

hacía pasar por el tubo C agua hirviendo que renovaba cada cinco minutos haciéndola salir por el tubo D. Doce termómetros (en la figura 647 no se ven más que seis) cuyas bolas estaban sumergidas en el líquido á diferentes alturas, servían para medir las temperaturas de la columna de agua. Fueron menester 36 horas para que quedasen estacionadas, y entonces marcaron temperaturas decrecientes desde las capas superiores hasta la mitad de la vasija, que tenía un metro de altura. Los seis termómetros inferiores apenas subieron. Despretz comparó las temperaturas de las capas sucesivas entre sí, y vió que obedecían á la misma ley que en el ejemplo de una barra metálica, de suerte que en los líquidos tiene efecto la propagación del calor lo mismo que en los sólidos. Pero la conductibilidad de éstos es incomparablemente mayor que la de aquéllos.

No ha sido posible comprobar la de los gases, á causa de la dificultad con que se tropieza, al medir las temperaturas de las capas, de separar el caldeo procedente de la radiación del de la mezcla de las capas entre sí, de modo que pueda distinguirse la parte únicamente emanada de la conductibilidad. Todo lo que se sabe es que son á no dudarlo muy malos conductores del calor. Las masas gaseosas se caldean, como las líquidas, por transporte ó convección: gracias á su gran dilatabilidad, tan luego como una porción de masa gaseosa se calienta, ya por radiación, ó bien por contacto, crece su volumen, resultando de ello movimientos que mezclan las diferentes capas, y que transportan el calor como en los líquidos, pero con rapidez mucho mayor. Por consiguiente, si se dificultan los movimientos de que hablamos, aprisionando el gas en los intersticios que las sustancias filamentosas, como el algodón, la lana, la seda en rama, el plumón, etc., dejan entre sus fragmentos, el gas se calienta con dificultad, según resulta de los muchos experimentos hechos por Thomson. Ya hemos dicho más arriba que á esta propiedad que tienen los gases de conducir mal el calor cuando están en reposo se debe en parte el que la ropa preserve el cuerpo de las pérdidas de calor cuando hace frío.

CAPITULO XIV

MANANTIALES DE CALOR.—MANANTIALES DE ORIGEN CÓSMICO

I

EL CALOR DEL SOL: INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN SOLAR

Del estudio que acabamos de hacer de los fenómenos caloríficos resulta que dos ó más cuerpos puestos en presencia unos de otros establecen un cambio mutuo y continuo de calor, ya por radiación y á distancia, ó bien por conductibilidad. Puede suceder que por causa de este cambio haya equilibrio de temperatura; pero cuando no es así, cuando crece la temperatura de un cuerpo á expensas del calor que otro le envía, éste es para aquél un manantial de calor. Por tal concepto, un trozo de hielo á 0°, que es un *manantial de frío* para cualquier cuerpo colocado en su presencia y cuya temperatura está sobre cero, es, por el contrario, un *manantial de calor* para otro cuerpo cuya temperatura sea inferior á la del hielo.

En la acepción vulgar, resérvase más particularmente la expresión de manantial ó foco de calor para los cuerpos dotados de elevada temperatura, que emiten sin intermisión y durante un espacio de tiempo limitado, ó aun en apariencia indefinido, cierta cantidad de calor. Los sólidos y los gases incandescentes, lo que se llama fuego, llama, son manantiales de calor de esta clase; también se pueden clasificar en la misma categoría los cuerpos que emiten calor obscuro á temperatura elevada, por ejemplo el agua en ebullición. Mas para el físico todas estas distinciones son puramente arbitrarias: todo cuerpo, sean cualesquiera su temperatura y su estado, es un foco de calor, si en virtud de un modo cualquiera de propagación, ya sea radiación ó ya conductibilidad, difunde calor por el medio ambiente y por los cuerpos en este medio colocados.

