

## Algunas consideraciones físicas de la energía interna

La energía interna se define como la suma de todas las formas *microscópicas* de energía de un sistema. Se relaciona con la *estructura molecular* y el grado de *actividad molecular* y se puede considerar como la suma de las energías *cinética* y *potencial* de las moléculas.

Para comprender mejor la energía interna, los sistemas se examinan a nivel molecular. Las moléculas de gas se mueven en el espacio con cierta velocidad; por lo tanto, poseen algo de energía cinética. Esto se conoce como *energía de traslación*. Los átomos de las moléculas poliatómicas rotan respecto a un eje y la energía relacionada con esta rotación es la *energía cinética de rotación*. Los átomos de este tipo de moléculas podrían vibrar respecto a su centro de masa común, entonces la energía de este movimiento de "vaivén" sería la *energía cinética vibratoria*. Para los gases, la energía cinética se debe sobre todo a los movimientos de traslación y rotación, en los que el movimiento vibratorio se vuelve significativo a altas temperaturas. Los electrones en un átomo giran en torno al núcleo y, por lo tanto, poseen *energía cinética rotacional*. Los electrones de órbitas exteriores tienen energías cinéticas más grandes. Como estas partículas también giran en torno a sus ejes, la energía relacionada con este movimiento es la *energía de giro (espín)*. Las otras partículas que están ubicadas en el núcleo de un átomo también poseen energía de giro. La porción de la energía interna de un sistema relacionada con la energía cinética de las moléculas se llama *energía sensible* (o *energía cinética de las moléculas*) (Fig. 2-6). La velocidad promedio y el grado de actividad de las moléculas son proporcionales a la temperatura del gas, por lo que a temperaturas más elevadas las moléculas poseen energías cinéticas superiores y, como consecuencia, el sistema tiene una energía interna más alta.

La energía interna también se relaciona con diversas *fuerzas de enlace* entre las moléculas de una sustancia, entre los átomos dentro de una molécula y entre las partículas al interior de un átomo y su núcleo. Las fuerzas que unen a las *moléculas* entre sí son, como se esperaría, más intensas en los sólidos y más débiles en los gases. Si se agrega suficiente energía a las moléculas de un sólido o de un líquido, éstas vencen las fuerzas moleculares y se separan, de modo que la sustancia se convierte en un gas; éste es un proceso de cambio de fase. Debido a la energía agregada, un sistema en la fase gaseosa se encuentra en un nivel más alto de energía interna que el de la fase sólida o líquida. La energía interna relacionada con la fase de un sistema se llama *energía latente*. El proceso de cambio de fase puede ocurrir sin que se modifique la composición química de un sistema. La mayor parte de los problemas reales caen dentro de esta categoría, por lo que no es necesario prestar atención a las fuerzas de enlace de los átomos en una molécula.

Un átomo en su núcleo tiene neutrones y protones con carga positiva enlazados entre sí mediante intensas fuerzas, además de electrones cargados negativamente orbitando a su alrededor. La energía interna relacionada con los enlaces atómicos en una molécula se llama *energía química*. Durante una reacción química, por ejemplo un proceso de combustión, algunos enlaces químicos se destruyen y otros se forman, lo que da como resultado que la energía interna experimente un cambio. Las fuerzas nucleares son mucho mayores que las que unen a los electrones con el núcleo. Esta enorme cantidad de energía relacionada con los fuertes enlaces dentro del núcleo del átomo se llama *energía nuclear* (Fig. 2-7). Es evidente que no es necesario ocuparse de la energía nuclear en termodinámica a menos, desde luego, que se trate de una reacción de fusión o de fisión. Una reacción química tiene que ver con cambios en la

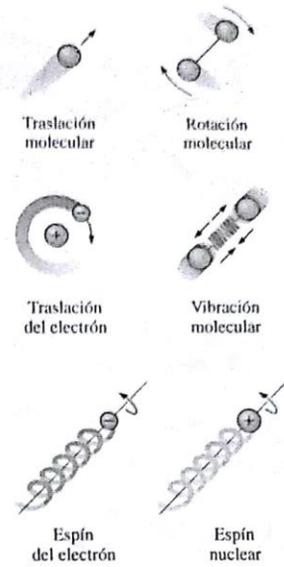


Figura 2-6

Diversas formas de energías microscópicas constituyen la energía *sensible* o *energía cinética de las moléculas*.

