

PROTUBERANCIA SOLAR OBSERVADA POR ZOLLNER EL 29 DE AGOSTO DE 1869
ANGULO DE POSICIÓN 460°



EL MUNDO FÍSICO MONTANER & SIMÓN

3.000 10.000 15.000 20.000 25.000 30.000

Leguas kilométricas.

Nº 1.
Hora 10^h 22^m

172-MONTAÑA DE HIDRÓGENO INFLAMADO DE 17.000 LECUAS DE ALTURA

Nº 2
Hora 11^h 20^m

ser objeto la parte oscura, la más considerable por el concepto calorífico, por parte de la cromoesfera ó de la atmósfera solar exterior.

Por consiguiente, cuando se trata de medir la temperatura solar, debe atenderse á la media ó resultante, procedente de las acciones combinadas de las diferentes partes constitutivas del Sol. Pero, aun restringida de este modo, la solución del problema continúa indeterminada; porque, para obtenerla, se han de hacer hipótesis sobre un elemento de capital importancia, sobre el valor del poder radiante ó emisor de la substancia de que se compone el Sol. ¿Se halla ésta en estado sólido ó líquido, como algunos físicos y astrónomos lo suponen todavía hoy? ¿Es por el contrario gaseosa, según lo sostienen otros sabios, considerando la envolvente fotosférica ó visible como si estuviera formada de una acumulación de nubes constituidas por partículas líquidas ó sólidas incandescentes, menos calientes que las capas internas y puramente gaseosas del astro? De la respuesta que se dé á estas preguntas debe resultar la mayor ó menor probabilidad de las hipótesis propuestas sobre el valor numérico del poder emisor del Sol.

Cuando Pouillet hubo valuado la intensidad de la radiación solar, según hemos visto en el artículo anterior, procuró deducir de ella la temperatura probable del Sol. Partiendo de la fórmula de Dulong y Petit que da la ley del enfriamiento en el vacío, ha encontrado una relación simple entre la cantidad de calor emitida en un minuto por la unidad de superficie del cuerpo radiante, su poder emisor y su temperatura. Luego, suponiendo sucesivamente que el poder emisor del Sol es igual á la unidad, es decir, *máximum*, ó bien solamente igual á 0,1, como el de los metales bruñidos, deduce las temperaturas de 1461° ó 1761°, la primera de las cuales es casi la de la fusión del hierro, al paso que la segunda llega á la del platino.

Varios astrónomos han propuesto otras cifras mucho mayores. El doctor Zellner, partiendo de la hipótesis de que el núcleo solar es un sólido incandescente cubierto de una capa líquida incandescente también, y considerando las protuberancias como engendradas por erupciones gaseosas salidas del núcleo á enorme presión, ha deducido de ciertas consideraciones termodinámicas que no podemos mencionar aquí, una valuación de la temperatura de los gases en la atmósfera del Sol, la cual en su concepto no baja de 27,700°, y varía entre 68,000 y 75,000 en las masas gaseosas en el momento de su salida de las capas subyacentes.

El P. Secchi admitía una temperatura todavía mayor, calculándola, con Watterston, en 9 ó 10 millones de grados. Su punto de partida era una serie de medidas actinométricas efectuadas en la India por el segundo de dichos físicos, el cual había obtenido 27° como elevación de temperatura de un termómetro sometido á la radiación solar en un recinto dado de negro. Ericsson deducía por su parte 2.290,000°. Por último, aplicando Secchi el mismo cálculo á los resultados de las observaciones de Soret (en el monte Blanco) y de Violle, se decidía por cifras de 5 millones ó de 3 millones de grados.

La enorme discordancia entre los resultados que acabamos de mencionar y los de Pouillet, por más que unos y otros se hayan obtenido en virtud de diferentes procedimientos de observación, no pueden atribuirse á errores resultantes de estos procedimientos. Y en efecto, Violle, Crova y Vicaire, partiendo de los mismos datos ó de sus propias observaciones (mencionadas más arriba), han deducido para la temperatura del Sol varias cifras que no se diferencian marcadamente de las que la experiencia ha permitido comprobar en los más intensos focos caloríficos terrestres. Vicaire adopta 1398°, número poco diferente del de Pouillet; Violle, partiendo de sus medidas actinométricas en el monte Blanco, llega á una cifra próxima á 1500°.

En resumen, las valuaciones de los físicos franceses que acabamos de nombrar dan como temperatura media probable del Sol un número de grados inferior á los que marcan las altas temperaturas de los hogares de nuestras fábricas y laboratorios; y teniendo en cuenta las incertidumbres que aún reinan sobre ciertos puntos del problema, esta temperatura debe ser enteramente comparable á la de nuestras llamas, y comprendida entre 2000° y 3000°.

