

ดวงอาทิตย์ (The Sun)

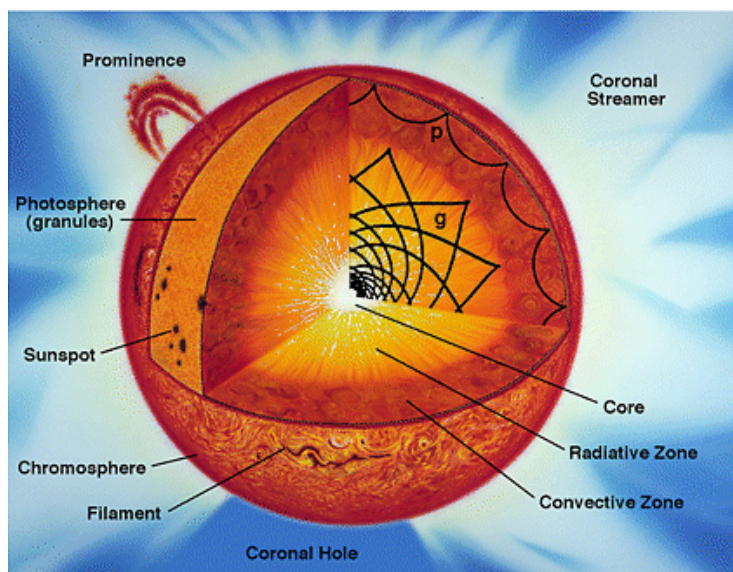


โครงสร้างของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ดวงหนึ่ง ประกอบด้วยกลุ่มแก๊สที่มีอุณหภูมิสูงมาก มีเส้นผ่านศูนย์กลางของพื้นผิวที่เห็น ได้มีค่าประมาณ 1,390,000 ก.ม.

- ใหญ่กว่าโลกประมาณ 109 เท่า
- มีปริมาตรมากกว่าโลกประมาณ 1.33 ล้านเท่า
- มีมวลมากกว่ามวลของโลกประมาณ 1/3 ล้านเท่า
- ความหนาแน่นเฉลี่ยประมาณ 1/4 เท่า ของความหนาแน่นของโลก

หรือประมาณ 1.4 เท่าของความหนาแน่นของน้ำ



ชั้นบรรยากาศของดวงอาทิตย์

- 1) โฟโตสเฟียร์ (Photosphere) เป็นบรรยากาศชั้นในสุดของดวงอาทิตย์ เป็นบริเวณที่มีการแผ่ สเปกตรัมแบบต่อเนื่อง (Continuous Spectrum) ออกมา บรรยากาศชั้นนี้มีปรากฏการณ์ การเกิดดอกดวงแบบสว่าง (Bright Granulations) และแฟลคิวเล (Faculae) นอกจากนี้ ยังมีจุดบนดวงอาทิตย์ (Sunspots) ซึ่งเกิดจาก แก๊ซที่อยู่เหนือ โฟโตสเฟียร์ขึ้นไป
- 2) โครโมสเฟียร์ (Chromosphere) เป็นบรรยากาศที่อยู่เหนือชั้น โฟโตสเฟียร์ขึ้นมา บรรยากาศชั้นนี้มีสีแดง ซึ่งเกิดจากการลุกจ้า (Glow) ของไฮโดรเจน กิ นอานาบริเวณหลายพันกิโลเมตรเหนือโฟโตสเฟียร์ขึ้นมา ชั้นต่ำสุดเรียกว่า ชั้นวอกกลับ (Reversing Layer) นอกจากนี้ บรรยากาศชั้นนี้ยังมีการพลุ้งของ พวยแก๊ซ (Prominence) ขึ้นไปสู่หลายหมื่นกิโลเมตรด้วย
- 3) โคลโรนา (Corona) เป็นบรรยากาศชั้นนอกสุดของดวงอาทิตย์ จะเห็นได้ชัดเจนที่เกิดสุริยุปราคาแบบเต็มดวง

การหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์



ผลการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์สังเกตได้จากการเคลื่อนที่แบบซ้ำๆ ของจุด (Sunspots) หรือกลุ่มจุด (Sunspot Groups) บนดวงอาทิตย์

อัตราเร็วของการหมุนรอบตัวเองของดวงอาทิตย์ ณ ละติจูดใดๆ หาได้โดยการศึกษาการเคลื่อนของแถบสเปกตรัม โดยขอบทางด้านตะวันตกเป็นขอบที่เคลื่อนที่ออกจากผู้สังเกต สเปกตรัมจะเลื่อนไปในแถบความยาวคลื่นสีแดง และขอบทางด้านตะวันออกเป็นขอบที่เคลื่อนที่เข้าหาผู้สังเกต สเปกตรัมจะเลื่อนไปในแถบความยาวคลื่นสีน้ำเงิน จาก กฎของดอปเปลอร์ ตามสมการ

