

puede ser expresada análogamente. La cantidad de energía en ambos casos (3.6) y (3.7) se expresa por el producto de dos magnitudes.

La primera de ellas (la presión p para el trabajo y la temperatura T para el calor) son las fuerzas (potenciales) que provocan la forma dada de transmisión de la energía. La segunda son las llamadas coordenadas, la variación de las cuales muestra la existencia de la forma dada de transferencia de la energía. Si la coordenada (V o S) no ha variado (es decir, ∂V o ∂S son iguales a cero), entonces ∂Q y ∂L también serán iguales a cero y no tendrá lugar ninguna clase de transmisión de energía.

A las primeras magnitudes se les suele llamar factores de intensidad y a las segundas, de extensidad. Por consiguiente, la entropía es un factor de extensidad al transmitir la energía en forma de calor. Los factores intensivos no están relacionados con la masa del cuerpo, al cual se transmite la energía, los factores extensivos, al contrario, dependen de ella: tanto la entropía S como el volumen V , a igualdad de las demás condiciones, son tanto mayores, cuanto mayor es la masa del gas. Correspondientemente, ellas se miden en unidades referidas a la unidad de masa. La noción sobre los factores intensivos y extensivos tiene un sentido muy amplio, que sale muy lejos de los límites de la termodinámica. La intensificación de todo proceso (incluso en el plan de la economía nacional) se alcanza no a cuenta del aumento del factor extensivo, sino solamente por medio del factor intensivo. En el caso de transmisión de energía en forma de calor de semejante factor sirve la temperatura.

Puede surgir la pregunta natural: si la variación de la entropía, igual a cero, muestra que no existe transmisión de energía en forma de calor, ¿cómo proceder con la máquina térmica de Carnot?

¿Pues en ella el calor se suministra y se extrae, mientras que la entropía permanece constante?

Esta contradicción es aparente: los flujos exteriores de entropía son constantes, pero en el interior de la máquina, el fluido operante que circula constantemente se calienta y se enfría. Al calentarse el motor recibe calor y la entropía del cuerpo operante aumenta; al enfriarse y al extraer calor la entropía disminuye. En el proceso ideal estas magnitudes son iguales, y en total la entropía se entrega continuamente al receptor de calor en la misma cantidad que ingresa de la fuente de calor. Por esta razón, el proceso circular (ciclo) puede repetirse tanto tiempo como se quiera.

La regularidad, característica para los procesos ideales, o sea, la existencia de la magnitud S , la cual en total no varía en todos los procesos relacionados con la transmisión de energía, puede llamarse principio de existencia y constancia de la entropía.

Si las propiedades de la entropía se limitaran solamente a la constancia en los procesos ideales reversibles, las disputas alrededor de ella serían mucho menores. Sin embargo, la entropía tiene una propiedad importante más, precisamente ésta es la que provoca ya más de 100 años fuertes disputas.

Fueron iniciadas por el mismo R. Clausius. Él desarrolló las ideas de S. Carnot a un nuevo nivel, basado en la teoría mecánica del calor y estableció una propiedad importante más de la entropía.

Apoyándose en ella Clausius saca una conclusión de largo alcance, debido a la cual surgió la discusión que continuó más de un siglo.

¿De qué se trata?

S. Carnot introdujo y examinaba los procesos ideales reversibles en los cuales la transición del calor del cuerpo con alta temperatura T_1 (emisor de calor) al cuerpo con baja temperatura T_2 (receptor de calor) va acompañada de obtención de trabajo; al contrario, la transición del calor del emisor de calor con baja temperatura T_2 al receptor de calor con una temperatura más alta T_1 sucede con gasto de trabajo.

No obstante, existen también otros procesos irreversibles de transmisión del calor, que pueden de por sí transcurrir solamente en una dirección. Precisamente a ellos prestó atención Clausius.

¿Efectivamente, qué sucederá si la fuente de calor (el emisor de calor con una temperatura más alta T_1 se pone en contacto térmico (por ejemplo, se une con ayuda de una barra metálica) con el receptor de calor, la temperatura T_2 del cual es más baja, sin la máquina térmica? Entonces surgirá un flujo térmico del cuerpo con la temperatura T_1 al cuerpo con temperatura T_2 ; en este caso, naturalmente, no se realizará trabajo alguno, y todo el calor entregado por el emisor de calor será recibido por el receptor de calor.

De este modo, en este caso, el proceso será unilateral, irreversible, por cuanto él no puede transcurrir en dirección inversa. (Una estufa caliente puede calentar una tetera fría, pero una tetera fría no puede calentar una estufa caliente.) ¿Como se comportará aquí la entropía? El emisor de calor entrega la entropía

$$S_1 = Q_1/T_1$$

el receptor de calor recibe la entropía $S_2 = Q_1/T_2$ (el calor recibido por el receptor de calor $Q_2 = Q_1$, puesto que no se gasta en trabajo). Dado que $T_2 < T_1$, entonces $S_2 > S_1$. ¡La entropía aumenta!

El mismo efecto puede obtenerse al funcionar la máquina térmica, pero no la ideal, como en el caso de Carnot, sino la real, el funcionamiento de la cual va acompañado de pérdidas.

Para un motor real esto significa que para las mismas temperaturas T_1 y T_2 (fig. 3.4) y la cantidad de calor Q_1 el trabajo será ya no L , sino $L' < L$. Por consiguiente, conforme al principio de conservación de la energía el receptor de calor recibirá ahora mayor cantidad de calor $Q'_2 > Q_2$, puesto que menor cantidad de éste se ha transformado en trabajo: $Q_2 = Q_1 - L$, $Q'_2 = Q_1 - L'$; pero $L' < L$, por consiguiente, $Q'_2 > Q_2$. De aquí se desprende que la entropía recibida por el receptor de calor $S'_2 = Q'_2/T_2 > S_2$.

¡De nuevo ha aumentado la entropía!

Para una bomba de calor real con las mismas temperaturas T_1 y T_2 y la misma cantidad de calor Q_2 el gasto de trabajo L' será mayor que en el caso ideal: $L' > L$. Por esta razón, la cantidad de calor Q'_1 será también mayor que Q_1 , puesto que $Q'_1 = Q_2 + L'$. Por tanto, la entropía recibida por el receptor de calor, a T_1 será mayor que al funcionar la bomba de calor ideal:

$$S'_1 = Q'_1/T_1 > S_1 = Q_1/T_1 .$$

¡También aquí la entropía aumenta! El análisis de otros procesos reales irreversibles de transformación de la energía muestra estrictamente: la entropía en ellos aumenta.

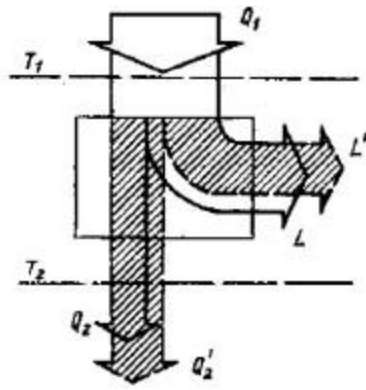


Fig. 3.4. Gráficos de banda de los flujos de energía en un motor térmico en los procesos reversible e irreversible

R. Clausius generalizó esta regularidad para cualesquiera procesos energéticos irreversibles, introduciendo el principio de aumento de la entropía: en todos los procesos reales de transformación de la energía en sistemas aislados⁹ la entropía total de todos los cuerpos que participan en ellos aumenta. Este aumento de la entropía, a igualdad de las demás condiciones, es tanto mayor, cuanto más se diferencia el proceso (o los procesos) en el sistema considerado de los ideales, reversibles. En el motor térmico, por ejemplo, como ya vimos, el empeoramiento de su funcionamiento (es decir, la disminución del trabajo L recibido de la misma cantidad de calor Q_1 , para las mismas temperaturas límites T_1 y T_2) va obligatoriamente acompañado del aumento de la entropía. En la bomba de calor el aumento de los gastos necesarios de trabajo conducen al mismo resultado: al aumento de la entropía. Por consiguiente, la entropía puede desempeñar un «cargo» más: ser la característica de irreversibilidad de los procesos, mostrar la desviación de éstos de los ideales. Cuanto mayor es el aumento de la entropía, tanto mayor es esta desviación.

Así pues, el segundo principio de la termodinámica consiste en la constatación de dos hipótesis: la existencia y constancia de la entropía en los procesos reversibles (Carnot) y el aumento de la entropía en los procesos irreversibles (Clausius).

La disminución de la entropía en los sistemas aislados está prohibida por el segundo principio: en general esto es imposible. Se pueden citar muchísimos ejemplos de semejantes procesos imaginarios imposibles: la transición espontánea del calor del cuerpo frío con la temperatura T_2 al más caliente con la temperatura $T_1 > T_2$, por ejemplo, la ebullición de la tetera con agua, colocada sobre hielo (o la congelación del agua en la tubería en una época calurosa). Es fácil ver (fig. 3.5) que la entropía en este caso disminuiría, por cuanto la entropía S del agua en la tetera aumentaría en Q/T_1 , y la entropía S del hielo disminuiría en Q/T_2 . El motor que funciona para la «concentración de energía calorífica derivada del espacio circundante» (es decir, que produce trabajo o energía eléctrica de la energía interna del medio ambiente equilibrados¹⁰), pertenecería al mismo grupo de sistemas irrealizables. Efectivamente, recibiendo cierta cantidad de calor Q_{m-a} del medio a la temperatura del mismo T_{m-a} (y junto con ella la correspondiente entropía $S = Q_{m-a}/T_{m-a}$), él entregaría cierto trabajo, en el cual no hay entropía. ¿A qué conduciría esto?

⁹ Es absolutamente natural que el balance de entropía debe calcularse (tanto para los procesos reversibles como irreversibles) en sistemas aislados. De lo contrario, la afluencia (o evacuación) de calor y, por lo tanto, de entropía escamoteará todo el cuadro.

¹⁰ Semejante mpp-2 imaginario se llama a veces motor monotérmico, puesto que debe funcionar de un emisor de calor con una sola temperatura T_{m-a} sin receptor de calor con una temperatura más baja, de aquí monotérmico.

Si todo el calor $Q_m \cdot a$ se hubiera transformado en trabajo, la entropía desaparecería por completo. Si en trabajo L se hubiera transformado solamente una parte del calor $Q_m \cdot a$, y la parte restante Q_2 el motor la devolviera, de todos modos la entropía entregada sería menor que la recibida, puesto que $Q_2 < Q_1$ y $S_2 = Q_2/T_m \cdot a < Q_m \cdot a/T_m \cdot a$. Para terminar de estudiar la entropía, queda examinar un aspecto más de esta extraordinaria magnitud: la interpretación estadística. Ésta fue dada por dos eminentes físicos: L. Boltzmann (1844-1906) y M. Planck (1858-1947).

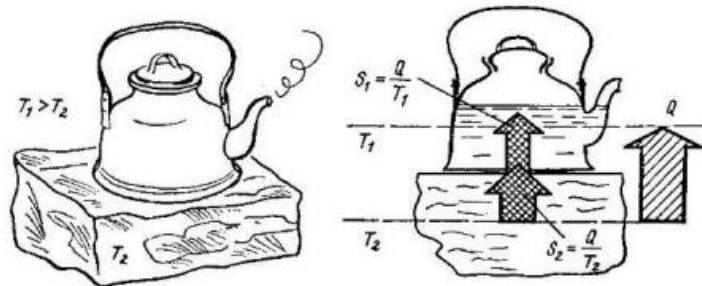


Fig. 3.5. Tetera que hierve en contra del segundo principio de la termodinámica, pero de acuerdo con el primer principio

Ellos afrontaron el concepto de entropía desde otro punto de vista, digamos, «desde el interior», a partir de la estructura molecular de la materia. Boltzmann investigó las leyes de comportamiento de todo el conjunto de moléculas que componen las partes que interaccionan del sistema, y estableció que existe una relación directa entre la entropía y el estado en el que estas moléculas se encuentran.

Cada molécula posee en cada instante determinado una energía determinada relacionada con su movimiento y con la interacción con otras moléculas. La energía interna total de la sustancia representa la suma de las energías de estas partículas. Por cuanto las moléculas se encuentran constantemente en movimiento caótico e interaccionan entre sí, entre éstas tiene lugar un intercambio energético, que conduce a que la energía se redistribuye entre ellas. Por eso cada instante siguiente corresponde a otro microestado del sistema con otra distribución de la energía entre las moléculas.

De este modo, se llama microestado del sistema su estado en el instante dado, en el cual para cada molécula se han determinado la posición en el espacio y la velocidad. Esto, si se puede expresar así, es la foto instantánea del sistema.

En esta situación es prácticamente imposible estudiar el caos y el desorden que existe en cada microestado, el comportamiento de cada molécula, con el fin de predecir su comportamiento en lo sucesivo. Pero esto incluso no hace falta: es suficiente conocer las variantes posibles del comportamiento general del sistema, es decir, el número de todos sus microestados posibles. El número w de semejantes microestados puede ser muy grande, enorme, pero no infinito, puesto que el número de moléculas es finito, lo mismo que el número de niveles energéticos, en los que ellas pueden encontrarse.

¿Pero, cuál será el estado del sistema, determinado por las características generales (densidad, energía, etc.), es decir, su macroestado en las condiciones dadas? ¿Cuál de los numerosos microestados ella «elegirá»? Resulta que conociendo el número y las particularidades de los distintos microestados posibles se puede establecer su macroestado más probable. Esta ley será estadística, lo que no obstante, no reduce en nada su vigor y fiabilidad.

Para mostrar en qué se basa, valgámonos del ejemplo evidente citado por el miembro correspondiente de la AC de la URSS L. Al. Biberman.

Supongamos que en una bandeja plana se han dispuesto varias monedas iguales. Cada una de ellas puede encontrarse en una de las dos posiciones: con el escudo hacia arriba («cara») o hacia abajo («cruz»). Por cuanto ambas posiciones son igualmente probables, cada moneda puede encontrarse con la cara hacia arriba o con la cruz; es imposible preverlo de antemano.

Moviendo la bandeja se puede hacer saltar simultáneamente todas las monedas. Supongamos que al principio todas ellas se encontraban en un orden estricto: de cara. Planteemos al principio la pregunta así: ¿se podrá haciendo saltar sucesivamente las monedas en la bandeja (durante lo cual todas ellas, naturalmente, darán vuelta de distinta manera) volver a la posición inicial? En principio, naturalmente, se puede: ¿Pero, cuántas veces será necesario para ello hacerlas saltar? Probemos determinar el número de saltos, por ejemplo, para 10 monedas. En este caso son posibles distintas variantes («microestados»): las 10 monedas se encuentran con el escudo hacia arriba ($10\uparrow$), nueve hacia arriba, una hacia abajo ($9\uparrow, 1\downarrow$), ocho hacia arriba, dos hacia abajo ($8\uparrow, 2\downarrow$), etc., hasta la variante undécima: todas hacia abajo ($10\downarrow$). Esta última variante también corresponde a un orden completo, sólo que contrario al primero ($10\uparrow$).

Todas estas variantes son, a primera vista, igualmente probables, pero, solamente a primera vista. En realidad, ellas se diferencian bruscamente en que la frecuencia de su aparición será distinta. Efectivamente, la primera variante puede ser realizada sólo por un procedimiento, la segunda, ya por diez (la primera moneda cae de cara, las demás, cruz; la segunda, cara, las demás, cruz; la tercera cara, las demás cruz, etc.) Por consiguiente, la segunda variante aparecerá con una frecuencia 10 veces mayor que la primera. La tercera variante ($8\uparrow, 2\downarrow$) se puede realizar por una cantidad de procedimientos aún mayor, efectivamente, con dos monedas hacia abajo, que pueden ser la primera y segunda, la primera y tercera (etc.), la segunda y tercera, la segunda y cuarta, etc. Es fácil convencerse de que semejantes procedimientos serán ya 45. La cuarta variante se realiza por 120 procedimientos.

Si se juntan todos los datos se puede obtener la siguiente tabla:

Disposición de las monedas (macroestados)	$10\uparrow$	$9\uparrow$	$8\uparrow$	$7\uparrow$	$6\uparrow$	$5\uparrow$	$4\uparrow$	$3\uparrow$	$2\uparrow$	$1\uparrow$	$0\uparrow$
	$0\downarrow$	$1\downarrow$	$2\downarrow$	$3\downarrow$	$4\downarrow$	$5\downarrow$	$6\downarrow$	$7\downarrow$	$8\downarrow$	$9\downarrow$	$10\downarrow$
Número de procedimientos de realización (microestados)	1	10	45	120	210	252	210	120	45	10	1

En total, por lo tanto, son posibles $\sum w = 1024$ microestados. Entre ellos los estados de «orden completo» ($0\downarrow, 10\uparrow$ y $10\downarrow, 0\uparrow$) se encuentran solamente una vez cada uno. Al contrario, los microestados más alejados del orden ($5\downarrow, 5\uparrow$), ($4\downarrow, 6\uparrow$) y ($6\downarrow, 4\uparrow$) se encuentran con la mayor frecuencia; el más frecuente ($5\downarrow, 5\uparrow$), 252 veces.

¡Así pues, para obtener el orden inicial hay que sacudir la bandeja no menos de 1024 veces! Al contrario, se puede mezclar todo por completo en solamente cuatro ($1024/252$) sacudidas. El microestado de mezclado completo es 252 veces más probable que el estado de ordenación. El camino del orden al desorden es muy corto, pero para pasar el camino del desorden al orden, hay que trabajar muchísimo más. Aquí tropezamos con la noción de probabilidad termodinámica w ,

la cual se determina por el número de los microestados con los cuales puede ser realizado el macroestado dado. La noción de probabilidad termodinámica se diferencia de la noción de probabilidad matemática de un acontecimiento aleatorio, la cual se determina por la relación del número de aparición del acontecimiento dado al número total de pruebas. En el caso dado la probabilidad matemática se determinaría para cada caso por la magnitud $w/\sum w$.

En el experimento descrito hemos tomado sólo 10 monedas. ¿Y si éstas fueran más?

A continuación se dan las cifras totales aproximadas de $\sum w$ microestados para un número de monedas n de hasta 100:

n	10	20	30	50	70	100
$\sum w$	10^3	10^6	10^9	10^{15}	10^{21}	10^{30}

Esto significa que para regresar a la disposición ordenada de las monedas siendo su número, por ejemplo 100, hace falta más tiempo que el de existencia del sistema solar¹¹ ($7 \dots 8 \cdot 10^9$ años).

Pero el número de moléculas de gas en el volumen más pequeño es incomparablemente mayor de 100 (a la presión de 0,1 MPa y la temperatura de 273 K es cerca de $3 \cdot 10^9$ en 1 cm³). Por esta razón, la probabilidad termodinámica w , de que las moléculas se distribuyan uniformemente en cualquier volumen libre desordenadamente con las velocidades instantáneas dirigidas caóticamente, es extraordinariamente grande; esto corresponde a la enorme cantidad de microestados posibles $\sum w$. Al contrario, en comparación con esto la probabilidad del establecimiento de los microestados en los cuales habrá un orden determinado, es absolutamente insignificante. Prácticamente es igual a cero.

Examinemos tres de estos estados ordenados.

1. En una mitad de un recipiente se han acumulado dos veces más moléculas que en la otra.

Correspondientemente la presión p_1 en una de las mitades será 2 veces mayor que p_2 en la otra: ($p_2 = 2p_1$). Esta situación se muestra esquemáticamente en la fig. 3.6, a.

2. En una de las mitades de un recipiente se han reunido las moléculas, en las cuales la velocidad media de movimiento térmico es mayor, y en la otra, aquéllas, en las cuales esta velocidad es menor de un valor dado determinado. (Es conocido, que en el gas hay moléculas con distintas velocidades; su temperatura se determina por su valor medio.) Entonces el gas en una de las mitades del recipiente estará caliente (con la temperatura T_1), y en la otra, frío (con la temperatura $T_2 < T_1$). Esta situación se muestra en la fig. 3.6, b: en principio es análoga al caso con la tetera, mostrada en la fig. 3.5).

3. En un recipiente, en el que se encuentra una mezcla (lo dos gases (por ejemplo, aire, compuesto (le oxígeno y nitrógeno), las moléculas de uno de los gases (del oxígeno) se reunirán principalmente en una de las mitades del recipiente, y las del segundo gas (de nitrógeno en la otra. En el recipiente surgirá diferencia de concentraciones c_1 y c_2 (fig. 3.6, c).

Tanto la teoría como el experimento muestran que semejante situación, la ordenación espontánea, el surgimiento de diferencias de presiones p , temperaturas T o concentraciones c , es tan poco probable, que su aparición sería un milagro. Al contrario, si esta diferencia se crea artificialmente, accionando desde fuera (gastando el correspondiente trabajo) ella inmediatamente comenzará a igualarse espontáneamente.

Efectivamente, si se divide el recipiente con un tabique y se llenan sus secciones con oxígeno y nitrógeno, al quitar el tabique los gases se mezclarán uniformemente. Lo mismo ocurrirá en el

¹¹ Si se sacude la bandeja una vez por segundo.

caso de distintas presiones o temperaturas, ellas se igualan, y al fin y al cabo se establece cierto valor medio.

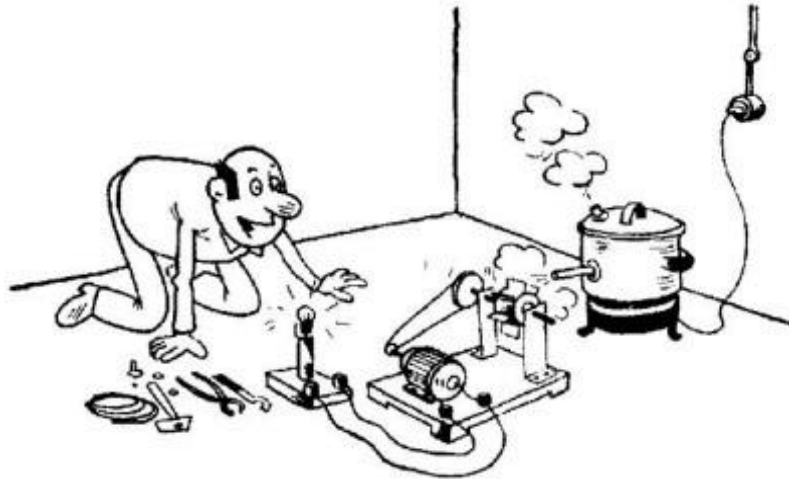


Fig. 3.6. Ejemplos de las transiciones recíprocas de los estados ordenados y desordenados: a, diferencia de presiones ($p_2 > p_1$); b, diferencia de temperaturas ($T_2 > T_1$); c diferencia de concentraciones ($c_2 > c_1$)

Ahora podemos volver a las propiedades de la entropía, a su interpretación estadística. Como resultado de los trabajos de L. Boltzmann y luego de M. Planck se estableció la relación conocida

$$S = k \cdot \ln(w) \quad (3.8)^{12}$$

La entropía es proporcional al logaritmo de la probabilidad termodinámica (es decir, al número w de microestados, por los cuales el macroestado dado puede ser realizado). El coeficiente k (la constante de Boltzmann) tiene un sentido físico determinado: él es igual a la relación de la constante universal de los gases R_{μ} al número de Avogadro N_A .

Con arreglo a los ejemplos examinados más arriba, la fórmula (3.8) muestra que cuanto mayor es el número w (por ejemplo, todas las monedas se encuentran en desorden o el gas está uniformemente distribuido en el recipiente, etc.), es decir, cuanto mayores la probabilidad del estado dado, tanto mayor es la entropía S . Si, al contrario, $w = 1$, es decir, todo está ordenado de manera única (por ejemplo, todas las monedas se encuentran en una misma posición), entonces $S = 0$ (por cuanto $\ln(1) = 0$).

De este modo, por cuanto todos los sistemas físicos tienden espontáneamente al estado de mayor probabilidad, al equilibrio, la entropía de cualquier sistema aislado, que varía libremente su estado, puede solamente aumentar. Si el sistema se encuentra ya en equilibrio o cambia reversiblemente su estado, la entropía será constante. Ella no puede disminuir espontáneamente. Los tres procesos mostrados en la fig. 3.6 pueden transcurrir solamente hacia la izquierda (aumento de la entropía S). A la derecha (la flecha rayada) no pueden transcurrir, puesto que la entropía en este caso disminuiría, lo que es imposible.

¹² Esta fórmula ha sido grabada en el pedestal del monumento sobre la tumba de L. Boltzmann en Viena.

De este modo, también la interpretación estadística de la entropía conduce a las tesis del segundo principio de la termodinámica: en los sistemas aislados la entropía puede permanecer invariable (en los procesos ideales, reversibles, donde el nivel de desorganización permanece invariable), o aumentar (en los procesos reales, donde la desordenación, desorganización aumentan).

En la formulación de M. Planck esta idea está expresada con extremada precisión: «En la naturaleza para cada sistema de cuerpos existe una magnitud, la cual para todas las variaciones, que se refieren sólo a este sistema, o bien permanece constante (los procesos reversibles), o bien aumenta (los procesos irreversibles). Ésta es la entropía del sistema».

Esta formulación del segundo principio de la termodinámica es muy próxima por su estilo y precisión a la formulación del primer principio dada por Feynman (ya la citamos anteriormente) y el sentido de la cual es análogo a la afirmación: «Existe una magnitud, la cual para todas las variaciones, que tocan solamente a este sistema, permanece constante. Ésta es la energía del sistema».

Correspondientemente la existencia del mpp-1 contradice a la constancia de la energía, y la existencia del mpp-2 de la misma manera contradice a la constancia o el aumento de la entropía. A diferencia del primer principio, que se refiere a los llamados «dinámicos», el segundo principio tiene, como vimos, carácter estadístico. En los «razonamientos» sobre los principios, con los males finalizó el capítulo anterior, prometimos volver a las leyes estadísticas. Ahora ya se puede hacer esto.

Las leyes dinámicas describen el estado y el comportamiento de los objetos individuales (cuerpos, sistemas). Su estructura interna no tiene importancia para las leyes dinámicas. Si se conoce que el sistema A ha transmitido al sistema B cierta cantidad de energía w (en condiciones cuando ambos están aislados), entonces sabemos exactamente que la energía del sistema A ha disminuido exactamente en W , y la del sistema B ha aumentado exactamente en la misma cantidad, independientemente de lo que en este caso en ellos sucede.

Las leyes estadísticas describen el estado y el comportamiento del conjunto de objetos, examinándolo como algo entero.

Con este enfoque, el cuerpo físico (por ejemplo, gas) se examina como el conjunto de moléculas, el comportamiento de cada una de las cuales se determina por la casualidad. Nosotros no podemos decir exactamente cómo se comporta cada molécula por separado (como, por ejemplo, cada moneda en el ejemplo examinado más arriba). No obstante, «el comportamiento común» de las moléculas (lo mismo que la cantidad de monedas que se encuentran en una posición determinada) nosotros podremos determinar con un grado de probabilidad determinado. Esta probabilidad, como ya vimos, es tanto mayor, cuanto mayor es el número de moléculas aisladas que determinan la presión, la temperatura y la entropía del gas o del líquido.

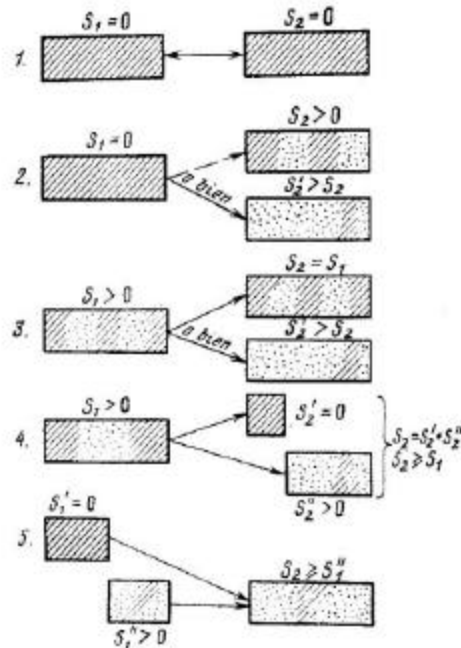


Fig. 3.7. Transiciones posibles de los sistemas de un estado a otro. La transición de izquierda a derecha es posible en todos los casos; de derecha a izquierda, solamente en el primero (el proceso es reversible)

La probabilidad de la predicción de tales magnitudes comunes, determinadas por las leyes estadísticas, como vimos incluso en ejemplos simples, es prácticamente igual a la unidad, y la desviación de ella, a ceros¹³.

Después de que aparecieron las primeras leyes estadísticas, al principio ellas se consideraban «secundarias», «deficientes». En la actualidad las leyes estadísticas han ocupado en la ciencia, en particular en la física, una posición equitativa (si no prevalente) con relación a las dinámicas. Ellas predicen con la misma fiabilidad el comportamiento de los sistemas (naturalmente, si la cantidad de partículas, que forman el conjunto, es lo suficientemente grande), como las dinámicas.

Por eso el segundo principio de la termodinámica, que tiene naturaleza estadística, es tan fiable e «infrangible» como el primero.

Las tentativas de fundamentar el mpp-2, alegando la «deficiencia» del segundo principio, debido a su naturaleza estadística, son absolutamente inútiles. Valiéndonos de la noción de entropía podemos determinar precisamente cuáles procesos en principio son permitidos por el segundo

¹³ A veces surge la pregunta de cómo se realiza en la naturaleza la transición a estados más probables. En el ejemplo de las monedas y la bandeja para ello fue necesaria cierta «fuerza exterior», hizo falta que alguien sacudiera la bandeja. ¿Y en la naturaleza? El hecho consiste en que la naturaleza siempre ella misma «sacude la bandeja», por cuanto en ella no existe inmovilidad, equilibrio. Otra cosa es que a veces (y con frecuencia) esta «sacudida» no es lo suficientemente fuerte para «desenfrenar» rápidamente ciertos desequilibrios.

El hombre, en su propio interés, puede acelerar este proceso. Por ejemplo, al quemar el combustible para obtener energía eléctrica, nosotros utilizamos el desequilibrio químico entre el combustible y el oxígeno del aire. Más detalladamente sobre esto se hablará más adelante.

principio de la termodinámica y cuáles él prohíbe. Es evidente que a los primeros se refieren todos aquellos en los que la entropía S es invariable o aumenta, y a los segundos, aquellos en los que ella disminuye.

Es más cómodo mostrar esto gráficamente (fig. 3.7). A la izquierda convencionalmente en forma de rectángulos se muestran las posiciones iniciales (antes de realizar el proceso), a la derecha, las finales (después de su finalización). Las dimensiones de cada rectángulo, que muestra el estado del sistema, corresponden a su energía; conforme al principio de conservación de la energía su área en el estado filial es igual a la inicial. Cuanto menor es la entropía S del sistema, tanto más ordenado está este sistema. Las líneas con flechas en la figura muestran la dirección posible de la marcha de los procesos; la transición en dirección contraria es imposible.

El primer proceso, la transición de un estarlo completamente ordenado (1), que corresponde a la entropía nula (se designa con rayado), a otro estado (2) igualmente ordenado. Como ejemplos característicos de dispositivos con semejantes procesos pueden servir el reductor mecánico, el transformador eléctrico o el motor. En el caso extremo cada uno de ellos puede transformar totalmente el trabajo mecánico o la energía eléctrica en trabajo o en energía eléctrica con otras características necesarias. Si en el sistema hay pérdidas (rozamiento, extracción de calor debida al calentamiento eléctrico), el paso del sistema a un nuevo estado irá acompañado de cierto surgimiento de entropía (caso 2). Cuanto mayores sean las pérdidas, tanto mayor será su valor ($S'_2 > S_2 > S_1 = 0$).

También puede ocurrir que el sistema en la posición inicial se caracteriza por cierta entropía S_1 diferente de cero (caso 3). Él puede pasar tanto al estado con la misma entropía $S_2 = S_1$, conservando el nivel inicial de desordenación (proceso ideal), como a cualquier estado con mayor entropía $S'_2 > S_2$ (proceso real).

Puede ocurrir también (caso 4) que de un sistema se formen dos (o de un flujo de energía, dos). En este caso la suma obtenida de entropías debe ser, hico igual a la inicial (proceso ideal, $S'_2 + S''_2 = S$), bien superarla (proceso real, $S'_2 + S''_2 > S_1$). En este último caso es posible en particular, la situación en la cual uno de los resultados finales del proceso (parte del sistema o el flujo de energía) se caracterizara por menor entropía que el estado inicial. Pero semejante «ennoblecimiento» (disminución del desorden) en una parte se compensa inevitablemente por igual o aún mayor aumento de la entropía en la otra parte. Aquí una parte «se hace ordenada» a cuenta de la otra parte, pero en resumidas cuentas la entropía total de nuevo aumentará.

Por fin, examinemos el quinto caso. Aquí al principio o bien hay dos sistemas con distinta entropía, o bien se suministran dos flujos de energía: uno en forma ordenada ($S = 0$, trabajo), y el otro en forma desordenada ($S'_1 > 0$, calor). Como resultado se obtiene un sistema (o flujo de energía) con la entropía común S_2 , mayor (en el proceso real) o igual (en el ideal) a la entropía S''_1 ¹⁴.

Es fácil ver que todos los dispositivos técnicos creados por el hombre transforman la energía conforme a uno de los esquemas descritos (o su combinación). Sobre el primero y el segundo ya hemos hablado. El tercero corresponde a la numerosa clase de procesos en los cuales se transforman flujos de distinto nivel de desordenación sin una participación esencial de los flujos de energía ordenados, sin entropía (trabajo, energía eléctrica). A éstos pertenecen muchos procesos químico-tecnológicos y otros, en los cuales participan principalmente; los flujos de sustancia y de calor.

¹⁴ Es evidente que en los casos cuarto y quinto a la derecha (y respectivamente a la izquierda) pueden encontrarse no dos sistemas o dos flujos, sino más. La condición de que la entropía total a la derecha debe ser igual o mayor que la entropía a la izquierda, naturalmente, se conserva.

De ejemplo del cuarto caso puede servir una central termoeléctrica, que genera energía eléctrica ($S = 0$) y que entrega el calor no transformado con mayor entropía al medio ambiente.

Por fin, al quinto caso corresponde la bomba de calor. Al sistema se suministra trabajo ($S = 0$) y calor del medio ambiente $S_1 > U$, y se deriva el calor a una temperatura más alta con la entropía $S_2 > S_1$

Todos los casos de transformación de la energía, en los cuales la transformación según los esquemas 2-5 transcurriría no de izquierda a derecha, sino de derecha a izquierda, pertenecen a los irrealizables: ellos son imposibles, por cuanto la entropía disminuye. Todos los motores perpetuos de segunda especie, que examinaremos en adelante, se reducen al fin de cuentas a una de estas imposibilidades.

Todo lo dicho en este capítulo sobre el principio de Carnot, el orden y desorden, sobre la entropía y su interpretación estadística maestra que el segundo principio de la termodinámica, que prohíbe el mpp-2, no puede ser refutado por el argumento de que él «no es general, por cuanto es estadístico». Por doquier donde actúan las leyes físicas de naturaleza estadística (mientras que todas las variantes posibles, mejor dicho imposibles de mpp-2, así como toda la técnica, funcionan precisamente en estas condiciones), el segundo principio es inquebrantable. La regla cotidiana (muy bien conocida sobre todo por las mujeres), que el desorden siempre surge de por sí mismo del orden, mientras que para poner en orden siempre requiere el gasto de trabajo, aquí se justifica totalmente.

No obstante, los ideólogos del mpp-2 tienen como reserva tres «potentes» argumentos más en contra del segundo principio. Uno de ellos está relacionado con los problemas filosófico-cosmológicos, la refutación de la teoría de la «muerte térmica del Universo». Refutando esta teoría, los partidarios del mpp-2 pretenden desmoronar también el segundo principio. Otro argumento es la existencia de vida, la cual, según su opinión, también refuta el segundo principio. El tercer argumento no es tan global como los dos primeros: él se refiere al campo de la técnica. Los partidarios del mpp-2 consideran que ya existe un dispositivo técnico, la acción del cual ya refuta claramente el segundo principio de la termodinámica. Este dispositivo es, por muy extraño que parezca, la bomba de calor, de la cual ya hablamos.

Por esta razón, no se puede pasar al examen de muestras concretas de mpp-2 sin tocar tanto los caos primeros problemas, al parecer muy lejanos de la energética, como el tercero, que pertenece directamente a ella, sobre la bomba de calor.

CAPITULO CUARTO

"Muerte térmica del Universo", biología, borra de calor

*Incluso un pequeño grupo de personas
puede crear un gran enredo.*

B. Franklin

4.1. "La muerte térmica del Universo" y el mpp.2

La primera parte del primer principio de la termodinámica - tesis sobre la existencia de la entropía y su invariabilidad en los procesos reversibles- ya no produce en nadie duda alguna. Una situación diferente se produjo con otra de las partes de este principio - tesis sobre el inevitable aumento de la entropía en procesos reales irreversibles. La discusión acerca del principio de crecimiento de la entropía y de los límites de su utilización comenzó desde el preciso momento en que Clausius lo formuló. El motivo reside en que él limitó el campo de aplicación del principio de crecimiento de la entropía no a sistemas aislados de dimensiones finitas, sino, ni más ni menos, que a todo el Universo. Esto condujo inevitablemente a consecuencias de gran alcance.



