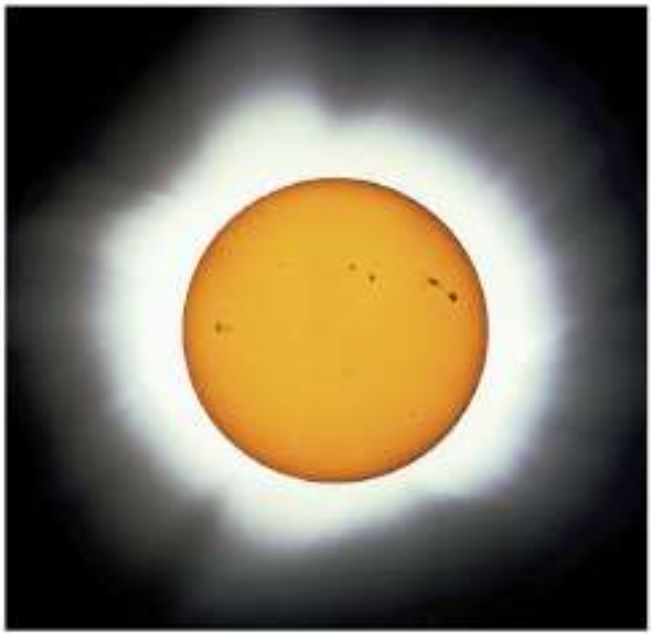
الباب التاسع

الشمس The Sun

أسس نصير الدين الطوسي مرصد مراغة وزوده بأحدث وأضخم الأجهزة الفلكية ونقل إلى مكتبة المرصد قرابة 400 ألف كتاب (ولد سنة 1201 م).



الشمس وعليها بقع عديدة، كما تظهر كورونا الشمس

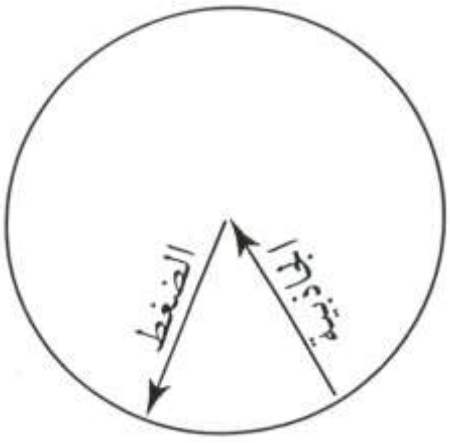
خواص عامة General properties

إن الشمس من أعظم النعم التي أنعم الله بها على سكان كوكبنا فهي التي تمدنا بالضوء والحرارة ومن ثم بأهم أسباب الحياة، وبالرغم من أنها واحدة من النجوم العادية المتوسطة إلا أنها لقربها منا تعتبر أهم نجم بالنسبة لنا. والشمس ككل النجوم عبارة عن كتلة غازية ملتهبة، وهى تعد نجماً عادياً بالمقارنة بالنجوم المختلفة والمنتشرة في أنحاء الكون، فمن حيث الكتلة هي وسط بين النجوم، فهناك نجوم أكبر من الشمس وأخرى أصغر من الشمس وهناك نجوم أكثر بريقاً من الشمس وأخرى أقل لمعانا منها، ولذلك يمكننا أن نقول عنها إنها نجم متوسط في خواصه المختلفة، كذلك يمكننا أن نقول عنها إنها من النجوم الهادئة المستقرة إذا ما قورنت بالنجوم المتغيرة. الكثافة المتوسطة لمادة الشمس أكبر قليلاً من كثافة الماء كما هو واضح في جدول 9-1، ولكن كتلتها أكثر من كتلة الأرض بحوالى ثلث مليون مرة، ومن حيث الحجم يمكن للشمس أن تحوي حوالى مليون كرة أرضية، والشمس في حالة اتزان هيدروستاتيكى، وهذا يعني ببساطة أن يكون الضغط في حالة توازن مع الجاذبية، شكل 9-1.

ومن حيث التركيب الكيميائي فإن الشمس كجميع النجوم في الكون عبارة عن 0.73 هيدروجين، 0.25 هيليوم والباقي عناصر أخرى موجودة بكميات قليلة. أغلب العناصر التي نعرفها على الأرض رصدت في طبقات الشمس، ونتيجة للحرارة العالية في الشمس فإن أغلب العناصر موجودة في شكل ذري ومتأين ولكن هناك بعض الجزيئات الموجودة في الأماكن الباردة في الشمس كالبقع الشمسية. والآن نتساءل: ما معنى أن تكون العناصر الموجودة في الأرض موجودة كذلك في الشمس؟ والإجابة تكمن في أن الأرض والشمس وكل ما في المجموعة الشمسية قد تكون من المادة نفسها ومن سحابة كان أهم عناصرها الهيدروجين ثم الهيليوم، وعندما تكونت الشمس وأعضاء المجموعة الشمسية فإن درجات الحرارة المختلفة في كل من الشمس والكواكب هي التي حددت مسار التطور الكيميائي في كل منها.

جدول 9-1: بعض المعلومات المهمة عن الشمس

القطر	1 391 980 كم (109 قطر أرضي)
الكتلة	$2x10^{33}$ جم (333000 كتلة أرضية)
الكثافة	0.25 كثافة الأرض (1.41 جم/سم^3)
الجاذبية	28 جاذبية الأرض
سرعة الهروب	618 كم/ثانية
درجة اللمعان	$3.8x10^{33}$ إرج/ثانية
درجة حرارة السطح	5780 كالفن
القدر الظاهرى	26.86−
القدر المطلق	4.7
النوع الطيفي	G2



شكل 9-1: التوازن بين قوتي الجاذبية والضغط الداخلي في الشمس وهي خاصية عامة في النجوم المستقرة

درجة **ضياء (لمعان)** الشمس Luminosity تعبر عن كمية الطاقة التي تخرجها الشمس في الثانية الواحدة وتقدر بـ $3.8x10^{33}$ إرج/ث. ولقياس درجة ضياء النجوم نعتبر درجة ضياء الشمس الوحدة، والقدر المطلق هو الذي يبين حقيقة لمعان الشمس بالنسبة لأنواع النجوم الأخرى. وقد قسمت النجوم إلى أنواع طيفية، والشمس حسب هذا التقسيم من النوع الطيفي G2 . وهذه الخصائص الثلاث الأخيرة ستدرس بالتفصيل في باب النجوم.