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$$

โดย $\lambda\Delta$ เป็นความยาวคลื่นที่เลื่อนไป

λ เป็นความยาวคลื่นที่สังเกต

v เป็นอัตราเร็วของการหมุนรอบตัวเอง

c เป็นอัตราเร็วของแสง

การปล่อยพลังงานของดวงอาทิตย์

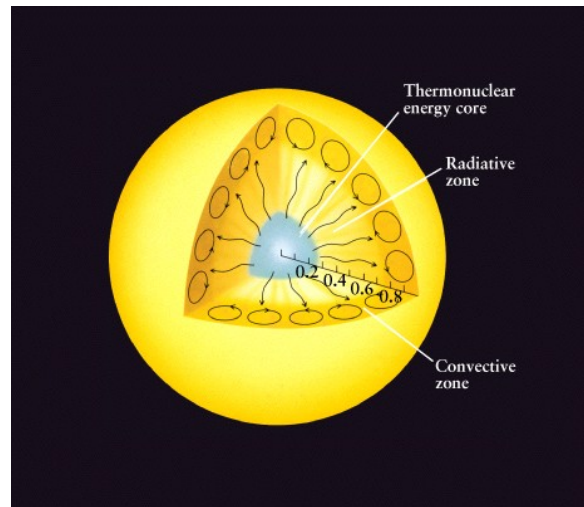
- แกนกลาง (Core)

มีอุณหภูมิสูงถึง 15 ล้านองศาเซลเซียส

เกิดปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ฟิวชั่น

พลังงานที่เกิดขึ้นถูกถ่ายเทออกมาสู่ภายนอกโดย
กระบวนการแผ่รังสีและการพาความร้อน

- โซนการแผ่รังสี (Radiative Zone)
- โซนการพา (Convective Zone)



กฎการแผ่รังสี

(1) กฎของแพลงค์ (Planck's Law) แสดงถึงความสัมพันธ์ของวัตถุดำ ในแง่ของความเข้มของรังสี
ณ ความยาวคลื่นใดๆ (Spectral Radiance: ρ_λ) กับอุณหภูมิสัมบูรณ์ (T) โดย

$$\rho_\lambda = \frac{2h^2c}{5} \left(e^{hc / \lambda kT} - 1 \right)^{-1}$$

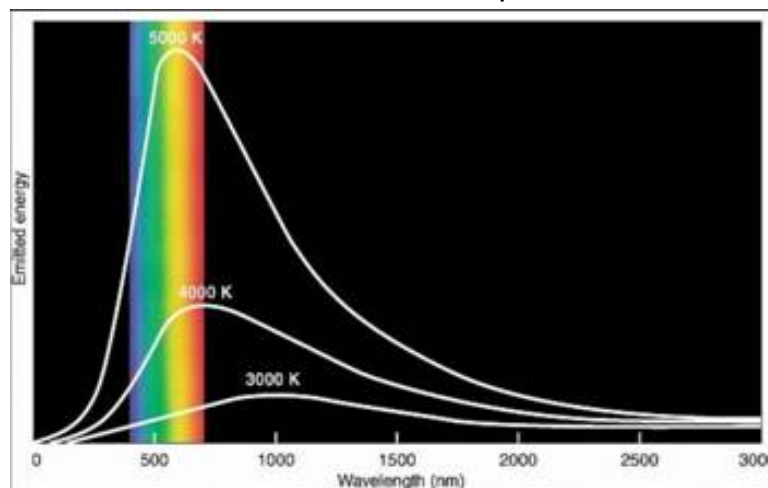
โดย h เป็นค่าคงที่ของแพลงค์ (6.6262×10^{-27} เฮอร์กวินาที)

k เป็นค่าคงที่ของโบลทซ์มันน์ (Boltzmann constant) มีค่า 1.3806×10^{-16} erg/K

c เป็นค่าความเร็วแสงในสุญญากาศ

λ เป็นความยาวคลื่นของการแผ่รังสี

กราฟการแผ่รังสีของวัตถุดำ



(2) กฎของสเตฟาน (Stefan's Law): หาได้จากกฎของแพลงค์ โดยการอินทิเกรตทุกความยาวคลื่นของการแผ่รังสี กฎนี้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานทั้งหมด (E) ในหน่วยของเออร์กที่แผ่ออกมาใน 1 ตร.ซ.ม. ต่อวินาที กับกำลังสี่ของอุณหภูมิสัมบูรณ์ (T)

$$E = \sigma T^4$$

โดย σ เป็นค่าคงตัวสเตฟาน-โบลทซ์มันน์
มีค่า = $5.66956 \times 10^{-5} \text{ erg.cm}^{-2}\text{degree}^{-4}\text{s}^{-1}$

(3) กฎของวิน (Wien's Law) : อธิบายถึงการเปลี่ยนสี ของวัตถุดำ เมื่ออุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลง โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นที่มากที่สุด (λ_{max}) ของการแผ่รังสีกับ ส่วนกลับของอุณหภูมิสัมบูรณ์ของวัตถุดำใดๆ

$$\lambda_{\text{max}}T = 0.2897$$

อุณหภูมิของดวงอาทิตย์

จากกฎการแผ่รังสีพบว่า ดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสัมฤทธิ์ (Effective Temperature) ประมาณ 5,770 เคลวิน ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยบนทุกๆ ส่วนของตัวดวง

โดยที่ภายในใจกลางของดวง อุณหภูมิจะมีค่าประมาณ 6000 K และอุณหภูมิจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงขอบดวง โดยจะมีอุณหภูมิ ประมาณ 5000 K

สำหรับอุณหภูมิของ เขตเงามืดของจุดบนดวงอาทิตย์ (Sunspot Umbras) จะมีค่าประมาณ 4600 K

