บทที่ 6
ดวงอาทิตย์

ในบทที่แล้วเราได้กล่าวถึงดาวฤกษ์ต่าง ๆ องค์ประกอบของดาวฤกษ์พร้อมทั้งวิวัฒนาการของดาวฤกษ์ สำหรับดาวฤกษ์ที่นักดาราศาสตร์ทั้งหลายทำการศึกษาและเข้าใจได้ดีที่สุดก็คือดวงอาทิตย์นี่เอง เพราะว่าดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ดวงหนึ่งที่อยู่ใกล้โลกของเรามากที่สุด มนุษย์บนโลกก็ได้อาศัยพลังงานแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ที่ให้การมองเห็นสิ่งต่าง ๆ และความอบอุ่นอันเป็นปัจจัยในการดำรงชีวิตที่สำคัญอย่างหนึ่ง พลังงานแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ทำให้บนผิวโลกมีอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 290 องศาเคลวิน ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่พอเหมาะในการทำให้สิ่งมีชีวิตสามารถอุบัติขึ้นมาได้

6.1 สมบัติของดวงอาทิตย์

สมบัติภายในของดวงอาทิตย์ที่เราสนใจได้แก่ สภาพส่องสว่างอุณหภูมิยังผลมวล ความหนาแน่น ขนาด รวมทั้งองค์ประกอบทางเคมี สิ่งเหล่านี้เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์โครงสร้างของดวงอาทิตย์ได้ เช่น บรรยากาศ สภาวะภายในของดวงอาทิตย์ เป็นต้น

จากการสำรวจบรรยากาศชั้นที่ห่อหุ้มชั้นนอกของดวงอาทิตย์ซึ่งแผ่รังสีออกสู่อวกาศโดยตรงด้วยอุปกรณ์ทางดาราศาสตร์ต่าง ๆ นักดาราศาสตร์พบว่าดวงอาทิตย์มีองค์ประกอบทางเคมีที่ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจน 71 เปอร์เซ็นต์ ฮีเลียม 26.5 เปอร์เซ็นต์ และธาตุอื่น ๆ อีก 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ผลนี้ทำให้เรารู้ว่าดวงอาทิตย์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนเป็นส่วนใหญ่ และฮีเลียมเป็นธาตุที่รองลงมา และเราเชื่อว่าภายในของดวงอาทิตย์ที่ลึกลงไปก็จะมีองค์ประกอบเป็นเช่นนี้ด้วย

จากการวัดพลังงานรังสีที่ดวงอาทิตย์แผ่กระจายมาถึงโลกด้วยอุปกรณ์ซึ่งสามารถรับแสงอาทิตย์แล้วแปรรูปพลังงานนี้เป็นรูปที่สามารถวัดได้ และหาวิธีแก้ไขความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากการดูดกลืนหรือการสะท้อนรังสีในบรรยากาศของโลก ค่าที่ได้วัดและแก้ไขแล้วก็คือฟลักซ์ของรังสีของดวงอาทิตย์ที่รับได้นอกบรรยากาศของโลก ค่านี้เราเรียกว่าค่าคงที่สุริยะ (Solar Constant) ซึ่งก็คือพลังงานที่ตกกระทบต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลาภายนอก

บรรยากาศของโลก มีค่าเท่ากับ 1.95 แคลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ $f = 1.36 \times 10^6$ เอิร์กต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที จากค่าคงที่สุริยะนี้ เมื่อเราคิดว่าดวงอาทิตย์แผ่รังสีอย่างสม่ำเสมอโดยรอบ ดังนั้นเราสามารถคำนวณค่าสภาพส่องสว่างของดวงอาทิตย์ ($L_\odot$) ซึ่งมีความสัมพันธ์ว่า

$$L_\odot = f \times 4\pi r^2$$

โดยคิดว่าระยะทางเฉลี่ยจากโลกถึงดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 1 หน่วยดาราศาสตร์ หรือประมาณ 1.5×10^{13} เซนติเมตร ดังนั้น

$$L_\odot = 3.9 \times 10^{33} \quad \text{เอิร์กต่อวินาที}$$

ซึ่งปริมาณพลังงานนี้ได้จากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ที่ใจกลางของดวงอาทิตย์นั่นเอง

ต่อไปเราสามารถคำนวณขนาดของดวงอาทิตย์เมื่อทราบระยะทางจากดวงอาทิตย์ถึงโลก และวัดขนาดเชิงมุมของดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นมุมที่ดวงอาทิตย์กระทำที่ตาของผู้สังเกตการณ์บนโลกจะมีค่าเท่ากับ 1919".26 อาร์ควินาที (ฟิลิบดา) สำหรับระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 1.5×10^{13} เซนติเมตร เราสามารถหารัศมี ($R_\odot$) ของดวงอาทิตย์ได้เป็น

$$R_\odot = 6.9599 \times 10^{10} \text{ เซนติเมตร}$$

หรือประมาณ 7 แสนกิโลเมตร จะเห็นได้ว่า รัศมีของดวงอาทิตย์มีขนาดใหญ่กว่าโลกของเรามากกว่าหนึ่งร้อยเท่า

จากค่ารัศมีของดวงอาทิตย์เราคำนวณพื้นที่ผิวของดวงอาทิตย์ได้เท่ากับ 6.087×10^{22} ตารางเซนติเมตร ดังนั้นอัตราการแผ่รังสี (Radiation Emittance) ของพื้นผิวดวงอาทิตย์เท่ากับ $F = L_\odot/4\pi R_\odot^2 = 3.9 \times 10^{33}/6.087 \times 10^{22} = 6.284 \times 10^{10}$ เอิร์กต่อตารางเซนติเมตรต่อวินาที

ถ้าเราพิจารณาว่าดวงอาทิตย์แผ่รังสีออกมาเช่นเดียวกับวัตถุดำ ซึ่งมีอุณหภูมิยังผลเป็นไปตามกฎการแผ่รังสีของซเตฟาน คือ

$$T_e = (F/\sigma)^{\frac{1}{4}} \qquad (6.1)$$

เมื่อ σ คือค่าคงที่ซเตฟาน-โบลต์ซมันน์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 5.67×10^{-5} เอิร์ก/ตร.ซม./องศา^4/วินาที ดังนั้นอุณหภูมิยังผลของดวงอาทิตย์จึงมีค่าเท่ากับ

$$T_e = 5770 \text{ K}$$

จะเห็นได้ว่าร้อนกว่าอุณหภูมิที่ผิวโลกประมาณ 20 เท่า ถึงแม้ว่าดวงอาทิตย์มิได้เป็นวัตถุดำที่สมบูรณ์ก็ตาม เรายังสามารถใช้สมการ (6.1) ในการกำหนดค่าอุณหภูมิยังผลของดวงอาทิตย์ได้ ดังนั้นความหมายของอุณหภูมิยังผลก็คืออุณหภูมิที่ผิวของดวงอาทิตย์เป็นอุณหภูมิเปรียบเทียบ

ในแง่ความสามารถในการแผ่รังสีพลังงานของดวงอาทิตย์ ซึ่งมิใช่อุณหภูมิที่ตำแหน่งใด ๆ ในดวงอาทิตย์

จากการพิจารณาวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ซึ่งมีรัศมีเฉลี่ยประมาณ 1.5×10^{13} เซนติเมตร และคาบ (P) ประมาณ 1 ปี หรือ 3.16×10^7 วินาที ดังนั้นโลกจะมีการเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ด้วยอัตราเร็ว

$$v = \frac{2\pi r}{p} \tag{6.2}$$

$$= 2.98 \times 10^6 \text{ ซม./วินาที}$$

ถ้าเราถือว่าดวงอาทิตย์ไม่มีการเคลื่อนที่

แสงสู่ศูนย์กลางของโลกก็คือแรงโน้มถ่วงเนื่องจากดวงอาทิตย์ ดังนั้น

$$\frac{GM_\odot m_\oplus}{r^2} = \frac{m_\oplus v^2}{r}$$

$$M_\odot = \frac{v^2 r}{G} \tag{6.3}$$

$$= 2.0 \times 10^{33} \text{ กรัม}$$

เราจะเห็นได้ว่า ดวงอาทิตย์นี้เป็นวัตถุท้องฟ้าที่มีมวลมากที่สุดในระบบสุริยะ คือ มีมวลประมาณ 300,000 เท่าของมวลโลก โดยใช้ค่ารัศมีและมวลของดวงอาทิตย์เราสามารถหาความหนาแน่นเฉลี่ยของดวงอาทิตย์ได้จากความสัมพันธ์

$$\bar{\rho}_\odot = \frac{M_\odot}{\frac{4\pi}{3} R_\odot^3} \tag{6.4}$$

$$= 1.4 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ซึ่งมากกว่าความหนาแน่นของน้ำเพียงเล็กน้อย เมื่อเราคิดถึงมวลมหาศาลของดวงอาทิตย์แล้วเราจะทราบได้ทันทีว่า ความดันที่จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์จะต้องมีค่ามากทีเดียวที่สามารถรองรับมวลของดวงอาทิตย์ได้ และความดันสูงเช่นนี้อะตอมและโมเลกุลที่เป็นกลางจะถูกอัดแน่นจนกระทั่งอิเล็กตรอนในอะตอมหลุดออกหมด ดังนั้นสสารเกือบทั้งหมดจะประกอบด้วยนิวเคลียสและอิเล็กตรอนอิสระรวมเรียกว่า พลาสมานั่นเอง

