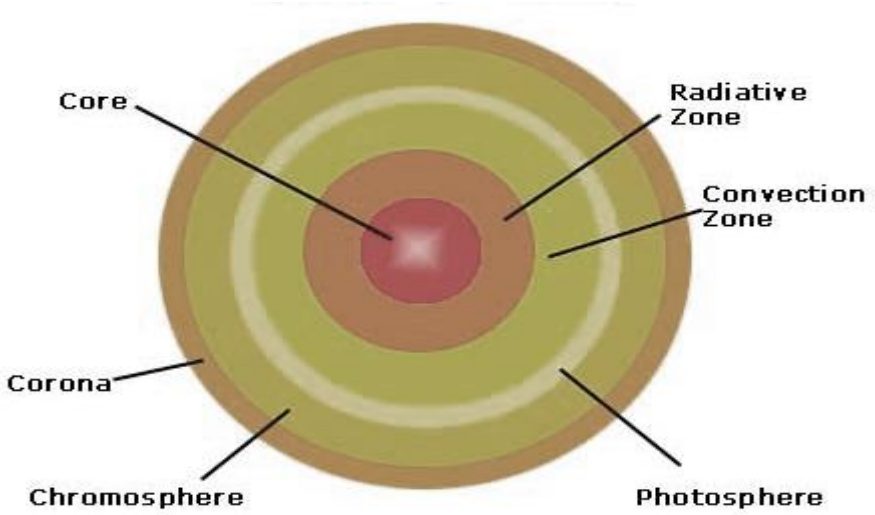
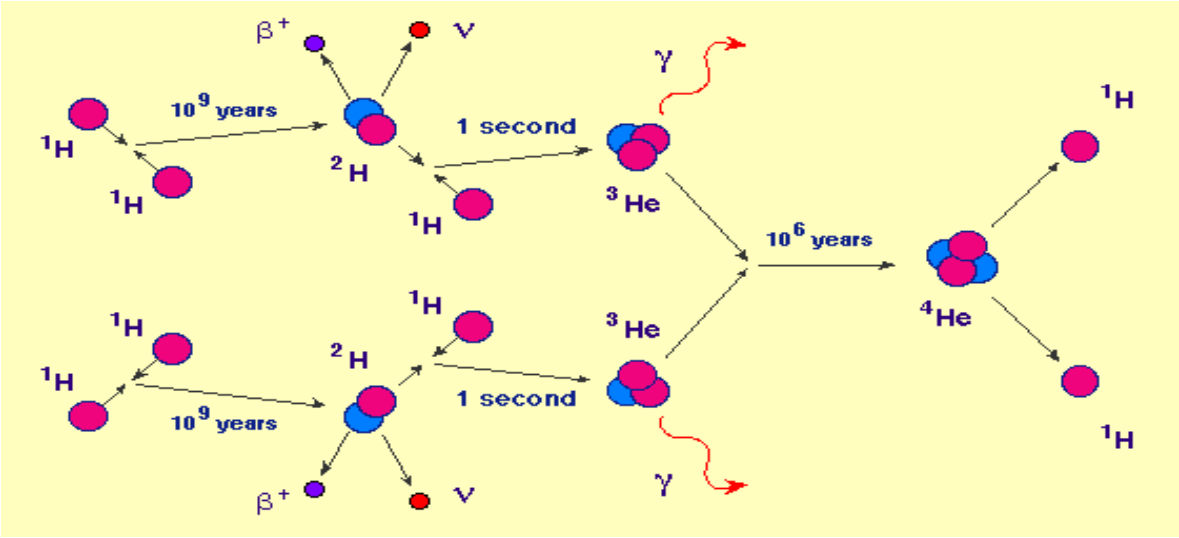


The structure of the Sun

The proton–proton chain occurs around 9.2×10^{37} times each second in the core, converting about 3.7×10^{38} protons into alpha particles every second (or about 6.2×10^{11} kg/s) and releases around 0.7% of the fused mass as energy, so the Sun releases energy at the mass–energy conversion rate of 4.26 million metric tons per second, for 3.846×10^{26} W, or 9.192×10^{10} Kg of TNT per second.