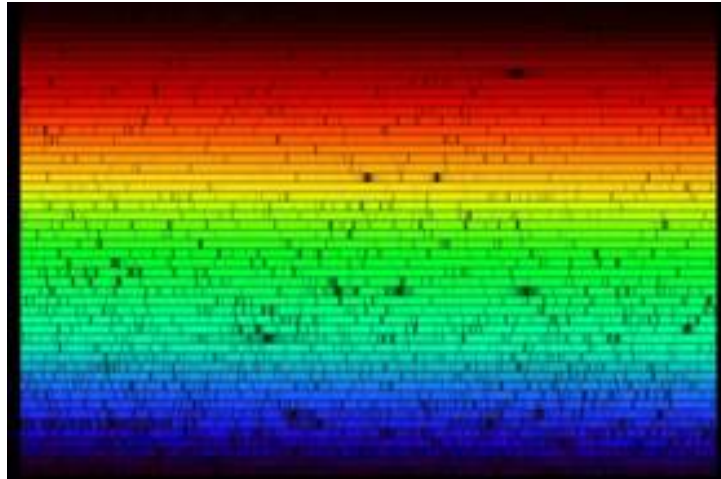
บรรยากาศชั้นโฟโตสเฟียร์



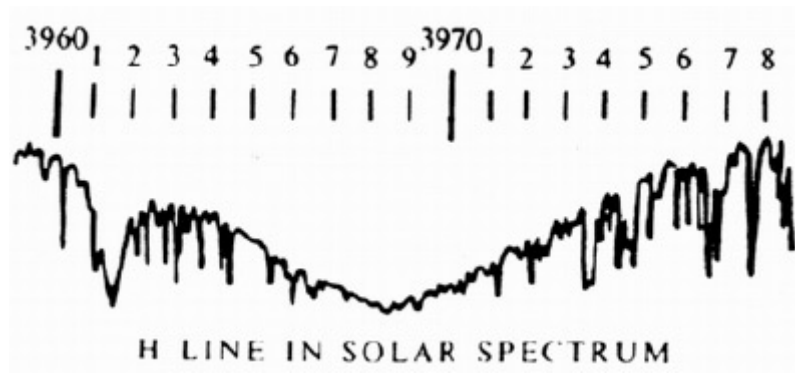
- เป็นบรรยากาศชั้นในสุดของดวงอาทิตย์
- แผ่สเปกตรัมแบบต่อเนื่อง
- เป็นบริเวณที่เกิดจุดบนดวงอาทิตย์
- เกิดดอกดวงแบบสว่าง (Bright Granulation)
- เกิดแฟคิวเล (Faculae)

สเปกตรัมของดวงอาทิตย์

สเปกตรัมประกอบด้วย แถบสเปกตรัมต่อเนื่อง (Continuous Spectrum) เป็นพื้นหลัง และมีเส้นมืด (Absorption Lines) ที่เรียกว่า “เส้นฟรอนโฮเฟอร์ (Fraunhofer Lines)” ซึ่งเกิดจากธาตุต่างๆ ในบรรยากาศ

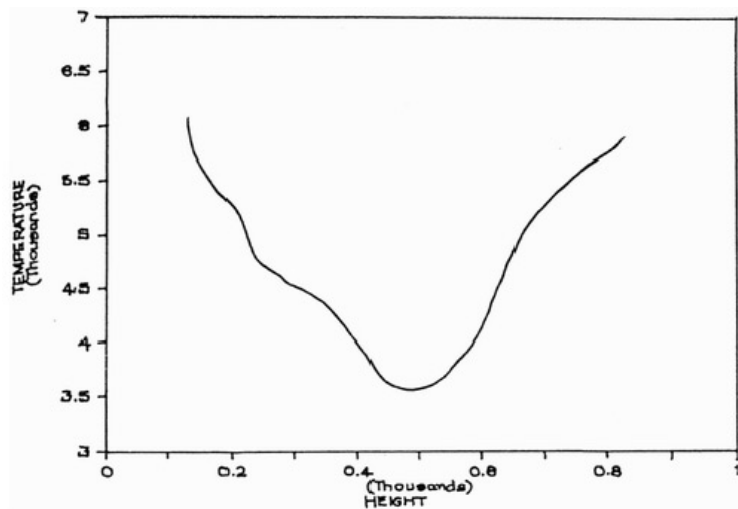


ชั้นโฟโตสเฟียร์ดูดกลืนแสงบางความถี่เอาไว้ เส้นมืดเหล่านี้ ปรากฏอยู่บนแถบสเปกตรัมแบบต่อเนื่อง เส้นมืดส่วนใหญ่ในสเปกตรัมของดวงอาทิตย์มาจากธาตุเหล็ก นอกจากนี้ ยังมีธาตุแมกนีเซียม อลูมิเนียม แคลเซียม ไทเทเนียม โครเมียม นิกเกิล และโซเดียม



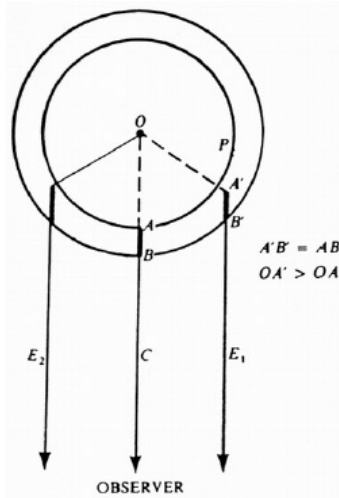
โปรไฟล์ของเส้นสเปกตรัมแสดงเส้นไฮโดรเจนอัลฟาที่เด่นชัด

