

Leyes de la Termodinámica

La ecuación (63) no es más que una forma particular de referirse al principio de conservación de la energía, en esta, se describen las vías a través de las cuales se puede cambiar la energía térmica de un sistema mediante una acción externa. En el miembro izquierdo, de dicha ecuación, el primer término representa el trabajo que se hace sobre el sistema, mientras que el segundo corresponde a la transferencia de calor, aunque ninguna de estas cantidades puede ser asociada al estado termodinámico, el miembro derecho representa la variación de la energía térmica y, esta última, está asociada al estado del sistema. Evidentemente, no es solo bajo transferencia de calor que se puede variar la temperatura, tal como lo exhibe (63), ésta puede variar también por una acción mecánica a través del trabajo.

Cuando en un sistema cerrado aumenta o disminuye la energía térmica esto se puede registrar a través de los cambios de temperatura, sin embargo, esta variable, de carácter intensivo, solo podrá caracterizar al sistema cuando este se encuentre en equilibrio, esto es, con una temperatura homogénea en todo el sistema, pero esta solo se alcanza después de un tiempo de relajación τ , durante el cual ninguna de las variables estará definida unívocamente. Por esta razón, es difícil describir continuamente la evolución de un sistema a través de las variables macroscópicas, sin embargo, se puede establecer un paralelismo con un proceso idealizado que permita conectar dos estados extremos en la evolución de un sistema, bajo sucesivos incrementos, lo suficientemente pequeños, que faciliten así la determinación de las variables termodinámicas durante todo el desarrollo.

Proceso cuasi-estático

Supóngase que sobre un gas ideal, contenido en un recipiente de paredes flexibles, se actúa, haciendo trabajo y transfiriéndole calor, hasta provocar un cambio de estado, tal que el sistema pasa de un estado de equilibrio definido por las variables P_1, V_1 , a otro, con variables P_2, V_2 , el cambio en la energía térmica ΔE_T , y por ende, la variación de temperatura ΔT , no dependen de la forma como se realizó el proceso, solo depende de los estados final e inicial. No importa que tan lento o rápido hayan ocurrido los cambios, o si el volumen o la presión aumentaron y disminuyeron sucesivamente antes de alcanzar el estado final, el cambio de energía siempre será igual. En esta forma se puede idealizar un proceso de cambios en el cual, partiendo del mismo estado inicial, el sistema pase por una secuencia de estados

de equilibrios, separados por incrementos diferenciales, hasta conseguir el estado final, esto es lo que se conoce como **un proceso cuasi-estático**. Esta idealización tiene la ventaja de que las variables termodinámicas estarán definidas unívocamente durante todo el proceso, ya que el sistema se encontrará en equilibrio, o muy próximo a él, en todo momento.

Primera ley de la Termodinámica

El interés ingenieril por el aprovechamiento del calor como fuente de energía para la realización de trabajos mecánicos, indujo, a finales del siglo XVIII, al desarrollo de la termodinámica como un área científica. Es así, como las investigaciones, bajo este interés, se enfocaron en la formulación de las leyes que hoy estructuran esta rama, establecida como ciencia a principios del siglo XIX. El primer principio puede entenderse a partir de (63), aplicada a un cambio de estado, en el sistema del ejemplo anterior bajo un proceso cuasi-estático. El término de trabajo, en esta ecuación, se refiere a la acción de la presión externa actuando sobre el sistema, pero, en este proceso el sistema se encuentra básicamente en equilibrio en todo momento, en esta situación la presión externa siempre estará equilibrada por la presión interna, por lo que el trabajo, realizado por esta última, será del mismo valor, aunque con signo contrario

$$P_{ex}dV = -P_{in}dV$$

sustituyendo en (61), se tiene, luego de una ligera manipulación, que

$$dQ = \frac{3}{2}nRdT + P_{in}dV$$

Siendo el segundo término, en el miembro derecho, el trabajo que realiza el sistema sobre el entorno. De esta expresión, se puede concluir que:

“El calor que se le suministra a un sistema es parcialmente absorbido como energía térmica y la diferencia es usada por el sistema para hacer trabajo sobre el entorno”

$$dQ = dE_T + dw_s \tag{64}$$

Aunque (64) es básicamente el principio de conservación de la energía, la interpretación, en este contexto, mantiene la observancia en la transformación de calor en energía mecánica, y es así como se conoce como **la primera ley de la termodinámica**.

Procesos de interés relevante

Como se ha mencionado antes, los procesos de cambio reales pueden ser estudiados asociándoles un proceso cuasi-estático idealizado, con los mismos estados extremos. En este sentido, se tornan de interés algunos de estos procesos, que siendo de fácil seguimiento, pueden ser usados para la descripción termodinámica de muchos sistemas. Entre estos, son los procesos isométricos, en los que alguna de las variables macroscópicas permanece constante, los de mayor interés.

Proceso isocórico, que es aquel donde el volumen permanece constante, de forma que el sistema está imposibilitado de hacer trabajo hacia el entorno y el calor transferido solo “alimentará” a la energía térmica, y, al igual que en los sólidos y líquidos, la variación de temperatura, en este proceso, es directamente proporcional al calor absorbido o emitido, según sea el caso. De esta manera, a partir de (62), se encuentra que el calor específico molar a volumen constante, para un gas ideal, es

$$c_V \equiv \frac{1}{n} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_V = \frac{3}{2} R$$

Proceso isobárico, en este caso, es la presión que permanece constante y, de acuerdo a la ecuación de estado (57), las variaciones de temperatura se corresponden con las variaciones del volumen, tal que

$$PdV = nRdT$$

Al sustituir en (62), se encuentra que en este proceso

$$dQ = \frac{3}{2} nRdT + nRdT = \frac{5}{2} nRdT$$

Al igual que en el caso anterior, se puede definir un calor específico molar, esta vez a presión constante, de la forma

$$c_P \equiv \frac{1}{n} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_P = \frac{5}{2} R$$

Nótese que, en este proceso, se necesita transferir mayor cantidad de calor para aumentar la temperatura del sistema, esto se debe a que parte del calor, que el sistema absorbe, lo usa para hacer trabajo, el cual es en este caso

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = P(V_2 - V_1) \quad (65)$$

Proceso Isotérmico, es aquel en el cual la temperatura no cambia y, evidentemente, la energía térmica tampoco. En este caso, todo el calor absorbido lo utiliza el sistema para hacer su trabajo,

$$dQ = dW = PdV$$

No es posible asociar un calor específico en esta situación, ya que no importa la cantidad de calor que se absorba o emita, la temperatura permanecerá igual,

$$c \rightarrow \infty$$

Para calcular el trabajo, en este caso, conviene despejar la presión en la ecuación (57),

$$P = \frac{nRT}{V}$$

así, se encuentra que

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (66)$$

Estos resultados son de gran utilidad para estudiar sistemas que, al variar de un estado a otro, finalizan con alguna de sus variables macroscópicas con igual valor que el inicial, aun cuando dicha variable no se haya mantenido constante, siendo posible así, asociarle alguno de estos procesos para realizar su estudio energético. Por ejemplo, si un sistema sometido a un proceso de cambio, finaliza con igual volumen que el que tenía inicialmente, aun cuando este haya variado durante el transcurso del proceso, la energía en el estado final, será la misma que alcanzaría si hubiese transitado un proceso isocórico que finalice con igual variables macroscópicas. Así mismo, si es la presión la que al final vuelve a alcanzar su valor inicial, se puede asociar el cambio de estado a un proceso isobárico, cuyo estado final sea descrito por las mismas variables finales. Evidentemente si la temperatura final es igual a la temperatura inicial, ambos estados tendrán igual energía térmica, como se describe en un proceso isotérmico.

Proceso adiabático, donde el sistema no absorbe ni emite calor, y el trabajo se efectúa solo a expensa de su energía térmica,

$$nc_V dT + PdV = 0$$

dividiendo esta expresión por PV y usando conveniente (59), se encuentra

$$c_V \frac{dT}{T} + R \frac{dV}{V} = 0$$

Ahora, ya que

$$R = c_p - c_V$$

la ecuación anterior toma la forma

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0$$

donde $\gamma \equiv \frac{c_p}{c_V} > 1$. Al ser integrada se obtiene

$$\ln T + \ln V^{(\gamma-1)} = C$$

donde C , es una constante propia del proceso, obteniéndose finalmente

$$TV^{(\gamma-1)} = \Gamma_1$$

con $\Gamma_1 \equiv e^C$. Usando (59), se pueden establecer otras relaciones, entre las variables macroscópicas, que se presentan durante un proceso adiabático.

$$PV^\gamma = \frac{\Gamma_1}{nR} \equiv \Gamma_2$$

y

$$P^{(1-\gamma)} T^\gamma = \frac{\Gamma_1}{(nR)^{(\gamma-1)}} \equiv \Gamma_3$$

En un proceso adiabático, en donde el trabajo se hace a expensa de la energía térmica, se tiene que

$$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \Gamma_2 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{\Gamma_2}{(1-\gamma)} \left[V_2^{(1-\gamma)} - V_1^{(1-\gamma)} \right]$$

Pero, $\Gamma_2 = P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$, por lo que,

$$W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1 - \gamma} \quad (67)$$

Máquinas térmicas y la segunda ley de termodinámica

Procesos cíclicos

En los procesos termodinámicos el trabajo es positivo cuando el volumen final es mayor que el inicial, en este caso el sistema hace trabajo sobre el entorno, provocando la actividad mecánica en este. Por el contrario, si el sistema finaliza con un volumen menor, entonces el trabajo es negativo y, en este caso, es el entorno el que actúa mecánicamente sobre el sistema. El interés originario de la termodinámica se centró en la construcción de dispositivos que pudieran aprovechar, de la forma más óptima, la energía térmica para la realización de trabajo, dando origen a las llamadas **máquinas térmicas**. Evidentemente, ninguno de estos dispositivos puede aumentar permanentemente su volumen, por lo que es imposible una máquina térmica que funcione bajo un proceso en una única “dirección” de manera permanente. Esta limitación práctica, obliga a diseñar las máquinas térmicas con un funcionamiento que se desarrolle bajo una etapa de expansión y otra de compresión, en la cual el sistema vuelve a las mismas condiciones iniciales, repitiendo periódicamente este ciclo. Estos procesos se conocen con el nombre de **procesos cíclicos**. En la figura 14 se muestra un esquema de la secuencia de estados que sigue un sistema sometido a un proceso cíclico. En la primera etapa, donde se pasa del estado 1, con energía térmica E_0 , al estado 3, con energía E_f , el sistema absorbe una cantidad de calor Q_1 y hace un trabajo W_1 sobre el entorno, mientras que en la segunda, cuando el sistema pasa de 4 a 6, se emite una cantidad de calor Q_2 y ahora es el entorno que realiza un trabajo W_2 sobre el sistema, la diferencia entre ambos trabajos representa la energía mecánica que proporciona el sistema.