¿De dónde procede, pues, la extraordinaria diferencia entre esta valuación y los cálculos de Secchi, Watterston y Ericsson, que asignan millones de grados á la temperatura solar? Dimana casi por completo de la diferencia de interpretación de los resultados de las observaciones actinométricas, y no de las observaciones en sí, á las que se puede considerar como suficientemente concordantes. Al paso que Secchi aplica á estos resultados la ley de Newton sobre el enfriamiento, Vicaire, Crova y Violle se valen de la fórmula que da la ley de Dulong y Petit (1). Parece evidente que en este caso y para las elevadas temperaturas que se trate de medir, es inaplicable la primera ley; pero la segunda se ha comprobado en condiciones que se relacionan con aquellas en que se encuentran probablemente las substancias de que se compone la materia solar. Por otra parte, hablar de millones de grados respecto á una temperatura, es ciertamente salir de todos los datos de la experiencia, y como ha dicho muy bien, con este motivo, Enrique Sainte-Claire Deville, "hablar de temperaturas excesivas y de su medida equivale á admitir que los gases son excesivamente dilatables ó compresibles por el calor, lo cual no está aún demostrado; ó lo que lo está menos todavía, que no hay límite para la temperatura producida por las combinaciones químicas. En la duda, abrigo la opinión, fundada en mi larga experiencia de las temperaturas elevadas, de que las que producimos y medimos en nuestros laboratorios no son muy inferiores á las de la Naturaleza.

„Hablar de la *superficie* del Sol, es suponer que se parece á una bala roja. Hablar de la temperatura de la superficie de la atmósfera solar, es suponer que termina bruscamente en una capa incandescente. Por último, calcular la temperatura de un punto cualquiera de la masa del Sol, valiéndose de medidas fotométricas, actinométricas, etc., es despreñar absolutamente la influencia de la capa, quizás sumamente dilatada, de la materia solar oscura que, según toda apariencia, se sobrepone á la capa incandescente, y cuya radiación hacia la Tierra se despreña por lo mismo. Así pues, en todos estos cálculos, sólo puede ser cuestión de cantidades de calor emanadas del Sol entero y no de temperaturas tomadas en su *superficie*.

„He aquí tal vez un modo de abordar la cuestión. Las rayas del hidrógeno que emiten ciertos puntos de la materia incandescente del Sol están determinadas por las observaciones astronómicas. Frankland y Lockyer las han visto en la llama del hidrógeno sometido á cierta presión.

„Por el método que he descrito ya, se podría determinar la temperatura de combustión del hidrógeno á esta misma presión, y por consecuencia la temperatura y la

(1) La ley de Newton sobre el enfriamiento de los cuerpos se enuncia de este modo: *La cantidad de calor que todo cuerpo pierde por radiación en el vacío, durante la unidad de tiempo y para la unidad de superficie, es proporcional al exceso de su temperatura sobre la del recinto.* Por desgracia esta ley sólo es exacta relativamente á escasos excesos de temperatura, y no se la puede aplicar al caso de la radiación solar.

Con respecto á las temperaturas elevadas, la radiación crece más rápidamente que ellas, y entonces la ley de Dulong y Petit parece la única aplicable. Según ella, las cantidades de calor radiadas crecen en progresión geométrica, al paso que las temperaturas sólo crecen en progresión aritmética.

presión de los gases en los puntos de la atmósfera solar en que se han observado las rayas del hidrógeno. Según mis primeras apreciaciones, creo que esta temperatura no distará mucho de 2500 ó 2800°, cifras que resultan de los experimentos de Bunsen y de los que Debray y yo hemos publicado hace tiempo.,,

III

TEMPERATURA DEL ESPACIO INTERPLANETARIO

Según acabamos de ver, las dudas que aún subsisten sobre la verdadera temperatura del Sol reconocen por causa, más bien la incertidumbre en que se está acerca de la aplicación de la ley que enlaza las radiaciones con la temperatura, que las inexactitudes de las observaciones mismas. Estas son bastante concordantes para que se puedan calcular las cantidades de calor que llegan á la superficie del suelo, á causa de la radiación solar, así como el que recibe la unidad de superficie, en la unidad de tiempo, en los límites de nuestra atmósfera. En resumen, la energía calorífica de la radiación del Sol es un elemento conocido ya con suficiente aproximación, y tal que cada centímetro cuadrado de esta superficie límite recibe en un minuto dos calorías, ó lo que es lo mismo, es capaz de elevar en este espacio de tiempo dos grados centígrados la temperatura de un gramo de agua.