สมบัติของดวงอาทิตย์อีกอย่างหนึ่งคือ ดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเองเช่นเดียวกับดาวเคราะห์ต่าง ๆ ผู้ที่พิสูจน์ให้เห็นว่าดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเองก็คือ กาลิเลโอ โดยสังเกตการณ์และบันทึกได้ว่าจุดดับ (Sunspot) บนผิวของดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองจากทางทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก จากการศึกษาด้วยกล้องสเปกโทรสโกปสมัยใหม่ทำให้เราทราบว่า การหมุนรอบตัวเองในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของดวงอาทิตย์มีความเร็วมากกว่า

ในบริเวณขั้วเหนือและขั้วใต้ของดวงอาทิตย์ ทั้งนี้เนื่องจากดวงอาทิตย์มิใช่วัตถุแข็งแกร่ง แต่มันประกอบด้วยแก๊ส จึงทำให้มีอัตราการหมุนรอบตัวเองในบริเวณละติจูดต่าง ๆ แตกต่างกันได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์กับการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะวนตามกัน โดยมีระนาบไม่ทับกันแต่เอียงทำมุม 7° 15′ ต่อกัน ดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเองอย่างช้า ๆ จึงมีรูปร่างเกือบเป็นทรงกลม ซึ่งแตกต่างจากดาวฤกษ์บางดวงซึ่งหมุนรอบตัวเองอย่างรวดเร็ว และมีรูปร่างค่อนข้างแบน การที่ดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองต่างกันตามละติจูดซึ่งเรียกว่าการหมุนเชิงอนุพัน (Differential Rotation) นี้มีความสำคัญมาก และเชื่อว่าจะทำให้เกิดปรากฏการณ์เกี่ยวกับสนามแม่เหล็กและรอบกัมมันต์ของดวงอาทิตย์

6.2 บรรยากาศของดวงอาทิตย์

บริเวณที่แก๊สห่อหุ้มดวงอาทิตย์นับตั้งแต่ชั้นที่ลึกที่สุดที่เราสามารถสังเกตการณ์ได้จากภายนอกขึ้นมาเราเรียกว่า บรรยากาศของดวงอาทิตย์ เราสามารถแบ่งชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์ออกเป็น 3 เขต โดยพิจารณาจากลักษณะการแผ่รังสีของมันคือ **(1) ชั้นโฟโตสเฟียร์ (2) ชั้นโครโมสเฟียร์ (Chromosphere)** และ **(3) ชั้นโคโรนา (Corona)**

(1) ชั้นโฟโตสเฟียร์ เป็นบรรยากาศชั้นในสุด ซึ่งเป็นบริเวณผิวมีความสว่างที่มองเห็นได้ และแสงสว่างก็ได้แผ่รังสีมาจากชั้นนี้ ซึ่งประกอบด้วยแสงที่มีขนาดคลื่นต่าง ๆ ตั้งแต่ 3,500 A° ถึง 7,500 A° และมีเส้นมืดเฟรานโฮเฟอร์ (Fraunhofer Lines) ปรากฏในสเปกตรัม เราเรียกแสงจากโฟโตสเฟียร์ส่วนที่มีทุกขนาดความยาวคลื่นติดต่อกันว่า แสงต่อเนื่อง (Continuous Light) ดังนั้นเราอาจกล่าวได้ว่า แสงจากโฟโตสเฟียร์เป็นแสงต่อเนื่อง ซึ่งมีเส้นมืดเฟรานโฮเฟอร์ซ้อนทับอยู่ ชั้นโฟโตสเฟียร์จะอยู่เหนือเขตถ่ายเทพลังงานซึ่งเรียกว่าเขตการพา

(2) ชั้นโครโมสเฟียร์ เป็นชั้นบรรยากาศบาง ๆ ที่หุ้มชั้นโฟโตสเฟียร์ไว้ มีลักษณะโปร่งใสต่อแสงส่วนใหญ่ของโฟโตสเฟียร์ซึ่งผ่านออกมาโดยไม่ถูกกั้นบังไว้ ชั้นโครโมสเฟียร์มีความหนาเพียงประมาณ 5,000 กิโลเมตร ตอนบนของโครโมสเฟียร์เป็นเขตต่อเชื่อมกับบรรยากาศชั้นสูงขึ้นไป คือชั้นโคโรนา ที่จริงแล้วขอบบนของโครโมสเฟียร์สูงไม่แน่นอน ทั้งนี้เพราะว่าโครโมสเฟียร์ไม่ใช่ชั้นบรรยากาศเนื้อเดียวกัน แต่มีโครงสร้างเป็นลำแก๊สร้อนรูปร่างเหมือนน้ำพุเรียกว่า สปิกุล (Spicule) จำนวนมากเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ในบางครั้งลำแก๊สนี้อาจพุ่งสูงถึง 10,000 กิโลเมตร ดังนั้นเขตต่อเชื่อมก็จะสูงถึงระดับนี้ด้วย ที่ขอบดวงความสูงเฉลี่ยของโครโมสเฟียร์อาจวัดได้ถึง 7,000 กิโลเมตร บริเวณขอบบนของชั้นโครโมสเฟียร์เป็นบริเวณที่มีปรากฏการณ์รุนแรงมาก ซึ่งจะมองเห็นเป็นแนวโค้งสีสุกใส

ในขณะเกิดสุริยุปราคา โครโมสเฟียร์จะแผ่รังสีเฉพาะขนาดคลื่นจากธาตุต่าง ๆ เช่น ไฮโดรเจน แคลเซียม แมกเนเซียม และมีอยู่มากที่เป็นขนาดคลื่นตรงกับเส้นมืดเฟราน์ไฮเฟอร์ของชั้นโฟโตสเฟียร์ แสงเข้มที่สุดของโครโมสเฟียร์เป็นแสงสีแดงขนาดคลื่น 6562.8 A° จากธาตุไฮโดรเจน ซึ่งเป็นเส้นไฮโดรเจนแอลฟาในอนุกรมบัลเมอร์ ดังนั้นในขณะเกิดสุริยุปราคาเต็มดวง ชั้นโฟโตสเฟียร์จะถูกดวงจันทร์บังชั่วขณะหนึ่ง ทำให้มองเห็นชั้นโครโมสเฟียร์เป็นแนวเว้าสีแดง-ส้ม

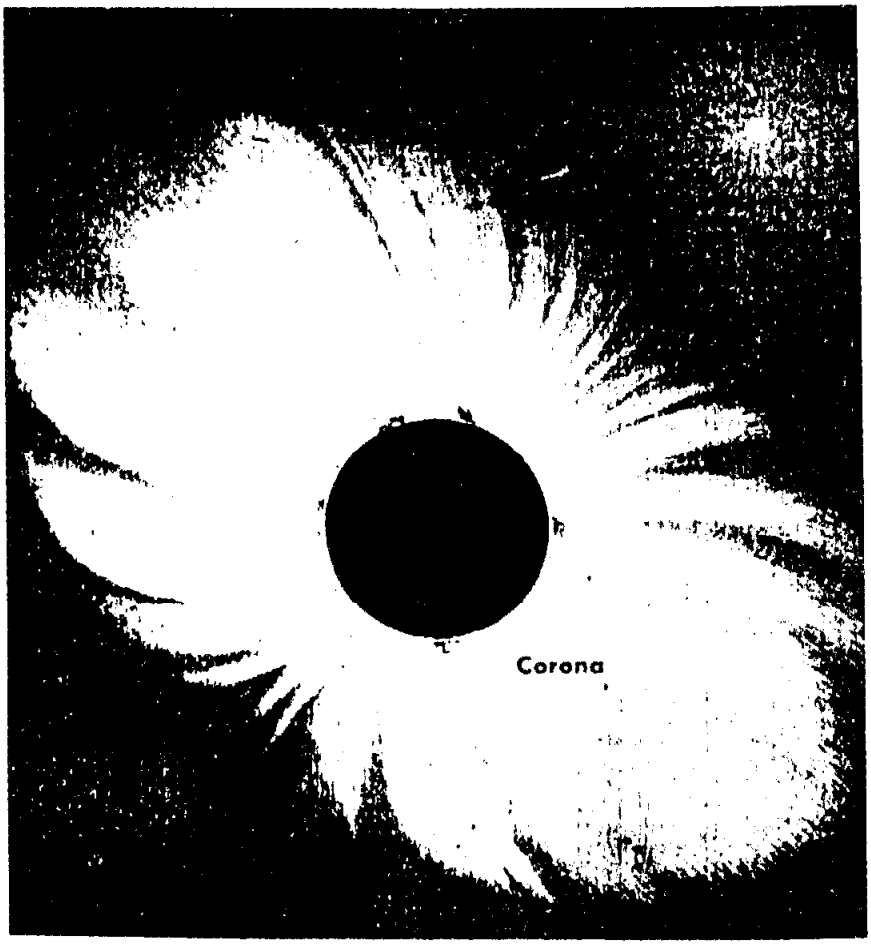
ในแบบจำลองทางทฤษฎีของโครโมสเฟียร์ อุณหภูมิระดับล่างสุดของโครโมสเฟียร์มีค่า 4,500 K และเพิ่มขึ้นตามความสูงจนถึง 1,000,000 K ที่ระดับบนซึ่งเป็นเขตต่อเชื่อมระหว่างโครโมสเฟียร์กับโคโรนา