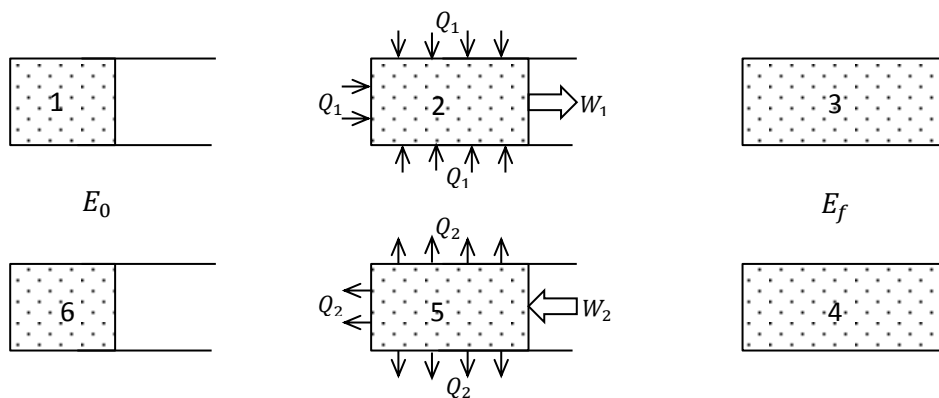


Fig.16 Secuencia de un proceso cíclico

De acuerdo a la primera ley de la termodinámica, la energía térmica en el estado 3 será mayor, o igual, que en el estado 1,

$$E_f \geq E_0$$

así, el sistema comienza el retorno, en el estado 4, con mayor (o igual) energía que la inicial, por otra parte, en esta etapa, el entorno introduce energía a través del trabajo W_{46} . Sin embargo, al alcanzar al estado final 6 la energía debe ser la misma que en el estado 1, para que esto ocurra, el sistema debe emitir una cantidad de calor Q_2 , que le permita adquirir las mismas condiciones iniciales, por lo tanto

$$\Delta E_{13} = -\Delta E_{46}$$

de esta forma se encuentra que

$$Q_1 - Q_2 = W_{13} - W_{46}$$

Ya que el fin último de una máquina térmica es suplir energía mecánica que pueda ser aprovechada para diferentes tareas, el trabajo neto debe ser positivo,

$$W_{neto} \equiv W_{13} - W_{46} > 0$$

Y, por lo tanto,

$$Q_1 > Q_2$$

esto es, el calor absorbido es mayor que el calor emitido. Entonces, una máquina térmica absorbe energía de un foco caliente, la cual usa para hacer trabajo sobre el entorno activo, mediante el desarrollo de un proceso cíclico sobre una sustancia, que entre otras propiedades tiene una alta compresibilidad¹⁰, y luego emite, como calor, cierta cantidad de energía sobrante hacia un depósito relativamente frío, tal como se muestra en la figura 17.

¹⁰ Las sustancias de trabajo son generalmente, gases, vapores o suspensiones gaseosas

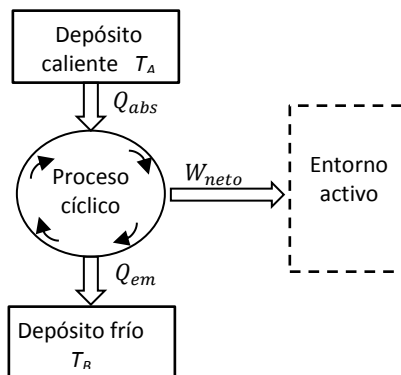


Fig.17 Esquema del funcionamiento de una máquina térmica

El rendimiento de una máquina térmica estará definido por la relación entre el trabajo que puede suministrar, como el producto final, y el calor absorbido, como alimentación, de esta manera se define la eficiencia de una máquina térmica como

$$e \equiv \frac{W_{neto}}{Q_{abs}}$$

este parámetro establece cuantitativamente la calidad de una máquina térmica.

Postulado de Kelvin-Planck

En el diseño de una máquina térmica, el mejor rendimiento, se obtiene al maximizar el trabajo neto que puede proporcionar el sistema. De lo descrito anteriormente se deduce que

$$W_{neto} = Q_{abs} - Q_{em}. \quad (68)$$

La expresión (68) sugiere, que si se usa un procesos cíclico, en el que el sistema se expanda bajo un proceso isotérmico, se estaría aprovechando, en esta primera etapa, todo del calor absorbido para hacer trabajo sobre el entorno, si además, se complementara el ciclo, con un proceso totalmente adiabático, para la etapa de contracción, se eliminaría la emisión de calor y de esta manera se podría obtener una máquina térmica con un máximo de rendimiento. Sin embargo, esto no es posible, ya que, en la segunda etapa, es el entorno el

que hace trabajo sobre el sistema, introduciendo energía en este, por lo que al final del ciclo el sistema terminaría con mayor energía que la inicial, lo que significa que se habrá extraído energía del entorno. Bajo estos argumentos, se puede justificar un precepto natural que gobierna los procesos de transformación, enunciado inicialmente por Lord Kelvin (1951) y reformulado por Max Planck (1897):

“Es imposible construir una máquina térmica que funcionando bajo un proceso cíclico convierta todo el calor extraído en energía mecánica”.

Este manifiesto, de carácter empírico, se conoce como **postulado de Kelvin-Planck** de la segunda ley de la termodinámica, con el cual se asegura la no existencia de una máquina con una eficiencia del cien por ciento (100%). En la observación diaria, se puede evidenciar como, buena parte de la energía suministrada a algún artefacto de actividad mecánica, se “pierde” como calor, sin poder ser utilizado en el objetivo principal del dispositivo. En términos de la eficiencia, se expresa como

$$0 \leq e < 1$$

Postulado de Clausius

Existen dispositivos que son capaces de extraer calor de un depósito de baja temperatura y suministrarlo a un ambiente más caliente, este es el caso de las bombas de calor (refrigerador o acondicionador de aire).

En las bombas de calor, a diferencia de las máquinas térmicas, el ciclo se desarrolla en sentido inverso y es activado por el trabajo que se hace sobre el sistema. En la figura 18 se muestra un esquema del funcionamiento de una bomba de calor.

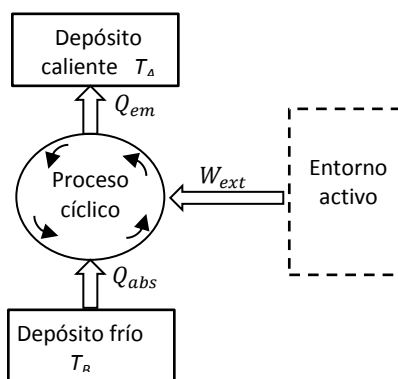


Fig.18 Esquema del funcionamiento de una bomba de calor

Tal como se puede observar, es el entorno el que proporciona la acción mecánica que hace funcionar el ciclo, absorbiendo calor del depósito frío y llevándolo a un ambiente de mayor temperatura. En un todo de acuerdo con el principio de conservación, se puede asegurar que, en este caso,

$$W_{ext} = Q_{em} - Q_{abs} \quad (69)$$

La ecuación (69) sugiere, bajo la única orientación de la primera ley, que, si el trabajo externo se anula, todo el calor podría transitar, de manera espontánea, desde el depósito frío al de mayor temperatura. Sin embargo, ocurre que, al anular el trabajo, el ciclo se detendrá y, por lo tanto, los procesos de absorción y emisión ligados a este también se detendrán. Al igual que en el caso anterior, se puede argumentar sobre estas circunstancias, para fundamentar lo siguiente:

“Es imposible construir un dispositivo que transfiera calor de un depósito frío a otro de mayor temperatura, sin que se haga trabajo sobre él”

Este enunciado, que acopia los resultados de una serie de observaciones que muestran que la naturaleza prohíbe el flujo espontáneo de calor desde zonas frías hacia regiones más calientes, se conoce como el **postulado de Clausius** de la segunda ley de la termodinámica.

Se puede demostrar que ambos postulados (Kelvin-Planck y Clausius) son complementarios, en el sentido de que la validez de uno convalida el contenido del otro, en esta forma, es lógico admitir que estos enunciados, de carácter empírico, corresponde a la interpretación, en circunstancias diferentes, de un principio de mayor jerarquía, que especifica la espontaneidad de los procesos naturales.

Teorema de Carnot

Tal vez una de las consecuencias más polémicas de la segunda ley es lo relacionado al consumo de energía en las máquinas térmicas. Cuando se afirma que, en un proceso cíclico, solo una fracción de la energía disponible puede ser convertida en trabajo, surgen preguntas tales como:

¿Cuál es el máximo de calor que puede ser convertido en trabajo por una máquina térmica?

¿Cuál es la máxima eficiencia de una máquina térmica?

La mayor eficiencia de una máquina se consigue, cuando se logra aprovechar al máximo el calor absorbido por ésta para la realización de trabajo mecánico y de acuerdo a lo enunciado previamente, debe existir un límite para dicho aprovechamiento. Entonces, una máquina térmica que opera con un mol de gas ideal absorbiendo calor, a una temperatura T_A , mientras la emisión se produce a una temperatura T_B , (con $T_A > T_B$), alcanzará el máximo rendimiento, con un ciclo, que en la etapa de expansión, garantice la mayor utilización del calor absorbido en trabajo mecánico, mientras que en la etapa de contracción el trabajo hecho sobre el sistema sea el mínimo. Bajo este precepto, a mediados del siglo XIX, el ingeniero francés Sadi Carnot, dedujo un ciclo, el cual ahora lleva su nombre, con el que una máquina, funcionando con temperaturas extremas T_A y T_B , alcanzaría la máxima eficiencia.

