของดาวเซเฟอิดดวงหนึ่งไม่ขึ้นกับระยะทางของมัน

จากสมการ (2.24) เราสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$M = m + 5 - 5 \log r = m + 5 - 2.17 \ln r \qquad (4.2)$$

ถ้าสมมุติว่าโชติมาตรปรากฏสามารถวัดด้วยความถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นความไม่แน่นอน $\triangle M$ ในโชติมาตรสัมบูรณ์จะทำให้มีความไม่แน่นอน $\triangle r$ ในระยะทางของดาว ถ้าปริมาณเหล่านี้มีค่าน้อย ดังนั้นโดยใช้อนุพันธ์กับสมการข้างบนเราจะได้

$$\frac{\triangle r}{r} = -0.46 \triangle M \qquad (4.3)$$

ถ้าความสัมพันธ์คาบ-สภาพส่องสว่างสำหรับดาวเซเฟอิดมีความถูกต้องภายใน 0.25 ในโชติมาตรสัมบูรณ์เราจะทราบระยะทางของดาวเซเฟอิดทั้งหมดถูกต้องประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และเรายังต้องทราบการลดลงของแสงเนื่องจากผลการดูดกลืนของสสารระหว่างดาวถูกต้องแม่นยำด้วย

เนื่องจากดาวดับบิวเวอร์จีนีสเป็นดาวประชากรประเภทที่ 2 ส่วนดาวเซเฟอิดยุคเก่าเป็นดาวประชากรประเภทที่ 1 และรูปแบบที่แน่นอนของกระจุกดาวจะอยู่ในบริเวณที่แน่นอนของดาราจักร และดาราจักรที่แน่นอนทั้งหมดจะประกอบด้วยวัตถุตั้งแต่แรกเริ่มของประชากรอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังนั้นดาวดับบลิวเวอร์จีนีส และดาวเซเฟอิดยุคเก่าจะไม่เกิดขึ้นด้วยกัน และดาวทั้งสองกลุ่มจะมีความแตกต่างกันมาก ดาวดับบลิว เวอร์จีนีสดูเหมือนว่ามีความสว่างจางกว่าดาวเซเฟอิดยุคเก่าประมาณ 1.5 โชติมาตรเมื่อมีคาบยาวเท่ากัน

ดาวแปรแสง อาร์ อาร์ ไลรา เป็นดาวประชากรประเภทที่ 2 ซึ่งมีคาบการแปรแสงสั้นมากประมาณจากสองสามชั่วโมงถึงหนึ่งวัน ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์เฉลี่ยประมาณ 0.5 และความสว่างของมันดูเหมือนว่าจะไม่ขึ้นกับคาบการแปรแสงของมันด้วย จากการพิจารณาดาวประเภทนี้

บนแผนภาพ เฮช-อาร์ (H-R Diagram) พบว่าจะตกอยู่บนตำแหน่งของกระจุกดาวทรงกลมพอดี และจากการสังเกตก็พบว่า ดาวประเภทนี้มักจะปรากฏอยู่บริเวณของกระจุกดาวทรงกลมเป็นส่วนมากด้วย

เมื่อพิจารณาเส้นโค้งความสว่างของดาว อาร์ อาร์ ไลรา พบว่ามันมีความต่อเนื่องอย่างสม่ำเสมอ และตอนช่วงความสว่างเพิ่มขึ้นเส้นโค้งจะมีความชันมากกว่าในขณะความสว่างลดลง อย่างไรก็ตาม **แซนฟอร์ด (Sanford)** และ**สตราฟ (Struve)** พบว่าเส้นโค้งความเร็วของดาวประเภทนี้มีความไม่ต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วงที่มีความสว่างเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นดาวแปรแสง อาร์ อาร์ ไลรา ยังแสดงสมบัติที่แปลกประหลาดเมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมของมันด้วย กล่าวคือเส้นบัลเมอร์ของไฮโดรเจน จะปรากฏเป็นช่วงสั้นในขณะที่มีความสว่างเพิ่มขึ้น และก่อนที่เส้นโค้งจะขาดความต่อเนื่องแล้วก็จางหายไปในที่สุด สเปกตรัมเฉลี่ยของดาวประเภทนี้มีช่วงตั้งแต่ชนิด A จนถึง F

เราสามารถพบดาวอาร์ อาร์ ไลรา ได้ในบริเวณใกล้เคียงกับระบบสุริยะของเราบ้างเหมือนกัน แต่ที่พบมากเมื่อเข้าใกล้ใจกลางของดาราจักรของเราและออกไปนอกระนาบของดาราจักร

สำหรับดาวดับบลิว เวอร์จีนีส เราพบมากในกระจุกดาวทรงกลมและบริเวณใจกลางของดาราจักร จากการพิจารณาแผนภาพเฮช-อาร์ พบว่าดาวประเภทนี้อยู่ต่ำกว่าตำแหน่งของดาวเซเฟอิดยุคเก่าลงไป และอยู่ใกล้กับแถบของดาวยักษ์ (Giant Branch) มีชนิดของสเปกตรัมโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง F2 และ G2 ส่วนค่าโชติมาตรสัมบูรณ์อยู่ในช่วงระหว่าง -0.5 ถึง -2.5 มีคาบการแปรแสงตั้งแต่ 2 วัน ถึง 75 วัน แต่โดยเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 17 วัน

ถึงแม้ว่าดาวประเภทนี้เกือบทั้งหมดพบอยู่ในกระจุกดาวทรงกลม แต่ก็ยังมีดาวบางดวงพบอยู่ในดาราจักรของเรา และมีสมบัติสองประการที่เหมือนกับดาวประชากรประเภทที่ 2 ที่พบในดาราจักรของเราคือ

(1) มันอยู่ห่างจากระนาบของดาราจักรมากพอสมควร ดังนั้นเราจึงมักพบว่าดาวประเภทนี้อยู่ห่างจากระนาบของทางช้างเผือกอย่างน้อย 1750 พาร์เซก

