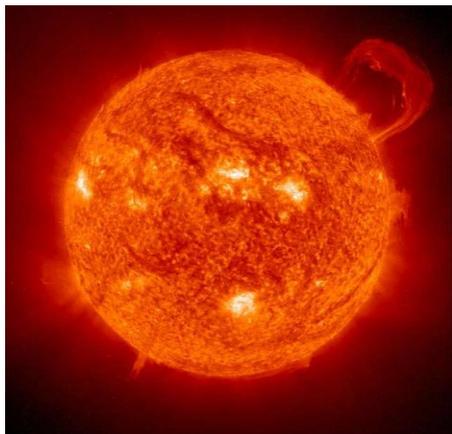


Actividad – Fusión y energía solar



El Sol emite año tras año al espacio una cantidad enorme de luz y de energía. Pero no es posible que la cantidad de energía sea ilimitada, ya que es un cuerpo finito constituido por una cantidad finita de materia. La masa del Sol es enorme (2×10^{30} kg, o sea 2 quintillones de kilogramos) y sabemos que proporciona por sí misma la energía desde hace miles de millones de años. Pero, ¿de dónde procede tanta energía que el Sol emite desde hace tanto tiempo y con tanta intensidad? ¿Puede explicarse mediante transformaciones o reacciones de tipo químico?

Si imaginamos el proceso químico más sencillo capaz de proporcionar energía: la combustión. Si el sol estuviera compuesto de carbón, la energía procedente de su combustión bastaría únicamente para cubrir la energía emitida durante unos 5.000 años. Sin embargo, el Sol brilla desde hace 4.500.000.000 de años. Si el horno solar quemara carbón, se habría vaciado desde hace mucho tiempo.

El científico inglés Sir Arthur Eddington en el año 1926 publicó su obra "La constitución interna de las estrellas". Era una brillante exposición de los conocimientos físicos de aquella época, acerca del interior de las estrellas. Se sabía ya cómo funcionaba en principio una estrella, pero faltaba la clave: ¿cómo se generaba su energía?



Como se conocía con certeza que las estrellas poseen una gran abundancia de hidrógeno, esta constitución podría ser suministradora ideal de energía. Se sabía que la transformación del hidrógeno en helio liberaba tal cantidad de energía que sin duda podría cubrir las necesidades del Sol y de las estrellas permitiéndoles brillar durante miles de millones de años. Se había descubierto una magnífica fuente de energía, pero no se podía comprobar llevando a cabo experimentalmente la transformación de hidrógeno en helio, ya que dicho proceso ocurre a enormes temperaturas.

Eddington calculó que la temperatura del centro de las estrellas sería de unos 40 millones de grados. Los átomos de hidrógeno en estas condiciones habrían perdido hace tiempo sus electrones (transformándose en cationes o iones positivos), y sus protones se desplazarían libres por el espacio. Los protones pasarían muy cerca unos de otros, pero las fuerzas eléctricas de repulsión los desviarían antes de que puedan aproximarse lo suficiente para fusionarse. Además, para formar un núcleo de helio a partir de átomos de hidrógeno, deben coincidir simultáneamente en un mismo punto cuatro protones y dos electrones, o sea seis partículas... suceso que es muy improbable. Y aunque las seis coincidieran casualmente, las fuerzas eléctricas desviarían sus trayectorias impidiendo la fusión. A pesar de estas dificultades planteadas, Eddington estaba convencido de que solo la energía nuclear puede alimentar las estrellas.

En el año 1929, los físicos Fritz Houtermans (austríaco) y Robert Atkinson (inglés) plantearon que aún sin llegar a las temperaturas de 40 millones de grados previstas por Eddington para el interior de las estrellas, los núcleos atómicos de

hidrógeno podían acercarse lo suficiente para fusionarse. Un protón en una estrella está separado de los demás protones por un campo eléctrico que equivale a una montaña infranqueable, y sin embargo consigue, quizás al cabo de mucho tiempo, superar esta montaña, aunque su energía sea insuficiente. El protón consigue llegar al otro lado gracias al efecto túnel, idea propuesta poco tiempo antes por el joven físico ruso George Gamow.