Dase también con frecuencia el nombre de manantiales de calor á los varios modos de producirse éste; por tal concepto, el frotamiento, la percusión, la electricidad, la

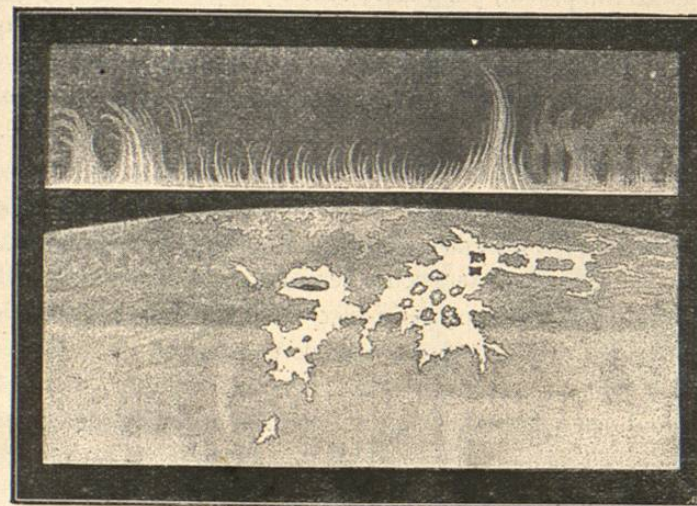


Fig. 648.—Estructura del Sol. Aspecto de la fotosfera y de la envolvente cromoesférica

combustión, es decir, ciertas acciones físicas ó químicas, reciben el nombre de manantiales de calor. A nuestro juicio, hay en esto una confusión enojosa entre la causa y el efecto, porque en realidad son modos de producción, y no manantiales de calor.

Por último, á veces se clasifican estos manantiales en permanentes y temporales ó accidentales, en naturales y artificiales, en cósmicos y terrestres; pero como estas clasificaciones no están basadas en la naturaleza misma de las cosas, no nos enseñarían nada más que el estudio particular de cada especie de manantial. Limitémonos, pues, á pasarlos revista unos tras otros, empezando por el más importante de todos, á lo menos para la Tierra, por el Sol.

Este astro se compone de un núcleo incandescente, cuyos contornos claramente limitados forman el disco visible y cuya superficie es lo que se llama la *fotosfera*; sobre esta superficie descansa una capa relativamente delgada de hidrógeno incandescente, de la cual parten llamaradas intermitentes de este mismo gas, y que ha recibido el nombre de *cromoesfera*. Finalmente, por encima de ésta hay una envolvente mucho más enrarecida y dilatada, cuya existencia solamente ha podido comprobarse durante los eclipses totales de Sol y que se llama la *corona*. Estas envolventes sucesivas del núcleo solar forman en su alrededor una atmósfera gaseosa más ó menos compleja, pero eminentemente absorbente, como lo prueban el análisis del espectro solar y las

numerosas rayas que lo surcan, según hemos visto. Por lo que respecta al núcleo, los astrónomos no están acordes acerca de su naturaleza, pues mientras unos lo consideran como un sólido ó un líquido incandescente, otros lo tienen por una masa gaseosa incandescente también. Más adelante diremos qué hipótesis se han formulado para explicar cómo se renueva y mantiene la inmensa provisión de luz y de calor que radia en torno suyo en el espacio y cuya intensidad no parece haber variado perceptiblemente desde hace millares de años.

Pero, merced á los aparatos que vamos á describir, se ha podido medir esta intensidad tal cual llega á la superficie del globo terráqueo, cuando ha atravesado las capas atmosféricas; y teniendo en cuenta las horas de observación ó las distintas alturas que el astro ocupaba sobre el horizonte, ha sido posible deducir de ellas la absorción de calor que resulta de la interposición de la atmósfera terrestre. Esta absorción es un hecho que todos podemos comprobar, por cuanto vemos y experimentamos sus efectos; la intensidad de la acción directa de los rayos solares va creciendo á medida que crece su altura, llegando el máximo en el momento de su culminación meridiana. Así también, esta intensidad máxima varía á su vez considerablemente, y por la misma razón, con la estación del año (1).

De Saussure hizo los primeros experimentos acerca de este asunto. Este físico observaba con un aparato de su invención, el *heliotermómetro*, el cual consistía en un termómetro invertido, cuya bola dada de negro ocupaba el interior de una caja de corcho, de paredes dadas de negro también y cerradas con placas de vidrio. De Saussure exponía este aparato á la acción perpendicular de los rayos del Sol y anotaba el número de grados que subía el termómetro al cabo de un minuto.

