

F. C. L. — Termodinâmica — Exame final — 2.ª chamada (16 de Julho de 1946).

96 — a) Defina título dum vapor húmido e estabeleça a expressão que dá o Calor específico dum vapor saturado a uma dada temperatura.

b) Dê a representação do ciclo misto nos diagramas de Clapeyron e entrópico e indique as suas diferentes fases.

97 — a) Enuncie o princípio de De Chatelier e aplique-o ao estudo da variação de equilíbrio dum sistema gasoso que sofre uma variação de pressão à temperatura constante.

b) Estabeleça a lei de Kirchoff que relaciona o poder emissivo e absorvidade duma substância, e indique alguma das suas mais importantes consequências.

98 — Calcule o título dum vapor de água húmido para que seja nula a q. d. c. absorvida na passagem a título constante da temperatura de 20 °C à temperatura de 80 °C. R: A entropia da unidade de massa de um vapor de título x à temperatura T é dada por:

$$S = \int_{273}^T c_s \frac{dT}{T} + \frac{Lx}{T} (1). \text{ Quando se passa de um estado inicial de variáveis } T_1, L_1, x_1 \text{ para um estado final de variáveis } T_2, L_2, x_2 \text{ obtêm-se duas expressões análogas a (1) para } S_1 \text{ e } S_2. \text{ No nosso caso pretendemos que a transformação seja adiabática, logo } S_1 = S_2 \text{ ou } c_s \log(T_1/273) + L_1 x_1 / T_1 = c_s \log(T_2/273) + L_2 x_2 / T_2 \text{ ou ainda } L_2 x_2 / T_2 = L_1 x_1 / T_1 + c_s \log(T_1/T_2). \text{ Como a passagem da temperatura } T_1 \text{ à temperatura } T_2 \text{ se faz a título constante } x_1 = x_2 = x, \text{ podemos ainda escrever } x(L_2/T_2 - L_1/T_1) - c_s \log(T_1/T_2) \text{ donde}$$

$$x = c_s \log(T_1/T_2) / (L_2/T_2 - L_1/T_2) = 0,41.$$

Os valores de L_1 e L_2 calculam-se a partir da fórmula de Regnault $L = 796 - 0,695 T$ e c_s — calor específico do líquido de saturação entre T_1 e T_2 que, para a água, entre 0° e 200 °C tem o valor aproximadamente constante 2,02 cal/g/grau.

Outra resolução deste problema:

O título de um vapor húmido é dado por $x = m_1/m$ em que $m = m_1 + m_2$ (m_1 — massa do vapor seco e m_2 —

→ massa do líquido contido na massa m do vapor húmido). A quantidade de calor absorvida para a transformação a título constante é $Q = Q_1 + Q_2$ em que

$$Q_2 = \int_{T_1}^{T_2} m_2 c_s dT \text{ e } Q_1 = \int_{T_1}^{T_2} (m_1 c'_s dT; \quad c'_s = c_s +$$

+796/T cal/g/grau, e o significado de c_s é dado acima.

$$\text{Substituindo valores vem para } Q_2 = m_2 \times 1,02 \times 60 = 61,2 m_2 \text{ cal e } Q_1 = m_1 \int_{T_1}^{T_2} (c_s - 796/T) dT = -87 m_1 \text{ cal.}$$

Como $x = m_1/(m_1 + m_2)$ ou $x m_2 = (1-x)m_1$ e se pretende que seja $Q_1 + Q_2 = 0$ vem $87 m_1 = 61,2 m_2$ ou ainda $x/61,2 = (1-x)/87$ donde se tira $x = 0,41$.

99 — Calcular a quantidade de calor cedida por ciclo à origem fria por uma máquina de vapor de potência de 10 Cv que dá 1800 rot/min e cujo rendimento é de 10%. R: O rendimento de uma máquina térmica é dado por $\eta = W/Q_1 = (Q_1 - Q_2)/Q_1 = 1 - Q_2/Q_1$. Pelos dados do problema tem-se $Q_1 = 7350/0,1 \times 4,18$ cal e $Q_2 = 0,9 Q_1$. Como se trata de uma máquina a 2 tempos a cada rotação corresponde 1 ciclo; portanto 1800 rot em 60 s → 30 rot/s → 30 ciclos/s.

O calor absorvido por ciclo na origem quente é $7350/30 \times 0,418$ cal/ciclo donde resulta para a quantidade de calor cedida por ciclo à origem fria o valor $0,9 \times 7350/30 \times 0,418 = 527,5$ cal/ciclo.