(3) **ชั้นโคโรนา** เป็นชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มดวงอาทิตย์ อยู่ชั้นบนสุดถัดจากโครโมสเฟียร์ออกมา ซึ่งมีบรรยากาศเจือจางมากแต่แผ่กระจายออกจากดวงอาทิตย์ได้ไกลมาก ตามปกติเราจะสังเกตแสงจากโคโรนาค่อนข้างยาก เนื่องจากบริเวณโคโรนาที่อยู่ใกล้ดวงอาทิตย์มีความสว่างประมาณหนึ่งในล้านส่วนของความสว่างของดวงอาทิตย์เท่านั้น และความสว่างของโคโรนาจะลดลงไปอย่างรวดเร็ว เมื่อระยะทางห่างออกไปจากดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้น เช่นที่ระยะห่างออกไปจากดวงอาทิตย์เท่ากับสองเท่าของรัศมีของดวงอาทิตย์ โคโรนาจะมีความสว่างน้อยกว่าหนึ่งเปอร์เซ็นต์ของความสว่างในบริเวณด้านในสุดของโคโรนา ดังนั้นเราจึงมองเห็นโคโรนาเป็นแสงเรืองอ่อน ๆ สีไข่มุก ห่อหุ้มดวงอาทิตย์ไว้โดยรอบในขณะเกิดสุริยุปราคาเต็มดวง

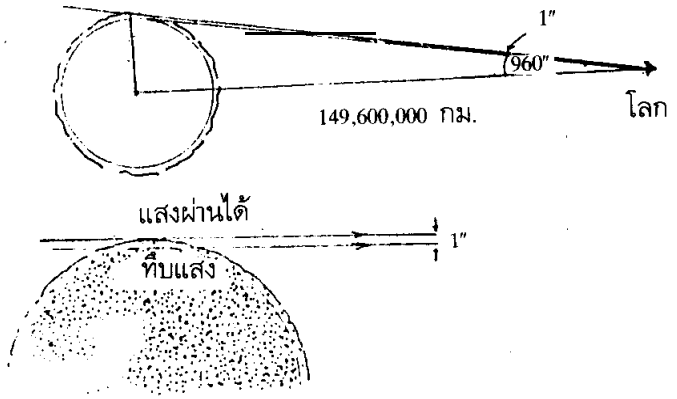
จากการวิเคราะห์พบว่า แสงจากโคโรนามีส่วนประกอบ 3 ชนิด คือ

(ก) แสงที่เกิดจากการกระเจิงของอิเล็กตรอนความเร็วสูงที่วิ่งอยู่ในบรรยากาศชั้นนี้ ซึ่งความเร็วสูงของอิเล็กตรอนเนื่องจากอุณหภูมิในโคโรนาสูงมาก และเราเรียกแสงโคโรนาส่วนนี้ว่า โคโรนา เค (K-Corona) แสงโคโรนา เค จึงนับว่าเป็นแสงที่มีความเข้มมากที่สุด และอยู่ในบริเวณโคโรนาด้านในซึ่งเป็นบริเวณที่อิเล็กตรอนมีความหนาแน่นมากที่สุด

(ข) แสงอีกชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากการสะท้อนของแสงในชั้นโฟโตสเฟียร์ โดยมีสาเหตุมาจากอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก ๆ เป็นเม็ดทรายและฝุ่นจำนวนมากโคจรอยู่รอบ ๆ ดวงอาทิตย์ อนุภาคเหล่านี้เองที่สะท้อนและกระเจิงแสงจากดวงอาทิตย์มาให้เราเห็นท้องฟ้าบริเวณใกล้ ๆ ดวงอาทิตย์สว่างขึ้น ซึ่งเป็นแสงที่ทอดตัวเข้าไปใกล้ดวงอาทิตย์ ดังนั้นส่วนประกอบของแสงนี้จึงนับว่าไม่ใช่บรรยากาศของดวงอาทิตย์ที่แท้จริง เราเรียกส่วนประกอบนี้ว่า แสงโคโรนาเอฟ (F-Corana)



รูป 6.1 แสดงขณะเกิดสุริยุปราคา เราจะมองเห็นแสงโคโรน่าแพร่ออกไปจากผิวของดวงอาทิตย์ ขณะเดียวกัน เราจะมองเห็นโปรมิเนนซ์เป็นเปลวไฟสว่างพุ่งขึ้นจากผิวดวงอาทิตย์



รูป 6.2 แสดงการมืดคล้ำที่ใกล้ขอบดวง

(ค) ส่วนประกอบของแสงอีกอย่างหนึ่งซึ่งมีเพียงประมาณร้อยละหนึ่งของแสงโคโรนา เป็นส่วนที่แสดงสเปกตรัมเส้นสว่างของธาตุต่าง ๆ เช่น เหล็ก นิกเกิ้ล แคลเซียม และซิลิกอน ซึ่งมีสภาพเป็นไอออนสูงมาก และแก๊สอยู่ในสภาพร้อนจัดที่เรียกว่า สถานะพลาสมา เนื่องจากอุณหภูมิสูงถึงระดับล้านองศาเคลวิน

จากการศึกษาแสงโคโรนาโดยถ่ายภาพด้วยรังสีเอกซ์ และด้วยเครื่องแรดิโอเฮลิโอแกรม (Radio Heliogram) พบการแผ่รังสีคลื่นวิทยุขนาดความยาวคลื่นมากกว่าหนึ่งเมตรเกิดในบริเวณโคโรนา และจากการศึกษาคลื่นวิทยุจากโคโรนาทำให้ทราบว่ามันมีอุณหภูมิระหว่าง 0.8×10^6 ถึง 1.5×10^6 K

6.3 ปรากฏการณ์ขณะดวงอาทิตย์สงบ

ดวงอาทิตย์สงบ (Quiet Sun) เราหมายถึงอาณาบริเวณในบรรยากาศของดวงอาทิตย์ซึ่งไม่มีสนามแม่เหล็กมากเกินกว่าที่มีอยู่ทั่วไป ส่วนอาณาบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กปรากฏเข้มข้นเป็นพิเศษเฉพาะบางแห่ง เราเรียกว่าดวงอาทิตย์กัมมันต์ (Active Sun) เนื่องจากสนามแม่เหล็กบนดวงอาทิตย์มีลักษณะรวมตัวเป็นหย่อม ๆ อยู่โดยทั่วตัวดวงไม่แน่นอน ดังนั้นการแบ่งแยกเขตทั้งสองจึงไม่มีขอบเขตชัดเจน โดยที่อาณาเขตทั้งสองแบบครอบคลุมบรรยากาศทั้งสามชั้นของดวงอาทิตย์

6.3.1 ปรากฏการณ์ในโฟโตสเฟียร์สงบ

การมืดคล้ำที่ขอบดวง จากการสังเกตดวงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์ทางดาราศาสตร์พบว่าบริเวณขอบของดวงอาทิตย์ปรากฏการมืด (Limb Darkening) ทำให้มองเห็นเป็นทรงกลมซึ่งมีขอบคมชัดเจน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าบริเวณขอบมืดของดวงอาทิตย์จะมีความสว่างน้อยกว่าบริเวณจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์มาก โดยบริเวณตรงกลางดวงสว่างที่สุด และความเข้มของความสว่างจะลดลงเมื่อห่างจากศูนย์กลางออกมาปรากฏการณ์นี้อธิบายได้ว่า เนื่องจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วยแก๊สไม่ใช่เป็นทรงกลมที่มีผิวแข็ง และแก๊สในดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามความลึก แสงสว่างที่แผ่ออกมานั้นมาจากใจกลางดวงซึ่งเป็นระดับที่ลึกกว่าและมีอุณหภูมิสูงกว่ามากตำแหน่งใกล้ขอบดวง ดังนั้นจึงมีความสว่างเข้มกว่า จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงตามระยะทางจากจุดศูนย์กลาง ทำให้ทราบว่า การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในบรรยากาศของดวงอาทิตย์ขึ้นกับความลึก ในช่วงความลึกที่แสงสว่างออกมาจากดวงอาทิตย์ได้ก็คือ ในบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์นั่นเอง