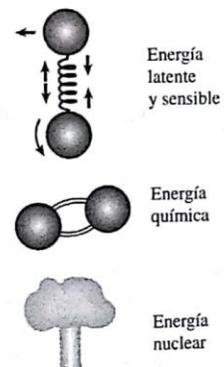


Figura 2-7

La energía interna de un sistema es la suma de todas las formas de energía microscópicas.

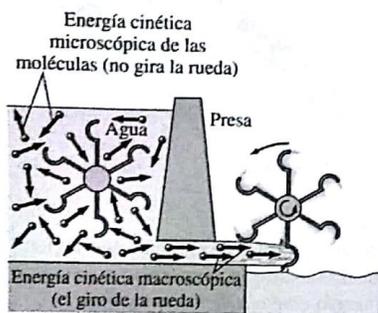


Figura 2-8

La energía cinética *macroscópica* es una forma organizada de energía y es mucho más útil que las energías cinéticas *microscópicas* desorganizadas de las moléculas.

estructura de los electrones de los átomos, pero en una reacción nuclear los cambios ocurren en el núcleo; por lo tanto, un átomo conserva su estructura durante una reacción química pero la pierde durante una nuclear. Los átomos pueden poseer también *energías de momento dipolar eléctrico* y *magnético*, cuando se someten a campos magnéticos y eléctricos externos debidos a los dipolos magnéticos resultantes de pequeñas corrientes eléctricas asociadas con los electrones que orbitan.

Las formas de energía anteriormente explicadas, que constituyen la energía total de un sistema, pueden estar *contenidas* o *almacenadas* en éste, así como es posible considerarlas como formas *estáticas* de energía. Las formas de energía no almacenadas en un sistema se consideran formas *dinámicas* de energía, las *interacciones de energía*, posibles de reconocer cuando cruzan las fronteras del sistema y representan la energía que éste gana o pierde durante un proceso. Las únicas dos formas de interacción de energía relacionadas con un sistema son la **transferencia de calor** y el **trabajo**. Una interacción de energía puede dar lugar a una transferencia de calor si su fuerza impulsora es una diferencia de temperatura, de lo contrario es trabajo, como se explica en la siguiente sección. Un volumen de control también intercambia energía vía transferencia de calor, puesto que cada vez que ésta se transfiere hacia un sistema o afuera del mismo, el contenido de energía de la masa también se transfiere.

En la vida diaria, es común llamarle *calor* a las formas sensibles y *trabajo* a las formas de energía interna, y se habla acerca del contenido calorífico de los combustibles. Sin embargo, en termodinámica normalmente se hace referencia a esa forma de energía como **energía térmica** a fin de evitar confusiones con la *transferencia de calor*.

Se debe hacer una distinción entre la energía cinética macroscópica de un objeto como un todo y las energías cinéticas microscópicas de sus moléculas, las cuales constituyen la energía interna del objeto (Fig. 2-8). La energía cinética de un objeto es una forma *organizada* de energía relacionada con el movimiento ordenado de las moléculas en una dirección con trayectorias paralelas o alrededor de un eje. En cambio, las energías cinéticas de las moléculas son completamente *aleatorias* y muy *desorganizadas*. Como se verá en capítulos posteriores, la energía organizada es mucho más valiosa que la desorganizada y un área de aplicación importante de la termodinámica es la conversión de la energía desorganizada (calor) en energía organizada (trabajo). También se verá que es posible convertir la totalidad de la energía organizada en desorganizada, pero sólo es posible convertir a desorganizada una fracción de esta última mediante dispositivos especiales llamados *máquinas térmicas* (por ejemplo los motores de coches y las centrales eléctricas). Se puede dar una explicación similar para la energía potencial macroscópica de un objeto como un todo y para energías potenciales microscópicas de las moléculas.