Pero la Tierra no recibe únicamente del Sol su calor externo. Todos los astros radian hacia ella; y como, según nos enseña la astronomía, las estrellas especialmente no son otra cosa sino soles, esto es, cuerpos en estado de incandescencia, manantiales de luz y de calor, y su considerable número puede hasta cierto punto compensar la atenuación que sus radiaciones sufren á causa de sus enormes distancias, se puede plantear la cuestión que consiste en apreciar la cantidad de calor que envían á la Tierra.

Gracias á la delicadeza del análisis espectral, quizás llegue un día en que se encuentre en la constitución de las luces estelares indicios que permitan clasificarlas con arreglo al puesto que ocupan en la escala de las temperaturas. Sábese ya que no todas las estrellas son iguales por lo que atañe á su constitución física; pues mientras que el espectro de unas está surcado de rayas como el solar, otras sólo dan algunas líneas brillantes en un espectro continuo, y otras un espectro caracterizado por bandas acanaladas; siendo evidente que la luz con que todas ellas brillan indica la incandescencia de la materia que las compone, y por consecuencia una elevada temperatura; y que las diferencias probablemente dimanarán de una absorción electiva en el seno de atmósferas de espesores y constituciones variables.

Por fortuna no es necesario resolver estas cuestiones difíciles para abordar la relativa á la determinación de la cantidad total de calor que las estrellas radian hacia nuestro globo. Como todas estas radiaciones, que son en número infinito, se cruzan á la vez en cada punto del espacio que nos rodea, puede admitirse que la resultante de todas sus acciones combinadas es la misma en una región del cielo bastante dilatada para que podamos considerar todos sus puntos como si estuvieran situados á igual distancia de cualquiera de ellos. Tal es, por ejemplo, el espacio en que se mueve la Tierra durante su revolución anual alrededor del Sol. Sólo que, para resolver el problema, se necesitará poder eliminar el efecto preponderante debido á la radiación solar.

Así pues, la cuestión planteada en estos términos es la siguiente: ¿Qué temperatura

marcaría un termómetro colocado en un punto del espacio interplanetario, y resguardado por una pantalla de la acción directa de la radiación del Sol?

Véase cómo logró resolverla Pouillet en su Memoria de 1838:

“Un termómetro, dice, expuesto en el suelo á la radiación nocturna, recibe calor de dos focos diferentes, á saber, del espacio y de la atmósfera. Estando sometido el calor del espacio á la absorción lo propio que el calor solar durante su trayecto atmosférico, por lo general sólo los 0,3 ó los 0,4 pueden llegar al termómetro; esto, suponiendo que el experimento no se hace en las altas montañas. El calor emitido por la atmósfera misma en el curso de la noche es efecto de la radiación individual de todas las capas concéntricas que se puedan concebir desde el nivel del mar hasta los límites de la atmósfera, y depende por consiguiente de la distribución de las temperaturas en toda la altura de la columna atmosférica, pudiendo por mi parte agregar que su influencia es mucho mayor de lo que se ha creído hasta ahora. Por lo demás, cualquiera que sea la relación de las intensidades de ambas causas, es evidente que se puede suponer una causa sola capaz de producir un efecto igual al que resulta de su acción simultánea; ó, en otros términos, se puede suprimir con el pensamiento el calor del espacio y el de la atmósfera y concebir un recinto de poder emisor máximo, cuya temperatura sea tal, que envíe al termómetro y al suelo tanto calor precisamente como uno y otro reciben á la vez de la atmósfera y del espacio: la temperatura desconocida de este *recinto zenital* es lo que yo llamo *temperatura zenital*.

„Este modo de concebir los fenómenos no tiene por objeto representar las acciones particulares y quizás desiguales que el termómetro experimenta en esta ó la otra dirección, sino tan sólo demostrar con exactitud la acción definitiva y total á que está sometido, de suerte que su descenso bajo la temperatura ambiente sea el mismo con el recinto zenital que con la atmósfera y el espacio reunidos. Con esta condición podemos dar á dicho recinto una temperatura uniforme en todas las porciones de su extensión. Por último, no cabe duda de que la temperatura zenital es necesariamente variable á cada instante para el mismo punto de la superficie de la Tierra y con mayor motivo variable de un punto á otro, porque se compone de un elemento fijo que es la temperatura del espacio, y de otro que cambia sin cesar, cual es la temperatura de las diferentes capas atmosféricas.

Pero ¿cómo observar ó calcular esta temperatura ideal? Pouillet se valía con este objeto del aparato representado en la figura 650. En un cilindro de plqué de plata hay cuatro anillos cilíndricos superpuestos, cada uno de los cuales está guarnecido interiormente de plumas de cisne, siendo su fondo de piel de esta ave. El cilindro está también envuelto en otra piel de cisne, y en la cara exterior del plumón hay un termómetro *t*, en cuyo tubo exterior se marca la temperatura del aparato.