ดอกดวงของโฟโตสเฟียร์ จากการสังเกตดวงอาทิตย์ด้วยกล้องดูดาวในขณะที่บรรยากาศของโลกมีความแจ่มใส เราจะพบว่าโฟโตสเฟียร์ปรากฏมีลักษณะเป็นดอกดวง

(Granulation) อยู่ทั่วไปบนผิวของดวงอาทิตย์ ซึ่งพบว่ามีลักษณะคล้ายกับเซลล์นำความร้อนที่ผิวของน้ำมันขณะเดือด ดอกดวงมีประมาณ 4 ล้านเม็ด แต่ละเม็ดมีรูปร่างไม่เป็นระเบียบและมักจะมีหลายด้าน แต่ละด้านห้อมล้อมด้วยแถบแคบ ๆ ค่อนข้างเป็นสีดำ จากการทดลองนักดาราศาสตร์ยืนยันว่า ดอกดวงในโฟโตสเฟียร์เป็นส่วนบนของลำแก๊สร้อนซึ่งเป็นเซลล์นำความร้อนจากระดับล่างในดวงอาทิตย์ขึ้นมาแผ่รังสี และเมื่อพลังงานจากดอกดวงได้แผ่ออกไปแก๊สก็จะเย็นลง แล้วกลับตกลงสู่ภายในดวงอาทิตย์อีกตามขอบของดอกดวงที่เป็นแถบดำ ซึ่งแสดงอุณหภูมิต่ำกว่าตรงกลางของดอกดวง ดอกดวงหนึ่ง ๆ จะปรากฏขึ้นชั่วขณะหนึ่งแล้วจางหายไปในเวลาอันสั้น และมีดอกดวงใหม่เกิดขึ้นแทนที่ อายุเฉลี่ยของดอกดวงเท่ากับ 8 นาที จากการใช้สเปกโทรกราฟตรวจพบว่า ตรงกลางดอกดวงนั้นแก๊สกำลังเคลื่อนที่ไปและกลับทางแนวดิ่งด้วยความเร็ว 400 เมตรต่อวินาที

6.3.2 ปรากฏการณ์ในโครโมสเฟียร์สงบ

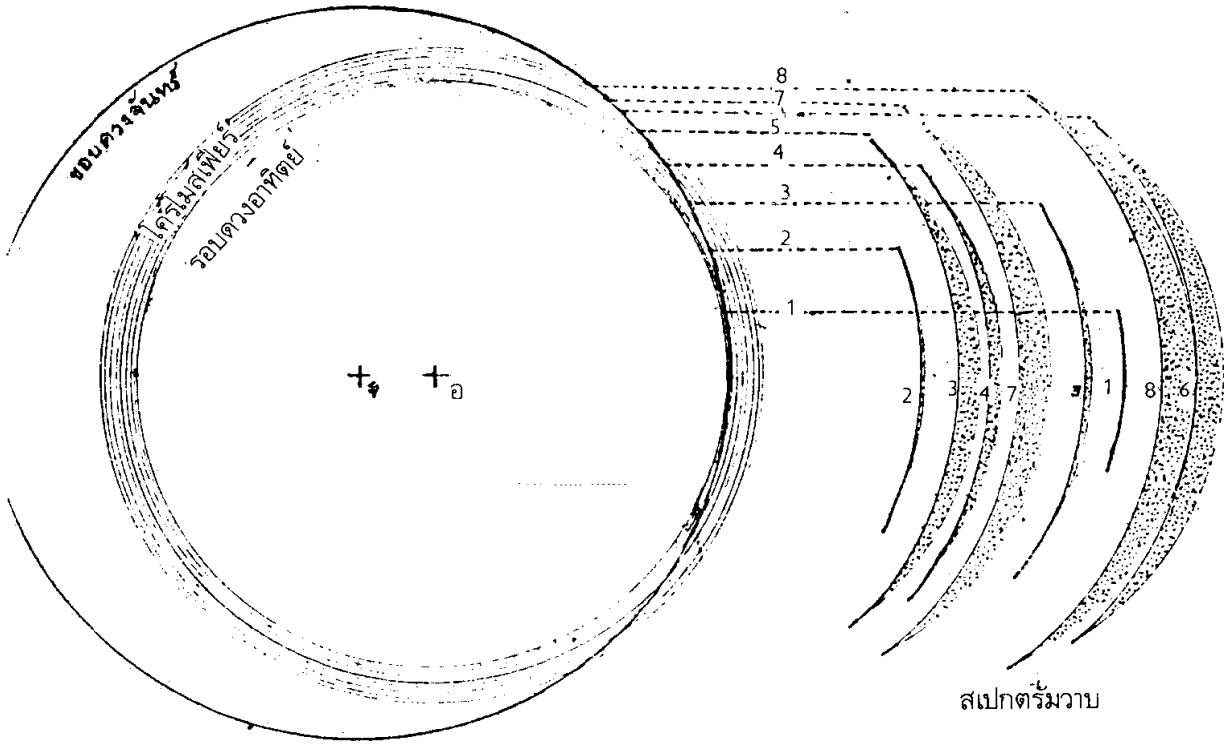
สเปกตรัมวาบ จากที่เราได้กล่าวแล้วว่า ชั้นโครโมสเฟียร์จะสังเกตได้ในขณะเกิดสุริยุปราคาเต็มดวง และในขณะที่ดวงจันทร์เข้าบังโฟโตสเฟียร์หมด เมื่อเราสังเกตขอบดวงอาทิตย์ด้วยกล้องโทรทรรศน์ธรรมดา เราจะเห็นได้ว่าบรรยากาศโครโมสเฟียร์ส่วนที่ไม่ถูกบังปรากฏเป็นเส้นโค้งสีแดงเรื่อ ซึ่งเกิดจากแสงรวมของแก๊สทุกชนิดในโครโมสเฟียร์มีขนาดมีมวลประมาณ 300,000 เท่าของมวลโลก โดยใช้ค่ารัศมีและมวลของดวงอาทิตย์ เราสามารถหาความหนาแน่นเฉลี่ยของดวงอาทิตย์ได้จากความสัมพันธ์

$$\bar{\rho}_{\odot} = \frac{M_{\odot}}{\frac{4\pi}{3} R_{\odot}^{3}} \qquad (6.4)$$

$$= 1.4 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

ซึ่งมากกว่าความหนาแน่นของน้ำเพียงเล็กน้อย เมื่อเราคิดถึงมวลมหาศาลของดวงอาทิตย์แล้วเราจะทราบได้ทันทีว่า ความดันที่จุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์จะต้องมีค่ามากทีเดียวที่สามารถรองรับมวลของดวงอาทิตย์ได้ และความดันสูงเช่นนี้อะตอมและโมเลกุลที่เป็นกลางจะถูกอัดแน่นจนกระทั่งอิเล็กตรอนในอะตอมหลุดออกหมด ดังนั้นสสารเกือบทั้งหมดจะประกอบด้วยนิวเคลียสและอิเล็กตรอนอิสระรวมเรียกว่า พลาสมานั่นเอง

สมบัติของดวงอาทิตย์อีกอย่างหนึ่งคือ ดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเองเช่นเดียวกับดาวเคราะห์ต่าง ๆ ผู้ที่พิสูจน์ให้เห็นว่าดวงอาทิตย์มีการหมุนรอบตัวเองก็คือ กาลิเลโอ โดยสังเกตการณ์และบันทึกได้ว่าจุดดับ (Sunspot) บนผิวของดวงอาทิตย์หมุนรอบตัวเองจากทางทิศตะวันออกไปทางทิศตะวันตก จากการศึกษาด้วยกล้องสเปกโทรสโกปสมัยใหม่ทำให้เราทราบว่า การหมุนรอบตัวเองในบริเวณเส้นศูนย์สูตรของดวงอาทิตย์มีความเร็วมากกว่า



รูป 6.3 แสดงการเกิดสเปกตรัมวาบในชั้นโครโมเฟียร์ ในขณะที่ดวงจันทร์เข้าบังดวงอาทิตย์เมื่อเกิดสุริยุปราคา
ขอบดวงจันทร์