(2) ดาวประเภทนี้ทุกดวงจะมีความเร็วสูงมากเมื่อเทียบกับดวงอาทิตย์

4.3 ดาวแปรแสง อาร์ วี ทอรี

ดาวแปรแสง อาร์วีทอรี เป็นดาวประชากรประเภทที่ 2 เช่นกัน มีคาบการแปรแสงในช่วง 60 ถึง 100 วัน ดาวแปรแสงอาร์ วี ทอรีนี้ไม่เชิงเป็นดาวแปรแสงสม่ำเสมอเสียทีเดียว กล่าวคือมันอาจจะเป็นประเภทของดาวที่มีสมบัติเชื่อมต่อระหว่างดาวแปรแสงเซเฟอิดกับ

ดาวแปรแสงกึ่งสม่ำเสมอ และมีสมบัติใกล้ชิดกับดาวดับบลิว เวอร์จีนีสมาก ถึงแม้ว่าเราจะสามารถกำหนดคาบเฉลี่ยของดาวแปรแสง อาร์วี ทอรี ได้ แต่เส้นโค้งความสว่างของดาวประเภทนี้จะไม่เสถียร และมีรูปร่างและคาบไม่แน่นอน

ชนิดของสเปกตรัมของดาวแปรแสงอาร์วี ทอรี มีการเปลี่ยนแปลงจากชนิด หลัง G (Late G Type) จนกระทั่งถึงชนิดก่อน M (Early M Type) มีค่าโชติมาตรเฉลี่ยประมาณ −3 เมื่อพิจารณาจากเส้นโค้งความเร็วพบว่า ดาวประภทนี้มีความคล้ายคลึงกับดาวเซเฟอิดชนิดที่ 2 มากกว่าดาวเซเฟอิดยุคเก่า และเมื่อพิจารณาจากสเปกตรัมก็ปรากฏผลเช่นเดียวกัน ดังนั้นดาวประเภทนี้จึงปรากฏมีเส้นสเปกตรัมสว่าง และยังมีเส้นมืดที่แตกเป็นคู่ เนื่องจากการเคลื่อนที่ของสสารในดาวประเภทนี้ นอกจากนั้นดาวแปรแสงอาร์วี ทอรี เกือบทั้งหมดพบอยู่ในบริเวณกระจุกดาวทรงกลมและเป็นดาวที่มีความเร็วสูงมาก

4.4 ดาวแปรแสงคาบยาว

ดาวแปรแสงที่มีคาบประมาณ 100 วันหรือมากกว่าขึ้นไป เราสามารถแบ่งออกอย่างกว้าง ๆ ได้ 2 ชนิดคือ (ก) ชนิดไมรา (Mira Type) และ (ข) ชนิดแปรแสงคาบยาว (Long-period Variables)

ดาวแปรแสงชนิดไมรา เป็นดาวจำพวกดาวยักษ์แดง และดาวยักษ์ ซึ่งมีคาบการแปรแสงสม่ำเสมอ โดยมีคาบเฉลี่ยประมาณ 150 วัน ถึง 450 วัน และในบางครั้งอาจมีคาบเปลี่ยนแปลงไปจากนี้บ้างเล็กน้อย สำหรับการส่องสว่างพบว่ามันมีความสว่างเปลี่ยนแปลงไปประมาณ 5 โชติเมตร และอาจจะมากเกิน 10 โชติมาตร ในแผนภาพเฮช-อาร์พบว่าดาวประเภทนี้จะมีตำแหน่งคร่อมอยู่บนแถบดาวยักษ์พอดี ซึ่งมีชนิดของสเปกตรัมแบบ M, R, N, S) และพบว่าดาวที่มีสภาพส่องสว่างมากจะมีคาบการแปรแสงสั้นกว่า ค่าโชติมาตรสัมบูรณ์เฉลี่ยประมาณ −2.2 สำหรับดาวประเภทนี้ที่มีคาบการแปรแสง 150 วัน และสำหรับดาวที่มีคาบการแปรแสง 400 วัน จะมีโชติมาตรสัมบูรณ์เฉลี่ยประมาณ 0.3 เนื่องจากดาวแปรแสงชนิดนี้เกือบทั้งหมดอยู่ไกลจากโลกมากค่าพารัลแลกซ์ตรีโกณมิติจึงมีค่าน้อยจนไม่อาจจะวัดได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีการทางสถิติหาค่าระยะทาง เป็นผลให้สามารถหาค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ของดาวแปรแสงชนิดนี้ได้ ดาวไมราดวงแรกที่ค้นพบเป็นดาวยักษ์แดงมีมวลประมาณ 10 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ เส้นผ่าศูนย์กลางเป็น 100 เท่าของดวงอาทิตย์ มีคาบการแปรแสง 330 วัน ความสว่างสูงสุดในรอบต่าง ๆ ไม่เท่ากัน โดยแปรระหว่างโชติมาตรที่ 3 และโชติมาตรที่ 5 และตอนหรี่แสงที่สุดจะแปรจากโชติมาตรที่ 8 ถึงโชติมาตรที่ 10 ซึ่งมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า

ดาวแปรแสงคาบยาวชนิดที่สอง เรียกว่าดาวแปรแสงชนิดคาบยาว หรือเรียกว่า ดาว-แปรแสง แอล พี (LP Variable) เป็นดาวแปรแสงที่มีสมบัติคล้ายกับดาวแปรแสงชนิดไมรามาก

แต่มีความแตกต่างสำหรับดาวทั้งสองชนิดที่สามารถเห็นได้ คือ กำลังส่องสว่างของดาวชนิดนี้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 2.5 โชติมาตรในหนึ่งคาบของการแปรแสง สำหรับในแผนภาพเฮช-อาร์ ดาวชนิดนี้จะอยู่แถวบริเวณปลายความยาวคลื่นสีแดงของดาวยักษ์ และค่าโชติมาตรสัมบูรณ์เฉลี่ยมีค่าตั้งแต่ +1 ถึง −2 ซึ่งดาวที่มีคาบสั้นกว่าจะสว่างกว่าดาวที่มีคาบยาว

