

Una página web para la enseñanza del concepto entropía

M. Alarcón, A. Gómez^a, R. López^b y Y. Laguna^b

Facultad de Informática, ISP “José de la Luz y Caballero” Holguín, Cuba; margieam@hlg.rimed.cu[†]

a) Facultad de Media Superior, ISP “José de la Luz y Caballero” Holguín, Cuba; agomez@hlg.rimed.cu

b) Facultad de Informática, ISP “José de la Luz y Caballero” Holguín, Cuba; raciel@hlg.rimed.cu,
yurdi@hlg.rimed.cu.

[†]autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 12/06/2010.

Sumario. En la enseñanza, en general, y en la Física, en particular, se emplean cada vez más los medios informáticos. Se ha llegado a un punto en que la computadora y los software constituyen medios de enseñanza imprescindibles. Las páginas Web se han popularizado en el ámbito educativo como recurso eficiente para la enseñanza de diferentes materias. El concepto de entropía es calificado, por una considerable cantidad de profesores de física como de difícil de enseñar, en consecuencia se han empleado y emplean variados enfoques, medios y métodos para tal fin, no obstante se continúa considerando un concepto “difícil”. La autora presenta una página Web, elaborada sobre la plataforma Joomla con el objetivo de contribuir a que los estudiantes comprendan el concepto de entropía.

Abstract. The concept of entropy has been considered, by students, scientist and teachers, as a difficult understanding. In accordance with this various ways to teach it have been developed. Some of the most used forms to introduce the concept of entropy are displayed in the web page presented with was performed using Joomla platform. Resources like animations, worked and purposed problems, articles and other instructional materials, web links, etc. about the concept of entropy in order to facilitate its understanding are presented in this page. The page structure propitiates an easy navigation.

Palabras clave. Teaching methods in Physics education 01.40.gb, computers as educational aids 01.50.H-

1 Introducción

La entropía, desde su descubrimiento a mediados del siglo XIX hasta nuestros días, ha demostrado ser un concepto esencial para el desarrollo de la termodinámica y para la comprensión de muchos fenómenos en nuestro universo, sin embargo, desde el punto de vista didáctico no siempre ha sido tratado con suficiente claridad como para que los estudiantes logren una comprensión clara

del significado físico de la magnitud que el mismo encierra.

Autores, considerados clásicos en la enseñanza de la física se han referido a la dificultad que presenta la comprensión del concepto de entropía. “No existe en todo el campo de la física ningún concepto de tan difícil comprensión que el de entropía, ni hay tampoco ninguno más fundamental” plantea Sears en su libro “Mecánica, Movimiento Ondulatorio y Calor”.

La introducción y desarrollo del concepto, desde el

punto de vista didáctico, ha sido tratado de varias formas por diversos autores^{2,4,5,7,9-11}, y otros, no obstante persisten dificultades para la comprensión del significado físico del mismo.

Teniendo en cuenta las enormes ventajas que ofrecen las nuevas tecnologías de la informática y las comunicaciones para el desarrollo del proceso docente-educativo, se elabora una página Web donde se consideran diferentes formas de tratar el concepto de entropía dando la posibilidad a docentes y estudiantes de acceder en breve tiempo a las variantes más usadas históricamente para el tratamiento de este importante concepto. De este modo se facilita a los estudiantes la selección del modo que más se ajuste a la preparación básica, estilo de aprendizaje y condiciones de cada uno.

2 Descripción de la página

En su diseño se empleó el sistema de gestión de contenidos Joomla!, entre cuyas ventajas está el que puede instalarse sobre cualquier plataforma de sistema operativo. Requiere de un servidor Web (Apache), MySQL 3.27 o superior como servidor de Bases de Datos y PHP versión 4.3.4 o superior.

La creación de menús de navegación en la página Web Entropía proporciona un método potente y flexible para ayudar a los visitantes a navegar con sencillez.

Esta página recoge además de diferentes formas de tratar el concepto de entropía, otras secciones que se detallan a continuación. (Ver figura 1).

En la parte izquierda aparece un menú desde el cual se accede fácilmente a la Sección Entropía, a la Categoría “Concepto de Entropía” y se diseñaron varios ítems del menú en la categoría blog que facilitará al usuario acceder a los diferentes contenidos, según se muestra en la figura 1: Forma 1, Forma 2, Forma 3, Forma 4, Forma 5, Problemas, Animaciones, Biblioteca, Ampliación del tema (Visitas a otras páginas Web).

Dando un clic sobre cada opción del menú aparece en la parte derecha el contenido correspondiente. A continuación se expone una síntesis de los contenidos antes referidos:

Forma 1. Después de hacer un estudio del ciclo reversible de Carnot se obtiene la expresión matemática para el coeficiente de rendimiento del mismo.