El ciclo de Carnot, que consta de cuatro etapas: dos en la fase de expansión y dos en la contracción, se inicia con una expansión isotérmica, a temperatura T_A , en la cual el volumen del sistema aumenta desde un valor V_1 hasta un valor V_2 , así, en esta etapa, todo el calor absorbido es usado para hacer un trabajo, W_1 , asegurando así, un máximo uso de la energía de alimentación. Seguidamente, bajo una expansión adiabática, en la cual se alcanza un volumen V_3 , se disminuye la temperatura hasta el valor extremo T_B , de esta manera el trabajo, W_2 , en este paso, se realizará a expensas de la energía interna. El acoplamiento de estos dos procesos, en la fase de expansión, garantiza un máximo trabajo sobre el entorno (trabajo positivo).

$$W_I = W_1 + W_2 > Q_{abs}$$

En la fase de contracción, se debe volver a las condiciones iniciales, para esto es necesario que el entorno haga un trabajo W_{II} sobre el sistema (trabajo negativo), reduciendo el volumen y entregándole la energía interna, ΔE^* , perdida en la primera fase, en este sentido se tiene,

$$W_{II} = \Delta E^* + Q_{em}$$

El trabajo mínimo, en esta fase, se garantiza mediante un proceso en el que se emita la menor cantidad de calor, en otras palabras, es necesario que esta fase sea “lo más adiabática posible”. Nótese, sin embargo, que

$$Q_{em} \neq 0$$

esto solo ocurriría si el estado inicial y el estado 3 estarían conectados adiabáticamente¹¹ y, evidentemente, esto no es cierto. Entonces, un primer paso en esta fase corresponde a una reducción del volumen hasta un valor V_4 con el que se establezca la condición de conectividad adiabática con el estado inicial, esto es:

$$T_2 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$$

Entonces, el trabajo que el entorno hará sobre el sistema, en este primer tramo, debe ser de tal forma que no altere más que su volumen. Esto se puede conseguir en un proceso isotérmico, de manera que la energía que se introduce como trabajo, en esta etapa, se disipe como calor en la medida que el sistema se contrae. Luego de alcanzado el volumen V_4 , se puede continuar comprimiendo al sistema, ahora mediante una contracción adiabática, hasta conseguir nuevamente las condiciones iniciales, evidentemente en esta última etapa no habrá emisión de calor. Entonces, un proceso cíclico ensamblado con estas cuatro etapas asegura el óptimo aprovechamiento de calor y, consecuentemente, la máxima eficiencia que se puede conseguir en una máquina que funcione entre dos determinadas temperaturas, la eficiencia que se obtiene como

$$e = \frac{W_I - W_{II}}{Q_{abs}}$$

puede ser rescrita, usando la relación entre las variables macroscópicas en los diferentes estados, y expresada en términos de las temperaturas extremas de la forma,

$$e_C = 1 - \frac{T_B}{T_A} \quad (70)$$

donde e_C , es la eficiencia de un ciclo de Carnot que funcione entre las temperaturas extremas T_A y T_B . En base a este resultado, que corresponde a la eficiencia de un ciclo teórico compuesto por procesos reversibles, se enuncia el teorema de Carnot como sigue:

“La eficiencia de una máquina térmica real, que funcione entre dos temperaturas extremas, jamás podrá ser mayor a la de una máquina de Carnot, bajo las mismas condiciones de temperatura”

¹¹ Dos estados, A y B, están contados adiabáticamente si $T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$ o equivalentemente $P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma$

$$0 < e \leq e_c \quad (71)$$

Este teorema delimita, en una forma más precisa, las restricciones que establece el postulado de Kelvin-Planck, resaltando, además, el hecho de que hay una parte de la energía que, independiente del ciclo, no podrá ser convertida en trabajo. Este curioso comportamiento de la energía sugiere una forma más exacta en la interpretación de lo que debe ser la segunda ley de la termodinámica.

Entropía

La relación (71), interpretada en términos del calor emitido y el calor absorbido, conduce a la siguiente relación

$$\frac{Q_{em}}{T_B} \geq \frac{Q_{abs}}{T_A}$$

entonces, definiendo la cantidad

$$\Delta S \equiv \frac{Q}{T}$$

se obtiene

$$\Delta S_{em} \geq \Delta S_{abs} \quad (72)$$

Esta relación puede interpretarse admitiendo que existe una entidad S que, al igual que la energía, entra al sistema en la fase donde se absorbe calor, y que aumenta a través del ciclo, de forma tal que, en la fase de emisión ese “algo” que entró, más lo generado internamente, es expulsado hacia el entorno, y solo en los casos de máximo rendimiento ($e = e_c$), donde es válida la igualdad en (72), la cantidad que entra es igual a la que sale. Con la finalidad de darle coherencia interpretativa, dentro del contexto de la termodinámica, a la cantidad antes definida, se puede admitir una forma diferencial que permita una descripción más continua dentro de un proceso cuasiestático,

$$dS \equiv \frac{dQ}{T}.$$

En esta forma, se puede analizar una progresiva absorción, o emisión, para un sistema en un proceso de cambio, sobre la comparación con proceso cuasiestático. En efecto, suponga que un mol de gas ideal, que inicialmente tiene un volumen V_1 y una temperatura T , se expande hasta alcanzar un volumen V_2 , finalizando con igual temperatura. Este cambio puede ser asociado a un proceso isotérmico, que se inicie y finalice con los mismos valores del proceso real, para el cual se encuentra que

$$\Delta S_{isoter} = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dQ}{T} = R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

Ahora suponga, que, en vez de usar un proceso comparativo isotérmico, se usa uno compuesto por una fase isobárica, hasta que alcance el volumen V_2 a una temperatura T' , concatenado a una fase isocórica, hasta que se obtenga nuevamente la temperatura T , de esta manera se obtiene

$$\Delta S_2 = \underbrace{c_p \int_T^{T'} \frac{dT}{T}}_{\text{isobárico}} + \underbrace{c_v \int_{T'}^T \frac{dT}{T}}_{\text{isocórico}}$$

o

$$\Delta S_2 = (c_p - c_v) \ln \frac{T'}{T}$$

usando la relación $R = c_p - c_v$ y la condición de gas ideal, se obtiene

$$\Delta S_2 = R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

que es exactamente el mismo valor anterior,

$$\Delta S_{isoter} = \Delta S_2$$

Esto indica que la absorción o emisión de esta cantidad no depende del proceso, solo depende de los estados final e inicial, lo cual le da, a "S", el carácter de función de estado,

$$S \equiv S(V, T)$$

Esta cantidad se conoce con el nombre de **Entropía**, interpretada inicialmente por R. Clausius en 1865, como una entidad física que regula la cantidad de energía térmica que puede ser usada como trabajo.

Algunas observaciones pueden coadyuvar a darle un sentido físico apropiado a la entropía. Por ejemplo, suponga un mol de gas ideal, contenido en un envase rígido,

adiabáticamente aislado del entorno y una temperatura T . Suponga además que inicialmente el gas está confinado en una fracción V_1 del volumen total, mediante una membrana. Imagínese ahora que, en un momento dado, dicha membrana se disuelve, de esta forma el gas comienza a expandirse libremente hasta ocupar el volumen total V , como es mostrado en la figura 19. Durante el proceso el gas no ejerce fuerza al expandirse, por lo que no hace trabajo, por otro lado, ya que no entra ni sale calor, la energía térmica se mantiene constante. La evolución de este sistema, puede ser asociada a un proceso cuasiestático isotérmico que se inicie y finalice con los mismos estados, en esta forma se pueden determinar las funciones de estados que corresponden al inicio y al final de este proceso. En particular, para la entropía final S_f se encuentra

$$S_f = S_0 + R \ln \frac{V}{V_1}$$

donde S_0 representa la entropía inicial.



Fig.19 Expansión libre de un gas ideal

Para volver al sistema al volumen inicial, es necesario que el entorno haga trabajo sobre este, con lo cual se introducirá energía, por lo tanto, para que el sistema vuelva a al estado original se deberá permitir que escape algo de calor. Nótese que, aunque el sistema recobre su estado inicial, la entropía en el entorno habrá aumentado.

Otra situación interesante se presenta cuando dos cuerpos, con temperaturas diferentes y aislados del medio que los rodea, se ponen en contacto térmico, figura 20. La experiencia indica que tan pronto entran en contacto, comenzará a fluir calor del cuerpo más caliente, de temperatura T_A , hacia el de menor temperatura T_B , y esto cesará cuando se alcance la temperatura de equilibrio.

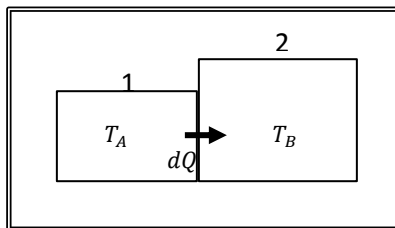


Fig.20 Flujo de calor entre dos cuerpos en contacto térmico

En un instante cualquiera, el cuerpo 1 emite una cantidad de calor dQ , a una temperatura T_A , que es absorbida por el cuerpo 2, a una temperatura T_B , de esta manera, la entropía en cada cuerpo habrá cambiado de la siguiente forma

$$\begin{cases} S'_1 = S_1 - \frac{dQ}{T_A} \\ S'_2 = S_2 + \frac{dQ}{T_B} \end{cases}$$

S_1 y S_2 son los valores iniciales de la entropía en cada cuerpo. Para el sistema en general se tiene,

$$S' = S'_1 + S'_2$$

o

$$S' = \underbrace{S_1 + S_2}_{S_0} + \underbrace{dQ \left(\frac{1}{T_B} - \frac{1}{T_A} \right)}_{dS}$$

Ya que $T_A > T_B$, se encuentra que

$$dS > 0$$

la entropía aumenta en la medida en que el sistema tiende al equilibrio.

De las situaciones planteadas se pueden observar algunos aspectos que relacionan los cambios de estados con la variación de entropía:

- **La entropía no es una cantidad conservada.** Aun estando los sistemas aislados esta cantidad puede crecer durante los procesos de cambio.
- **El sentido natural de los procesos está definido por un aumento de entropía.** En efecto, la espontaneidad de los cambios de estado está guiada por un incremento de la entropía en los sistemas.

- **En un proceso cíclico la entropía del entorno aumenta.** Efectivamente, en un proceso cíclico el sistema vuelve al estado inicial, recuperando los valores iniciales de energía y entropía, no obstante, la entropía del entorno se ve incrementada.

Los postulados de Kelvin-Planck, Clausius y Carnot, pueden ser ahora expresados en forma analítica en términos de la variación de entropía.

Por ejemplo, suponga que quiere construir un dispositivo que pueda transferir calor de un lugar frío, a temperatura T_B , hacia uno caliente, de temperatura T_A , sin recibir asistencia del entorno. En este caso, el calor absorbido deberá ser igual al calor emitido

$$Q_{abs} = Q_{em} = Q$$

La entropía generada internamente durante el proceso corresponderá entonces a la diferencia entre la que es emitida y la que ingresa al dispositivo,

$$\Delta S_{gen} = \frac{Q_{em}}{T_A} - \frac{Q_{abs}}{T_B} = Q \left(\frac{1}{T_A} - \frac{1}{T_B} \right)$$

pero ya que $T_A > T_B$, se tendría que

$$\Delta S_{gen} < 0$$

Lo que representa una disminución de entropía, esto entra en contradicción con una de las afirmaciones generadas de las observaciones anteriores, por lo que se infiere que un dispositivo de esta índole es imposible de construir, lo cual está en completa sintonía con el postulado de Clausius.