ชนิดสเปกตรัมของดาวไมรา เซติ (Mira Ceti) มีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ M6 ในขณะที่สว่างมากที่สุดจนถึง M9 ในขณะที่สว่างน้อยที่สุด จากการพิจารณาสเปกตรัม พบว่ามีแถบโมเลกุลของไทแทเนียมออกไซด์ (TiO) เด่นชัดมาก และยังพบว่ามีเส้นสเปกตรัมของโลหะอีกด้วย สำหรับดาวที่มีกำลังส่องสว่างน้อยลง ทั้งแถบโมเลกุลและเส้นสเปกตรัมของโลหะจะเข้มมากขึ้น ซึ่งผลอันนี้สอดคล้องกับการสังเกตการณ์ด้วยเครื่องวัดคลื่นวิทยุ (Radiometric Observations) สำหรับสเปกตรัมของดาวแปรแสงชนิดแอลพี จะมีลักษณะที่น่าสนใจคือ ในขณะที่ดาวมีความสว่างสูงสุดจะปรากฏมีเส้นของไฮโดรเจนแบบสว่างเกิดขึ้น ดังนั้นเราจึงใช้การปรากฏเส้นสว่างของไฮโดรเจน และการปรากฏแถบโมเลกุลของสสารซึ่งเป็นลักษณะที่เด่นชัดในสเปกตรัมของดาวแปรแสงคาบยาวเหล่านี้เป็นตัวกำหนดชนิดของดาวประเภทนี้

กลไกของการเกิดเส้นสว่างของไฮโดรเจนซึ่งเป็นลักษณะเด่นชัดในขณะที่ดาวแปรแสงคาบยาวมีความสว่างน้อยลง และปรากฏไม่เด่นชัดเมื่อความสว่างของดาวเพิ่มขึ้น นักดาราศาสตร์คาดว่า น่าจะเกิดจากบริเวณส่วนลึกใต้บรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ลงไป และโดยที่ความเข้มของเส้นสว่างมีการเปลี่ยนแปลงก็อาจเนื่องมาจากดาวมีการยุบตัวลง และขยายตัว หรืออาจจะกล่าวว่า เมื่อดาวกำลังยุบตัวลงจะมีกำลังส่องสว่างมากที่สุดและบรรยากาศมีความหนาแน่นมากเป็นผลให้เส้นสว่างถูกบดบังหมด และในทางกลับกันขณะที่ดาวมีการขยายตัว บรรยากาศในชั้นโฟโตสเฟียร์จะเบาบางลง ซึ่งเป็นผลทำให้เส้นสว่างปรากฏออกมาอย่างเด่นชัด

แนวความคิดนี้ยังเป็นข้อถกเถียงกันอยู่ว่า การแปรแสงของดาวไมราเป็นเพราะมันขยายตัวและหดตัวเท่านั้นหรือ ได้มีผู้เสนอข้อสมมติฐานว่าการแปรแสงของดาวเหล่านี้เกิดจากการที่มีแนวปะทะของบรรยากาศร้อน (Hot Front) ขยายตัวจากใต้บรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์เคลื่อนที่ออกมาและสลายตัวในชั้นบรรยากาศระดับสูงสุด ซึ่งคลื่นที่สลายตัวไปนั้นอาจจะทำให้แก๊สกลั่นตัวลงเป็นหยดเหมือนเมฆห่อหุ้มบังบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ไว้จนกว่ามันจะระเหยหายไปหมด

4.5 กลไกของการแปรแสง

ในปัจจุบันนักดาราศาสตร์ได้ยอมรับว่าการแปรแสงของดาวเกิดจากการยุบตัวและขยายตัวของดาวตามแนวรัศมี (Radial Pulsation) และแบบจำลองของดาวแปรแสงชนิดต่าง ๆ

ก็อาศัยหลักเกณฑ์ดังกล่าวนี้เป็นพื้นฐานทั้งสิ้น

แม้ว่าทฤษฎีของการยุบตัวและขยายตัวของดาวแปรแสงจะยุ่งยากและสลับซับซ้อนมากเกินกว่าที่จะนำมาอธิบายได้ในที่นี้ แต่ก็มีที่น่าสนใจมากเรื่องหนึ่งเกี่ยวกับทฤษฎีพอที่จะกล่าวในรายละเอียดได้พอสมควร นั่นก็คือความสัมพันธ์ระหว่างคาบของการยุบตัวและขยายตัวและความหนาแน่นเฉลี่ยของดาวแปรแสง การพิจารณาความสัมพันธ์นี้เราจะพิจารณาในหนึ่งหน่วยมวลของพื้นผิวดาวแปรแสงที่มีรัศมี R เคลื่อนที่กลับไปกลับมาด้วยคาบ P ซึ่งขึ้นกับแรงที่กระทำต่อมวลนี้ นั่นคือมวลมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง g และรัศมี R ของดาวนั่นเอง ดังนั้นเราจะได้ความสัมพันธ์ของคาบในพจน์ของรัศมีและแรงโน้มถ่วง เมื่อรวมหน่วยของปริมาณทั้งสองนี้จะพบว่ามันอยู่ในพจน์ของเวลา ดังนั้นคาบ P จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ $\sqrt{R/g}$ โดยมีข้อกำหนดว่าการยุบตัวลงและการขยายตัวเป็นผลเนื่องจากความไม่สมดุลระหว่างความดันแก๊สและความโน้มถ่วง

เมื่อพิจารณาความหมายทางฟิสิกส์ของดาวประเภทนี้ ก็พบว่าความสัมพันธ์นี้น่าจะเป็นจริง เนื่องจากว่าถ้าดาวมีขนาดใหญ่ (R มาก) ดาวจะมีการยุบตัวและขยายตัวเชื่องช้ามาก (คาบยาว) และยังพบว่าถ้าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงมากทำให้ดาวมีการยุบตัวและขยายตัวอย่างรวดเร็ว (คาบสั้น)