ความทึบแสง (Opacity)



ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความสูง ณ ระดับต่าง ๆ จากฐานโฟโตสเฟียร์

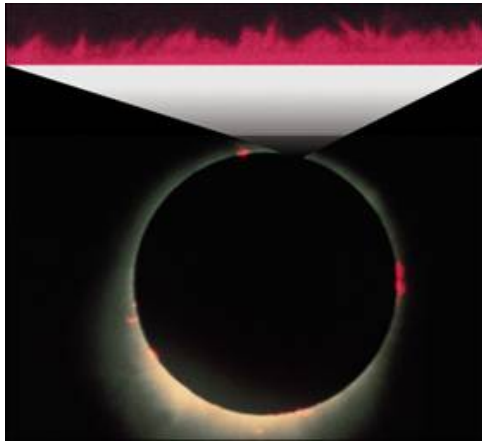
การมืดคล้ำที่ขอบ (Limb Darkening)



ถ้ามองดวงอาทิตย์โดยเริ่มพิจารณาจากจุดศูนย์กลางดวง ออกมาจนกระทั่งถึงขอบดวง (Limb) จะพบว่าความทึบแสงจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งไปรังแสงที่ขอบดวง จึงพบว่าบริเวณใกล้ๆ ขอบจะมีคากว่า เรียกว่า เกิดการมืดคล้ำที่ขอบดวง (Limb Darkening)

ภาพ: ระยะเชิงมุมจากขอบดวงที่ไปรังแสงถึงบริเวณที่ทึบแสง

บรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์

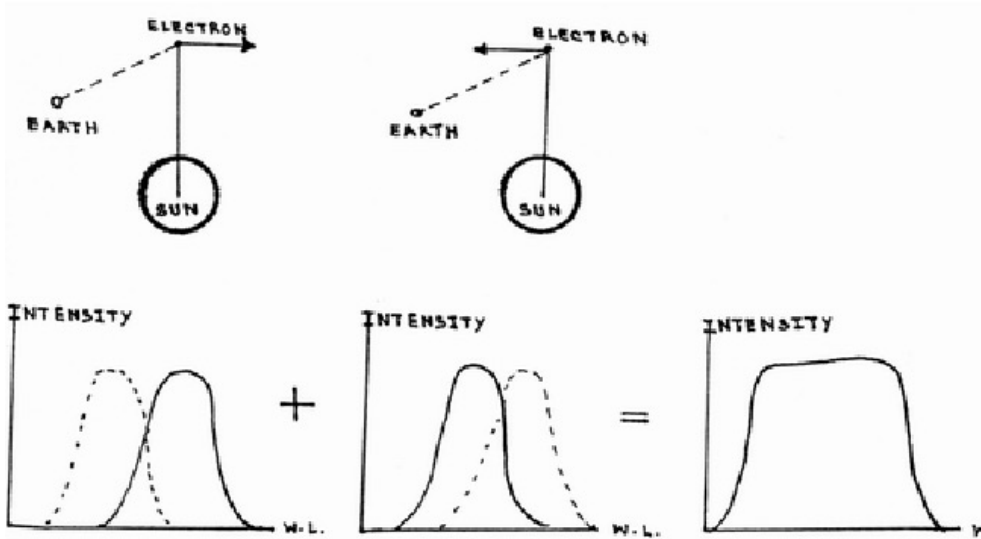


- อยู่เหนือชั้นโฟโตสเฟียร์ขึ้นมา
- มีสีแดงซึ่งเกิดจากการลุกจ้าของไฮโดรเจน
- หนาหลายพันกิโลเมตร
 - ยังรวมถึงพวยก๊าซที่พุ่งขึ้นของพวยก๊าซ (Prominences) ขึ้น ไปสูงหลายหมื่นกิโลเมตรด้วย

เมื่อพิจารณาบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์ โดยใช้อำนาจการแยกสูง (High Resolution) จะพบว่าบรรยากาศชั้นนี้ไม่ได้เป็นชั้นผิวทรงกลมเรียบที่หุ้มห่อดวงอาทิตย์ แต่ปรากฏมีลักษณะเป็นหนามแหลม (Spikes) ขึ้นเต็มไปหมดที่ผิวคล้ายกับใบหญ้าหรือพุ่มหญ้าที่กำลังไหม้ไฟ หนามแหลมเหล่านี้เรียกว่า “สปิคูล (Spicules)”