Fig. 4.1 Rodolfo Clausius

Sobre esto Clausius escribió así: «El trabajo que puede ser realizado por las fuerzas de la naturaleza y que hay en los movimientos de los cuerpos celestes, paulatinamente se transformará cada vez más en calor¹. El calor en su paso constante de un cuerpo más caliente a otro más frío y tratando con ello de equilibrar las diferencias de temperaturas existentes, paulatinamente se distribuirá de una manera más uniforme y llegará también el equilibrio conocido entre el calor de radiación y el de los cuerpos. Y por fin, respecto a su disposición molecular, los cuerpos se aproximarán a cierto estado, en el cual la dispersión total de la temperatura dominante será la mayor posible». Y a continuación: «Nosotros, por consiguiente, debemos deducir la conclusión de que en todos los fenómenos naturales el valor total de la entropía en todo momento puede crecer, pero no disminuir y por tanto obtenemos, como expresión abreviada del proceso de

¹ Recordemos que por aquel tiempo no existían definiciones precisas sobre el trabajo y el calor, por lo que el «trabajo» sobre el que escribía Clausius es la energía mecánica y el «calor», la energía interna de los cuerpos.

transformación que transcurre siempre y en todas partes, la siguiente tesis: la entropía del Universo tiende a cierto máximo.

Cuanto más se acerque el Universo a este estado límite, en el que la entropía alcance su máximo, tanto más desaparecerá el motivo de cambios sucesivos, y si dicho estado fuera por fin alcanzado en su totalidad, no se producirían cambios sucesivos y el Universo se encontraría en cierto estado de inercia muerto.

El estado actual del Universo se encuentra muy lejos aún de tal estado límite y el acercamiento a este estado se produce de una manera tan lenta que todos aquellos intervalos de tiempo que nosotros denominamos históricos representan lapsos muy cortos comparados con aquellos enormes períodos de los que tiene necesidad el Universo para realizar transformaciones comparativamente pequeñas. Con todo ello sigue siendo un resultado importante la conclusión de que se ha obtenido una ley natural que permite concluir con seguridad de que en el Universo no todo es rotación sino que él cambia cada vez más y más su estado en determinada dirección y tiende, de esta manera, a cierto estado límite».

En apoyo de esta tesis de Clausius se expresó, aunque de una manera más cauta, W. Thomson (Kelvin). En lo sucesivo la teoría de la «muerte térmica» fue defendida por científicos que se mantenían en posiciones filosóficas idealistas. J. Jeans (1877-1946), conocido astrofísico inglés, fue el que expresó este punto de vista de la manera más precisa. Siendo un buen popularizados, él encontró una imagen del Universo expresiva, realmente espantosa, en forma de una máquina que vive sus últimos días: «La máquina del Universo se rompe, se agrieta y se destruye; su reconstrucción no es posible. El segundo principio de la termodinámica obliga al Universo a moverse siempre en una misma dirección por un camino que conduce a la muerte y a la destrucción».

La Iglesia se agarró enérgicamente a la teoría de la «muerte térmica», por cuanto esta teoría «trabajaba» directamente para ella. El Papa Pío XII, uno de los pastores de la Iglesia Católica, profirió al respecto: «La ley de la entropía, descubierta por Rodolfo Clausius, nos dio la seguridad de que en un sistema material cerrado... al fin y al cabo los procesos a escala macroscópica algún día cesarán. Esta lamentable necesidad confirma la existencia del Ser Necesario».

Totalmente contraria fue la postura tomada por filósofos y físicos materialistas.

F. Engels fue el primero en prever a dónde conduce la teoría sobre la «muerte térmica» y qué utilización le encontrarán los servidores de la Iglesia. En su obra «Dialéctica de la Naturaleza» a esta cuestión le dedicó varios artículos escritos entre 1873 y 1875. Expongamos uno de ellos en el que refleja con mayor claridad, utilizando términos muy actuales, sus puntos de vista sobre la teoría de la «muerte térmica»:

«...Comoquiera que se interprete la segunda tesis de Clausius, pero según él, la energía se pierde si no de manera cuantitativa, sí de manera cualitativa. La entropía no puede desaparecer de manera natural. sin embargo, puede crearse. Al reloj mundial primero hay que darle cuerda y después comienza su marcha hasta que llegue al equilibrio, del cual sólo le puede sacar un milagro. La energía consumida en darle cuerda desapareció, por lo menos en el sentido cualitativo y sólo puede ser restablecida mediante un impulso exterior. Por consiguiente el impulso exterior fue necesario también al principio, por consiguiente la cantidad de movimiento o de energía disponible del Universo no siempre es igual, por consiguiente, la energía puede crearse artificialmente, por consiguiente, ella es creable, por consiguiente, ella es aniquilable. ¡Ad absurdum!» [1.4].

Aquí Engels utiliza la «demostración por reducción al absurdo»; desarrollando el pensamiento de Clausius, él lo reduce al absurdo, demostrando así su improbabilidad.

El absurdo consiste en que el mundo fue creado por cierta fuerza exterior («Ser Necesario», como se expresó el Papa Pío XII) y tarde o temprano desaparecerá².

Esta hipótesis, que en principio coincide con la bíblica, «sobre el comienzo y el fin. del mundo» para el filósofo materialista, por supuesto, es totalmente inadmisibile.

La ciencia moderna confirma totalmente la postura de Engels, a pesar de que todos los hechos conocidos invariablemente coinciden con la tesis sobre el crecimiento de la entropía. Esto se refiere tanto a las condiciones terrestres como al Cosmos. En la parte del Universo que nosotros conocemos (cuyas fronteras constantemente se amplían) no se detectaron fenómenos que contradigan el principio de crecimiento de la entropía. Tanto a escala terrestre como a la del Cosmos visible, la disminución de la entropía en un lugar siempre va acompañada del aumento aún mayor en otro, de manera que la entropía total aumenta invariablemente.

¿Cómo se elimina la contradicción entre la concepción inadmisibile de la «muerte térmica» del Universo y el Hecho de que en una parte de éste, conocida por nosotros, la entropía de todos modos aumenta?

M. Planck escribió mejor que nadie sobre el error de Clausius que generalizó el principio de crecimiento de la entropía a todo el Universo (con lo cual armó la de San Quintín): «Apenas, en general, tiene sentido hablar sobre la energía o la entropía del mundo, por cuanto tales magnitudes no se prestan a una determinación precisa».



Fig. 4.2. Luis Boltzmann

En lo que respecta a teorías concretas relacionadas con las causas que excluyen la difusión «a todo el Universo» del principio de crecimiento de la entropía, en esta dirección trabajaban y trabajan muchos científicos, empezando por L. Boltzmann. Esta cuestión se sale del marco de nuestro problema; puede estudiarse no sólo en libros especializados [1.24-1.25], sino también en otros, de ciencia ficción [2.18).

De todo lo expuesto antes, la conclusión puede ser unívoca: pase donde pase el límite de utilización de la tesis sobre el crecimiento de la entropía, y por consiguiente, del segundo principio en su conjunto, este límite pasa bastante lejos de las condiciones existentes en la parte del Universo conocida por nosotros. Para los que se ocupan de la energética terrestre e incluso de la cósmica, el segundo principio de la termodinámica es inamovible.

² Es característico que en otras religiones antiguas la creación del mundo está relacionada con la actividad «antientrópica» de los dioses (por ejemplo, Mardoqueo de los babilonios o Asur de los asirio) que establecen el orden en el caos y que lo transforman en cielo y tierra ordenados con precisión.

La certeza del segundo principio de ningún modo determina la inevitabilidad de la «muerte térmica» del Universo. Del mismo modo la negación de la «muerte térmica» no conduce, de modo alguno, a la negación del segundo principio de la termodinámica: son cosas diferentes. El segundo principio actúa «dentro de su competencia» siendo ineludible; estos límites, como vemos, son suficientemente amplios.

Aquí funciona el mismo principio de correspondencia de N. Bohr del que hablamos en la «Deliberación sobre las leyes». Las leyes más amplias de la termodinámica relativista, que rechazan la muerte térmica del Universo y que hoy se están creando, nunca suprimirán su segundo principio, sino que lo incluirán como un caso particular que conserva la fuerza dentro de determinados límites de este principio (al igual que la mecánica clásica forma parte de la mecánica relativista).

Los partidarios del mpp-2 que defienden la posibilidad de utilizar en la energética la «concentración de energía» sobre la base de reducir la entropía, de ninguna manera pueden conformarse con que la negación de la «muerte térmica» y la negación de la ley de crecimiento de la entropía son cosas diferentes. Ellos afirman con insistencia de que, puesto que la teoría sobre la «muerte térmica» es incierta, lo es también el segundo principio «del cual ella se deduce». El hecho de que dicha teoría de ninguna manera se deduce del segundo principio y esta vía lógica (extrapolación del principio fuera de los límites de su aplicación) es inadmisibles y se ignora.

De todo lo anterior queda claro que no se puede refutar el segundo principio de la termodinámica, trasladando la discusión a la magnitud del Universo. Tanto más que no es posible demostrar de esta manera (a pesar de la amplia utilización de citas de clásicos de la ciencia) la existencia de procesos «antientrópicos», es decir, que transcurren con disminución de la entropía, aptos para la realización del mpp-2³.

La inestabilidad de la base «cósmica» de las teorías antientrópicas obliga a los partidarios del mpp-2 a buscar para sí un cimiento más seguro (sin renunciar también a lo anterior). Cierta confusión en la termodinámica biológica creó para ello una base favorable.

³ Se sabe que en situaciones cuando la discusión carece de argumentos o hechos serios, algunas personas recurren a citas de personas prestigiosas; con especial frecuencia se cita a los clásicos. Este procedimiento de la Edad Media utilizado ampliamente para demostración «argumentum ipse dixit» (lo dijo el mismo) por los ideólogos del mpp-2 [3.13.2], además las correspondientes citas se emplean sin un análisis serio, sin considerar la época y las condiciones en que dicha cita fue escrita

4.2. Naturaleza viva y segundo principio de la termodinámica

El segundo argumento, a primera vista convincente, predestinado a derribar la utilización general del segundo principio de la termodinámica es la afirmación de que la existencia de la vida en la Tierra contradice a dicho principio. Sobre que la vida es un «proceso antientrópico» que conduce a la concentración y «ennoblecimiento» de la energía escriben no sólo los defensores del mpp-2. No fueron ellos quienes lo inventaron, simplemente hacen referencia a algo que escribieron ciertos filósofos, véase, por ejemplo, [3.11]; existen incluso biólogos [3.12; 3.26] que predicán tales teorías, sin hablar ya de especialistas de otras ramas de la ciencia que también tocan de paso este tema interesante. Como siempre en estos casos los autores presentan una gran cantidad de citas de las obras de clásicos de la ciencia en las que de una manera u otra se escribe de la entropía y la vida. Realmente, si la vida es antientrópica, no existen prohibiciones esenciales para la creación del mpp-2 basado en principios tomados de la biología.

He aquí lo que escribe al respecto el Profesor P. Ostroumov en la introducción del libro de P. K. Oschepkov [3.1): «...Incluso en el mundo que nos rodea directamente observamos fenómenos en los que el caos cede ante el orden, donde de igual manera, aunque temporalmente, se observan una especie de desvíos respecto de las leyes de la estadística, y la teoría de las probabilidades requiere su ampliación y profundización. Son fenómenos de la naturaleza viva. Aquí el segundo principio en su forma primitiva no siempre es aplicable. Involuntariamente surge la idea: ¿Podrá crearse artificialmente un mecanismo que regule la agitación térmica estadística de las partículas y que reproduzca las funciones del organismo vivo aunque sea de la parte energéticas».

Si omitimos unas palabras muy imprecisas pero «sabias», sin un contenido exacto, algo así como un «retroceso temporal respecto de las leyes de la estadística», una forma primitiva del segundo principio» y una «ampliación y profundización de la teoría de las probabilidades», quedará una tesis lo suficientemente precisa: la naturaleza viva nos muestra procesos antientrópicos que contradicen al segundo principio; familiaricémonos con ellos y sobre su base hagamos el mpp-2. Si esto es así, hay que atender a los llamamientos de Ostroumov y Oschepkov y apoyar el esfuerzo de los energéticos en esta dirección prometedora; si por el contrario esto no es así y la naturaleza viva se rige por el segundo principio, no tendrá sentido hacerse eco de los llamamientos de estos científicos, puesto que conducen a un callejón sin salida.

Así pues, ¿qué es lo que sucede con la entropía en la naturaleza viva? Para comprender esto, no hay ninguna necesidad de llevar a cabo investigaciones especiales: la cuestión hace tiempo que está resuelta y sólo es preciso estudiar la correspondiente literatura. La esencia de la cuestión, de la manera más clara, está enfocada en un pequeño libro clásico pero de un gran contenido del conocido físico E. Schrödinger «¿Qué es la vida desde el punto de vista de un físico?» [1.81]. En 1984 apareció un libro de divulgación científica del Miembro Correspondiente de la A.C. de la URSS, K. K. Rebane [1.101] dedicado, en gran medida, a este mismo tema. Nosotros enfocaremos esta cuestión no tanto desde posiciones físicas como desde posiciones termodinámicas ingenieriles más concretas, teniendo en cuenta el objetivo final relacionado con el mpp-2.

Ante todo escribamos para ello en rasgos generales el balance energético, característico para las plantas y después uno igual para los animales. Tal balance puede presentarse con suficiente seguridad si no profundizamos en la esencia de los complejísimos procesos biológicos y nos limitamos a los flujos de energía entrantes y salientes.

La fig. 4.3 muestra el esquema de los balances material (flujos de sustancia) y energético de las plantas basados en las leyes de conservación de la masa y de la energía. Para hacer estos balances rodeemos la planta con la llamada superficie cerrada de control (línea de trazos) para tener en

cuenta los flujos entrantes y salientes. Si aunque sea uno de ellos no entra en el recuento (o, por el contrario, se tiene en cuenta aquél que no atraviesa la superficie de control), el balance resultará incorrecto.

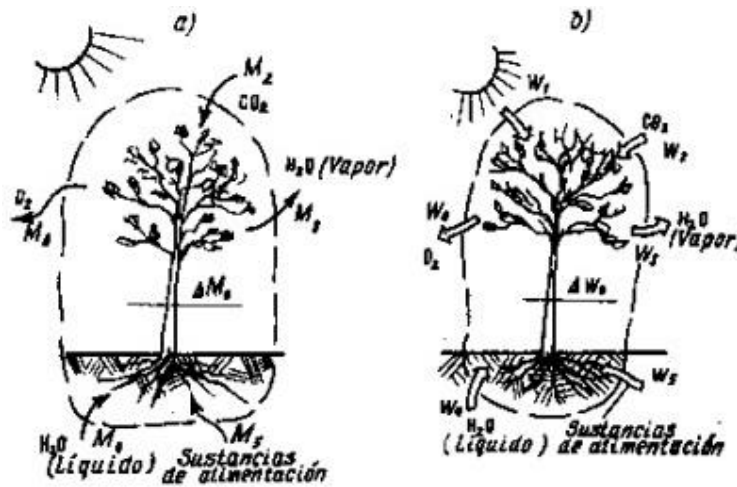


Fig. 4.3. Esquemas de los balances material (a) y energético (b) de las plantas

En tal caso no se pueden hacer conclusiones de un valor más o menos aceptable. Trataremos de no cometer tal error.

El balance material tendrá la siguiente expresión:

$$M_2 + M_4 + M_5 - (M_3 + M_6) = \Delta M_0.$$

Esta ecuación muestra: todo lo que recibe la planta ($M_2 + M_4 + M_5$) en un espacio de tiempo, descontando lo que entrega ($M_3 + M_6$), representa el incremento ΔM_0 de su masa relacionado con su crecimiento. Una fórmula similar se obtiene también para la energía:

$$W_1 + W_2 + W_4 + W_5 - (W_3 + W_6) = \Delta W_0$$

En esta fórmula ΔW_0 es el incremento de la energía interior de la planta determinado como el aumento de la masa a causa del crecimiento de la planta.

Para establecer si altera o no este sistema el segundo principio de la termodinámica, es preciso comprobar qué es lo que ocurre con la entropía en el transcurso de la vida de la planta: ¿aumenta o disminuye?

Es evidente que el tejido vivo de la planta tiene una organización estructuralmente más elevada que las sustancias alimenticias que recibe del aire. Por esto cuando se forma este tejido (con una masa ΔM_0) su entropía será sin duda menor que la entropía sumaria de las sustancias iniciales (CO_2 , H_2O y las sustancias alimenticias del suelo). En este sentido la formación y acumulación del tejido vivo de la planta y el mantenimiento de su existencia será sin duda un proceso anti-entrópico. Pero de ningún modo hay que olvidar que simultáneamente varía, de manera inevitable, la entropía de los flujos de sustancias y energía que atraviesan la superficie de control. Aquí se obtiene el cuadro inverso (fig. 4.3): la entropía total de los flujos salientes (3 y 6) inevitablemente resulta mucho mayor que la de los entrantes (1, 2, 4 y 5). Esto se debe a que la entropía de la radiación solar⁴ que se absorbe no es grande, así como la de las sales minerales que

⁴ El flujo de radiación como cualquier flujo de energía también tiene cierto grado de desorden (diferentes frecuencias y otras características de las oscilaciones en las distintas partes del espectro). Sólo la radiación

recibe la planta del suelo; la entropía de los gases - oxígeno y CO₂- tiene valores próximos. Sin embargo, la entropía del vapor de agua que desprenden las hojas es relativamente grande (unas 3 veces mayor que la del agua). Como resultado la entropía de los flujos que pasan por la superficie de control aumenta mucho más de lo que disminuye la entropía de las sustancias que se transforman en tejido orgánico.

Si designamos la primera magnitud, el incremento de la entropía, por $\Delta S'$ y la segunda (disminución de la entropía), por $\Delta S''$, resultará que siempre $\Delta S' \gg \Delta S''$.

Por consiguiente, en su totalidad la entropía inevitablemente aumenta en $\Delta S = \Delta S' - \Delta S'' \gg 0$.

Dicho de otra manera, las plantas pueden crecer de manera antientrópica sólo por el hecho de que «desprenden» el exceso de entropía al medio que las rodea; además el aumento de la entropía en el medio es mucho mayor que su reducción en la propia planta. Por ello son totalmente erróneos todos los razonamientos sobre el papel «antientrópico» de la «vida vegetal» y sobre la «alteración del segundo principio de la termodinámica». Éstos se basan en que no se tienen en cuenta, en su totalidad, las magnitudes que determinan la variación total de la entropía y en la sustitución del análisis preciso y el cálculo por razonamientos abstractos.

Si tomamos otra parte del mundo orgánico, los animales, aquí observamos el mismo cuadro. Los animales se alimentan de plantas (o de otros animales), consumen agua y oxígeno del aire y desprenden CO₂, calor y productos de la digestión. La entropía de todo lo que se desprende es mucho mayor que la de lo que se consume. Como resultado de la disminución de la entropía que tiene lugar tanto durante la formación de nuevos tejidos orgánicos y la desaparición de los viejos, como durante el mantenimiento de su vida, resulta mucho menor que el incremento total de la entropía. Los animales también «desprenden» la entropía sobrante al medio que los rodea, desarrollando o manteniendo de esta manera su estructura interior de alta organización y pequeña entropía. En su conjunto la entropía inevitablemente crece otra vez. Con gran claridad ilustró esta tesis E. Schrödinger del cual ya hemos hablado.

Él la expresó así: «La entropía del gato disminuyó a cuenta del aumento de la entropía del sistema «gato - ratón». es decir, lo que se obtiene del ratón después de que el gato se lo haya comido y digerido tiene mayor entropía que el mismo ratón».

Así pues, impugnar el segundo principio por otra parte, por la biológica, también resulta imposible. Queda otra, la última oportunidad: crear un dispositivo técnico (o encontrar uno ya creado) que funcione contrariamente al segundo principio de la termodinámica. Lo mejor de todo, claro está, sería si tal sistema fuera un motor y realizara trabajo; pero esto, en fin de cuentas, no es obligatorio. Para la demostración es suficiente indicar cualquier sistema de este tipo, por cuanto su posibilidad de existencia determina unívocamente la posibilidad de crear un mpp-2 que funcione. En el último párrafo de este capítulo examinaremos un dispositivo de este tipo, la bomba de calor, cuyo principio de funcionamiento ya hemos comentado en la página 211. En opinión de muchos partidarios de la «inversión energética», dicha bomba con su funcionamiento refuta de la mejor manera el segundo principio de la termodinámica.

Antes de iniciar el examen de la bomba de calor, será útil realizar un pequeño trabajo encaminado a dar a conocer un método termodinámico que permite determinar, de una manera simple y evidente, la posibilidad de funcionamiento de cualquier dispositivo propuesto desde el punto de vista del segundo principio y si puede, cuál será su efectividad termodinámica. Esto no sólo es muy cómodo para el análisis de la bomba de calor, sino también permitirá examinar adicionalmente el papel del segundo principio de la termodinámica en la biología.

monocromática coherente (por ejemplo, la del láser) está totalmente ordenada y (como el trabajo) tiene una entropía nula.

4.3. Balance exérgico y rendimiento

La entropía es la magnitud principal que determina la posibilidad (o imposibilidad) de que transcurran procesos en cualesquiera sistemas de transformación de la sustancia y la energía desde el punto de vista del segundo principio de la termodinámica. Si la entropía sumaria es invariable o crece, el proceso es posible; si disminuye, es imposible. En los casos antes examinados nosotros utilizábamos con éxito precisamente estas propiedades fundamentales para determinar qué puede haber en las transformaciones energéticas y qué no puede haber.

No obstante, no sólo esta propiedad determina la utilización práctica de la entropía. Ella puede ayudar a resolver otra cuestión no menos importante, determinar la calidad de las transformaciones energéticas (y, por consiguiente, de cualesquiera dispositivos en los cuales se realizan dichas transformaciones).

Cuando se habla de la tecnología de bajo gasto energético, de la disminución de las pérdidas de energía, en esencia no se habla de la energía en el sentido cuantitativo. Hay que comprender claramente que en el sentido cuantitativo no hay necesidad de ahorrar energía, de ello se ocupa automáticamente el primer principio de la termodinámica: el principio de conservación de la energía. Cualquier dispositivo técnico (y en general todo lo que vive y se mueve en nuestro mundo) funciona de tal manera que la energía se conserva: sale inevitablemente igual cantidad de energía que la que entró; la energía nunca se pierde. Por ello el ahorro de energía, en esencia, es la conservación de su calidad. De esta parte cualitativa de la energía escribió precisamente Engels en su «Dialéctica de la Naturaleza». Cualquier tecnología y dispositivos técnicos, en los cuales se obtiene energía son tanto más perfectos, cuanto menos crezca la entropía durante su funcionamiento, o sea, cuanto menos se «estropee» la energía.

Mostremos esto en un ejemplo simple, el de una estación termoeléctrica. En esta estación se produce toda una cadena de transformaciones energéticas. Primero la energía química del combustible y del oxidante (el oxígeno del aire) se transforma en energía interior de los productos de la combustión al rojo; después esta energía en forma de calor se comunica al agua y se transforma en energía interior del vapor. A su vez la energía del vapor en la turbina se transforma en energía mecánica y ésta, en eléctrica. Parte de la energía interior del vapor se retira del condensador mediante el agua de enfriamiento y se evacua al medio ambiente. En su totalidad esta secuencia cabe en la variante 4 del esquema de transformaciones energéticas de la fig.3.7. Parte de la energía (desde un 35 hasta un 40 %) se transforma en energía eléctrica totalmente ordenada sin entropía, la otra parte, la más grande, de baja calidad, con elevada entropía se expulsa al medio exterior. Es del todo evidente que cuanto más aumenta la entropía en cada una de las etapas de la transformación energética (es decir, cuanto peor están organizadas), tanto mayor será también el crecimiento sumario de la entropía. Esto conducirá inevitablemente a la reducción de la dosis de energía sin entropía a la salida (es decir, de la energía eléctrica) y al aumento de la dosis de calor de elevada entropía que se expulsa. En energía eléctrica se transforma no el 35-40 % de la energía química inicial sino menos, el 30, 25 %, etc. Lo mismo ocurrirá en cualquier otro sistema técnico, independientemente de lo que produzca: calor, frío, caucho o metal...

Cuanto menor es la perfección de los procesos tecnológicos y del equipo utilizado en estos procesos, tanto mayor será el crecimiento de la entropía y tanto menor será la cantidad de productos finales para un mismo gasto de energía.

Así pues, la economía de recursos energéticos siempre se reduce, a fin de cuentas, a la conservación de la calidad de la energía, a la lucha contra el aumento de la entropía.

Sin embargo, a pesar de las virtudes de la entropía (como criterio de la posibilidad de existencia de los procesos y como medida que caracteriza la calidad de las transformaciones energéticas en

ellas), utilizarla directamente para estos fines no se puede. Esto se debe a que la entropía y sus variaciones no muestran directamente la cantidad de energía, tanto la que nosotros en cada caso podemos disponer y podemos utilizar con provecho, como la que se pierde sin utilidad. Por supuesto que se pueden hallar conociendo la entropía, pero cada vez para ello se necesitará un cálculo especial con información adicional.

Para tener estas cantidades de inmediato y determinar simultáneamente si se altera o no el segundo principio fue inventado un concepto termodinámico especial, la exergía [11.18-1.19]⁵.

¿En qué consiste?

Ya hemos visto que cualquier energía ordenada (con una entropía $S = 0$) (fig. 3.7) siempre puede ser transformada íntegramente en cualquier otro tipo de energía; por el contrario, si la energía en tal o cual grado está desordenada ($S > 0$), sobre su capacidad para las transformaciones, el segundo principio impone determinada limitación. Cuanto mayor es esta entropía, tanto menor será la calidad de la energía y tanto menor cantidad de energía de alta calidad (sin entropía) (por ejemplo, trabajo o energía eléctrica) podrá dar en unas condiciones dadas. Esto quiere decir que la energía sin entropía puede servir como una especie de patrón, como una medida general de la calidad, de la capacidad de trabajo de cualquier tipo de energía. Vista precisamente fue nombrada exergía. En esta (medida común) exergía, por supuesto «que está escondida» la entropía como cierta magnitud base; esto es necesario pero insuficiente. Además de ésta, en la exergía inevitablemente también deben formar parte otras magnitudes que caracterizan tanto la energía como también el medio ambiente en el que la energía se utiliza.

Realmente, imaginémos, por ejemplo, que disponemos de 100 unidades (kJ) de calor Q a diferentes temperaturas $T = 500, 1000$ y 1500 K. La relación de Q respecto de T nos permite conocer la entropía, pero no la respuesta a la pregunta sobre el trabajo que se puede obtener a partir de este calor (es decir, cuál es su exergía). Para ello hay que hallar su capacidad de trabajo, su exergía, es decir, el trabajo máximo que puede dar.

Esta magnitud, la exergía del calor E_q se determina por aquella misma fórmula de Carnot-Clausius, que hemos mencionado en el capítulo anterior

$$L = Q \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Además de la temperatura T_1 en la fórmula entra también la temperatura del receptor de calor T_2 que nuestro problema corresponde a la temperatura del medio ambiente T_{ma} ⁶ Tomémosla igual a 300 K ($+27^\circ$ C).

Entonces la capacidad de trabajo (exergía) de 100 kJ de calor será: para el primer

$$E_{q1} = 100 \frac{500 - 300}{500} = 40 \text{ kJ}$$

para el segundo

$$E_{q2} = 100 \frac{1000 - 300}{1000} = 70 \text{ kJ}$$

⁵ Este concepto (pero con otro nombre) apareció no mucho más tarde que el propio segundo principio de la termodinámica, en los años 80 del siglo pasado, pero encontró su amplia utilización sólo en nuestros días. El término «exergía» (es decir, la capacidad exterior de revelarse la energía en el trabajo) fue propuesto por el científico yugoslavo Z. Rant en 1956.

⁶ Si entregamos el calor a otra temperatura, él aún tendrá cierta capacidad de, trabajo; para extraer todo el trabajo, hay que entregar el calor totalmente incapaz para el trabajo, o sea que tenga una temperatura igual a la del medio ambiente

y para el tercero, $E_{q3} = 80 \text{ kJ}$.

Por lo visto a otras T_{ma} el valor de la exergía será también distinto, por ello es obligatorio tenerlo en cuenta.

Es característico que los partidarios de la «inversión energética», o sea, de la extracción del calor del medio ambiente, su transformación en trabajo y creación sobre esta base del mpp-2, no reconocen el hecho evidente de que la capacidad de trabajo del calor depende de la temperatura. Esto precisamente es natural. La conformidad con la existencia de tal dependencia conduce de manera inevitable al desvanecimiento de la concepción del mpp-2, por cuanto el «calor del medio ambiente», cuando $T_1 = T_{ma}$, no puede producir ningún trabajo. No obstante, V. K. Oschepkov escribió: «Las calorías son calorías, independientemente de la temperatura a la que se midan» y sigue para no dejar duda sobre el sentido de esta afirmación: «En la naturaleza no hay y no puede haber energía más valiosa y menos valiosa: la energía siempre es energía» [3.1].

Naturalmente que no se ha presentado ningún tipo de demostración científica de esta, para no decir peor, rara tesis. Se ignora no sólo todo lo hecho en la termodinámica en los últimos 150 años transcurridos desde la época de Carnot, sino también todo lo que observamos en la naturaleza y utilizamos en la técnica.

De manera análoga a como se hace para el flujo de calor se puede determinar también la exergía de cualquier tipo de energía interior relacionada con cualquier cuerpo. En la determinación de la exergía, como función de la energía, con la que tenemos que ver, pueden participar no sólo la temperatura, sino también otras magnitudes, por ejemplo, la presión.

Si disponemos de una bombona con gas a determinada presión, supongamos que ésta sea de 10 MPa, en la atmósfera terrestre con una presión $p_2 = 0,1 \text{ MPa}$ dicho gas dispondrá de una capacidad de trabajo que puede ser realizada obligándola, por ejemplo, a mover una turbina en la que el gas se ensanche hasta 0,1 MPa.

Pero si ubicarnos dicha bombona en la atmósfera de Venus a una presión $p_2 = 10 \text{ MPa}$, o bien en el fondo del mar con esta misma presión, su capacidad de trabajo (la exergía del gas) será nula (las presiones p , y p_2 serán iguales, por lo que el gas de la bombona será energéticamente «muerto»).

La capacidad de trabajo, exergía de la sustancia, del portador de energía puede determinarse no sólo por la diferencia con el medio ambiente en temperatura y presión. No menos importante es la diferencia en la composición química. Si ésta existe, también existirá la exergía que se puede transformar en trabajo o en otra energía sin entropía, mediante el correspondiente dispositivo. Esto también puede ser explicado en un ejemplo «cósmico». El gas natural (principalmente el metano) posee una gran capacidad de trabajo en el aire o aún mayor en un medio de oxígeno. Pero si lo ubicamos en una atmósfera de metano (digamos en Júpiter) su capacidad de trabajo desaparecerá, la exergía se anulará. El aire, por el contrario, en las mismas condiciones se convertirá en un «combustible» estupendo con una gran capacidad de trabajo.

No es difícil ver que todos los ejemplos expuestos son similares a los que se exponían antes (fig. 3.6), cuando se analizaba el concepto de entropía. La exergía (posibilidad de obtener trabajo) existe si hay diferencia de potenciales de magnitudes intensivas: temperaturas, presiones o composiciones químicas. Si no existen, o sea el sistema energéticamente está muerto, la entropía tiene su valor máximo.

La diferencia entre los últimos ejemplos y los de la fig. 3.6 consiste en que las veces de una de las mitades del recipiente las desempeña el ambiente, lo cual corresponde en mayor grado a los problemas técnicos reales.

La valoración de los recursos energéticos por medio de la exergía se emplea también en gran medida en la teoría: en muchos apartados de la termodinámica y en la práctica ingenieril. La exergía cumple las veces de medida general para todos los tipos de energía (flujo de calor, sustancia, radiación), determinando su calidad con una medida cuantitativa precisa. Ella permite definir el segundo principio de la termodinámica en una forma menos general pero por otro lado más práctica y cómoda que la entropía. Esta definición reza: En cualesquiera procesos reales que tienen lugar en condiciones de interacción con un medio ambiente equilibrado, la exergía o bien queda invariable (en los procesos ideales) o bien disminuye (en los procesos reales). Esto significa que todo proceso, en el que la exergía general en la salida E'' es igual o menor que la de entrada E' , es posible; por el contrario si $E'' > E'$, el proceso es imposible y representa cierta variante del mpp-2.

Si calculamos la relación entre E'' y E' , obtendremos el llamado rendimiento exérgico $\eta_{ex} = E''/E'$. Es evidente que η_{ex} en el caso ideal es igual a la unidad, es decir, al 100 %, pero en los casos reales $\eta_{ex} < 100$ %. Si por el contrario se obtiene η_{ex} mayor del 100 %, inevitablemente estamos ante cierta variante del mpp-2. Aquí se perfila una relación precisa con la determinación entrópica fundamental del segundo principio. En el primer caso el proceso ideal corresponde a la constancia de la entropía y en el segundo, a su crecimiento. Pero la utilización del criterio exérgico es más cómoda: él incluye directamente las magnitudes energéticas y en este sentido es similar al primer principio de la termodinámica. (Recordemos que una condición obligatoria del cumplimiento del primer principio es la igualdad de las energías: $\sum W'' = \sum W'$; para el segundo principio $\sum E'' < \sum E'$.)

Armados de las ecuaciones exérgicas, sin excesivas complicaciones, se puede analizar cualquier proceso o sistema que deseemos. Si el sistema aún no existe, podemos investigar su proyecto con el objeto de determinar la posibilidad de su ejecución; si existe, puede comprobarse la magnitud de su rendimiento.

La exergía permite también formular una definición cómoda del mpp-2 simétrica a la definición del mpp-1. Si el mpp-1 es una máquina que genera energía de la «nada» ($\sum W'' > \sum W'$; la diferencia $\Delta W = \sum W'' - \sum W'$ no se obtiene de ninguna parte), el mpp-2 es una máquina que obtiene exergía del mismo «material» ($\sum E'' > \sum E'$; la diferencia $\Delta E = \sum E'' - \sum E'$ también se obtiene de la «nada»).

La exergía permite caracterizar de una manera más cómoda que con la entropía las transformaciones energéticas en los objetos biológicos. Caracterizando realmente la energética de las plantas y de los animales, nosotros a semejanza de [1.8, 1.10] hablábamos de que consumiendo flujos de sustancia y de energía con poca entropía, ellos los devuelven con entropías mayores, es decir, «desprenden» entropía al medio ambiente. De esta manera se demuestra que ellos funcionan de total acuerdo con el segundo principio. ¿Pero cómo en una palabra (además rigurosamente científica) decir no de lo qué ellos desprenden, sino de lo qué se alimentan (en el sentido energético)?

Los físicos, acostumbrados a su «querida» y comprensible «entropía» (en expresión de un físico-químico) no pudieron desprenderse de ella y enfocaron el problema de una manera puramente matemática. E. Schrödinger introdujo el concepto de «no entropía (entropía negativa, entropía de signo contrario)». Resulta, por consiguiente, que ellos se «alimentan» de entropía negativa, es decir, de la «no entropía». Tras Schrödinger lanzaron el término «no entropía» otros físicos y tras éstos algunos biólogos. Desde el punto de vista matemático formal aquí todo está en orden; cualquier magnitud puede ser presentada como positiva y como negativa. No obstante, tras el

término «no entropía» no se encuentra ninguna realidad física: la magnitud de la entropía es menor de cero y corresponde a cierto estado inexistente de «superorganización».

Es evidente que la exergía de una manera más rigurosa que la «no entropía caracteriza la energía de calidad regulada, a costa de la cual vive el organismo.

La «alimentación» del organismo con exergía tiene un sentido físico preciso. Lo que utiliza el organismo se determina directamente mediante la diferencia de exergías recibidas y retiradas. Con este concepto todo se ubica en su lugar sin reservas.

En particular, los enlaces energéticos de la «pirámide ecológica» se tornan claramente divisibles. Las plantas, consumiendo exergía con la luz solar y las sustancias del suelo y del aire, ni sólo viven ellas mismas, sino también dan exergía a los animales. La persona que se encuentra en la cúspide de la pirámide ecológica recibe exergía de «todos los niveles» de la pirámide: de las plantas, animales, del medio ambiente desbalanceado. Cada «nivel» tiene también sus desperdicios, cuya exergía se utiliza en los niveles inferiores.

