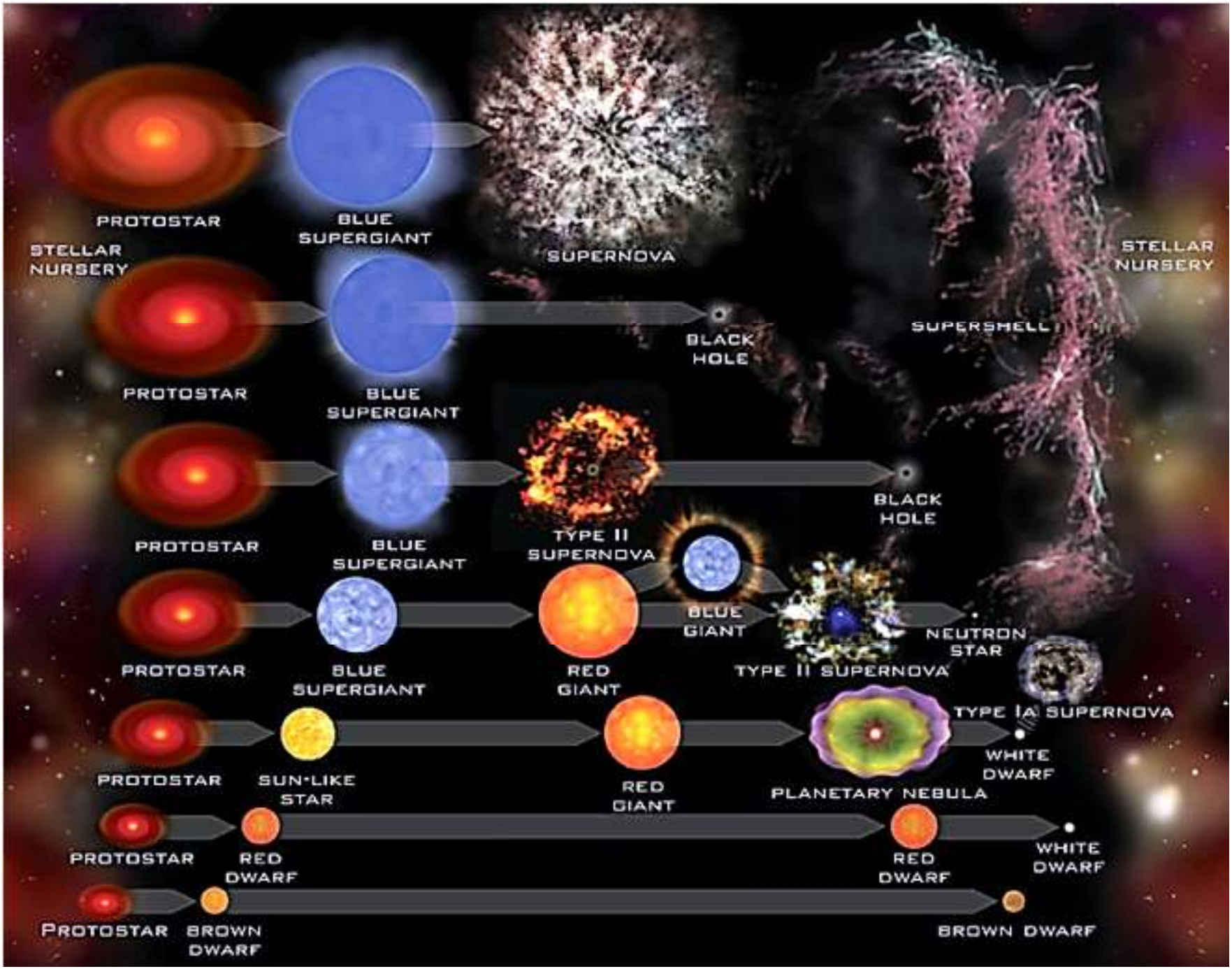
ใบความรู้ที่

4

วิวัฒนาการของดาวฤกษ์



ดาวฤกษ์ในช่วงวัยต่างๆ

BIRTH

เนบิวลาเรืองแสง (emission nebula)
ในกลุ่มดาวนายพราน

เนบิวลาสะท้อนแสง (reflection nebula)
ในกลุ่มดาวลูกไก่

เนบิวลารูปหัวม้า (Hordehead Nebula)
ในกลุ่มดาวนายพราน

เนบิวลา (Nebula) มาจากคำในภาษาละตินที่แปลว่า “ก้อนเมฆ” คือ กลุ่มฝุ่น แก๊ส และพลาสมาในอวกาศที่อยู่รวมกันด้วยแรงโน้มถ่วง โดยมีแก๊สไฮโดรเจนเป็นโครงสร้างพื้นฐาน มีขนาดใหญ่หลายปีแสง มองเห็นเป็นก้อนหมอกเมฆขนาดใหญ่ปะปนอยู่ในกลุ่มดวงดาว เปล่งแสงสีสวยงาม เรียกอีกอย่างว่า “หมอกเพลิง”

เนบิวลาถูกเรียกว่าเป็น **stellar nursery** เนื่องจากดาวฤกษ์ในอวกาศล้วนเกิดจากเนบิวลา แต่เนบิวลาก็เป็นวิวัฒนาการในช่วงสุดท้ายของดาวฤกษ์ด้วยเช่นกัน โดยเกิดจากการระเบิดของดาวฤกษ์ต่างๆ จนกลายเป็นฝุ่นและเศษซากต่างๆ จับตัวกันกลายเป็นเนบิวลาอีกครั้ง

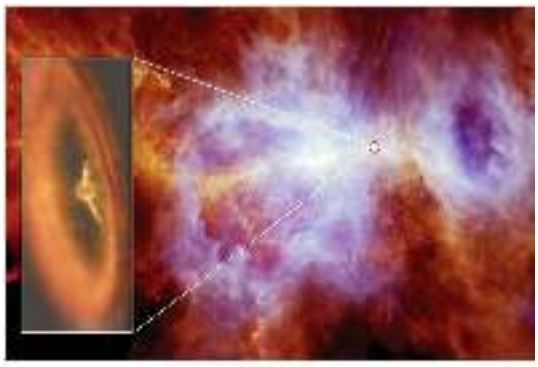
ในมุมมองที่เห็นจากโลกเราสามารถแบ่งเนบิวลาได้เป็น **เนบิวลาสว่าง เนบิวลาสะท้อนแสง และเนบิวลามืด** ตามลักษณะของเนบิวลา ซึ่งเราอาจเห็นเนบิวลาสว่าง เนบิวลาสะท้อนแสง และเนบิวลามืด อยู่ในที่เดียวกันก็ได้