Ahora, en una máquina térmica, se tiene

$$\Delta S_{gen} = \frac{Q_{em}}{T_B} - \frac{Q_{abs}}{T_A}$$

de donde se encuentra,

$$Q_{em} = T_B \Delta S_{gen} + \frac{T_B}{T_A} Q_{abs}$$

Por otro lado, de la primera ley se evidencia que

$$W_{neto} = Q_{abs} - Q_{em}$$

y sustituyendo el resultado anterior se encuentra que

$$W_{neto} = \left(1 - \frac{T_B}{T_A}\right) Q_{abs} - T_B \Delta S_{gen} \quad (73)$$

A una primera vista, se puede observar coherencia de la ecuación (73) con el postulado de Kelvin-Planck, pues el trabajo neto siempre será inferior al calor absorbido. Por otro lado, se encuentra que es el tipo de proceso que, a través de la generación de entropía, puede condicionar el rendimiento y, de acuerdo a (73), el máximo se conseguiría cuando no exista generación interna de entropía, de esta forma (73) se reduce a

$$\frac{W_{neto}}{Q_{abs}} = \left(1 - \frac{T_B}{T_A}\right)$$

lo que se corresponde con el teorema de Carnot.

Segunda ley de la termodinámica

La entropía, representa entonces la cantidad que modula el transporte de energía, indicando qué procesos son permitidos y cuáles no. Las observaciones indican que todos los procesos posibles están relacionados a un aumento de esta cantidad. Para dar una expresión general de la variación de la entropía, más allá del funcionamiento de una máquina térmica, se define la entropía del universo S_U como la suma de la entropía del sistema más la correspondiente al entorno,

$$S_U = S_{sis} + S_{ent}$$

De esta forma, se obtiene que todo proceso esté guiado por un aumento de la entropía del universo

$$\Delta S_U > 0$$

Esta es la versión final **de la segunda ley de la termodinámica** que, englobando los postulados anteriores, describen el principio de la naturaleza que orienta la transferencia de calor.

Degradación de la energía

Nótese, en la ecuación (73), que mientras más entropía se genera el trabajo que se hace es menor, en otras palabras, se reduce la potencialidad del calor absorbido para realizar actividades mecánicas. El esquema de funcionamiento de una máquina muestra que el calor emitido no puede ser usado nuevamente en el mismo ciclo, adquiriendo la condición de energía desechada. El condicionamiento que establece la entropía sobre la cantidad de energía que una máquina puede aprovechar es usado, en algunos contextos, para asignar calidad de uso a la energía. En este sentido, el calor desechado se dice que se ha “deteriorado” haciéndose inservible al ciclo, siendo la generación de entropía la causa de esta degradación. Bajo esta visión, la segunda ley de la termodinámica, vaticina un final del universo completamente lleno de energía inservible, incapaz de activar algún proceso.

Energía química

Cuando se produce una reacción química, las sustancias interactuantes experimentan un cambio en su estructura molecular, rompiendo y formando enlaces, por consiguiente, liberando o capturando energía del medio. En este sentido, una reacción química es un proceso termodinámico, ajustado a las leyes antes descritas. La energía que se libera o se absorbe en estos procesos es lo que se conoce como **energía química**. Todas las sustancias son potencialmente fuentes de energía química, pero algunas poseen un alto contenido que, bajo circunstancias apropiadas, puede ser liberada mediante reacciones exotérmicas. Muchas son las formas en las que cotidianamente se observan estos procesos, por ejemplo, la actividad física en todos los seres vivos es mantenida gracias a la energía que, contenida en los nutrientes, se extrae mediante reacciones químicas en el organismo, igualmente los procesos de combustión que ocurren en distintos artefactos de uso diario, son reacciones de oxidación que se producen en forma rápida, con una intensa liberación de energía. En muchos casos, la emisión de energía es tan violenta que la presión aumenta súbitamente provocando una explosión. Evidentemente, la energía química es parte de la energía interna de una sustancia, pero, en un nivel más intrínseco, pudiendo pasar a formar parte de la energía térmica mediante reacciones exotérmicas. En particular, los motores de combustión interna son

máquinas térmicas en las que el calor primario se obtiene internamente a partir de la potente reacción exotérmica inducida en una sustancia combustible, liberando gran cantidad de energía que es usada, por la máquina, para hacer trabajo. En este caso, la sustancia “reaccionada”, es expulsada del sistema a través de una vía de escape, arrastrando consigo el calor de “desecho”. El ciclo comienza nuevamente al introducir combustible (y oxígeno) en una fase de admisión para provocar de nuevo la combustión.

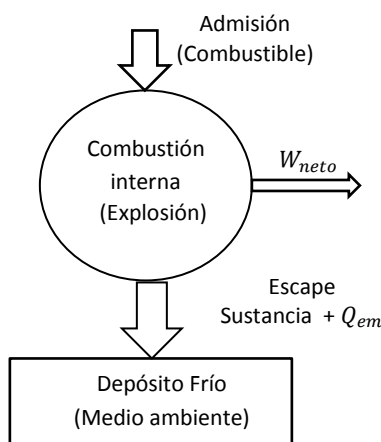


Fig.21 Esquema de un motor de combustión interna

Bajo la concepción clásica, la energía química se puede interpretar como aquella que proviene de la energía de configuración asociada a la organización interna de los átomos que componen las sustancias y que es transferida de “nivel” mediante la modificación de la estructura molecular a través de las reacciones químicas.

Energía nuclear

Los componentes más fundamentales que identifican los materiales son los átomos y como se indicó anteriormente, la energía asociada a la distribución de estos en la estructura molecular, puede ser rescatada como energía térmica. En este mismo sentido, se puede tratar un nivel todavía más intrínseco de configuración desde el cual se consiga transferir energía al nivel térmico. En el modelo atómico más simple se representa el núcleo como una configuración central compacta conformada por protones y neutrones, unidos mediante interacciones muy intensas (fuertes) capaces de superar con creces la repulsión eléctrica

entre los protones. Esta característica sugiere el almacenamiento de una gran cantidad de energía asociada a la configuración, que podría ser liberada modificando las ligaduras entre estas partículas elementales. Esta energía es la que se conoce como **energía nuclear**, y puede ser liberada a través de la fisión y la fusión de los núcleos atómicos.

La fisión nuclear es una reacción exotérmica que se produce cuando los núcleos inestables de elementos, con alto número atómico, se fraccionan en núcleos más livianos radiando gran cantidad de energía y emitiendo partículas muy veloces. Este proceso, es natural en los elementos radiactivos, pero puede también ser inducido haciendo chocar neutrones de alta velocidad con los núcleos, que al romperse emitirán, entre otras cosas, nuevos neutrones de alta velocidad, que “romperán” nuevos núcleos en una reacción en cadena con la consecuente emisión de grandes cantidades de energía. En las centrales nucleares, esta energía es aprovechada para producir intensos flujos de vapor de agua, que son orientados para la realización de trabajo mecánico sobre turbinas y generadores.

La fusión es una reacción nuclear mediante la cual núcleos livianos, pueden unirse para formar elementos más pesados, emitiendo gran cantidad de partículas y liberando enormes cantidades de energía. Es esta la reacción que se suscita en el interior de las estrellas. Se calcula que la producción de energía en una fusión nuclear es tres o cuatro veces mayor que la que se produce en la fisión. Para inducir este proceso es necesario mantener en confinamiento el material a fusionar bajo una agitación térmica, comparada a la que se produce en el interior de las estrellas, lo cual corresponde a muy altas temperaturas, del orden de millones de Kelvin. En la actualidad, los reactores de fusión están en una fase experimental bajo el desarrollo de contenedores magnéticos capaces de soportar dichas temperaturas.

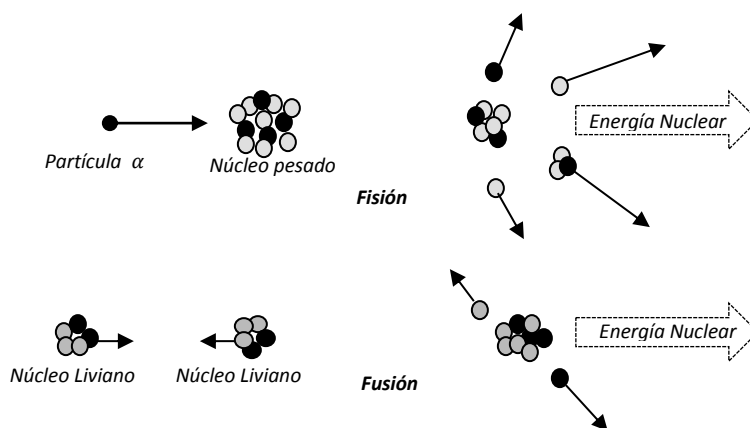


Fig.22 Reacciones nucleares

En general, la tecnología para el aprovechamiento de la energía nuclear está basada en los mismos esquemas que las otras formas, esto es, llevarla al estatus de energía térmica y así darle el uso habitual. La cantidad de energía que se obtiene de las reacciones nucleares es sorprendentemente grande en comparación a la cantidad de material usado para tal fin, por ejemplo, sobre la base de un cálculo moderado, se estima que la energía que se extrae de una masa de uranio, mediante una reacción nuclear, es dos millones y medio de veces mayor de la que se puede extraer de una masa igual de carbón mediante un proceso de combustión. En las centrales nucleares, los procesos de fisión (o fusión) son controlados añadiendo algún material, que por su estructura atómica sea capaz de frenar las veloces partículas generadas y de esta forma ralentizar la reacción en cadena sobre el material fisionable, haciendo posible el manejo de la energía generada y darle el estatus adecuado para su futura manipulación y uso en las distintas operaciones. En el caso de la nefasta bomba nuclear, una inmensa cantidad de partículas y energía es liberada, repentinamente, en un proceso de fisión sin control, provocando un aumento gigantesco de la temperatura y de la presión en el medio circundante, originando así, una intensa onda de choque que, propagándose con velocidad supersónica, trae detrás un verdadero “infierno” con una capacidad devastadora inimaginable. Además, de toda la acción destructiva, mecánica y térmica, que este terrible artefacto produce, hay que agregarle los efectos letales de la radiación, que persisten por mucho tiempo.