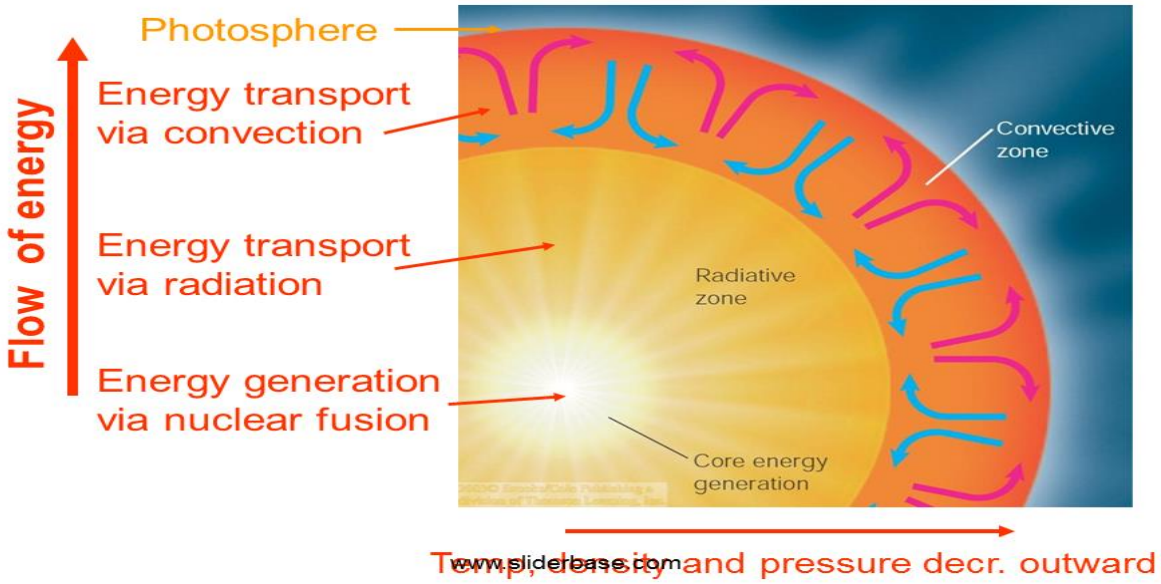
The proton–proton chain reaction dominates in stars the size of the Sun or smaller.

2- Radiative zone:

From the core out to about 0.7 solar radii, thermal radiation is the primary means of energy transfer. The transfer of energy through this zone is by radiation not by thermal convection. The temperature drops from approximately 7 million to 2 million kelvins with increasing distance from the core. Ions of hydrogen and helium emit photons,

which travel only a brief distance before being reabsorbed by other ions. The density drops a hundredfold (from 20 g/cm^3 to only 0.2 g/cm^3) from 0.25 solar radii to the 0.7 radii, the top of the radiative zone.

من القلب إلى الخارج إلى حوالي 0.7 نصف قطر شمسي، يعد الإشعاع الحراري الوسيلة الأساسية لنقل الطاقة. ويتم نقل الطاقة عبر هذه المنطقة عن طريق الإشعاع وليس عن طريق الحمل الحراري. تنخفض درجة الحرارة من حوالي 7 ملايين إلى 2 مليون كلفن مع زيادة المسافة من القلب. تبعث أيونات الهيدروجين والهيليوم فوتونات، والتي تنتقل مسافة قصيرة فقط قبل أن يتم إعادة امتصاصها بواسطة الأيونات الأخرى. تنخفض الكثافة مائة ضعف (من 20 جم/سم3 إلى 0.2 جم/سم3 فقط) من 0.25 نصف قطر شمسي إلى 0.7 نصف قطر، أعلى المنطقة الإشعاعية.