M20 Trifid Nebula ในกลุ่มดาวคนยิงธนู

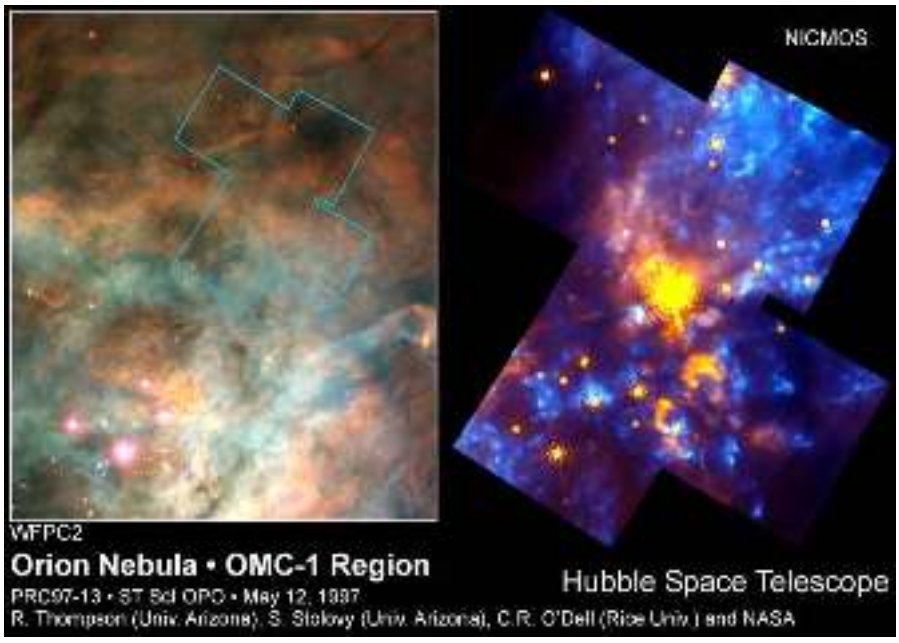
Protostar คือ ดาวฤกษ์ก่อนเกิด ภายในเนบิวลาประกอบด้วยแก๊สซึ่งกระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอ โดยมักรวมกลุ่มอย่างหนาแน่น ทำให้มีแรงโน้มถ่วงดึงดูดสสารที่อยู่โดยรอบเข้ามารวมกันและหมุนรอบตัวเอง จากนั้นกลุ่มสสารจะเกิดการยุบตัวลงเป็นแผ่นจาน ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีความหนาแน่น ความดัน และอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงประมาณ 100,000 K กลุ่มสสารในช่วงนี้เรียกว่า **ดาวฤกษ์ก่อนเกิด (protostar)**

การก่อตัวของดวงอาทิตย์ก่อนเกิด

เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วเนบิวลามักมีขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เนบิวลาจึงสามารถยุบตัวและเกิดเป็นดาวฤกษ์ก่อนเกิดที่มีขนาดแตกต่างกันได้เป็นจำนวนมาก แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าในภายหลังดาวฤกษ์ก่อนเกิดเหล่านี้จะกลายมาเป็นดาวฤกษ์ทั้งหมดเสมอไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับมวลตั้งต้นของดาวฤกษ์ก่อนเกิด ยิ่งมวลตั้งต้นมากจะพัฒนาเป็นดาวฤกษ์ที่มีอุณหภูมิผิวมาก เช่น หากดาวพฤหัสบดีมีมวลตั้งต้นมากกว่าที่เป็นอยู่นี้ 80 เท่าจะสามารถพัฒนาเป็นดวงอาทิตย์ดวงที่สองได้ ระบบสุริยะของเราก็จะเป็นระบบดาวคู่ (binary stars) เช่นเดียวกับระบบดาวฤกษ์ส่วนใหญ่บนท้องฟ้า



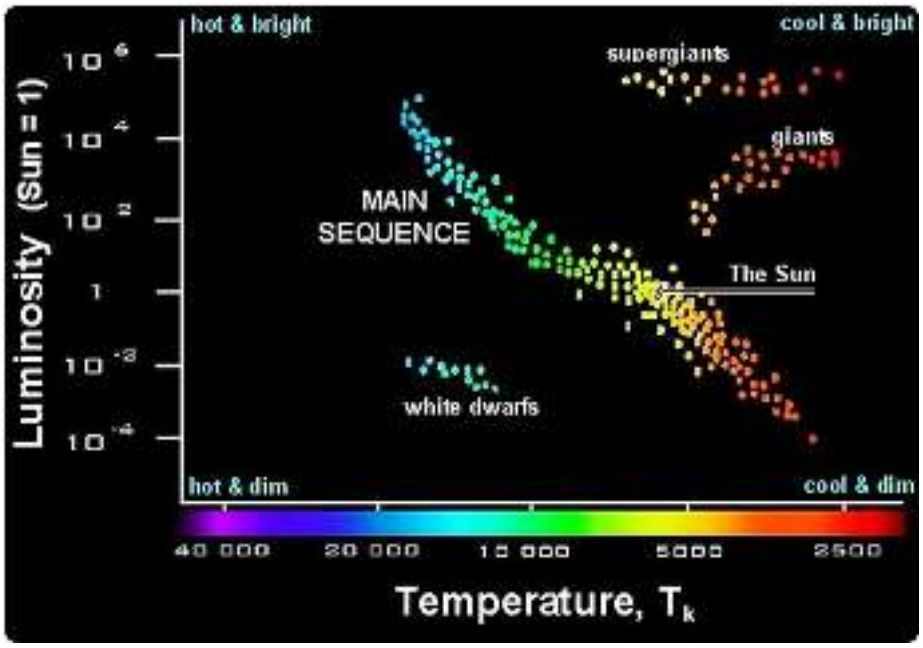
Herschel image of stellar nursery OMC2 FIR4