CAPÍTULO 4

LA RADIACIÓN

La radiación es la transferencia de energía que se establece entre cuerpos sin que estos estén en contacto físico. La energía emanada de un cuerpo emisor puede estar compuesta de partículas subatómicas moviéndose a altas velocidades, en cuyo caso se le llama radiación corpuscular, o en forma de energía pura, denominada radiación electromagnética, en ambos casos es absorbida o reflejada por los diferentes cuerpos en el universo, provocando distintas actividades en estos y en la mayoría de los casos se traduce en un aumento de energía interna. La radiación procede fundamentalmente de los niveles atómicos y subatómicos y se origina como consecuencia de la relajación de átomos excitados, del movimiento acelerado de cargas, del decaimiento radiactivo y de la fisión o fusión nuclear

Radiación corpuscular

Este tipo de radiación está compuesta por partículas subatómicas (alfa¹², electrones, neutrones, etc.), para las cuales el mayor aporte a su energía cinética le corresponde a la velocidad. En este sentido, un elemento, de este tipo de radiación, puede ser considerado un mecanismo eficaz de transferencia de energía cuando se mueve con gran rapidez. Sin embargo, los valores de la energía que transportan las partículas masivas están limitados por la velocidad de la luz, siendo muy difícil (si no imposible) que una partícula de tan baja masa pueda alcanzar una energía cinética del orden de un *Joul*. Conviene, en este ámbito, referirse a la cantidad de energía en unidades de *eV* (ver tabla 1). La radiación corpuscular está presente en variados procesos naturales y en muchos dispositivos tecnológicos, los más relevantes son:

¹² Las partículas alfa son núcleos “desnudos” de Helio He^{++}

- Radiactividad.

Este es un fenómeno que se produce espontáneamente, aunque también puede ser inducido, en algunos elementos pesados, en los que el núcleo al ser inestable se desintegra con relativa facilidad, emitiendo, entre otras cosas, partículas con suficiente energía como para ionizar el medio circundante.

- Aceleradores de partículas

En estos dispositivos, las partículas cargadas son aceleradas, mediante campos eléctricos y magnéticos, produciendo así un haz colimado, que puede ser enfocado, con distintos propósitos, hacia “blancos” determinados. Existen variados diseños de estos aparatos, con una gran gama de aplicaciones tecnológicas, que van desde los “tubos de rayos catódicos”, utilizados en televisores y monitores de viejos diseños, donde se alcanzan energías del orden de los KeV ($10^3 eV$), pasando por los de usos clínicos, en los que se aceleran electrones que pueden alcanzar energía entre $4.0 - 18 MeV$ ($MeV = 10^6 eV$), hasta llegar a los de uso científico, como el gran LHC (Large Hadrons Collider) diseñado para acelerar protones hasta $7 TeV$ ($TeV = 10^{12} eV$).

- Vientos estelares

En el ámbito astronómico se puede detectar radiación corpuscular proveniente de las estrellas, la cual se origina en las zonas más calientes de la atmósfera estelar, donde las partículas ganan la suficiente energía cinética, que les permite superar ampliamente la velocidad de escape, dando lugar a una continua irradiación hacia las zonas vecinas, conformando lo que se conoce como **viento estelar**. El Sol es el mayor proveedor de estas emanaciones tanto para la Tierra, como para los demás planetas cercanos, en este caso se le llama viento solar, y contiene partículas con energía cinética, en promedio, del orden de los $10 KeV$.

- Rayos cósmicos

Existe una constante y copiosa lluvia de partículas, altamente energéticas, que llegan a la Tierra desde todas las direcciones. Este fenómeno, descubierto en 1912 por

el físico austríaco Víctor Hess, quien concluyó acertadamente que tal radiación no procedía del Sol sino de fuentes aún más lejanas, fue denominado, años más tarde por R. Millikan, como **rayos cósmicos**. Estos son fundamentalmente partículas cargadas que ingresan a la atmósfera con una rapidez cercana a la velocidad de la luz, por lo que poseen una alta energía cinética, hasta del orden de los EeV ($10^{18}eV$). El origen de esta radiación ha sido vinculado a eventos cósmicos de gran magnitud, como Supernovas, interacción de agujeros negros supermasivos, entre otros. Sin embargo, los estudios demuestran que no existe en “La Vía Láctea” ningún evento capaz de emitir partículas con estas velocidades, por eso se piensa que el origen de los rayos cósmicos es extragaláctico, por lo que tales partículas, recorriendo libremente grandes distancias a muy altas velocidades, podrían provenir de las galaxias vecinas o de los confines del universo, emitidas en intensos eventos cósmicos aún sin descubrir.

Radiación electromagnética

Las leyes de Maxwell para el electromagnetismo, describen satisfactoriamente el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos y entre las manifestaciones más resaltantes que pueden obtenerse, se encuentra el hecho, de que los campos magnéticos y eléctricos dependientes del tiempo, son fuentes mutuas uno del otro, es decir:

“Un campo magnético que varíe con el tiempo induce un campo eléctrico con igual dependencia temporal y viceversa”.

Esta conducta, que revela una intrínseca relación entre ambos campos, indica además que estos pueden separarse de las fuentes primarias y permanecer en el espacio desacoplado de la materia. En efecto, las ecuaciones de Maxwell predicen la existencia de ondas electromagnéticas que se propagan a través del vacío, con una velocidad

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \cong 300.000 \frac{Km}{s},$$

donde μ_0 y ϵ_0 son la permeabilidad magnética y la permitividad eléctrica del vacío, respectivamente. En esta forma, transportan la energía obtenida de la fuente primaria y que luego podrá ser eventualmente absorbida por otros cuerpos distantes. Este mecanismo de transferencia de energía es lo que se conoce como **radiación electromagnética**, que emerge

del cambio de estado dinámico de las cargas eléctricas. Es así como, en este enfoque, la luz, y en general toda la radiación electromagnética, es identificada como la propagación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, en planos perpendiculares, que viajan a través del espacio en forma de ondas y se asocia cada color con una determinada una frecuencia de oscilación ν ,

$$E(x, t) = E_{max} \text{sen}(kx \pm 2\pi\nu t)$$

$$B(x, t) = B_{max} \text{sen}(kx \pm 2\pi\nu t)$$

donde $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ es el número de ondas y λ la longitud de onda. En la figura 23 se ilustra la emisión de dos ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias, como puede observarse, la longitud de onda disminuye en la medida que aumenta la frecuencia de oscilación y guardan la siguiente relación

$$\lambda\nu = c \quad (74)$$

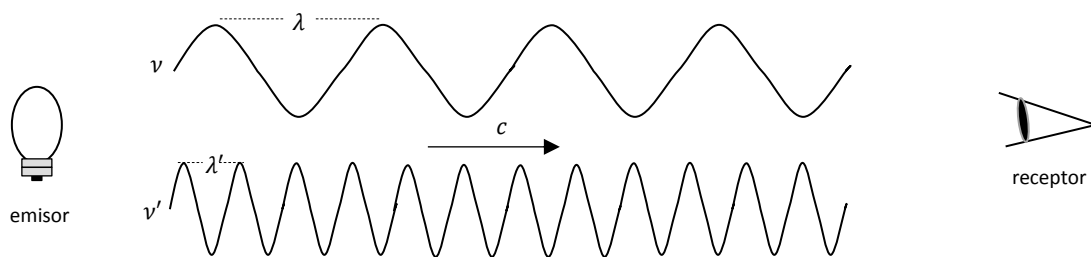


Fig.23 Dos ondas electromagnéticas de frecuencias ν y ν'

Energía transportada por una onda electromagnética

La cantidad de energía que transporta una onda depende de las características esta, en el caso de una onda electromagnética esta energía puede estimarse a través del comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos en un instante cualquiera. La densidad de energía almacenada en un campo eléctrico, de intensidad E , está dada por

$$u_E = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2$$

mientras que para el campo magnético se tiene

$$u_M = \frac{1}{2} \mu_0 B^2$$

Para los campos eléctricos y magnéticos de inducción mutua, como es el caso de una onda electromagnética, se encuentra, a través de las ecuaciones de Maxwell¹³, que existe una relación, entre las intensidades de ambos campos, de la forma

$$c = \frac{|E|}{|B|}$$

de esta manera, se tiene que la densidad de energía que transporta una onda electromagnética, en cualquier punto del espacio es de la forma

$$u = u_E + u_M = \epsilon_0 E^2$$

$$o \ u = \epsilon_0 (E_{max})^2 \text{sen}^2(kx \pm 2\pi vt)$$

En la figura 24 se grafica la energía electromagnética, transportada por dos ondas de frecuencias ν y ν' (con $\nu' > \nu$), contenida en una región cilíndrica de sección transversal A , orientada en dirección a la propagación, en un instante dado. Como se puede observar, en dicha figura, el contenido de energía (área bajo la curva) es mayor en la medida que aumenta la frecuencia de oscilación de los campos: la energía es proporcional a la frecuencia

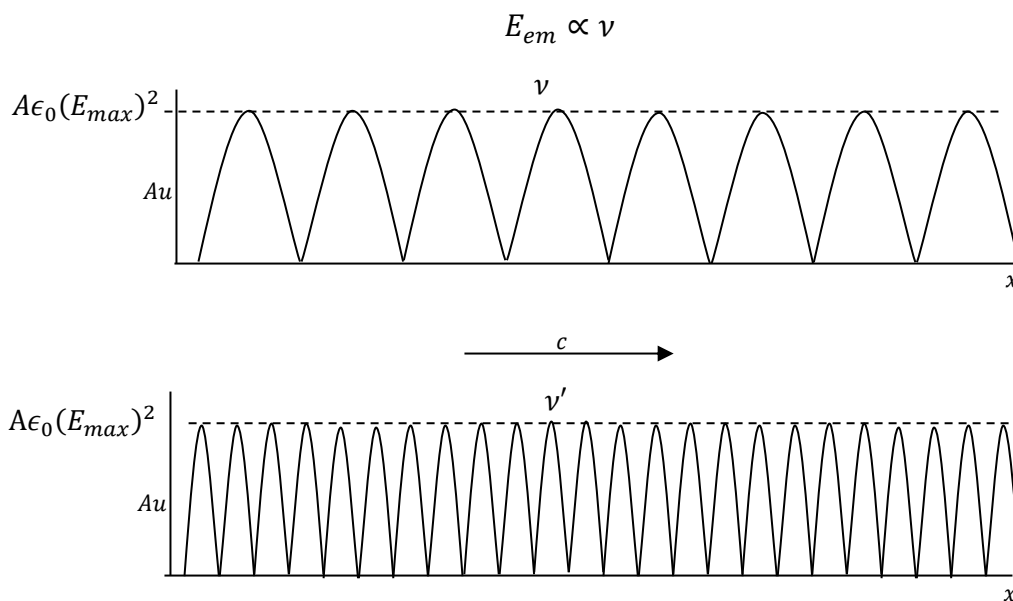


Fig.24 Energía contenida, en un instante t , en un cilindro recto de sección transversal A y paralelo a la propagación, transportada por dos ondas electromagnéticas de frecuencias ν y ν'

¹³ Para una onda plana que se propaga, en el vacío, en la dirección x y polarizada en la dirección y , las ecuaciones de Maxwell conducen a la relación $\frac{d}{dx} E_y(x, t) = -\frac{d}{dt} B_z(x, t)$.