จากความสัมพันธ์

$$g = \frac{GM}{R^2} \tag{4.4}$$

เมื่อ M คือมวลของดาวแปรแสง G คือค่าคงที่ของความโน้มถ่วงสากล เมื่อแทนค่า g ลงในความสัมพันธ์ของคาบและความโน้มถ่วง เราจะได้

$$P \propto \sqrt{\frac{R^3}{GM}} \tag{4.5}$$

กำหนดให้ความหนาแน่นเฉลี่ยของดาวแปรแสงเป็น

$$\bar{\rho} = \frac{M}{\frac{4\pi}{3} R^3} \tag{4.6}$$

ดังนั้นคาบ P จะสัมพันธ์กับความหนาแน่นเฉลี่ย $\bar{\rho}$ ด้วยสมการ

$$P \propto \frac{1}{\sqrt{\bar{\rho}}}$$

หรือ $$P\sqrt{\bar{\rho}} = C \tag{4.7}$$

โดยที่ C คือค่าคงที่ใด ๆ

ในกรณีของดาวแปรแสงเซเฟอิด โดยคิดว่าดาวแปรแสงประเภทนี้มีความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณเท่ากับความหนาแน่นเฉลี่ยของดวงอาทิตย์ (คือ 1.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร) และมีคาบเฉลี่ยเท่ากับ 2 ชั่วโมง ดังนั้นเราจะได้ว่า

$$C = P\sqrt{\rho} = \sqrt{5.6} \qquad (4.8)$$

เราสามารถนำค่าคงที่นี้ไปใช้กับดาวแปรแสงทุกชนิดได้ เช่นเมื่อพิจารณาดาวเดลตา เซฟาย ซึ่งมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 5.6×10^{-4} กรัมต่อลูกบาศก์เซ็นติเมตร เราจะพบว่ามันมีคาบประมาณ 100 ชั่วโมง ซึ่งสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการสังเกตสำหรับดาวประเภทนี้คือ 5.37 วัน

จากสมการ (4.8) เราอาจจะสรุปสมบัติของดาวแปรแสงโดยทั่ว ๆ ไปได้ว่า ดาวแปรแสงคาบสั้นจะมีความหนาแน่นมากกว่าดาวแปรแสงคาบยาว เมื่อได้สมมุติให้ดาวทั้งสองชนิดมีมวลเท่ากัน

แม้ว่าเราสามารถเข้าใจทฤษฎีการยุบตัวและการขยายตัวของดาวจากการพิจารณาเส้นโค้งความสว่างเป็นส่วนใหญ่ได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมีปัญหาใหญ่อีกอย่างหนึ่งตามมา ก็คือปัญหาเกี่ยวกับการล่าช้าของเฟส (Phase-lag Problem) เพื่อที่จะเข้าใจปัญหานี้ เราต้องเริ่มต้นพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังส่องสว่างและโครงสร้างภายในของดาวเสียก่อน เราทราบแล้วว่าในขณะที่ดาวมีการยุบตัวลงอุณหภูมิภายในจะเพิ่มสูงขึ้น และดาวจะมีกำลังส่องสว่างมากขึ้น เนื่องจากมีอัตราการผลิตพลังงานสูง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ดาวจะมีกำลังส่องสว่างมากที่สุดเมื่อมีการยุบตัวมากที่สุด อย่างไรก็ตามจากการสังเกตเส้นโค้งความเร็วของดาวแปรแสง พบว่าดาวจะมีกำลังส่องสว่างมากที่สุดในขณะก่อนที่ดาวจะมีการหดตัวมากที่สุดถึงหนึ่งในสี่ของคาบการแปรแสง หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือในขณะที่ดาวมีความเร็วของการขยายตัวมากที่สุดนั่นเอง นักดาราศาสตร์พยายามที่จะแก้ปัญหาความขัดแย้งระหว่างทฤษฎีและสังเกตการณ์เพื่อให้สอดคล้องกัน พบว่าในทฤษฎีของการขยายตัวและหดตัวของดาวฤกษ์นั้น ได้สมมุติให้ทุก ๆ ตำแหน่งภายในดาวมีการเคลื่อนที่ขึ้นและลงพร้อมกันหมด (in phase) ซึ่งทำให้กำลังส่องสว่างของดาวมากที่สุดในขณะที่ดาวมีการยุบตัวมากที่สุด ดังนั้น ชวาร์ซชิลด์ (M. Schwarzschild) จึงได้เสนอแนวความคิดใหม่ว่าการยุบตัวและการขยายตัวของสสารภายในและพื้นที่ผิวของดาวแปรแสงเป็นไปอย่างไม่พร้อมกัน (out of phase) และได้พยายามพัฒนาทฤษฎีนี้จนมีความสอดคล้องกับสังเกตการณ์ได้ในที่สุด

นักดาราศาสตร์ได้พยายามหาเหตุผลมาอธิบายเกี่ยวกับการยุบตัวและการขยายตัวของดาวแปรแสงว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร และทำไมการยุบตัวและการขยายตัวจึงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอเป็นช่วงเวลานาน ๆ ได้ ในดาวแปรแสงบางประเภท

ปัญหาเหล่านี้เราอาจจะเข้าใจได้ โดยพิจารณาจากกลไกภายในของดาวฤกษ์ที่อยู่ในสภาวะเสถียร เช่น ดวงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งตราบเท่าที่กลไกการผลิตพลังงานภายในดาวฤกษ์ยังดำเนินต่อไปอย่างสม่ำเสมอแล้ว ดาวจะไม่มีการยุบตัวหรือขยายตัวแต่อย่างไร เนื่องจากความสมดุลทางอุณหพลวัตตามที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามถ้าเมื่อใดกลไกการผลิตพลังงานภายในดาวฤกษ์เกิดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน เช่น เกิดการเปลี่ยนแปลงจากการผลิตพลังงานนิวเคลียร์แบบลูกโซ่โปรตอน-โปรตอน ไปเป็นการผลิตพลังงานนิวเคลียร์ชนิดอื่นจะทำให้ดาวฤกษ์มีการขยายต่อหรือยุบตัวได้ ดังนั้นถ้าการปล่อยพลังงานออกจากดาวฤกษ์ถูกยับยั้งด้วยกลไกใด ๆ แรงโน้มถ่วงจะสามารถเอาชนะแรงดันจากภายในได้ ดาวก็จะมีการยุบตัวลงและในขณะเดียวกัน ดาวที่เริ่มยุบตัวลงอุณหภูมิภายในจะเริ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิหนึ่ง ปฏิกิริยานิวเคลียร์จะเกิดขึ้นอีก ทำให้มีพลังงานจำนวนมหาศาลถูกปล่อยออกมา ดาวจะเริ่มขยายตัวออกอีกครั้ง ซึ่งจะทำให้ความดันและอุณหภูมิของดาวลดลงอีกจนกระทั่งปฏิกิริยาหลอมนิวเคลียสหยุดลง ดาวฤกษ์ก็จะยุบตัวลงอีกครั้ง เป็นเช่นนี้ต่อเนื่องสลับกันไปเรื่อย ๆ