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$

de donde se obtiene que $\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}$ y teniendo en cuenta que $Q_1 > 0$ (cantidad de calor absorbida por el gas a la temperatura T_1 y $Q_2 < 0$ (cantidad de calor desprendida por el gas a la temperatura T_2 se puede plantear que:

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0$$

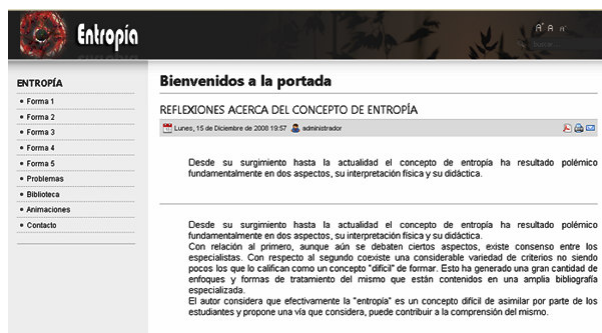


Figura 1. Página Web “Entropía”

Seguidamente se plantea que a la magnitud $\frac{Q}{T}$ se le denomina *entropía* y como en un ciclo reversible su suma es igual a cero es una *función de estado*.

Más adelante se demuestra que para cualquier ciclo de

Carnot, sea o no reversible, $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \geq 0$ (la igualdad es

para el caso reversible. Se continúa argumentando que como cualquier ciclo reversible se puede considerar compuesto por un gran número de ciclos de Carnot se cumple que $\oint \frac{dQ}{T} = 0$ y por tanto donde S es una función de estado denominada *entropía*.

Finalmente se procede a ilustrar la forma de calcular la variación de entropía en casos sencillos como cuando se funde cierta cantidad de hielo o en el caso de alguna transformación isotérmica ocurrida a cierta masa de gas.

En algunos casos se dice que la entropía es una magnitud importante, se plantean algunas de sus propiedades y se hace mención a que expresa la cantidad de *energía degradada*, que pierde capacidad para realizar *trabajo útil*. Cuando se emplea este procedimiento para tratar el concepto generalmente se menciona que para procesos irreversibles la *entropía* siempre aumenta.

Forma 2. El concepto de entropía se introduce por analogía con el de energía interna procediendo aproximadamente del siguiente modo:

“Como ya se dijo, cuando un sistema pasa de un estado a otro, se obtiene experimentalmente que la diferencia entre la cantidad de calor suministrada al sistema y el trabajo realizado por este (Q - W) tiene el mismo valor para todas las “trayectorias”. El hecho de que esta diferencia conserve un valor constante, hace posible introducir el concepto de energía interna, quedando definida y medida su variación por la magnitud Q - W.

De un modo análogo puede definirse la entropía, o más bien un cambio de entropía. Consideremos los estados de un sistema y un cierto número de trayectorias reversibles que los unen. Aunque la cantidad de calor suministrada al sistema es diferente a lo largo de las distintas trayectorias, se encuentra experimentalmente que si se divide la cantidad de calor suministrada en cada punto de la trayectoria por la temperatura absoluta del sistema en dicho punto y se suman los cocientes resultantes a lo largo de toda la trayectoria. Esta suma tiene el mismo valor por todas las trayectorias comprendidas entre los

mismos puntos extremos. En lenguaje matemático:

$\int_1^2 \frac{dQ}{T} = \text{Constante}$ para todas las trayectorias reversibles entre los estados 1 y 2

Es posible, por consiguiente introducir una función cuya diferencia entre dos estados 1 y 2 queda definida por la integral anterior. La función se denomina *entropía* del sistema y se designa por S. entonces,

$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ (a lo largo de cualquier trayectoria reversible)

Después de definida la *entropía*, según lo antes expuesto, se pasa al cálculo de su variación en algunos casos sencillos y posteriormente se muestra que para procesos irreversibles la misma aumenta y que dicho aumento significa que la energía se *degrada*.

Forma 3. El concepto de entropía se introduce a través de su relación con el número de microestados que generan un macroestado dado, iniciando el tópico más o menos del siguiente modo: “Como característica de la probabilidad del estado se toma la magnitud S, proporcional al logaritmo del peso estadístico. El coeficiente se elige igual a la constante de Boltzman k,

$$S = k \ln \Omega .$$

A partir de esta definición se exponen las propiedades fundamentales de la *entropía* y se analiza el principio de aumento de la misma.

Forma 4. Después de escribir el primer principio de la termodinámica para un mol de gas ideal como $dQ = C_v dT + p dV$ se divide esta igualdad entre T de

donde se obtiene $\frac{dQ}{T} = C_v \frac{dT}{T} + \frac{p}{T} dV$ y teniendo en

cuenta que $\frac{p}{T} = \frac{R}{V}$, $\frac{dT}{T} = d \ln T$, $\frac{dV}{V} = d \ln V$ con lo

cual se obtiene que $\frac{dQ}{T} = d(C_v \ln T + R \ln V)$.

Como el segundo miembro de la ecuación anterior es una diferencial total el primer debe también serlo, por tanto existirá una función de estado cuya diferencial es

$\frac{dQ}{T}$, a dicha función se le denomina entropía S, así

$dS = \frac{dQ}{T}$. Luego, partiendo de procedimientos típicos

de la física estadística se demuestra que $S = k \ln \Omega$. Más tarde se expone el sentido estadístico de la *entropía* sin hablar de la degradación de la energía.