Las ondas electromagnéticas se presentan en variedades de frecuencias, abarcando un amplio espectro que va desde las ondas de radios, con frecuencias relativamente bajas del orden de los KHz (10^3 Hz), hasta la radiación gamma de frecuencias muy elevadas del orden de los cientos de EHz (10^{18} Hz).

Una onda electromagnética es básicamente una perturbación del campo eléctrico o magnético que, como se mencionó antes, se separa de las fuentes y se propaga a través del espacio. En este sentido, cualquier cambio en el estado dinámico de las cargas eléctricas provocará dicha perturbación y consecuentemente generará ondas electromagnéticas, algunas de frecuencias muy bajas, con un pequeño contenido energético que son muy difíciles de detectar y otras de altas frecuencias con capacidad de transportar considerables cantidades de energía.

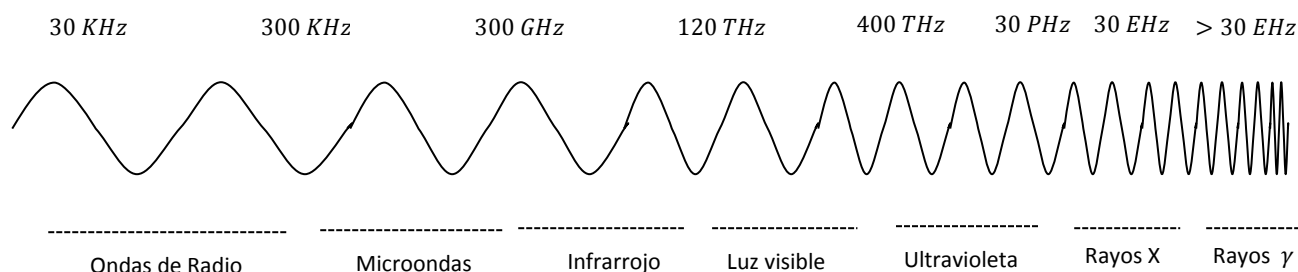


Fig.25 Espectro de frecuencias de las ondas electromagnéticas

La radiación electromagnética está presente, de manera natural, en todos los ámbitos del universo, asociada a diferentes eventos cósmicos. También, nuestro entorno local está plagado de radiación que proviene de distintos dispositivos, de usos domésticos, industriales, estratégicos y militares, que aprovechan la radiación electromagnética para transmitir energía con una gran variedad de propósitos. El principio básico, en dichos dispositivos, es provocar cambios controlados en los estados dinámicos de las cargas eléctricas, de manera que se induzcan las perturbaciones en los campos, dando origen a las ondas electromagnéticas y, como se señaló antes, la energía que estas transmiten está directamente relacionada a la frecuencia de oscilación. En este sentido, el espectro electromagnético se ha dividido en bandas, que, asociadas a rangos de frecuencias, pueden ser clasificadas por sus aplicaciones tecnológicas. Así se encuentra:

•Ondas de Radio

Son ondas con frecuencias comprendidas entre los 30 *KHz* y 300 *MHz*, básicamente son usadas para la comunicación y se emiten desde un dipolo (antena) que es puesto a oscilar eléctricamente mediante un circuito *LC*.

•Microondas

Con frecuencias comprendidas entre 3 y 300 *GHz*, usadas en comunicaciones de largo alcance, así como en procesos térmicos de carácter industrial y doméstico. Hoy en día un “Horno de Microondas” es parte del equipamiento doméstico de cualquier hogar. Son generadas mediante un dispositivo de resonancia magnética conocido como Magnetron.

•Radiación Infrarroja

Este tipo de radiación, con un rango de frecuencias comprendido entre 300 *GHz* y 120 *THz*, es emitida por todos los cuerpos, siempre que tengan temperatura sobre el cero absoluto. Conocida como radiación térmica y, al estar asociada a la sensación de calor, muchas veces se le confunde con este.

•Luz Visible

Comprendida en una pequeña sección del espectro electromagnético, entre 400 y 800 *THz*, es el rango al que son sensibles los ojos humanos, la gama de colores está asociada a cada frecuencia en este segmento, siendo el rojo, el de menor frecuencia, mientras que, al violeta le corresponde la frecuencia más alta. Surgen de la “desexcitación” de los átomos previamente excitados, en la cual los electrones descienden a niveles orbitales más bajos.

•Radiación Ultravioleta

Con frecuencias comprendidas entre los 800 *THz* y 30 *PHz*, es altamente energética, teniendo capacidad para producir efectos a nivel molecular. Se originan, fundamentalmente, en la recombinación electrónica en los procesos de “ionización – desionización”. La radiación proveniente del Sol tiene un alto contenido de ésta, aunque es casi totalmente absorbida a grandes alturas por la capa de ozono, también se puede observar en los tubos de descargas con vapores de mercurio o en los arcos de soldadura eléctrica.

•Rayos X

Pertenecientes a la denominada radiación ionizante, son altamente energéticos, con frecuencias comprendidas entre 30 *PHz* y 30 *EHz*, son generados en las transiciones electrónicas en los niveles cercanos al núcleo de los elementos pesados, también se producen por el frenado brusco de electrones con alta energía cinética, como en los tubos de descargas catódicas.

- **Rayos Gamma**

Estos, con frecuencias superiores a los 30 EHz , representan la radiación electromagnética de mayor carga energética. Se originan en las transiciones nucleares, fusión o fisión, también se observan como producto de la “aniquilación de pares” (partículas y antipartículas).

Cuantización de la Energía

Para la segunda mitad del siglo XIX, la física describía el mundo mediante algunas teorías fundamentales: Mecánica newtoniana, Termodinámica, Mecánica estadística y el Electromagnetismo clásico, bajo el enfoque de estas teorías, se logró la deducción de muchas leyes que rigen en los procesos físicos. Aparentemente no existía ninguna razón física para limitar la aplicabilidad de dichas leyes en los diferentes ámbitos. El modelo ondulatorio de la luz, que explicaba perfectamente los fenómenos ópticos, representaba un escenario ideal para la aplicación de la física conocida. Por ejemplo, expresar el estado térmico de un cuerpo en base al espectro de emisión, era de gran interés para muchos campos de la física. En el estudio de la emisión y la absorción de radiación por parte de los cuerpos se teorizó un modelo, con la capacidad de absorber toda la radiación incidente, al que se le denominó “*cuerpo negro*”, este hipotético cuerpo también tendría la capacidad de emitir radiación térmica en todas las frecuencias. Algunos sistemas, bajo ciertas condiciones, y para efectos de análisis, pueden asemejarse a este modelo, por ejemplo, las estrellas, el Sol o una cavidad con paredes internas recubiertas de un material oscuro y que se comunique al exterior mediante un pequeño orificio. En este último ejemplo, la luz que incida sobre el orificio, entrará a la cavidad y será progresivamente absorbida por las paredes internas, en esta forma, la superficie del orificio se comporta como un cuerpo negro en absorción. En este mismo sentido, si se calentarán las paredes internas, provocando que emitan radiación esta será internamente absorbida y re-emitada múltiples veces, en una variedad de frecuencias, hasta alcanzar la condición de equilibrio térmico, algo de la radiación podrá escapar por el orificio, comportándose este como un cuerpo negro en emisión.

A finales del siglo XIX, surgió un trascendental antagonismo conceptual derivado del análisis del espectro del cuerpo negro. La aplicación de las teorías clásicas conducía a resultados inadmisibles, que además entraban en conflicto con las observaciones experimentales, sin que hubiese explicación razonable para la divergencia entre las predicciones teóricas y los resultados experimentales, tal discrepancia, conocida como “la

catástrofe del ultravioleta”, fue el germen de lo que hoy se conoce como Teoría Cuántica. En efecto, en la última década del siglo XIX y principios del siglo XX, las observaciones y datos experimentales, en cuanto a la radiación de un cuerpo negro, mantenían un divorcio con los modelos teóricos, concebidos bajo el enfoque de las teorías físicas contemporáneas. Algunas leyes, relativas al espectro de radiación de un cuerpo negro, se formulaban en base a la experimentación, sin que pudiesen ser sustentadas en el contexto del conocimiento teórico existente. En particular, a principios de 1900, bajo una aplicación metódica y detallada de las teorías clásicas conocidas hasta entonces, John William Strutt (Lord Rayleigh) y James Hopwood Jeans (Sir Jeans), físicos británicos de reconocidas trayectorias, dedujeron una fórmula para expresar la distribución de energía, entre las distintas frecuencias de las ondas electromagnéticas presentes en una cavidad radiante en equilibrio térmico a una temperatura absoluta T . Concluyendo que el flujo de energía electromagnética, emitida o absorbida, para una determinada frecuencia, esto es, la radiancia¹⁴, debería ajustarse a la siguiente forma

$$B(\nu, T) = \frac{2\nu^2}{c^3} kT$$

En esta expresión, conocida como la fórmula de Rayleigh-Jeans, el término kT , representa la energía promedio para cada modo de vibración, de acuerdo a la extensión del “teorema de equipartición” al caso de ondas electromagnéticas en equilibrio térmico. Esta fórmula se adaptó muy bien a la distribución de energía para radiación electromagnética de baja frecuencia, pero la presencia de la cantidad ν^2 evidencia un aumento desmedido del flujo de energía en la medida que se consideran frecuencias más altas, mientras que las observaciones mostraban lo contrario: el flujo aumenta con la frecuencia hasta alcanzar un máximo, en una frecuencia específica ν_T ¹⁵, determinada por la temperatura, a partir de la cual, disminuye a medida que aumenta la frecuencia.