MAIN SEQUENCE

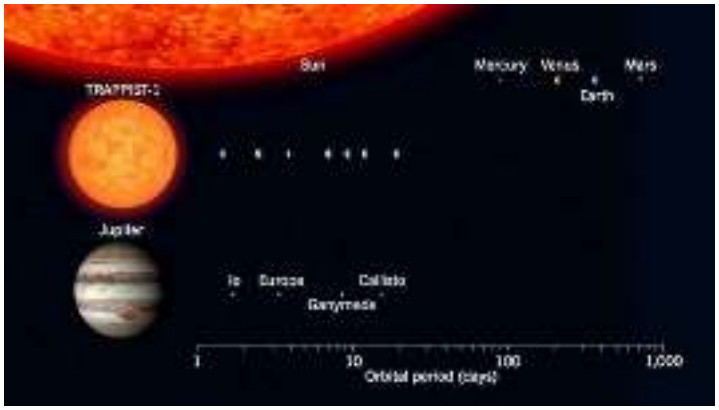
ดาวฤกษ์เป็นดาวที่มีพลังงานในตัวเอง พลังงานของดาวฤกษ์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์ (thermonuclear reaction) ซึ่งเกิดจากการหลอมนิวเคลียสของไฮโดรเจนเป็นนิวเคลียสของฮีเลียมแล้วมวลสารบางส่วนของไฮโดรเจนนั้นกลายเป็นพลังงาน โดยอยู่ในรูปของความร้อน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และอนุภาคต่างๆ

ปริมาณไฮโดรเจนที่มารวมกันเป็นดาวฤกษ์ก่อนเกิดเป็นตัวกำหนดขนาดและมวลของดาวฤกษ์ เพราะถ้ามีปริมาณไฮโดรเจนมาก ดาวฤกษ์ก่อนเกิดจะมีมวลมาก แล้วก็จะกลายมาเป็นดาวฤกษ์ที่มีขนาดใหญ่มีมวลมาก ซึ่งมีพลังงานสูงจัดเป็นดาวสเปกตรัม O (สีน้ำเงิน), B (สีน้ำเงินแกมขาว) หรือ A (สีขาวอมน้ำเงิน) ในทำนองเดียวกันถ้ามีปริมาณไฮโดรเจนน้อย ดาวฤกษ์ก่อนเกิดจะมีมวลน้อย แล้วก็จะกลายมาเป็นดาวฤกษ์ที่มีขนาดเล็กมีมวลน้อย ซึ่งมีพลังงานต่ำกว่า ดาวฤกษ์ที่มีมวลน้อยกว่าดวงอาทิตย์จะเกิดเป็นดาวสเปกตรัม K (สีส้ม) หรือ M (สีแดง)

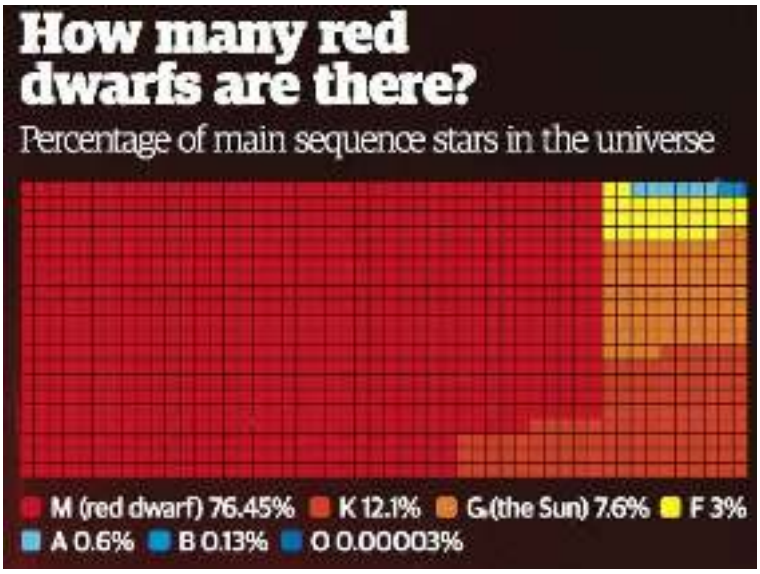


Hertzsprung – Russel Diagram (H – R diagram)

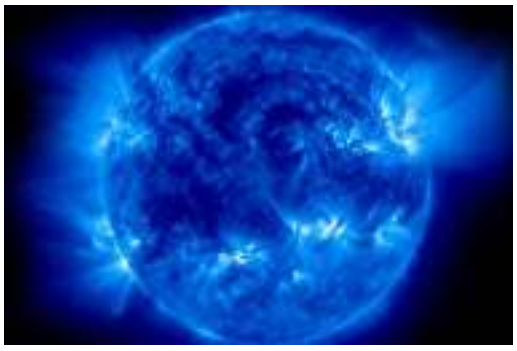
ดาวแคระแดง (red dwarf) เป็นดาวฤกษ์ประเภทที่มีมวลต่ำที่สุดคือเพียง 8 – 60 เปอร์เซ็นต์ของมวลดวงอาทิตย์เท่านั้น (หากดาวฤกษ์ก่อนเกิดมีมวลต่ำกว่า 8% ของมวลดวงอาทิตย์จะไม่สามารถเกิดเป็นดาวฤกษ์ได้ จะกลายเป็นดาวแคระน้ำตาล (brown dwarf) แทน) เกิดจากกลุ่มแก๊สที่หดตัวลงด้วยแรงโน้มถ่วงจนกลายเป็นก้อนเป็นดวง แต่เนื่องจากปริมาณแก๊สเริ่มต้นน้อยจึงใช้เวลาหดตัวนาน (ราว 1,000,000 ปี) กว่าจะกลายมาเป็นดาวฤกษ์ขนาดเล็กนี้



ระบบดาว TRAPPIST-1 ที่มีดาวเคราะห์คล้ายโลก 7 ดวง มีดาวแม่เป็นดาวแคระแดงที่มีขนาดใหญ่กว่าดาวพฤหัสบดีเล็กน้อยเท่านั้น ค้นพบเมื่อ 23 ก.พ.60