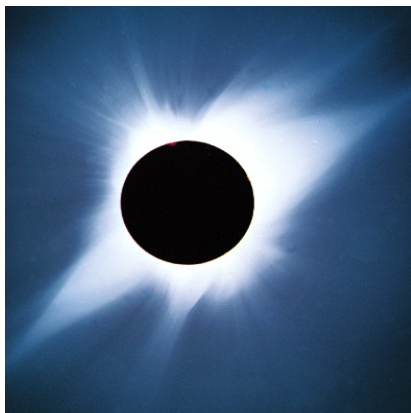


อุณหภูมิสูงในชั้นโครโมสเฟียร์ทำให้เส้นสว่างของสเปกตรัมมีการแผ่กว้างออก



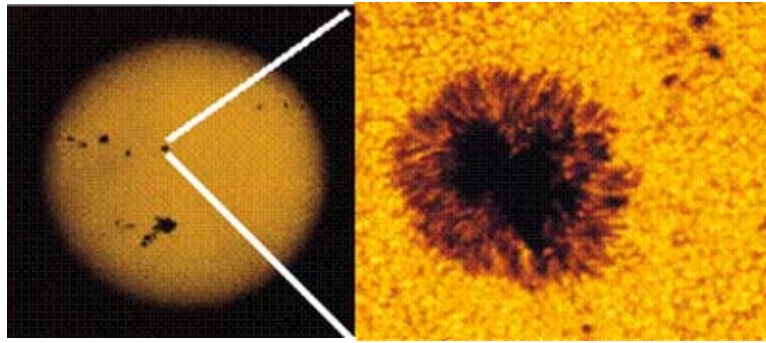
เหตุที่บรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นนั้น คาดว่าเนื่องมาจากพลังงานจากโซนการพาความร้อน (Convective Zone) ภายในตัวดวง ถูกส่งออกมาในบรรยากาศชั้นโครโมสเฟียร์ในรูปของคลื่นกระแทก (Shock Waves) และปล่อยพลังงานออก ณ บริเวณนี้ การเกิดดอกดวงและ สปีคูล ก็อาจจะเกิดโดยวิธีเช่นเดียวกันนี้

บรรยากาศชั้นโคโรนา

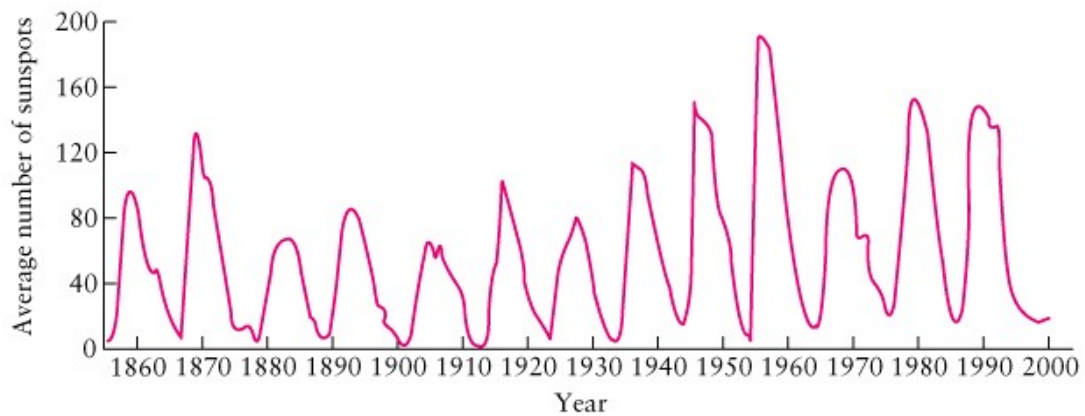


- สังเกตได้เมื่อดวงอาทิตย์ถูกบัง เช่น การเกิดสุริยุปราคาเต็มดวง
- แผ่ออกไปเป็นบริเวณกว้างถึง หลายล้านกิโลเมตร
- มีอุณหภูมิสูงถึง 2 ล้านเคลวิน แต่มีความหนาแน่นของอนุภาคเบาบางมาก บางกว่าสถานะสุญญากาศที่สร้างขึ้นได้บนโลกเสียอีก
- นำเอาอนุภาคพลังงานสู่แผ่ไปทั่วทั้งระบบสุริยะ เรียกว่า ลมสุริยะ (Solar Wind)

จุดบนดวงอาทิตย์ (Sunspots)

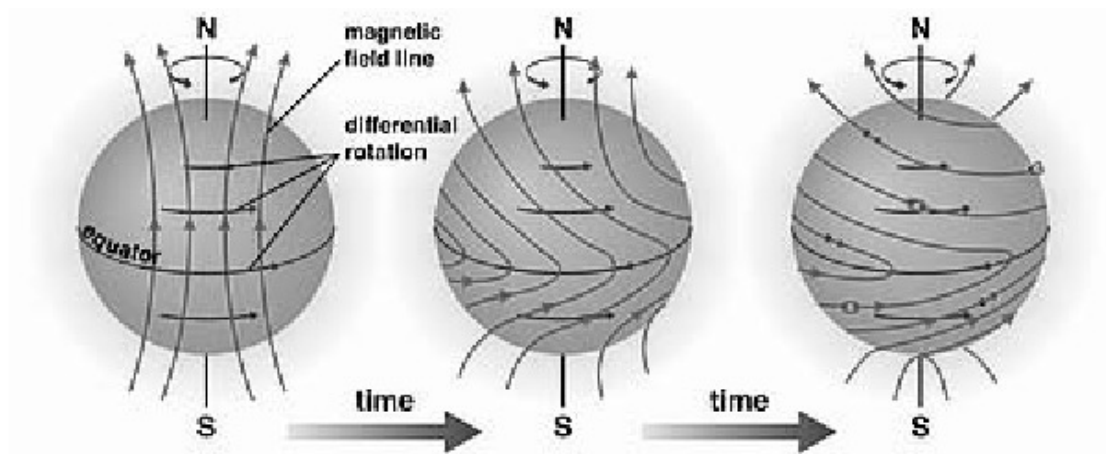


- จุดบนดวงอาทิตย์ คือบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณรอบข้างจึงให้แสงออกมาเข้มน้อยกว่า จึงมองเห็นเป็นจุดสีดำ
- บริเวณใจกลางของจุดเรียกว่า เขตเงามืด (Umbra) บริเวณที่อยู่ล้อมรอบ เรียกว่า เขตเงามัว (Penumbra)