Todo esto va metido en un cilindro mayor *C'*, estando calculado su reborde superior de tal suerte que el depósito *O* del termómetro no ve más que los dos tercios *EOE* de la superficie hemisférica del cielo.

El actinómetro de Pouillet, expuesto toda la noche á la radiación del cielo, marca temperaturas siempre más bajas que las de un termómetro colgado á alguna distancia del suelo y al aire libre, pero siempre más altas que la temperatura zenital buscada, puesto que sólo ve las dos terceras partes de la superficie del cielo y está rodeado de una capa de aire que lo calienta. La cuestión estaba en encontrar una relación entre estas tres cantidades: la temperatura del aire ambiente, la del actinómetro, ambas dadas por la observación, y la zenital. Pouillet ha procurado averiguar cuál era esta rela-

ción poniendo el actinómetro bajo un cielo artificial, formado de una vasija de cinc de un metro de diámetro, sostenida á dos metros de altura por tres columnas delgadas; esta vasija, dada de negro en el fondo, estaba llena de una mezcla frigorífica á -20° . Colocaba el actinómetro verticalmente debajo y á diferentes distancias, y tomaba nota de las temperaturas cuando quedaba establecido el equilibrio. De este modo vió que se obtenía siempre la temperatura del cielo artificial, si se deducía de la ambiente dos veces y cuarto el exceso de esta temperatura sobre la del actinómetro.

Las observaciones hechas con arreglo á este método, y la temperatura zenital deducida en virtud de esta regla, han demostrado que esta temperatura baja progresivamente desde la puesta del Sol hasta su salida, como la del aire. De aquí ha deducido Pouillet que, “puesto que la temperatura zenital experimenta en una sola noche variaciones considerables, es una prueba evidente de que el término fijo (la radiación del espacio) que entra en su expresión, sólo tiene un reducidísimo valor con relación al término variable (la radiación atmosférica), y por consiguiente que en la radiación nocturna, el calor del espacio es insignificante con relación al procedente de la radiación de la atmósfera.”

Obtenidos estos datos, Pouillet demuestra que la temperatura del espacio está unida, por una relación que calcula, con las dos constantes que representan el poder absorbente de la atmósfera, por una parte respecto del

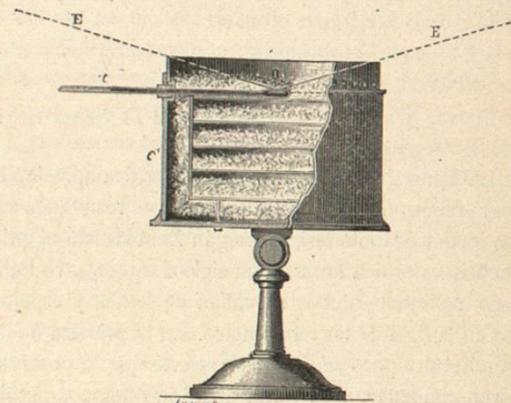


Fig. 650. — Actinómetro de Pouillet

calor terrestre, y por otra respecto del calor del espacio, de lo cual deduce por último, como temperatura del espacio, un número comprendido entre 115° y 175° bajo cero. “Los únicos experimentos que he podido hacer, dice, permiten llegar ya á cierta aproximación; me dan -142° como temperatura del espacio, valor que no creo muy distante de la verdad.”

Fourier había indicado ya antes que Pouillet, pero en términos generales, que la temperatura del espacio interestelar era algo inferior á 50° ó 60° bajo cero, es decir, á la de las regiones polares terrestres. La nueva determinación la hace mucho más baja, de suerte que, si se la adopta provisionalmente, se debe considerar que el frío que reina en los espacios interplanetarios aventaja en rigor y crudeza al más intenso de cuantos hayamos podido producir por medios artificiales, y con mayor motivo, al que se haya observado en la superficie de la Tierra. Así pues, esos innumerables soles, esa muchedumbre de estrellas que todas las noches vemos diseminadas por la inmensidad, al radiar todas juntas, excepto el Sol, envían al espacio una cantidad de calor igual á la que recibiría la Tierra si estuviese rodeada de una envoltura de poder emisor máximo, cuyas paredes estuvieran siempre á una temperatura de 142° bajo la del hielo fundente. Esta cantidad de calor que la cifra -142° nos hace á primera vista considerar como enteramente despreciable, que á muchas personas les parecería casi menos que nada, ¿es caso de despreciar? Vamos á ver que no.