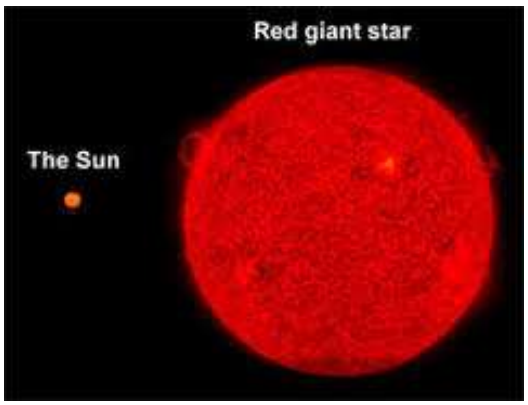
ดาวฤกษ์สีเหลือง (yellow star or sun-like star) เป็นดาวฤกษ์ขนาดกลางใช้เวลาพัฒนาจากดาวฤกษ์ก่อนเกิดจนกลายเป็นดาวฤกษ์ราว 100,000 ปี และมีอายุขัยราว 10,000 ล้านปี สำหรับดวงอาทิตย์ในปัจจุบันนั้นมีอายุราว 5,000 ล้านปีแล้ว หากเทียบกับมนุษย์จะถือได้ว่าอยู่ในวัยกลางคน



ดาวยักษ์สีน้ำเงิน และ ดาวยักษ์ใหญ่สีน้ำเงิน (blue giant and blue supergiant) เป็นดาวฤกษ์ขนาดใหญ่ที่พัฒนาจากดาวฤกษ์ก่อเกิดที่มีมวลตั้งต้นมากกว่าดวงอาทิตย์มากกว่า 15 เท่า โดยใช้เวลาประมาณ 10,000 ปี กลายเป็นดาวฤกษ์ขนาดใหญ่ อุณหภูมิสูง แต่เนื่องจากมีมวลตั้งต้นสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาภายในรุนแรง อัตราการเผาไหม้ก็รุนแรง จึงมีอายุขัยต่ำที่สุด

OLD AGE

ดาวยักษ์แดง (red giant) เมื่อดาวฤกษ์มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นไฮโดรเจนหมดแล้ว ดาวฤกษ์จะหดตัวลงแล้วเริ่มเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นฮีเลียมต่อ แต่เชื้อเพลิงที่เป็นฮีเลียมนั้นให้พลังงานสูงกว่าไฮโดรเจนจึงทำให้ดาวฤกษ์นั้นขยายขนาดใหญ่ขึ้นจากเดิมหลายเท่ากลายเป็นดาวยักษ์แดงหรือดาวยักษ์ใหญ่สีแดง ดวงอาทิตย์ของเราเมื่อแก่ตัวลงก็จะกลายเป็นดาวยักษ์แดงเช่นกัน เมื่อนั้นคาดว่าดวงอาทิตย์จะขยายใหญ่ไปจนถึงดาวอังคาร แต่หากดวงอาทิตย์กลายเป็นดาวยักษ์ใหญ่สีแดง (red supergiant) คาดว่าจะกินพื้นที่ไปจนถึงดาวยูเรนัสเลยทีเดียว



DEATH

เนบิวลาดาวเคราะห์ (planetary nebula) เป็นชั้นเปลือกของแก๊สร้อนที่ขยายตัวและเรืองแสงที่ถูกปลดปล่อยออกไปในช่วงจุดจบของดาวฤกษ์มวลน้อย ในความเป็นจริงแล้วเนบิวลาประเภทนี้ไม่ได้มีความเกี่ยวข้องกับดาวเคราะห์แต่อย่างใด ที่เรียกว่า **เนบิวลาดาวเคราะห์** ก็เนื่องจากนักดาราศาสตร์สมัยก่อนคิดว่าเมื่อสังเกตผ่านกล้องโทรทรรศน์ขนาดเล็กแล้วเนบิวลาพวกนี้ดูคล้ายๆ กับดาวเคราะห์เท่านั้น

ดาวฤกษ์มวลน้อยจะกลายเป็นเนบิวลาดาวเคราะห์หลังจากผ่านระยะดาวยักษ์แดง โครงสร้างชั้นนอกของดาวฤกษ์จะถูกปลดปล่อยออกสู่อวกาศด้วย “ลมดาวฤกษ์” (กระแสอนุภาคมีประจุไฟฟ้าที่ดาวฤกษ์แผ่ออกมา) ส่วนแก่นกลางดาวที่เหลืออยู่จะส่องสว่างและมีความร้อนสูง (1 แสนองศาเซลเซียสขึ้นไป) เรียกว่า **ดาวแคระขาว (white dwarf)** ซึ่งจะแผ่รังสีอัลตราไวโอเลตออกมาทำให้ชั้นแก๊สรอบนอกที่ถูกปลดปล่อยออกไปนั้นเรืองแสงขึ้นมา เรียกว่า **เนบิวลาดาวเคราะห์**

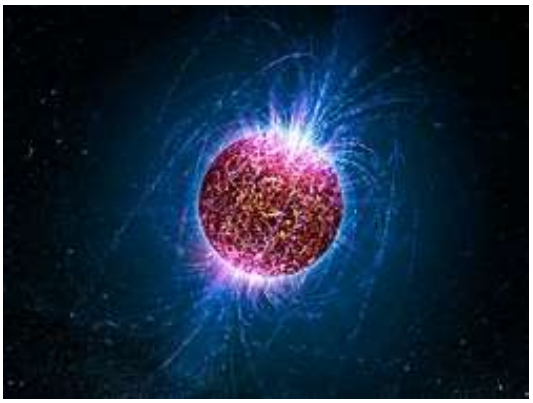
เนบิวลาดาวเคราะห์จะคงอยู่ได้ค่อนข้างสั้นภายในระยะเวลาไม่กี่หมื่นปี จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปวัสดุต่างๆ จากเนบิวลาดาวเคราะห์จะกระจัดกระจายไปในอวกาศ และเป็นวัตถุดิบในการก่อตัวของดาวฤกษ์รุ่นต่อไป

เมื่อเชื้อเพลิงสำหรับปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชันในดาวฤกษ์มวลมากหมดลง โครงสร้างรอบนอกของดาวฤกษ์จะยุบตัวลงสู่ใจกลางดาวแล้วเกิดการระเบิดอย่างรวดเร็ว เรียกว่า **ซูเปอร์โนวา (supernova)** ซึ่งเป็นการระเบิดครั้งใหญ่ของดาวฤกษ์มวลมากที่วิวัฒนาการมาถึงจุดจบของวงจรชีวิตดาว

ในช่วงเวลาสั้นๆ ที่เกิดการระเบิดขึ้น ซูเปอร์โนวาจะมีความสว่างมากพอๆ กับความสว่างทั้งหมดของกาแล็กซี เกิดสสารสาดกระจายออกสู่อวกาศด้วยความเร็วถึง 30,000 กิโลเมตร/วินาที แต่จะริบหรี่ลงภายในระยะเวลาหลายวัน