Sir John Herschel hizo observaciones del mismo género en el Cabo de Buena Esperanza, valiéndose de un aparato análogo, al que daba el nombre de *actinómetro*.

Por último, Pouillet midió en París, en 1837, la intensidad de la radiación solar por medio de un método y de un instrumento que vamos á describir.

El instrumento de que se servía este físico para dicha medida, y al que llama *pirheliómetro*, es el representado en la figura 649. Como se ve, en su parte superior consiste en un vaso cilíndrico de plata muy delgada cuya cara vuelta al Sol está dada de negro de humo. Este vaso ó recipiente está lleno de agua, marcando la temperatura del líquido un termómetro cuyo depósito penetra en el interior del cilindro y cuyo tubo está resguardado por otro de latón con una ranura longitudinal al través de la cual se ve el nivel del mercurio. En el otro extremo del tubo hay un disco del mismo diámetro que el recipiente cilíndrico, el cual recibe la sombra de este último, y permite comprobar si la superficie ennegrecida está expuesta perpendicularmente á la dirección de los rayos del Sol, lo cual sucede cuando la sombra circular del disco superior cubre exactamente el inferior. Véase cómo se hace el experimento.

Empiézase por tomar nota de la temperatura del instrumento, y luego se expone su cara ennegrecida hacia una porción de cielo sin nubes, pero de modo que no le dé el Sol. A los cinco minutos la radiación motiva cierto descenso de temperatura. Vol-

(1) Entiéndese que no debe confundirse la temperatura del aire, al sol, con el calor radiado directamente por el astro. A igualdad de altura, esta es la misma en invierno que en verano, cuando las condiciones relativas á la transparencia del aire y á su estado higrométrico son las mismas; al paso que sucede lo contrario con la temperatura del aire. En las altas montañas, á la sombra y estando el cielo enteramente despejado, hace frío, mientras que la radiación solar es en ellas muy intensa, en razón del menor espesor de las capas aéreas y de la absorción menor que es su consecuencia.

viendo entonces el aparato hacia el Sol, la cara ennegrecida recibe por espacio de otros cinco minutos el calor solar que cae perpendicularmente sobre ella, y se anota la elevación de temperatura. Por último, se hace radiar de nuevo el instrumento durante cinco minutos en su primera posición, y se vuelve á observar el enfriamiento final. La primera y tercera observaciones son necesarias para calcular la cantidad de calor perdido por la radiación del aparato en el espacio durante su exposición al Sol, cantidad que es un término medio entre los dos enfriamientos observados. Agregándola al calor recibido á causa de la exposición directa á los rayos solares, se tendrá la elevación de temperatura total, y por consiguiente se podrá calcular el número de calorías absorbidas durante un minuto por una superficie igual á la del disco ennegrecido.

Como se comprenderá, esta cantidad de calor depende de la elevación del Sol sobre el horizonte, porque los rayos caloríficos de este astro han tenido que atravesar capas atmosféricas antes de llegar á la superficie de la Tierra, cuyas capas absorben una cantidad tanto más considerable de dichos rayos cuanto mayor es su espesor. Pouillet ha procurado averiguar la ley de la intensidad calorífica del Sol á medida que varía la altura del astro, y ha deducido de ella la absorción ocasionada por la atmósfera cuando el Sol está en el zenit, absorción que varía entre ciertos límites según la pureza de la atmósfera, y que puede llegar á 0,25, es decir, á la cuarta