رصد الشمس Observing the Sun

التركيب The Structure

أ- طبقات الشمس الداخلية

1_ اللب

2- منطقة انتقال الحرارة بالإشعاع

3- منطقة انتقال الحرارة بالحمل

ب- غلاف الشمس

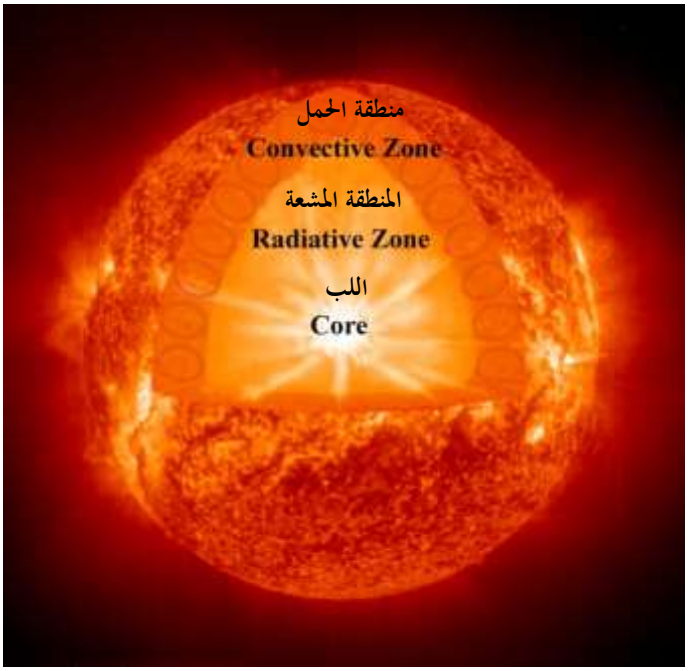
1- سطح الشمس (الفوتوسفير)

2- الكروموسفير

3- المنطقة الانتقالية

4- الكورونا

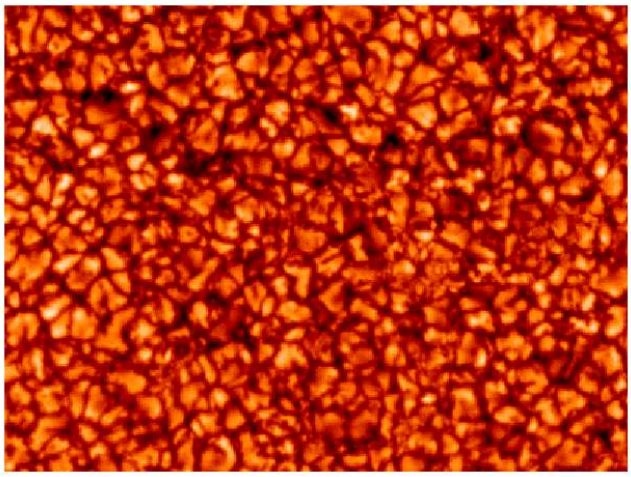
تتكون الشمس من لب نصف قطره يقدر بربع القطر الكلي للشمس، وفي هذا اللب تحدث التفاعلات النووية والتي تؤدي إلى أن يتحول الهيدروجين إلى هيليوم وهذا هو مصدر الطاقة الأساس للشمس في وقتها الحالي، ويلي اللب طبقة كبيرة تمتد إلى قرب حافة الشمس (حتى 0.86 من قطر الشمس)، وتسمى **المنطقة المشعة** radiative zone، وهي تتميز بأنها تنقل الطاقة إلى الجزء الخارجي بواسطة الإشعاع. ثم تأتي طبقة تنتقل منها الحرارة بالحمل تسمى **منطقة الحمل** convective zone، وهذه الطبقة سمكها صغير، شكل 9-2، وتغطيها طبقة **الفوتوسفير** photosphere والتي يبلغ سمكها 330 كم وهي تمثل سطح الشمس ودرجة الحرارة عندها 5780 كالفن، وهي أدنى درجة حرارة في طبقات الشمس. وفوقها يوجد الغلاف الجوي للشمس والذي يتكون من طبقة **الكروموسفير** chromospheres و**المنطقة الانتقالية** transition zone ثم **الكورونا** corona. أما طبقة الكروموسفير فتمتد لحوالى 2000 إلى 3000 كم، وتزداد الحرارة فيها إلى 10 آلاف كالفن. أما المنطقة الانتقالية فيبلغ سمكها عشرات الكيلومترات فقط وترتفع الحرارة فيها من 10 آلاف إلى مليون كالفن. وبعد ذلك تأتي طبقة الكورونا وهي الطبقة الخارجية والتي تمتد لعدة ملايين من الكيلومترات حول الشمس ودرجة الحرارة تصل فيها لعدة ملايين، ورغم درجة الحرارة العالية للكورونا إلا أنها لا تعتبر منطقة ساخنة؛ ذلك لأن كثافة المادة فيها قليل جداً وعدد الجسيمات حوالى 1 بليون جسيم/سم^3 بينما تبلغ كثافة المادة في الفوتوسفير حوالى 10^{16} جسيم/سم^3 وهي تمثل 0.001 من كثافة الهواء عند سطح البحر، وهذا يدل على أن عدد الجسيمات قليل جداً في طبقة الكورونا وأن كثافة الطاقة صغيرة في الكورونا.



شكل 9-2: المناطق الداخلية للشمس (SOHO)

وكما شرحنا سابقاً فإن القوى المختلفة المؤثرة على الشمس والناشئة عن الجاذبية الذاتية والدوران والمجال المغناطيسي والحرارة تكون كلها في اتزان يعرف **بالاتزان الهيدروستاتيكي** hydrostatic equilibrium. وحتى نوضح معنى الاتزان الهيدروستاتيكي دعنا نتصور كرة من الغاز رُفعت درجة حرارتها فإنها تتمدد، ولكن إذا كانت هناك قوة أخرى تمنع التمدد فإن الكرة تظل على حالها رغم درجة الحرارة العالية، وهذه القوة هي قوة الجاذبية، وبذلك يمكن القول أن قوى الجاذبية والضغط بشكل رئيس في حالة اتزان بحيث إن الشمس تظل على حالها (في اتزان هيدروستاتيكي) دون أن يحدث تغير في حجمها أو شكلها، أما إذا تغلبت إحدى القوى السابقة ولتكن الناشئة عن الحرارة على قوة الجاذبية فحينئذ تتمدد الشمس لتصبح من النجوم العملاقة.