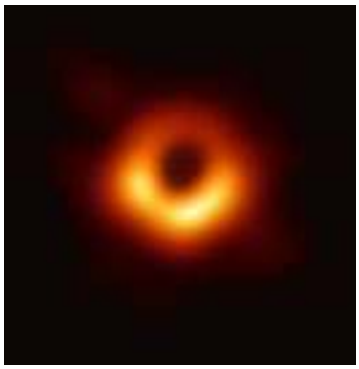
แก่นกลางดาวที่หลงเหลือจากการระเบิดจะกลายเป็นดาวนิวตรอน หรือในกรณีที่ดาวฤกษ์นั้นมีขนาดใหญ่คือมีมวลมากกว่า 40 เท่าของดวงอาทิตย์ แก่นกลางนี้จะกลายเป็น**หลุมดำ (black hole)** ส่วนเปลือกของฝุ่นแก๊สที่ขยายตัวเนื่องจากคลื่นกระแทก เรียกว่า **ซากซูเปอร์โนวา (supernova remnant)** แล้วพอเวลาผ่านไปหลายล้านปีวัสดุต่างๆ ในซากซูเปอร์โนวาก็จะกระจายไปสู่เมฆแก๊สที่อยู่บริเวณใกล้เคียงและก่อตัวเป็นดาวฤกษ์ดวงใหม่ในที่สุด ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าพวกเราต่างมีองค์ประกอบมาจากเศษฝุ่นจากดาวฤกษ์ที่สิ้นอายุขัยไปนานแล้ว

REMNANTS



เมื่อดาวฤกษ์มวลมากวิวัฒนาการมาถึงจุดจบดาวฤกษ์จะยุบตัวลงสู่ใจกลาง แก่นกลางดาวจะถูกบีบอัดมากจนอะตอมที่ถูกแยกกลายเป็นนิวตรอนเพียงอย่างเดียว โครงสร้างชั้นนอกของดาวฤกษ์จะถูกสาดออกเนื่องจากการระเบิด หลงเหลือไว้แต่**ดาวนิวตรอน (neutron star)** ที่หมุนรอบตัวเองอย่างรวดเร็ว

ดาวนิวตรอนมีมวลราว 1-2 เท่าของมวลดวงอาทิตย์ และมีขนาดความกว้างเพียง 20 กิโลเมตร หากเปรียบเทียบให้เห็นภาพวัสดุจากดาวนิวตรอนที่มีปริมาตรเท่ากับบ้านหนึ่งหลังจะมีมวลมากพอๆ กับมวลดวงจันทร์

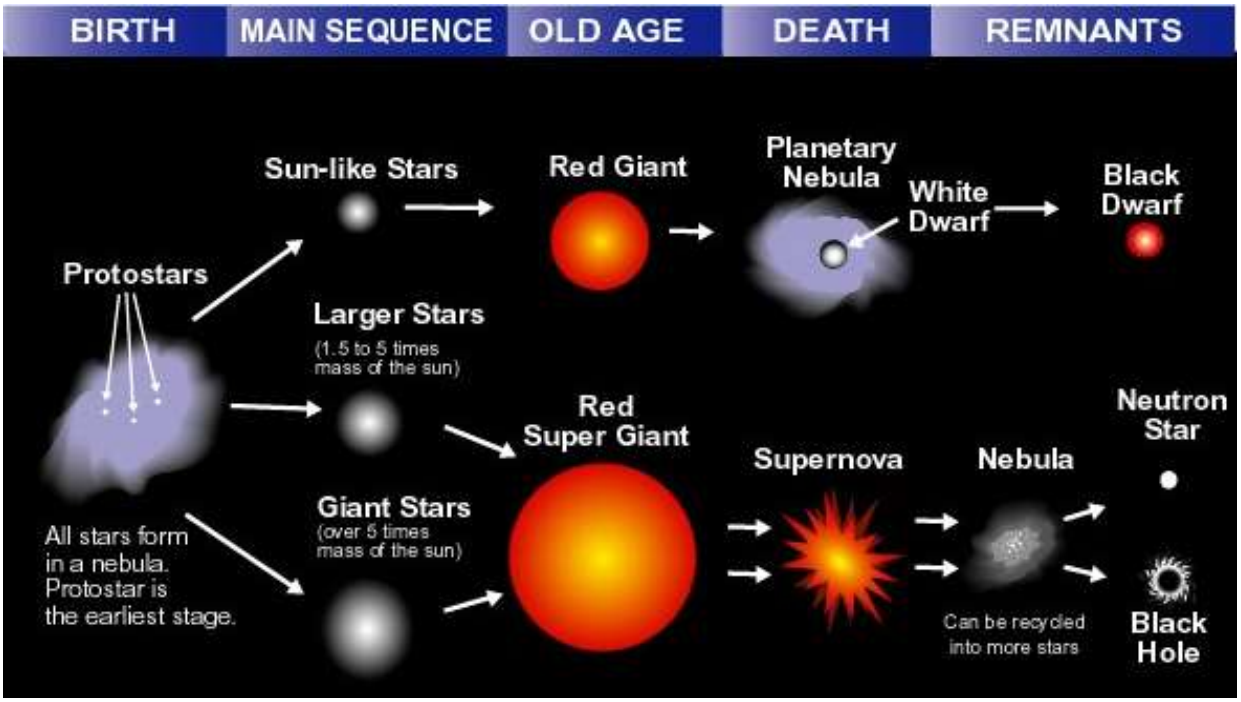


หลุมดำ (black hole) ก่อตัวขึ้นเมื่อดาวฤกษ์ที่มีมวลมหาศาลวิวัฒนาการมาถึงจุดจบคือซูเปอร์โนวา ทุกสิ่งที่ใจกลางดาวฤกษ์ซึ่งหลงเหลือจากการระเบิดจะยุบและบีบอัดตัวลงกลายเป็นวัตถุที่เล็กและมีความหนาแน่นมากๆ ที่บริเวณใกล้วัตถุดังกล่าวความโน้มถ่วงจะสูงมากจนไม่มีสิ่งใดหลุดพ้นออกมาได้แม้แต่แสง เราจึงไม่สามารถเห็นอะไรได้ในบริเวณนั้นเลยกลายเป็นที่มาของชื่อ **หลุมดำ (black hole)**