Curiosamente L. Boltzmann, quien más que nadie se ocupó de la entropía, al describir esta pirámide ecológica, utilizaba no tanto la entropía como la «energía que puede utilizarse», es decir, en esencia utilizaba la exergía. Él escribió [1.23] «La lucha general por la existencia de los organismos vivos no es una lucha por los elementos componentes; los elementos componentes de todos los organismos existen en exceso en el aire, agua y en el subsuelo y no es una lucha por la energía, por cuanto ésta se encuentra en abundancia en cualquier cuerpo por desgracia, en forma de calor no transformado⁷. Pero esta lucha es por la energía que puede utilizarse al pasar del Sol, caliente a la Tierra fría. Para utilizar de una manera más completa este paso, las plantas abren la enorme superficie de sus hojas y obligan a la energía solar, antes de bajar hasta la temperatura de la superficie terrestre, realizar síntesis químicas... Los productos de esta cocina química son objeto de lucha en el mundo de los animales».

En los tiempos de Boltzmann la crisis ecológica aún no había surgido en tal forma como hoy; por eso él escribe de los elementos componentes que éstos «existen en abundancia».

Utilizando el concepto de exergía, nosotros en el próximo capítulo podemos examinar una serie de propuestas de mpp-2. En este mismo capítulo analizaremos como ejemplo la bomba de calor, conocido dispositivo técnico propuesto por los partidarios de la inversión de la energía como ejemplo ilustrativo de la «concentración de energía» real. A este dispositivo simple y comprensible le atribuyen las propiedades más inverosímiles y milagrosas; apoyándose en ellas, se trata de utilizar la bomba de calor como ariete, para abrir una brecha en el segundo principio de la termodinámica e introducir, a través de este principio, el mpp-2 en la energética.

⁷ Es decir, de energía interior.

4.4. ¿Es o no la bomba de calor un milagro?

Recordemos el principio de funcionamiento de la bomba de calor⁸ (de ella ya hemos hablado en el capítulo 3). Independientemente del tipo y del diseño este dispositivo cumple, como regla, una sola función: capta el calor Q_{ma} del medio ambiente a la temperatura de éste T_{ma} y entrega el calor a una temperatura superior T_{cal} a un local o se utiliza para calentar algún dispositivo técnico. Tal proceso de tránsito del calor, de por sí, no puede tener lugar, está prohibido por el segundo principio de la termodinámica. Por ello para asegurar el funcionamiento de las bombas de calor se necesita cierto gasto de exergía. Con mayor frecuencia para el accionamiento de la bomba de calor se emplea la energía eléctrica.

El esquema básico de la bomba de calor más simple (bomba de compresión de vapor) se puede ver en la fig. 4.4.

El cuerpo de trabajo vaporizado se comprime en el compresor (por ello se denomina instalación de compresión de vapor). El vapor, calentado como consecuencia de la compresión, se enfría y pasa en el condensador al estado líquido: en este caso de él, con el aumento de la temperatura T_{cal} , el calor Q_{cal} se retira hacia el consumidor (por ejemplo, a una habitación que haya que calentar). El líquido obtenido se expande en el estrangulador y su presión baja. Como consecuencia parte del líquido se evapora y su temperatura baja hasta T_e , algo inferior que la temperatura del medio ambiente T_{ma} . En el vaporizador el líquido frío, quitándole el calor al medio ambiente, se evapora íntegramente y vuelve de nuevo al compresor; el ciclo se cierra.

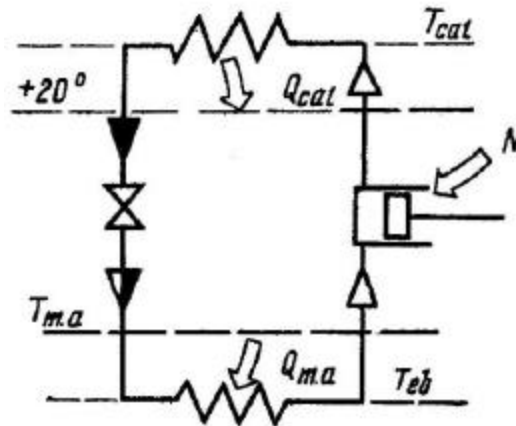


Fig. 4.4. Esquema de la bomba de calor

Tomemos como ejemplo unos índices concretos de funcionamiento de la bomba que se aproximan a los que se dan en la práctica.

Para calentar un local y mantener en él una temperatura de $+20^{\circ}\text{C}$ el cuerpo de trabajo que se condensa debe tener una temperatura T_{cal} , digamos, de 50°C (323K). Supongamos que la temperatura del medio ambiente T_{ma} , sea de -10°C ó 263K (condiciones de invierno). Para que el cuerpo de trabajo pueda hervir en el vaporizador, extrayendo calor del medio ambiente, dicho cuerpo debe ser algo más frío que el medio. Tomemos la temperatura de ebullición $T_{eb} = -20^{\circ}\text{C}$ (253K).

⁸ Con más detalle la bomba de calor se puede estudiar en la literatura especial [1.26, 1.27].

Tomemos igualmente que la potencia térmica que se entrega al local Q_{cal} es igual a 5 kW y la que se suministra al compresor, $N = 2$ kW. En tal caso, de acuerdo con el balance energético, la potencia térmica Q_{ma} que se extrae del medio ambiente es de $5 - 2 = 3$ kW. Haciendo uso de estos datos se puede calcular con facilidad todas las características energéticas de la bomba de calor. Para terminar el análisis del balance, que caracteriza el sistema desde posiciones del primer principio de la termodinámica, determinemos la relación entre el calor obtenido Q_{cal} y el trabajo eléctrico consumido. Esta magnitud, llamada coeficiente térmico o calefactor, aquí tiene el valor $\mu = 5/2 = 2,5$.

Por consiguiente, por cada kilovatio de potencia eléctrica conducida al compresor, al local se entregan 2,5 kW de potencia térmica. El hecho de que $\mu > 1$ produce entusiasmo de los partidarios de la «inversión energética». Nombrando μ como rendimiento (en lugar de coeficiente térmico), ellos afirman que él (el rendimiento) supera el 100 % puesto que «concentra la energía» extraída del medio ambiente. El diagrama de la fig. 4.5 evidencia este balance energético en forma del gráfico de franjas, donde la anchura de cada franja es proporcional al correspondiente flujo de energía.

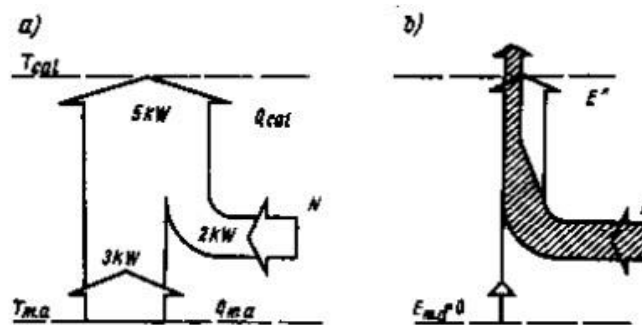


Fig. 4.5 Gráficos de banda de los balances energético (a) y exergético (b) de la bomba de calor

Ahora ocupémonos del análisis de esta misma bomba térmica desde posiciones del segundo principio de la termodinámica. Empecemos por la entropía. En este simple ejemplo es fácil calcularla. Realmente, la entropía retirada es

$$S'' = Q_{cal}/T_{cal} = 5/323 = 0,015 \text{ kW/K,}$$

y la suministrada

$$S' = Q_{ma}/T_{ma} = 3/253 = 0,012 \text{ kW/K.}$$

Ninguna entropía más se suministra a la bomba de calor, puesto que la energía eléctrica altamente organizada no es entrópica. Por tanto con el segundo principio de la termodinámica aquí todo está en orden: la entropía que se retira S'' es mayor que la que se suministra S' . Los procesos reales irreversibles en la bomba de calor conducen, lógicamente, a su aumento en $\Delta S = 0,003 \text{ kW/K}$. Por tanto la acción de la bomba de calor de ninguna manera contradice al segundo principio de la termodinámica: la entropía aumenta. ¿Y qué hacemos con el rendimiento y la «concentración» de energía?

Ocupémonos de ello y examinemos el trabajo de la bomba de calor mediante la formación y análisis de su balance exérgico. Este balance, igual que el energético, debe incluir tres miembros correspondientes a los flujos energéticos. Sin embargo, uno de ellos será igual a cero, por cuanto

la exergía del flujo del calor Q_{ma} extraído del medio ambiente a T_{ma} es igual a cero (por la fórmula de Carnot). Por tanto la exergía llega al sistema sólo con energía eléctrica, es fácil calcularla por cuanto la energía eléctrica altamente organizada es capaz de funcionar. Por ello la exergía que llega es $E' = 2 \text{ kW}$.

La exergía retirada representa la exergía del calor retirado Q_{cal} ; ésta es igual

$$E'' = 5 \frac{323 - 263}{323} = 0,929 \text{ kW}$$

El resto de la exergía $E' - E'' = 2 - 0,929 = 1,071 \text{ kW}$ se pierde a consecuencia de la irreversibilidad. El rendimiento de la bomba de calor es

$$\eta_{ex} = 0,929/2 = 0,46 \text{ ó } 46\%$$

El diagrama exérgico correspondiente se muestra en la fig. 4.5, b. En él se ve que el balance exérgico de la información más completa sobre las transformaciones energéticas en el sistema. Este balance indica cuánta energía útil capaz de trabajar se gasta, cuánta se obtiene y cuánta se pierde a causa de la irreversibilidad, provocada por la imperfección termodinámica del proceso. El rendimiento muestra (a diferencia del coeficiente térmico) el grado de aproximación del proceso al ideal: sólo el 46 % de la exergía suministrada fue utilizada. El 54 % restante se perdió. A pesar de que el rendimiento es considerablemente menor del 100 %, este calentamiento es más efectivo que directamente la calefacción eléctrica o por estufa; de aquí también la aspiración a utilizar el calor de la central termoeléctrica (CTE) y las estaciones de bombas de calor (EBC). Veamos «cuánto cuesta» el calor en el sentido energético al obtenerlo por distintas vías. Expongamos este cálculo para esas mismas condiciones $T_{ma} = -10 \text{ °C}$, la temperatura del aparato de calefacción $T_{cal} = 50 \text{ °C}$ aplicable al horno eléctrico. Cuando se consume 1 kW de energía eléctrica (es decir, de exergía) el horno producirá 1 kW de calor, $Q = 1$. De aquí la exergía del calor será

$$1 \frac{323 - 263}{323} = 0,186 \text{ kW}$$

tanto el rendimiento del horno eléctrico = 18,6 %. Aproximadamente el mismo valor del rendimiento tendrá el horno habitual; puesto que la exergía del combustible (por ejemplo, del carbón) prácticamente es igual al calor que puede ser obtenido de él en un proceso ideal de combustión. De esta manera de 1 kW de calor, igual que en el horno eléctrico, se obtendrá 0,186 kW de la exergía de calor. El rendimiento de la calefacción desde la CTE es de un 40-45 %, es decir, aproximadamente igual al de la estación de bomba de calor.

Calculemos para terminar cuánto calor Q puede dar para la calefacción en estas condiciones ($T_{cal} = 50 \text{ °C}$) 1 kW de energía eléctrica en una bomba ideal de calor. En el caso de $\eta_{ex} = 1$ (es decir, 100 %) la

exergía del calor obtenido será igual a 1 kW. Obtendremos

$$1 - Q = \frac{323 - 263}{323}$$

de aquí

$$Q = 1/0,186 = 5,38 \text{ kW}$$

Ésta es la cantidad de calor que puede dar la bomba ideal de calor.

El análisis de la bomba de calor realizado antes muestra que este dispositivo es muy bueno y útil en su lugar. No obstante no existen motivos para considerar que la bomba posee propiedades admirables. La bomba de calor es útil, pero como cualquier instalación real aumenta la entropía transformando la energía eléctrica más ordenada y organizada y el calor Q_{ma} menos organizado el un flujo de calor aún menos organizado con una entropía mayor. Por eso la bomba no produce ninguna «concentración» (si la comprendemos como el aumento de la calidad de la energía). El coeficiente térmico μ de la bomba siempre supera la unidad, pero en esto no hay ninguna maravilla, el μ no es el rendimiento. Es fácil demostrar que μ puede tener valores mucho más grandes de 2 ó de 3, si examinamos su variación en condiciones exteriores diferentes.

Tomemos como ejemplo una bomba de calor con un rendimiento alto pero totalmente alcanzable $\eta_{ex} = 0,5$ y calculemos su coeficiente térmico para diferentes valores de la temperatura superior T_2 y para $T_{ma} = 293$ K (20 °C). Tomemos los valores T_2 iguales a 25, 50, 100, 150, 200 y 250 °C (por la escala de Kelvin respectivamente 298, 323, 373, 423, 473 y 523 K). En tal caso con un gasto de potencia $N = 1$ kW obtendremos en el nivel superior, para un rendimiento elegido, una exergía de calor $E = 0,5$ kW. De aquí se puede determinar Q_{cal} utilizando la conocida relación

$$L = E_q = Q_{cal} \frac{T_{cal} - T_{ma}}{T_{cal}}$$

$$Q_{cal} = E_q \frac{T_{cal}}{T_{cal} - T_{ma}}$$

El coeficiente térmico $\mu = Q_{cal}/N$.

Los cálculos de μ dan:

T_{cal} °C	250	200	150	100	50	25
$\frac{T - T_{ma}}{T}$	0,44	0,38	0,31	0,21	0,09	0,0017
μ	1,14 (2,28)	1,31 (2,62)	1,61 (3,22)	2,38 (4,71)	5,55 (11,1)	294 (588)

De aquí vemos que los valores de μ incluso para una máquina real (sin hablar ya de estos valores para una máquina ideal, indicados entre paréntesis) pueden alcanzar en los correspondientes intervalos de temperaturas de 200 a 300 (o si lo consideramos, como hacen otros, en %, 20 000-30 000 %) . ¡Realmente es una maravilla! Hay de qué maravillarse. ¡Gastas 1 kW y obtienes 290! Sin embargo, antes de echar al vuelo las campanas veamos qué calor es este. Es un calor con una temperatura sólo 5 °C por encima de la del medio ambiente. El coeficiente que caracteriza su capacidad de trabajo es menor de 0,002; esto significa que si tenemos un «rublo de calor», el costo real de dicho rublo en energía totalmente organizada es menor de 0,2 kopeks. Con el «mejoramiento» del calor y el aumento de su temperatura T_{cal} su calidad crece y la magnitud de μ cae sensiblemente.

De esta manera las magnitudes grandes de μ testimonian no sobre la extracción maravillosa de «energía térmica» del medio ambiente, sino sólo sobre que el calor obtenido es de muy baja calidad.

No obstante, el jaleo alrededor de la bomba de calor, basado en los elevados valores del coeficiente de conversión no pasa. Como ejemplo podemos citar el artículo de G. Lijosherstnyj

.«En búsqueda de la energía» [3.10], quien sobre la base de las «propiedades insólitas» de las bombas de calor con rendimientos «en decenas y centenas de veces superiores a la unidad», promovió una original idea energética. Él considera necesario realizar trabajos no sólo sobre «las investigaciones teóricas del problema», sino también «claro está, sobre el desarrollo de los procedimientos económicos de transformación del calor obtenido por dichas bombas en energía eléctrica». En otras palabras él propone transformar en energía eléctrica esa misma calor de baja calidad de la cual hemos hablado antes.

Veamos en qué se traduciría la realización de esta proposición.

En las estaciones termoelectricas se obtiene energía eléctrica con un rendimiento aproximado de 40% . Más adelante esta energía eléctrica debe transformarse en calor en la bomba de calor.

Tomemos para la bomba un rendimiento elevado igual a 0,5⁹. Después utilizamos este calor para obtener energía eléctrica. Tomemos un rendimiento de esta transformación también suficientemente alto, 0,4 (40%).

Corno resultado la energía eléctrica final, por el procedimiento de Lijosherstnyj, se obtendrá con un rendimiento $0,4 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 0,08$ o bien el 8 %, es decir, 5 veces peor que simplemente en la central eléctrica.

Vea a qué conduce la tesis «el calor es el calor independientemente de la temperatura».

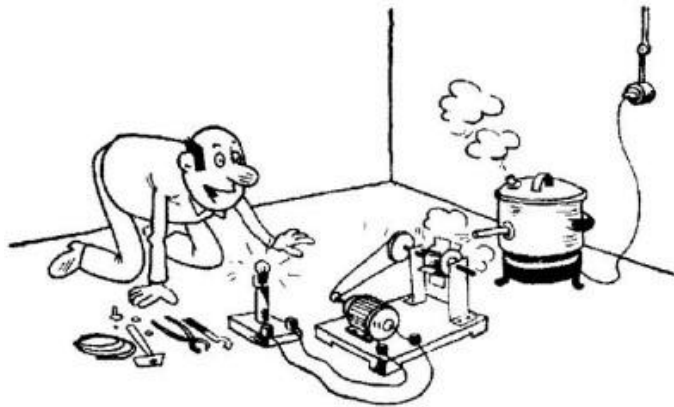


Fig. 4.6. «Sistema de alta eficacia» de obtención de energía eléctrica, análogo al esquema con la bomba de calor

En el apartado «móvil perpetuo» de la revista «Inventor y racionalizador» apareció la caricatura mostrada en la fig. 4.6.

Si comparamos la idea recién descrita con el esquema presentado por el dibujante, salta a la vista su sorprendente parecido; sólo es necesario cambiar el hornillo eléctrico por la bomba de calor. Difícilmente el autor del dibujo podría pensar que hubiera gente que propusiera en serio tal idea. En el ejemplo de la bomba de calor se puede ver a qué conduce la incomprensión del segundo principio de la termodinámica. Este principio molesta realmente a la «creación libre» y el deseo más ardiente de los inventores del mpp-2 es conseguir su desaparición. Por cuanto esto no se consiguió sólo queda soñar. Precisamente así se portó el Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas, N. Záev, al publicar un artículo titulado «Tentación energética» [3.5] y dando una imagen de la perspectiva energética «tras la barrera del siglo XX». Antes de pasar, en el siguiente capítulo, al examen de los mpp-2 modernos, merece la pena citar fragmentos de este artículo que

⁹ Los coeficientes de transformación en este caso serán lo suficientemente elevados de acuerdo con la tabla, pero esto, como hemos visto, no cambia nada.

representa cierto «manifiesto antitermodinámico»: «Sólo a los buquinistas se pueden comprar tomos viejos de nuestra termodinámica. Ella se ha quedado sin provecho. Con el desarrollo de la termodinámica real, los cursos anteriores primero se dejaron de impartir y después, de editar. La termodinámica real explica de una manera elemental lo que en tiempos anteriores explicaban con amontonamiento de principios, teoremas, fórmulas Ya no existen las entropías, entalpías, exergías y términos semejantes de sonido enigmático...».

Este cúmulo de consignas negativas se reduce en esencia al llamamiento a la libertad respecto de la ciencia: hagamos una termodinámica que «explique de manera elemental» todo lo que hace falta sin ninguno tipo de «principios, teoremas, fórmulas».

Pero dado que aún no existe una termodinámica nueva que «explique de manera elemental», y la vieja la tienen no sólo los buquinistas, pasaremos a examinar la historia y los proyectos modernos del mpp-2 basados en la termodinámica existente.

Sin embargo, antes sería útil prestar cierta atención al esclarecimiento de la cuestión que surge inevitablemente al examinar la última etapa de la historia del mes: ¿por qué con todo ello siguen inventando el mpp-2? Nosotros hemos expuesto en los capítulos 3 y 4 todos los argumentos de los partidarios de la «energoinversión»: los filosóficos, cosmológicos, biológicos, técnicos...

Todo el material expuesto en estos capítulos muestra unívocamente que no existe un sólo argumento o hecho que pueda ser admitido con toda seriedad como demostración de la posibilidad de existencia del mpp-2. Y con todo ello siguen los tenaces intentos de argumentar y crear el mpp-2. Se proponen también, como veremos más adelante, nuevas concepciones teóricas con nombres enmarañados como «estructuras de Prometeo» o incluso «estructuras de Jottabych»¹⁰, se hacen nuevos proyectos... Por poco serio que sea el análisis resulta que todas ellas se basan en los mismos errores, de las cuales ya se habló detalladamente.

¿De qué se trata. pues?

¹⁰ Genio de la botella de la obra infantil soviética «El viejo Jottabych».

4.5. ¿Por qué pues se inventa el mpp!

Hasta aquí nos ocupaba, principalmente, la parte científico-técnica de la historia del móvil perpetuo, tocando sólo de paso las particularidades de las personas relacionadas con él. Pero la parte humana de este asunto también merece nuestra atención. Más aún, ocupados de la historia del mpp, nosotros, si queremos comprender este fenómeno de verdad, no podemos no intentar comprenderla. Así pues, ¿por qué inventaron y siguen inventando el mpp? Por lo visto, la causa del móvil en esencia siempre es la misma, el deseo de resolver los problemas energéticos por una vía fácil y sencilla. Los inventores, en las dos primeras etapas históricas del mpp, como ya hemos señalado, no conocían las leyes de la ciencia, que excluían la posibilidad de crear el mpp. Ellos precisamente llamaban su ideal «móvil perpetuo». Por ello la respuesta a la pregunta formulada en el título de este apartado es clara: lo inventaban en aquel entonces porque no veían y no conocían ningún tipo de prohibición de principio, lo cual hacía su objetivo inalcanzable. Respecto de los inventores del mpp-2 esto no se puede decir. La mayor parte de estos inventores y teóricos, no autodidactas, sino especialistas diplomados; una parte importante de estos especialistas son candidatos a Doctor o incluso Doctores. Tanto en la URSS como en el extranjero ellos representan una pequeña parte de las personas relacionadas con la técnica energética. Pero con todo eso ellos existen, actúan, consumiendo innecesariamente sus fuerzas y tiempo y apartando del trabajo útil a mucha gente. Ellos no pueden no conocer las leyes de la ciencia, lo escrito en los manuales, en muchos libros y artículos. No obstante, el flujo de proposiciones, inventos y teorías, referentes al mpp-2, no se agota. Más aún con ayuda de científicos no muy competentes que apoyaban este tipo de «ideas progresivas» y periodistas poco exigentes que difunden sensaciones pseudocientíficas a través de la prensa, ellos influyen en los lectores, sobre todo en la juventud.

Como último ejemplo puede servir el artículo en el periódico «Moskovskaya pravda» [3.27], donde con todos los procedimientos de influencia sobre los sentimientos y mentes de los lectores nuevamente se predica el carácter progresivo de la idea del móvil perpetuo de segundo orden. Todo esto crea un fondo de ligeros malabarismos sin demostración con ideas y proposiciones generales pseudocientíficas, a primera vista atractivas, pero muy alejadas de la ciencia verdadera y técnica avanzada. El lector no profesional toma esto en serio por cuanto el interés por todo lo nuevo y progresivo es una cualidad característica de nuestro tiempo. Un interés muy grande en los últimos tiempos se revela precisamente hacia las cuestiones de la energética; la importancia del cumplimiento del programa energético [1.31] es evidente no sólo para los especialistas. Así pues, la primera parte de la cuestión, sobre porqué también hoy se inventan el mpp-2 y a esto se dedica mucha gente incluyendo la juventud, es clara: la tendencia de encontrar nuevas vías radicales en la solución de problemas energéticos. Pero queda abierta la segunda parte de la cuestión: ¿por qué los inventores no ven que el camino por ellos elegido conduce inevitablemente a un callejón sin salida, que sus ideas, en principio, son irrealizables?

El autor tuvo que participar muchas veces en el peritaje de las más diversas proposiciones e inventos referentes al mpp-2 y encontrarse con sus autores. No conseguí convencer a ninguno de ellos, a pesar de mis largas y múltiples discusiones. Sólo un inventor, al fin y al cabo, cambió su postura¹¹. Los demás quedaron con sus convencimientos de que los expertos son unos conservadores rutinarios, a los cuales sólo se pueden demostrar las cosas con un modelo en

¹¹ Éste era un ingeniero metalúrgico (no un energético) que se tomó el trabajo de citar todos los libros recomendados a él e incluso mostró el necesario experimento (para todo esto consumió casi un año). Después de esto vino y reconoció valientemente que no tenía razón.

movimiento y «con todo y ello no se sabe si les convencería», como me dijo en un arranque de cólera un inventor, dándose golpes en la frente con el dedo de una manera muy significativa. Pero este modelo con todo y eso no apareció nunca.

La causa de tal «estabilidad» en personas con tan diferentes especialidades, niveles de enseñanza y edades es muy difícil de establecer. El hallazgo de esta causa en gran medida está relacionado con cuestiones psicológicamente finas que pueden resolver sólo especialistas. Nosotros por otra parte debemos limitarnos a la parte científicotécnica e informativa del asunto. Aquí el problema se facilita ligeramente por el hecho de que la historia de la ciencia y la técnica (incluyendo la historia del mes), así como los materiales que se publican en las revistas «Izobretatel y ratsionalizator», «Téjnika y nauka» y otras ofrecen un amplio material que ayuda a esclarecer esta cuestión. Una serie de ideas profundas sobre el asunto que nos ocupa contiene el excelente trabajo de A. I. Herten «Diletantismo en la ciencia» [1.21].

Basándose en toda esta información es posible en cierta medida comprender el porqué gente instruida, contrariamente a lo que dice la ciencia, inventa y difunde el mpp-2.

Señalemos ante todo lo principal, el hecho de que todos los inventores del mpp-2 sin excepción no son profesionales, sino diletantes. Esta afirmación, a primera vista, puede parecer extraña, si tenemos en cuenta que la mayoría de ellos, como ya hemos señalado, son gente con preparación técnica. No obstante esto es verdad. Recordemos qué es un diletante. Diletante es una palabra italiana que significa «persona que se ocupa de algún arte o ciencia sin suficiente preparación, necesaria para tratar este tema a fondo; con conocimientos superficiales en dicha área del saber». La definición es muy cierta, pero insuficiente, incompleta: esto sólo caracteriza los conocimientos del diletante. A. I. Herten enfocó la cuestión con mayor amplitud, examinando el diletantismo como fenómeno social. Él escribió: «El diletantismo es el amor hacia la ciencia ligado al total desconocimiento de la misma»; «... es una pasión platónica y romántica por la ciencia, un amor hacia ella, del cual no nacen niños».

Herten expresó de la siguiente manera otras dos partes del diletantismo: en primer lugar la carencia de comprensión de la ciencia por parte del diletante y en segundo, la infructuosidad de su ocupación.

Si «medimos» todas las características enumeradas de los diletantes a los inventores y teóricos del mpp-2, salta a la vista la impresionante coincidencia. Realmente, un conocimiento sólido, y con más razón la profunda comprensión y asimilación de la ciencia básica, la termodinámica, sin la cual es imposible crear nuevos sistemas de transformación de la energía ellos no tienen.

Incluso el breve resumen de la «base teórica» de mpp-2, hecho en el capítulo y en los anteriores párrafos del capítulo 4 muestran claramente la confusión en los conceptos fundamentales de la termodinámica (sin hablar ya del segundo principio y sus aplicaciones), que reina en sus cabezas. En lo que respecta a los «hijos», es decir, a los motores que trabajan por «inversión energética», éstos realmente en total correspondencia con las predicciones de A. I. Herten no existieron y no existen. Sólo existen muchas ideas y proyectos (un análisis minucioso de algunos de estos proyectos se da en el capítulo siguiente). Aquí nosotros continuaremos nuestro «razonamiento» sobre el diletantismo actual que produce no sólo los proyectos de los mpp-2, sino también otros inventos no menos quiméricos.

Una actitud tan rígida y negativa hacia los diletantes puede producir objeción a pesar del apoyo de una autoridad tan importante como A. I. Herten. Existe una opinión bastante difundida de que muchas personas llamadas diletantes hicieron un gran aporte al desarrollo de la ciencia, técnica y arte. Más aún, tiene una gran circulación el punto de vista de que un diletante de talento que no «se atascó en la rutina y tradiciones profesionales», utilizando la fantasía y la intuición puede salir, con mayor facilidad, al nuevo camino y crear algo relevante.

En muchos trabajos de historia de las distintas direcciones de la creación humana se exponen múltiples ejemplos de grandes descubrimientos e inventos hechos por diletantes y obras artísticas hechas por ellos. Entre ellos el relojero Peltier, descubridor del enfriamiento termoeléctrico, el monje I. Mendel, fundador de la genética, el cervecero Joule, sobre cuyo papel en la formación del primer principio de la termodinámica ya hemos hablado en capítulos anteriores, el farmacéutico A. Leeuwenhoek, inventor del microscopio y fundador de la microbiología, el sacerdote R. Stirling¹², quien a comienzos del siglo XIX inventó y fabricó un motor térmico de gas, cuyas virtudes fueron valoradas 150 años más tarde, el maestro de escuela K. E. Tsiolkovski, de cuyos méritos no hay necesidad de escribir... En este mismo grupo caerá también S. Carnot, capitán de zapadores.

Si pasamos al área del arte, también se pueden encontrar referencias análogas. Entre los compositores se citan a personas como el oficial de la guardia A. A. Aliabiev, el químico A. P. Borodín... Se pueden hallar ejemplos análogos en la literatura, escultura y pintura.

Considerar que toda esta gente puede ser considerada como gente de talento o incluso como diletantes geniales es un gran error. Este error se basa en un enfoque superficial, realmente diletante respecto de las biografías de estas personas.

Ante todo es incorrecto el propio concepto básico de empezar por el título, el cargo, el diploma o el lugar de trabajo.

Juzgando así se puede considerar como diletante literario al médico A. P. Chéjov, al teniente de caballería M. Yu. Lérmonov o al teniente de artillería L. N. Tolstoi. Pero lo más importante reside en otra cosa. Cada uno de los grandes hombres enumerados de la ciencia, técnica o arte era un profesional de la más elevada clase, que estudiaba la esfera en la que trabajaba de manera que poseía por completo el nivel de conocimientos, sabiduría e incluso hábitos de su época (y con frecuencia se adelantaba a ella). Cualquier «diletante genial» en un estudio más profundo resulta un verdadero profesional. El verdadero profesional, si volvemos a la esfera de la técnica, no sólo domina libremente todo el bagaje científico referente a la esfera en la que trabaja. Él debe saber enfocar críticamente cualesquiera ideas y resultados (incluyendo los suyos) y por fin llevar una conversación «de igual a igual» con sus colegas. Claro que no todos los profesionales, incluso los de la clase más elevada, obligatoriamente son inventores, pero todos los inventores serios obligatoriamente son grandes profesionales¹³ (por supuesto que en el sentido real de la palabra y no en el de su historial). Si no se tiene esto, ningunas fantasías e intuiciones ayudarán a «producir» grandes inventos. La fantasía, según V. I. Lenin, es una «calidad de extraordinario valor» y puede trabajar fructíferamente sólo en el caso cuando se apoya en los conocimientos y en la experiencia, se «nutre» y se corrige por ellos [1.2]. Sin ello la fantasía convierte a la persona en un fantaseador y lo lleva a donde, como dijo A. I. Herten, «no hay niños». Esto precisamente es lo que ocurre con los inventores del mpp-2.

Quedan sin aclarar, sin embargo, otros dos puntos.

1. Se sabe que son partidarios del mpp-2 gente que tiene trabajos científicos o técnicos relevantes. ¿Pueden llamarse diletantes estas personas?
2. ¿Por qué, si los argumentos científicos contra el mpp-2 son de tanto peso e irrefutables, los inventores y los teóricos del mpp-2 son tan firmes en sus convencimientos y no pueden deshacerse de ellos?

¹² Con el nombre de Stirling volveremos a tropezar en el capítulo siguiente.

¹³ Es preciso, claro está, tener en cuenta que los profesionales también son diferentes. Existen profesionales más estrechos, más exactamente, los especialistas, muy instruidos en una esfera local, pero para la creación, debido a su limitado horizonte intelectual, son casi inútiles. Precisamente de éstos decía C. Marx que ellos adolecen de «cretinismo profesional».

La respuesta a la primera pregunta está relacionada con una circunstancia objetiva, la creciente especialización en la esfera científico-técnica. Por eso un gran profesional en una esfera con frecuencia resulta un diletante completo en otra, incluso en una esfera cercana. El intento de realizar una revolución en otra rama, no lo suficientemente conocida, basándose en la erudición y experiencia alcanzada en la suya conducen a esos lastimosos resultados como los observados por nosotros cuando se intenta explicar y crear el mpp-2.

Ya desde los tiempos del fabulista Krylov, cuando la especialización no estaba tan desarrollada, se conoce la triste historia del panadero y el zapatero que intentaron ocuparse de otra profesión. Claro que a nadie se le prohíbe, después de trabajar con éxito en una rama, pasar a otra (sobre todo en aquellos casos cuando estas ramas tienen zonas de contacto). Más aún, a consecuencia de este paso se pueden obtener buenos resultados. Los «puntos de crecimiento» en los contactos de las distintas ciencias con mayor frecuencia se crean por estos especialistas «dobles». Tomemos como ejemplo al famoso constructor de puentes E. O. Patón (1870-1953), quien a los 40 años, siendo ya un profesional maduro y uno de los líderes en la construcción de puentes, pasó a una esfera totalmente nueva para él, la soldadura eléctrica, y creó escuela, que aún existe y conserva su posición de vanguardia en el mundo.

No obstante este paso puede tener éxito sólo en el caso cuando al entrar en esta nueva profesión, el especialista la estudia de tal manera que se transforma en profesional en esta rama. Aquí no se excluyen también los conflictos con los especialistas «locales», así como las nuevas ideas.

Pero ocurre también al revés. Al especialista le parece que en la nueva rama puede pasar con su propio bagaje adquirido antes. De golpe (o examinando superficialmente el tema) ve en qué se equivocan los «nativos» que no se dan cuenta que debajo de sus narices hay soluciones nuevas que vuelcan todas las tradiciones. De esta manera nacen proposiciones «revolucionarias» como el mpp-2 y las correspondientes a ellas tesis teóricas basadas en la fantasía y la instrucción sin una justificación científica seria; la verdadera discusión con la utilización de la «filosofía» general y a veces de demagogia, citas de clásicos, aplicación de clichés de «conservadores» a los oponentes, etc.

De esta manera el profesional se convierte en diletante con todas las consecuencias que inevitablemente se deducen de ello.

Un tipo especial de diletantes lo representan personas más o menos famosas que hacen propaganda del mpp-2 en artículos ligeros, prefacios, memorias, entrevistas, etc. A diferencia de los que se ocupan del mpp-2, ellos ni superficialmente conocen la esencia del asunto y parten de conceptos superficiales alejados de la ciencia o pretenden apoyar algo nuevo. El lector no experimentado, al ver delante del apellido del autor su grado científico, con toda razón supone que «una persona así no se pondrá a escribir en vano». Pero, no obstante ocurre también así, y ejemplos de ello ya hemos visto.

Por fin, responderemos a la segunda pregunta de porqué los inventores y teóricos del mpp-2 no perciben conclusiones científicas, a primera vista evidentes, y se agarran tozudamente a sus conceptos.

Sin profundizar en las raíces psicológicas de este fenómeno, se pueden recordar dos tesis, de conocimiento general, que pertenecen a dicho fenómeno.

La primera consiste en que a toda persona muy atraída por una idea cualquiera, enamorada de ella, siempre le parece correcto y bueno todo aquello que está a favor de su idea e incorrecto y malo todo lo que está en contra de ella. Esta es una cualidad muy normal de la persona, sin la cual el mundo, por lo visto, sería menos interesante.

A. S. Puslikin en su «Eugenio Oneguín» expresó esta idea en una fórmula clásica muy completa: «Valen más para nosotros las tinieblas de la baja realidad que el engaño que nos eleva».

Esta fórmula contiene también la segunda tesis relacionada con la primera: a la persona le cuesta mucho rechazar su idea querida, para el desarrollo de la cual él consumió mucho trabajo, esfuerzo, tiempo y dinero. A veces, se añaden también ideas relacionadas con otras personas asociadas al trabajo común: se dan determinadas promesas, se desarrollan planes. ¿Cómo negarse de esto y tachar todo? De aquí el deseo comprensible de intentar una y otra vez de hallar para sí otros argumentos cualquiera en defensa de su querida idea. Todo el que haya tenido que ver con los inventores, que tomaron un camino equivocado, tropieza con esta, muy comprensible, cualidad humana.

Pero las leyes de la «naturaleza indiferente» son inexorables: iguales para entusiastas honrados, empedernidos estafadores, doctores en ciencias y artífices semianalfabetos. Es imposible realizar todo lo que contradice a la ley científica. Por ello con toda la compasión humana hacia los inventores del mpp-2, hay que mostrar su impotencia y descubrir las «tinieblas de la baja realidad», en las cuales (así es la dialéctica) se halla la verdadera luz.

A esto precisamente nos dedicaremos en el capítulo siguiente.

CAPITULO QUINTO

Móviles Perpetuos de Segunda Especie

Yo no pretendo criticar. Simplemente no puedo comprender ¿cómo puede la persona escribir tal tontería?.

N. Bohr

5.1 ¿Qué mpp-2 se inventan hoy día?