อย่างไรก็ตาม เมื่อได้พิจารณาถึงรายละเอียดของกลไกดังกล่าวนี้ พบว่ายังมีความยุ่งยากอีกมาก ประการแรกก็คือ การสูญเสียพลังงานในขบวนการยุบตัวและขยายตัวไปเป็นพลังงานความร้อนเนื่องจากการเสียดทาน ดังนั้นถ้ากลุ่มแก๊สทรงกลม เช่น ดวงอาทิตย์ถูกอัดด้วยแรงมหาศาล ทำให้มันมีการยุบตัวหรือขยายตัว แต่เนื่องจากแรงเสียดทานของการขยายตัวหรือการยุบตัวจะถูกหน่วงและจะหยุดลงภายในเวลาอันรวดเร็วในที่สุด อย่างไรก็ตาม ถ้าหากว่าการยุบตัวของดาวสามารถกระตุ้นปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบใหม่ให้เกิดขึ้นได้ ซึ่งจะก่อให้เกิดพลังงานมากขึ้นกว่าเดิม พลังงานส่วนเกินก็อาจจะไปทดแทนพลังงานสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานได้ ทำให้ดาวมีการยุบตัวและขยายตัวอย่างต่อเนื่องต่อไปได้เรื่อย ๆ พลังงานส่วนเกินที่มาชดเชยพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากการเสียดทาน จะถูกปล่อยออกมาเป็นช่วง ๆ ซึ่งจะต้องสอดคล้องกับคาบของการแปรแสงของดาวฤกษ์ดวงนั้น อย่างไรก็ตาม เราพบว่าไม่มีปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบลูกโซ่ชนิดใดที่มีวัฏจักรการเกิดปฏิกิริยาสอดคล้องกับคาบของการแปรแสง ดังนั้นสิ่งที่พอจะเป็นไปได้ก็คือ น่าจะมีการสร้างนิวเคลียสกัมมันตรังสี (Radiactive Nuclei) ขึ้นในขณะที่ดาวแปรแสงมีการยุบตัวลง ถ้านิวเคลียสกัมมันตรังสีถูกสร้างขึ้นเป็นจำนวนมากเพียงพอ และคาบการสลายตัวของนิวเคลียสเหล่านี้มีค่าประมาณเท่ากับคาบของการยุบตัวและขยายตัวแล้ว เราก็อาจจะกล่าวได้ว่าพลังงานที่ปล่อยออกมาเนื่องจากการสลายตัวของนิวเคลียสเหล่านี้เองที่เป็นกลไก ทำให้มีการยุบตัวและขยายตัวของดาวแปรแสง

ในกรณีของดาวเซเฟอิด เมื่อพิจารณาความเป็นไปได้ของกลไกการยุบตัวหรือขยายตัว นอกจากจะเกิดได้จากปฏิกิริยานิวเคลียร์แบบใหม่ ยังพบว่ามีกลไกอีกชนิดหนึ่งที่มีความเป็นไปได้ที่เป็นตัวการกระตุ้นให้ดาวมีการยุบตัวและขยายตัว นั่นคือบริเวณชั้นนอกของดาวแปรแสงซึ่งเป็นบริเวณที่แก๊สไฮโดรเจนและฮีเลียมได้แตกตัวเป็นไอออนครั้งหนึ่งทฤษฎีนี้นักดาราศาสตร์ฟิสิกส์ชาวรัสเซียชื่อ **เซวากิน (S.A. Zhevakin)** เป็นผู้เสนอ โดยสร้างแบบจำลองของดาวที่มีผิวชั้นนอกประกอบด้วยสารทั้งสองชนิดดังกล่าว ซึ่งปรากฏว่าแบบจำลองนี้มีความสอดคล้องกับข้อมูลจากการสังเกตการณ์เป็นอย่างดี ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม บริเวณชั้นนอกของดาวแปรแสงซึ่งประกอบด้วยไฮโดรเจนและฮีเลียมที่แตกตัวเป็นไอออนหนึ่งครั้ง จะเริ่มมีการยุบตัวและขยายตัว โดยที่เซวากินให้แนวความคิดว่า ในขณะเมื่อพลังงานที่ผลิตออกมาจากใจกลางของดาวฤกษ์ผ่านเข้ามายังบริเวณนี้ พลังงานไม่ได้ใช้ไปในรูปของพลังงานจลน์ที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุล แต่มีพลังงานส่วนหนึ่งถูกนำไปใช้ทำให้อะตอมแตกตัวเป็นไอออน เมื่อพลังงานหายไปส่วนหนึ่งจะทำให้สสารในบริเวณนั้นอยู่ในสภาวะไม่สมดุล และเริ่มมีการยุบตัวลงไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งการแตกตัวเป็นไอออนสิ้นสุดลง ในขณะนี้อะตอมที่แตกตัวเป็นไอออนจะเริ่มรวมตัวกันใหม่กับอิเล็กตรอน และปล่อยพลังงานแห่งการแตกตัวเป็นไอออนออกมา อุณหภูมิก็จะสูงขึ้น และสสารก็จะเริ่มขยายตัวออกไป