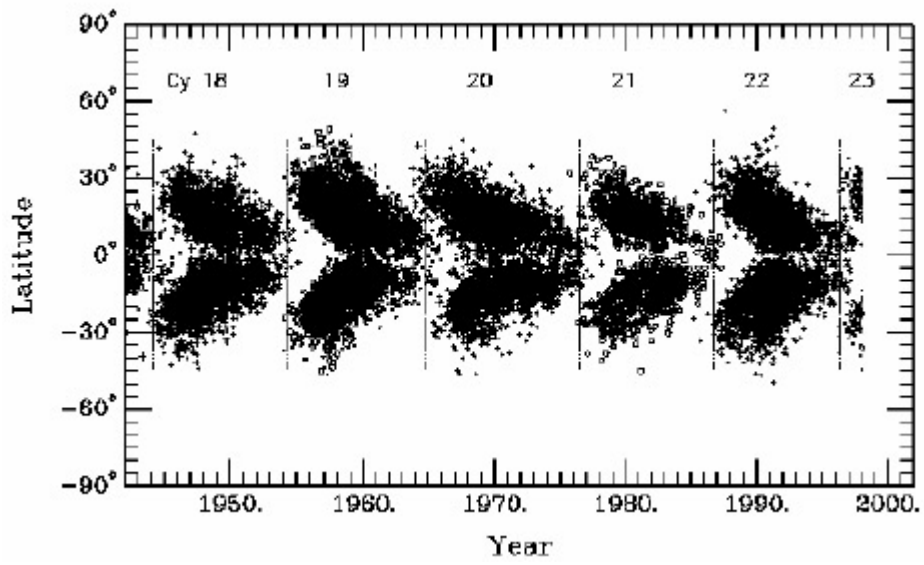


คาบการเปลี่ยนแปลงของจำนวนจุดบนดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 11 ปี

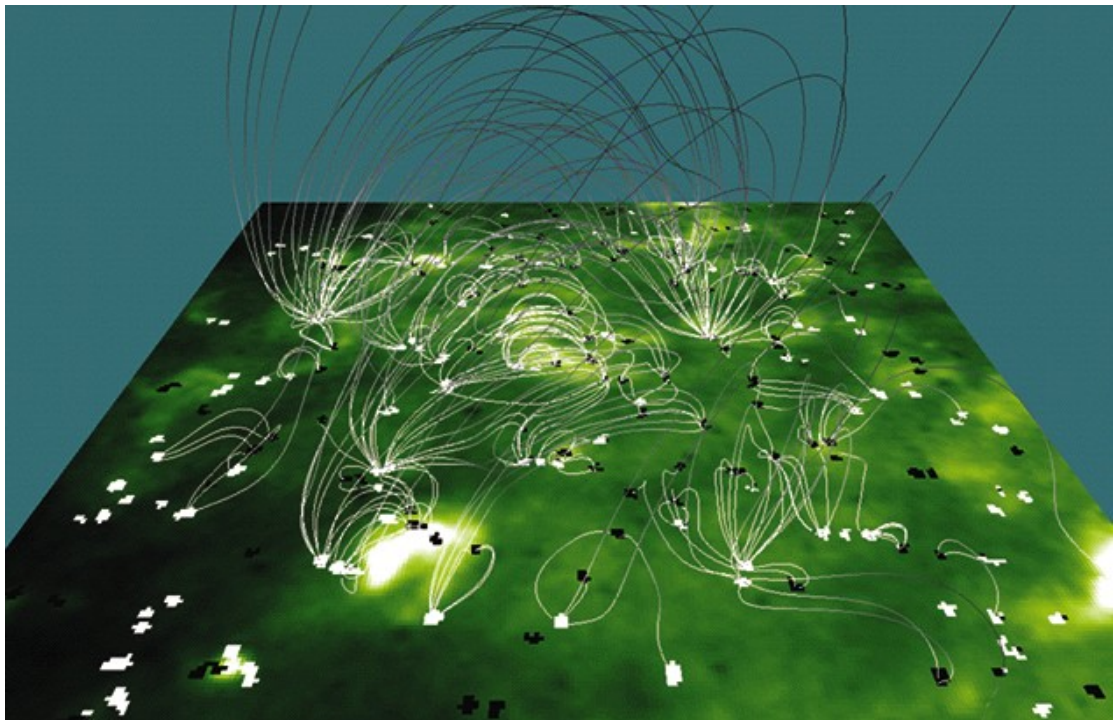
มีจำนวนจุดต่ำสุดน้อยกว่า 10 จุด และสูงสุดมากถึงเกือบ 200 จุด