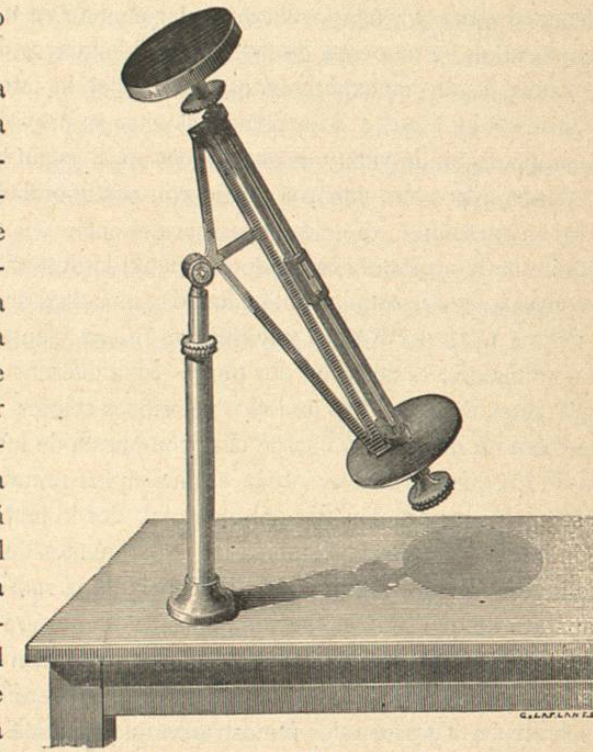


Fig. 649.—Pirheliómetro de Pouillet

parte del calor que recibiría el suelo si aquella no existiese. Considerando el calor total recibido por un hemisferio entero y por consiguiente con todas las oblicuidades posibles, se ve que la proporción absorbida por la atmósfera si el cielo estuviese enteramente despejado, estaría aún comprendida entre los cuatro y cinco décimos del calor enviado por el Sol á la Tierra. Así pues, el suelo apenas recibe la mitad del calor solar, mitad que se distribuye desigualmente según la oblicuidad de los rayos; la otra mitad caldea la atmósfera.

Suponiendo distribuido con uniformidad el calor que á la Tierra llega, Pouillet ha calculado que un centímetro cuadrado recibe 0,441 caloría por minuto; es decir, la cantidad de calor suficiente para elevar un grado la temperatura de 0,441 de agua. En un año, cada centímetro cuadrado recibe 231,675 calorías: la cantidad de calor recibido en un año por la Tierra entera sería bastante para derretir una capa de hielo de 31 metros de espesor que rodeara todo el globo.

De la cantidad de calor recibida anualmente por la Tierra se puede deducir el calor

total radiado por el Sol en el espacio. Para esto basta calcular cuántas veces está contenida la superficie de un círculo máximo terrestre en la superficie de una esfera que tuviese por centro el del Sol y por radio la distancia de este astro á nuestro globo. Un cálculo fácil da por resultado 2,150.000,000; de suerte que el calor interceptado por la Tierra es tan sólo la 2,150.000,000.^a parte de la radiación solar entera. "Si el calor emitido por el Sol, dice Tyndall, se invirtiese en fundir una capa de hielo depositado en su superficie, liquidaría en una hora un espesor de 732 metros. En el mismo espacio de tiempo elevaría á la temperatura de la ebullición 2,900.000,000 miriámetros cúbicos de agua á 0°. En otros términos, el calor emitido por el Sol en una hora es igual al que engendraría la combustión de una capa de hulla de tres metros de espesor, que rodeara al astro; por último, el calor solar emitido en un año equivale al que produciría la combustión de una capa de hulla de 27 kilómetros de espesor."

Tal es, según los experimentos de Pouillet, la intensidad del inmenso hogar que suministra á la Tierra y á los demás planetas su provisión de calor, ó lo que es lo mismo, su provisión de vida y de fuerza mecánica, según luego veremos.

Varios físicos han vuelto á medir, con posterioridad á Pouillet, la acción calorífica de los rayos solares, ya en la superficie del suelo y con diferentes oblicuidades, ya en el límite de la atmósfera teniendo en cuenta la absorción por las capas de aire. Antes de consignar los resultados obtenidos, digamos algo acerca de las observaciones hechas de 1832 á 1842 por Forbes y Kämtz en Brienz y en el Faulhorn con el heliómetro de Saussure, es decir, en dos puntos cuya diferencia de altitud es de 2119 metros. Según estos físicos, el haz de rayos caloríficos solares se divide al penetrar en nuestra atmósfera en dos partes, una de ellas compuesta de los rayos fácilmente absorbibles y otra de los que se resisten á toda extinción; los primeros forman los ocho décimos, y los segundos los dos décimos del haz total. Por lo tanto, la atmósfera es termocroica, según lo han demostrado también los experimentos de Melloni. En 1853, de Gasparín hizo investigaciones relativas á la influencia de la radiación solar sobre la vegetación; el aparato de que se sirvió se componía de una esfera de cobre de 10 centímetros de diámetro, cubierta de dos capas de barniz mate con negro de humo, y que contenía interiormente el depósito de un termómetro muy sensible. Los experimentos que hizo en febrero en Tarascón le demostraron que la atmósfera absorbía entonces los 0,32 de la radiación solar total. En mayo el mismo aparato daba, en Versailles, 0,57 á las ocho de la mañana, 0,27 á las doce y 0,24 á las seis de la tarde. Estos resultados concordaban con los de Pouillet.