Se proponen muchos proyectos de mpp-2 y el principio de funcionamiento de todos ellos es muy variado: termomecánico, químico, gravitacional, eléctrico... Existen también tales, a los cuales es difícil escoger un término científico, para explicar el principio de su funcionamiento.

Al mismo tiempo, independientemente del principio de su funcionamiento todos los móviles propuestos pueden ser divididos en dos grandes clases.

La primera clase incluye móviles perpetuos de segunda especie regulares «teóricamente puros», basados en la «inversión energética», de la cual ya hemos hablado. Claro está que ninguno de ellos funciona a pesar del esfuerzo de sus autores. Estos «verdaderos» mpp-2 en la mayoría de los casos se basan en principios termomecánicos sencillos. En función de la esfera hacia la cual se inclina el inventor, los proyectos de estos mpp-2 se basan en la termotecnia o en la técnica criogénica. Pero muchos inventores, decepcionados de las posibilidades de una y otra, buscan «camino nuevos». De aquí la aparición de proyectos de mpp-2 eléctricos, químicos e incluso electroquímicos. La realización de cualquiera de estos proyectos y la puesta en marcha del correspondiente motor inmediatamente retirarían la cuestión de la posibilidad de ejecución del mpp-2 y darían la vuelta a la termodinámica. Sin embargo, no existe una sola acta sobre la introducción de tal sistema.

La segunda clase, por el contrario, incluye aquellas máquinas-motores que con toda seguridad pueden funcionar, aunque, a primera vista también representan un mpp-2. Estos ya no son «verdaderos» mpp-2; se les puede llamar pseudo-mpp. El principio de su funcionamiento concuerda íntegramente con los principios de la termodinámica. No obstante, se hacen intentos de presentarlos por verdaderos mpp-2 y de esta manera demostrar la posibilidad de su creación. Más examinando esmeradamente siempre resultará que en ellos no hay ninguna «inversión» de la energía.

A los «verdaderos» mpp-2 están dedicados los apartados segundo y tercero de este capítulo.

En ellos se muestra que aquellos motores que realmente pueden funcionar no son «perpetuos» (no son mpp-2), y aquellos que realmente son perpetuos no pueden funcionar.

En el cuarto apartado se describen los más interesantes pseudo-mpp.

5.2 Proyectos de mpp-2 termomecánicos

Ahora es difícil establecer cuándo fue propuesto el primer proyecto de móvil perpetuo de segunda especie. En cualquier caso se sabe con precisión que esto ocurrió más de 100 años atrás. El primer inventor famoso en esta rama fue el profesor norteamericano Gemgi, que propuso el llamado motor cero construido por él y que debía funcionar, extrayendo calor, como ya lo hemos dicho, del medio ambiente equilibrado. Esto ocurrió en 1880.

El segundo en proponer un motor, que funcione con el «calor del medio ambiente», también era un norteamericano, Tripler, una persona más conocida que Gemgi, por haber construido (sólo que

basada en proyectos conocidos) una instalación para licuar aire. La publicación sobre el motor de Tripler apareció por primera vez en 1899.

Estos dos inventos tienen una misma propiedad: los procesos en ellos deben transcurrir a temperaturas inferiores a las del medio ambiente. Precisamente aquí en el medio específico de bajas temperaturas, donde «al fresco» todo parecería ocurrir de manera diferente a cómo transcurre en la termotecnia tradicional, ambos inventores querían resolver el problema energético de un modo nuevo. No hay duda de que precisamente esta dirección «fría» de las ideas de los primeros creadores de los proyectos del mpp-2 está relacionada con los éxitos sensacionales de la maquinaria de bajas temperaturas que precisamente aparecieron hacia finales de los años 70-90 del siglo pasado.

La temperatura más baja que hasta entonces había alcanzado Faraday en 1840 era de -110°C , pero en 1877 Kaye e independiente de éste Pielés consiguieron una temperatura de -180°C y en los años 90 K. Olishovski logró rebajar la frontera récord de temperaturas bajas hasta $-200\dots 230^{\circ}\text{C}$, y, por fin, D. Dewar licuó hidrógeno a -253°C . Este brusco adelanto en la esfera de bajas temperaturas, imposibles anteriormente, produjo una gran impresión en sus contemporáneos. Al mismo tiempo se desarrollaban también las aplicaciones técnicas de las bajas temperaturas. Telier (1867) y después Linde en los años 70 desarrollaron máquinas frigoríficas de amoníaco, y en 1895 Linde y Hempson, casi al mismo tiempo, crearon instalaciones industriales para licuar aire.

Precisamente estos dos logros de la técnica de bajas temperaturas de aquel tiempo - la máquina frigorífica de amoníaco y la instalación de licuación del aire sirvieron de prototipos respectivos de los proyectos de Gemgi y Tripler. Llamarlos prototipos se puede sólo relativamente, por cuanto la idea era totalmente nueva: utilizar las máquinas frigoríficas en un sentido muy diferente, como motores.

El esquema del autor del «motor-cero» puede verse en la fig. 5.1. Más adelante este esquema fue perfeccionado (fue añadida otra caldera e introducido un eyector a chorro). Sin embargo, estos cambios no concernían al principio de funcionamiento del «motor-cero».

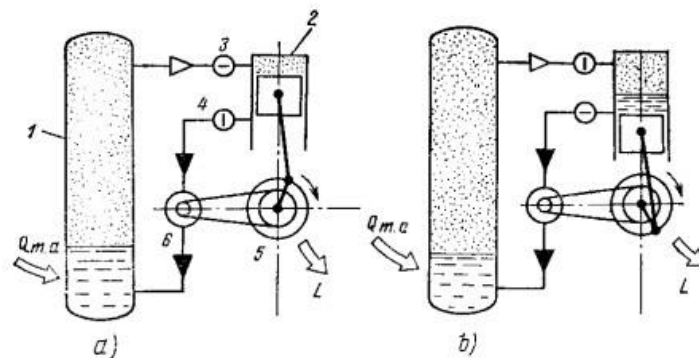


Fig. 5.1. Esquema del motor-cero de Gemgi: a, admisión del vapor a la máquina de expansión; b, evacuación del líquido de la máquina de expansión; 1, caldera; 2, máquina de expansión (máquina para enfriar gases por expansión); 3, válvula de admisión; 4, válvula de escape; 5, mecanismo de biela y manivela con volante; 6, bomba para amoníaco líquido

¿Cómo, en opinión del autor, debería trabajar este motor? Se sabe que a la temperatura del medio ambiente (por ejemplo, $300\text{ K} = 27^\circ\text{C}$) el amoníaco hierva a una presión de $1,0\text{ MPa}$ (10 atm)¹. Por consiguiente, en la caldera con amoníaco líquido, ubicado en este medio, se establecerá una presión del vapor superior a la atmosférica.

Este vapor puede enviarse a la máquina criogénica de émbolo (la llamada máquina para enfriar gases por expansión). En este caso el vapor se expande por ejemplo hasta $0,1\text{ MPa}$ (1 atm), entregando el trabajo exterior, respectivamente se enfría hasta 250 K (-23°C) y de manera parcial se licúa. El amoníaco líquido, junto con el vapor, pasa por la válvula de escape a la bomba que pone en movimiento la propia máquina de expansión: la máquina para enfriar gases por expansión.

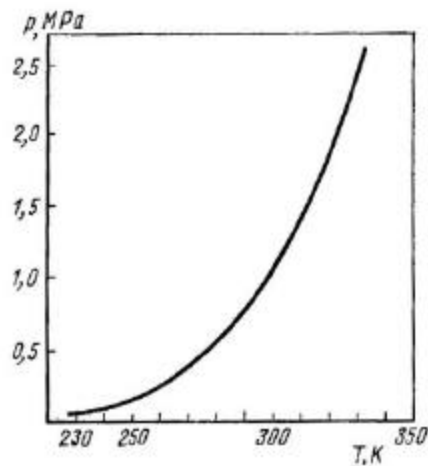


Fig. 5.2. Temperatura de ebullición del amoníaco en función de la presión

En la bomba la presión del amoníaco volverá a elevarse hasta $1,0\text{ MPa}$ (10 atm). La mezcla fría de amoníaco líquido y vapor vuelve a la caldera. Aquí a costa del calor A_{ma} que llega de una atmósfera más caliente (recordemos que el amoníaco después de la expansión tiene una temperatura de -23°C) el amoníaco vuelve a evaporarse. El vapor se conduce a la máquina para enfriar gases por expansión y el ciclo se repite. De esta manera el motor funciona entregando al consumidor el trabajo L (igual al trabajo realizado por la máquina para enfriar gases por expansión, descontando una parte pequeña de este trabajo consumido para el accionamiento de la bomba)

Aquí no se produce ninguna alteración del primer principio de la termodinámica, el principio de conservación de la energía: la cantidad de calor que se recibe del medio ambiente A_{ma} , es igual a la que se gasta en forma de trabajo ($L = Q_{ma}$). Al parecer todo está en orden.

Pero... Siempre este maldito «pero», en cuanto se llega al mpp. Pero el motor no se sabe por qué no funcionaba. ¿Qué es lo que pasaba?

Para responder a esta pregunta, compongamos los balances entrópico y exérgico del «motor-cero». Hacer el balance entrópico es más difícil que hacer el balance energético: con el calor se introduce cierta entropía Q_{ma}/T_{ma} , pero con el trabajo la entropía no se expulsa, por cuanto la

¹ La curva que refleja la dependencia de la presión del vapor respecto de la temperatura de ebullición del amoníaco se puede ver en la fig. 5.2.

entropía del flujo de trabajo es nula. Por consiguiente, la entropía no sólo disminuye, sino incluso desaparece. Esto es una evidente alteración del segundo principio.

Lo mismo muestra el balance exérgico. La exergía del calor recibido es igual a cero, ella no es capaz de trabajar, pues tiene la temperatura del medio ambiente T_{ma} . El trabajo que se recibe es igual a la exergía por lo que la exergía se retira pero no se conduce, ella aparece «de la nada». El rendimiento del «motor-cero» es infinito:

$$h_{ex} = \frac{E''}{E'} = \frac{L}{0} \rightarrow \infty$$

De esta manera el «motor-cero» es un tópico «motor monotérmico», un mpp-2.

Imaginémonos por un minuto que nos encontramos en el lugar de aquel mecánico que debe poner en marcha el motor ya ensamblado y repostado con amoníaco. Por ahora está parado, y esto es completamente normal puesto que no está frío y la presión es igual en todo lugar, 1,0 MPa (10 atm). ¿Cómo mover del lugar todas las partes de la máquina? Probemos el procedimiento más sencillo, comencemos a girar el volante y después lo soltamos para que la máquina continúe funcionando por sí sola. No obstante, podemos predecir de antemano que la máquina no se impulsará, sino al contrario, lentamente se detendrá. El intento de poner el motor en marcha independiente por otros procedimientos conducirá al mismo resultado.

Esto se explica muy sencillo. Para que la máquina de expansión (máquina para enfriar gases por expansión) trabaje se necesita que la presión tras ella sea inferior a la presión delante de ella. Gemgi pensaba que así será, por cuanto la bomba extrae una mezcla de vapor y líquido del tubo entre la máquina de expansión y la bomba. Pero para que esto ocurra hay que gastar trabajo en el accionamiento de la bomba, pero ¿de dónde lo cogemos? La máquina de expansión no lo puede proporcionar puesto que las presiones antes y después de ella son iguales y si la hacemos girar desde fuera (al ponerla en marcha) ella trabajará también como una bomba, impulsando el amoníaco al tubo anterior de la bomba. En este caso el amoníaco en ella no se enfriará, sino que incluso se calentará. De esta manera el «motor-cero» sólo podrá funcionar en el caso si se le hiciera girar por accionamiento exterior, consumiendo el trabajo L sin obtenerlo. La correspondiente cantidad de calor, en la cual sin utilidad se «transformará» el trabajo se entregará al medio ambiente.

En otras palabras, el «motor-cero» en lugar de trabajo nos entregará entropía, aproximando, si confiamos en Clausius, el fin del mundo. Así pues, el nombre de «motor-cero» inventado por Gemgi le gastó una mala broma: el motor en el sentido directo de la palabra resultó ser un motor cero, pero no por el consumo nulo de combustible, sino por el resultado cero, ausencia de trabajo útil producido.

¿Se puede hacer algo para obligar al «motor-cero» a realizar trabajo y no a consumirlo? Esta tarea se resuelve de una manera muy sencilla. Es necesario incluir en el esquema un condensador delante de la bomba, como puede verse en la fig. 5.3 y retirar de él el calor Q a una temperatura inferior $T_0 < T_{ma}$. En tal caso el amoníaco se licuará en la bomba y su presión se reducirá respectivamente.

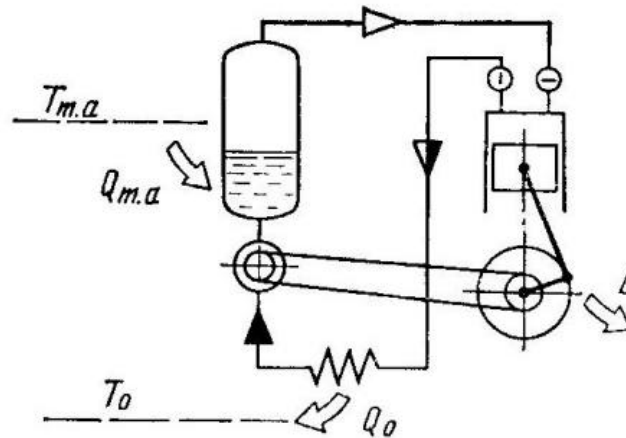


Fig. 5.3. Motor de Gemgi «perfeccionado» con toma de calor Q_0 en el nivel inferior de temperatura

Si, por ejemplo, realizamos la condensación a la temperatura $T_0 = 250 \text{ K}$ (-23 °C), como se ve en la curva de la fig. 5.2, la presión en el condensador se establecerá cercana a $0,16 \text{ MPa}$ ($1,6 \text{ atm}$). El motor revivirá inmediatamente, ya que en la máquina de expansión surgirá una diferencia de presiones; empezará a trabajar expandiendo el amoníaco desde $1,0 \text{ MPa}$ (10 atm) hasta $0,16 \text{ MPa}$ ($1,6 \text{ atm}$). Parte del trabajo realizado irá a la bomba y el restante, el trabajo útil, será entregado al consumidor. Ésta será la mayor parte del trabajo de la máquina de expansión, puesto que la bomba consumirá sólo una pequeña parte (bombeará líquido, cuyo volumen será decenas de veces menor que el del vapor; respectivamente menor será el trabajo necesario).

Tal motor funcionaría por cuanto se cumpliría la exigencia del segundo principio, existiría una diferencia de temperaturas ($T_{ma} - T_0$). A T_{ma} se suministraría el calor Q_{ma} y a T_0 se desviaría el calor $Q_0 > Q_{ma}$. La diferencia $Q_{ma} - Q_0$ daría el trabajo $L = Q_{ma} - Q_0$ en completa correspondencia no sólo con el primero, sino también con el segundo principio de la termodinámica. El motor «monotérmico» se convertiría en un motor común que trabaja entre dos niveles de temperatura.

Surge la pregunta, ¿por qué Gemgi no se dio cuenta de esta solución? Esto quedó sin conocerse. Sin embargo, es evidente también otra cosa. Incluso si semejante idea le llegara a la mente, esto no ayudaría en nada. En realidad, si retiramos el calor Q_0 a una temperatura baja T_0 , el motor se pondrá en marcha. Pero, ¿qué hacemos después con este calor? Pues, para esto tenemos que disponer de algún termorreceptor que admita este calor. Y dicho termorreceptor debe estar aún más frío (por ejemplo, a $T_0 = -23 \text{ °C}$ debe tener una temperatura, digamos, de -25 °C). De lo contrario, Q_0 no se dirigirá hacia él, por cuanto de conformidad nuevamente con el segundo principio de la termodinámica el calor puede pasar sólo de un cuerpo con mayor temperatura a un cuerpo con temperatura más baja y de ningún modo al revés.

Para crear un termorreceptor de este tipo en el que $T < T_0 < T_{ma}$ se necesita por obligación una máquina criogénica (bomba de calor) que lleve el calor Q_0 , de vuelta al nivel del medio ambiente T_{ma} para esto es necesario, incluso en el ideal gastar un trabajo igual al que proporciona el motor ideal en igual intervalo de temperaturas, o sea, todo lo «ganado» en el motor inmediatamente se lo «comerá» la bomba de calor. Como consecuencia de nuevo se obtiene un resultado cero. En el caso real el resultado será peor. El motor dará *menos* trabajo que el ideal

$$L_{\text{motor real}} < L_{\text{motor ideal}}$$

y la bomba de calor exigirá más trabajo que la ideal

$$L_{\text{bomba de calor real}} > L_{\text{bomba de calor ideal}}$$

Por cuanto

$$L_{\text{motor ideal}} = L_{\text{bomba de calor ideal}}$$

entonces

$$L_{\text{bomba de calor real}} > L_{\text{motor real}}$$

es decir, para que se mueva este sistema hay que girarlo desde fuera, gastando un trabajo

$$L = L_{\text{bomba de calor real}} - L_{\text{motor real}}$$

De nuevo obtuvimos el «motor-cero». Por consiguiente, el segundo nivel de temperaturas artificial tampoco resuelve el problema, por cuanto su creación requiere, en el mejor de los casos, la misma cantidad de trabajo que se puede obtener con el motor. El motor real puede ser creado sólo en el caso cuando en el medio exterior haya un desnivel de cualquier tipo, una diferencia, de cualesquiera fuerzas en movimiento (por ejemplo, ΔT , Δp , etc.), que se puede transformar en trabajo. Disponiendo de un sólo nivel de temperaturas del medio ambiente, no se puede obtener trabajo alguno.

Es fácil ver que el motor que muestra la fig. 5.3 tiene un esquema básico completamente igual al de la máquina de vapor. Sólo que las condiciones exteriores de trabajo de la máquina de vapor son diferentes: el nivel superior de temperaturas de esta máquina no corresponde al de la temperatura del medio ambiente, sino a una temperatura más alta, a la de los gases calientes de chimenea. El nivel inferior de temperaturas ya no es el artificial T_0 , sino el del medio ambiente T_{ma} . Aquí se utiliza la diferencia de potenciales ya existente en el medio exterior (por la composición química: combustible-oxígeno del aire). A cuenta de esta diferencia, por combustión, se crea precisamente el flujo térmico al nivel $T > T_{\text{ma}}$ que se utiliza en los motores verdaderos.

Otro inventor de mpp-2 de baja temperatura, del cual ya hemos hablado, Tripler, llegó más allá que Gemgi. En primer lugar intentó utilizar precisamente la idea que utilizamos para poner en marcha el motor-cero de Gemgi: con otra máquina, unida a la primera, crear un bajo nivel de temperaturas artificial. En segundo lugar él no trabajó con amoníaco, sino con aire líquido (temperatura inferior $T_0 = -190^\circ\text{C}$). Mas no ayudó ni lo uno ni lo otro, no se consiguió crear el motor.

Claro que, evaporando el aire líquido con calor tomado del medio ambiente, se puede conseguir aire comprimido y ponerlo a girar el motor. Y después, ¿qué? De nuevo surge la misma «maldita pregunta» que a Gemgi, condensar nuevamente el aire, o sea, retirar de él el calor a una temperatura muy baja, a una temperatura criogénica². Y para ello de nuevo se necesita aire líquido que para conseguirlo precisa, como mínimo, una cantidad de energía igual a la que produjo el motor (y en condiciones reales aún más). Otra vez en lugar de obtener trabajo, éste sólo se gasta.

² De la palabra griega «crío», muy frío. Así se llama la zona de temperaturas inferiores a 120 K (-153 °C)

En marzo de 1899 en la revista «Macklurs magazin» fue publicado un artículo dedicado al laboratorio de Tripler y a los formidables trabajos que él realiza. El artículo fue escrito por R. Baker. El autor refutaba el segundo principio de la Termodinámica y anunciaba a Tripler como creador del móvil perpetuo, incluyendo las palabras del inventor: «Utilicé en mi máquina 3 galones de aire y obtuve en el licuador unos 10 galones de líquido. De tal manera se obtuvo un incremento de 7 galones que no me costaron nada y que puedo utilizar dondequiera para realizar trabajo útil»

Hemos de notar aquí que Tripler hizo equivocarse a Baker aprovechando su falta de conocimientos. La instalación de Tripler para licuar aire era, en esencia, una copia de la que construyó Linde en Munich en 1895. En dicho sistema, de 1 kg de aire se obtenía en el licuador unos 50 g de aire líquido, o sea, un 5 % . Por eso Tripler no pudo obtener de «3 galones de aire un incremento de 7 galones».

Tripler no reconoció el fracaso de su idea. Todos los expertos que intentaron llegar a él, por no se sabe qué razón, llegaban a «destiempo» y volvían sin haber visto el motor al que tanta publicidad se había hecho.

No podemos pasar sin señalar el especial interés revelado hacia la utilización militar del móvil perpetuo de segunda especie. Realmente, ¿qué puede haber más atractivo para los militares que un barco o un avión con un motor que pueda trabajar en régimen autónomo por un tiempo, prácticamente, indefinido?

Es lógico que el «motor-cero» del profesor Gemgi pareciera muy bueno como motor para los barcos de la armada de los EE.UU., ante la cual ya entonces se planteaban cuestiones basadas en planes de muy largo alcance.

He aquí lo que escribía el ingeniero jefe del departamento de la armada de los EE.UU., Iserwood a su superior³, recomendando realizar unas pruebas completas del motor de Gemgi: «Todo esto crearía las bases para el diseño de un motor con posibilidades ilimitadas. Teniendo en cuenta la particular importancia de este descubrimiento tanto para la armada de los EE.UU., como para la humanidad, yo recomiendo insistentemente al departamento la creación, para el profesor Gemgi, de las mejores condiciones para que continúe sus investigaciones experimentales e informar de ellas al gobierno de los Estados Unidos. El profesor expresa su disposición de entregar su invento para el análisis pericial más riguroso y hacer esto sin demora».

Es característico que Iserwood no se olvida de la «humanidad», pero pone en primer plano las necesidades de la armada de los EE.UU. Más adelante aclara: «A diferencia de las potencias marítimas europeas que tienen colonias y bases con reservas de combustible en las distintas regiones del mundo, potencias que deben ser consideradas como enemigos potenciales en los futuros conflictos militares, los EE.UU., no tienen ni lo uno, ni lo otro. Por ello en el curso de las operaciones militares lejos de sus costas la flota de los EE.UU. puede verse en una situación estratégicamente inconveniente por no tener bases con reservas de combustible. Las posiciones de las partes, en este sentido, se nivelarán si la armada de los EE.UU. recibe motores de este nuevo tipo. En tal caso nuestros cruceros podrán alcanzar los acuatorios más alejados igual de fácil que las armadas de los países que disponen allí de reservas de combustible».

De la carta vemos que en problemas estratégicos el ingeniero jefe comprendía mucho más que en los energéticos. No obstante, se sabe que el presidente Garfield recibió un informe sobre este motor. Qué ocurrió más adelante y cómo se desarrollaron los acontecimientos, no se pudo establecer; pero esto no es tan importante, por cuanto el final «cero» de esta historia era inevitable. Hay que subrayar solamente que el redactor del periódico «Kansas City review» en el

³ La cita es del libro de Ord-Home [2.51, publicado en «Kansas City review» (tomo 5, 1882, pág. 86-89)

que fue publicado el emocionante reportaje sobre el motor de Gemgi, comentó esta historia de la siguiente manera: «La práctica, al fin de cuentas, mostrará las ventajas reales de este invento». Esta precaución y respeto hacia el experimento pueden servir de buen ejemplo para algunos redactores de hoy que publican artículos sobre el mpp-2.

En el hemisferio oriental tampoco pasaron de largo a la posibilidad de utilizar militarmente el mpp-2. Dos años antes de la Primera Guerra Mundial (en 1912) cierto Hofmann propuso su proyecto de móvil perpetuo. Era una de las variantes termomecánicas del mpp-2 aunque complicado, pero, naturalmente, como otros estaba imposibilitado para el trabajo. Su autor pertenecía al grupo de teóricos que no sólo inventan motores mpp-2, sino también tratan de darle a sus ideas una base «teórica». Con trabajos de algunos de estos teóricos ya hemos tropezado. Sin embargo, el trabajo de Hofmann no sólo glorificaba el móvil perpetuo. En él se reflejó claramente aquel espíritu patriótico militar que en aquel tiempo se implantaba en Alemania.

En un pequeño folleto publicado en Leipzig titulado «Teoría del móvil perpetuo» Hofmann escribió sobre la posible utilización del mpp-2 en la aviación militar: «Hoy en Alemania no se comprende la importancia de la creación de móviles perpetuos, asemejándose a los escépticos que unos 10 años atrás negaban la posible aparición de aparatos voladores más pesados que el aire. Como consecuencia de esta falta de fe, varios años atrás en Reims los franceses y los norteamericanos demostraron que son ellos y no los alemanes los líderes en la navegación aérea. Quiera Dios que la fortuna proteja a los alemanes de otra deshonra como la de Reims. Pues parece que mientras el norteamericano John y el francés Pierre no lleguen a Hamburgo o a Berlín en barcos provistos de móviles perpetuos el Michel alemán no despertará de su sueño letárgico». Hofmann tenía miedo porque en la competición internacional de 1909 en Reims los aviones alemanes resultaron mucho peores que los americanos y los franceses. Él veía la salida en sobrepasar los futuros contrarios en la aplicación del mpp-2. No obstante, el llamamiento de Hofmann hacia la utilización militar del mpp-2 quedó sin realizar.

Las ideas sobre los mpp-2 termomecánicos de bajas temperaturas volvieron a surgir más de una vez en las más diferentes variantes. Después de Gemgi y Tripler se dedicaron a ellos Lipmann (1900), Svedberg (1907) y otros muchos. Hoy día siguen presentándose semejantes proyectos. Como ejemplo se puede citar la máquina de Jersen la cual fue patentada en los EE.UU., con prioridad del 3.12. 1981 [3.13].

La descripción y las ilustraciones en la patente son muy enrevesadas (por lo visto, ésta es una particularidad internacional de todos los inventores del mpp-2) y con errores

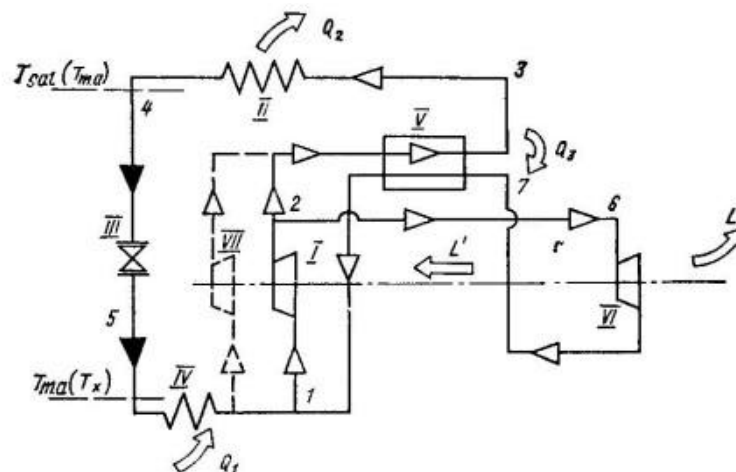


Fig. 5.4. Esquema básico de la máquina térmica de Jersen: I, compresor; II,

condensador; III, válvula de estrangulación; IV, evaporador; V, intercambiador de calor; VI, turbina; VII, compresor de arranque

Es natural también que el dispositivo que se ofrece no se nombre directamente móvil perpetuo, sino que lleva un nombre decoroso, «máquina térmica». Pero después del desciframiento se hace evidente que es un mpp-2 típico, pero ligeramente perfeccionado.

El esquema básico de la máquina de Jersen se puede ver en la fig. 5.4. Incluye dos contornos unidos por el compresor I común para ambos. El primero, mostrado con líneas continuas, representa una bomba de calor clásica. La presión del cuerpo de trabajo que circula por el compresor y se comprime en él aumenta de p_1 a p_2 ; al mismo tiempo sube también su temperatura. El cuerpo de trabajo caliente (amoníaco o freón⁴) en el estado correspondiente al punto 2 primero pasa al intercambiador de calor V, donde entrega el calor Q_3 y después se enfría adicionalmente en el condensador II. En este caso de él se desprende el calor Q_2 . El agente frigorífico líquido se estrangula en la válvula III, como resultado de lo cual su presión se reduce de p_2 a p_1 . Parte del líquido se evapora y su temperatura cae. El líquido frío se evapora en el vaporizador IV al añadir a éste desde fuera el calor Q_1 .

De esta manera, la acción de la máquina conduce a la extracción del calor Q_1 a un nivel de temperaturas bajo de cualquier emisor de calor y la entrega del calor Q_2 a un nivel más alto. El inventor indica que puede utilizarse el dispositivo propuesto por él, tanto como máquina criogénica, como bomba de calor. En el primer caso el calor Q_1 se retira a una temperatura baja $T_1 < T_{ma}$ y la cantidad de calor Q_2 se entrega a una temperatura alta (desde T_3 hasta T_4), próxima a T_{ma} . En el segundo caso el calor Q_1 se extrae del medio ambiente a T_{ma} y Q_2 se retira a una temperatura alta $T_2 > T_{ma}$. Hasta aquí por ahora todo es correcto. Estas instalaciones existen y funcionan satisfactoriamente como frigoríficas y como bombas de calor. Pero, naturalmente, con una condición: el compresor se debe poner en marcha mediante un trabajo exterior. Y ¿cómo pasar sin éste? Para evitar la aplicación de un trabajo exterior (en tal caso no habría invento), Jersen toma el camino «clásico», característico para todos los inventores del mpp-2: intenta utilizar sólo «recursos interiores». La bomba de calor debe asegurarse por sí sola de energía para el accionamiento del compresor. Para ello se crea precisamente el segundo contorno, presentado en la figura con líneas de trazos. Él, en resumidas cuentas, consiste de la turbinamotor VI, cuyo accionamiento se asegura por una parte del cuerpo de trabajo comprimido que se retira en el punto 2 tras el compresor. Ensanchándose en la turbina de la presión p_2 a la presión p_1 , el cuerpo de trabajo realiza determinado trabajo y vuelve, después de calentado en el intercambiador de calor V, a la línea de aspiración del compresor. Según el inventor, este trabajo debe alcanzar también para hacer girar el compresor (hacer el trabajo L') y para el consumidor exterior (el trabajo L). El autor tampoco olvidó sobre la puesta en marcha de la instalación que se acciona de una transmisión exterior especial (en el esquema no se indica) y del turbocompresor VII. ¡Todo está previsto!

Si «todo» esto pudiera existir realmente, la humanidad recibiría un motor que funcione sólo a costa del calor extraído del medio ambiente. Y esto es poco, este motor daría adicionalmente o bien frío (si el primer contorno trabajara como máquina frigorífica), o bien calor (si actuara como bomba de calor). Pero, no obstante, el segundo principio prohíbe ambas variantes. Tanto en el primer como en el segundo caso un cálculo simple muestra que el trabajo de la turbina no alcanza incluso para accionar el compresor, sin hablar ya de consumidor exterior.

⁴ Freones se llaman un grupo de sustancias derivadas de halógenos de los hidrocarburos límites que se utilizan como cuerpos de trabajo de instalaciones frigoríficas y de bombas de calor.

Aquí el balance energético, como en cualquier mpp-2 decente coincide y no se altera el primer principio.

Realmente, para ello sólo es necesario que $Q_2 = Q_1 - L$. Las magnitudes L' y Q_3 no entran en el balance puesto que caracterizan la transmisión interior de la energía de una de las partes de la instalación a otra. Se ve que no hay nada imposible (desde el punto de vista del primer principio) en la ecuación: la cantidad de energía que llega con el flujo de calor es igual a la que se retira con el trabajo y el calor.

El balance exérgico del motor de Jersen, en función del régimen, se expresará de distinta manera.

Para el régimen de la bomba de calor

$$0 = E_q + L$$

La exergía del calor Q_1 extraído del medio ambiente es igual a cero y de ello (de cero) Jersen obtiene tanto la exergía del calor Q_2 producida por la bomba de calor

$$E_q = Q_2 \frac{T_{cal} - T_{ma}}{T_{cal}}$$

como trabajo exterior. Ésta es una situación claramente imposible: exergía del calor y trabajo de la nada; el rendimiento η_{ex} sería igual al infinito:

$$h_{ex} = \frac{E_q + L}{0} \rightarrow \infty$$

Para el régimen de instalación frigorífica también $0 = E_q + L$. Aquí nuevamente la exergía no llega de ninguna parte, pero se consume por dos direcciones. En primer lugar, ella se entrega en forma de «frío»

$$E_q = Q_1 \frac{T_f - T_{ma}}{T_f}$$

puesto que la llegada del calor, cuando $T > T_{ma}$ corresponde al gasto de exergía (Q_1 y E_q tienen signos diferentes, por cuanto

$$E_q = \frac{T_f - T_{ma}}{T_f} < 0$$

En segundo lugar, la exergía se retira en forma de trabajo L . Otra vez dos resultados útiles de «la nada» y ¡un rendimiento infinito!

Junto con el mpp-2 «frío» se diseñaron también otros mpp-2 «calientes», destinados para trabajar sólo a temperaturas superiores a las del medio ambiente. La fuente de energía para ellos era la misma: «el calor del medio ambiente». Sus autores se apoyaban en la tradición de la termotecnia. Algunos de ellos están protegidos por certificados de autor o patentes [3.143.17].

Examinemos uno de ellos, el más característico [3.14]. El autor (el profesor A. N. Shelest) le dio el nombre de «máquina del futuro» al motor propuesto por él. Otro nombre de este motor es «máquina de calor atmosférico» [3.17].

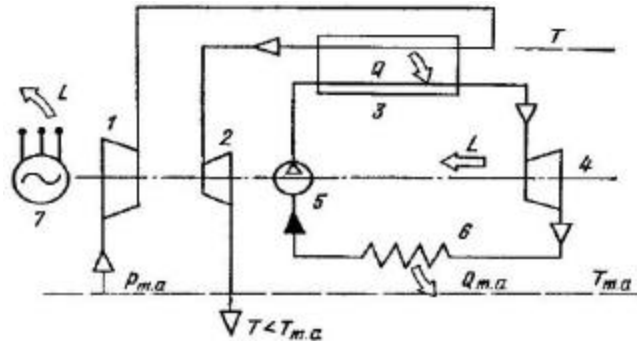


Fig. 5.5. Esquema de la «máquina del calor atmosférico»

El esquema de la máquina se muestra en la fig. 5.5. Consta de dos contornos. El primero, que incluye el turbocompresor 1 y la turbina 2, está unido a la entrada y salida con la atmósfera y se pone en marcha con un motor eléctrico de arranque que en el esquema no está indicado. El aire atmosférico que se succiona al compresor (a P_{ma} y T_{ma}) se comprime; su temperatura, respectivamente, aumenta. En el intercambiador de calor 3 el aire caliente comprimido se enfría (en el límite, hasta la temperatura inicial) y calienta el cuerpo de trabajo del segundo contorno. Después de esto el aire frío comprimido llega a la turbina 2, donde se expande, entrega el trabajo exterior y se expulsa a la atmósfera. Por cuanto la temperatura delante de la turbina es próxima a T_{ma} , la del aire expandido ya utilizado T , tras la turbina, será inferior a la temperatura del medio ambiente T_{ma} . La potencia desarrollada por la turbina 2 se utiliza para accionar el compresor 1, lo cual permite reducir la potencia del electromotor de arranque necesaria para el funcionamiento del compresor. De esta manera, en opinión de A. I. Shelest, el primer contorno hace las veces de bomba de calor que «bombea» el calor de aire atmosférico a un nivel superior de temperaturas T , utilizado en el intercambiador de calor 3.

El segundo contorno representa un ciclo térmico de fuerza, en el cual circula un cuerpo de trabajo cualquiera con un bajo punto de ebullición que se evapora en el intercambiador de calor 3 por acción del calor Q que llega del primer contorno. El cuerpo de trabajo condensado en el condensador 6 a una temperatura próxima a T_{ma} es transferido por la bomba 5 a través del intercambiador de calor a la turbina principal 4, donde se ensancha produciendo trabajo. Este trabajo, en un régimen estacionario, se entrega al accionamiento del primer contorno (el motor eléctrico se desconecta) y la parte restante se entrega al generador eléctrico 7 que produce energía para él consumo exterior.

Como resultado a costa del calor atmosférico se produce energía eléctrica. El gasto de combustible (y de energía eléctrica, sin considerar el período de arranque) se excluye.

De esta descripción vemos que «la máquina de calor atmosférico» propuesta representa un mpp-2 clásico, un «motor monotérmico». Comprendiendo que una máquina térmica no puede producir trabajo sin utilizar dos niveles de temperaturas, el inventor trata de ladear el segundo principio, creando artificialmente este segundo nivel más alto, combinando el compresor 1 con la turbina de expansión 2. Pero el segundo principio se revela inevitablemente: esta bomba de calor captará todo el trabajo producido en el ciclo térmico y la instalación no dará ningún efecto; ella simplemente se detendrá al poco de ser puesta en marcha.