แบบจำลองการเกิดจุดบนดวงอาทิตย์



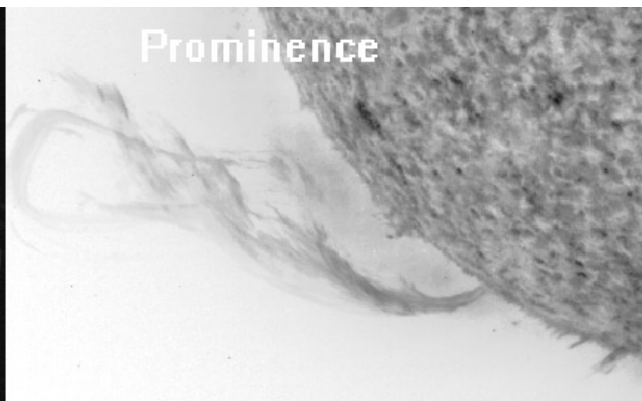
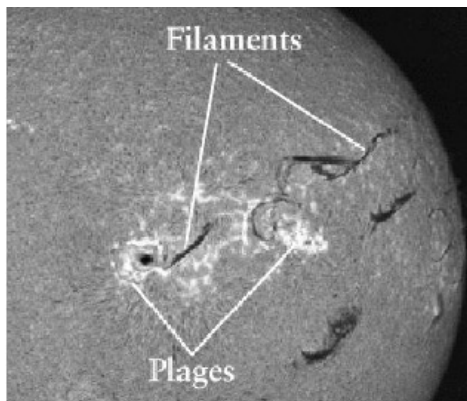
ไดอะแกรมผีเสื้อของม้านเคอร์



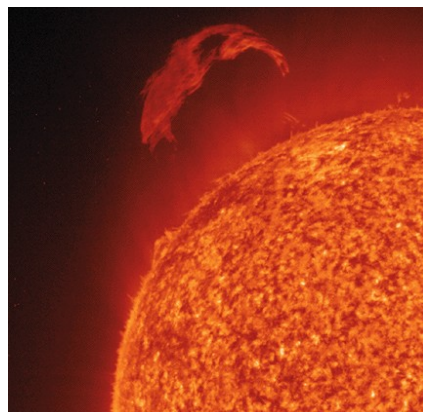
สนามแม่เหล็กบนดวงอาทิตย์



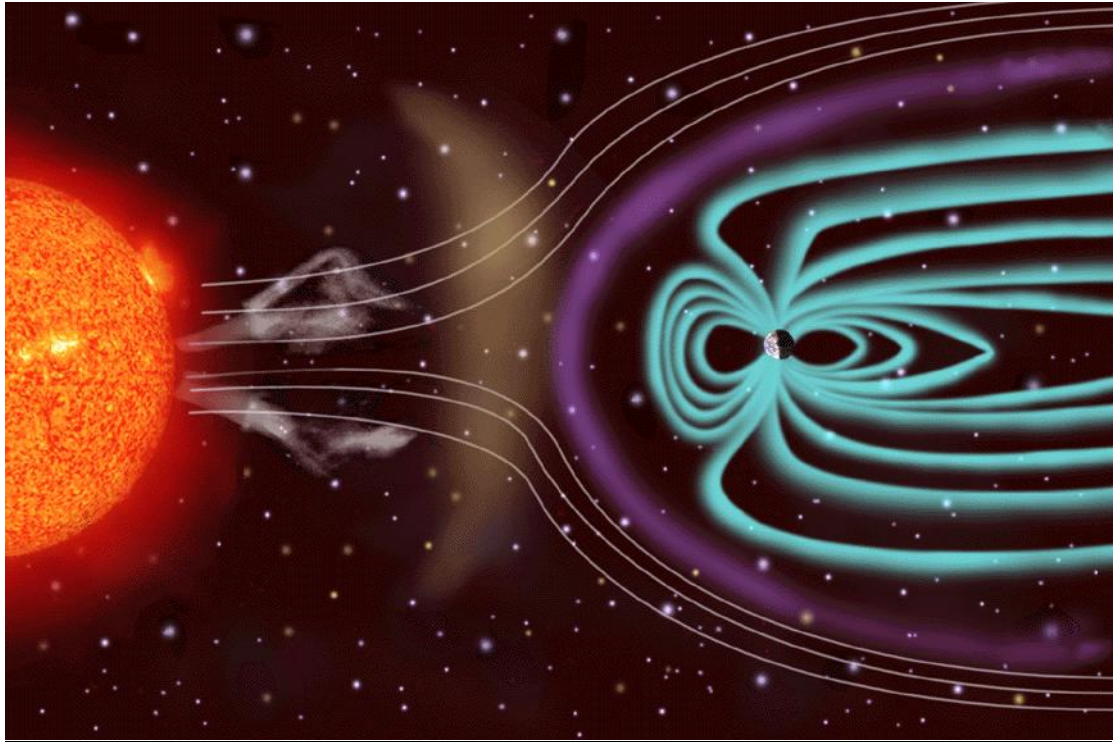
การลุกจ้า (Flares)



พลาจ (Plages) และฟิลาเมนต์ (Filaments)



พวยก๊าซ (Prominences)



