



Termodinámica

Guía 6:

Conducción, convección
y radiación

Problema 6.1

Considere el caso estacionario de la ecuación de difusión del calor de Fourier, y determine la distribución de temperaturas en una barra unidimensional cuyos extremos se encuentran a una temperatura T_1 y T_2 respectivamente.

Problema 6.2

Teniendo en cuenta los datos utilizados por Thomson en su modelo termodinámico de la Tierra, demuestre que el valor (incorrecto) obtenido para la edad de la Tierra es de 130 millones de años.

Problema 6.3

Describa la ley de Planck de un cuerpo negro.

- a- Calcule la potencia total emitida por un cuerpo negro a una dada temperatura T .
- b- Describa la ley de Wien, que relaciona la longitud de onda máxima de emisión de un cuerpo negro en función de su temperatura.

Problema 6.4

Teniendo en cuenta que el Sol tiene una temperatura aproximada de 6000K en su superficie, determine la longitud de onda máxima emitida por el mismo.

Problema 6.5

Describa el efecto invernadero utilizando los conceptos de cuerpo negro.

La Tierra tiene una edad de 130 millones de años (o cómo errarle por 5000 millones de años)

El naturalista inglés Charles Darwin publicó en 1859 su fundamental estudio *El origen de las especies por medio de la selección natural, o la preservación de las razas preferidas en la lucha por la vida*. El impacto de esta obra en las ciencias de la vida fue, como es bien sabido, más que notable. Y en lo que al debate sobre la edad de la Tierra se refiere, Darwin, sobre la base de argumentos más bien cualitativos, relacionados con la lentitud de los eventos biológicos involucrados en la evolución, se inclinó por un planeta que habría existido desde tiempo prácticamente indefinido.

Un amigo de Darwin, Charles Lyell, abogado y geólogo británico que fue uno de los fundadores de la geología moderna, había establecido en sus principios de geología, publicados en 1830, la idea de una Tierra con una edad del orden de los miles de millones de años o más, argumentando los extremadamente largos plazos temporales que eran necesarios para completar los procesos geológicos. Según el y sus colegas geológicos, las fuerzas puestas en juego a nivel geológico habrían permanecido constantes durante un número interminable de años. Y en esta etapa de la historia entra en escena Lord Kelvin, en realidad todavía se llamaba William Thomson, adquiriría el título nobiliario de *Baron Kelvin of Largs* en 1892.

Thomson se abocó a describir el problema en el marco de la teoría termodinámica.

Su punto de partida fue simple: de acuerdo con las leyes de la termodinámica, la energía para llevar a cabo toda la actividad geológica era inicialmente finita y con el paso del tiempo habría ido disminuyendo paulatinamente. Así la ley de conservación de la energía era el elemento fundamental de sus cálculos. Y su hipótesis de trabajo inicial era muy clara: la tasa de calor perdido por el planeta a través de sus superficie establecería límites al instante en el que la Tierra se formó.

Esta contundente propuesta, junto con el propio prestigio científico que en aquella época ya atesoraba Thomson, le permitió entrar en el problema con quizá demasiada arrogancia, arremetiendo despiadadamente contra geólogos y biólogos de su época. Basta como ejemplo, el inicio de su trabajo «Sobre el enfriamiento secular de la Tierra»

Durante dieciocho años me ha presionado en la mente que los principios esenciales de la termodinámica han sido pasados por alto por esos geólogos que de forma intransigente han opuesto todo tipo de frenéticas hipótesis y mantienen no sólo que ahora tenemos ante nosotros, en la Tierra, ejemplos de todas las diferentes acciones por las que su corteza se ha modificado en la historia geológica, sino que estas acciones no han sido nunca, en general, más violentas de lo que son en la actualidad.

El modelo que Thomson utilizó para sus cálculos suponía que la Tierra se había formado por solidificación a partir de una cierta cantidad de material fundido. Una vez solidificado, el sistema habría tenido una temperatura inicial uniforme y se encontraría en el seno de un medio que mantendría la superficie de la Tierra a una temperatura constante a lo largo del tiempo. Thomson consideró que no había fuentes adicionales de calor y utilizó la ecuación de difusión del calor que había desarrollado Fourier. En tales circunstancias, la temperatura de un punto cualquiera de la Tierra solo dependía de la distancia desde ese punto a la superficie y del tiempo transcurrido desde el estado inicial. Resolviendo la ecuación de Fourier, encontró una relación entre el tiempo transcurrido desde el inicio, la temperatura inicial del sistema, el gradiente de temperatura en la superficie y una constante que se denomina «difusividad térmica». En ese punto solo le era necesario conocer esas cantidades para poder realizar una estimación de la edad de la Tierra.

Sin embargo, en esa fecha Thomson no disponía de datos experimentales suficientes para completar los cálculos necesarios para determinar la edad de la Tierra e instó a realizar campañas de medidas del gradiente de temperatura en la superficie terrestre, de la conductividad de diferentes piedras (perdón rocas), etc. Años después, en 1862, cuando presentó a la Royal Society de Edimburgo su trabajo «Sobre el enfriamiento secular de la Tierra», Thomson tenía ya la información necesaria para llevar a cabo tales cálculos.

Consideró un gradiente de temperatura promedio en la superficie terrestre de alrededor de $35^{\circ}\text{C}/\text{km}$, para la difusividad térmica supuso un valor del orden de $10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ y estimó la temperatura inicial de la Tierra en 4000°C que es la temperatura de fusión de algunas rocas. Con estos valores, la edad de la Tierra quedaba fijada en unos 130 millones de años.

Pero Kelvin le erró, y por mucho, hoy se sabe que la edad de la Tierra es aproximadamente de 4543 millones de años (cómo referencia consideren que el Universo tiene una edad de 13000 millones de años, y que el Sol tiene una edad de 4603 millones) ¿Dónde radicaba el origen de su error?, en la forma en que se comporta el interior de la Tierra, Thomson había ignorado los procesos de convección, responsables de actividad térmica en el interior de la Tierra.

Para más detalles de esta historia pueden consultar el libro de Mario Livio, Errores geniales que cambiaron el mundo. Ed. Ariel. 2010.