En estos últimos años se ha reproducido la cuestión, y aumentado el valor numérico de la constante solar, deducida de nuevas observaciones. Empleando M. Crova unas veces el pirheliómetro directo de agua de Pouillet (1), otras veces el mismo apa-

(1) Además del pirheliómetro anteriormente descrito, al cual daba Pouillet el nombre de *pirheliómetro directo*, este físico se valía de un *pirheliómetro de lentes* para el caso en que no se pudieran hacer los experimentos con el aire tranquilo. La modificación introducida por Crova en el pirheliómetro de Pouillet consiste en sustituir el negro de humo, usado como capa absorbente, con un depósito galvanoplástico ligeramente rugoso que cubría la caja cilíndrica del aparato; sobre esta capa de cobre había otra de negro de platino íntimamente adherente, y por último, encima de la superficie platinada se extendía una ligera capa de negro de humo. Según Crova, exponiendo á la luz solar la superficie bruñida de la caja de plata cubierta de una ó muchas capas de humo, como lo hacía Pouillet, la absorción del calor era incompleta; una parte del calor obscuro, reflejada por la superficie metálica bruñida, atravesaba el negro de humo, que es diatermano para estas radiaciones. Tyndall había reemplazado ya con mercurio el agua del pirheliómetro Pouillet, en cuyo caso la caja que contenía el líquido era de acero y no de plata.

rato en que el agua está reemplazada por mercurio, y otras en fin un actinómetro formado de un gran termómetro de alcohol cuya bola ocupa el centro de una vasija esférica ennegrecida, hizo en 1875 muchas observaciones de las cuales resulta un valor de la constante solar algo mayor que el de Pouillet. El promedio de las cifras deducidas da 2°,015 como cantidad de calor recibida por minuto en un centímetro cuadrado en los límites de la atmósfera. Las observaciones, hechas primeramente en Montpellier, se continuaron en el campo y á orillas del mar para evitar las causas de error dimanadas de una absorción anormal de calor por los vapores, el humo y el polvo, causas de error que, por lo demás, varían con el grado de agitación del aire y con la dirección del viento. Durante el mismo año, Violle procuró tener en cuenta la influencia que puede ejercer sobre la absorción atmosférica la cantidad de vapor de agua contenida en el aire. A este efecto, hizo que otro observador, Margollet, efectuase las medidas actinométricas al pie del monte Blanco, mientras él medía la energía de la radiación solar en la cumbre y en las laderas de la montaña. Empleando un método distinto del de Pouillet, Violle ha deducido como valor de la constante solar 6°,958, número algo mayor que el de 6°,72, obtenido por aquel físico. De aquí resultan 2°,54 como cantidad de calor que cae durante un minuto en un centímetro cuadrado, en el límite de la atmósfera, cifra que excede mucho del resultado obtenido por Pouillet, ó sea 1°,7633.

Es interesante comparar la influencia de la absorción atmosférica á diferentes altitudes; véase á este efecto el cuadro siguiente calculado por Violle:

	Altitudes	Calor recibido
Límite de la atmósfera	"	2°,540
Cumbre del monte Blanco	4810 ^m	2°,392
Grands-Mulets	3050	2°,262
Glaciar de los Bossóns	1200	2°,022
Llano de París	60	1°,745

Como se ve, la energía de la radiación solar que, ateniéndonos á los cálculos de Pouillet, nos parecía ya tan incomparablemente pujante, es todavía mayor según las más recientes determinaciones. Introduciendo estas nuevas cifras en los enunciados del ilustrado físico, deberemos expresar del modo siguiente la intensidad de la radiación calorífica del Sol.

"Si la cantidad total de calor que la Tierra recibe del Sol en el transcurso de un año estuviese distribuida con uniformidad en todos los puntos del globo, y se invirtiese sin pérdida alguna en fundir hielo, sería capaz de derretir una capa de hielo que envolviese la Tierra entera y tuviese 33^m,4 de espesor, si se adoptan las cifras de Crova, y 42^m,1 si las de Violle."