En la figura 26, se ilustra, en forma aproximada, el comportamiento del flujo de radiación de un cuerpo negro en equilibrio térmico a una temperatura T , la curva a trazos representa la fórmula Rayleigh-Jeans, mientras que la línea continua simboliza el comportamiento observado en las experimentaciones. Tal como se muestra en esta figura, los resultados experimentales se alejan notablemente de las predicciones teóricas.

¹⁴ La radiancia es definida como la cantidad de energía electromagnética emitida o absorbida por unidad de área, unidad de tiempo, en una determinada frecuencia ν

¹⁵ La frecuencia ν_T está relacionada a la temperatura T a través de la Ley de Wien: $T\nu_T = constante$

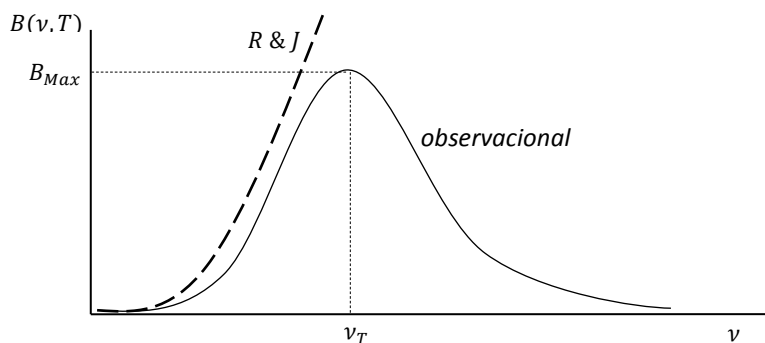


Fig.26 Radiancia de un cuerpo negro, según la fórmula de Rayleigh- Jeans (R & J) y observacional

La discrepancia entre los resultados, de los meticulosos experimentos y las rigurosas deducciones, evidenciaba que algo de las teorías clásicas no se ajustaba al comportamiento de la radiación en los ámbitos en estudio. Intentando resolver esta incongruencia, el físico alemán Max Planck, desarrolló una fórmula que, aunque en un contexto heurístico, respondía a los resultados experimentales. Su enfoque rompía con el esquema con los que, hasta ese entonces, se describía la irradiación y absorción de energía como un flujo continuo y suponía que estos procesos deberían ocurrir en forma de “efusiones intermitentes” cuya energía sería un múltiplo entero de un valor fundamental

$$\Delta E = nh\nu$$

donde n toma valores enteros y h es una constante. Bajo esta prescripción obtuvo, para la radiancia, la siguiente fórmula,

$$B(\nu, T) = \frac{2\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1\right)}$$

Esta expresión, bajo ciertas condiciones, puede ajustarse a los resultados deseados en ambos límites de frecuencias. Por ejemplo, para valores suficientemente altos de la frecuencia, en los que se cumpla que

$$\left(e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1\right) \gg \frac{h\nu^3}{c^3}$$

se tendrá que

$$B(\nu, T) \rightarrow 0$$

Por otro lado, si la frecuencia es lo suficientemente baja, es posible desarrollar el término exponencial, y en primera aproximación, obtener

$$e^{\frac{h\nu}{kT}} \cong 1 + \frac{h\nu}{kT}$$

de esta forma se encuentra

$$B(\nu, T) \cong \frac{2\nu^2}{c^2} kT$$

Así, los resultados teóricos y experimentales podrían reconciliarse ajustando un valor de h con el que se lograra una apropiada interpolación entre ambos rangos extremos de frecuencia. Efectivamente, tras una laboriosa y metódica tarea de “ensayo y error”, Planck determinó un valor que le permitió reproducir los resultados experimentales de los que disponía, dicho valor fue $6,55 \times 10^{-34} J \cdot s$. Hoy en día h es reconocida como una de las constantes fundamentales de la naturaleza y de importancia trascendental en la física del micromundo, se le conoce como **la constante de Planck** y ha sido determinada con mayor precisión, siendo su actual valor

$$h = 6,6260755 \times 10^{-34} J \cdot s$$

Es conveniente comentar que la suposición de Planck, sobre la emisión y absorción de energía, no le daba aún un carácter “*cuantizado*” a la radiación, solo se refería a la forma en la cual los electrones en movimiento en las paredes de la cavidad, considerándolos como pequeños osciladores armónicos, podrían variar su energía absorbiendo o emitiendo solo cantidades que eran múltiplos de un valor básico ΔE_0

$$\Delta E_0 = h\nu$$

Esta novedosa idea podía ser conceptualmente absorbida en la descripción de sistemas macroscópicos, pues la pequeñez de estas cantidades, permite pasarlas por alto en estos ámbitos, y tratar los procesos de ganancia o pérdida de energía como un flujo continuo, como se había hecho hasta ahora.

En 1905, Albert Einstein logró dar una explicación contundente al fenómeno conocido como efecto fotoeléctrico, este fenómeno, en el que la luz incidente sobre un material puede arrancar electrones de su superficie, había sido descubierto en 1887 por Heinrich Hertz al experimentar con arcos eléctricos. En esta explicación Einstein extendió las ideas de Planck, sobre la emisión y absorción de radiación, sugiriendo que esta estaba compuesta por

pequeñas partículas de energía, a las que llamó “quantum de luz”. Supuso, además, que dichos quantums transportaban energía de valor

$$E = h\nu$$

Con este modelo se podía dar respuesta a varias interrogantes que no habían sido resueltas bajo las concepciones clásicas, por ejemplo, el hecho de que la velocidad de los fotoelectrones no dependía de la intensidad, pero sí de la frecuencia incidente o que el número de fotoelectrones aumenta con la intensidad, pero no la energía cinética de cada uno. La idea del quantum de luz, también se ajustó perfectamente a la descripción del cambio de longitud de onda observado en la dispersión de radiación electromagnética al interactuar con la materia, este efecto, descubierto por el físico estadounidense Arthur Holly Compton en 1923, mientras investigaba la difusión de rayos X, solo consiguió explicación al introducir el modelo *cuantizado* de radiación propuesta por Einstein. El estudio de la estructura de la materia, fue otra área donde la idea de la cuantización de la energía resulto exitosa, en efecto, el modelo atómico presentado por el físico danés Niel Bohr en 1913, podía explicar la estabilidad de los átomos, asumiendo que los electrones permanecen en cierto tipo de órbitas exclusivas alrededor del núcleo y solo radiarán energía cuando descendían a órbitas más internas, argumentando que la diferencia de energía entre dos órbitas contiguas correspondía a la energía emitida en un quantum

$$E_i - E_f = h\nu$$

Por su parte, el salto a una órbita más alta solo se produciría por la absorción de un quantum cuya energía correspondiese exactamente a la diferencia entre ambas órbitas. Bajo esta concepción se describen los átomos, en dos estados:

- Fundamental. Esta es una configuración estable, que ocurre cuando sus electrones se encuentran en las órbitas “naturales” en las que mantienen el mínimo valor de energía.
- Excitado. Correspondiente a un estado metaestable que se produce cuando uno o más electrones han “saltado” a órbitas de nivel superior a las correspondientes en el estado fundamental.

La expresión “órbitas exclusivas”, en este contexto, significa que estas no son arbitrarias si no que están determinadas por los valores de energía que permite la cuantización, en esta forma la excitación de un átomo solo puede ser provocada por la absorción de cantidades específicas de energía, con las que el electrón solo podrá “saltar” hacia las órbitas permitidas.

La desexcitación es el decaimiento de un estado excitado a otro de menor excitación, con la consecuente emisión de un quantum cuya energía está asociada a la diferencia de los niveles orbitales. Un átomo no solo puede excitarse por absorción de la energía que le trasmite un quantum de frecuencia particular, también puede absorber esta energía de procesos térmicos o eléctricos. La excitación y desexcitación de los átomos no está restringida a la región electrónica, también puede ser producto de la absorción o emisión de energía en el núcleo, donde los protones están fuertemente ligados, lo que posibilita la radiación electromagnética de gran contenido energético o lo que es lo mismo, emisión de quanta de muy alta frecuencia.

En la actualidad el quantum de luz se le conoce con el nombre de fotón y, aunque este nombre está referido a la luz, se concibe como una partícula de energía pura asociada a la radiación electromagnética en general que se desplaza en el vacío con velocidad c .

Creación y aniquilación de “pares”

La idea inicial, al principio de este texto, en cuanto al comportamiento de los componentes fundamentales del universo, puede ser ahora reconsiderada bajo el análisis de la interacción de radiación y materia en el ámbito subatómico. En efecto, es a este nivel donde se pueden describir entidades de energía pura, como los fotones, interactuando con entidades de materia pura: partículas elementales¹⁶. Las experimentaciones y observaciones en estas áreas han demostrado la existencia de dos grupos de partículas elementales, que, con propiedades idénticas, salvo en alguna, mantienen una correspondencia “uno a uno”, es decir, cada partícula, integrantes de un grupo, le corresponde una imagen en el segundo grupo, esto es, una partícula con características idénticas, salvo en una que se considera opuesta. Es así como se definen las entidades conocidas como antipartículas y bajo esta clasificación cada partícula con su respectiva antipartícula integra los llamados “pares”. Los representantes más emblemáticos de estos sistemas son los pares constituidos por el electrón y su antipartícula: el positrón, este último es una partícula con todas las propiedades del electrón, pero con una carga positiva de la misma cuantía, predicha por el físico británico Paul Dirac en 1928 y observada, por primera vez, por el físico estadounidense Carl David Anderson, en 1932.

¹⁶ En física, una partícula elemental representa el cuerpo más pequeño, sin estructura interna, en el que se puede dividir la materia.

Dentro de las extraordinarias manifestaciones del comportamiento de los pares, se pueden destacar, por el interés en el objetivo de este texto, los fenómenos conocidos como **creación y aniquilación de pares**. Estos procesos muestran un comportamiento en el que la energía más allá de estar contenida en la materia forma parte de esta o bien que la materia se muestra como un estado de energía condensada.