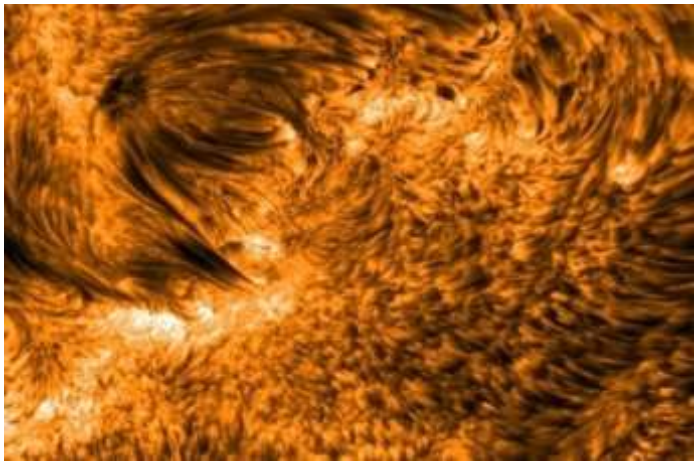
يظهر في طبقة الفوتوسفير **حبيبات** granulations، قطر الواحدة منها حوالى 700 إلى 1000 كم، شكل 3-9، ويوجد مثيلتها في طبقة الكروموسفير ولكنها بقطر أكبر بكثير، يقدر بحوالى 30 ألف كم وتسمى **حبيبات عملاقة supergranules**. وتظهر التحببات كمناطق لامعة محاطة بمناطق معتمة، وهذه التحببات عبارة عن أعمدة من الغازات الساخنة ترتفع من تحت الفوتوسفير من طبقة الحمل الحراري. وقد تُعمر الحبيبة الواحدة لمدة ثماني دقائق تقريبا.



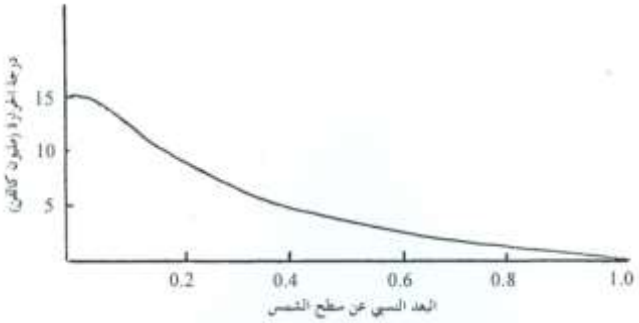
شكل 9-3: الحبيبات الشمسية (NASA)

كما تخرج غازات ملتهبة من طبقة الكروموسفير في شكل ألسنة نفاثة يصل قطر الواحد منها 500 كم، مندفعة من سطح الشمس إلى ارتفاعات تتراوح بين 3 آلاف و 10 آلاف كيلومتر عبر الكروموسفير، وبسرعة 25 كم/ث تقريبا، وتقع بالقرب من بعضها البعض، موحية في صورها كأنك تنظر إلى غابة من الأشجار، يطلق على هذه الألسنة اسم **شياظ** spicules وتبلغ حرارتها من 6 آلاف إلى 10 آلاف كالفن، شكل 9-4. وتلك الشياظ تأتي وتذهب فوق خطوط المجال المغناطيسي والذي يبدو أنه المتحكم فيها، ويمكث كل شواظ في حدود عشر دقائق، وبعدها تختفي وتظهر غيرها وهكذا.

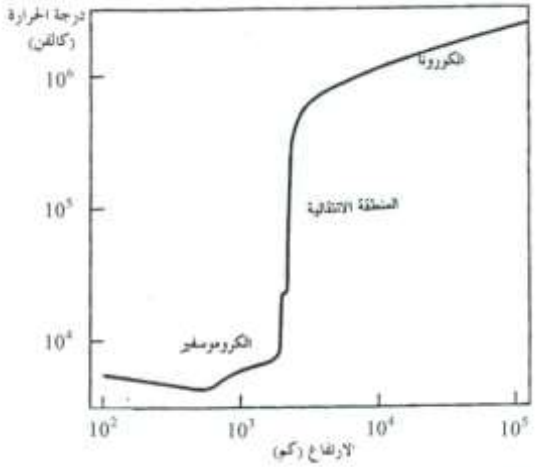
ولو تفحصنا درجة الحرارة فسنجد أنها تبلغ في مركز الشمس حوالى 15 مليون كالفن، ثم تقل درجة الحرارة كلما خرجنا بعيداً عن مركز الشمس حتى تصل إلى أدنى قيمة لها في طبقة الفوتوسفير، شكل 9-5. ثم تزداد درجة الحرارة مرة ثانية في الكروموسفير لتصل إلى أكثر من مليون كالفن في الكورونا، شكل 9-6. ولذلك فإن الغازات في الكورونا تكون متأينة كما هو الحال في داخل الشمس. ولقد أثبتت الأرصاد التي أجريت على الشمس بواسطة الأشعة السينية أن الكورونا ليست منتظمة ولكنها متغيرة السمك من مكان لآخر ويزداد تغير سمك طبقة الكورونا مع زيادة النشاط الشمسي وتصبح طبقة الكورونا أكثر انسجاما في حال ضعف النشاط الشمسي. فهناك مناطق متعددة في الكورونا تظهر قاتمة اللون، حيث تكون كثافة الغاز أقل مما حولها وأقل حرارة، كذلك حركة الغازات فيها هادئة نسبياً؛ ولذلك تظهر هذه المناطق **كثقوب في الكورونا** Coronal holes، وهي ناشئة من تأثير المجال المغناطيسي. كما يمكننا ملاحظة **الحمم** prominences التي تخرج مثل نوافير من الغازات الساخنة من سطح الشمس وتتحرك لأعلى ثم تسقط على سطح الشمس مرة أخرى كما في شكل 9-7.