## Más sobre energía nuclear

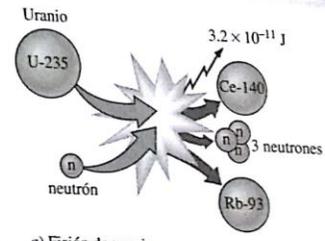
La reacción de fisión más conocida tiene que ver con la división del uranio de uranio (el isótopo U-235) en otros elementos y se usa habitualmente para generar electricidad en las centrales de energía nuclear (hasta 2004, el mundo mundial había 440 de ellas, las cuales generaban 363 000 MW), para impulsar submarinos, portaaviones e incluso naves espaciales, así como en la propulsión de bombas nucleares.

El porcentaje de electricidad que se produce mediante energía nuclear es del 78 por ciento en Francia, 25 en Japón, 28 en Alemania y 20 en Estados Unidos. Enrico Fermi logró en 1942 la primera reacción nuclear en cadena y los primeros reactores nucleares a gran escala se construyeron en 1944 con la fisión

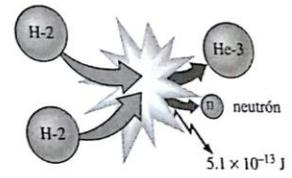
de producir materiales para armamentos nucleares. Cuando un átomo de uranio-235 absorbe un neutrón y se divide durante un proceso de fisión, produce un átomo de cesio-140, un átomo de rubidio-93, 3 neutrones y  $3.2 \times 10^{-11}$  J de energía. En términos prácticos, la fisión completa de 1 kg de uranio-235 libera  $6.73 \times 10^{10}$  kJ de calor, lo que equivale a una cantidad superior al calor desprendido por quemar 3 000 toneladas de carbón. Por lo tanto, con una misma cantidad de combustible, una reacción de fisión nuclear genera varios millones más de energía que una reacción química. Sin embargo, aún es un problema desechar los residuos del combustible nuclear en un lugar seguro.

La energía nuclear por fusión se libera al combinar dos núcleos pequeños en uno más grande. La enorme cantidad de energía que irradian el Sol y las otras estrellas se origina a partir de procesos de fusión en los que dos átomos de hidrógeno se combinan para formar un solo átomo de helio. Cuando dos núcleos de hidrógeno pesado (deuterio) se combinan durante un proceso de fusión, producen un átomo de helio-3, un neutrón libre y  $5.1 \times 10^{-13}$  J de energía (Fig. 2-9).

En la práctica, las reacciones de fusión son mucho más difíciles de lograr debido a la fuerte repulsión entre los núcleos con carga positiva, llamada *repulsión de Coulomb*. Para vencer esta fuerza repulsiva y conseguir que se fusionen los dos núcleos, el nivel de energía de éstos debe elevarse calentándolos hasta cerca de los 100 millones de °C. Sin embargo, temperaturas tan altas sólo se encuentran en las estrellas o en las explosiones de bombas atómicas (bomba-A). De hecho, la reacción de fusión fuera de control en una bomba de hidrógeno (bomba-H) se inicia por la explosión de una bomba atómica pequeña. La reacción de fusión no controlada se logró a principios de la década de los cincuenta, pero desde entonces, para lograr la fusión controlada, han fallado todos los esfuerzos para generar energía realizados mediante rayos láser masivos, potentes campos magnéticos y corrientes eléctricas.



a) Fisión de uranio



b) Fusión de hidrógeno

**Figura 2-9**  
Fisión de uranio y fusión de hidrógeno en las reacciones nucleares, con su consecuente liberación de energía nuclear.