Realicemos un análisis de los balances energético y exérgico de «la máquina de calor atmosférico» por el método descrito en el capítulo 4. Comencemos por el balance energético. A la instalación (al compresor 1) llega el aire atmosférico. Su entalpía H_1 muestra la cantidad de energía introducida por el aire. Esta energía se gasta por tres capítulos:

- 1) se expulsa con el aire saliente (entalpía H_2).
 - 2) se entrega en forma de calor Q_{ma} al ambiente a través del condensador 1.
 - 3) se entrega en forma de trabajo útil L del generador eléctrico 7.
- El balance energético tendrá el siguiente aspecto:

$$H_1 = H_2 + Q_{ma} + L$$

Este balance no ofrece duda: desde el punto de vista del primer principio de la termodinámica todo está en orden.

El balance exérgico, a diferencia del energético, incluirá sólo dos términos, la exergía E_2 retirada a la atmósfera desde la turbina de aire frío y el trabajo útil L . La exergía del aire aspirado de la atmósfera es $E_1 = 0$ puesto que su temperatura T_{ma} de la presión p_{ma} corresponden a los parámetros atmosféricos. De la misma manera es igual a cero la exergía del calor que se entrega desde el condensador al medio ambiente a la temperatura T_{ma} . Este calor no es capaz de producir trabajo, por consiguiente, el balance exérgico del sistema (si trabajara) sería el siguiente:

$$0 \geq L + E_2$$

por cuanto la exergía que llega debe ser mayor (en el ideal debe ser igual) a la que sale. Dicho de otro modo, en el balance la parte de exergía que llega es nula y la que se gasta es igual a la suma $L + E_2$. Esto significa que la «máquina del futuro» no sólo debe producir trabajo desde «la nada», sino también producir aire frío con una exergía mayor de cero, dado que, teniendo una temperatura distinta que el medio ambiente, posee determinada capacidad de trabajo.

En el caso ideal (signo de igualdad) la máquina, en principio, puede funcionar pero como frigorífica, produciendo aire frío y gastando el trabajo L (por cuanto $-L = E_2$). En el caso real también tendremos un frigorífico, pero producirá menos frío para un mismo gasto de trabajo ($-L > E_2$). No hay ni que pensar en obtener trabajo en este caso.

El rendimiento del sistema (en el supuesto de que la máquina pudiera trabajar como motor) será igual a la razón entre el resultado ($L + E_2$) y el gasto de exergía. Por cuanto el gasto es igual a cero

$$h_{ex} = \frac{E_2 + L}{0} = \infty$$

Si la máquina funcionara, su rendimiento sería infinito. Tal rendimiento es característico de todos los mpp, no sólo de segunda, sino también de primera especie, pues todos ellos producen exergía (o sea, también trabajo) de la nada.

Esta máquina, al igual que la de Jersen, es un interno clásico de realizar un motor que funcione a costa de la energía del medio ambiente estacionario. Esta energía realmente es inmensa, pero por cuanto su exergía es nula, carece totalmente de capacidad de trabajo.

Para finalizar el estudio de la «máquina del futuro» proponemos un fragmento del artículo dedicado a ella, publicado en el periódico «Ekonomicheskaya gazeta» [3.17]. El autor del artículo, indignado por la rutina de quienes cesaron en el trabajo de creación de esta máquina, escribió:

«El elevado rendimiento de esta máquina que alcanza el 60-80 %, es asegurado por la utilización del calor del aire atmosférico. Éste se absorbe por el compresor de la instalación, a la temperatura de la atmósfera y sale de la turbina a una temperatura más baja. Así en esta máquina se utiliza el principio, conocido en la física, como principio de la bomba de calor.

La máquina del sistema de A.N. Shélest, que utiliza el calor atmosférico, puede ser utilizada en estaciones termoeléctricas con unos rendimientos dos veces mayores que los actuales».

Incluso si creemos en la afirmación del autor de este artículo de que la máquina trabajará, resulta incomprensible, ¿por qué el rendimiento será «2 veces» (80 %) mayor? Pues en la central termoeléctrica se consume combustible; para elevar el rendimiento 2 veces la cantidad de combustible que habrá que gastar por 1 kw/h será 2 veces menor. En la «máquina del futuro» el combustible, en general, no se consume. ¿Por qué «2 veces»?

No vamos a examinar otros intentos de realizar un «motor monotérmico» de calor basados en transformaciones termomecánicas. Todos ellos son muy parecidos y la diferencia se revela sólo en detalles. Al igual que al crear el mpp-1, sus inventores suponen ingenuamente que cambiando cualesquiera detalles se conseguirá violar la ley de la ciencia.

En esta convicción les ayudan algunos teóricos que tratan de aplicar una «base científica» al mpp-2. En el curso de la exposición en capítulos anteriores, ya hicimos referencia de ellos. No obstante, todos ellos, como hemos visto, se apoyan más en la idea de carácter filosófico-cosmológico o sobre razonamientos generales.

Hoy, teniendo a su disposición información sobre proyectos de mpp-2 reales, se puede dar el siguiente paso: examinar las teorías científicas que justifican directamente la posibilidad de crear un motor «monotérmico». Para ello se crea una nueva base «termodinámica» con liquidación inevitable del segundo principio.

Los trabajos relacionados con la creación de tal «base científicas y las discusiones en las páginas de los medios de información de masas tuvieron lugar tanto en la URSS como en el extranjero. En Polonia, por ejemplo, el artículo con la descripción del motor «monotérmico» titulado «Teplovik» (Máquina de calor) y su argumentación teórica fueron publicados por el ingeniero J. Mordasewicz [3.20]. Claro que la redacción de la revista actuó de manera muy racional, publicando tras aquel artículo otro del profesor S. Ocheduszko y de J. Sikora [3.21], en el cual claramente se mostraba la inconsistencia de las ideas de Mordasewicz (de todos modos Mordasewicz recibió el certificado de autor de su «teplóvik»).

Podría parecer que en esto la historia debería acabar: la verdad científica triunfó y el autor del «teplóvik» recibió el documento deseado. Pero pasaron 20 años y la idea del «teplóvik» saltó nuevamente. En el periódico «Política» apareció un artículo sobre Mordasewicz con un título curioso «¿Loco o genio?» [3.22]. No tenemos necesidad de analizar este u otros trabajos extranjeros por cuanto existen suficientes publicaciones análogas en idioma ruso.

Detengámonos, con este motivo, en los trabajos del profesor M.A. Márnontov [3.96; 3.18]. Los lectores se ven obligados a profundizar en construcciones teóricas de semejante tipo: esto casi siempre es un trabajo difícil. Es difícil no porque resulte complicada la comprensión de las profundas ideas, sino a consecuencia de la forma especial de exposición.

Se conoce un aforismo sabio: «Quien piensa con claridad, con claridad se expresa». No es menos cierta la afirmación contraria. Como regla, las teorías equivocadas se exponen de una manera muy enredada, utilizando muchas palabras sabias, términos y conceptos nuevos. Salir del

laberinto formado no es tan simple. Esto es natural: si la exposición de las mismas tesis fuera precisa y consecuente su inconsistencia se revelaría por sí misma. Los conceptos anticientíficos falsos pueden vivir sólo en condiciones de confusión en las ideas y en las palabras, éste es su «medio vital».

Así pues, analicemos la base teórica del mpp-2, la termodinámica «renovada». Actuaremos así: primero presentaremos las correspondientes citas, colocándolas, dentro de lo posible, en una secuencia lógica y después las vamos a desenredar y analizar. Comencemos por el capítulo «Posibilidad esencial de creación del motor de calor con una fuente de calor» en [3.16].

El autor escojo como objeto en el que se produce el fenómeno «que se encuentra en evidente contradicción con algunas tesis de la termodinámica clásica»⁵, las herramientas neumáticas. «Los fenómenos, observados regularmente, de condensación de vapores de agua en la cavidad de trabajo de los motores neumáticos y las interrupciones en el funcionamiento de estos motores a consecuencia de la congelación de las gotas de agua son una muestra indiscutible del enfriamiento real del cuerpo de trabajo del motor neumático hasta temperaturas muy inferiores a la del aire atmosférico». Y a continuación:

«Las causas de una divergencia tan brusca de las tesis expuestas de la termodinámica clásica con los hechos reales indiscutibles consisten en la concepción clásica del calor, tomada como base del análisis clásico. A pesar de este análisis, la conducción de la energía térmica a la cavidad de trabajo del motor neumático se realiza por migración del calor a temperaturas de la sustancia de trabajo conducida, próxima a la temperatura del medio ambiente (atmósfera). En estas condiciones desde el primer momento de la etapa de expansión del volumen de trabajo se crean condiciones en las que la temperatura de la sustancia de trabajo se vuelva inferior a la del medio ambiente. Como resultado de lo cual:

la variación del estado del cuerpo comienza a la temperatura de la sustancia de trabajo, próxima a la del medio ambiente;

- el trabajo se realiza a costa del enfriamiento de la sustancia de trabajo por debajo de la temperatura del medio ambiente;
- la transmisión del calor del cuerpo de trabajo al receptor de calor se produce a una diferencia negativa de las temperaturas (el calor pasa del cuerpo con temperatura alta)».

Otra cita:

«Los fenómenos antes indicados de enfriamiento del cuerpo de trabajo, que con mayor claridad se observan en motores neumáticos sin calentamiento del aire, tienen una importancia esencial, por cuanto abren la posibilidad de conducir el calor al cuerpo de trabajo a costa de la energía térmica de la atmósfera.

Si aseguramos un aumento considerable de la superficie interior de la cavidad de trabajo (superficie de calentamiento) y un movimiento lento del émbolo, utilizando la diferencia de temperaturas creada entre las paredes de la cavidad de trabajo y el cuerpo de trabajo se puede transformar el proceso de ensanchamiento del adiabático en un proceso próximo al isotérmico. Por cuanto la isoterma durante el ensanchamiento pasa bastante más alto que la adiabata, entonces la variación indicada del proceso conducirá a un aumento considerable del trabajo útil. De esta manera del motor neumático se podrá obtener trabajo no sólo a cuenta de la energía del aire en el acumulador, sitio también a costa de utilizar el calor gratuito de la atmósfera».

⁵ Aquí y en adelante el autor cita las «tesis de la termodinámica clásica» o bien no del todo comprensible o bien por fuentes en las cuales están expuestas no de la mejor manera. Por ello en los correspondientes lugares nosotros debemos recordarlos por sí mismos: esto no contradice a las reglas de la discusión.

«...Si tenemos en cuenta que la termodinámica clásica, de conformidad con sus concepciones niega categóricamente la posibilidad de transformación directa del calor del medio ambiente en trabajo, el establecimiento de la posibilidad de tal transformación en los motores neumáticos (de gas) tiene un gran significado esencial».

Lo expuesto en estas citas no es simple «filosofía», sino conclusiones concretas de fenómenos reales. El autor más adelante basa en estas conclusiones el proyecto del motor. Por ello antes de seguir analicemos estas conclusiones.

Primero es necesario confirmar el indudable hecho bien conocido de que el aire comprimido, al expandirse en los motores neumáticos, se enfría hasta una temperatura más baja que la del medio ambiente. En esto no hay nada sorprendente y es raro porqué M.A. Mámontov saca conclusiones de tan largo alcance. Realmente se conoce bien que el aire, como cualquier otro gas, se calienta al comprimirlo en condiciones adiabáticas⁶. Este hecho lo observa cualquier ciclista o automovilista al inflar las ruedas de su vehículo. El trabajo consumido se convierte en energía interior del gas y su temperatura aumenta. De la misma manera al ensancharse el gas con entrega de trabajo (como, por ejemplo, en la herramienta neumática) el aire comprimido se enfría.

Señalemos que este enfriamiento puede ser considerable. Si, por ejemplo, la presión del aire es de 4 atm (0,4 MPa) y la temperatura, +20 °C (293 K), al ensancharse hasta la presión atmosférica él se enfría aproximadamente hasta -75 °C (198 K), es decir, en 95 °C. En las condiciones reales, a causa de la llegada del calor, el enfriamiento sería menor, pero de todos modos suficientemente grande. Todo esto ocurre «de acuerdo con la ciencia» y nadie niega la existencia de tal proceso. Los diagramas de los flujos de energía para estos casos se muestran en la fig. 5.6.

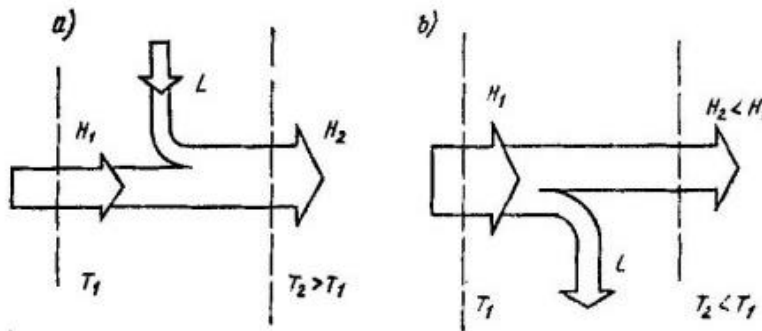


Fig. 5.6. Diagramas de los flujos de energía para los procesos adiabáticos de compresión (a) y de expansión (b)

Vayamos más adelante y descifremos la segunda y más larga cita. En ella se habla de otro proceso de expansión pero ya no adiabático, sino isotérmico. Su particularidad consiste en que durante la expansión del gas se conduce calor del medio ambiente en tal cantidad que no se enfríe. Como resultado la temperatura del gas se mantiene invariable (de aquí el término «isotérmico»).

⁶ Las condiciones adiabáticas comprenden el total aislamiento térmico del cuerpo de trabajo (en este caso el aire) respecto del medio exterior. El calor en este caso no puede suministrarse a través de las paredes del cilindro, ni retirarse de él

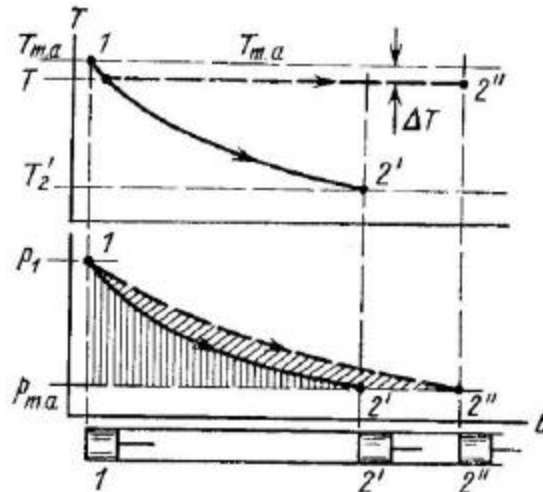


Fig. 5.7. Variación de la temperatura y la presión del gas (aire) durante la expansión teniendo en cuenta la afluencia de calor del exterior

Analicemos este proceso de conformidad con la termodinámica clásica y después comparemos los resultados con la interpretación de M.A. Mámontov.

En la fig. 5.7 podemos ver los gráficos de variación de la temperatura T y de la presión p del gas durante su expansión en el cilindro de la herramienta neumática en función de la carrera l del émbolo. El punto 1 corresponde a la posición inicial del émbolo, los puntos 2' y 2'', a los pinitos finales del mismo.

Durante la expansión adiabática (rayado vertical) la temperatura del gas descende, al igual dile la presión, mientras el émbolo se desplaza hacia la derecha. En el punto final 2 la presión se reduce hasta la atmosférica P_{ma} y la temperatura hasta T_2 bastante más baja que T_{ma} . La energía L_{ad} retirada en forma de trabajo corresponde al área con rayado vertical. Por el primer principio de la termodinámica ella será igual a la reducción de la energía interior del gas: $L_{ad} = \Delta U_{1-2}$.

Durante la expansión isotérmica (rayado inclinado) la temperatura del gas, sólo en el primer momento se reduce en una magnitud muy pequeña ΔT , diferencia de temperaturas necesarias para que el calor del medio ambiente pueda comunicarse al gas. En adelante la temperatura será permanente hasta el final de la expansión, igual a $T = T_{ma} - \Delta T$. La presión del gas se reducirá lentamente, por cuanto al gas se le aplica permanentemente calor. Por eso el émbolo hacia el momento cuando p se iguale a P_{ma} recorrerá un camino grande y se detendrá sólo en el punto 2''. Respectivamente también el trabajo L_{is} realizado por el gas, será mayor (y la carrera del émbolo y la presión aquí es mayor). El trabajo adicional corresponde al área con rayado inclinado; el trabajo sumario es igual a la cantidad de calor conducido Q_{ma} ($L_{is} = Q_{ma}$)⁷.

Ahora nosotros podemos volver a las citas de M.A. Mámontov.

En el segundo y tercer puntos siguientes a las palabras «Como resultado de la cual» todo lo que ocurre en el motor, no se sabe por qué, se comprende al revés. El trabajo, como hemos visto, se realiza no «a cuenta del enfriamiento» (como en el proceso adiabático), sino al revés calentando permanentemente la sustancia de trabajo. Pues el calor Q_{ma} que asegura el trabajo del motor, todo el tiempo se suministra al cuerpo de trabajo y no se retira de él. Por ello el segundo punto es

⁷ La energía interior del gas no cambió por cuanto ella no depende del volumen y se determina sólo por la temperatura.

incorrecto. El tercer punto es totalmente incomprensible. La transmisión de calor viene no «desde el cuerpo de trabajo, sino al revés hacia el cuerpo de trabajo (hacia el gas), y no a una diferencia «negativa» de temperaturas, sino a diferencias positivas ($\Delta T = T_{ma} - T$) y no «desde un cuerpo con temperaturas bajas» (el gas), sino por el contrario hacia él desde el medio ambiente.

En la parte posterior de la cita no hay tales «inversiones». Si no tenemos en cuenta la palabra «sobreenfriamiento»⁸, que aquí no viene a qué (simplemente hay que poner «enfriamiento»), la parte real está expuesta correctamente. Pero la interpretación de los acontecimientos, en principio, es incorrecta. El autor supone que del motor isotérmico se puede obtener trabajo «también a cuenta de la utilización del calor gratuito de la atmósfera». A primera vista puede parecer correcto: pues el trabajo L_{is} es igual al calor Q_{ma} extraído del medio ambiente. Pero tal conclusión sería prematura. Pensemos: si el aire *de antemano* no fuera comprimido ¿podría funcionar el motor “a costa del calor atmosférico gratuito”? Por lo visto, no. ¿Y de dónde surgió la presión? Del compresor, en el cual tiene lugar el proceso, totalmente inverso al que se produce en el motor. Allí el gas se comprime desde p_{ma} (punto 2”) hasta p_1 . En tal caso su temperatura (si conducimos el proceso también de manera isotérmica) no será inferior, sino superior a T_{ma} en ΔT y el calor Q_{ma} será entregado al medio y el motor cogió la misma cantidad de calor del medio. ¡Como resultado se obtiene cero! El trabajo L se obtiene sólo a cuenta de un trabajo absolutamente igual, gastado en la compresión por el compresor. Así será en el caso ideal, si el compresor y el motor son isotérmicos. El trabajo en las condiciones reales gastado en el compresor y la cantidad de calor retirado al medio ambiente será mayor que el trabajo obtenido en el motor y mucho mayor que el calor que él extrae del medio ambiente. Como resultado se obtendrá el mismo cuadro clásico: la entropía sumaria crecerá y la exergía al revés se reducirá parcialmente, por cuanto la exergía del aire comprimido después del compresor será menor que el trabajo conducido, y el trabajo del motor neumático será menor que la exergía del aire comprimido (prácticamente queda de 5 a 10 % del trabajo gastado por el compresor). El lector, si lo desea, puede comprobarlo, componiendo el esquema correspondiente de los flujos de energía y exergía.

Lo expuesto muestra toda la inconsistencia del último pasaje de M.A. Mámontov contra la termodinámica clásica. Nosotros vimos que al analizar el motor neumático no existe divergencia alguna con hechos indiscutibles y ellos se inscriben bien en sus tesis.

Cómo no recordar aquí algo que dijo en el siglo XVII el gran científico inglés R. Hooke (1.28]: «La mayoría de los científicos tienen conocimientos superficiales..., de unas pocas tesis indeterminadas e imprecisas sacan las conclusiones más generales y con ellas formulan las leyes que rigen el mundo y la naturaleza». Si en esta expresión sustituimos la palabra «mayoría» por «minoría», lo que también sirve para el día de hoy.

El profesor M.A. Mámontov no se limitó a investigaciones teóricas. Llevando a la práctica la ligazón de la ciencia con la producción, él propuso un motor «con una sola fuente de calor». Veamos el dibujo y la descripción tomados del libro ya citado.

«Examinemos ahora un motor de émbolo, cuyo diagrama de indicación muestra la figura 8⁹. Antes de avanzar el émbolo en la cavidad de trabajo de volumen inicial invariable se inyecta un líquido de bajo punto de ebullición que se evapora y se calienta hasta la temperatura del medio ambiente (del aire atmosférico) por acción de la temperatura de este medio.

⁸ Sobreenfriamiento es una cosa totalmente diferente: el enfriamiento de la sustancia por debajo de la temperatura de paso a otro estado de agregación. Por ejemplo, el agua enfriada hasta $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, pero no convertida en hielo se denomina «sobreenfriada».

⁹ La figura 8 del libro de M.A. Mámontov está reproducida en la fig. 5.8.

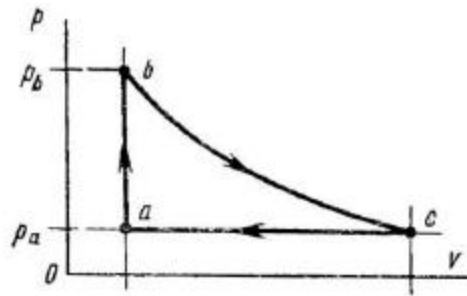


Fig. 5.8. Diagrama de indicador de un motor de émbolo
«con una sola fuente de calor»

Como resultado la presión en la cavidad de trabajo aumenta hasta cierta presión, superior a la del medio ambiente. El salto de presiones en la cavidad de trabajo y en el medio ambiente mueve el émbolo y expande la sustancia de trabajo. Siendo considerable la superficie interior de las paredes de la cavidad de trabajo que tiene la misma temperatura que el medio ambiente y siendo lento el movimiento del émbolo, se asegura la expansión isotérmica de la sustancia de trabajo a cuenta del calor que se recibe del medio ambiente. El movimiento del émbolo hacia la derecha termina en el momento, cuando la presión en la cavidad de trabajo se iguale con la atmosférica. En la carrera de vuelta la sustancia de trabajo, con una temperatura igual a la atmosférica, se expulsa a la atmósfera.

En el punto c del diagrama la presión es igual a la atmosférica. El tramo ab del diagrama representa el proceso de calentamiento de la sustancia de trabajo obtenida por evaporación del líquido de bajo punto de ebullición, siendo invariable el volumen de trabajo inicial de la cavidad. Como vemos de lo expuesto, el ciclo consta de la isoterma bc, la isobara ca y la isocora ab. El trabajo del ciclo se expresa con la superficie abc y se realiza íntegramente a cuenta del calor obtenido del medio ambiente (por cuanto la energía interior de la sustancia de trabajo en el proceso isotérmico queda invariable).»

En este texto todo está relativamente bien, a excepción de la última frase. Más aún, el motor propuesto es realizable y puede trabajar con toda seguridad. Sin embargo, si corregimos el error en esta última frase, el invento pierde de golpe su «aspecto comercial». «El trabajo del ciclo se expresa con el área abc y se ejecuta íntegramente a cuenta del calor obtenido del medio ambiente (por cuanto la energía interior de la sustancia de trabajo, en el proceso isotérmico, queda invariable).»

Aquí el autor comete un error al examinar sólo el proceso isotérmico. Lo demás no le interesa, pero allí precisamente se encuentra aquello, «a costa de lo cual» puede trabajar el motor. El trabajo del motor se asegura con el líquido que se suministra a una temperatura inferior a T_{ma} (a una presión P_{ma}) y que sale en forma de vapor con los mismos valores de la presión y la temperatura. El autor no escribe de dónde se obtiene el vapor y a dónde va a parar. Él sólo subraya que «...el gasto de líquido a baja temperatura en el proceso que examinamos se puede interpretar como una especie de compensación por la transformación del calor en trabajo, pero semejante compensación, por su naturaleza es equivalente a la transmisión del calor al frigorífico».

Entre tanto la sal se encuentra precisamente en esta «especie de compensación». Para obtener este líquido de baja temperatura con determinada exergía obligatoriamente hay que gastar trabajo. Este trabajo, precisamente, irá a retirar, a una temperatura baja, el calor procedente de la

condensación del líquido y entregarlo a la temperatura T_{ma} al medio ambiente. Así que esa «especie de compensación» requiere, en primer lugar, un gasto de trabajo y en segundo lugar la «transferencia de calor al frigorífico». El trabajo gastado y el calor entregado al medio ambiente, en el mejor (el ideal) de los casos, serán iguales respecto al trabajo obtenido del motor de Mámontov y al calor obtenido por él del medio. Por su parte en las condiciones reales para obtener este líquido de trabajo habrá que gastar trabajo y expulsar al medio una cantidad mucho mayor de calor que la que puede compensar el motor. Otra vez, como resultado, se obtiene un crecimiento general de la entropía y la correspondiente pérdida de exergía. El autor refuta totalmente los méritos del líquido frío (que el inventor debería elogiar puesto que sin él no se movería nada). Sobre este líquido que aquí sustituye a la gasolina del motor de combustión interna, él escribe estas malas palabras: «... la conducción de un líquido de bajas calorías y de reducido punto de ebullición se considera como el aseguramiento habitual material y constructivo del proceso».

De todo esto se llega a conclusiones generales, o sea, a «las leyes que rigen el mundo y la naturaleza», como dijo R. Hooke.

M. A. Mámontov escribe: «Lo expuesto muestra que la amplia concentración de calor, trabajo y cuerpo de trabajo introducen variaciones radicales en el análisis de las condiciones de funcionamiento del motor térmico. En particular, basándose en estos conceptos resulta ilegal el conocido postulado de Planck: «Es imposible construir una máquina de acción periódica, cuyo trabajo se reduzca a levantar cierta carga y al correspondiente enfriamiento del recipiente térmico».

Este postulado supone la obligatoriedad de «compensar» la posible transformación periódica del calor en trabajos¹⁰. Esta compensación se reduce a la pérdida de una parte del calor conducido a causa de la transmisión de este calor al medio ambiente (al frigorífico) en la fase de presión baja. Puesto que el trabajo del motor que estamos examinando y que funciona periódicamente en la fase de altas presiones se realiza a cuenta del calor que se toma del medio ambiente, la retirada del calor en la fase de presiones reducidas, de vuelta a ese mismo medio, no se puede igualar a la compensación antes indicada».

Las ideas de M. A. Mámontov no quedaron sin continuadores. Sin esperar a la realización de estas ideas (habría que esperar mucho tiempo), el Candidato a Doctor en Ciencias Técnicas N. E. Záev también propuso un motor, al cilindro del cual se inyecta nitrógeno líquido (temperatura -196°C). Esta idea, semejante a la propuesta por Tripler, realmente asegurará el movimiento del motor. Cuando el nitrógeno recibe el calor del medio ambiente, se evapora, la presión sube y el motor neumático se pone en marcha. Pero maravillándose de esta excelente idea, tanto el autor, como sus partidarios [3.10] olvidan la misma «pequeñez» que olvidó M. A. Mámontov.

¡El nitrógeno líquido aún hay que conseguirlo! Y esto requiere el gasto de un trabajo mucho mayor que el que puede darnos el motor.

¡Otra vez la vieja termodinámica con su «compensación» inevitable!

En otro trabajo del profesor M. A. Mámontov [3.18] éste expone un concepto un poco distinto, que relaciona directamente con aquél que hemos examinado. Esta nueva doctrina se expuso en el artículo, modestamente llamado por el autor «De la estructura de Carnot a la estructura de Prometen». Ésta se reduce, en esencia, a las tesis ya conocidas sobre la posibilidad de crear un motor que funcione a cuenta de la «circulación del calor». Si retiramos el amontonamiento de términos como «termogénico», «termomasogénico» «estructura de Jottabych», «trabajo

¹⁰ En este caso el trabajo gastado en obtener líquido de «bajas calorías» y la entrega del calor al medio ambiente, relacionada con dicho trabajo, es precisamente la compensación de la cual hablaba M. Planck.

revertorio», «trabajo termomodador», «sistema combustible de Prometen», «sistema multiposicional de Watt, etc., quedará la vieja idea basada en la completa incomprensión de las propiedades de la bomba de calor.

El autor, al igual que otros «inversionistas», piensa que la bomba de calor puede hacer aquello que, en realidad, no puede hacer: realizar una maravilla. Al recibir el trabajo de la máquina térmica, la bomba debe entregar a ella, a un nivel superior de temperaturas, tal cantidad de calor que no sólo alcance para realizar este trabajo, sino también que sobre algo. A cuenta de este sobrante se realizará un trabajo adicional que se entregará a un consumidor exterior. Pero nosotros sabemos que, en principio, la bomba no puede resolver esta cuestión.

Aquí la razón del equívoco es la misma que la de otros teóricos del mpp-2: la incomprensión del aspecto cualitativo de las transformaciones energéticas. Contentos de que la bomba de calor produce mucho calor («mayor que el trabajo gastado»), ellos olvidan su escasa capacidad de trabajo: la exergia de este calor, que en una instalación ideal es igual al trabajo gastado y en la instalación real es menor. Por eso la afirmación: «...el postulado de Clausius, en su interpretación habitual, refleja de manera incompleta la regularidad del funcionamiento de las bombas de calor. La regularidad real se expresa mediante el postulado ampliado de Clausius: «La regeneración del calor por sí misma, sin compensación, es irrealizable: en su ejecución la compensación, cuantitativamente es mucho menor que el calor regenerado».

Sobre esta base en lugar de la «estructura de Carnot» se crea la «estructura de Prometen». Para tener una idea de esta «estructura», ofreceremos unas citas. No hay necesidad de comentarlas: ellas hablan por sí mismas. Sólo se requiere descifrar los términos enrevesados. Señalemos, para empezar, que TTF significa «transformación térmica de fuerza», TBC es «transformación por bomba de calor» y TTM, «transformación termomecánica».

«Como ya hemos indicado, la imposibilidad de la completa transformación del calor en trabajo en las TTF cerradas está condicionada por el desvío considerable del calor desde el agente de trabajo al agua de enfriamiento.

Por cuanto, según el postulado de Carnot, es imposible evitar este desvío del calor, sólo queda un camino, el de transformar por completo el calor en trabajo: de alguna forma devolver todo el calor, entregado al agua de enfriamiento, al agente de trabajo en el órgano receptor de calor.

En orden de resolución del problema que examinamos más adelante como «anexo» a la estructura de TTF cerrados, se utiliza un bloque de bombas de calor monoalimentador.

El autor llama «estructura combustible de Prometen» al híbrido, obtenido de esta manera, de un motor térmico y una bomba de calor.

«La prioridad característica de la estructura sintetizada consiste en que los órganos del mecanismo de TTF cumplen funciones de los órganos periféricos TBC y al revés. Para que la estructura combustible de Prometen pueda funcionar (producir trabajo útil), es necesario que el trabajo enviado al bloque de bombas de calor desde el bloque térmico de fuerza sea menor que el trabajo producido por el bloque térmico de fuerza.

La condición indicada se cumple en el curso de la elección de órganos del sistema sintetizado.» De aquí la valiente conclusión:

«...Con lo expuesto se establece que el trabajo útil del sistema natural de Prometeo es igual (para una ejecución ideal del sistema) al calor conducido al mecanismo del sistema desde el medio ambiente natural y que el rendimiento térmico del sistema es igual a la unidad.»

Y la conclusión, en la que en lugar de las tesis anticuadas de Carnot, Clausius, Kelvin y Ostwald se introducen cambios nuevos «indudablemente correctos»:

«Las estructuras indicadas conducen a una afirmación diametralmente contraria al postulado Kelvin-Ostwald: «La transformación completa del calor en trabajo y la transformación del calor

natural en trabajo son realizables». Si el postulado Kelvin-Ostwald, por su contenido físico, puede ser llamado ley de disipación del calor, esta afirmación, considerando su contenido físico, puede condicionadamente llamarse ley de circulación del calor.

La demostración de la legitimidad de la ley de circulación del calor se encuentra no sólo en las estructuras que reflejan adecuadamente las TTM, sino también en el hecho de existencia de las bombas de calor y de sus regularidades especiales».

Y finalmente la formulación ampliada definitiva.

«...la ley de la circulación del calor se expresará con la siguiente formulación ampliada:

1. La transformación total del calor en trabajo es realizable, si la compensación por la regeneración del calor expulsado es menor que el trabajo obtenido por regeneración del calor.
2. La transformación del calor natural en trabajo es realizable, si la compensación por regeneración del calor natural es menor que el trabajo obtenido por regeneración del calor natural.

La veracidad absoluta del postulado ampliado de Clausius significa la veracidad absoluta de la ley de circulación del calor y la realidad absoluta de las estructuras de Prometeo».

Esto sería formidable si el «sí» en los puntos 1 y 2 se transformara en «por cuanto». Hemos visto que esto desgraciadamente no es así. En ello radica la causa de la imposibilidad de crear tal híbrido de la máquina térmica y la bomba de calor. Parecería que no hay nada más sencillo - tanto lo uno como lo otro se pueden encontrar en cualquier laboratorio termodinámico decente - que unirlos y mostrar la «estructura de Prometen» en funcionamiento. Con la «estructura de Carnot» y con otros clásicos se podría haber acabado de un golpe por knockout.

Queda hacer sólo una advertencia: es dudoso que merezca la pena molestar, para todo esto, la sombra del gigante Prometen, que, de acuerdo con la leyenda, dio el fuego a la gente. Pues su nombre traducido del griego significa «profeta»: persona que mira sólo hacia adelante. Como protector de la teoría de la «circulación del calor», que mira casi dos siglos hacia atrás, debe seleccionarse otra persona. Aquí viene mejor la candidatura del hermano de Prometen. Es una figura menos popular, lo cual no es de extrañar. Epimeteo era la antítesis de su heroico hermano. La «circulación del calor» -«principio de Epimeteo» - no puede sustituir el principio de Carnot.

5.3. Nuevas ideas: mpp-2 químicos, ópticos y electroquímicos

A pesar de todas las tentativas, incluso de hasta atraer como aliado al propio Prometen, la inutilidad de la creación del mpp-2 a base de los principios termodinámicos clásicos se hace poco a poco evidente incluso para sus partidarios más empedernidos. Por eso, muchos de ellos se han adaptado a nuevas esferas en búsqueda de tales efectos que puedan ayudar a eludir el segundo principio.

Más que nada estas esperanzas se basan en una de las dos premisas erróneas (o en las dos al mismo tiempo).

La primera de ellas está relacionada con que los inventores no ven el problema en total. Pues independientemente de la cadena de cualesquiera transformaciones intermedias de la energía en la entrada de cualquier mpp-2 se debe introducir obligatoriamente calor, es decir, entropía, y a la salida se recibe trabajo (a veces también calor). Por consiguiente, independientemente de todas las circunstancias la entropía debe sufrir algo para que pueda transformarse «por el camino»; el

mpp-2 está ligado con la entropía con lazos inseparables. Y donde se encuentra la entropía, el calor, «el microdesorden», allí está el segundo principio.

La segunda premisa errónea se apoya en la noción de que los fenómenos químicos, ópticos, eléctricos, magnéticos y algunos otros «no se someten al segundo principio. Esta inocente ilusión surgió como consecuencia de la incompreensión del hecho de que cualesquiera fenómenos en los cuales existe (o puede aparecer) microdesorden, están inevitablemente enlazados con la entropía y, por lo tanto, con el segundo principio. De él no te escaparas, incluso utilizando para la creación del mpp-2 los efectos más ingeniosos.

Se podrían dar aquí muchas variantes de mpp-2 de semejante especie: ellos se inventan en suficiente cantidad. No obstante, aquí daremos como ejemplo sólo los tres más característicos: el químico, el óptico y el electroquímico.

Comencemos por los mpp-2 químicos. Sobre estos dispositivos se ha escrito mucho menos que sobre otros tipos de móviles perpetuos; sin embargo es necesario decir algunas palabras sobre ellos. Naturalmente que los autores no llaman a estas máquinas «móviles perpetuos»; ordinariamente se eligen unos términos más aceptables.

Los mpp-2 químicos pueden ser de dos tipos.

Al primero pertenecen aquellos, en los cuales se utiliza «el calor del medio ambiente» para obtener trabajo. La idea es estándar: al principio en la bomba de calor se obtiene calor de alto potencial, y luego este calor se utiliza para el motor térmico, el cual además de su tarea principal hace girar «en el intermedio» a la bomba de calor.