อย่างไรก็ตามเรายังสามารถเห็นผลที่เกิดขึ้นจากหลุมดำต่อดาวฤกษ์และวัสดุต่างๆ ที่อยู่รอบหลุมดำ คือ แก๊ส ฝุ่น และดาวฤกษ์ดวงอื่นที่อยู่ใกล้หลุมดำจะถูกดึงดูดด้วยความโน้มถ่วง (คล้ายๆ กับน้ำที่หมุนวนลงไปท่อระบายน้ำ) เมื่อวัสดุต่างๆ เหล่านี้หมุนวนอยู่รอบหลุมดำก็จะพุ่งชนกันเองจนเกิดความร้อนและแสงเราจึงสามารถสังเกตเห็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นได้

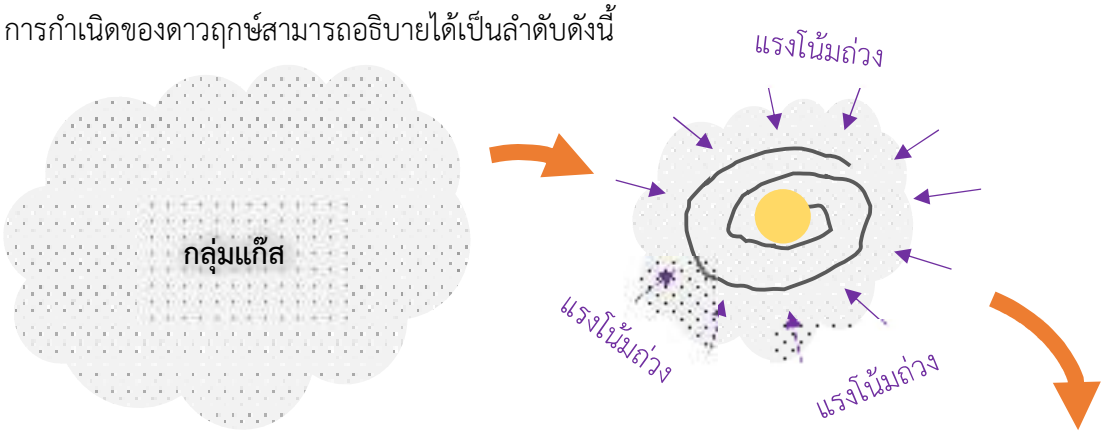
เมื่อหลุมดำเกิดขึ้นมาแล้วจะสามารถเพิ่มมวลมากขึ้นด้วยการดึงดูดวัสดุ ดาวฤกษ์ หรือแม้แต่หลุมดำที่อยู่ใกล้เคียงได้ ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปจะเกิดวิวัฒนาการกลายเป็น “หลุมดำมวลมหาศาล” (supermassive black hole) ซึ่งหลุมดำแบบนี้จะซ่อนตัวอยู่ที่ใจกลางกาแล็กซีหลายแห่ง

วิวัฒนาการของดาวฤกษ์



กำเนิดดาวฤกษ์

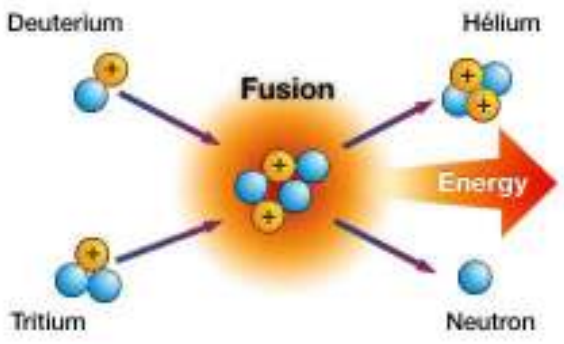
การกำเนิดของดาวฤกษ์สามารถอธิบายได้เป็นลำดับดังนี้



1) **กำเนิดดาวฤกษ์ก่อนเกิด (protostar)** ภายในเนบิวลาประกอบด้วยแก๊สซึ่งกระจายตัวอยู่อย่างไม่สม่ำเสมอ โดยมักรวมกลุ่มอย่างหนาแน่น ทำให้มีแรงโน้มถ่วงดึงดูดสสารที่อยู่โดยรอบเข้ามารวมกันและหมุนรอบตัวเอง จากนั้นกลุ่มสสารเกิดการยุบตัวเป็นแผ่นจาน ส่งผลให้บริเวณดังกล่าวมีความหนาแน่น ความดัน และอุณหภูมิสูงขึ้นถึงประมาณ 100,000 K กลุ่มสสารในช่วงนี้เรียกว่า **ดาวฤกษ์ก่อนเกิด (protostar)**

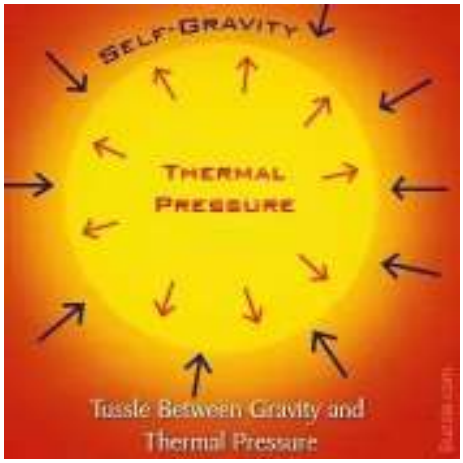
2) **เกิดปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์ (thermonuclear reaction)**

ต่อมาดาวฤกษ์ก่อนเกิดมีการยุบตัวด้วยแรงโน้มถ่วง แก่นของดาวจึงมีความหนาแน่น ความดัน และอุณหภูมิสูงขึ้นอีก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงถึงประมาณ 15 ล้านเคลวิน จะเกิด**ปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์ (thermonuclear reaction)** จากการหลอมนิวเคลียสของไฮโดรเจนเป็นนิวเคลียสของฮีเลียม ซึ่งมวลสารบางส่วนของไฮโดรเจนจะกลายเป็นพลังงานอยู่ในรูปความร้อน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และอนุภาคต่างๆ