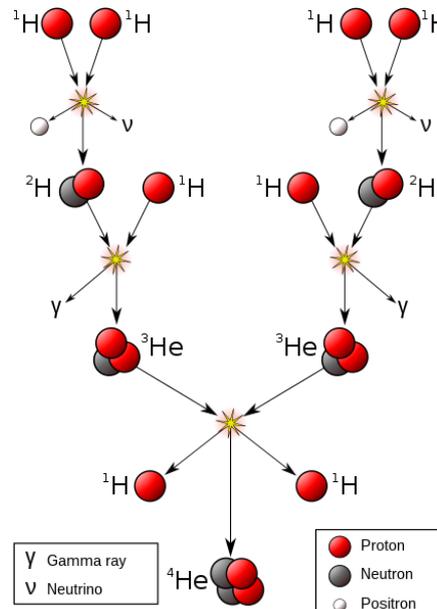
Si bien la probabilidad de que ocurra el efecto túnel no es muy grande, el efecto ocurre en el interior del Sol y de las estrellas, con frecuencia suficiente para que la estrella pueda vivir de la energía que libera el proceso. Atkinson y Houtermans demostraron lo que Eddington había solo supuesto: el Sol y las estrellas cubren sus necesidades de energía con la transformación del hidrógeno en helio. Acababa de descubrirse el origen de la energía del Sol y de las estrellas.



Fritz Houtermans contaba un recuerdo de aquella época: "Por la tarde, después de concluir el artículo me fui a pasear con una guapa chica, y cuando anocheció empezaron a brillar esplendorosamente las estrellas. ¡Cómo brillan, qué hermoso!, exclamó mi acompañante. Yo me ufané un poco y dije: desde ayer sé por qué brillan. Ella no dio muestras de impresionarse. ¿Quizá no me creía? Probablemente aquello en aquel momento le tenía sin cuidado."

En el núcleo del Sol, la fusión nuclear ocurre a una temperatura aproximada de 15 millones de grados. En dicho proceso de transformación de hidrógeno en helio se origina la energía solar. Este mecanismo de fusión nuclear puede ocurrir a partir de los 10 millones de grados y se denomina cadena protón-protón.

La siguiente imagen permite comprobar que 4 núcleos atómicos de hidrógeno se transforman en un núcleo atómico de helio, generando la energía solar que es liberada a partir de dicho proceso.



¿Cuánta energía se libera en esta reacción?

Un núcleo de hidrógeno, es decir el protón, tiene una masa atómica que vale 1,0076.

Por lo tanto si sumamos la masa de 4 núcleos de hidrógeno tendremos: 4,03 U.M.A (unidad de masa atómica).

Pero el núcleo de helio tiene una masa de 4,0026 U.M.A.

Por lo tanto, si el hidrógeno se transformó en helio, se perdió algo de masa, la diferencia entre:

$$4,03 - 4,0026 = 0,0274 \text{ U.M.A.}$$

Quiere decir que el Sol ha perdido masa durante la transformación. Esa masa se transformó en rayos gamma, y en la energía cinética llevada por los positrones y los neutrinos desprendidos durante las reacciones nucleares.

Pero dicha masa se puede calcular mediante la ecuación dada por Einstein de equivalencia entre masa y energía:

$$E = m \cdot c^2$$

E: energía expresada en ergios

m: masa que se pierde en la transformación expresada en gramos

c: velocidad de la luz expresada en centímetros por segundo

Si se transforma un gramo de hidrógeno en uno de helio (menos la diferencia de masas, que será de 0,0007 gramos), se libera una energía de aproximadamente 750.000 kilovatios/hora.

En el Sol, en cada segundo que transcurre, se transforman 640 millones de toneladas de hidrógeno en 636 millones de toneladas de helio. Por lo tanto 4 millones de toneladas de materia solar se convierten en energía radiante. Pero como el Sol tiene una masa de 2 quintillones de kg, es decir 2×10^{30} kg, no le implica notorios cambios y es tan grande que aún tiene reservas de energía para muchos miles de millones de años.

Guía de trabajo:

Observa detenidamente la imagen de la cadena protón-protón. Responde las siguientes preguntas.

1) Al comenzar la cadena protón protón, se fusionan dos núcleos atómicos de hidrógeno.

a) ¿Qué elemento químico se forma como resultado de esta primera etapa de la cadena?

b) ¿Qué se libera durante esta primera etapa de la reacción?

2) En la segunda etapa de la reacción, el elemento resultante se fusiona con un tercer átomo de hidrógeno.

a) ¿Qué elemento químico se forma como resultado de esta segunda etapa de la cadena?

b) ¿Qué se libera durante esta etapa de la reacción?

3) Describe qué ocurre en la última etapa de la reacción.

Módulo Radiactividad
Profs. Anarella Gatto, Raisa López, Silvia Pedreira y Héctor Roldós
2016.

Créditos:

- ✓ Imagen del sol. <https://picryl.com/media/handle-on-the-sun-be546b>
- ✓ Imagen de Eddington.
https://es.wikipedia.org/wiki/Arthur_St Stanley_Eddington#/media/Archivo:Arthur_St Stanley_Eddington.jpg
- ✓ Imagen noche estrellada. <https://pxhere.com/es/photo/627893>
- ✓ Imagen cadena protón-protón.
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FusionintheSun.svg>



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-Compartir Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)