شكل 9-4: شياط شمسية (Institute for Solar Physics of the Royal Swedish Academy of Sciences)



شكل 9-5: تغير درجة الحرارة من مركز الشمس إلى سطحها



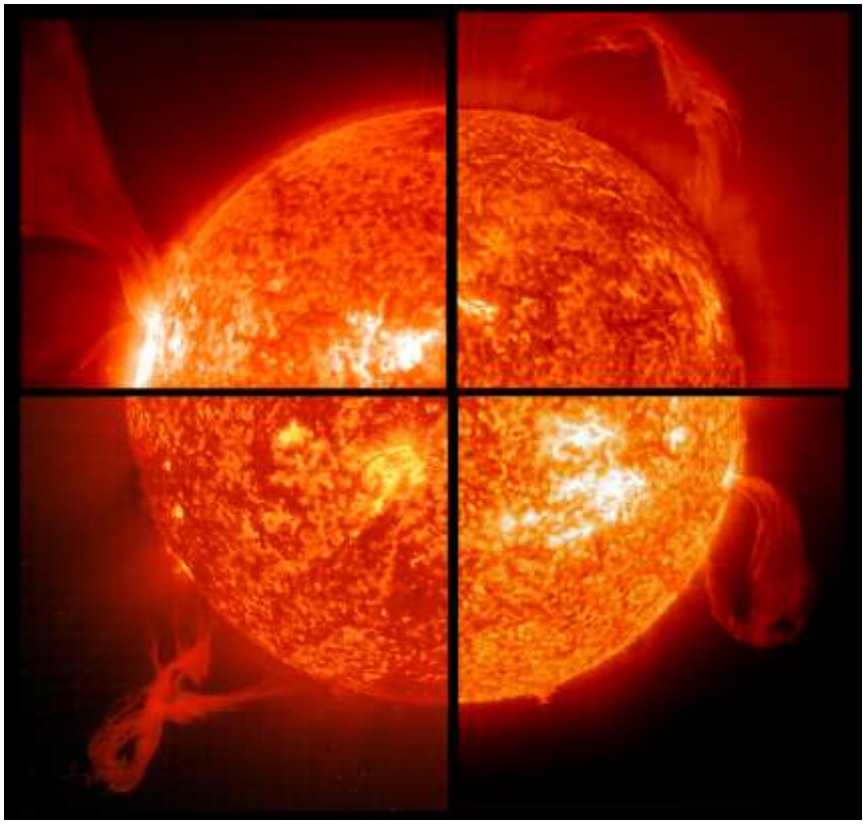
شكل 9-6: تغير درجة الحرارة خلال طبقات الغلاف الجوي للشمس

ومن شكل الكورونا نلاحظ أن كمية الإشعاع قد تكون كبيرة في اتجاه وصغيرة في اتجاه آخر نظراً لارتباط كمية الإشعاع بالنشاط الشمسي. والغازات في الكورونا تكون ساخنة بحيث لا تقع تحت تأثير جاذبية الشمس وإنما تكون لديها القوة اللازمة كي تنطلق بعيداً عن سلطان الشمس وفي اتجاه الكواكب. وتخرج **الرياح الشمسية** solar wind، وهي غازات ساخنة ومتأينة تحوي دقائق ذات طاقات عالية تتكون أساسا من بروتونات وإلكترونات، متجمعة

تحت تأثير المجال المغناطيسي للشمس ولا تجد لها منفذا إلى خارج الشمس إلا من خلال الكورونا، وعندما تصل الرياح الشمسية إلى الأرض فإنها تكون ذات تأثير كبير على طبقة الأيونوسفير والتي تؤثر بدورها على الاتصالات الراديوية، وتحدث الشفق القطبي والدوامات المغناطيسية، شكل 9-8. وتنتشر الرياح الشمسية في الفضاء وتصل إلى كواكب المجموعة الشمسية ومنها الأرض، وتكون سرعتها بين 200 إلى 800 كم/ثانية. تخرج الرياح الشمسية السريعة من مناطق ثقوب الكورونا وأثناء انتقالها في الفضاء بين الشمس والأرض تتغير سرعاتها بسبب طبيعة الوسط الذي تتحرك فيه، فقد تقابلها موجات صدمية shock waves تبطئ أو تعجل من سرعتها، ويكون متوسط سرعتها عند اقترابها من الغلاف المغناطيسي للأرض في حدود 400 كم/ثانية.