สปิกุล ในปี 1868 นักดาราศาสตร์ชื่อ ซองซอง (Jaunsen) และนอร์มัน ลอกเยอร์ (Norman Lockyer) ต่างใช้สเปกโตรสโกปซึ่งเปิดช่องแคบยาวให้กว้างขึ้นเล็กน้อยในการสังเกตโครโมสเฟียร์และพวยแก๊สที่ขอบดวงโดยไม่ต้องรอให้เกิดสุริยุปราคาเสียก่อน ด้วยวิธีนี้ทำให้นักดาราศาสตร์สามารถศึกษาโครโมสเฟียร์และพวยแก๊สได้ทุกโอกาสที่ดวงอาทิตย์ปรากฏ ในปี ค.ศ.1877 นักดาราศาสตร์ชาวอิตาลี ชื่อ เอนจีโล เซคกี (Angelo Secchi) ได้ใช้สเปกโตรสโกปสำรวจโครโมสเฟียร์ที่ขอบดวงและได้กล่าวว่า โครโมสเฟียร์ประกอบด้วยกลุ่มแก๊สพุ่งขึ้นมามีลักษณะเป็นลำแหลม หรือเปลวไฟแนวตั้ง (Vertical Flames) จำนวนมากมาย มองดูเหมือนกับทุ่งหญ้ากำลังถูกไฟไหม้ โครงสร้างนี้ในปัจจุบันเรียกว่า สปิกุล สปิกุลเป็นโครงสร้างแบบลำไอพ่นของแก๊ส มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 1,000 กิโลเมตร ส่วนใหญ่พบว่ามีความสูง 7,000 กิโลเมตร และมีบางลำพุ่งขึ้นสูงถึง 15,000 กิโลเมตร พุ่งขึ้นไปข้างบนเป็นแถวด้วยความเร็ว 20–30 กิโลเมตรต่อวินาที แล้วก็สลายตัวไป และจะมีลำอื่น ๆ เกิดขึ้นใหม่ทดแทนกันโดยมีอายุเฉลี่ยเพียง 8 นาทีเท่านั้น จำนวนสปิกุลนับได้ในระดับต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปตามความสูง เช่น ในระดับสูง 3,000 กิโลเมตร จากโฟโตสเฟียร์จะมีสปิกุลประมาณ 250,000 ลำทั่วตัวดวงอาทิตย์ ทั้งนี้สปิกุลมิได้กระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอตลอดทั่วพื้นผิว แต่จะปรากฏรวมเป็นกระจุกหนาแน่นในบริเวณรอยต่อเขตแดนระหว่างดอกดวงยักษ์ ด้วยเหตุนี้รูปลักษณ์ของโครงสร้างในโครโมสเฟียร์จึงมีตาข่ายโครโมสเฟียร์ (Chromospheric Network) ซึ่งเกิดจากการกระจายอยู่ของสปิกุลทั่วตัวดวง

มอตเติลและฟิลาเมนต์ จากการศึกษาโครโมสเฟียร์บนตัวดวงด้วยอุปกรณ์ซึ่งสามารถสังเกตการณ์ดวงอาทิตย์ โดยกรองเอาเฉพาะขนาดคลื่นของเส้นไฮโดรเจน แอลฟา (H_α) หรือเส้นเคของแคลเซียมไอออน (K-Line) พบว่าโครโมสเฟียร์ที่ตัวดวงมีโครงสร้างที่สำคัญคือ มอตเติล (Mottle) ซึ่งมีทั้งมอตเติลมืดและมอตเติลสว่าง มีขนาดเฉลี่ยประมาณ 2,500 กิโลเมตร มีบางคนเชื่อกันว่ามอตเติลทั้งสองชนิดปรากฏให้เห็นที่ขอบดวงเป็นสปิกุลนั่นเอง มอตเติลมืดและสว่างบนตัวดวงโครโมสเฟียร์มักจะปรากฏรวมกลุ่มกัน รูปลักษณ์ซึ่งปรากฏให้เห็นบ่อย ๆ ก็คือ โครงสร้างคล้ายกุหลาบ (Rosette) โดยที่มอตเติลมืดและสว่างจะเรียงตัวสลับกัน โดยวางส่วนยาวตามแนวรัศมีออกจากจุดศูนย์กลางร่วม ทำให้เกิดรูปคล้ายคลึงกับดอกกุหลาบ นอกจากนี้ยังมีโครงสร้างอีกแบบหนึ่งคือ โครงสร้างก้างปลา (Herring Bone) ซึ่งมอตเติลทั้งสองชนิดมีการเรียงตัวสลับกันเป็นแถวสองข้างของเส้นกลาง ทำให้เกิดรูปร่างคล้ายกับก้างปลา การเกิดรูปลักษณ์เช่นนี้เป็นนัยแสดงให้รู้ว่า พลาสมาของมอตเติลเคลื่อนที่และวางตัวตามแนวทางของสนามแม่เหล็กในแต่ละบริเวณบนตัวดวงอาทิตย์ และสนามแม่เหล็ก

ที่ปรากฏในโครโมสเฟียร์ของดวงอาทิตย์มีสภาพรวมตัวกันเป็นหย่อม ๆ และพุ่งขึ้นมาจากโฟโตสเฟียร์ผ่านโครโมสเฟียร์ออกสู่โคโรนา

ดังนั้นโครงสร้างของโครโมสเฟียร์ในแสงไฮโดรเจน แอลฟา จึงเป็นนัยแสดงให้เห็นรูปลักษณ์ของสนามแม่เหล็กบนดวงอาทิตย์

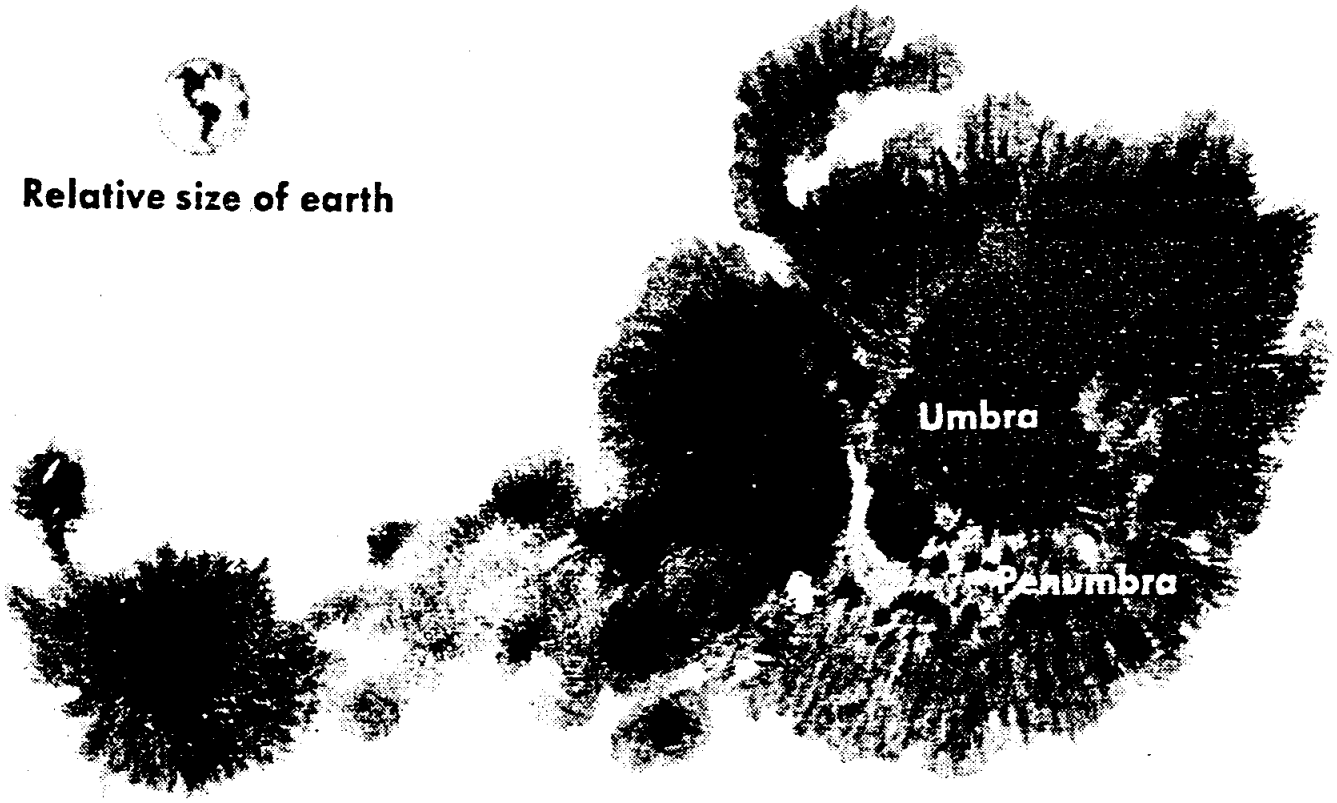
โครงสร้างในบริเวณต่อเนื่องอีกชนิดหนึ่งก็คือ ฟิลาเมนต์ (Filaments) ซึ่งปรากฏให้เห็นเป็นเส้นยาวดำหรือมืด วางตัวอยู่บนตัวดวงชั้นโครโมสเฟียร์ และเมื่อฟิลาเมนต์ไปปรากฏที่ขอบดวงก็คือพวยแก๊สหรือโปรมิเนนซ์ (Prominence) นั่นเอง ฟิลาเมนต์เมื่ออยู่เหนือตัวดวงมันจะบังและดูดกลืนแสงจากโครโมสเฟียร์ที่อยู่พื้นหลังเบื้องล่าง จึงปรากฏเป็นเส้นมืด แต่เมื่อมันไปปรากฏที่ขอบดวงซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าพื้นหลังมันจึงปรากฏสว่างเป็นพวยแก๊ส