100 — Calcular o tempo para que um corpo negro de 10 cm² de área e 10 cal/g de capacidade calorífica isolado no espaço vazio, arrefeça de 227 °C a 27 °C. R: A variação de energia dW sofrida por um corpo de capacidade calorífica mc para a variação de temperatura dT é dada por $dW = mcdT$ e a energia total emitida pelo corpo negro de superfície s e á temperatura T no intervalo de tempo dt é expressa por $dW = Esdt$ em que $E = \sigma T^4$ (lei de Stefan), portanto $dW = \sigma T^4 s dt$. Igualando os dois valores de dW vem: $\sigma T^4 s dt = mcdT$ donde se tira $dt = mc/\sigma s$. dT/T^4 ou $\int dt = \frac{mc}{\sigma s} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T^4}$ ou ainda $\Delta t = mc/\sigma s [-\frac{1}{3} T^3]_{T_1}^{T_2}$.

Substituindo valores e efectuando as operações vem finalmente $\Delta = 4,18 \times 10^7 \times 10 / 5,735 \times 10^{-5} \times 10^3 \times 1/3 [-1/500^3 + 1/300^3] = 7,04 \times 10^3$ s.

Resoluções de GLAPHYRA VIEIRA

6. PROBLEMAS DA INVESTIGAÇÃO EM FÍSICA

DE LA FÍSICA A LA BIOLOGIA

El eminente físico Erwin Schrödinger aborda temas biológicos

Este trabajo me ha sido sugerido por la lectura del libro titulado «Qué es la vida?» («Wath is life?») escrito por Schrödinger, el genial fundador de la moderna mecánica de ondas y muy conocido entre los físicos espa-

ñoles porque en diferentes ocasiones ha sido nuestro huésped y nos ha favorecido con las primicias de algunas de sus publicaciones. Actualmente es Professor de la Universidad de Dublin, y el libro a que nos referimos, publicado por la imprenta de la Universidad de Cambridge, contiene las conferencias que,

ante público numerosísimo y con éxito resonante, dio en la capital irlandesa.

La relación entre un libro y el lector puede ser de tres clases. Puede ocurrir que, una vez enterado de qué se trata, la lectura sólo proporcione fastidio, y prefiera el lector abandonarla y tratar el asunto por su cuenta; tal es el caso de un científico ante un mal libro técnico. O bien, el lector es como arrastado por la lectura, sin que en ningún momento se sienta con fuerzas para, con sus propios medios, dar un paso más allá del punto a que ha sido conducido; tal me imagino que ha de ser la posición de un técnico que lea un buen libro científico y, desde luego, es la mía ante un tratado de matemática superior. Finalmente, puede suceder que, tras de asimilar el texto, continúe en marcha el cerebro del lector y, con más o menos fortuna, lleve el asunto a términos no alcanzados por el propio autor. Es el caso, y con ello creo hacer su mayor elogio, en que se encontrará el libro de Schrödinger al caer en manos de físicos y de biólogos.

¿Para qué sirve el metabolismo?

He aquí una cuestión de carácter puramente, teológico un *para qué* y no un *porqué*. Esta pregunta, que jamás haría un físico en su propio campo, la hace Schrödinger cuando entra en el terreno biológico, con lo que tácitamente se declara finalista. El propio Schrödinger da la respuesta, y lo hace de modo tan sugestivo que no podemos resistir la tentación de traducirla literalmente.

«Cómo evitan los organismos la decadencia? La respuesta obvia es: comiendo, bebiendo y, en el caso de las plantas, asimilando. El término técnico es *metabolismo*. El vocablo griego μεταβάλλειν significa canje. Canje de qué? No cabe duda de que la idea originaria era canje de materia (en alemán el metabolismo se llama Stoffwechsel). Que el cange de materiales sea esencial es absurdo. Un átomo de oxígeno, de nitrógeno, de azufre, etc., vale tanto como cualquier otro de su misma especie. ¿Qué ventaja puede haber en el trueque?. Durante algún tiempo, ya

pasado, nos contaron para satisfacer nuestra curiosidad que nos alimentábamos de energía. En cierto país muy adelantado (no recuerdo si fué en Alemania o en los Estados Unidos, o en ambos) había restaurantes en cuyas minutas se indicaba, además del precio, la energía contenida en cada ración. No hay que decir que ésto, tomado al pie de la letra, es igualmente absurdo. La energía contenida en un organismo adulto tiene un valor tan estacionario como la masa. Como es seguro que una caloría vale tanto como cualquier otra, no se ve ventaja ninguna en el cambio».