Ésta es, por decirlo así, la variante tradicional de mpp-2, pero realizado con la participación de reacciones químicas. Corrientemente se propone utilizar la combinación de las reacciones exotérmicas (con desprendimiento de calor) y las endotérmicas (con absorción de calor) de unas sustancias cualesquiera.

La reacción del primer tipo se lleva a cabo en el nivel superior de temperatura, y la del segundo tipo, en el nivel inferior con absorción de calor, extraído del medio ambiente. Como resultado, según la opinión de los autores, debe obtenerse una bomba de calor de «alta eficacia»; utilizar esta bomba para el motor, ya es asunto de la técnica.

Sin embargo, cada vez tanto el cálculo como el experimento muestran que la reacción o no transcurre en general, o cesa al cabo de poco tiempo, si el motor se pone en movimiento por un empujón desde fuera. Para el funcionamiento continuo este «motor» debe ser calentado o enfriado, o bien puesto en rotación desde fuera. En este caso, como siempre, el gasto de exergía, necesario para el accionamiento, es mayor que la exergía del calor proporcionado por la bomba de calor química. El segundo principio también aquí funciona inflexiblemente.

El examen detallado de las variantes de estas bombas de calor ocuparía en este libro mucho lugar, pero no daría nada esencialmente nuevo. Son más interesantes otros tipos, los mpp-2 «híbridos».

A los mpp-2 químicos de este tipo pertenecen unos dispositivos más originales. Estos son los motores térmicos, en los cuales, como de corriente, sucede el suministro de calor desde una fuente exterior cualquiera a alta temperatura (por ejemplo quemando combustible). Al parecer aquí el mpp-2 no tiene nada que ver y el principio de Carnot no se infringe. No obstante, eso no es así. Los inventores afirman que valiéndose de un cuerpo de trabajo especial, en el cual transcurren las reacciones químicas, se puede obtener un trabajo mayor que el que permite el principio de Carnot. Esto significa que el trabajo suplementario se obtiene ya en contradicción con el segundo principio. Por esta razón, el motor de este tipo, pese a que por su aspecto exterior sería bastante respetable, representaría un mpp-2, proporcionando trabajo suplementario «ilegal». Algunas variantes de semejante motor y los logros de sus inventores fueron preconizadas de manera impresionante por E. Muslín en el artículo con el título muy prometedor, pero no muy

correcto «Por encima del ciclo de Carnot» [3.3]. Este artículo era suficiente para ver en qué consistía el asunto. Fue formado de una manera muy interesante. El autor comienza con una referencia extraordinariamente respetuosa sobre S. Carnot, llamando su obra (con absoluta justeza) genial. Incluso abre el artículo el retrato de S. Carnot. Pero, después de realizar el ciclo necesario de reverencias y arrastres ante el genio, E. Muslín «sin cobrar aliento» intenta aniquilar completamente el principio de Carnot. Él hace esto alegando a uno de los inventores del nuevo motor, I. M. Kovtún.

Citamos: Él (es decir, Kovtún) leía de nuevo los teoremas pulidos de la termodinámica, intentando hallar algunas salidas no utilizadas en el fundamento inexpugnable de la «reina de las ciencias». ¡Y, la halló! La halló en el propio núcleo, en el sanctasanctórum de la termodinámica, en el famoso teorema fundamental de Carnot, que dice que el rendimiento del ciclo depende sólo de la temperatura del calentador y del refrigerador y no depende ni de la estructura de la máquina térmica, ni de la naturaleza del gas de trabajo. Kovtún, claro está, no pretendía refutar este teorema, de la justeza del cual es imposible dudar. Pero él sacó la conclusión de que a pesar de la generalidad aparente, él no es universal y justo en todos los casos, ni mucho menos. ¿En efecto, qué significa «el rendimiento no depende de la naturaleza del gas de trabajo»? ¿Quiere decir esto, que puede ser cualquier gas: helio, hidrógeno y nitrógeno? Es justo. Pero en este caso, se sobreentiende en forma implícita que ya que el gas está elegido, él permanece siendo el mismo que durante el trabajo sus propiedades no cambian. ¿Y si elegimos tales gases o sus mezclas, en los cuales en el curso del ciclo transcurren reacciones químicas inversas? Es evidente, que en este caso el teorema de Carnot ya no es válido y se pueden eludir sus limitaciones».

Comencemos el examen de esta larga cita con la constatación de que E. Muslín tergiversó por completo el teorema de Carnot, transformando su preciso contenido en una absurdidad. Él hizo esto de una manera muy simple: quitó de la formulación solamente una palabra: «máximo». En la formulación de Carnot, valiéndose de los términos modernos, se habla sobre el valor límite, máximo del rendimiento térmico, y no del rendimiento en general, de cualquier máquina. Todas las demás inexactitudes en la exposición del teorema de Carnot por Muslín no tienen importancia alguna en comparación con esta «corrección».

El sentido verdadero de la tesis de Carnot no tiene nada que ver en absoluto con el que le dio E. Muslín. Carnot afirmaba lo que ya mencionamos en el cap. 4: que cualquiera que sea el cuerpo de trabajo (y no sólo el gas, como afirma Muslín) y en cualquier tipo de motor la cantidad de trabajo obtenido del calor Q no puede superar

$$Q = \frac{T - T_{ma}}{T} \quad (11)$$

Tomemos en consideración esta corrección y volvamos a los razonamientos de E. Muslín. De, ésta se desprende ante todo que Carnot en ninguna parte afirmaba que para las máquinas-motores reales el rendimiento no depende de la naturaleza del gas. Él comprendía perfectamente que depende. Y no solamente del gas, sino de cualquier cuerpo de trabajo en cualquier estado de agregación.

Los motores empleados en la técnica funcionan a base de los más distintos cuerpos de trabajo: empezando por el agua y terminando por el helio; en cada caso los diseñadores de estas máquinas, pretendiendo elevar el rendimiento, eligen tanto los procesos como los cuerpos de

¹¹ La magnitud $(T - T_{ma})/T$ (el factor de Carnot) se llama a veces rendimiento térmico del ciclo de Carnot. En realidad éste es el máximo coeficiente de transformación del calor en trabajo R las temperaturas dadas T y T_{ma}

trabajo más adecuados. Como se sabe, estos cuerpos, en contradicción a Muslín cambien en el ciclo sus propiedades. Pero con todo, no se puede superar el límite establecido por Carnot para el ciclo ideal, se puede solamente aproximarse a él. A esto se dedican los verdaderos energéticos. Ellos no establecen ninguna clase de prohibiciones de principio a las propiedades del cuerpo de trabajo. Todo depende de la utilidad. ¡Si en el cuerpo de trabajo suceden reacciones químicas reversibles y esto eleva el rendimiento, por favor! El principio de Carnot permite utilizar cualquier cuerpo de trabajo (sustancia pura, mezcla, solución, lo que se quiera). Por eso la afirmación de que «a este caso no se extiende el teorema de Carnot», no tiene ningún fundamento sensato. La utilización de las reacciones químicas en el cuerpo de trabajo puede ser útil, en particular, también en los motores de Stirling¹². Sin embargo, no existe ni existirá ningún «rendimiento superior al rendimiento del ciclo de Carnot».

Así E. Muslín refutó a S. Carnot. No se comportó mejor con R. Clausius.

El ataque contra él E. Muslín lo comienza bajo una consigna absolutamente justa, que suena incluso de una manera algo conservadora: «Las leyes son justas y sólidas, pero deben ser correctamente comprendidas». Citamos: «El propio Rodolfo Clausius, el creador del segundo principio, tiene otra formulación más, en la cual se dice que este «paso (del calor de un cuerpo menos caliente a otro más caliente) es imposible de realizar con ayuda de cualesquiera máquinas y aparatos sin que en la naturaleza sucedan otros cambios cualesquiera».

Luego de esto se saca una atrevida y precisa conclusión: «De este modo, si hay cambios, entonces el segundo principio ya no tiene nada que ver y el ciclo de Carnot aquí ya no manda».

Aquí, así como al examinar el postulado de Carnot, Muslín simplemente tergiversa al clásico, quien nunca escribió nada semejante. Cogemos el trabajo de Clausius [1.13] y leemos el lugar correspondiente: «La transición del calor de un cuerpo más frío a otro más caliente es imposible sin compensación». En lugar de las dos palabras «sin compensación» E. Muslín escribió sobre «las máquinas y aparatos» y «cualquiera»... «cambios en la naturaleza».

Mientras tanto Clausius, al hablar de la compensación tenía en cuenta una idea muy precisa y clara (¡ por eso es clásico!). Ella consiste en que la transición del calor «de abajo arriba» requiere compensación, por ejemplo, gasto de trabajo (hablando en el lenguaje actual, en un plano más general, exergía de cualquier tipo). Con otras palabras, el funcionamiento de toda bomba de calor (precisamente ella realiza la extracción del calor de un cuerpo más frío y su transferencia a un cuerpo más caliente) es posible solamente gastando trabajo. Esto es la «compensación». Por esta razón, la conclusión de que «el ciclo de Carnot ya no manda» y todo lo demás, no se desprende de ninguna manera del postulado de Clausius.

Todo lo dicho más arriba, E. Muslín lo escribió, según confiesa él mismo, «sin profundizarse» en los pormenores termodinámicos. ¡ Lo que es justo, es justo !

Los mpp-2 ópticos representan en sí un ejemplo aún más original de las búsquedas de cómo eludir el segundo principio, que los químicos.

Como ejemplo puede servir el dispositivo de transformación de la radiación, descrito por G. Lijosherstnyj [3.10], sobre cuya aportación en la ciencia sobre las bombas de calor ya hablamos. Él, sin sombra de duda, afirma que valiéndose de las propiedades de las sustancias luminiscentes se puede obtener una «adición energética»... «a cuenta de la concentración de energía térmica del medio ambiente y esta adición puede ser muy considerable». Como fuente de información científica él utiliza el libro de Yu. P. Chukova «Luminiscencia antistokes y nuevas posibilidades de su aplicación». Éste es un libro bastante serio, en el cual no hay ni ataques contra el segundo principio, ni «adiciones energéticas».

¹² Sobre el motor de Stirling y su historia se puede leer en [1.29, 1.30].

Recordemos que se llama luminiscencia el proceso de emisión del cuerpo (luminóforo) bajo la acción de cualquier excitación energética (por ejemplo, luminosa) de la radiación suplementaria, diferente de su propia radiación térmica.

Muchas de las sustancias luminiscentes (luminóforos) reirradian la radiación incidente sobre ellas, de tal manera, que la luz emitida por ellas tiene mayor longitud de onda que la radiación que se recibe. Ésta es la llamada luminiscencia de Stokes¹³.

Después se hizo conocida la luminiscencia antistokes, en la cual la radiación emitida tiene menor longitud de onda que la excitadora. En el primer caso los cuantos emitidos de radiación tienen menor energía media que la que se recibe, en el segundo mayor. La diferencia en el balance energético se compensa a cuenta de la energía interna del luminóforo.

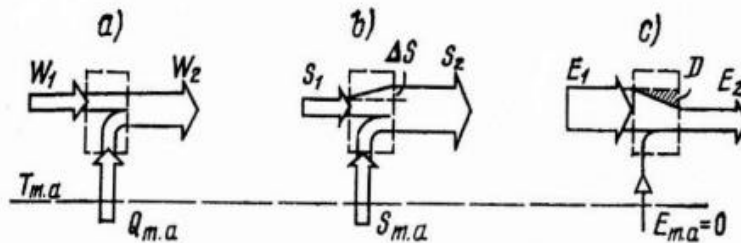


Fig. 5.9. Diagramas de los flujos de energía (a), entropía (b) y exergía (c) para la luminiscencia antistokes

Es evidente que la luminiscencia antistokes debe provocar (y realmente provoca) el enfriamiento del luminóforo, por cuanto la radiación que sale se lleva más energía que la que trae la radiación que entra.

En condiciones estacionarias en este caso al luminóforo hay que suministrar el calor Q , que compensa la diferencia (fig. 5.9, a). El calor puede ser suministrado de cualquier lugar, en particular, del medio ambiente a T_{ma} . Precisamente este hecho fue aprovechado por G. Lijosherstnyj; él vio en él la «concentración de la energía del medio ambiente». En realidad, si llegamos a comprender este proceso, aquí no sucede nada semejante; es más, todo es al contrario. Toda radiación, además de todas las demás características (luminancia, composición espectral, polarización, etc.), se caracteriza también por la entropía (otra vez esa maldita entropía, inventada por R. Clausius para desgracia de todos los «inversionistas»). Ella es igual a cero solamente en la radiación coherente monocromática (unicolor), en la que todos los cuantos tienen absolutamente igual frecuencia de oscilaciones sincrónicas. Semejante radiación «de alta calidad» tiene una exergía igual a la energía y puede, por consiguiente, ser en principio totalmente transformada en trabajo. Si el flujo de radiación se caracteriza por un amplio espectro de distintas frecuencias, su entropía puede ser considerable: ella es tanto mayor, cuanto mayor es el «desorden», que se obtiene al superponer distintas frecuencias en un flujo general de radiación. La luminiscencia antistokes se caracteriza por que la energía se acumula en el luminóforo por radiación con un espectro estrecho de frecuencias (con pequeña entropía), emitiéndose con un espectro ancho (con elevada entropía); no hay razón para alegrarse de que $W_2 > W_1$, y que Q se ha extraído del medio ambiente y se «acumula». Al contrario, hay que reconocer que el proceso transcurre con «empeoramiento» de la energía; el flujo de radiación que se escapa se lleva mayor cantidad de entropía que la que traen los flujos que entran de energía (fig. 5.9, b). El incremento de entropía ΔS está relacionado con la irreversibilidad del proceso real en el luminóforo. Aquí, como dicen

¹³ En honor de J. Stokes (1819-1903), conocido físico y matemático inglés que descubrió este fenómeno.

los ajedrecistas, tenemos evidentemente una «pérdida de calidad». Esto se ve también del balance exergético (fig. 5.9, c): la exergía que sale es menor que la que entra en la magnitud de las pérdidas D.

De este modo, el proceso de transformación de la energía de radiación en el luminóforo transcurre de acuerdo con todas las leyes de la termodinámica con degradación de la energía y el crecimiento de la entropía. Aquí no hay ni sombra de ninguna clase de «concentración». Es fácil ver también que el proceso en el luminóforo es análogo, en cierto grado, como se indica en [2.10], al que transcurre en la bomba de calor; la diferencia consiste en que el flujo de calor se transforma en flujo de energía de radiación. De Q_{ma} se obtiene W_2 , con la particularidad de que el coeficiente de transformación $W_2 / Q_{ma} > 1$. En calidad de energía motriz de alta calidad aquí se usa no la energía eléctrica, sino la radiación con una energía W_1 . En este caso, la exergía E_2 del flujo de energía W_2 es menor que la exergía E_1 del flujo de radiación, que porta la energía W_1 , (es decir, $E_2 < E_1$). ¡Todo es lo mismo que en una bomba de calor corriente!

Los generadores electro-químicos de energía últimamente atraen cada vez más su atención. Cosa que está absolutamente justificada. Efectivamente, la posibilidad de obtener energía eléctrica sin quemar combustible, sino transformando la energía química del mismo y de la sustancia oxidante directamente en energía eléctrica, es extraordinariamente seductora. La larga cadena de transformaciones energéticas [la energía química del combustible y de la sustancia oxidante - la energía interna de los productos calientes de la combustión- el calor - la energía interna del cuerpo de trabajo (agua, vapor) - la energía mecánica de la turbina - la energía eléctrica], que se llevan a cabo en dispositivos complejos con considerables pérdidas de exergía (más del 50 %), se sustituye por un solo proceso en un solo dispositivo, el generador de energía eléctrica electroquímico (GEQ). El rendimiento de estos dispositivos es muy alto. Por ahora los GEQ son caros y su aplicación está limitada, pero el trabajo intensivo en su perfeccionamiento se lleva a cabo con bastante éxito.

Es evidente, que algunos de los inventores prestaron atención al GEQ con el fin de utilizar esta idea para el mpp-2. El principal aliciente aquí era el alto valor del rendimiento. Tanto en la literatura al alcance de todos [3.19], como en la científica seria se puede encontrar la mención de valores del rendimiento de los convertidores electroquímicos de energía, que superan considerablemente el 100 ó (120, 130 e incluso 150 %).

Estas cifras aparecieron debido a que los electroquímicos, los autores de los correspondientes trabajos, que dominan perfectamente su asignatura, no conocen muy a fondo el concepto de rendimiento. Por eso ellos calcularon para sus GEQ el coeficiente de transformación (el cual, como mostramos en el cap. 3, puede ser, efectivamente, tanto mayor como menor de 100 %), y lo llamaron, sin martingalas, rendimiento y quedaron muy satisfechos de los índices tan altos de su técnica.

No obstante, lo mismo que en el caso con la bomba de calor, los valores del rendimiento mayores del 100 % provocaron en la gente insuficientemente instruida grandes esperanzas. Y de nuevo «se armó la de San Quintín». ¡Y la que se armó! Expongamos como ejemplo sólo tres citas.

N. Záev, candidato a doctor en ciencias técnicas, ya mencionado por nosotros escribe: «Se han elaborado dispositivos, los llamados elementos combustibles, el rendimiento de los cuales puede alcanzar 1,3. La instalación calorífica de fuerza corriente es siempre de dos temperaturas (de aquí los flujos de calor y el ciclo ideal de Carnot), el elemento combustible es un generador de energía de una sola temperatura, en el cual prácticamente se ha resuelto el problema a». N. Záev llama problema a al siguiente: «Extraer continua o cíclicamente la energía calorífica de un sistema abierto, además, extraer más que gastar en la toma, como resultado de lo cual el sistema se enfriará y a él correrá calor del medio ambiente».

Yu. Chirkov, doctor en ciencias técnicas [3.19] dice: «El rendimiento de la instalación energética es la relación de la energía eléctrica recibida a la capacidad calorífica del combustible (a la reserva de energía, encerrada en él)». Utilizando incondicionalmente el valor del rendimiento basado en esta definición, y llamando metafóricamente al proceso en el GEQ «combustión fría», él escribe a continuación: «Se diferencia del corriente: está privado de limitaciones, establecidas por Carnot, aquí el rendimiento puede incluso superar el 100 °».

G. Lijosherstnyj [3.10] agrega: «La particularidad intrigante de semejante tipo de concentradores de energía del medio ambiente consiste en que ellos funcionan a cuenta de la disminución de la temperatura del medio ambiente». Aquí corrientemente desconcierta el hecho de que en este caso como si se infringiera la prohibición de W. Thomson y M. Planck. «En la naturaleza es imposible el proceso, el efecto completo del cual consistiera en el enfriamiento del recipiente térmico Y en el trabajo mecánico equivalente». Esta prohibición fue formulada en el período de supremacía de las máquinas térmicas, que transformaban directamente el calor en trabajo. Claro está, que la máquina térmica corriente no es capaz de funcionar a cuenta del enfriamiento del recipiente térmico. Los concentradores de energía descritos reciben energía del medio con rodeos, además, sin infringir el segundo principio de la termodinámica, la concreción del cual es la «prohibición» mencionada más arriba.

A pesar de ciertas distinciones en los detalles la «base ideológica» de los autores de los tres fragmentos citados es la misma. La inocente convicción de que el segundo principio es inaplicable en los procesos electroquímicos. ¡Aquí no existe su negación infundada, nada de eso! Al contrario, para «los trastos viejos» - las máquinas térmicas «ordinarias»- el principio de Carnot es válido. Pero para lo nuevo, los elementos combustibles, los cuales tienen una «particularidad intrigante», la posibilidad de obtener «energía del medio con rodeos», él ya no es válido. Estos dispositivos «están privados de las limitaciones establecidas por Carnot». Todo esto, claro está, no es justo. El segundo principio de la termodinámica, incluyendo el principio de Carnot, sigue siendo válido con arreglo a cualesquiera procesos electroquímicos. Estos procesos no están «privados» de nada; su rendimiento es siempre menor del 100 %, y si verdaderamente tienen «particularidades intrigantes», de ninguna manera en la esfera «de los principios de la termodinámica, sino en los problemas que deben ser resueltos para el ulterior desarrollo de esta orientación,

Antes de examinar brevemente los errores en la interpretación de los procesos electroquímicos, amontonados en las citas expuestas, hay que decir unas cuantas palabras sobre la tentativa de dejar a W. Thomson y M. Planck en «la época de la supremacía de las máquinas térmicas que transforman directamente el calor en trabajo».

Aquí también todo está confundido. Ante todo, simplemente no hubo tal «época». Es más, tampoco existieron tales máquinas (e incluso no existen en la actualidad, a excepción de modelos experimentales). Tanto en los tiempos de W. Thomson (1824-1907), como en los tiempos no muy lejanos de M. Planck (1858-1947) y en la actualidad, el calor se transforma en trabajo no «directamente», sino, como es sabido, por un camino largo y complicado.

En segundo lugar, precisamente W. Thomson fundamentó la termodinámica de los fenómenos termoelectrónicos, mediante los cuales esta «transformación directa» tiene lugar. M. Planck también hizo un enorme aporte a las nuevas esferas de la termodinámica. La tentativa de representarlos como algo antiguo y ya viejo no sólo es ignorante, sino que está dirigida a eliminar todo lo que estorba a obtener energía «con rodeos», incluso también a los obstinados clásicos de la ciencia. Todo lo que se habla sobre las «particularidades intrigantes» del GEQ se apoya en la incompreensión de las verdaderas particularidades de su balance energético y la determinación incorrecta, relacionada con esto, de su rendimiento. Aquí se reflejan las tradiciones del cálculo

del rendimiento térmico de las centrales eléctricas que funcionan basándose en combustible orgánico. Para ellas el rendimiento térmico η_t se calcula por la relación de la energía eléctrica obtenida $L_{eléc}$, al calor de combustión del combustible utilizado ΔH . El es igual en realidad, a la relación de la energía eléctrica obtenida al calor gastado: $\eta_t = L_{eléc} / \Delta H$. Hablando estrictamente, por cuanto en él se comparan distintas formas cualitativas de energía, el calor y el trabajo, η_t representa no el rendimiento, sino el coeficiente de transformación de la energía. Para las centrales termoeléctricas esta distinción no es muy importante, puesto que la exergía (capacidad de trabajo) del combustible E_{comb} coincide aproximadamente (con una diferencia de hasta $\pm 8 \dots 10 \%$) con su calor de combustión ΔH . Por eso, aquí el rendimiento exorgético $\eta_e = L_{eléc} / \Delta E$ es aproximadamente igual al coeficiente de transformación $\eta_t = L_{eléc} / \Delta H$, el cual por tradición se llama rendimiento térmico ($\eta_t = \eta_e$). No obstante, al pasar al GEQ esta igualdad se infringe. Aquí la diferencia de exergías ΔE de las sustancias químicas de partida (reactivos), por ejemplo, $H_2 + Cl_2$, $2H_2 + O_2$, $N_2H_4 + 2H_2O$, $2C + O_2$, y los productos de la reacción, HCl , H_2O , N_2 , CO puede diferenciarse considerablemente del calor de la reacción ΔH . En esto se manifiesta la diferencia natural del máximo trabajo de los procesos de su efecto térmico. Por eso, también el valor del coeficiente de transformación, obtenido por la fórmula $\eta = L_{eléc} / \Delta H$ para el GEQ, no es igual al rendimiento; el no tomar en consideración esta diferencia conduce a apreciaciones erróneas. Efectivamente, el máximo (para el caso ideal) trabajo eléctrico $L_{eléc máx}$, como se sabe de la termodinámica, se determina por la disminución de la magnitud G , el llamado potencial de Gibbs:

$$L_{eléc máx} = -\Delta G = -(\Delta H - T\Delta S).$$

De esta fórmula se ve, que $L_{eléc máx}$ puede ser tanto mayor de ΔH (si ΔS es negativa, es decir, la entropía S disminuye durante la reacción), como menor (si ΔS es positiva, es decir, la entropía aumenta durante la reacción). En la práctica se tropieza con ambos casos. Por ejemplo, en el GEQ al hidrógeno-oxígeno la reacción transcurre con la disminución de la entropía ($\Delta S < 0$), lo que corresponde al desprendimiento de calor. En este caso $L_{eléc máx}$ será menor que ΔH . Así, para $T = 298 \text{ K}$ el valor de $\Delta H = -286 \text{ kJ/kmol}$, H_2 y $\Delta S = -0,163 \text{ (kJ/kmol} \cdot \text{K)}$. Por consiguiente, $\Delta G = L_{eléc máx} = 286 + 298 \cdot 0,163 = -273,4 \text{ kJ/kmol}$. Por lo tanto, el máximo valor del coeficiente de transformación

$$h_t = \frac{\Delta G}{\Delta H} = \frac{237.4}{286} = 0.83$$

Esta variante de GEQ, en el cual η_t es considerablemente menor del 100%, no atrae, naturalmente, a los «inversionistas». Pero, la otra, en la cual $\eta_t > 1$, les provoca entusiasmo. Efectivamente, por ejemplo, para el GEQ al carbón-oxígeno $\Delta G > \Delta H$, por cuanto la entropía, como resultado de la reacción aumenta como consecuencia del suministro de calor del medio ambiente. Aquí, a la misma temperatura, que en el ejemplo anterior, $\Delta H = -110,6 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{K)}$, y $\Delta S = 0,089 \text{ kJ/(kmol} \cdot \text{K)}$. Por consiguiente, $\Delta G = -137,2 \text{ kJ/kmol}$, lo que es mayor que ΔH . De aquí

$$h_t = \frac{137.2}{110.6} = 1.24$$

es decir, 124 % , lo que es mucho mayor del 100 % . He aquí un ejemplo, cuando «da energía eléctrica entregada por semejante elemento, es al fin de cuentas la energía transformada del medio ambiente». Pero, esto es absolutamente distinto. Toda la energía eléctrica, tanto en este caso como cuando $\eta_t < 1$, se obtiene a cuenta de la energía química de los reactivos, y el calor (tanto el suministrado como el extraído) se gasta en la variación de la entropía de los reactivos. Si ellos salen con menor entropía, que entran («más organizados»), se extrae calor, y si salen con mayor entropía («menos organizados»), se suministra calor.

Las magnitudes η_t , desgraciadamente, esto no lo muestran, puesto que el coeficiente de transformación (incluyendo el rendimiento térmico η_t) no dan en el caso general una información correcta sobre el perfeccionamiento termodinámico del proceso. El proceso ideal en el GEQ debe tener siempre un rendimiento justamente igual al 100 % , y no al 86 o al 124. Efectivamente, el rendimiento estrictamente determinado, del elemento combustible debe tener el aspecto $\eta_e = -L_{eléc}/\Delta E$ donde ΔE es la exergía gastada. Por cuanto en los ejemplos examinados $T = T_{ma}$, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ es igual a $\Delta E = \Delta H - T_{ma} \Delta S$ y $\eta_e = L_{eléc}/\Delta G$. Entonces para el GEQ ideal obtenemos en todos los casos $\eta_e = 1$, es decir, el 100. El rendimiento real será, naturalmente, menor del 100 % , por cuanto $L_{eléc} < L_{eléc}^{máx}$

Las transformaciones de la energía en el GEQ, que transcurren con la absorción de calor, y $\eta_t > 100\%$, no atestiguan ni sobre la obtención de energía eléctrica «a cuenta del calor del medio ambiente», ni sobre el hecho de que estos dispositivos «de una sola temperatura» no se someten al principio de Carnot. Esto se ve evidentemente de los diagramas de los flujos, representados para este caso en la fig. 5.10.

El primer diagrama (fig. 5.10, a) muestra la marcha de los flujos de energía; $\Delta H = H_1 - H_2$ y $L_{eléc} = (H_1 + Q_{ma}) - H_2$. De este diagrama puede verdaderamente surgir la sensación de que $L_{eléc}$ surge, aunque sea parcialmente, de Q_{ma} . Pero, los diagramas entrópico y exérgico atestiguan de modo irrefutable que eso no es así. Toda la entropía que ingresa se gasta solamente en su aumento en los reactivos ($S_2 > S_1$). La energía eléctrica sin entropía no se la lleva. El balance exérgico muestra que toda la exergía, necesaria para obtener la energía eléctrica $L_{eléc}$, se forma a cuenta de la diferencia de sus flujos que entran y que salen. El flujo térmico a T_{ma} no tiene exergía ($E_{ma} = 0$) y en este sentido no añade absolutamente nada.

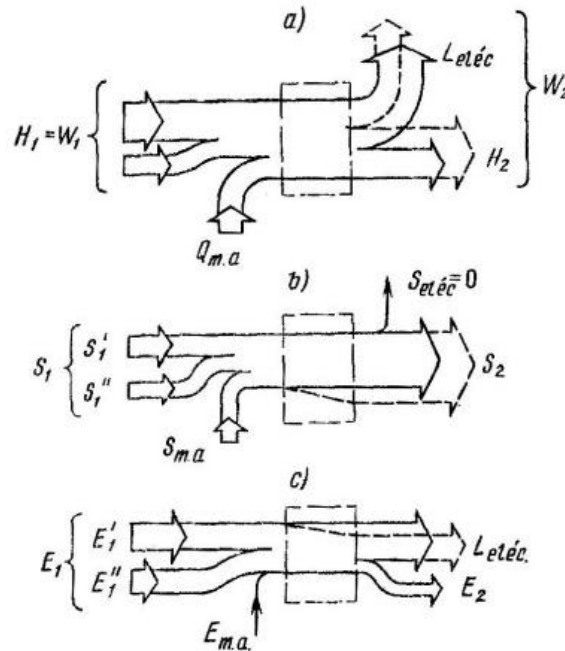


Fig. 5.10. Diagramas de flujo de energía (a), de entropía (b) y exergía (c) para el generador electroquímico (GEQ)

En las condiciones reales $L_{eléc} < L_{eléc\ máx}$ debido a las pérdidas; para este caso las magnitudes $L_{eléc}$ se muestran con líneas de trazos. Del diagrama se pueden tomar las magnitudes que determinan el coeficiente de conversión (el rendimiento térmico):

$$h_t = \frac{L_{eléc}}{\Delta H} = \frac{L_{eléc}}{H_1 - H_2} > 1$$

y el rendimiento exergético:

$$h_t = \frac{L_{eléc}}{\Delta E} = \frac{L_{eléc}}{E_1' - E_1'' - E_2} \leq 1$$

Para el proceso ideal η_e es igual a la unidad; $(E_1' + E_1'') - E_2$ para el proceso real es menor de la unidad, así como debe ser «conforme a la ciencia».

De este modo, la obtención electroquímica de electricidad transcurre en plena concordancia con el segundo principio de la termodinámica y de ninguna manera «concentra» la energía del medio ambiente». Al contrario, el GEQ real que proporciona $L_{eléc} < L_{eléc\ máx}$, aumenta la entropía, lo mismo que cualquier dispositivo real de transformación de la energía (y en general todo en el mundo, desde el microorganismo y las plantas hasta la bomba de bicicleta y la central nucleoelectrónica).

Con este ejemplo terminaremos el examen de los proyectos «escogidos» de mpp-2. Todas las demás ideas de este mismo género al analizarlas minuciosamente resultan inevitablemente incapaces para el funcionamiento.

Verdad que suelen haber casos, aunque muy raros, cuando los «móviles perpetuos» funcionan perfectamente. Pero, entonces al fin de cuentas se aclara inminentemente que su funcionamiento se basa en una idea absolutamente legal, que no tiene relación alguna con el mpp-2. Algunos de estos dispositivos se describen en el párrafo siguiente.

5.4. Móviles perpetuos que funcionan (pseudo-mpp)

En este apartado se describirán algunos motores que verdaderamente funcionan (o que pueden funcionar), los cuales por sus rasgos exteriores corresponden a los mpp. En realidad, naturalmente, ellos no tienen relación alguna con los mpp. De aquí viene el prefijo «pseudo», uno verdaderos, falsos».

El secreto del funcionamiento de algunos de ellos es actualmente conocido, sin embargo existen también tales, que se pueden tomar (o hacer pasar) por mpp, puesto que no siempre es fácil hallar y explicar la causa de su movimiento.

Estos motores aparecieron hace mucho tiempo. Su estructura es muy diferente; con más frecuencia se aplicaban para el accionamiento de los relojes «perpetuos», que no requieren cuerda, juguetes móviles, modelos de máquinas, etc. El rasgo general de estos modelos de mpp consiste en que ellos verdaderamente funcionan un plazo ilimitadamente largo, al parecer, sin motivos visibles. A las personas que no conocen el principio de su funcionamiento, les causa una enorme impresión. A algunos partidarios de la «inversión de la energía» estos juguetes les despiertan incluso esperanzas como «prototipos» del mpp-2. Sin embargo, siempre se halla una explicación lo suficientemente científica. Pero existen también tales pseudo-mpp, el secreto de los cuales todavía no se ha descubierto; a continuación exponemos los datos de uno de ellos.

Por lo que se sabe, el primer inventor que inventó y realizó un motor que funcionaba, extrayendo energía del medio ambiente sin la ayuda de ninguna fuente ajena, fue el ingeniero y físico holandés Cornelio van Drebbel (1572-1633). Este hombre, muy famoso en su tiempo, de quien injustamente rara vez se acuerdan hoy día, fue indudablemente un eminente investigador e inventor con conocimientos extraordinariamente amplios, excepcionales incluso en comparación con otras lumbreras del final del s. XVI principios del XVII. Los biógrafos escribían sobre él, por ejemplo así: «Él era una persona de alta inteligencia, que pensaba con agudeza y lleno de ideas que se referían a grandes invenciones... El vivía como un filósofo...». La mayoría de sus trabajos fueron realizados en Inglaterra, donde él servía en la corte del rey Jacobo I. Su libro en el idioma latino con el título, característico para aquellos tiempos «Mensaje al monarca más sabio (sapientissimus) de Gran Bretaña Jacobo sobre la invención del móvil perpetuo» fue editado en 1621 en Hamburgo. En cuánto él miraba al futuro se puede ver de la enumeración breve de sólo algunos de sus logros. Drebbel elaboró el primer termostato conocido en la historia de la técnica, un dispositivo en el cual se mantenía automáticamente la temperatura dada independientemente de sus variaciones en el exterior. El mismo confeccionó y reguló, hablando en el lenguaje actual, «el sistema de regulación automática» necesario para ello. La idea de este termostato se utilizó en la incubadora, el honor de la invención de la cual también le pertenece a él.

Drebbel inventó, diseñó, construyó y ensayó en el río Támesis un submarino que venció exitosamente la distancia desde Westminster hasta Greenwich (cerca de 12 km). El representaba en sí algo parecido a una campana de bucear estirada a lo largo. El submarino se ponía en movimiento por remeros (de 8 a 12), sentados en el interior en unos bancos, colocados de tal manera que las piernas de las personas no alcanzaran el nivel del agua. Lo más interesante, quizás, sean los medios de navegación y sobre todo el sistema de control ambiental de la tripulación, también creados por Drebbel.

La dirección se determinaba por vía tradicional: con ayuda de la brújula, pero la profundidad de inmersión se determinaba por un procedimiento nuevo, mediante un barómetro de mercurio. Este era un aparato bastante preciso, puesto que cada metro de profundidad de inmersión correspondía a 76 mm de altura de la columna de mercurio.

Para asegurar la respiración de la tripulación el inventor empleó salitre, el cual al calentarse desprendía oxígeno. Se puede valorar el talento (si no el genio) de Drebbel si se tiene en cuenta que el oxígeno fue descubierto por el químico sueco C. Scheele en 1768-1773, es decir, medio siglo después. Drebbel, indudablemente, era un excelente químico. Sobre esto atestiguan no sólo la elaboración del sistema químico de control ambiental, sino también otras invenciones suyas: los detonadores para las minas de fulminato de mercurio $\text{Hg}(\text{ONC})_2$, la tecnología a la obtención de ácido sulfúrico actuando con ácido nítrico sobre el azufre (esto fue señalado por D. I. Mendeleev en «fundamentos de la química»), la utilización de las sales de estaño para fijar el color al pintar las telas con cochinilla. Si a todo lo citado más arriba se añade que Drebbel era especialista en los aparatos ópticos, los lentes para los cuales él los rectificaba en un torno inventado por él, esto será suficiente para apreciar sus méritos.

Drebbel también se dedicaba al móvil perpetuo. Sin embargo, tal persona como él no podía enfrentar el problema por vía estándar, una vez más inventando una rueda con pesos o molinos de agua con bombas. EL comprendía perfectamente que por este camino era imposible crear el móvil perpetuo.

En el año 1607 él demostró a Jacobo I el reloj «perpetuo» (patentado por él ya en 1598), puesto en movimiento, naturalmente, por otro móvil perpetuo. Sin embargo, a diferencia de la inmensa cantidad de otros dispositivos con el mismo nombre él era verdaderamente en cierto sentido «perpetuo».