4.6 ดาวแปรแสงไม่สม่ำเสมอ

4.6.1 ดาวแปรแสงกึ่งสม่ำเสมอและไม่สม่ำเสมอ

ตัวอย่างของดาวแปรแสงไม่สม่ำเสมอ เช่น ดาว ที ทอรี่ (T Tauri) แต่ในบางครั้งพบว่าดาวประเภทนี้บางดวงมีการแปรแสงกึ่งสม่ำเสมอด้วย เมื่อพิจารณาจากแผนภาพ เฮช-อาร์ พบว่าดาวที ทอรี่ จะอยู่ในช่วงที่ดาวกำลังจะวิวัฒนาการเข้าสู่แถบขบวนหลัก ดังนั้นดาวประเภทนี้จึงยังมีอายุน้อย ในปี ค.ศ.1945 นักดาราศาสตร์ชื่อ **จอย (Joy)** ได้ค้นพบดาวที ทอรี่ ในกลุ่มแก๊สที่หนาแน่นบริเวณกลุ่มดาววัว (Taurus) ประมาณ 40 ดวง ที่มีการแปรแสงได้ นอกจากนั้นยังพบอีกว่าดาวประเภทนี้มีสเปกตรัมของเส้นสว่างและสเปกตรัมแบบต่อเนื่องที่มีความเข้มเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดาวประเภทนี้เกือบทั้งหมดเป็นดาวประชากรประเภทที่ 1 (Population I) ชนิดดาวแคระแดงหรือดาวแคระเหลือง มีค่าโชติมาตรสัมบูรณ์ประมาณ + 5 และมีช่วงการเปลี่ยนแปลงโชติมาตรประมาณ 1.3 โชติมาตร

นอกจากดาวประเภท ที ทอรี่ แล้วยังมีดาวยักษ์แดงและดาวมหายักษ์แดงอีกหลายดวงที่มีการแปรแสงอย่างไม่สม่ำเสมอในขอบเขตค่อนข้างแคบ โดยมีการเปลี่ยนแปลงโชติมาตรไม่เกิน 0.5 โชติมาตร เช่น ดาวบีเทลจูส (Betelgause) ซึ่งเป็นดาวที่มีความสว่างที่สุดในดาวจำพวกนี้ พบในกลุ่มดาวนายพราน (Orion) ดาวที่น่าสนใจอีกดวงหนึ่งคือดาวแอลฟา เฮอร์คิวลีส

(Alpha Hercules) เป็นดาวที่มีขนาดใหญ่กว่าดวงอาทิตย์ 500 เท่า ระยะทางของดาวดวงนี้อยู่ห่างจากโลกประมาณ 500 ปีแสง มีการแปรแสงไม่สม่ำเสมอ และมีโชติมาตรเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 3.0 และ 4.0 จากการศึกษาลักษณะของสเปกตรัม นักดาราศาสตร์พบว่าดาวจำพวกนี้มีบรรยากาศหนาแน่น ซึ่งเป็นเมฆกำลังขยายตัวออกห่อหุ้มดาวดวงนี้อยู่ โดยแผ่กระจายออกห่างจากดาวเป็นระยะทางประมาณ 700 หน่วยดาราศาสตร์ และมีสสารกำลังพุ่งออกจากดาวเหล่านี้ด้วยอัตราเร็วสูงกว่าอัตราเร็วแห่งการหลุดพ้น (Escape Speed) และจะหลุดหายไป ทำให้บรรยากาศค่อย ๆ จางหายไป ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้ดาวมีการแปรแสง

4.6.2 ดาวแปรแสงชนิดระเบิด

ตัวอย่างของดาวแปรแสงจำพวกนี้ได้แก่ พวกนวดาราชนิดต่าง ๆ นอดาราเป็นชื่อเรียกดาวซึ่งแต่เดิมเป็นดาวสามัญธรรมดาไม่เป็นที่สังเกตเอาใจใส่ แต่ได้เปล่งแสงจ้าขึ้นโดยทันทีแล้วค่อย ๆ ลดความสว่างลงสู่ระดับเดิม ดาวจำพวกนี้สามารถจำแนกออกเป็นประเภทต่าง ๆ คือ นวดาราสามัญ (Typical Nova) นวดาราซ้ำรอย (Recurrent Nova) นวดาราแคระ (Dwarf Nova) และมหานวดารา (Super Nova)

1) นวดาราสามัญ

เมื่อก่อนที่ดาวชนิดนี้จะส่งแสงจ้าขึ้นนั้น มันมีขนาดเล็กกว่าดวงอาทิตย์แต่มีความหนาแน่นสูงกว่าดวงอาทิตย์ เป็นที่เข้าใจกันว่ามันเป็นดาวสภาพกึ่งทรุด (Semidegenerate Star) และกำลังวิวัฒนาการไปสู่สภาพดาวแคระขาวโดยการยุบตัวลง การยุบตัวลงทำให้อุณหภูมิของดาวสูงขึ้น ก่อให้เกิดพลังงานมากเกินกว่าที่จะแผ่รังสีออกมาทางผิวซึ่งมีพื้นที่จำกัด จึงจำเป็นต้องระเบิดออกมาเป็นจังหวะตามกัน เพื่อถ่ายเทพลังงานส่วนที่เกินพอเหมาะออกมาปนกับส่วนของสสารที่ปลิวออกไปในรูปของแก๊ส มวลสารทั้งหมดที่กระจายออกมาจากการระเบิดมีประมาณหนึ่งในหมื่นของมวลสารของดาวดวงนั้น จากการวิเคราะห์สเปกตรัมของดาวจำพวกนี้นักดาราศาสตร์สามารถคำนวณได้ว่า กลุ่มแก๊สมีการกระจายออกมาด้วยความเร็วสูงกว่า 3,000 กิโลเมตรต่อวินาที และในขณะที่แก๊สร้อนกำลังขยายตัวพุ่งออกมาจากการระเบิด ดาวอาจจะสว่างเพิ่มขึ้นกว่าเดิม 60,000 เท่า หรือโชติมาตรสูงขึ้นถึง 12 อันดับ