Forma 5 (propuesta de los autores). Se introduce el concepto de *entropía* y su definición como se hace en la forma 1 hasta llegar a la expresión

$\int_A^B \frac{dQ}{T} = S_B - S_A$ luego se procede del siguiente modo:

Consideremos dos máquinas térmicas que operan según ciclos de Carnot y que funcionan según se describe a continuación.

Máquina 1. Toma la cantidad de calor Q de la fuente de temperatura T_1 , realiza el trabajo W_1 y cede la cantidad de calor $(Q - W_1)$ al receptor de temperatura T_0 (Fig. 1).

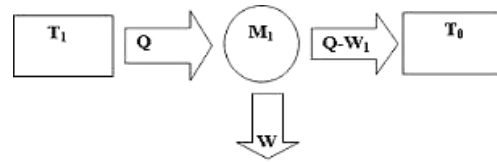


Figura 1

Máquina 2. A través de una barra conductora la cantidad de calor Q se conduce desde la fuente de temperatura T_1 hasta otra de temperatura menor T_2 y luego la máquina toma la cantidad de calor Q desde la fuente a temperatura T_2 , realiza el trabajo W_2 y entrega la cantidad de calor $Q - W_2$ al receptor a la temperatura T_0 (Fig. 2)

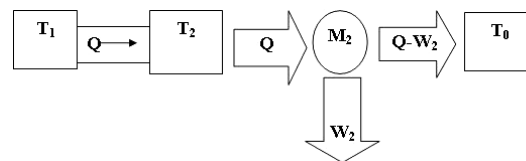


Figura 2

Consideremos que ambas máquinas consiguen el máximo rendimiento posible η teniéndose entonces que:

$$\eta_1 = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \quad \eta_2 = \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right)$$

Los trabajos máximos posibles a realizar por ciclo en cada una de las máquinas serán:

$$W_1 = Q\eta_1 \quad W_2 = Q\eta_2$$

Los trabajos W_1 y W_2 constituyen las cantidades de energía contenidas en Q que se pueden transformar en trabajo útil con el funcionamiento de las respectivas máquinas térmicas.

La diferencia entre ambos trabajos es:

$$W_1 - W_2 = Q(\eta_1 - \eta_2) = \left(\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}\right)T_0 = \Delta S T_0$$

Como se observa la cantidad de energía contenida en la cantidad de calor Q que puede ser convertida en trabajo útil en el primer caso es mayor que en el segundo. La diferencia entre ambas es igual a la variación de entropía multiplicada por la temperatura del receptor final (T_0).

Este resultado nos muestra con claridad que en el proceso de conducción de la cantidad de calor Q de la fuente de temperatura T_1 hasta la de temperatura menor T_2 (Proceso irreversible) la energía contenida en Q *perdió* capacidad para realizar trabajo y que la cantidad de energía que experimentó dicha pérdida es igual a $\Delta S T_0$, con lo cual queda claro que la entropía está relacionada cuantitativamente con la *degradación* de la energía.

Este modo de proceder facilita la comprensión del sentido físico de la *entropía* así como el principio de aumento de la misma.

En *Problemas* se presentan tanto problemas resueltos como problemas propuestos que propicien al estudiante una vía para el desarrollo de habilidades. En *Biblioteca* se puede acceder a artículos y otros materiales relacionados con el tema, un glosario, guías de estudio para estudiantes, entre otros. En *Animaciones* se accede a gif didácticos para entender mejor el concepto de entropía. En *Contactos* se mostrarán distintos enlaces con páginas web relacionadas.

3 Conclusiones

Esta página Web elaborada sobre la plataforma Joomla, facilita a los estudiantes el estudio del concepto de entropía y propicia que se motiven a navegar por otros sitios Web que la misma enlaza para profundizar en el tema.

Referencias

1. I. P. Bazárov, “Thermodynamics”, Edición Revolucionaria,

C. Habana, (1969).

2. S. Frish y A. Timoreva, “Curso de Física General”, T I, editorial Mir, Moscú, (1977).

3. A. García, “Física con Ordenador”, Curso Interactivo de Física en INTERNET, (2006).

4. L. Graetz, “La Física y sus Aplicaciones”, Gustavo Pili Editors, Barcelona, (1928).

5. D. Halliday, R. Resnick and J. Walter, “Fundamentals of Physics”, Fourth Edition, John Wiley and Sons, (1994).

6. A. K. Kikoin y I.K. Kikoin, “Física molecular”, Editorial Mir, Moscú, (1979).

7. A.N. Matvéev, “Física Molecular”, Editorial Mir, Moscú, (1979).

8. E. Martínez, “Curso de Termodinámica irreversible”, (2005).

9. I. V. Saviéliev, “Curso de Física General”, T I, Editorial Mir, Moscú, (1984).

10. F. Sears, “Mecánica, movimiento ondulatorio y calor”, Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, (1971).

11. B. M. Yavorski, y A. A. Pinski, “Fundamentos de Física”, T I, Editorial Mir, Moscú, (1983).