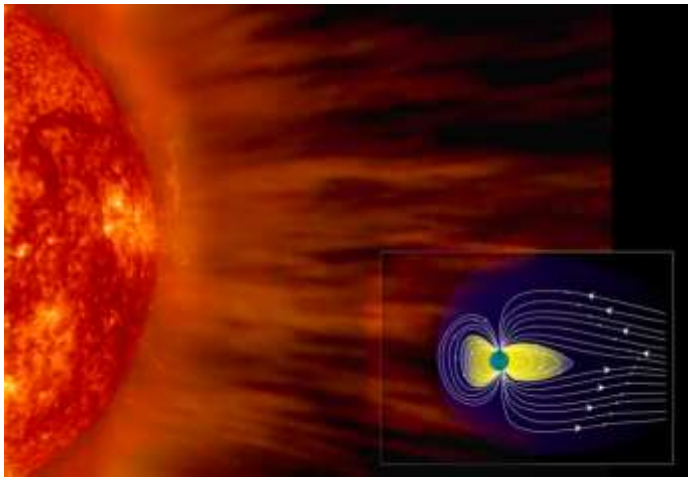
الأنشطة الشمسية Solar activities

CME
X ray flare
Sunspot Active regions and sunspot cycle
Solar Wind
Prominances

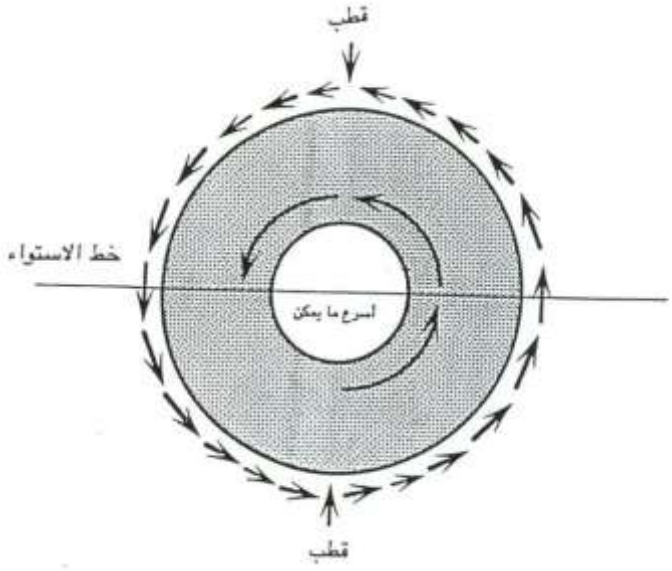


شكل 9-7: غازات كثيفة هائلة من الحمم الشمسية مندفعة بقوة من الكروموسفير ومتجهة إلى الكورونا الأكثر سخونة، وتظهر المناطق الأكثر سخونة باللون الأبيض، بينما اللون الداكن يعني أقل حرارة. تواريخ الصور من أعلى اليسار وباتجاه عقارب الساعة: 15 مايو 2001، 28 مارس 2000, 18 يناير 2000, 2 فبراير 2001. (SOHO)

بحساب كمية الطاقة النووية التي يمكن أن تخرج من الشمس والفترة اللازمة لفنائها، فإن عمر الشمس الافتراضي يقدر بحوالى 10 بليون سنة، ومن المعروف أن عمر المجموعة الشمسية حوالى 4.5 بليون سنة، وهذا يعني أن الشمس والمجموعة الشمسية قد نشأت جميعاً في وقت واحد تقريباً. ومما تقدره الحسابات الفلكية أن الشمس ستظل على ما هي عليه لمدة 5 بليون سنة أخرى، بعدها تبدأ الشمس في الدخول في أطوار أخرى يصعب معها استمرار كواكب المجموعة الشمسية ومنها الأرض في البقاء كما هي.



شكل 9-8: تسحب الرياح الشمسية الغلاف المغناطيسي للأرض لمسافات كبيرة، وتؤثر على طبقة الأيونوسفير في الغلاف الجوي للأرض، والتي تؤثر بدورها على الاتصالات الراديوية، وتحدث الشفق القطبي والدوامات المغناطيسية (SOHO)



شكل 9-9: حساب لف الشمس باستخدام ظاهرة دوبلر

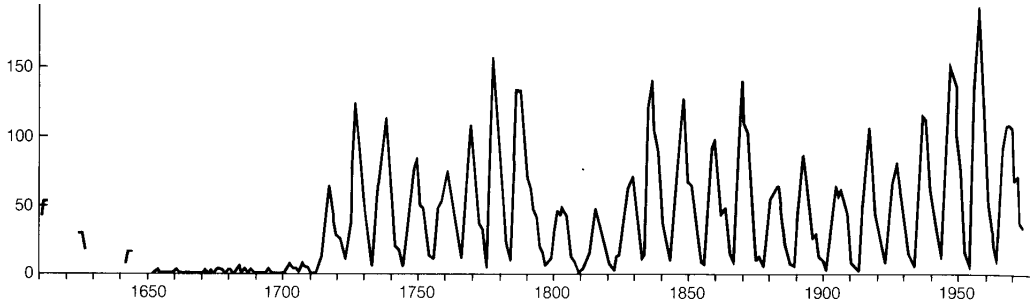
اللف The rotation

تلف الشمس حول نفسها كما تفعل الكواكب، ويمكن قياس حركة الشمس حول نفسها من حركة البقع الشمسية أو من خلال الفرق في إزاحة دوبللر Doppler shift للضوء القادم من حافتي الشمس المتجهة نحونا والمبتعدة عنا، شكل 9-9. فمن إزاحة الطيف عند كلا الحافتين وقياس الفرق بين الإزاحتين يمكن تحديد سرعة لف الشمس حول نفسها. وتدل هذه الحسابات أن دوران مادة الشمس يختلف من مكان لآخر؛ ذلك لأن الشمس عبارة عن غازات فلا تتحرك كجسم صلب، وعند خط الاستواء تكون سرعة مادة الشمس أسرع ما يمكن (25 يوم) أما عند خط عرض 40 درجة فإن الدوران يستغرق 28 يوما، وعند خط عرض 80 درجة تكون مادة الشمس بطيئة حيث تأخذ 36 يوما كي تكمل لفة كاملة. وتزيد سرعة الدوران في اللب عن الأجزاء الخارجية من الشمس، وهكذا فإن الشمس كتجمع هائل من الغازات الملتهبة لا تتحرك مادتها بسرعة واحدة، ولذلك يتعقد مجالها المغناطيسي مما يتسبب في ظهور البقع الشمسية وغيرها من الأنشطة التي نشاهدها على الشمس.