Así también: "Si la cantidad total de calor emitida por el Sol se emplease exclusivamente en fundir una capa de hielo que se aplicara sobre la superficie del Sol y lo envolviera enteramente, esta cantidad de calor sería capaz de derretir en un minuto una capa de 12^m,8 ó de 16^m,0 y en un día una capa de 28 ó de 37 kilómetros."

Debemos añadir con Pouillet que estas determinaciones son independientes de toda hipótesis sobre la naturaleza propia del Sol, de la materia que lo compone, de su poder radiante, de su temperatura y de su calor específico. Pero su mayor ó menor exactitud depende de la de los experimentos que han servido para medir radiaciones en la superficie de la Tierra, y sobre todo de la ley que expresa la absorción atmosférica.

II

TEMPERATURA DEL SOL

Los astrónomos se han ocupado de otras cuestiones relativas á las radiaciones solares, tratando, por ejemplo, de averiguar si estas radiaciones son de igual intensidad en las diferentes regiones del astro, en las zonas polares y en la ecuatorial; si uno de los hemisferios envía á la Tierra más calor que el otro; si la temperatura de las manchas, en sus núcleos y en sus penumbras, es mayor ó menor que la de la fotosfera y de las manchas brillantes ó fáculas.

Suponiendo que las radiaciones de estas diferentes partes fuesen sensiblemente desiguales, compréndese que de ello pudieran resultar efectos que interesaran á nuestro planeta y que en cierto modo pudieran preverse, por cuanto el número y extensión de las manchas varía periódicamente. Algunos sabios, como Secchi, Chacornac, Langley, etc., han hecho experimentos con objeto de dilucidar estos puntos de astronomía física: acerca de ellos remitimos al lector á las obras especiales en que se han incluido.

Otra cuestión más difícil y cuya solución trae aún divididos á los sabios, tanto físicos como astrónomos, es la de la temperatura del Sol; y en efecto, es sobrado compleja. En el estado actual de los conocimientos astronómicos, el Sol no es una masa homogénea; se compone de un núcleo esférico, en el que no puede penetrar nuestra vista, á no ser que se consideren las manchas que lo salpican accidentalmente como aberturas que dejan columbrar la masa central y la sección de sus distintas capas. La fotosfera ó superficie exterior que limita el núcleo se considera como el foco principal del que emanan las radiaciones solares; pero está rodeada á su vez de una capa de variable espesor y en cuyo seno se engendran las protuberancias; esta capa es la cromoesfera, formada en gran parte de hidrógeno incandescente.

Finalmente, más allá de la cromoesfera hay una atmósfera mucho más dilatada y más enrarecida, cuya presencia origina el fenómeno de la corona durante los eclipses totales de Sol.

El núcleo solar y sus envolventes sucesivas se hallan, bajo el punto de vista que nos ocupa, en estados físicos muy diferentes sin duda; en ellos ocurren fenómenos químicos mal definidos todavía, á pesar de los interesantes descubrimientos de que el análisis espectroscópico ha dotado á la ciencia, no siendo dudoso que, desde el núcleo interno hasta las capas exteriores de la fotosfera, la cromoesfera y la corona, la temperatura varíe en límites muy extensos. De todos modos, si se trata de valuar esta temperatura experimentalmente, es decir, partiendo de la medida de la intensidad de la radiación solar, tal como se puede efectuar en la superficie de la Tierra, es desde luego evidente que podrá servir de punto de partida la resultante de las acciones de las diferentes capas, y no aisladamente la radiación de la superficie del núcleo, por ejemplo, según se entiende generalmente cuando se habla de la temperatura del Sol. Las distintas capas que rodean este núcleo ejercen en las radiaciones fotosféricas una absorción cuya intensidad total no podemos valuar, ni tampoco la que es especial y propia de los rayos caloríficos de tal ó cual refrangibilidad. Las numerosísimas rayas que surcan la parte luminosa del espectro solar nos informan, á la verdad, acerca de la absorción de esta parte importante de las radiaciones solares, pero no sobre la absorción de que puede