The Sun's Interior Structure

3- Tachocline:

The radiative zone and the convective zone are separated by a transition layer, the tachocline. It is located at a radius of at most 0.70 times the Solar radius with a thickness of 0.04 times the solar radius. This is a region where the sharp regime changes between the uniform rotation of the radiative zone and the differential rotation of the convection zone results in a large shear between the two—a condition where successive horizontal layers slide past one another. The fluid motion of the convection zone above, slowly disappears from the top of this layer to its bottom where it matches that of the radiative zone. Presently, it is hypothesized that a magnetic dynamo within this layer generates the Sun's magnetic field.

يتم فصل المنطقة الإشعاعية ومنطقة الحمل الحراري بطبقة انتقالية، وهي خط السرعة. يقع في نصف قطر لا يقل عن 0.70 مرة من نصف قطر الشمس وبسمك 0.04 مرة من نصف قطر الشمس. هذه المنطقة التي يتغير فيها النظام الحاد بين الدوران الموحد للمنطقة الإشعاعية والدوران التفاضلي لمنطقة الحمل الحراري مما يؤدي إلى قص كبير بين الاثنين - وهي حالة تنزلق فيها الطبقات الأفقية المتعاقبة فوق بعضها البعض. وتختفي حركة السوائل

لمنطقة الحمل أعلاه ببطء من أعلى هذه الطبقة إلى أسفلها حيث تتطابق مع حركة المنطقة الإشعاعية. من المفترض حاليًا أن الدينامو المغناطيسي الموجود داخل هذه الطبقة يولد المجال المغناطيسي للشمس.

4- Convective zone:

The Sun's convection zone extends from 0.7 solar radii (200,000 km) to near the surface. In this layer, the temperature is lower than in the radiative zone and heavier atoms are not fully ionized. As a result, radiative heat transport is less effective and convection moves the Sun's energy outward through this layer. The density of the plasma is low enough to allow convective currents to develop. Material heated at the tachocline picks up heat and expands, thereby reducing its density and allowing it to rise. As a result, an orderly motion of the mass develops into thermal cells that carry the majority of the heat outward to the Sun's photosphere above. Once the material diffusivity and radiatively cools just beneath the photosphere surface, its density increases, and it sinks to the base of the convection zone, where it again picks up heat from the top of the radiative zone and the convective cycle continues. At the photosphere, the temperature has dropped to 5,700 K and the density to only 0.2 g/m^3. The thermal columns of the convection zone form an imprint on the surface of the Sun giving it a granular appearance called the solar granulation at the smallest scale and supergranulation at larger scales.

تمتد منطقة الحمل الحراري للشمس من 0.7 نصف قطر شمسي (200000 كم) إلى قرب السطح. في هذه الطبقة، تكون درجة الحرارة أقل مما كانت عليه في المنطقة الإشعاعية ولا تتأين الذرات الأثقل بشكل كامل. ونتيجة لذلك، يكون النقل الحراري الإشعاعي أقل فعالية ويحرك الحمل الحراري طاقة الشمس إلى الخارج عبر هذه الطبقة. كثافة البلازما منخفضة بما يكفي للسماح بتطور تيارات الحمل الحراري. تلتقط المواد التي يتم تسخينها عند خط السرعة الحرارة وتتوسع، وبالتالي تقلل كثافتها وتسمح لها بالارتفاع. ونتيجة لذلك، تتطور حركة منتظمة للكتلة إلى خلايا حرارية تحمل معظم الحرارة إلى الخارج إلى الغلاف الضوئي للشمس في الأعلى. بمجرد انتشار المادة وتبرد إشعاعيًا أسفل سطح الغلاف الضوئي مباشرة، تزداد كثافتها، وتغوص إلى قاعدة منطقة الحمل الحراري، حيث تلتقط الحرارة مرة أخرى من أعلى المنطقة الإشعاعية وتستمر دورة الحمل الحراري. وفي الغلاف الضوئي، انخفضت درجة الحرارة إلى 5700 كلفن والكثافة إلى 0.2 جم/م3 فقط.

تشكل الأعمدة الحرارية لمنطقة الحمل الحراري بصمة على سطح الشمس مما يمنحها مظهرًا حبيبيًا يسمى التحبيب الشمسي على أصغر المقياس والتحبيب الفائق على المقاييس الأكبر.