3) **เกิดสมดุลอุทกสถิต (hydrostatic equilibrium)**

ดาวฤกษ์ที่เกิดขึ้นจะมีรูปทรงกลมเพราะอยู่ในสภาพสมดุลระหว่างแรงดันเนื่องจากปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์กับแรงดึงดูดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของมวลที่ประกอบเป็นดาวฤกษ์ เรียกสภาพสมดุลนี้ว่า **สมดุลอุทกสถิต (hydrostatic equilibrium)** ทำให้ดาวฤกษ์มีเสถียรภาพและปลดปล่อยพลังงานอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานตลอดอายุขัยของดาวฤกษ์นั้น

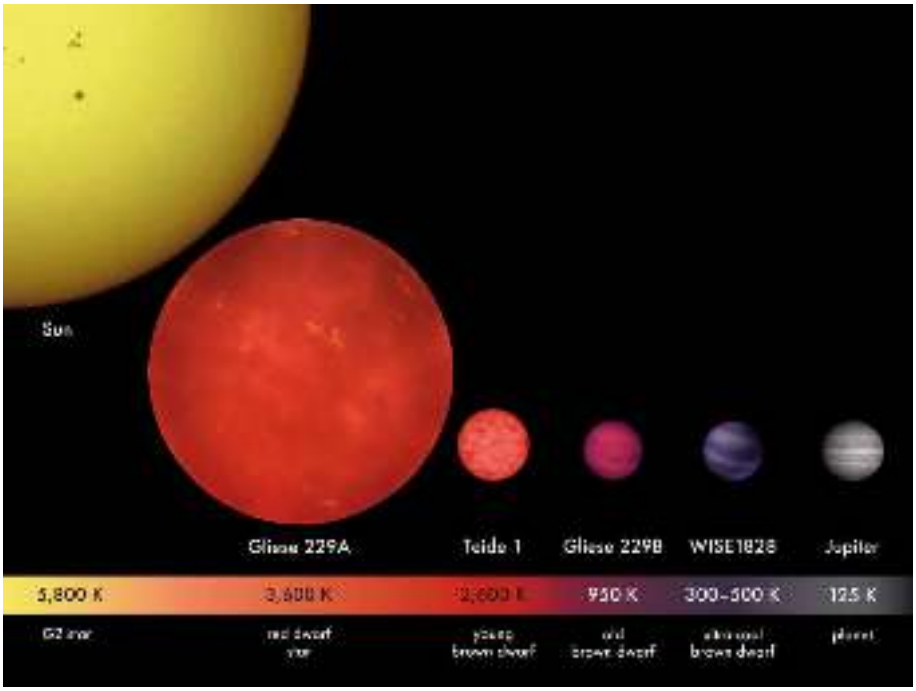


วิวัฒนาการดาวฤกษ์

`ดาวฤกษ์ในเอกภพมีมากมายหลายล้านดวง มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็น**ธาตุไฮโดรเจน** รองลงมาคือ**ธาตุฮีเลียม** มีปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์ที่แก่นตลอดเวลา (ดาวฤกษ์จึงปลดปล่อยพลังงานได้ต่อเนื่องตลอดอายุขัย) แต่เมื่อกระบวนการเทอร์มอนิวเคลียร์ที่แก่นของดาวฤกษ์เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของดาวฤกษ์ก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย ทำให้เกิดเป็นวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ขึ้น ซึ่งลำดับวิวัฒนาการและจุดจบที่แตกต่างกันของดาวฤกษ์แต่ละดวงนี้ขึ้นอยู่กับมวลตั้งต้น ที่นักดาราศาสตร์จะเทียบมวลของดาวฤกษ์เป็นจำนวนเท่าของดวงอาทิตย์

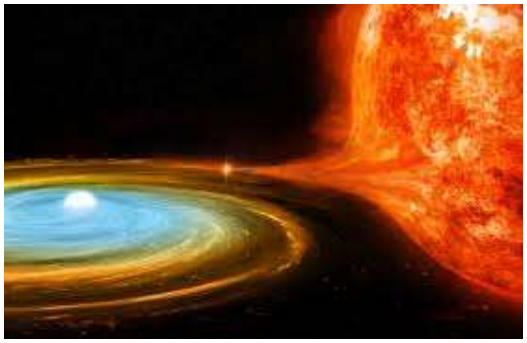
ดาวฤกษ์ก่อนเกิดที่มีมวลตั้งต้นน้อยกว่า 0.08 เท่าของดวงอาทิตย์ (ไม่ถึง 8% ของดวงอาทิตย์)

จะมีมวลไม่เพียงพอที่แรงโน้มถ่วงจะทำให้เกิดแรงดันมากพอจนเกิดปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์ที่แก่นได้ จึง**ไม่สามารถเกิดเป็นดาวฤกษ์ได้** จึงมีวิวัฒนาการเป็น**ดาวแคระน้ำตาล (brown dwarf)** ซึ่งมีแสงริบหรี่จนเกือบไม่ส่องแสงเลย อุณหภูมิต่ำมาก แต่มีอายุยืนยาวที่สุด



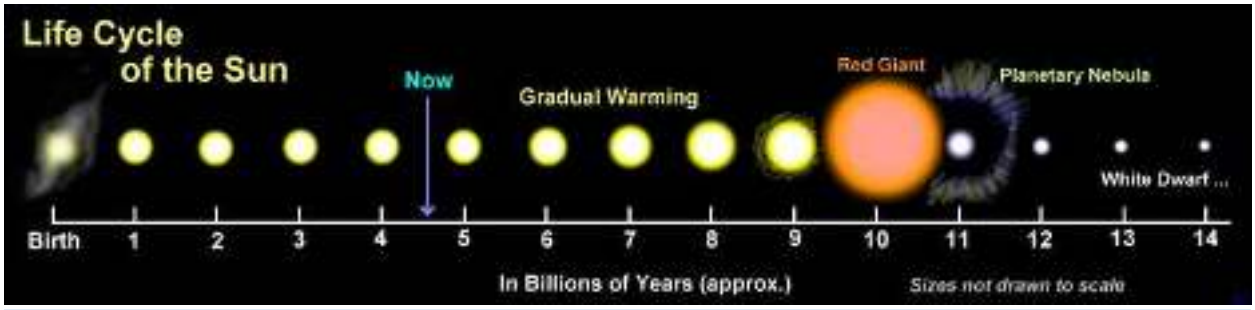
ดาวฤกษ์ก่อนเกิดที่มีมวลตั้งต้นตั้งแต่ 0.08 – 0.6 เท่าของดวงอาทิตย์ (ตั้งแต่ 8% – 60% ของดวงอาทิตย์)