Después de mostrarlo al rey el reloj fue expuesto en el palacio Etlhem a la consideración de todos los que deseaban verlo y causó sensación entre los londinenses. ¿En qué consistía el secreto de este reloj (mejor dicho, de su motor)? El reloj perpetuo de Drebbel funcionaba con ayuda de un accionamiento, el cual, lo mismo que todo motor real, utilizaba la única fuente de trabajo posible, los desequilibrios (la diferencia de potenciales) en el medio ambiente. Nosotros ya hablamos de ellos: las diferencias de presiones, temperaturas, composiciones químicas y otros, frenados y desenfrenados, en los cuales se basa toda la energética.

Pero los desequilibrios utilizados por Drebbel eran de un género especial, distintos de aquellos, sobre los cuales se habló en el cap. 3, pese a que también están relacionados con las diferencias de temperaturas y presiones. Ellos pueden actuar en un medio ambiente absolutamente equilibrado, en todos los puntos del cual reinan absolutamente iguales temperaturas y presiones. ¿Qué es lo que sucede aquí y de dónde aparece el trabajo? El secreto reside en que aquí existen diferencias de potencial (de presiones y temperaturas), pero ellas se manifiestan no en el espacio, sino en el tiempo. Esto se puede explicar con mayor evidencia en el ejemplo de la atmósfera. Supongamos que en la región, en la que se encuentra el motor no existen ningunas diferencias esenciales de presiones y temperaturas¹⁴: todo está en calma y tranquilo. Pero la presión y temperatura generales (en todos los puntos) varían (por ejemplo, durante el día y la noche). Precisamente estas diferencias pueden ser empleadas para obtener trabajo (en plena concordancia con los principios de la termodinámica). Aquí, naturalmente, la entropía, lo mismo que en todos los casos de igualación de las diferencias de potencial, crecerá.

El procedimiento más simple de utilización de las oscilaciones de los parámetros del medio ambiente equilibrado es colocar en él un barómetro o termómetro con elementos móviles y obligarlos a trabajar, a realizar algo útil. Precisamente así procedió Drebbel. En su reloj se encontraba un «temoscopio» líquido en el cual el nivel del líquido subía o bajaba al variar la temperatura y la presión. Unir el flotador en la superficie del líquido con el accionamiento del reloj era ya cosa de la mecánica, la cual el inventor dominaba a la perfección.

¹⁴ Si naturalmente se menosprecian las distinciones de poca importancia, que no tienen significado práctico.

Drebbel explicaba el funcionamiento de su motor por la acción del «fuego solar». Eso no sólo era al compás del tiempo, sino que absolutamente justo desde las posiciones actuales. Efectivamente, todas las variaciones de la temperatura y la presión de la atmósfera se determinan al fin de cuentas por la radiación solar. El dibujo del motor atmosférico de Drebbel no llegó hasta nuestros días. No obstante, su idea del accionamiento perpetuo se repetía en distintas modificaciones y se utilizaba reiteradamente por otros inventores. Por la descripción de sus aparatos se puede en cierta medida juzgar sobre cómo podía ser el motor de Drebbel.

Cerca del año 1770 el inglés Cocks propuso un motor barométrico. En la fig. 5.11 se puede ver su esquema básico. Un vaso lleno de mercurio está suspendido de unos cables, unidos con la llanta de una rueda. El vaso está equilibrado con un peso colocado en una barra, enlazada rígidamente con la rueda. En el vaso va inmerso un tubo barométrico, fijado en su parte superior. Al variar la presión atmosférica variaba la altura de la columna de mercurio en el tubo; correspondientemente parte del mercurio bien salía del tubo al vaso (caída de la presión), bien era empujado del vaso al tubo (elevación de la presión).

En el primer caso el vaso se hacía mas pesado y descendía; en el segundo, al contrario, se elevaba. Este movimiento alternativo obligaba a la rueda a girar alternativamente en sentidos contrarios. Por medio de un trinquete colocado en ella, a la rueda de trinquete se le comunicaba movimiento unidireccional.

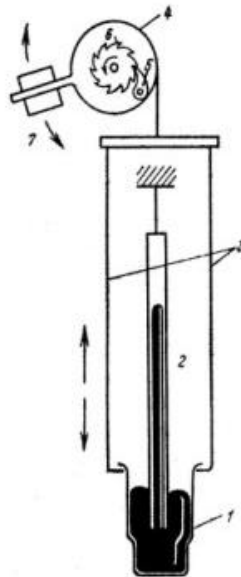


Fig. 5.11. Motor barométrico de Cocks: 1, taza suspendida con mercurio; 2, tubo barométrico; 3, suspensión; 4, polea; 5, trinquete; 6, rueda de trinquete; 7, peso de equilibrio

Esta máquina era bastante grande (en el vaso había cerca de 200 kg de mercurio) y podía dar constantemente cuerda a un reloj grande. He aquí la referencia que dio sobre ella Ferguson en 1774: «No hay razón para suponer que este reloj se parará algún día, puesto que la fuerza motriz acumulada en él podría asegurar su marcha en el transcurso de un año incluso al eliminar por

completo el barómetro¹⁵. Debo decir con toda sinceridad que, como muestra el estudio detallado de este reloj, por su idea y confección él representa el mecanismo más maravilloso que pude ver en mi vida...».

Lo mismo que las oscilaciones de la presión, se podía haber utilizado para el accionamiento del reloj las oscilaciones de la temperatura. El relojero suizo P. Droz (cerca del año 1750) creó un motor de este tipo muy simple y gracioso. El confeccionó un muelle de dos capas (fig. 5.12), la parte exterior del cual estaba hecha de latón, y la interior, de acero. Ya entonces era conocido que el coeficiente de dilatación térmica del latón es considerablemente mayor que el del acero. Por esta razón, al aumentar la temperatura el muelle se encorvará (la flecha llena), y al bajar la temperatura, se enderezará (la flecha de trazos). Con ayuda de un sistema de palancas este movimiento en distintas direcciones se transforma en giro unidireccional de una rueda dentada que eleva la carga, o da cuerda al muelle.

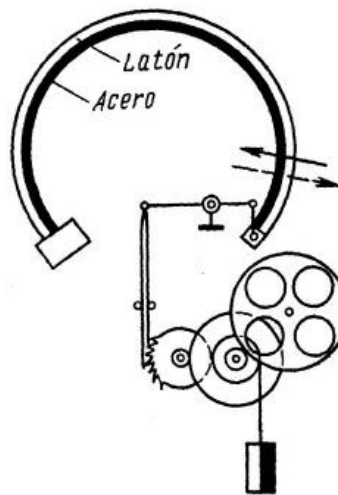


Fig. 5.12. Motor de P. Droz para la cuerda automática de un reloj con muelle bi-metálico de dos capas

En la actualidad la idea de Droz se aplica ampliamente en los aparatos térmicos más diversos. Ulteriormente se crearon muchos de estos motores básicos o térmicos, constructivamente más perfeccionados, pero que repetían en realidad las ideas de Cocks y de Droz. Si se cubre todo el mecanismo del motor con una funda, prácticamente es imposible demostrar que este no es un mpp.

Hay que señalar que estos motores otros semejantes, que se basan en la utilización de las oscilaciones de la temperatura y la presión del medio ambiente, son muy ventajosos en el sentido económico, puesto que son muy simples y prácticamente tienen un plazo de vida ilimitado.

A veces en la literatura, incluyendo la dedicada a los móviles perpetuos, aparecen las apreciaciones de los dispositivos de este tipo, que pueden desorientar al lector.

No se puede, por ejemplo, reconocer correctos los cálculos de la economía del micromotor que se aportan en [2.6]. El autor razona así: «...para la cuerda de 24 horas de un reloj de pulsera corriente se requiere un trabajo de aproximadamente 0,4 J, lo que constituye cerca de $5 \cdot 10^{-6}$ J por

¹⁵ Esto significa que la potencia de este motor era mucho mayor que la que se requería para el funcionamiento del reloj.

cada segundo de marcha del reloj. Y puesto que 1 kW es igual a 1000 J/s, la potencia del muelle de nuestro mecanismo de reloj constituye en total $5 \cdot 10^{-9}$ kW. Si los gastos en la confección de las partes principales de semejante dispositivo que funciona por el principio de la dilatación térmica, se toman iguales a 0,01 coronas, por una máquina de 1 kW de potencia tendríamos que pagar 2 millones de coronas (250 mil rublos)». De aquí se saca la conclusión: «Claro está que la creación y utilización en gran escala de estas fuentes de energía caras no es rentable».

Claro está que no se puede razonar así. Los gastos, sobre todo en los sistemas técnicos pequeños, al compararlos con los grandes, no se pueden considerar proporcionales a sus tamaños.

(Entonces, por ejemplo, ¿una escarpia de carril será 10 000 veces más cara que un alfiler!). De esta manera se pueden obtener cifras absolutamente fantásticas. En realidad las oscilaciones diarias (y de temporada), por ejemplo, la temperatura del aire o del agua pueden utilizarse con éxito, con gran efecto económico para resolver los problemas energéticos locales. Además de trabajo se pueden obtener otros resultados útiles. En el caso general el efecto útil posible se determina por la exergía de cualquier cuerpo de trabajo que se encuentra en equilibrio con el medio en el caso de un valor extremo de la temperatura T''_{ma} o la presión P''_{ma} en contacto con el medio ambiente con su otro valor extremo (P''_{ma} T''_{ma}). Si por ejemplo, en invierno a T''_{ma} se acumula una gran cantidad de hielo con una temperatura, digamos, de -10°C , en verano a $T''_{ma} = 20^{\circ}\text{C}$ 1 kg de hielo (incluso si se tiene en cuenta solamente su temperatura de fusión) poseerá mayor exergía. De la misma manera el suelo calentado en verano hasta la temperatura del medio ambiente puede servir (y ya se utiliza) para el abastecimiento de calor en invierno.

La utilización de estas reservas energéticas puede proporcionar un efecto económico considerable (y en pequeña y en gran escala).

Otro grupo de pseudo-mpp no está relacionado con la variación de los parámetros del medio ambiente. Su funcionamiento tiene lugar, a primera vista, sin la utilización de cualesquiera diferencias de potencial.

Entre ellos se conocen particularmente la «bola autocorredora» y el «pato bebedor», llamado a veces en la URSS pato de Jottabich»¹⁶.

La «bola autocorredora» tiene una estructura muy simple (fig. 5.13). Sobre unos carriles circulares concéntricos de plomo de sección triangular se coloca una bola de cobre o de bronce, cuyo diámetro es 2-3 veces mayor que la dimensión de la vía. En cuanto el experimentador suelta la bola, colocada sobre los rieles, ella comienza, sin ninguna causa visible, a rodar por los rieles, describiendo un círculo tras otro sin parar. Si se para la bola y luego se suelta de nuevo, ella de nuevo rodará. Este experimento causa una gran impresión, puesto que, a primera vista, la causa del movimiento de la bola es incomprensible. No obstante la explicación es bastante simple. La bola se calienta previamente.

¹⁶ El porqué a este juguete se le dio el nombre del viejo Jottabich - el héroe del libro conocido de N. Laguina--- se puede uno figurar. Seguramente porque Jottabich podía hacer milagros. Ya vimos que su nombre fue inclino relacionado con el mpp-2 «estructura de Jottabich»).

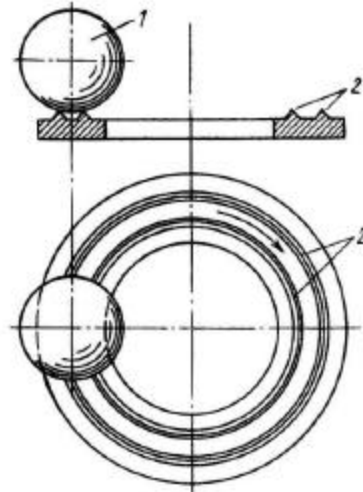


Fig. 5.13. «Bola autocorredora 1, bola de bronce caliente; 2, rieles de plomo»

La conductibilidad térmica del plomo es comparativamente no muy alta. Por eso la bola, al hacer, contacto con los rieles calienta los lugares de contacto. El plomo, al dilatarse, forma pequeños montículos, de los cuales la bola se desliza; a continuación estos montículos se forman continuamente tras el movimiento de la bola y la empujan constantemente hacia adelante. Para el instante cuando la bola regresa al lugar de partida, los rieles se enfrían y continúa la formación de montículos. De esta manera la bola continuará rodando durante largo tiempo, hasta que su temperatura y la temperatura de los anillos-rieles de plomo prácticamente se igualen. Este experimento ilustra muy evidentemente el principio de Carnot. Si existe diferencia de temperaturas, existe movimiento; si no hay diferencia de temperaturas, no hay movimiento (mientras que tanto en la bola como en la placa con los rieles hay mucha energía interna, casi la misma cantidad que la que había antes de comenzar el movimiento; ella solamente se redistribuyó uniformemente).

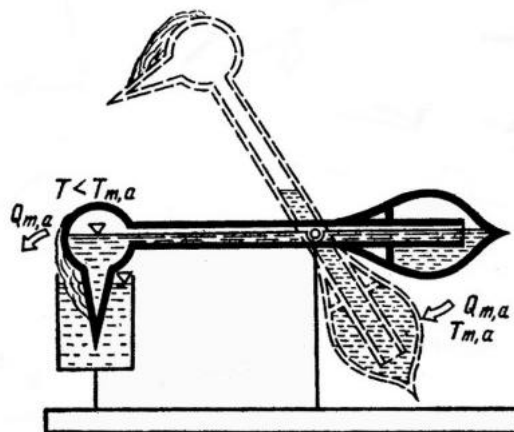


Fig. 5.14. «Pato de Jottabich»

El «pato de Jottabich», el aspecto exterior y el corte del cual se muestran en la fig. 5.14, no necesita calentamiento previo, tampoco él se para tan rápidamente como la bola (incluso puede no pararse en general). El oscila puntualmente alrededor del eje horizontal, metiendo cada vez su pico en el agua para beber, y levantando de nuevo la cabeza. Estos movimientos se repiten metódicamente sin motivo visible alguno y continúan mientras hay agua en el vaso. Aquí no existe ninguna diferencia de temperaturas entre esta agua y el giro circundante, que pudiera ser utilizada para el movimiento; sus temperaturas son iguales.

El motivo del movimiento del pato se hace claro al estudiar su estructura. La «cabeza» del pato representa un vaso, unido por medio de un tubo recio con el «torso», otro vaso grande en el cual este tubo entra de tal manera que casi llega hasta su fondo. La cavidad interior está llena de un líquido de fácil ebullición, éter dietílico ($H_5C_2-O-C_2H_5$) de tal manera que en posición horizontal su nivel se encuentra aproximadamente en la mitad del tubo. Para poner el pato en movimiento hay que expuestas en la literatura al alcance de todos, incluso en la dedicada a los móviles perpetuos, ocasionan confusiones, por ejemplo, las frases de este tipo: « Las oscilaciones constantes del pato suceden únicamente merced a que toma el calor del aire circundante». El hecho consiste no sólo (y no tanto) en esto. Ningún dispositivo, incluyendo el pato (incluso el perteneciente al propio hechicero Jottabich), no podía « tomar calor» del aire circundante sin gastar en esto exergía obtenida de fuera. Para ello hay que disponer de diferencia de potencial entre el medio ambiente y un cuerpo cualquiera que se encuentra en éste.

¿Pero, de dónde se toma en este caso la exergía? Tanto la temperatura como la presión en el medio ambiente, el aire, no tienen saltos, de los cuales se pueda hacer uso. El agua que « bebe» el pato también tiene la misma temperatura que el aire. No obstante, aquí existe un salto, a cuenta del cual funciona el pato. Este salto está relacionado con la diferencia de las presiones del vapor de agua sobre la superficie del agua y en el aire. Puesto que ordinariamente el aire no está saturado de vapor de agua (la humedad relativa es $\varphi < 100 \%$), en la superficie del agua sucede continuamente su evaporación con la correspondiente disminución de la temperatura. En el vaso esto no se nota, hay mucha agua, pero la superficie de evaporación es pequeña. Pero el algodón en la cabeza del pato es otra cosa: su superficie es enorme, mientras que en él hay poca agua. Por esta razón, él siempre está enfriado; su temperatura es menor que la temperatura del medio ambiente. Esta diferencia de temperaturas es la que asegura el funcionamiento del «pato de Jottabich». Pero ella es secundaria y surge como resultado de la distinta tensión del vapor en el medio ambiente (aire) y sobre la superficie del agua. Si se cubre el pato con una campana, el aire bajo ella se saturará rápidamente de humedad, su evaporación de la cabeza cesará y con esto terminará la «extracción de calor del medio ambiente»¹⁷.

De este modo, el «pato de Jottabich» vive y se mueve en plena correspondencia con el segundo principio. En este sentido él no se distingue en nada del pato vivo corriente.

Ahora podemos pasar a otro grupo de dispositivos, los cuales aunque no se han llevado hasta el nivel de móviles perpetuos que funcionan, pero pueden, según la opinión de algunos partidarios de la «inversión de energía», hacerse la base para su diseño. Estos dispositivos crean diferencia de temperaturas; es evidente que disponiendo de esta diferencia ya no es difícil hacer el motor: esto ya es asunto de la técnica. Precisamente por eso el ensueño de crear diferencia de temperaturas sin gastar trabajo es una de las variantes de la ilusión sobre el mpp-2.

¹⁷ En el trabajo del profesor M. A. Mamontov [3.18], que ya examinamos en este capítulo, hay unas cuantas palabras sobre el «pato de Jottabich». Se dice así: «El hecho del funcionamiento regular del sistema de Jottabich con la ausencia de otras fuentes de energía, a excepción del calor de la atmósfera, significa que la estructura de Jottabich posee, en comparación con la estructura cerrada ordinaria, una propiedad peculiar que permite obtener trabajo a cuenta del calor natural». Por lo visto, aquí no hacen falta comentarios.

El famoso físico inglés J. Maxwell inventó en 1879 para semejantes soñadores una figura mística especial, el llamado «demonio de Maxwell». Este demonio debía realizar un trabajo no complicado, a primera vista, separar en el gas las moléculas con altas velocidades («calientes») y con bajas («frías»). Es sabido que en cualquier gas existen unas y otras; la temperatura total del gas se determina por cierto valor medio de todas las velocidades.

El demonio debe encontrarse cerca del tabique que divide el vaso con gas en dos partes y guardar un pequeño orificio practicado en él, abriéndolo y cerrándolo de tal manera, que se deje pasar hacia un lado solamente las moléculas «calientes», y hacia el otro, solamente las «frías». Para otras moléculas el paso está cerrado. Entonces, pasado cierto tiempo, el trabajo del demonio-portero conducirá a que en una mitad del vaso se acumulará el gas caliente, y en la otra, el frío. ¡El objetivo se ha alcanzado! En el capítulo 3 mostramos, a base de las estadísticas que esta separación no puede suceder espontáneamente. Mientras tanto, aquí el «demonio» obtuvo la separación sin gastar trabajo.

El demonio de Maxwell provocó muchos debates. Para todos los especialistas serios en termodinámica estaba claro que semejante demonio no puede existir; su «actividad» infringiría con evidencia el segundo principio de la termodinámica. Pero resultó no tan fácil acabar con este demonio desde el punto de vista estrictamente científico. Al fin y al cabo esto se hizo¹⁸. Resultó que el demonio no puede funcionar «casualmente». Los gastos en su actividad no pueden ser menores que el trabajo que son capaces de realizar ambas porciones de gas al igualar la diferencia de temperaturas entre ellas.

No obstante, algunos enemigos del segundo principio de la termodinámica continuaban soñando en hacer algo en este sentido. Y apareció un dispositivo que revivió sus esperanzas. Este fue el *tubo de torbellino* o tubo de Rank (llamado así en honor a su inventor, el ingeniero francés J. Rank).

He aquí lo que escribe sobre este dispositivo uno de los propagandistas de la «inversión de la energía» [3.10]: «Si el procedimiento de separación de los componentes calientes del aire de los fríos (las moléculas rápidas de las lentas) con ayuda de los demonios maxwellianos que abren en el tabique del vaso las puertas ante las moléculas rápidas, por lo visto, es imposible, con ayuda de la turbina de torbellino ... esto se logró realizar. Esta representa un dispositivo en forma de boquilla que remolinea el aire habitual bombeado a través de él, de tal manera que de él salen al exterior dos chorros: caliente y frío. Esta turbina simple, que no posee partes móviles, tiene un gran porvenir».

Si en esta cita se sustituye la «turbina de torbellino» no existente, la cual además no «tiene partes móviles» por el «tubo de torbellino» y se quitan las palabras sobre los «componentes» (los componentes del aire es otra cosa absolutamente diferente), todo será justo. El tubo de torbellino separa realmente el aire suministrado a él en dos flujos: calentado y enfriado; él tiene verdaderamente no sólo un gran futuro, sino que ya se emplea hace mucho en la técnica [1.20]. Todo esto es así. No obstante, con su ayuda no se puede crear «inversión energética», ni, por lo tanto, ninguna clase de mpp-2.

Aclaremos de qué se trata. En la fig. 5.15 se muestran el esquema de funcionamiento del tubo de torbellino y su estructura interior.

El flujo de gas comprimido (por ejemplo, aire) se suministra a la entrada de la boquilla, situada tangencialmente a la pared del tubo. En el tubo el gas se remolinea en un flujo que se mueve en

¹⁸ A los lectores que se interesen por el demonio de Maxwell, se les puede recomendar estudiarlo en la literatura, por ejemplo, en [1.22].

espiral. La parte exterior 3 de este flujo, que sale a través de una rendija anular, resulta calentada, mientras que la parte interior 2, que sale a través de un orificio en el diafragma, enfriada. Variando la posición del cono 5, se puede variar los gastos y las temperaturas de los flujos caliente y frío. No obstante, en todos los casos la temperatura del flujo frío T_2 es menor que la del flujo que entra T_1 , y la del caliente T_3 , mayor. Las diferencias de temperaturas $T_1 - T_2 = \Delta T_f$ y $T_3 - T_1 = \Delta T_c$, pueden constituir decenas de grados.

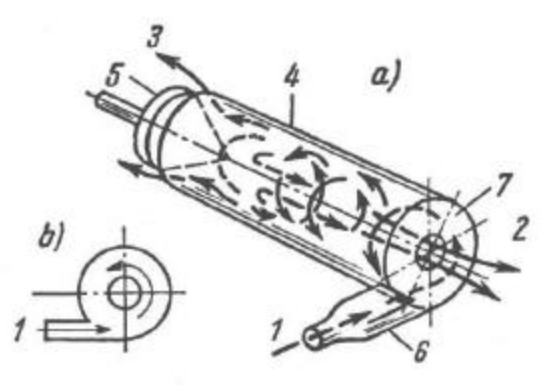


Fig. 5.15. Tubo de torbellino: a, vista general; b, corte de boquilla: 1, flujo de gas comprimido; 2, flujo enfriado; 3, flujo calentado; 4, tubo; 5, cono para regular la presión del gas en el tubo; 6, entrada de boquilla; 7, diafragma del extremo frío del tubo

Este fenómeno paradójico, pero absolutamente explicable, surge como resultado de fenómenos gasodinámicos complicados, los cuales no podemos aclarar aquí¹⁹. Para nosotros tiene importancia el resultado final: el surgimiento de diferencia de temperaturas en el tubo sin calentamiento o enfriamiento especial. ¿Se puede utilizar esta diferencia para obtener trabajo? Sí, indudablemente. Se puede obtener trabajo. ¿Pero hace falta obtenerlo por este procedimiento? ¿Tiene esta transformación sentido alguno?

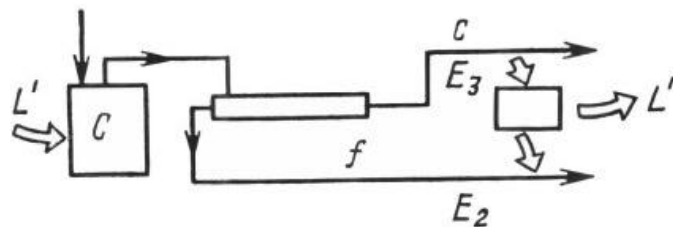


Fig. 5.16. Esquema de la obtención de trabajo mediante el tubo de torbellino

No, en absoluto. De esto puede uno convencerse examinando el esquema de conexión del tubo de torbellino en la fig. 5.16. Para que él funcione hay que suministrar a él gas comprimido, pero para comprimirlo se necesita un compresor, y para que este compresor funcione hace falta

¹⁹ Éstos se examinan en la correspondiente literatura, por ejemplo, en [1.20].

suministrarle un trabajo L' desde un motor. Así pues, si se compara este trabajo gastado L' con la exergía, la capacidad de trabajo de los flujos caliente E_3 y frío E_2 de gas, él será considerablemente mayor: $L \gg E_2 + E_3$. La diferencia $L - (E_2 + E_3)$ proporcionará la pérdida D de exergía en este proceso. Resulta que ella en el mejor de los casos constituye un 92-95 % del trabajo suministrado. Con otras palabras, el rendimiento de todo el sistema formará no más del 8 % .

Está claro que aquí no hay «inversión de energía» alguna; al contrario, así como en todo dispositivo técnico real se pierde exergía (y crece la entropía). Claro está, que también aquí se puede obtener energía eléctrica L'' , pero en este caso se obtendrá inevitablemente el mismo resultado deplorable que con los demás «concentradores de energía», por ejemplo, con la bomba de calor: L'' con relación a L' formará el 1-2 %.

A propósito, el autor de una y otra idea es una misma persona.

Es interesante señalar que la idea de que el tubo de torbellino, alojamiento del demonio de Maxwell, y su acción infringe el segundo principio de la termodinámica venía a las mientes de muchos. Es característico en este sentido el artículo de M. Silverman publicado en 1982 en la revista de la Sociedad Física Europea con el título intrigante «Tubo de torbellino: ¿infracción del segundo principio? [2.15]. Examinando el problema detalladamente en cinco páginas, el autor al fin y al cabo saca la conclusión de que en el tubo de torbellino no se infringe el segundo principio.

Otra variante, no menos interesante, de obtención «espontánea» de diferencia de temperaturas fue expuesta por el conocido cristalógrafo soviético, académico (entonces profesor) A. V. Shúbnikov en el artículo «Paradojas de la física» [2.16]. El autor plantea la cuestión: ¿se puede calentar un líquido por encima de 100°C con ayuda de un vapor de cien grados? A continuación él escribe: « Esta pregunta fue propuesta 25 años atrás por el profesor de química física Krapivin a los graduados de la Universidad de Moscú, a los cuales pertenecía también el autor de este artículo. Desde entonces muchas veces hice esta pregunta a los físicos y químicos ordinarios y no hubo ni un caso cuando yo recibiera una respuesta correcta. Uno de los notables químicos se enfadó en tal grado al hacerle esta pregunta que no deseó continuar la conversación sobre este tema, declarando, que el propio planteamiento de la pregunta demuestra mi supina ignorancia en la física; es de pensar que él me incluyó entre los locos inventores de los móviles perpetuos. El asunto terminó con que tuve que llevarle con engaño al inteligente químico al laboratorio, donde de antemano estaba preparado un experimento que mostraba que con vapor de cien grados se puede calentar un líquido hasta 110°C y mucho más. El experimento se realiza de una manera muy simple».

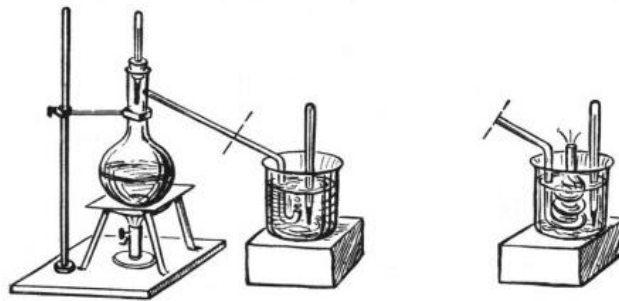


Fig. 5.17. «Experimento de Krapivin»: a, la salmuera se calienta por el vapor hasta 110°C ; b, la salmuera se calienta por el vapor hasta 100°C

A continuación se describe la instalación para el experimento. En un frasco de Wurtz (fig. 5.17, a) se echa agua; en el cuello del frasco se coloca un tapón con un termómetro, con la particularidad de que la bolita del termómetro, como debe ser, se instala cerca del tubo de derivación del vapor del frasco; el extremo libre de este tubo se introduce en una solución saturada de sal común. En el vaso con la solución se añade un exceso considerable de sal y se introduce el segundo termómetro. Al calentar el agua en el frasco hasta la ebullición el mercurio del termómetro en el frasco, al elevarse hasta la marca de 100°C , permanecerá en esta posición mientras hierve el agua; el mercurio del segundo termómetro se elevará hasta que la solución de sal también hierva. La temperatura de ebullición de la solución saturada de sal es aproximadamente igual a 110°C . Esta temperatura es la que indica el segundo termómetro. Para mayor evidencia del experimento se puede cambiar de lugar los termómetros; de todos modos el termómetro indicará que la solución de sal tiene una temperatura de 110°C . Por consiguiente, el vapor de agua, que tiene una temperatura de 100°C , ha calentado la salmuera hasta 110°C .

¿Cómo proceder con el segundo principio de la termodinámica?

El experimento es verdaderamente interesante, y sus resultados deben ser minuciosamente estudiados. Esto debe hacerse con especial escrupulosidad, por cuanto, como ya vimos, cualquier inexactitud, incluso la más pequeña, puede conducir a grandes errores, entre ellos al inmediato «móvil perpetuo».

Por esta razón, comencemos, como siempre en estos casos, por los términos. Señalemos, antes de comenzar a examinar la esencia del problema, una pequeña inexactitud, pero de gran importancia, en la propia denominación del experimento. Hablando estrictamente, en el experimento se realiza no el «calentamiento de un líquido hasta 110°C y más con ayuda de un vapor de cien grados», sino algo más complicado.

Para mostrar evidentemente esto, presentemos el experimento en tal forma que corresponda exactamente a la denominación. Entonces el frasco con el líquido que se calienta tendría un aspecto algo diferente, así como se muestra en la fig. 5.17, b. El vapor de calefacción se debería hacer pasar por un serpentín sin mezclarlo con el agua salada en el vaso, sino solamente calentándola a través de la pared del tubo. Entonces sería verdaderamente el calentamiento del líquido en el vaso «con vapor de cien grados». Si en estas condiciones el líquido, el agua salada, se calentara hasta 110°C , entonces aquí llegaría el fin del segundo principio, de gozo para todos los inventores del móvil perpetuo de segunda especie. Pero esto no sucederá, con tal estructura del dispositivo cualquier líquido, incluso el agua salada, nunca se calentaría por encima de la temperatura del vapor, 100°C . Cualquiera quien lo desee puede comprobarlo fácilmente. Resulta que aquel «químico escéptico», a quien Shúbnikov llevó con engaño al laboratorio tenía muchísima razón al indignarse: «calentar» (en el sentido estricto de esta palabra) la salmuera hasta 110°C «con un vapor de cien grados» es realmente imposible.

Ahora podemos volver al «experimento de Krapivin» y examinarlo exactamente en la forma que él describió en el artículo. Aquí tiene lugar no simplemente el calentamiento, sino la mezcla del vapor de agua con el agua salada. En esto, como ya se habrá dado cuenta el lector, consiste la «enjundia» de la cuestión. Las burbujas de vapor, como en lo sucesivo explica correctamente A. V. Shúbnikov, se condensan en la solución de sal, diluyéndola todo el tiempo. En este caso la sal que se encuentra en el fondo del vaso pasa poco a poco a la solución, manteniéndola en un estado próximo a la saturación. Estos dos procesos de disolución - de las burbujas de vapor en la solución y la sal en ésta - conducen al calentamiento de la salmuera hasta una temperatura considerablemente mayor de 100°C .

El efecto térmico que surge durante la solución recíproca de los gases, líquidos y sólidos, es bien conocido. El puede ir acompañado, en dependencia del signo del calor de solución, tanto de enfriamiento (por ejemplo, al mezclar hielo y sal) como de calentamiento (por ejemplo, al mezclar alcohol etílico y agua).

El calentamiento de la salmuera en el «experimento de Krapivin» hasta una temperatura superior a 100 °C no tiene relación alguna con la «transferencia del calor a la inversa», de un cuerpo más frío al caliente y, por lo tanto, a la infracción del segundo principio. Aquí no se transmite calor en absoluto.

Todo reside en el calor de solución, que proporciona un efecto suplementario de calentamiento, el cual se determina por dos componentes. La primera de ellas y la principal es el calor de solución del vapor en la solución saturada de sal, que conduce al calentamiento de la solución que se forma. La segunda es el calor de solución de la sal sólida en la salmuera, que tiene signo contrario y que conduce al enfriamiento de la solución. Por cuanto la primera magnitud es considerablemente mayor, como resultado se obtiene un calentamiento considerable de la solución. Lo mismo que en todo proceso de mezclado, en este caso la entropía aumenta.

El «efecto de Krapivin», así como toda reacción exotérmica (es decir, que transcurre con el desprendimiento de calor), es un fenómeno que no contradice de ninguna manera al segundo principio de la termodinámica²⁰. A base de este fenómeno es imposible crear un mpp-2.

Existen muchos fenómenos más, los cuales infunden una vez más esperanzas en los corazones de los partidarios de la «inversión de la energía» en «eludir» el segundo principio, pero cada vez el análisis científico las refuta implacablemente.

En conclusión hay que mencionar una dirección más en la elaboración de los pseudo-mpp, la creación de juguetes o modelos especiales que imitan a los móviles perpetuos. Sus autores comprenden perfectamente que es imposible crear el mpp, pero ellos utilizan todas las posibilidades de la técnica moderna, incluso el empleo de microprocesadores, para crear tal modelo de mpp, en el cual el secreto de su accionamiento esté ocultado lo mejor posible.

La estructura de algunos de estos juguetes se describe detalladamente en la literatura. De ejemplo puede servir el modelo del mpp-1 magnético con una bola que rueda por un canalón y es atraída de nuevo por el imán, descrito en el cap. 1 (véase la fig. 1.18). Allí todo está ideado y ocultado con tal habilidad, que se crea la ilusión completa de un móvil perpetuo en funcionamiento [2.14]. Sin embargo, el récord en la creación del modelo activo de mpp fue establecido por un inglés, quien lo hizo a base de una rueda de bicicleta (¡otra vez la rueda de bicicleta!).

Cada año la Asociación Británica de Ayuda al Desarrollo de la Ciencia (algo parecido a la sociedad soviética «Znanie») (conocimiento) reúne su congreso. En el año 1981 este congreso, dedicado al 150 aniversario de esta organización, se celebró en la ciudad de York. En él por tradición se organizó una exposición. A pesar de la abundancia de muestras científicas, el que más atrajo la atención fue el móvil perpetuo en funcionamiento, expuesto por la redacción de la revista «New Scientist». La máquina, construida a base de la rueda de bicicleta sin cámara y cubierta, está encerrada en un cajón de vidrio herméticamente cerrado. La rueda gira a velocidad constante, 14 r.p.m. ininterrumpidamente, sin ruido alguno. La fotografía de este motor se da en la fig. 5.18.

²⁰ Es interesante compararlo con el «motor de salmuera» mostrado en la fig. 1.27, b.

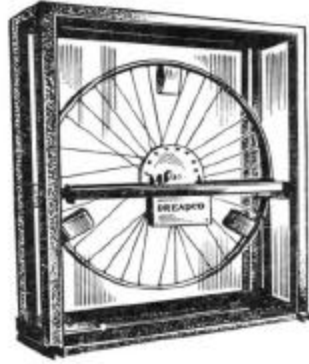


Fig. 5.18. «Móvil perpetuo» de una rueda de bicicleta

A todos los que deseaban se les propuso adivinar el secreto del movimiento de la rueda. Incluso se estableció un premio: la suscripción anual gratuita a la revista más una camisa de firma con el emblema.

Durante el congreso (que duró un mes) la redacción recibió 119 respuestas: ninguna de ellas era correcta. Lo más interesante es que 16 personas consideraron el motor como un verdadero mpp y correspondientemente explicaron su funcionamiento. Cuando el inventor del modelo les decía que su rueda no es un móvil perpetuo, ellos se marchaban muy desilusionados. Uno de ellos dijo: «El nos engaña especialmente para ocultar su secreto». Incluso se encontró un atrevido estudiante que logró robar el motor, lo examinó atentamente y lo devolvió avergonzado, sin comprender en qué consistía el asunto; el motor continuaba girando.

El inventor de esta máquina, el químico de Newcastle David Johns a las preguntas de los corresponsales respondió: «Lo único que distingue mi máquina de otros móviles perpetuos es el hecho de que en ella se ha escondido la fuente de energía. Yo he utilizado los principios conocidos por todos, pero de tal manera, como hasta ahora a nadie le vino a la cabeza a ninguna persona razonable; incluso no lo podía soñar».

Con esto terminó la interviú, y el inventor se negó categóricamente a dar las explicaciones. Así el secreto quedó no descifrado.

Con este mpp, el más enigmático de todos y el único que funciona, terminamos el examen de los móviles perpetuos, «reales» y falsos.

En conclusión queda tocar brevemente una cuestión más, la última: ¿en cuál relación se encuentran las búsquedas del mpp con la verdadera energética moderna y podrán darle algo útil a ella, sino no en la actualidad, aunque sea en perspectiva?