ในตอนต้นของการระเบิด แก๊สที่ขยายตัวพุ่งออกมายังมีความหนาทึบมาก สเปกตรัมจะปรากฏเป็นเส้นมืดซึ่งเลื่อนที่ไปทางม่วง ทำให้ดูเหมือนว่าดาวทั้งดวงกำลังพองตัวออกมาอย่างรวดเร็วและมากมาย เมื่อดาวเปล่งแสงจ้าที่สุดแล้วไม่นานแก๊สกลับเบาบางลงและโปร่งใส สเปกตรัมก็จะปรากฏเส้นสว่างซึ่งไม่เลื่อนที่แต่เป็นเส้นแผ่กว้าง แสดงว่าแสงมาจากทั้งแก๊สที่กำลังเคลื่อนที่เข้าหาและออกจากผู้สังเกตการณ์ ขอบทางม่วงของเส้นสว่างแผ่กว้างปรากฏมีเส้นมืดอยู่ด้วย แสดงว่ามีแก๊สห่อหุ้มอยู่ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า กำลังขยายตัวออกไปในชั้น

นอกบังอยู่และดูดกลืนแสงในเวลาต่อมาเมื่อแก๊สห่อหุ้มจางลงอีก สเปกตรัมก็เปลี่ยนเป็นเส้นสว่างของเนบิวลาส่องสว่าง (Emission Nebula) ที่แตกต่างกันเฉพาะความกว้างของเส้นสเปกตรัม ในขณะเดียวกันความสว่างจะปรากฏจางลงเมื่อแก๊สห่อหุ้มขยายตัวและกระจัดกระจายไปจนกระทั่งเวลาผ่านไป 20 ถึง 40 ปี ดาวก็จะกลับคืนสู่สภาพปกติตามเดิม

ปรากฏการณ์ของนวดาราสามารถจำแนกออกเป็นสองช่วงคือ เฟสก่อนสว่างสุด (Premaximum phase) และเฟสหลังสว่างสุด (Postmaximum phase) เฟสก่อนสว่างสุดประกอบด้วยขั้นตอนดาวก่อนเป็นนวดารา (Pronova Star) ขั้นตอนนี้นักดาราศาสตร์จำนวนมากเชื่อว่า ดาวจะแสดงอาการเปลี่ยนแปลงความสว่างก่อนเกิดเหตุการณ์เพิ่มความสว่างขั้นต้น (Initial Rise) ซึ่งรวดเร็วมาก อาจกินเวลาเป็นชั่วโมงหรือเป็นวันเป็นอย่างมาก และเกิดการชะงักก่อนสว่างสุด (Premaximum Halt) ในขณะเมื่อมีโชติมาตรต่ำกว่าจุดสูงสุด 2 ระดับ แล้วจึงค่อยสว่างขึ้นขั้นสุดท้าย (Final Rise) อย่างช้า ๆ เฟสดังกล่าวนี้ยังไม่มีผู้ศึกษากันเพียงพอ เนื่องจากเรามักไม่ได้สังเกตเห็นนวดาราก่อนที่มันจะปรากฏสว่างที่สุด ถัดจากขั้นตอนที่กล่าวมานี้ก็มาถึงขั้นสว่างสุดประธาน (Principal Maximum) หลังจากนั้นความสว่างก็จะลดลงอย่างเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Decline) สู่สภาพสุดท้าย โดยมีลักษณะเหมือนเช่นก่อนเกิดเหตุการณ์ขึ้น การลดลงของความสว่างในตอนแรกนั้นมีการเปลี่ยนแปลงทางสเปกตรัมประกอบด้วย เมื่อความสว่างลดถอยลงได้ 3 ถึง 4 โชติมาตรจะมีเฟสแทรนซิชัน (Transition Phase) เกิดขึ้น ซึ่งเส้นกราฟของแสงจะมีการลดลงสู่สภาพความสว่างเดิมก่อนเป็นนวดาราทันที หรืออาจจะมีการขึ้น ๆ ลง ๆ อย่างรุนแรง หรืออาจจะมีการลดลงอย่างราบเรียบ โดยมีอาการขึ้นลงเพียงเล็กน้อย หลังจากระยะนี้แล้วนวดาราก็จะมีการลดลงขั้นสุดท้าย (Final Decline) สู่สภาพเป็นดาวหลังนวดารา (Post-Nova Star) จากการสังเกตพบว่าดาวหลังนวดาราส่วนมากหรือเกือบทั้งหมดเป็นระบบดาวคู่ปิด ซึ่งอาจแสดงอาการแปรปรวนทางความสว่างได้อย่างรุนแรง และยังพบว่าเฟสต่าง ๆ ของนวดาราดังกล่าวนี้จะมีสัดส่วนของเวลาคงที่ เป็นต้นว่าเฟสแทรนซิชันใช้เวลารวมหนึ่งในห้าของเหตุการณ์ทั้งหมด เช่น ถ้าเหตุการณ์ของนวดาราใช้เวลาทั้งหมดราว 100 วัน เฟสแทรนซิชันจะใช้เวลา 20 วัน และถ้าเหตุการณ์ของนวดาราใช้เวลาทั้งหมด 4 ปี เวลาในขั้นตอนเฟสแทรนซิชันจะนานถึง 290 วัน เป็นต้น ดังนั้นเส้นโค้งความสว่างของนวดาราทั้งหลายจะมีรูปลักษณะคล้ายคลึงกัน

2) นวดาราซ้ำรอบและนวดาราแคระ

นวดาราซ้ำรอบจะคล้ายกับนวดาราสามัญมาก ยกเว้นความสว่างของมันน้อยกว่านวดาราสามัญ คือ โชติมาตรจะสว่างขึ้นราว 7 ระดับเท่านั้น และแสดงปรากฏการณ์สว่างจ้าขึ้นแบบเดียวกับนวดาราสองครั้งขึ้นไป ความถี่ของการสว่างจ้าขึ้นมีความสัมพันธ์อย่างผกผัน

กลับกับความสว่างมากที่สุด ตัวอย่างเช่น ดาว อาร์ เอส โอฟิดูชิ (R.S. Ophiuchi) โดยปกติมีโชติมาตร 12 สว่างจ้าขึ้นเป็นโชติมาตร 4 ทันทีในปี ค.ศ.1893 และ 1933 และสว่างขึ้นเป็นโชติมาตร 5 ในปี ค.ศ.1958 ต่อมา มีผู้คาดการณ์ว่านวดาราส่วนมากเป็นนวดาราซ้ำรอบที่มีคาบยาวนานมาก