La creación de pares, es un proceso mediante el cual partículas de alta energía se “desintegran” en nuevas partículas y sus respectivas antipartículas. En particular, la producción de un par electrón – positrón, se ha podido observar en la “desintegración” de un fotón al interactuar con la materia, tal como se ilustra en la figura 27

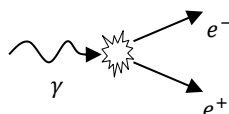


Fig.27 Creación de un par electrón - positrón

En este proceso, el balance de energía se representa como

$$h\nu = 2m_e c^2 + E_c(e^-) + E_c(e^+)$$

donde $h\nu$ es la energía del fotón incidente, $m_e c^2$, representa la energía para la masa en reposo del electrón (o el positrón), mientras que $E_c(e^-)$ y $E_c(e^+)$, son las energías cinéticas del electrón y el positrón, respectivamente. Si se asume que, al originarse el par, ambas partículas quedan en reposo (lo cual es poco probable) es fácil determinar, a partir de la ecuación anterior, la mínima energía que debe tener un fotón para dar origen a este sistema. Ya que la masa de un electrón (o un positrón) es $9,1 \times 10^{-31}$ Kg, se encuentra que la energía en reposo será

$$E = m_e c^2 \cong 2,7 \times 10^{-23} J$$

o, de acuerdo a la tabla 1,

$$E \cong 0,511 \text{ MeV}$$

Por lo tanto, la energía mínima que debe tener un fotón para dar origen a un par electrón – positrón debe ser, aproximadamente,

$$h\nu = 1,022 \text{ MeV}$$

o bien, la frecuencia mínima,

$$\nu \cong 27,1 \times 10^{18} \text{ Hz}$$

Esto sugiere que solo fotones de muy alta energía, en el rango de la radiación gamma, son capaces de dar origen a dichos eventos.

Igualmente, el evento inverso: la aniquilación de pares, ha sido observado. Este caso, se describe como la colisión entre una partícula y su antipartícula, por ejemplo, un electrón y un positrón que, desapareciendo en el evento, dan lugar a la emisión de radiación.

Al igual que en la creación de pares, los balances de energía en la aniquilación indican que la radiación emanada en tal evento debe ser de muy alta frecuencia: rayos gamma. En la figura 28, se representa un proceso de aniquilación, mostrando la emisión de dos fotones, cuyas direcciones se proyectan de acuerdo al principio de conservación del momento lineal¹⁷.

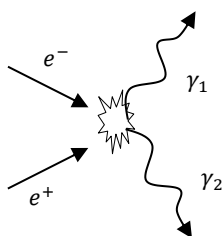


Fig.28 Aniquilación de un par electrón - positrón

¹⁷ Los fotones, aunque son partículas sin masa, tiene un momento lineal $p = \frac{h}{\lambda}$, que contribuye al momento lineal total del sistema y este debe tener el mismo valor antes y después del evento.

Materia y Energía: dos aspectos de un único elemento

En los procesos de creación y aniquilación de pares se manifiesta una situación extraordinaria, en la que la materia y la energía se muestran como dos aspectos de un único elemento. Efectivamente, la materialización de partículas, en los eventos de creación de pares, y la desmaterialización de estas, en la aniquilación, puede identificarse básicamente como procesos de trasmutación, en los que la energía se transforma en materia y viceversa. Este hecho, propio del ámbito subatómico, obliga a repensar la idea clásica, expresada al inicio de este texto, en relación a las componentes fundamentales del universo. En efecto, el modelo en el cual la energía y la materia, siendo esencialmente diferentes, representan los elementos básicos que integran el universo, no se ajusta completamente a la realidad al momento de describir los procesos que toman lugar en el microcosmos, en este ámbito, las imágenes de materia y energía parecieran fundirse en un único elemento.

La idea de un único componente fundamental del universo, es usada en algunas teorías que intentan modelar el universo apuntando hacia la unificación de las cuatro fuerzas fundamentales. Por ejemplo, en la teoría de cuerdas, se asume que las partículas subatómicas, más allá de ser puntos materiales, son, de acuerdo a estas hipótesis, diferentes modos de vibración de un objeto más fundamental llamado cuerda, extendido en un espacio-tiempo de más de cuatro dimensiones. Así, en este enfoque, un fotón, un electrón, un positrón o un quark, son en realidad los mismos entes “vibrando” de manera diferente.

La equivalencia entre materia y energía pareciera violar los principios originales de conservación, pues, tal como se muestra en los procesos antes descritos, la trasmutación de energía en materia y materia en energía podría interpretarse como la destrucción y/o la creación de estas. En cuanto a la energía, la relatividad especial ofrece los argumentos que permiten mantener la fe en el principio de conservación de ésta. En este contexto, la relación (44) entre masa y energía

$$E = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} c^2$$

evidencia el hecho de que todo cuerpo, posee una energía intrínseca en virtud de su masa en reposo o masa propia m_0 ,

$$E = m_0 c^2$$

A nivel subatómico, solo las partículas materiales exhiben masa en reposo, por lo que en la aniquilación o la creación de pares el balance de energía se debe establecer tomando en cuenta la energía que, intrínsecamente, es absorbida o cedida por las partículas en la “materialización” o “desmaterialización” respectivamente. Las observaciones y experimentos muestran que en efecto el principio de conservación de la energía se mantiene inviolable, aún en estos procesos. Por su parte, la conservación de la materia puede explicarse como un resultado estadístico del promedio de eventos de creación y aniquilación que pueden ocurrir en un sistema macroscópico.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES

Para concluir este texto es apropiado un comentario reflexivo acerca del significado de la energía en el cosmos.

La definición clásica de energía y, tal vez, la de mayor difusión es que la energía es:

“la capacidad que tienen los cuerpos de realizar alguna actividad”.

Esta definición obedece a una interpretación inicial, donde la energía, en una perspectiva macroscópica, se visualiza a través de la actividad de los objetos, concibiéndola como una propiedad de estos y restándole identidad propia. A través de este texto, se ha querido mostrar que la energía es una entidad de existencia real y constituyente fundamental del universo. Este carácter es sustentado en el principio de conservación, pues, en este se asegura que la energía del universo es una constante, por lo tanto, no puede entenderse como un rasgo que exhiban los cuerpos.

Toda la actividad que tiene lugar en la naturaleza es caracterizada por un consumo o un gasto de energía, que debe interpretarse como la transferencia de esta entre los distintos procesos que ocurren en el universo. Es así, como la energía tiene el poder de construir, organizar, dinamizar y destruir los diferentes sistemas presentes en el cosmos.

Al modelar al mundo en las tres áreas tratadas aquí, se puede perfeccionar un cambio conceptual, sobre la idea de energía, en la medida en que se profundiza hacia el ámbito microscópico. Nótese que, en la descripción de los procesos mecánicos, el concepto de energía, mostrado arriba, se ajusta bastante bien al comportamiento de los sistemas involucrados, no obstante, al tratar los fenómenos propios de la termodinámica, la energía comienza a mostrar su identidad propia, hasta que finalmente, bajo la perspectiva que ofrece el microcosmo, se logra una imagen de completa identidad, como único elemento fundamental de constitución del universo.

Bibliografía

- ALOMÁ, CH E. y MALAVER, M. (2007). Los conceptos de calor, trabajo, energía y teorema de Carnot en textos universitarios de termodinámica, *Educere*, 11(38), pp. 22-35.
- EISBERG, R., RESNICK, R. (1986). *Física Cuántica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos y Partículas*. Ed. Limusa Wilely, (reimpr. 2013)
- EISBERG, R. (1974). *Fundamentos de Física Moderna*. Limusa, México.
- FEYMMAN, R. (1965). *Lectures on Physics, v I, Addison-Wesley Publishing Company. Massachusetts*
- FRENCH, P. (1988). *Relatividad Especial. PHYSICS COURSE* (Massachusetts Institute of Technology) Editorial REVERTÉ, S. A. (reimpr. 2002)
- HALLIDAY, D., RESNICK R., KRANE K. (1999) *Física V2*, (4^{ta} Ed.). Editorial Continental, México
- KIRILLIN, V., SICHEV V., SHEINDLIN A. (1976) *Termodinámica Técnica*. (2^{da} ed.). Editorial MIR, Moscú.
- MICHINEL, J. L. y D'ALESSANDRO, M. A. (1994). El concepto de energía en los libros de texto: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 369-380.
- NÍAZ, M. (1998). *From cathode rays to alpha particles to quantum to action: a rational reconstruction of structure of the atom and its implications for chemistry. Science Education*, 82(5), pp. 527-552.
- PACCA, J. L. y HENRIQUE, K. F. (2004). Dificultades y estrategias para la enseñanza del concepto de energía. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), pp. 159-166.
- REIF, F. (1969). *Física Estadística, Berkeley physic course. V. 5* Editorial REVERTÉ
- REIF, F. (1965). *Fundamentals of statistical and thermal physics*. McGraw-Hill, New York, NY.
- SAGAN, C. (1982). *Cosmos*. Editorial Planeta. Barcelona, España.
- SERWAY RAYMOND, A. y JEWETT, JOHN W. (2006) *Física II*. (6^{ta} ed.). Thomson International Inc. USA

TIPPENS, PAUL E. (2001). *Física Conceptos y Aplicaciones*. (6^{ta} ed.). Ed McGraw-Hill, New York.

YOUNG, H. y FREEDMAN R. (2013). *Sears y Zemansky Física Universitaria*. (13^{da} ed.) Editorial Pearson, México.

WEINBERG, STEVEN. (1972) *Gravitation and Cosmology; Principles and applications of General Theory of Relativity*. John Wiley and Sons. Inc. USA.



PUBLICACIONES
VICERRECTORADO ACADÉMICO

ISBN: 978-980-11-2057-5



Este texto está dirigido principalmente a aquellas personas que se desempeñan en la enseñanza de la física, en los niveles básicos, con la esperanza de que la información presentada aquí sirva de complemento a la formación que, como parte de la actividad docente, se consolida progresivamente a través de la experiencia.

Son muchas las barreras que se deben franquear para impartir una buena enseñanza en estas áreas, tal vez una de las más notables la representa las imágenes falseadas de algún concepto físico que, en muchos ambientes cotidianos, se forman a partir de una interpretación incorrecta, originando vicios que se alojan en la estructura del conocimiento y que obstaculizan la asimilación de nuevas ideas.

Muchos son los términos físicos que trascienden los límites científicos para ser adoptados en distintos ámbitos de la actividad humana en los que, en muchas ocasiones, se tergiversa su verdadero significado. Una de las tareas más difícil que enfrenta un docente, cuando enseña física, es remplazar las imágenes inexactas, que se han formado previamente en el estudiante a través de una interpretación inadecuada, por el modelo apropiado. Esto requiere de la elaboración de estrategias didácticas que logren inducir el razonamiento lógico que conlleve a la sustitución de las ideas erróneas por las imágenes correctas.

Este texto se concibe con el propósito de brindar una visión amplia sobre el rol de la energía en distintos niveles de actividad, para lo cual se transita a través de tres áreas de gran importancia en la descripción física de la naturaleza. En este sentido, se pretende que, a través de la lectura y análisis, el lector pueda formarse un concepto de la energía coherente con toda la actividad en el Universo.

Félix Antonio Aguirre Márquez