5- Photosphere:

The visible surface of the Sun, the photosphere, is the layer below which the Sun becomes opaque to visible light. Above the photosphere visible sunlight is free to propagate into space, and its energy escapes the Sun entirely. The change in opacity is due to the decreasing amount of H^- ions, which absorb visible light easily. Conversely, the visible light we see is produced as electrons react with hydrogen atoms to produce H^- ions. The photosphere is tens to hundreds of kilometers thick, and is slightly less

opaque than air on Earth. Because the upper part of the photosphere is cooler than the lower part, an image of the Sun appears brighter in the center than on the edge or limb of the solar disk, in a phenomenon known as limb darkening.

السطح المرئي للشمس، الغلاف الضوئي، هو الطبقة التي تحتها تصبح الشمس معتمة للضوء المرئي. فوق الغلاف الضوئي، ينتشر ضوء الشمس المرئي بحرية في الفضاء، وتهرب طاقته من الشمس بالكامل. يرجع التغير في العتامة إلى انخفاض كمية أيونات H−، التي تمتص الضوء المرئي بسهولة. وعلى العكس من ذلك، يتم إنتاج الضوء المرئي الذي نراه عندما تتفاعل الإلكترونات مع ذرات الهيدروجين لإنتاج أيونات H−. تبلغ سماكة الغلاف الضوئي عشرات إلى مئات الكيلومترات، وهو أقل عتمة قليلاً من الهواء الموجود على الأرض. ولأن الجزء العلوي من الغلاف الضوئي أكثر برودة من الجزء السفلي، فإن صورة الشمس تظهر في المركز أكثر سطوعًا منها على حافة أو طرف القرص الشمسي، في ظاهرة تعرف باسم سواد الحافة.

6- Atmosphere:

During a total solar eclipse, when the disk of the Sun is covered by that of the Moon, parts of the Sun's surrounding atmosphere can be seen.

خلال الكسوف الكلي الشمسي، عندما يتم تغطية قرص الشمس من قبل القمر، يمكن رؤية أجزاء من الغلاف الجوي المحيط بالشمس.

i. The temperature minimum

The coolest layer of the Sun is a temperature minimum region extending to about 500 km above the photosphere, and has a temperature of about 4,100 K. This part of the Sun is cool enough to allow the existence of simple molecules such as carbon monoxide and water, which can be detected via their absorption spectra.

أقرب طبقة من الشمس هي منطقة الحد الأدنى لدرجة الحرارة تمتد إلى حوالي 500 كم فوق الفوتوغرافي، وتبلغ درجة حرارة حوالي 4100 كلفن. هذا الجزء من الشمس بارد بما يكفي للسماح بوجود جزيئات بسيطة مثل أول أكسيد الكربون والماء، والتي يمكن اكتشافها عبر أطياف الامتصاص.

ii. The chromosphere

Above the temperature minimum layer is a layer about 2,000 km thick, dominated by a spectrum of emission and absorption lines. It is called the chromosphere from the Greek root chroma, meaning color, because the chromosphere is visible as a colored flash at the beginning and end of total solar eclipses. The temperature of the chromosphere increases gradually with altitude, ranging up to around 20,000 K near the top. In the upper part of the chromosphere helium becomes partially ionized.

توجد فوق طبقة الدرجة الحرارة الحد الأدنى وتبلغ سمكها حوالي 2000 كم، تهيمن عليها مجموعة من خطوط الانبعاثات والامتصاص. يطلق عليه الكروموسفير من الجذر اليوناني كروما، والذي يعني اللون، لأن الكروموسفير مرئي كفلاش ملون في بداية ونهاية الكسوف الشمسي الكلي. تزداد درجة حرارة الكروموسفير تدريجياً مع الارتفاع، حيث تصل إلى حوالي 20,000 كلفن بالقرب من الأعلى. في الجزء العلوي من الكروموسفير ، يصبح الهيليوم مؤينًا جزئيًا.