6.4 ปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์กัมมันต์

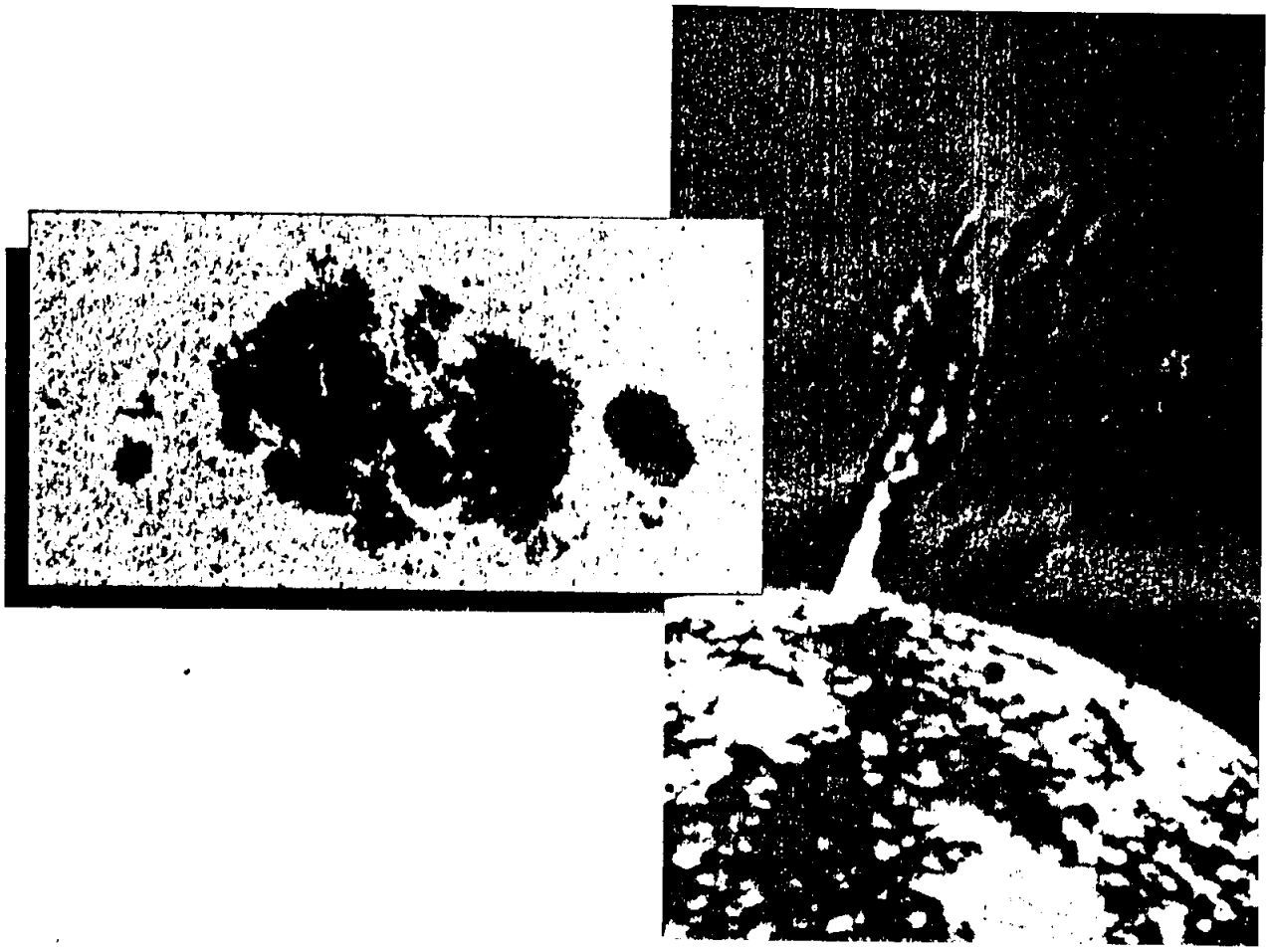
ปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์กัมมันต์ เป็นปรากฏการณ์ชั่วคราว มีหลายชนิดซึ่งสัมพันธ์กับการเกิดและการสลายตัวของสนามแม่เหล็ก และเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศทั้งโฟโตสเฟียร์ โครโมสเฟียร์ และโคโรนา เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในขณะดวงอาทิตย์มีความรุนแรง เช่น จุดดับ (Sunspot) แฟคิวเล (Faculae) พวยแก๊ส การลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ (Solar Flare) รวมทั้งการกลั่นตัวของโคโรนา การปล่อยคลื่นวิทยุ คลื่นรังสีเอกซ์ และการระเบิดคลื่นรังสีคอสมิก

6.4.1 จุดดับบนดวงอาทิตย์

จุดดับบนดวงอาทิตย์เกิดในอาณาบริเวณบนตัวดวงชั้นโฟโตสเฟียร์ทั่วไป จุดดับบนดวงอาทิตย์เราสามารถมองเห็นได้ทั้งโดยใช้กล้องโทรทัศน์หรือด้วยตาเปล่า ทั้งนี้เพราะว่าจุดดับขนาดใหญ่จะโตกว่าขนาดของโลก และเมื่อเราคอยสังเกตในตอนรุ่งเช้าหรือในตอนใกล้ค่ำ ขณะที่ดวงอาทิตย์อยู่ที่ขอบฟ้าและมีหมอกที่ขอบฟ้าคอยช่วยกรองแสงไว้ไม่ให้แสงจ้าจนเกินไป ภาพที่ปรากฏบนดวงอาทิตย์ของจุดดับประกอบด้วยสองส่วนคือ บริเวณใจกลางเรียกว่าเขตมืด (Umbra) และรอบ ๆ เขตมืดเรียกว่าเขตมัว (Penumbra) ซึ่งมีลักษณะเป็นรูปเส้นใยยาวมืดสลับสว่างแผ่กระจายเป็นรัศมีออกนอกเขตมืด การที่จุดดับปรากฏมืดเมื่อเทียบกับโฟโตสเฟียร์ก็เนื่องจากมันมีอุณหภูมิต่ำกว่ามากนั่นเอง จึงทำให้มองเห็นว่ามืด ความจริงแล้วจุดเหล่านี้มีความสว่างและร้อนยิ่งนัก จากการสังเกตความสว่างของจุดดับพบว่า จุดดับขนาดเล็กมีอุณหภูมิถึง 3,800 K ส่วนอุณหภูมิที่ชั้นโฟโตสเฟียร์ซึ่งอยู่รอบ ๆ จุดดับมีอุณหภูมิยังผลประมาณ 5,800 K เมื่อพิจารณาจากค่าอุณหภูมิเหล่านี้จะเห็นได้ว่า ที่ปรากฏเป็นจุดมืดมัวเหล่านั้นเป็นเพียงความสว่างเปรียบเทียบระหว่างเขตมืด เขตมัว และโฟโตสเฟียร์ หาใช่ว่าเขตมืดไม่มีความสว่างอยู่อย่างแท้จริงไม่



รูป 6.4 แสดงบริเวณอัมบรา (Umbra) พีนัมมา (Penumba) ที่เกิดขึ้นมาในดวงอาทิตย์มีขนาดใหญ่โตกว่าโลกของเราหลายเท่า (โลกเปรียบเทียบให้เห็นอยู่ทางด้านซ้ายมือ)



รูป 6.5 จุดดับบนดวงอาทิตย์ ความจริงคือบริเวณมีความมืดกว่าบริเวณอื่นของดวงอาทิตย์ บริเวณหนึ่ง ๆ จะมีขนาดใหญ่กว่าโลกของเราหลายเท่าตัว