CONCLUSIÓN

Posibilidades reales de la energética y callejones sin salida

No se puede engañar a la naturaleza, pero sí se puede ponerse de acuerdo con ella.

A. Einstein

Nos hemos conocido con la multiseccular historia de las tentativas de resolver los problemas energéticos por vía directa, o sea, de crear un motor que produzca trabajo bien de la nada (mpp-1), o bien partiendo de lo que hay, pero que no puede producir trabajo (mpp-2).

Estas tentativas, como es natural, no condujeron al éxito, aunque sí contribuyeron de una manera determinada en las primeras etapas al desarrollo de la ciencia sobre la energía. Es más, todo el camino recorrido por la «seudo-energética», ocupada en la búsqueda del móvil perpetuo, está ligado con la historia de la verdadera energética. La pseudo-energética se inquietaba por los problemas planteados ante la verdadera energética, tratando también de resolverlos.

Realmente, la tarea que se planteaba la energética en el período inicial de su desarrollo consistía en crear un motor universal simple y fiable para accionar las distintas máquinas y mecanismos en cual; cualquier lugar necesario. El móvil perpetuo de primera especie, precisamente, tenía que satisfacer esta necesidad y librar a la humanidad de la utilización de la fuerza de los hombres y de los animales, y luego, del agua y del viento.

Después que aparecieron los motores térmicos, máquinas de vapor, ante el mpp-1 se planteó un nuevo problema que consistía en librarse de la necesidad de un constante aumento del consumo del costoso combustible. No se planteaba estrictamente la tarea ligada con la economía de los recursos naturales; se trataba sólo de la comodidad de la explotación barata y, por último, de las distancias de navegación autónoma de los buques.

Una situación diferente comenzó a formarse a finales del siglo XIX y principios del XX. La energética alcanzó tales proporciones que cada vez con mayor agudeza se presentaba el problema sobre el agotamiento y encarecimiento de los recursos energéticos naturales¹ por una parte, y el problema ecológico, o sea, de la influencia negativa de la energética sobre la habitación del hombre, por otra. Las contaminaciones térmicas, químicas y luego radiactivas provocadas por la energética comenzaron a dar lugar a cambios irreversibles de esta habitación. Para este tiempo el móvil perpetuo de primera especie desapareció de escena: su carácter irrealizable se hizo evidente.

Y es aquí donde aparece, de acuerdo con el espíritu de la época, el móvil perpetuo de segunda especie que además de no necesitar combustible es ecológicamente puro. En efecto, la materia

¹ El que se haga un acento especial con relación al agotamiento precisamente de los recursos energéticos y no de los recursos en general, tiene sus causas. El hecho es que el agotamiento de los recursos materiales (metales, agua potable, materia prima para la industria química, etc.) siempre se puede compensar de una u otra manera, si la sociedad dispone de suficientes recursos energéticos (más exactamente, exérgicos). Entonces es posible explotar los minerales pobres o los que se encuentran a profundidad, desalar el agua marítima, sintetizar los productos necesarios, etc. Pero el agotamiento de los recursos exérgicos no puede ser compensado con nada

prima para él se extrae del medio ambiente en equilibrio y se entrega a éste después de ser utilizado en la misma cantidad y forma. Tal «ciclo del calor» (primero «concentración» de la energía, luego «disipación» y de nuevo «concentración»), de la mejor manera, al parecer, corta todo el nudo de los problemas energéticos actuales.

Precisamente de tal seductora concepción parten los adeptos de la «inversión energética». Ellos consideran falso el camino por el cual se mueve la energética contemporánea.

.Aportemos aquí dos citas de carácter programático de las obras de autores que ya conocemos.

G. Lijoshérstnyj [3.10] escribe: «Su esencia (de la inversión energética) se reduce a la búsqueda de las vías de concentración, según nociones tradicionales, de la energía desechada de los océanos acuático y aéreo. Es esta la energía técnica la cual, como consideran los «enínovtsi» (miembros del Instituto Social de Inversión Energética², puede ser concentrada y transformada en otros tipos de energía. Lo atractivo de esta idea consiste no sólo en que las reservas de la energía disipada son autorrecuperables. Mientras que el uso de las fuentes de energías químicas nucleares introducen en el medio ambiente calor suplementario y por lo tanto en perspectiva amenaza con «la obstrucción térmica», el uso de la energía disipada solamente distribuye la energía que ya existe en el medio».

N. Záev [3.5] escribe: «Contra la amenaza del hambre energética han sido lanzados millones y millones de rublos, dólares, libras esterlinas, francos, marcos, días y noches de múltiples colectivos, la potente industria del experimento, el vacío cósmico y el frío. Y todo esto bajo el estandarte único de la termodinámica de Clausius y Gibbs, la termodinámica del fuego y del vapor, la termodinámica del siglo pasado. Ella marca el curso, prefija la ruta diaria del movimiento. Ella es compás, ella es timón...

Es hora de reflexionar, de comparar lo logrado con el precio. Siglo y medio atrás Carnot dio el primer paso hacia la ciencia sobre el calor, ya es hora de dar el siguiente».

¡Así es! Lo que valen los proyectos de «concentración de energía» y los ataques a la «termodinámica del fuego y del vapor», ya lo hemos analizado detalladamente en los correspondientes capítulos del libro. Los académicos L. Artsimovich, P. Kapitsa e I. Tamm [2.8] expusieron en su tiempo una breve, pero tal vez la más exacta, característica de la «concentración de la energía» y su aplicación, determinando todo esto como «concentración de la ignorancia». Con esto podríamos dar por concluida la conversación sobre el mpp, pero para terminar es necesario decir unas cuantas palabras sobre otra cosa. El llamamiento a «reflexionar» pone, en esencia, en duda el camino por el cual «bajo el estandarte único de la termodinámica» va la energética contemporánea, gastando «rublos, dólares, francos» y otras divisas. Vamos a reflexionar.

Comencemos por recordar la realidad con la cual hoy día están conformes todos: la única tendencia correcta, científicamente argumentada, del desarrollo de la energética es aquella que permite incrementar su potencia, en un ritmo imprescindible para la humanidad, pero de tal manera que conserve (y hasta mejore) el medio natural que nos rodea. Si continuamos incrementando el potencial energético sin pensar en las consecuencias ecológicas locales y globales, o dejando las preocupaciones al respecto para el futuro, entonces las consecuencias pueden ser peligrosas. ¿Cuáles son las vías de desarrollo de la energética trazadas por la ciencia

² Estos miembros trabajan desde 1967 bajo la dirección del profesor V. K. Oschépkov sobre dispositivos, los cuales deben refutar la segunda ley de la termodinámica.

que permitan resolver este problema de tal manera que se cumplan simultáneamente ambos requerimientos?

Es evidente que para un enfoque científico real es necesario dejar a un lado la pseudo-energética, la cual aunque lo ofrece todo no promete, como sabemos, realmente nada, ya que tiene la esperanza de «engañar a la naturaleza. Sólo queda contar con aquellos recursos energéticos, para cuyo uso «es posible ponerse de acuerdo con la naturaleza».

Para establecer cuáles son estos recursos ante todo es necesario considerar, desde posiciones de principio, el balance de nuestro planeta (en el sentido amplio de la palabra, teniendo en cuenta no sólo su aspecto cuantitativo, sino también cualitativo).

Comencemos por el balance energético general sin profundizar en su aspecto cualitativo. La Tierra recibe del Sol aproximadamente $170 \cdot 10^{15}$ W de energía [1.11]. Cerca del 34% de esta cantidad inmediatamente se refleja al cosmos. La parte restante participa en las diversas transformaciones en la atmósfera, la hidrosfera y en la superficie de la Tierra, después de lo cual también se extiende por el espacio universal. De esta manera toda la energía recibida del Sol, independientemente de sus caminos en la Tierra, en fin de cuentas se irradia al cosmos. La Tierra no deja nada para sí. Esto es, precisamente, lo que explica el estado térmico estacionario relativo de la Tierra ($W' = W''$, $\Delta W = 0$).

Las pequeñas desviaciones de este balance están ligadas con dos factores.

El primero de ellos es la fotosíntesis, la absorción por las plantas de la Tierra de la radiación con la formación de la correspondiente masa orgánica. Esta energía, que es colosal por su magnitud absoluta ($300 \cdot 10^{12}$ W), recoge nada más que el 0,2 %, aproximadamente, de la potencia de la radiación que llega a la Tierra.

El segundo factor es el antropógeno, relacionado con la actividad del hombre. Al liberar y utilizar la energía de los recursos naturales no renovables, del combustible, la humanidad ha aumentado en cierto grado el desprendimiento de energía en la Tierra. Esta cantidad de energía que se desprende es relativamente pequeña (cerca de $7 \cdot 10^{12}$ W), casi 50 veces menor que la que se absorbe durante la fotosíntesis. Es evidente que ambos factores (sobre todo el segundo) no pueden por ahora influir en el balance energético de la Tierra.

El balance entrópico de la Tierra tiene un aspecto distinto que el energético. La radiación solar que llega a la Tierra se caracteriza por una entropía muy pequeña, ya que la temperatura de esta radiación es de 5800 K, aproximadamente. Por el contrario, la radiación de la Tierra recibida del Sol en igual cantidad, corresponde como promedio a una temperatura mucho más baja, próxima a los 300 K.

Es por eso, evidentemente, que la entropía entregada por la Tierra es sustancialmente mayor, que la recibida; todos los procesos que transcurren en ella conducen en resumidas cuentas, como debe ser en la termodinámica, al incremento de la entropía. Aquí no huele a ninguna «inversión energética». El balance entrópico, al mostrar el cuadro físico general del cambio cualitativo de la característica de la energía, no determina, como se sabe, los valores de la energía útil, que sirve para ser aprovechada. Para revelarlos es necesario utilizar el balance exérgico.

El balance exérgico de la Tierra se determina ante todo por su parte de entrada. El flujo de la energía radiante que llega del Sol se caracteriza por una alta exergía, que constituye aproximadamente 0,93 de su valor. Por consiguiente, el flujo de exergía que llega a la Tierra es igual aproximadamente a $0,93 \cdot 170 \cdot 10^{15}$ W = $158 \cdot 10^{15}$ W, de los cuales el 34% inmediatamente se refleja al cosmos. De esta manera a la superficie de la Tierra llega un flujo exérgico $E' = 158 \cdot 10^{15} \cdot 0,66 = 104 \cdot 10^{15}$ W. El flujo de exergía que abandona la Tierra es relativamente pequeño. Desde el punto de vista de la energética terrestre éste puede no considerarse, ya que para él la temperatura media ambiental es alrededor de 300 K (solamente en la Tierra se puede

emplear, con determinadas limitaciones, en calidad de receptor de calor la temperatura de la radiación de equilibrio del cosmos)³. Así pues, «dejando pasar» toda la energía recibida del Sol, la Tierra «se queda» con su exergía. La magnitud E' representa la reserva principal de las fuentes renovables de exergía, la cual puede ser en principio utilizada por la humanidad sin influir en el balance energético del planeta. Este exergía (es decir, todas las diferencias de potenciales creadas por él, o sea, de presión, temperatura y concentración) de todas formas «se produce» por la naturaleza y en su mayor parte es inútil para el hombre (a excepción de una pequeña parte que se consume en la fotosíntesis y en los saltos de presión de agua y aire, que se utilizan en las centrales hidroeléctricas y eólicas).

A las fuentes de exergía no renovables pertenecen todas aquellas que pueden producirlo como resultado de la liberación de la diferencia de potencial «congeladas» en la naturaleza. Estas fuentes, tipos de combustible químico y nuclear, no podrían haber sido puestas en acción sin la intervención del hombre. La exergía obtenido al quemar estas respectivas fuentes (químicas o nucleares) se desprende a fin de cuentas, después de ser utilizado, en forma de calor de bajo potencial y se une al flujo de radiación entregado por la Tierra, que por ahora constituye aproximadamente una veinticincomilésima parte suya. Es natural, que incluso un aumento al décuplo de este desprendimiento de calor no puede conducir a una sustancial alteración del balance energético de la Tierra, si este desprendimiento se va a irradiar al cosmos sin obstáculo. De esta manera las perspectivas de desarrollo de la situación energética en la Tierra, partiendo del punto de vista puramente técnico lucen bastante bien. El análisis de la calidad de los recursos tanto renovables, como no renovables, demuestra [1.11, 1.12] que la humanidad puede en un plazo determinado por los pronósticos, estar garantizada de la cantidad de energía necesaria, incluso considerando el incremento de sus necesidades de consumo.

Sin embargo, cada vez más y más se manifiesta otro lado del progreso técnico-científico (incluyendo también el energético), su influencia sobre la naturaleza de la Tierra.

Hasta mediados del siglo pasado la situación en este campo no provocaba una preocupación especial. Solamente en regiones aisladas surgían situaciones que creaban tal presión de la actividad humana sobre el medio ambiente natural, la cual conducía a consecuencias aunque nocivas, pero con todo locales. No obstante, más tarde debido al tempestuoso desarrollo de la tecnosfera y al incremento de la población, el carácter antropógeno⁴ de presión sobre la naturaleza comenzó a cambiar. Este tomó escalas planetarias, y sus características cuantitativas se hicieron conmensurables con las fuerzas que actúan en la propia naturaleza de la Tierra. La alteración del equilibrio natural se lleva a cabo en un grado de incremento constante a la vez «desde dos extremos»: por una parte, extracción de los recursos naturales (minerales, agua potable, biosfera) y por otra parte, contaminación de todas las tres constituyentes del medio ambiente: la litosfera, hidrosfera y atmósfera. A la contaminación química, térmica y radiactiva indicadas anteriormente ahora se adiciona también la biológica.

También la energética hace un aporte considerable a una gran parte de estos «hechos sucios». Sin hablar ya de su coparticipación indirecta (ningún objeto técnico podría trabajar sin energía), ella carga directamente la culpa por muchas cosas.

Para la energética se extraen de las entrañas de la Tierra en grandes cantidades carbón, petróleo y gas, mineral de uranio; ella misma lanza a la atmósfera dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y

³ A los recursos renovables pertenecen, además de la exergía de la radiación solar (la cual puede ser utilizada tanto directamente, como a través de la energía del agua, de la biomasa, etc.), la exergía de las mareas ascendientes y geotérmico. Ambos no están relacionados con la radiación solar.

⁴ Se determina por la acción de la actividad humana.

azufre, y a la tierra, ceniza y desechos radiactivos. Sobre todo esto se ha dicho y escrito mucho; la ecología, ciencia especial sobre la interacción entre el medio natural y el hombre, lo ha calculado todo minuciosamente. Recordemos tan solo un índice: las centrales termoeléctricas, que queman combustible orgánico, lanzan a la atmósfera en un año más de cinco mil millones de toneladas de dióxido de carbono. A esto hay que agregar otras fuentes energéticas de CO₂, por ejemplo, los automóviles, cada uno de los cuales agrega a la atmósfera cerca de 5 t al año. En total todo esto constituye ¡más de una tonelada por cada ciudadano de la Tierra!

La inclusión de las irrupciones de CO₂ (como también del metano) en el ciclo de carbono del planeta crea un constante crecimiento de la alteración del balance entre el desprendimiento y la absorción de estos gases (el principal consumidor del CO₂ son las plantas que absorben mediante la fotosíntesis el carbono y devuelven el oxígeno a la atmósfera). La alteración del balance se debe a la exterminación de los bosques (principalmente de los tropicales, cuya área disminuye catastróficamente). Como resultado el contenido de CO₂, en el aire aumentó los últimos 100 años de $0,030 \cdot 10^{-2}$ a $0,033 \cdot 10^{-2}$ (es decir, aproximadamente, en un 10 %) y continúa incrementándose. Esto conduce al crecimiento del llamado «efecto de invernadero», ya que el CO₂ retiene cada vez una mayor parte de la radiación técnica de la Tierra impidiéndola que salga a través de la atmósfera al cosmos. Esto a su vez conduce a un clima más cálido, al aumento del área de las zonas de sequía, al derretimiento de los hielos polares, al aumento del nivel del océano y a la inundación de las tierras bajas. Estos procesos ya tienen lugar y su ritmo va en aumento; aún más, la inercia gigante de la Tierra es tal que si incluso cesara ahora la acumulación de CO₂ en la atmósfera, sus consecuencias de todas formas continuarán aún por largo tiempo y hasta aumentarán. Todo esto son hechos establecidos científicamente: la discusión es sólo acerca del ritmo en que se van a desarrollar estas y otras influencias negativas sobre la naturaleza y de cuándo podrá llegar la situación catastrófica.

¿Dónde buscar la salida, existe ésta:

Está claro que cualesquiera recetas del tipo «simplemente es necesario volver hacia atrás», o sea, cesar el desarrollo de la técnica, detener el crecimiento de la población, negarse de los bienes materiales de la civilización y pasar a una «vida simple en el seno de la naturaleza», son irreales e ingenuas. Sus autores serían los primeros en querer volver, si se les estableciera en una isla y se les obligara a matar el tiempo libre a la luz de una astilla de alumbrados⁵.

Como el progreso técnico-científico y el aumento de las fuerzas, relacionadas con él, que se encuentran a disposición de la humanidad es imposible detenerlos (y además, no es necesario), la única solución que elimina la catástrofe ecológica consiste en otra cosa. Esta es la utilización razonable minuciosamente pensada y controlada de los logros de la ciencia y la técnica en armonía con la naturaleza y considerando las consecuencias de cada paso. La necesidad de esto se comprende cada vez con mayor plenitud; la continuación despiadada de la política técnica anterior se hace claramente inadmisibles. Los problemas ecológicos y las vías de salida de la crisis se ventilan y comentan ampliamente. Los hombres esperan de la ciencia soluciones urgentes. Pero la ciencia a pesar de toda su potencia no puede inmediatamente eliminar todos los problemas; se necesita un trabajo serio, teniendo en cuenta todas las dificultades técnicas, económicas y hasta políticas. Y aquí sobre el fondo de una alarma general de nuevo emerge la

⁵ Otra cosa es una reducción razonable del consumo de materia prima y energía a base de una racionalización de su utilización. El análisis demuestra que sin reducir cualesquiera bienes materiales de la civilización se puede disminuir el consumo de energía para las necesidades de producción y cotidianas. Como mínimo, en 2-2,5 veces. Claro que esto no elimina los problemas ecológicos en general, ellos quedan, pero facilita substancialmente su resolución.

«inversión energética» que ya conocemos bien y que permite eliminar todas las preocupaciones de un golpe.

Por ejemplo, en la rúbrica «La cerca» de la revista «Técnica y ciencias (N° 12, 1988) apareció un anuncio (N° 229): «Se necesita un sponsor que esté conforme en financiar la elaboración del móvil perpetuo, que transforme directamente la energía mecánica de los microcuerpos (átomos y partículas subelementales del sólido), en energía mecánica del macrocuerpo (rotación del eje). El móvil perpetuo es capaz de abastecer a la humanidad de cualquier cantidad de energía y simultáneamente eliminar por completo el recalentamiento de la capa de aire de la Tierra. El autor concluyó las búsquedas y garantiza la elaboración del móvil perpetuo». A diferencia de Oschépkov, el cual habla de la necesidad de investigaciones, aquí todos los problemas ya están «resueltos». ¡Estas «discretas» promesas son realmente esperanzadoras! Tanto más que algunas personas que muestran sincera preocupación por la protección de la naturaleza, pero que están lejos del pensamiento científico, caen en tales trampas.

En el pleno de la Unión de Escritores de la URSS, dedicado a los problemas de ecología (1989), entre otros escritores intervino S. Samsónov que planteó una serie de consideraciones bastante argumentadas acerca de la protección del medio ambiente. Pero aquí mismo (naturalmente sin sospecharlo), él apoyó la idea de utilizar para este fin... el móvil perpetuo. Literalmente S.

Samsónov dijo lo siguiente: «Hace dos años que apareció en la prensa una noticia sensacional: los ingenieros y científicos japoneses aprendieron a tomar el calor disipado en el agua y el aire, y enviarlo a las fábricas. Pero para nuestro científico P. K. Oschépkov, fundador de la radiolocalización e introspectiva soviética, esto no constituyó una sensación, puesto que él ya hace tiempo que se ocupa de este problema. Una de las firmas japonesas propuso colaborar con él y con su Instituto Social de Inversión Energética, ENIN. (ENIN se ocupa de las cuestiones de utilización de la energía del medio ambiente. Su objetivo es la creación ya hoy día de una determinada alternativa a las centrales termoeléctricas, hidroeléctricas y electronucleares.)

Por decisión de la junta directiva de la AC de la URSS, ya en 1954 el laboratorio de Oschépkov, que confirmó su idea sobre la posibilidad de utilizar la energía disipada del espacio ambiental, fue integrado en el Instituto de Metalurgia, dirigido entonces por I. P. Bardin. De esta manera la ciencia reconoció oficialmente la posibilidad de realizar sus investigaciones. Ya en 1959 las investigaciones fueron «cerradas y el laboratorio, disuelto». En resumidas cuentas S. Samsónov propuso «convocar un referéndum sobre la ulterior utilización de la energía de las centrales electronucleares, invitando también a los representantes de ENIN de Oschépkov».

No es difícil ver, que la «noticia sensacional» acerca de los ingenieros y científicos japoneses «que aprendieron a tomar el calor, disipado en el agua y el aire, y enviarlo a las fábricas», es una información de lo más corriente sobre la utilización directamente según su designación de las bombas de calor, bien conocidas ya hace tiempo y descritas por nosotros en el § 4.4.

Todo lo demás es una repetición textual de las sensaciones periodísticas ignorantes acerca de las «investigaciones» de P. K. Oschépkov y otros inventores del mpp-2, que ya fueron detalladamente examinadas por nosotros.

S. Samsónov va más allá que los inventores y que los periodistas que creyeron en ellos, cuando habla de la creación «ya hoy día de una determinada alternativa a las centrales termoeléctricas, hidroeléctricas y electronucleares». Como tal «alternativa» no se podrá realizar ni hoy ni en el futuro, sólo queda seguir el consejo de A. Einstein, o sea, negarse de las tentativas de «engañar a la naturaleza» y ponerse, no obstante, de acuerdo con ella. Aquí, si no tocamos las cuestiones de ahorro de energía, que ya hemos mencionado, existen dos tendencias.

La primera, por el momento la principal, se apoya en la técnica que se basa en la liberación de las reservas de energía «congeladas» (de combustible químico y nuclear). Esta técnica permite a un

ritmo necesario incrementar el potencial energético, y a medida que se perfecciona la técnica, disminuir la cantidad de irrupciones y desechos nocivos. No obstante, esta tendencia no puede⁶ garantizar radicalmente la solución de los problemas ecológicos, la acumulación de exceso de energía AW en la Tierra continuará.

La segunda tendencia está basada en la utilización de las diferencias de potencial, que de todas maneras se producen por la naturaleza, pero que no son utilizadas por la energética. A ellas pertenecen tanto aquellas que están relacionadas con la acción de la radiación solar, como aquellas que están condicionadas por la rotación de la Tierra y la atracción lunar, así como por el calentamiento de las capas interiores de la Tierra.

Las diferencias de las presiones de aire y de los niveles de agua permiten crear instalaciones energéticas eólicas, centrales mareomotrices (no digamos ya de las centrales hidroeléctricas). Las diferencias de temperaturas dan la posibilidad de obtener energía eléctrica tanto en el norte (agua más templada en el océano y aire frío y hielo en la superficie), como también en el sur (agua templada del océano en la superficie, y agua más fría en el fondo), así como en las regiones donde las capas calientes profundas llegan cerca de la superficie (geotermia). En las regiones con radiación solar intensiva es posible transformar y utilizar esta energía mediante una serie de procedimientos. Incluso se están elaborando procedimientos de obtención de energía eléctrica a base de la utilización de la diferencia de concentraciones de sales en el agua marítima y en los ríos que desembocan en el mar (recordemos el motor osmótico de J. Bernoulli, mostrado en la fig. 1.27). En todos estos casos la obtención de energía, que al fin y al cabo se entrega de nuevo, no cambia de ninguna manera AW. El flujo de energía simplemente va por otro camino, el útil; en lugar de disiparse inmediatamente en el medio ambiente, él realiza un trabajo útil. Tal energética ecológicamente pura podría eliminar todos los problemas ecológicos, incluso sin utilizar por completo los potenciales naturales. Pero... Este «pero» está relacionado con el hecho de que por diferentes causas, bien debido a concentraciones⁷ pequeñas de los flujos de la energía utilizada (por ejemplo, de la energía solar, eólica), o bien a consecuencia de una situación geográfica desventajosa (por ejemplo, alejamiento de los golfos con mareas altas de los lugares de consumo de energía) los gastos para la construcción de tales centrales eléctricas o para la transmisión de la energía eléctrica resultan muy elevados. Cada kilovatio de potencia establecida resulta mucho más caro que en las centrales eléctricas con combustible orgánico o nuclear. Resulta que la energía que hay que gastar para obtener los materiales especiales, fabricar, transportar y montar la maquinaria de la central y de las líneas de transporte de energía, es mayor que la energía que da esta central durante todo el período de servicio. Es evidente, que por ahora es desventajoso construir tales centrales. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que para muchos consumidores no muy grandes, dispersos en un amplia área, el suministro de energía es tan costoso, que las fuentes de energía ecológicamente puras, situadas muy cerca, ya hoy día resultan preferentes. Pero lo principal consiste en que las posibilidades de perfeccionar tales sistemas sólo comienzan a estudiarse seriamente. En una próxima perspectiva su costo puede reducirse bruscamente. Es por eso que el escepticismo de algunos energéticos, que ven una amplia difusión de las centrales eléctricas ecológicamente puras, que funcionan con fuentes de energía renovables, para mediados del siglo XXI, casi no tiene argumentación.

Incluso este breve resumen demuestra que los trabajos destinados al perfeccionamiento y transformación de la energética en todas sus direcciones es muy difícil, pero interesante. Estos

⁶ Incluso las centrales nucleares del futuro darán una contaminación térmica potente, aunque excluyen el desprendimiento de CO₂.

⁷ Concentración en el sentido directo de la palabra, y no como la interpretan los inventores del mpp-2

trabajos requieren de personas dispuestas, apoyándose en los conocimientos científicos, a manifestarse, a marcar audazmente nuevos caminos sin temer a las tempestades de la revolución técnico-científica.

Todas las tentativas de encauzar a la energética al callejón sin salida de la «inversión energética», de resolver los problemas energéticos mediante la utilización del móvil perpetuo de segunda especie están totalmente desprovistas de perspectivas. Ellas sólo desvían a las personas de los problemas más reales. La afición por el móvil perpetuo, que se conserva hasta nuestros días en una forma peculiar de mpp-2, no puede existir por mucho tiempo a pesar de su formalización «científica». El móvil perpetuo de segunda especie, al igual que su precedente, el móvil perpetuo de primera especie, quedará solamente como un episodio interesante e instructivo de la historia de la física y de la ciencia energética.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.1. (V. I. Lenin. Referente a la característica del romanticismo económico.)
 - 1.2. (V. I. Lenin. ¿Qué hacer?)
 - 1.3. (C. Marx y F. Engels. La sagrada familia.)
 - 1.4. (F. Engels. Dialéctica de la naturaleza.)
 - 1.5. 1950 (R. Descartes. Obras escogidas.)
 - 1.6. 1924 (M. Planck. Unidad del cuadro físico del mundo.)
 - 1.7. 1967 (A. Einstein. Colección de obras científicas.)
 - 1.8. 1972 (E. Schrödinger. ¿Qué es la vida desde el punto de vista de la física?.)
 - 1.9. 1956 (J. Bernal. La ciencia en la historia de la sociedad.)
 - 1.10. 1984 (K. K. Rebané. Energía, entropía y habitación.)
 - 1.11. 1982 (Styríkovich M. A., Shpilráin E. E. Energética. Problemas y perspectivas.)
 - 1.12. 1984 (¿Es más que suficiente?)
 - 1.13. 1934 (Segundo principio de la termodinámica S. Carnot, W. Thomson-Kelvin, R. Clausius, L. Boltzmann, M. Smoluchowski.)
 - 1.14. 1982 Ostwald W. Energetische Untersuchungen//Zeitschrift für physikalische Chemie.
 - 1.15. 1936 (Danneman F. Historia de las ciencias naturales.)
 - 1.16. 1935 (Kuznetsov B. G. Historia de la técnica energética.)
 - 1.17. 1949 (A. S. Pushkin. Obras completas.)
 - 1.18. 1988 (V. M. Brodianski, V. Frátsher, K. Mijálik. Método exérgico y su aplicación.)
 - 1.19. 1982 (V. M. Brodianski. Energía: problemas de la calidad.)
 - 1.20. 1976 (A. V. Martínov, V. M. Brodianski. ¿Qué es el tubo de torbellino?)
 - 1.21. 1955 (A. I. Herzen. Dilematismo en la ciencia.)
 - 1.22. 1967 (Shambadal P. Desarrollo y aplicación del concepto de entropía.)
 - 1.23. 1970 (L. Boltzmann. Artículos y discursos.)
 - 1.24. 1974 (R. Tolmen. Relatividad, termodinámica y cosmología.)
 - 1.25. 1978 (S. Hocking. Agujeros negros y termodinámica.)
 - 1.26. 1981 (E. Ya. Sokolov, V. M. Brodianski. Fundamentos energéticos de transformación del calor y procesos de refrigeración.)
 - 1.27. 1982 (D. Rej, D. MacMichel. Bombas de calor.)
 - 1.28. 1984 (A. N. Bogoliúbov. R. Hooke.)
 - 1.29. 1975 (Motores de Stirling.)
 - 1.30. 1985 (Woker H. Motores de Stirling.)
 - 1.31. 1983 (Programa energético de la URSS.).
- 2.1. v. 1. 1861; v. 2. 1870 Dirks H. The perpetuum mobile; or search for selfmotive power during the XVII, XVIII, XIX centuries
 - 2.2. London, 1900 Daul A. Das perpetuum mobile. Wien. Hxrleben.
 - 2.3. 1911 (Máquinas de móvil perpetuo.)
 - 2.4. 1925 (Ijak-Rubiner F. El móvil perpetuo - perpetuum mobile)
 - 2.5. 1980 (Ord-Houm A. Móvil perpetuo. Historia de una obsesión.)
 - 2.6. 1984 (Míjal S. El móvil perpetuo ayer y hoy.)
 - 2.7. 1778. Histoire de l'Academie royale des sciences. Paris, P. 65-66.
 - 2.8. 1959 (Acerca de lo imprudente que es perseguir sensaciones científicas.)

- 2.9. 1960 (N. Semiónov. El espíritu de la fábrica «Santécnica».)
- 2.10. 1984 (E. E. Shpilráin, A. M. Semiónov. La para-energética, o como no hay que buscar la energía.)
- 2.11. 1968 Angrist S. Perpetual motion machines// Scient. American. Vol. 218. P. 114-122.)
- 2.12. 1987 (E. Vélijov, A. Prójorov, V. Sagdéev. El milagro no ha tenido lugar.)
- 2.13. 1987 (V. V. Sychev, E. E. Shpilráin. Cuando el fin que se persigue es el espejismo.)
- 2.14. 1983 Walker J. Motors, in which magnets attract other magnets in apparent perpetual motion//Scientific American,
- 2.15. 1982 Silvermaa H. The vortex tube a violation of the second law?//Eur. Journ of Physics. N° 3. P. 88-92.
- 2.16. 1936 (A. V. Shúbnikov. Paradojas de la física.)
- 2.17. 1862 (P. P. Pekarski. La ciencia y la literatura en Rusia en el reinado de Pedro I.)
- 2.18. (A. Azimov. El último problema.)

- 3.1. 1982 (Oschépkov P. K. La vida y la ilusión.)
- 3.2. 1959 (I. I. Gvai. Acerca de una hipótesis poco conocida.)
- 3.3. 1969 (E. Muslín. Por encima del ciclo de Carnot.)
- 3.4. 1971 (E. Muslín. La máquina del siglo XX.)
- 3.5. 1976 (N. Záev. Tentaciones energéticas.)
- 3.6. 1959 (R. Leonidov, Yu. Medvédiev. Error o descubrimiento.)
- 3.7. 1966 (T. Lebediev. Realización de una ilusión.)
- 3.8. 1967 (A. Mitskévich, A. Erojin. El hombre va hacia los soles.)
- 3.9. 1968 (P. Oschépkov. La energía y nuestro planeta.)
- 3.10. 1988 (G. V. Lijosherstnyj. En busca de energía.)
- 3.11. 1960 (P. Kuznetsov. Problema de la vida y segunda ley de la termodinámica.)
- 3.12. 1965 (K. S. Tríncher. Biología e información.)
- 3.13. Patente 4.389858 EE.UU. E25 B1; 00. Heat engíne/Jessen H.E.)
- 3.14. (Máquina de calor atmosférico//Shelest A. N.)
- 3.15. (Transformador de vapor con hervidor de solución amoniacal y absorvedor de alta presión/ V. P. Taritónov.)
- 3.16. 1975-1976 (M. A. Mamontov. Teoría de los motores termicos.)
- 3.17. 1962 (Máquina de calor atmosférico.)
- 3.18. 1984 (Mámontov M. A. De la estructura de Carnot a la estructura de Prometeo.)
- 3.19. 1981 (Yu. Chirkov. En forma recreativa sobre la energética.)
- 3.20. Mordasewicz J. Czy zalozenia prowadzace do sformulowania II zas termodynamiki// Energetika przemyslowa. N° 10. S. 419-421.
- 3.21. 1962 Ocheduszko S., Sikora J. Woboranie 11 zasdy termodynamiki//Energetika przemyslova. N°10. S. 419-421.
- 3.22. 1986 Abbo wariat, albo genuisz//Política,31 mai.
- 3.23. 1980 (S. Káshnikov. Móvil perpetuo ordinario.)
- 3.24. 1952 (E. M. Jaritónchik. Procesos y ciclos con entropía decreciente y su significado para las ciencias naturales y la técnica.)
- 3.25. 1971 (E. M. Jaritónchik. Sobre la interacción entre las leyes de la mecánica y de la termodinámica.)
- 3.26. 1982 (F. Paturi. Las plantas como ingenieras geniales de la naturaleza.)

- 3.27. 1988 (M. Sidorov. La estrella de Oschépkov.)
- 4.1. 1910 Scheerbar P. Das Perpetuum Mobile. Geschichte einer Erfindung. Leipzig,
- 4.2. 1951 (N. E. Saltykov-Schedrín. El idilio contemporáneo.)
- 4.3. 1958 (N. E. Petropávlovski. El móvil perpetuo.)
- 4.4. 1974 (V. Shukshín. El obstinado.)

INDICE

Prefacio

Prefacio del Autor

INTRODUCCIÓN.

Física, Energética y Móvil Perpetuo

CAPITULO PRIMERO.

Móvil Perpetuo de Primera Especie: Desde las Tentativas Tempranas Hasta «Los Modelos Experimentales»

- 1.1. Nacimiento de las ideas
- 1.2. Primeros proyectos de mpp mecánicos, magnéticos e hidráulicos
- 1.3. Los mpp mecánicos
- 1.4. Los mpp magnéticos
- 1.5. Los mpp hidráulicos
- 1.6. Orfireus, el mpp y Pedro I

CAPITULO SEGUNDO.

Confirmación Del Principio de Conservación de la Energía y Final del Móvil Perpetuo de Primera Especie

- 2.1. Búsqueda de la causa general de los fracasos con el mpp. «Principio de conservación de la energía»
- 2.2. Confirmación del principio de conservación de la energía. Revolución en las nociones y términos
- 2.3. Los últimos móviles perpetuos de primera especie
- 2.4. El móvil perpetuo en bellas artes.
- 2.5. Razonamientos sobre las leyes y sobre si éstas pueden ser violadas

CAPÍTULO TERCERO.

Idea del Mpp-2 y Segundo Principio de la Termodinámica

- 3.1. Idea fundamental del mpp-2. Precisión de las nociones
- 3.2. Asimetría de las transformaciones recíprocas del calor y el trabajo. Principio de Carnot
- 3.3. Un poco sobre la entropía

CAPÍTULO CUARTO.

«Muerte Térmica del Universo», Biología, Bomba de Calor

- 4.1. «La muerte térmica del Universo» y el mpp-2
- 4.2. Naturaleza viva y segundo principio de la termodinámica
- 4.3. Balance exérgico y rendimiento
- 4.4. ¿Es o no la bomba de calor un milagro?
- 4.5. ¿Por qué pues se inventa el mpp

CAPÍTULO QUINTO.

Móviles Perpetuos de Segunda Especie

- 5.1. ¿Qué mpp-2 se inventan hoy día?
- 5.2. Proyectos de mpp-2 termomecánicos
- 5.3. Nuevas ideas: mpp-2 químicos, ópticos y electroquímicos
- 5.4. Móviles perpetuos que funcionan (pseudo-mpp)

CONCLUSIÓN.

Posibilidades Reales de la Energética y Callejón sin Salida

Bibliografía