البقع الشمسية Sun spots

توجد على الشمس بقع داكنة اللون تتكون وتنتشر ما بين خطي عرض 40 درجة شمال وجنوب خط استواء الشمس، ثم تتحرك لتختفي عند خط الاستواء،. ومن الممكن مشاهدة البقع الشمسية عند إسقاط صورة الشمس النافذة من التلسكوب على سطح أبيض. وقد شاهدها الإنسان قديما وسجلها كظاهرة غريبة تحدث على قرص الشمس، حيث وجدت هذه الأرصاد في سجلات الحضارات القديمة لفترة تعود لعدة قرون قبل الميلاد. وقد لوحظ من الأرصاد الفلكية للبقع الشمسية خلال سنوات عديدة أن عددها يختلف من سنة إلى أخرى، فهناك سنوات يزيد فيها ظهور البقع وفي سنوات أخرى يقل أو يكاد ينعدم، مما يدل على أن هناك دورة للبقع الشمسية مدتها حوالى 11 سنة، شكل 9-10. تبلغ درجة الحرارة في البقعة 4000 كالفن، فهي بذلك أبرد مما حولها ولذلك تبدو قاتمة اللون, ويبلغ قطر بعض البقع الشمسية أكثر من 50 ألف كم. والمجال المغناطيسي داخل البقع أشد مما هو في الوسط المحيط بألف مرة وهو في الحقيقة المسئول عن برودة البقع مما يعني حبس الطاقة في منطقة البقع الشمسية . ويقدر عمر البقعة الشمسية الواحدة بمقدار يتراوح مابين عدة ساعات إلى عدة أشهر. وتتكون من منطقة ظل قاتمة اللون ومنطقة شبه ظل أقل إظلاما تأخذ شكل الألياف cellular، شكل 9-11. ومن حيث الحجم فإن غالبية البقع الشمسية تزيد في حجمها عن الأرض، أي أن بقعة شمسية واحدة قادرة على ابتلاع كوكبنا، ومعه يزول كل كبرياء للإنسان. وللبقع الشمسية حركة ذاتية ولكنها صغيرة جداً إذا ما قورنت بحركة الشمس حول نفسها. ومن النقاط المحيرة أن دورة البقع الشمسية ليست ثابتة بل تتراوح مابين 8 إلى 16 سنة، فهل هذا يعني أن الشمس متغيرة؟ هذه واحدة من المبهمات التي لا نعرفها عن الشمس. وقد لوحظ أن عدد البقع الشمسية قد يصل عند أوج النشاط الشمسي إلى 100 بقعة، ويقل بحيث لا نرى بقعاً على الإطلاق عند الحد الأدنى لدورة البقع الشمسية. وتبلغ قوة المجال المغناطيسي في طبقة الفوتوسفير نفسها عدة جاوسات بينما داخل البقع الشمسية تتراوح قوة المجال المغناطيسي بين 100 إلى 4000 جاوس، وفي الحقيقة فإن المجال المغناطيسي يزداد مع حركة لف الشمس خاصة بالقرب من خط الاستواء، وفي أماكن زيادة المجال المغناطيسي تظهر

البقع الشمسية. ونلاحظ أن البقع تحتفظ في الدورة الواحدة باتجاه واحد للمجال المغناطيسي، وتتحرك كل بقعتين معا بحيث تكون إحداهما شمالية القطب والأخرى جنوبية القطب وبذلك تمتد خطوط المجال المغناطيسي من البقع الشمالية إلى البقع الجنوبية. وفي الدورة التالية تعكس البقع اتجاه أقطابها بحيث تصبح الشمالية مكان الجنوبية والعكس كذلك. وبالتالي يمكننا القول إن المجال المغناطيسي يأخذ 22 سنة حتى يعود إلى شكله الأصلي.



شكل 9-10: دورة البقع الشمسية (National High Altitude Observatory)

وحينما يكون عدد البقع الشمسية أكبر ما يمكن، تخرج قذائف من الغازات المشحونة والأشعة المرئية وفوق والبنفسجية والسينية، تعرف **بالتوهجات** flares، وسببها أن خطوط المجال المغناطيسي المنثنية تحاول أن تعيد تنظيم نفسها فينتج عن ذلك أن تتولد كمية ضخمة من الحرارة مما يتسبب في هذا القذف العالي من اللهب إلى الفضاء الخارجي. وعند لحظة الانفجار فإن المادة المصاحبة للانفجار تسخن إلى درجة حرارة 10 مليون كالفن، ولذلك يخرج تيار قوي من الأشعة السينية وفوق البنفسجية مع الرياح الشمسية. يمكث الانفجار الشمسي حوالى 5 إلى 10 دقائق لينتهي ويظهر غيره وهكذا. إلا أن الوهج الشمسي الكبير قد يستمر عدة ساعات، وكمية الطاقة التي تخرج من الوهج الواحد تعادل ما تنتجه مليون قنبلة هيدروجينية معا. أما مصدرها والميكانيكية التي تؤدي إلى خروج الوهج الشمسي فغير معلومة ولكنها تعبر عن تحرر للطاقة التي حبسها المجال المغناطيسي. وتمكث الحمم الشمسية عدة ساعات أو عدة أيام وتمتد إلى ارتفاعات تبلغ عشرة آلاف كم فوق سطح الشمس، وبعضها يصل إلى ارتفاع مليون كم فوق سطح الشمس، ومصدر الحمم الشمسية أيضاً مجهول وإن كان من المعلوم أنها تخرج من مناطق قريبة من البقع الشمسية بحيث تكون في الحدود بين المناطق المتعاكسة من حيث القطبية المغناطيسية. وتظهر كذلك سحب لامعة في الكروموسفير حول مناطق البقع الشمسية تعرف باسم **الصياخد** plagues or faculae، وهي مناطق تُغير فيها الذرات مستوى تأينها أو انفعالها بحيث تشع كمية من الضوء أكثر من الوسط المحيط بها. شكل 9-12 يبين أهم الظواهر الشمسية والتركيب الداخلي والجوي للشمس.