จากการสังเกตโดยทั่วไปพบว่า จุดดับตามปกติแล้วมักจะไม่เกิดขึ้นเป็นจุดเดียว แต่จะปรากฏขึ้นและวิวัฒนาการเป็นกลุ่มจุดดับ (Group Sunspot) ที่มีความสลับซับซ้อนมาก และมีรูปร่างต่าง ๆ สำหรับจุดดับซึ่งมีลักษณะค่อนข้างกลม มีรัศมีของเขตมืดเฉลี่ยเท่ากับ 0.42 เท่าของรัศมีเขตมัว และจะปรากฏวงแหวนสว่าง (Bright Ring) อยู่โดยรอบตัดเขตมัวออกมาอีกทีหนึ่ง โดยรัศมีของวงแหวนสว่างมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.35 ของรัศมีเขตมัว จุดขนาดเล็กที่สุดของกลุ่มปรากฏเป็นเพียงรูกลม ๆ และไม่มีเขตมัว จุดขนาดเล็กนี้มีเส้นผ่าศูนย์กลางเพียงไม่กี่ร้อยกิโลเมตรเท่านั้น ในขณะที่จุดขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางยาวกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของโลกมากมายหลายเท่าที่ขอบของดวงอาทิตย์จุดขนาดใหญ่ที่มองเห็นจะมีลักษณะเหมือนกับว่าผิวของดวงอาทิตย์ยุบตัวลงไป

จากการใช้สเปกโทรกราฟตรวจวิเคราะห์สนามแม่เหล็กจากปรากฏการ์ซีแมน (Zeeman Effect) พบว่าจุดดับเป็นบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กรุนแรงมากที่สุดบนดวงอาทิตย์ ที่ตรงกลางของจุดดับสนามแม่เหล็กมีทิศตั้งฉากกับผิวของดวงอาทิตย์ และระยะถัดออกมาเส้นแรงแม่เหล็กจะเอียงออกแผ่กระจายคล้ายกับว่าจุดดับเป็นขั้วแม่เหล็ก นอกจากนี้ยังพบว่าจุดดับยิ่งมีขนาดใหญ่เท่าใดก็จะมีสนามแม่เหล็กเข้มมากขึ้นตามขนาดหรือพื้นที่ทั้งหมดของจุด

สาเหตุที่บริเวณจุดดับมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ นักดาราศาสตร์มีความเห็นว่าเป็นผลเนื่องมาจากการปรากฏฟลักซ์แม่เหล็กเข้มผุดขึ้นมาสู่โฟโตสเฟียร์ตกระดับล่างตรงบริเวณที่สนามแม่เหล็กพุ่งขึ้นมาเป็นจุดดับจะเย็นลง เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากภายในของดวงอาทิตย์ตรงบริเวณที่ผิวนั้นถูกขัดขวาง เพราะว่าสนามแม่เหล็กมีอำนาจกดความพลุ่งพล่านของพลาสมา ทำให้มีการแผ่รังสีน้อยลง จึงทำให้เรามองเห็นว่ามืด

วัฏจักรของจุดดับ จุดดับบนดวงอาทิตย์ในวันหนึ่ง ๆ ปรากฏมีจำนวนแตกต่างกัน นักดาราศาสตร์พบว่าวัฏจักรหนึ่ง คือ ตั้งแต่เริ่มมีจุดดับจนถึงไม่มีจุดดับบนดวงอาทิตย์เลย มีช่วงเวลาเท่ากับ 11 ปี นักดาราศาสตร์ชื่อ ยอร์ช เอลเลอรี่ เฮล ได้พบว่า กลุ่มจุดดับบนดวงอาทิตย์มีขั้วแม่เหล็กปรากฏเป็นสองขั้วตรงข้ามกัน เรียงตัวเกือบขนานกับเส้นศูนย์สูตร จึงเรียกว่า กลุ่มจุดดับสองขั้ว (Bipolar Sunspot Group) และยังพบอีกว่า ขั้วของกลุ่มจุดในแต่ละซีกดวง (Hemisphere) แบ่งตามเหนือใต้มีการสลับขั้วแม่เหล็กและจะกลับมาเป็นขั้วเดิมทุก ๆ รอบ 22 ปี ดังนั้นในปัจจุบันเราจึงถือว่าวัฏจักรหนึ่งของจุดดับมีช่วงเวลา 22 ปี

6.4.2 บริเวณกัมมันต์

จุดดับแต่ละกลุ่มจะมีบริเวณกัมมันต์ (Active Region) กว้างขวางมากในชั้นโฟโตสเฟียร์ ลักษณะที่สำคัญที่สุดของบริเวณกัมมันต์ก็คือ สนามแม่เหล็กในเขตมืดและเขตมัวจะมีความเข้ม

แม่เหล็กมากที่สุดเป็นขนาดพันเกาส์ ส่วนบริเวณกัมมันต์ทั่วไป คือบริเวณรอบ ๆ จุดดับมีความเข้มแม่เหล็กขนาดร้อยเกาส์ และที่ขอบของบริเวณกัมมันต์จะมีความเข้มแม่เหล็กลดลงอย่างมาก เหลือเพียงสองสามเกาส์เท่านั้น สภาพแม่เหล็กในบริเวณกัมมันต์ใด ๆ จะแยกออกเป็นสองขั้วเสมอ เราเรียกว่าบริเวณแม่เหล็กสองขั้ว (Bipolar Magnetic Region)

โครงสร้างละเอียดซึ่งมีลักษณะเป็นกลุ่มของเม็ดมีแสงสว่างสุกใสกว่าดอกดวงในบริเวณกัมมันต์ของชั้นโฟโตสเฟียร์ เนื่องจากมีความหนาแน่นและอุณหภูมิสูงกว่า เราเรียกว่า แฟคิวเล เราสังเกตเห็นแฟคิวเลได้ชัดเจนเฉพาะในแสงสีขาวตรงบริเวณขอบดวงเท่านั้น เนื่องจากที่ขอบดวงชั้นโฟโตสเฟียร์มืดคล้ำกว่า ในบริเวณใจกลางดวงหรือตัวดวงโฟโตสเฟียร์สว่างขึ้นมาก แฟคิวเลจึงไม่ปรากฏความสว่างแตกต่างกันมากพอที่จะให้เห็นได้ ในระดับโครโมสเฟียร์ก็มีโครงสร้างแบบเดียวกันนี้ แต่เรียกว่าพลาจ (Plage) ซึ่งสว่างกว่า เพราะว่ามีอุณหภูมิสูงกว่าโครงสร้างอื่น เช่น มอตเติลในโครโมสเฟียร์ ทั้งนี้เป็นผลจากอิทธิพลของสนามแม่เหล็กในบริเวณกัมมันต์นั่นเอง

ในชั้นโคโรนาปรากฏว่ามีสารธาโคโรนา และการกลั่นตัวของโคโรนาเกิดขึ้นในบริเวณกัมมันต์ ซึ่งเราสังเกตการณ์ได้ในแสงสีขาว อนึ่งในชั้นโคโรนาเหนือบริเวณพลาจนั้น โคโรนาจะมีการแผ่รังสีสเปกตรัมเส้นสว่าง ("เส้นสีเขียว" ซึ่งเป็นของเหล็กที่แตกตัวเป็นไอออนบวก 13 ที่ความยาวคลื่น 5303 A°) ที่มีความแรงเป็นพิเศษ และยังมีเส้นสเปกตรัมอื่นบางเส้นในรังสีอุลตราไวโอเลตสั้นมาก นอกจากนี้ปริมาณความหนาแน่นของอิเล็กตรอนยังสูงขึ้น ทำให้มีการแผ่รังสีคลื่นวิทยุมากขึ้นด้วย

ปรากฏการณ์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นในบริเวณกัมมันต์ก็คือ พวยแก๊ส พวยแก๊สเป็นปรากฏการณ์ที่สวยงามมากที่สุดของดวงอาทิตย์ เมื่อเราสังเกตการณ์ในชั้นโครโมสเฟียร์บนตัวดวง พวยแก๊สจะปรากฏให้เห็นเป็นแนวยาวไม่มีแสงของพวยแก๊ส เรียกว่าฟิลาเมนต์ เมื่อพวยแก๊สพุ่งตัวขึ้นทาบท้องฟ้ามืดเราจะมองเห็นมันได้ ปรากฏเหมือนเมฆมีสีสุกใสสวยงามมาก โดยทั่วไปพวยแก๊สจะติดอยู่กับผิวของดวงอาทิตย์ แต่ก็มีบางพวยแก๊สไม่ติดกับผิวของดวงอาทิตย์ พวยแก๊สมีรูปร่างได้หลายรูปแบบเช่นเดียวกับรูปร่างของเมฆ จากรูปร่างและการเกิดของพวยแก๊สทำให้นักดาราศาสตร์จำแนกพวยแก๊สออกในขั้นต้นเป็นสองจำพวกคือ พวยแก๊สสงบ (Quiet Prominence) และพวยแก๊สกัมมันต์ (Active Prominence)

พวยแก๊สสงบจะปรากฏตามเส้นแบ่งแยกขอบเขตระหว่างขั้วต่างกันของบริเวณกัมมันต์ เส้นแบ่งเขตนี้เราเรียกว่าเส้นเป็นกลาง (Neutral Line) ดังนั้นพวยแก๊สจำพวกนี้จึงมีลักษณะคล้ายกับม่านซึ่งห้อยอยู่เหนือดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีแก๊สที่กลั่นตัวจากชั้นโคโรนาเลื่อน