จะวิวัฒนาการไปเป็น**ดาวแคระแดง (red dwarf)** แต่เนื่องจากมีมวลตั้งต้นน้อยจึงต้องใช้เวลานานราว 1,000,000 ปี กว่าจะกลายเป็นดาวฤกษ์ที่มีขนาดเล็ก และเนื่องจากมีขนาดเล็กจึงมีอัตราการใช้พลังงานต่ำ จึงมีอายุยืนยาว ดาวแคระแดงที่มีมวลต่ำอาจมีอายุได้นานถึงระดับล้านล้านปี แล้วจึงค่อยยุบตัวลงเป็น**ดาวแคระขาว (white dwarf)** ต่อไป



ดาวฤกษ์ก่อนเกิดที่มีมวลตั้งต้นตั้งแต่ 0.6 – 9 เท่าของดวงอาทิตย์

- จะวิวัฒนาการไปเป็น**ดาวฤกษ์ที่มีมวลใกล้เคียงกับดวงอาทิตย์ (sun – like star)** คือ**ดาวฤกษ์สีเหลือง (yellow star)** ซึ่งมีอายุค่อนข้างยืนยาวราว 10,000 ล้านปี
- เมื่อมีการใช้ไฮโดรเจนที่แก่นจนเกือบหมด **ปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์ที่แก่นของดาวฤกษ์จะลดลง** สมดุลอุทกสถิต (hydrostatic equilibrium) หายไป แรงดึงดูดเนื่องจากแรงโน้มถ่วงจึงทำให้**ดาวยุบตัวลง**
- การยุบตัวลงของดาวจะทำให้เกิดความดันขึ้นภายในจนอุณหภูมิรอบแก่นดาวเพิ่มสูงขึ้นถึงประมาณ 15 ล้านเคลวิน จึง**เกิดปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์ขึ้นอีกครั้งจากการหลอมไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม**
- อุณหภูมิที่แก่นเพิ่มสูงอีกเรื่อยๆ จนถึง 100 ล้านเคลวิน จึง**เกิดปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์หลอมฮีเลียมเป็นคาร์บอนและออกซิเจน**ที่แก่นของดาว ในขณะเดียวกันแรงดันจากปฏิกิริยาก็จะทำให้**ดาวเกิดการขยายตัว อุณหภูมิที่ผิวลดลง สีของดาวจึงเปลี่ยนเป็นสีแดง** กลายเป็น**ดาวยักษ์แดง (red giant)**
- ต่อมาเมื่อปฏิกิริยาหลอมฮีเลียมสิ้นสุดลง **แก่นของดาวยักษ์แดงยุบตัว**กลายเป็น**ดาวแคระขาว (white dwarf)** ในขณะที่ส่วนอื่นๆ รอบแก่นไม่ได้ยุบเข้ามาด้วย แต่กระจายตัวออกสู่อวกาศ ทำให้เกิดเป็น**เนบิวลาดาวเคราะห์ (planetary nebula)**
- สสารในเนบิวลาดาวเคราะห์จะค่อยๆ กระจายตัวออกสู่อวกาศกลายเป็น**สสารระหว่างดาว (interstellar medium)**



ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์สีเหลืองอายุประมาณ 5,000 ล้านปี ในอนาคตอีกประมาณ 5,000 ล้านปี เมื่อธาตุไฮโดรเจนที่เป็นเชื้อเพลิงเหลือน้อยลง ดวงอาทิตย์จะขยายขนาดใหญ่ขึ้นถึงประมาณ 100 เท่าของขนาดปัจจุบัน พื้นที่ผิวที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิผิวลดลง สีของดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนจากเหลืองเป็นแดง เรียกว่า **ดาวยักษ์แดง** ต่อมาเมื่อปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลียร์สิ้นสุดลงแก่นของดวงอาทิตย์ที่เป็นดาวยักษ์แดงจะยุบตัวลงกลายเป็น**ดาวแคระขาว**ที่มีอุณหภูมิสูงมากและมีขนาดเล็กกว่าดวงอาทิตย์ในปัจจุบันมาก ดาวแคระขาวนี้จะไม่มีปฏิกิริยาเทอร์มอนิวเคลีย์เกิดขึ้นอีกแล้วแต่ยังคงส่องแสงได้อีกนานเทียบเท่ากับอายุของเอกภพ ดังนั้นดาวแคระขาวจึงเป็นช่วงสุดท้ายของวิวัฒนาการของดวงอาทิตย์

ดาวฤกษ์ก่อนเกิดที่มีมวลตั้งต้นตั้งแต่ 9 เท่าของดวงอาทิตย์ขึ้นไป

จะวิวัฒนาการไปเป็นดาวฤกษ์ขนาดใหญ่ มีอุณหภูมิสูง เรียกว่า **ดาวยักษ์สีน้ำเงิน (blue giant star)** หรือหากมีขนาดใหญ่มาก อุณหภูมิสูงมาก จะเรียกว่า **ดาวยักษ์ใหญ่สีน้ำเงิน (blue super giant star)** โดยจะมีวิวัฒนาการเป็นดาวค่อนข้างเร็วคือใช้เวลาเพียงราว 10,000 ปีเท่านั้น แต่จะมีช่วงชีวิตที่ค่อนข้างสั้นเนื่องจากมีการใช้เชื้อเพลิงที่ค่อนข้างสูง เกิดการสังเคราะห์ธาตุหนักกว่าคาร์บอนไปจนถึงธาตุเหล็กในปริมาณมากด้วยกระบวนการหลายรูปแบบ แล้วจบชีวิตลงด้วยการระเบิดอย่างรุนแรงที่เรียกว่า **ซูเปอร์โนวา หรือ มหานวดารา (supernova)** การระเบิดที่เกิดขึ้นนี้มีอุณหภูมิสูงมากจึงเกิดกระบวนการสังเคราะห์ธาตุที่หนักกว่าธาตุเหล็ก เช่น ดีบุก ตะกั่ว ยูเรเนียม ทองคำ ส่วนแก่นของดาวยักษ์จะยุบตัวลงไปกลายเป็น**ดาวนิวตรอน (neutron star)** และแก่นของดาวยักษ์ใหญ่จะยุบตัวกลายเป็น**หลุมดำ (black hole)**