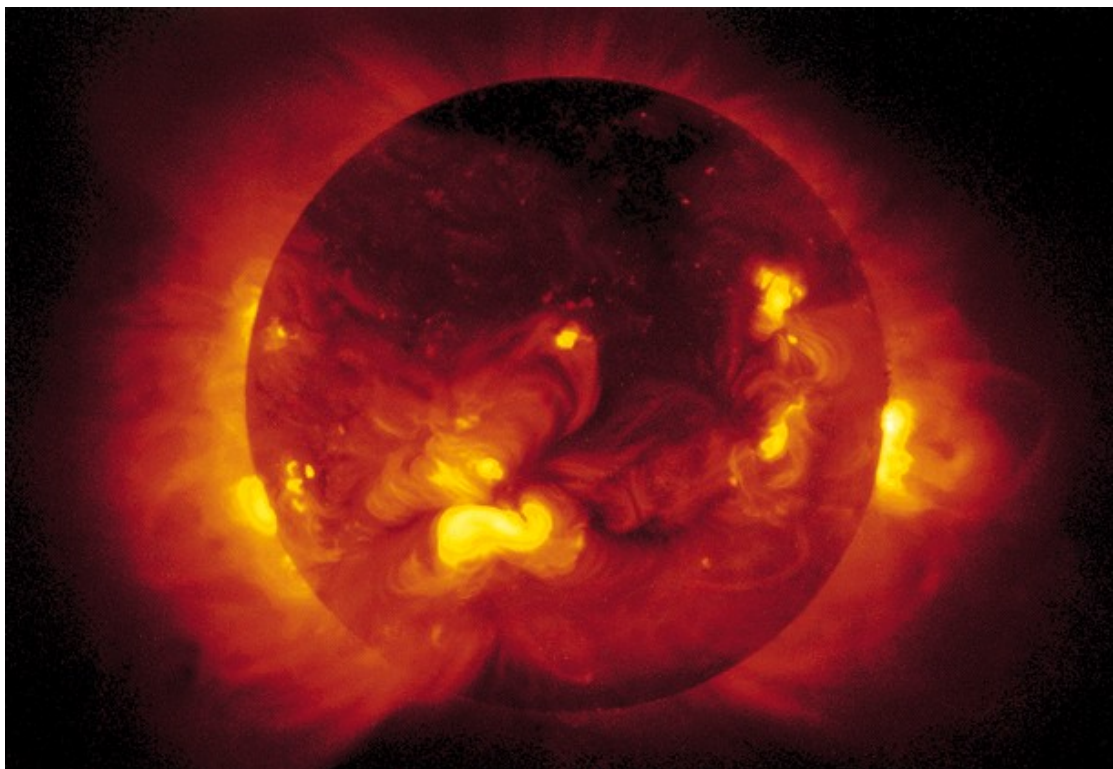
ลมสุริยะ (Solar Wind)



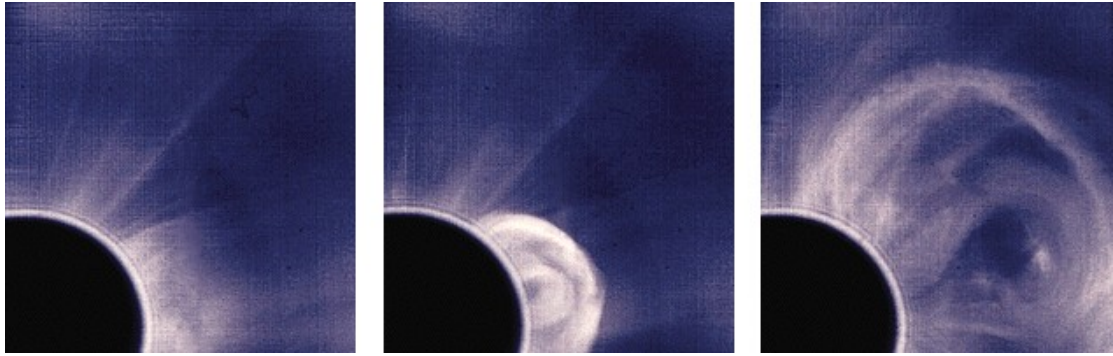
แสงเหนือ-แสงใต้ (Aurora)



แสงเหนือ-แสงใต้ (Aurora) ถ่ายจากยานขนส่งอวกาศซึ่งโคจรอยู่เหนือชั้นบรรยากาศโลก



หลุมโคโรนา (Coronal Hole)



Coronal Mass Ejections (CME)

มวลสารที่ประทุออกมาในชั้นโคโรนาของดวงอาทิตย์

จากขณะที่สงบ -> ขณะที่เกิดการประทุออกมาของมวลสาร
ในช่วงระยะเวลาประมาณ 16 นาที
มวลสารเหล่านี้เดินทางมาสู่โลก และทำให้เกิดแสงเหนือแสงใต้

นิวตริโนจากดวงอาทิตย์

จากแบบจำลองในปัจจุบัน จะมีนิวตริโนเป็นจำนวนมากถึง 10^{38} อนุภาคที่ปลดปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์

แต่จากการตรวจวัดที่พื้นโลกโดยการสังเกตผลลัพท์จากปฏิกิริยาการชนกันระหว่าง

perchloroethylene (C_2C_{14}) และ neutrinos -> radioactive argon

พบเพียง 1/3 ของที่ทำนายไว้

นิวตริโนที่เหลือหายไปไหน?