ไหลลงสู่โครโมสเฟียร์ พวยแก๊สสงบมีอายุอยู่ได้หลายสัปดาห์ สำหรับพวยแก๊สกัมมันต์มีอายุอยู่ได้ไม่กี่ชั่วโมงเท่านั้น เช่น พวยแก๊สชนิดเป็นวง (Loop Prominence) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ และมีอายุเพียงชั่วโมงเดียว โดยปรากฏให้เห็นแก๊สซึ่งกลั่นตัวจากชั้นโคโรนาไหลลงสู่ชั้นโครโมสเฟียร์ตามเส้นแรงแม่เหล็ก ซึ่งโค้งต่อเชื่อมระหว่างขั้วของบริเวณแม่เหล็กสองขั้ว

6.4.3 การลุกจ้าบนดวงอาทิตย์

ในบริเวณกัมมันต์ของดวงอาทิตย์ มีปรากฏการณ์ที่มีพลังรุนแรงอย่างหนึ่งซึ่งเกิดจากเม็ดพลาจ มีความสว่างเจิดจ้าขึ้นมาทันทีทันใดเป็นครั้งคราว ความสว่างที่เจิดจ้านี้เราเรียกว่าการลุกจ้า ซึ่งเราสามารถมองเห็นได้ง่ายเมื่อใช้แสงสีแดงของไฮโดรเจนทำการสังเกตการณ์จากโลก การลุกจ้าบนดวงอาทิตย์เป็นการคายพลังงานปริมาณมหาศาลในช่วงเวลาสั้น ๆ ออกมา เราพบว่าในขณะเกิดการลุกจ้าขึ้นมีการแผ่รังสีหลายขนาดคลื่น ตั้งแต่รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ซึ่งเป็นคลื่นสั้นมาก จนถึงคลื่นวิทยุที่มีความยาวคลื่นมาก นอกจากนี้ยังมีการแผ่รังสีอนุภาคพลังงานสูงที่เรียกว่า รังสีคอสมิกของดวงอาทิตย์ (Solar Cosmic Rays) ได้แก่ อนุภาคโปรตอน อิเล็กตรอนอิสระ และใจกลางอะตอมของธาตุต่าง ๆ มีปรากฏการณ์ทางธรณีฟิสิกส์หลายอย่างเกิดขึ้นมา ซึ่งเราสังเกตได้บนโลก เช่น ในขณะเกิดการลุกจ้าบนดวงอาทิตย์ นักวิทยาศาสตร์พบว่า การสื่อสารด้วยวิทยุคลื่นสั้นระหว่างสถานีบนพื้นโลกขัดข้อง เนื่องจากมีรังสีเอกซ์แผ่กระจายมาจากการลุกจ้าจะเปลี่ยนสภาพของชั้นไอโอโนสเฟียร์ที่ห่อหุ้มโลก ทำให้มีการแตกตัวเป็นไอออนมากขึ้น เมฆพลาสมา (Plasma Cloud) จากบริเวณที่เกิดการลุกจ้าเคลื่อนที่ออกมาด้วยความเร็ว 2,000 กิโลเมตรต่อวินาที เมื่อมาถึงยังบริเวณสนามแม่เหล็กของโลกทำให้เกิดแสงเหนือ-แสงใต้

จากการสำรวจด้วยสเปกโตรกราฟจะพบว่า เส้นมืดเฟราน์โฮเฟอร์ของพลาจเปลี่ยนเป็นสเปกตรัมเส้นสว่าง และความสว่างจะเพิ่มขึ้นถึงค่าสูงสุดภายในเวลา 5 นาที แล้วจะค่อยลดลงสู่สภาพเดิมในเวลา 20 นาที สำหรับการลุกจ้าขนาดใหญ่ ความสว่างเพิ่มขึ้นแล้วลดลงสู่สภาพเดิม อาจจะใช้เวลานานถึงสามชั่วโมง มีบ่อยครั้งพบว่าการลุกจ้าทำให้เกิดคลื่นกระแทก (Blast Wave) ซึ่งมีความเร็วสูงมาก ขนาด 1,000 กิโลเมตรต่อวินาที เคลื่อนที่ผ่านผิวหน้าดวงอาทิตย์ไป ทำให้เส้นสายหรือพวยแก๊สแสดงอาการเคลื่อนไหว หรือบางทีทำให้เส้นสายที่อยู่ห่างไกลสลายตัวไปได้ ซึ่งเราสังเกตการณ์เห็นได้ คลื่นกระแทกยังส่งผลกระทบต่ออนุภาคขนาดอะตอมที่หลั่งไหลออกจากโดยแผ่กระจายผ่านลมสุริยะ (Solar Wind) ด้วยความเร็ว 1,500 กิโลเมตรต่อวินาที และเปลี่ยนแปรปริมาณอนุภาคในลมสุริยะที่บริเวณโลก

ของเรา การลุกจ้าจะมีกลไกซึ่งเร่งอนุภาครังสีคอสมิกให้มีความเร็วและพลังงานสูงมาก อนุภาคในรังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์มีพลังงานตั้งแต่ขนาดพันอิเล็กตรอนโวลต์ จนถึงขนาดประมาณสองหมื่นล้านอิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งอนุภาคส่วนใหญ่จะมีพลังงานในระดับล้านอิเล็กตรอนโวลต์

การลุกจ้าขนาดใหญ่จะให้พลังงานในขนาด 2×10^{32} เอิร์ก ครึ่งหนึ่งของพลังงานนี้อยู่ในแสงสว่าง และอีกครึ่งหนึ่งอยู่ในคลื่นปะทะ (Shock Wave) และมีเพียงหนึ่งเปอร์เซ็นต์อยู่ในรังสีคอสมิก กลไกการเกิดรังสีมอสมิกในขณะเกิดการลุกจ้านั้น ยังไม่มีใครทราบได้ แม้จะเชื่อกันว่าสนามแม่เหล็กมีส่วนสำคัญก็ตาม นักวิทยาศาสตร์ได้พบหลักฐานว่าอนุภาครังสีคอสมิกมาจากบริเวณซึ่งมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความเข้มแม่เหล็กตามระยะทางมีค่าสูงมาก และในขณะเกิดการลุกจ้าขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงนี้มีค่าลดลง แต่พลังงานจากสนามแม่เหล็กแปรเปลี่ยนไปเป็นพลังงานในการลุกจ้าได้อย่างไรยังไม่มีทฤษฎีใดสามารถทำนายได้และเป็นที่ยอมรับกัน

แบบฝึกหัดที่ 6

6.1 จงหาว่าดวงอาทิตย์ใช้ไฮโดรเจนไปเท่าไรในเวลาทุก ๆ วินาที

6.2 จงอธิบายกลไกการเกิดเส้นมืดและเส้นสว่างในสเปกตรัมของดวงอาทิตย์เกิดขึ้นได้อย่างไร

6.3 จากการกำหนดให้ว่า ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำ ซึ่งมี $L_{\odot} = 3.9 \times 10^{33}$ เอิร์กต่อวินาที มีเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงมุม = 33 อาร์ควินาที ถ้าระยะทางจากโลกถึงดวงอาทิตย์มีค่าโดยเฉลี่ย = 1.5×10^{13} เซนติเมตร จงคำนวณหาเส้นผ่าศูนย์กลางเชิงเส้น และรัศมีของดวงอาทิตย์ ($R_{\odot}$) พร้อมทั้งอุณหภูมิยังผลของดวงอาทิตย์

6.4 ถ้ามีดาวฤกษ์ดวงหนึ่งมีค่ากำลังส่องสว่างมากกว่าดวงอาทิตย์ 100 เท่า และพบว่ามีอุณหภูมิเท่ากับดวงอาทิตย์ จงเปรียบเทียบรัศมีของดาวฤกษ์ดวงนี้กับดวงอาทิตย์ โดยกำหนดให้ดาวทั้งสองปล่อยพลังงานเหมือนกับวัตถุดำ

6.5 สมมติว่าในระยะเริ่มแรกดวงอาทิตย์ประกอบด้วย มวลของไฮโดรเจน 70 เปอร์เซ็นต์ จงหาว่าจะมีจำนวนนิวเคลียสทั้งหมดกี่นิวเคลียสในระยะเริ่มแรก ถ้ามวลทั้งหมดของดวงอาทิตย์มีค่าเป็น 2×10^{33} กรัม และไฮโดรเจนทั้งหมดสามารถหลอมเป็นนิวเคลียสตามสมการ

$$4H \rightarrow He$$

6.6 จงอธิบายปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์สงบในบรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์ โครโมสเฟียร์ และโคโรนา

6.7 จงอธิบายปรากฏการณ์ดวงอาทิตย์กัมมันต์ในบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์