นวดาราแคระ หรือดาวยูเยมินอรัม (U Geminorum Stars) มีสมบัติหลายอย่างคล้ายนวดาราสามัญ เช่น ดาว เอส เอส ซิกนี (SS Cygri) ตามปกติมีโชติมาตร 12 และสว่างขึ้นทันทีเป็นโชติมาตร 8 แล้วกลับคืนสู่สภาพเดิมภายในเวลาไม่กี่วัน และเกิดเหตุการณ์เช่นนี้อีกเรื่อย ๆ แต่ไม่มีช่วงเวลาแน่นอน นักดาราศาสตร์ได้พบว่า ดาวดวงนี้เป็นดาวคู่นั่นเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้ค้นพบว่า นวดาราทั้งหลายเป็นดาวคู่ และได้ตั้งสมมติฐานว่าการเป็นดาวคู่เป็นเงื่อนไขจำเป็นที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นวดาราขึ้น

3) มหานวดารา

มันดูเหมือนกับนวดาราสามัญมาก แต่การปรากฏสว่างจ้ารุนแรงกว่ากันมาก ด้วยโชติมาตรสัมบูรณ์มากที่สุด ประมาณ - 15 ก่อนที่ดาวจะเป็นมหานวดาราแต่เดิมจะเป็นดาวฤกษ์ที่มีมวลมากกว่าดวงอาทิตย์มาก มีการวิวัฒนาการรวดเร็วกว่ามากจนมาถึงบั้นปลายของวิวัฒนาการ มันได้ใช้เชื้อเพลิงนิวเคลียร์แปรเป็นพลังงานการแผ่รังสีออกไปจนหมดแล้วและจะมีการระเบิดครั้งใหญ่ครั้งเดียวรุนแรงที่สุด ในการระเบิดครั้งนั้น ความสว่างของมันเพิ่มขึ้นถึงร้อยล้านเท่า และความสว่างของการระเบิดนี้เทียบได้ใกล้เคียงกับความสว่างรวมของดาวทั้งหมดในในดาราจักรนั้น มวลสารของดาวในขณะเกิดการระเบิดมีปริมาณเท่ากับมวลของดวงอาทิตย์ จะถูกสาดออกสู่อวกาศด้วยอัตราเร็วสูงมากถึง 10,000 กม./วินาที ซึ่งมากกว่าของนวดารามาก การสาดมวลสารเกือบทั้งหมดของดาวออกไปในอวกาศดูเหมือนกับลักษณะของดอกไม้บาน ความร้อนสูงในการระเบิดทำให้สสารแตกตัวเป็นประจุไฟฟ้า ซึ่งอยู่ในลักษณะพลาสมาและมีการเคลื่อนที่ลักษณะควงในสนามแม่เหล็ก ผลจากการสังเกตดาราจักรอื่น ๆ ซึ่งมีมหานวดารามากพอให้เห็นได้บ่อย สรุปได้ว่าจะมีการเกิดมหานวดาราเฉลี่ยหนึ่งครั้งเป็นเวลาหลายร้อยปีในแต่ละดาราจักร และในบางครั้งในบางดาราจักรอาจจะมีมหานวดาราเกิดได้บ่อยครั้งกว่าดาราจักรอื่น ๆ

เนบิวลาปู (Crab Nebula) ในหมู่ดาววัวซึ่งปัจจุบันเรารู้ว่ามันคือสสารที่สาดออกมาจากการเกิดมหานวดารานานมาแล้ว พลังงานทั้งหมดที่ปล่อยออกมาจากเนบิวลาปูเป็นการแผ่รังสีซินโครตรอน (Synchrotron Radiation) ซึ่งปล่อยออกมาจากอิเล็กตรอนที่มีอัตราเร็วสูงมากถูกเร่งด้วยสนามแม่เหล็ก มีคลื่นตั้งแต่คลื่นยาว เช่น คลื่นวิทยุ จนถึงคลื่นสั้นมาก เช่น อัลตราไวโอเลต และรังสีเอกซ์

แบบฝึกหัดที่ 4

4.1 จงอธิบายความแตกต่างระหว่างดาวเซเฟอิดยุคเก่าและดาวดับบลิว เวอร์จีนีส

4.2 จากการสังเกตทางสเปกโตรสโกปี เราจะมีวิธีทราบได้อย่างไรว่า ดาวเซเฟอิดยุคเก่าไม่ได้เป็นดาวคู่

4.3 ดาวแปรแสงดวงหนึ่งมีคาบการแปรแสง 10 วัน ค่าโชติมาตรปรากฏในภาพถ่ายมีค่าแปรเปลี่ยนจาก 9.8 จนถึง 11.0 ถ้าไม่คำนึงถึงผลของฝุ่นและแก๊สระหว่างดาวแปรแสงกับผู้สังเกต จงคำนวณหาระยะทางของดาวดวงนี้

4.4 เมื่อพิจารณาดาวแปรแสงประเภทไมรา พบว่าในช่วงที่ดาวมีความสว่างน้อย เส้นสว่างของไฮโดรเจนในสเปกตรัมปรากฏเด่นชัดกว่าช่วงที่ดาวมีความสว่างมาก จงใช้ความรู้เกี่ยวกับการยุบตัวและการขยายตัวของดาว อธิบายกลไกของปรากฏการณ์นี้

4.5 จากการสังเกตคาบการเปลี่ยนแสงของดาว เดลตา เซฟาย ดวงหนึ่งพบว่ามีคาบเท่ากับ 100 วัน จงหาความหนาแน่นเฉลี่ยของดาวดวงนี้

4.6 จงอธิบายความแตกต่างของดาวแปรแสงแบบ ที ทอรี่ และดาวแปรแสงแบบ อาร์ อาร์ ไลรา ทั้งในแง่ของชนิดประชากร และตำแหน่งของดาวเหล่านี้ในแผนภาพ เฮช-อาร์