تأثيرات الشمس على بيئة الأرض الفضائية Solar impact terrestrial environment

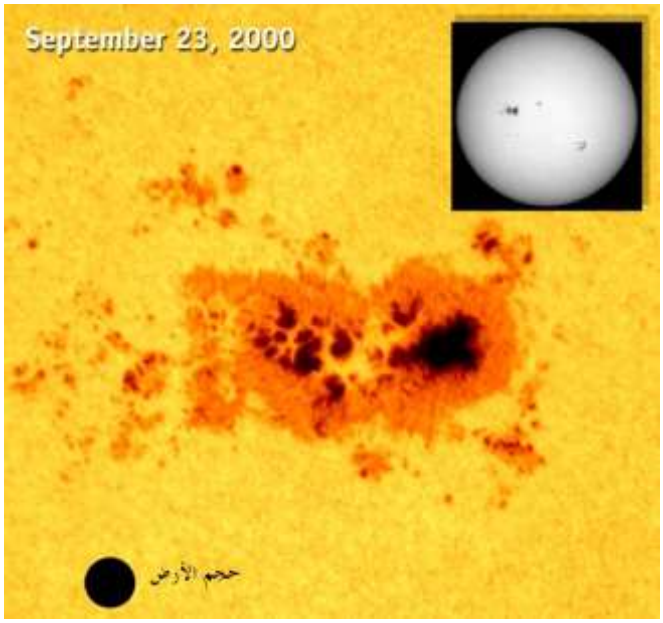
Aurora

Magnetic storms

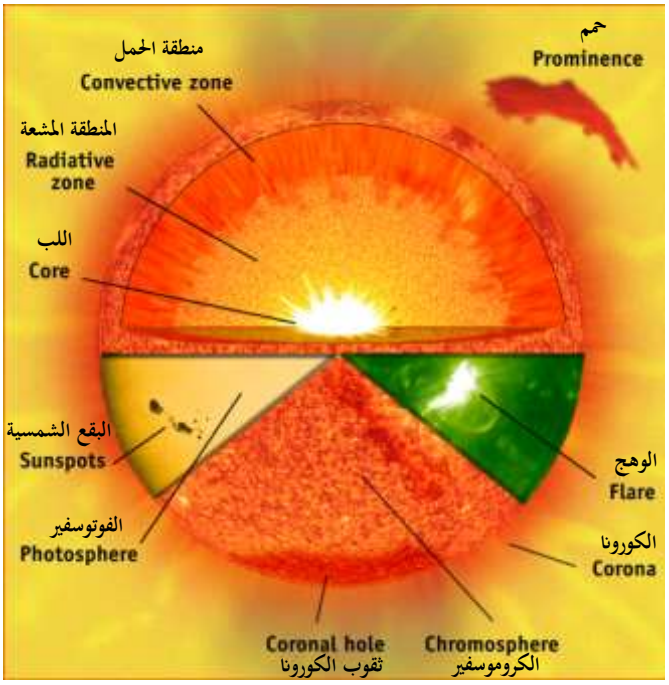
Space anomalies

Climate change

إذا حدث أن كانت الأرض في مقابل منطقة انبعاث رياح شمسية فحينها تواجه بكمية كبيرة من الرياح الشمسية ومن بلازما الشمس عالية الطاقة، ونلاحظ بعد ثلاثة أيام تتعطل الاتصالات الراديوية وحدوث الشفق القطبي بشكل قوي، كما أن المناخ يتأثر كذلك، ومن الأمثلة على تأثر المناخ أنه قد تم تسجيل حدوث نقص في نزول الأمطار كل 11 سنة، وتغير في درجة الحرارة بحيث كان هناك برد قارس في أوروبا، كما أن نطاق المجال المغناطيسي للأرض يتأثر بشدة بالنشاط الشمسي وكذلك تتأثر طبقة الأيونوسفير، ويتأثر النشاط الكيميائي لطبقات الجو العليا بكمية الأشعة فوق البنفسجية التي تصله من الشمس.



شكل 9-11: مجموعة من البقع الشمسية العملاقة. وفي الأعلى، قرص الشمس وعليه بعض البقع الشمسية. ويظهر الفرق الهائل بين حجم البقع الشمسية وحجم الأرض كما يظهر في أسفل اليسار. (SOHO)



شكل 9-12: صور حقيقية لمختلف الظواهر الشمسية، والطبقات الداخلية، وطبقات الغلاف الجوي للشمس (SOHO)

الطاقة النووية Nuclear energy

تعتبر التفاعلات النووية مصدر الطاقة التي تجعل الشمس مستمرة في الإشعاع كما نراه، وتختلف التفاعلات النووية في النجوم حسب كتلها وحسب عمرها. وحيث أن عنصر الهيدروجين هو العنصر الأساسي في الكون وفي الشمس كذلك، لذا فهو يلعب دوراً مهما في إنتاج الطاقة اللازمة لحياة الشمس. والتفاعلات النووية إما أن تكون اندماجية أو انشطارية، وفي الشمس والنجوم تكون التفاعلات النووية اندماجية. والتفاعلات النووية لا تحدث إلا في لب الشمس حيث تكون الظروف من الحرارة والضغط ملائمين لها، ويمكن أن نلخص التفاعلات النووية التي تحدث في لب الشمس فيما يلي:

أ- تتحد نواتا ذرتي هيدروجين لتكونا نواة ديوتيريوم

$$^{1}H + {}^{1}H \longrightarrow {}^{2}H + e^{+} + \upsilon$$

وتخرج أشعة نيوترينو υ وبوزيترون e^{+} والذي يصطدم بدوره مع إلكترون، فيفنى الاثنان ويتحولا إلى أشعة جاما، وبعد 10 مليون سنة تجد هذه الأشعة طريقها إلى سطح الشمس.

ب- يتحد بروتون نواة الهيدروجين مع نواة الديوتيريوم ليكونا نواة ^{3}He تحتوي على بروتونان ونيوترون، وفي هذا التفاعل تخرج كمية أكبر من أشعة جاما.

$$^{2}H + {}^{1}H \longrightarrow {}^{3}He + \upsilon$$

ج- تتحد نواتا ^3He لتكونا نواة ذرة ^4He (وهو عنصر الهيليوم المستقر الذي نعرفه في حياتنا) على الشكل التالي:

$$^3He + ^3He \longrightarrow ^4He + 2^1H$$

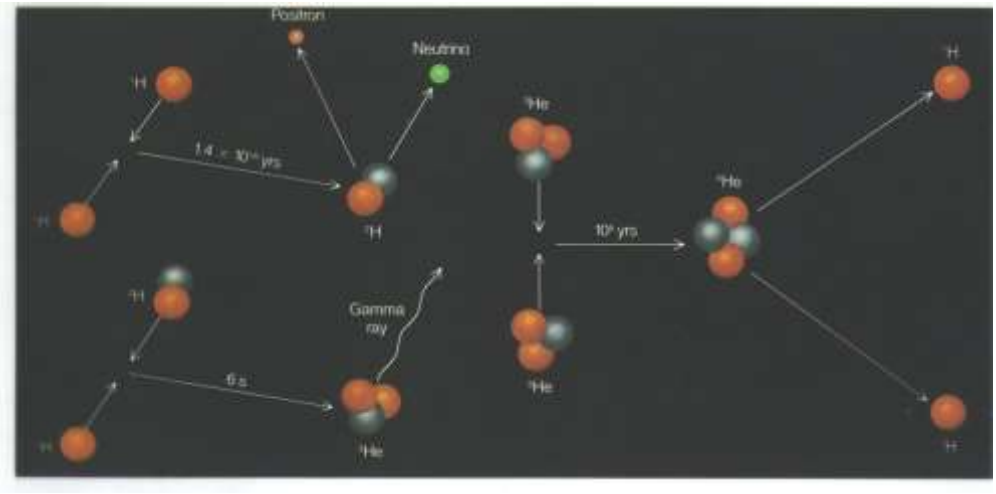
وتدخل نواتا الهيدروجين المتبقيتان في تفاعلات نووية أخرى، ونفهم من الخطوات السابقة أن أربع ذرات هيدروجين تتفاعل لتكون ذرة هيليوم، وكتلة ذرتي الهيدروجين والهيليوم هما 1.007825 , 4.00268 وحدة كتلة ذرية على التوالي، ولذلك فإن كتلة الأربع ذرات هيدروجين تساوي 4.0313 وحدة كتلة ذرية أي تزيد عن كتلة ذرة الهيليوم بمقدار 0.02862 وحدة كتلة ذرية، وهذا يعني أنه يحدث فقد في الكتلة ومقداره $\frac{0.02862}{4.00268} = 0.00715$ من الكتلة الأصلية، وهذا المقدار المفقود يتحول إلى طاقة تشعها الشمس، فإذا كانت كتلة الشمس تساوي $2x10^{33}$ جرام، وبفرض أن اللب الذي تحدث فيه التفاعلات النووية يبلغ 0.1 كتلة الشمس، فإن كمية الكتلة التي تتحول إلى طاقة في داخل الشمس يبلغ:

$$M= 0.00715 \times 0.1 \times 2x10^{33} = 1.4x10^{30} \text{ gm}$$

ومن قانون أينشتين لتحول الكتلة إلى طاقة نجد أن كمية الطاقة التي يمكن أن تشعها الشمس في فترة تحول الهيدروجين إلى هيليوم تساوي:

$$E = MC^2 = 1.4x10^{30} \times (3x10^{10})^2 = 1.3x10^{51} \text{ erg}$$

وحيث إن الشمس تشع ما مقداره $4x10^{33}$ إرج في الثانية، لذلك فإنها تستطيع أن تستمر في الإشعاع لمدة $3.2x10^{17}$ ثانية أي حوالى 10 بليون سنة تقريباً، وهذا هو العمر المقدر للشمس أن تستمر خلاله تشع بنفس القدر الذي تشع به الآن، شكل 9-13. ويقدر العلماء أن الشمس في منتصف عمرها في الوقت الحالي أي في مرحلة الشباب من حياتها. تسمى دورة التفاعلات النووية التي تحدث في لب الشمس بدورة بروتون- بروتون p-p cycle ، وفي النجوم الساخنة تحدث دورة أخرى للتفاعلات النووية بالإضافة لدورة بروتون-بروتون تسمى دورة الكربون — النيتروجين — الأكسجين وتكتب اختصاراً CNO cycle.



شكل 9-13: التفاعلات النووية التي تحدث في باطن الشمس وينتج عنها تكوين الهيليوم من الهيدروجين.

إن مؤدى التفاعلات النووية التي تحدث داخل الشمس أن كل أربع ذرات هيدروجين تتلاحم لتكون ذرة هيليوم، وعلى هذا فالشمس مصنع كوني كبير يصنع الهيليوم من الهيدروجين، وهذه العملية التي تتم في باطن الشمس مازال الإنسان عاجزاً أن يتحكم فيها ويوظفها، وهو حلم جميل يسعى الإنسان أن ينجح في تقليد هذه الآية الكونية العجيبة والتي نسميها النجوم، حيث تندمج نويات العناصر الخفيفة لتكون عناصر أثقل وتنتج عن هذه التفاعلات كميات هائلة من الطاقة لتعيش منها النجوم كمصادر للضوء بلايين السنين. ولو تيسر للإنسان هذا المصدر من الطاقة بطريقة سهلة آمنة، فإن البشرية ستكون قد خطت خطوة كبيرة في عالم التقدم والرفاهية.

ملخص Summary

1) تتكون الشمس من لب، والمنطقة المشعة، ومنطقة الحمل، وسطح الشمس وهو الفوتوسفير، وغلاف جوي من: الكروموسفير، والمنطقة الانتقالية، والكورونا.
2) تتحرك مادة الشمس حول نفسها عند خط الاستواء بسرعة عالية، وتقل كلما اتجهنا إلى قطبي الشمس.
3) الشمس في حالة اتزان هيدروستاتيكي.
4) البقع الشمسية هي منبع مختلف الأنشطة الشمسية.
5) تنتشر البقع الشمسية ما بين خط استواء الشمس وخط عرض 40 درجة شمالا وجنوبا.
6) دورة البقع الشمسية 11 سنة في المتوسط، ودورة المجال المغناطيسي 22 سنة.
7) اختلاف حركة مادة الشمس من مكان لآخر هو الذي تسبب في تعقد المجال المغناطيسي للشمس.
8) يوجد أنشطة شمسية متعددة وأهمها الوهج والحمم والشياظ والبقع والحبيبات.
9) توجد ثقوب في الكورونا.
10) تزداد درجة الحرارة لتصل إلى 15 مليون كالفن في لب الشمس، وتقل لأقل قيمة لها في الفوتوسفير، ثم تزداد لعدة ملايين في الكورونا.
11) لأشعة الشمس تأثيرات متعددة على الأرض ولم نفهم سوى بعضها.
12) مصدر الطاقة في الشمس هو التفاعلات النووية والمعروفة بدورة بروتون – بروتون.
13) مؤدى التفاعلات النووية في لب الشمس أن تندمج نويات أربع ذرات من الهيدروجين لتكوين نواة ذرة هيليوم.

أسئلة

1) ما الفرق بين : النجم – الكوكب- القمر – المذنب؟
2) مامعنى الاتزان الهيدروستاتيكي؟
3) ما تركيب الشمس الداخلي.
4) أذكر بعض الأنشطة الشمسية؟
5) ماذا تعرف عن البقع الشمسية؟

6) مع ازدياد النشاط الشمسي تحدث تغيرات في كوكبنا بين ذلك.
7) بين تغير درجات الحرارة في طبقات الشمس المختلفة.
8) هل يمكن استخدام التفاعلات النووية في حساب عمر النجوم المختلفة ؟