«¿Qué será, pues, ese precioso algo que contienen los alimentos y que evita nuestra muerte?. La respuesta es fácil. Cualquier proceso, evento, acontecimiento — llámese como se quiera; en una palabra, cuanto ocurre en la naturaleza — lleva consigo un aumento en la entropía de la parte del mundo afectada por el suceso. En consecuencia, un organismo vivo aumenta constantemente su entropía — o, si se prefiere, produce entropía positiva — y, con ello, tiende al peligroso estado de entropía máxima, que es la muerte. Sólo puede librarse de ello, esto es, seguir viviendo, tomando del exterior entropía negativa, cosa que es algo muy positivo según veremos inmediatamente. De lo que un organismo se nutre es de entropía negativa. O, para que la expresión resulte menos paradójica, lo esencial en el metabolismo es que permite al organismo librarse de la entropía que, inexorablemente, ha de producir mientras «esté vivo».

Los organismos vivos no están aislados térmicamente

Que yo sepa, las conferencias de Schrödinger no han originado controversia, lo que parece indicar que oyentes y lectores quedaron convencidos de la veracidad de las sugestivas afirmaciones del genial físico y no es aventurado suponer que lo mismo habrá ocurrido a quien me está leyendo. Le invito, sin embargo, a seguir adelante y sacar del razonamiento de Schrödinger las últimas consecuencias. Helas aquí:

Si lo esencial del metabolismo es que per-

mite expulsar la entropía, no es indispensable, pues el mismo efecto, y de modo más sencillo, se logra sin más que expulsar calor, cosa que están haciendo incesantemente todos los organismos. Y, si los alimentos no valieran sino por lo que tienen de *entropía negativa*, una buena ducha sería más eficaz que la comida más suculenta, y no tendría que ocuparse la UNRA en evitar que muramos de hambre los pobres habitantes del viejo continente. Tan disparatada conclusión induce a pensar que hay algún punto flaco en el razonamiento. Discurramos, pues, por cuenta propia.

La evolución hacia el estado de entropía máxima es imperiosa para los sistemas aislados térmicamente, para los previstos de una envoltura que impida totalmente el canje de calor con el exterior y en ellos serían válidas las conclusiones de Schrödinger. No es este el caso, evidentemente, de los seres vivos, ni siquiera de los que están mejor o peor protegidos con pelo o lana. Siempre existe un canje térmico con el exterior; los animales expulsan calor constantemente, y el papel de tales protecciones, cuando existen, es evitar que la pérdida sea excesiva. Hemos, pues, de considerar los organismos como sistemas sumergidos en un medio, que es la atmósfera para los seres terrestres y el agua para los acuáticos. Hay que estudiar los seres, no en sí mismos, aislados, sino juntamente con su *circunstancia*, con lo que constituye su ámbito normal de existencia.

Las condiciones termodinámicas del ambiente, presión y temperatura, varían con el tiempo y con el lugar, y tales variaciones influyen notoriamente en los procesos vitales. En cuanto a los cambios de presión, además de ser relativamente pequeños, no influyen sino cuando van acompañados de cambios considerables de volumen, cosa que no ocurre en los seres vivos. Puede admitirse, pues, que la presión es constante. También los cambios de temperatura son relativamente pequeños, pues tal magnitud ha de contarse desde el cero absoluto, por lo que tres grados de diferencia no representan, en las condiciones ordinarias, sino un cambio del uno por ciento.

La energía utilizable

Es seguro que el lector habrá sentido extrañeza ante el hecho de que para vivir, sea preciso absorber energía y, simultáneamente, expulsar calor, que es una forma de energía. Si fuera seguro, como cree Schrödinger, que una caloría vale tanto como cualquier otra, ¿para *qué* el canje energético?

La respuesta es que no es cierto que todas las calorías valgan lo mismo. Ello es ya bien sabido desde que se estableció el segundo principio de la termodinámica. Así como para tener energía eléctrica en un salto de agua importa tanto la cantidad como el nivel, así también para valorar el calor hay que tener en cuenta la temperatura del cuerpo que lo recibe, pues la temperatura es como un nivel térmico. La cosa puede explicarse con los viejos conceptos termodinámicos, pero resulta mucho más claro recurrir a una nueva magnitud, la energía utilizable, que ha sido introducida recientemente por Darrieus en el caso de corrientes flúidas permanentes, para explicar el funcionamiento de las turbinas y de las máquinas de vapor y cuyo concepto ha sido generalizado por Keenan para sistemas cualesquiera. ⁽¹⁾

Todo sistema que realiza trabajo opera con la intervención de un medio, por ejemplo la atmósfera o un depósito de agua. Admitiremos que el medio es incapaz, por sí solo, de producir trabajo, lo que lleva consigo el que todas sus partes se hallen en reposo relativo, que su temperatura sea uniforme, y que su presión y composición sean las correspondientes al equilibrio más estable en el campo de la gravedad. Además supondremos que ni su temperatura ni su presión alteran por el calor que pierda o reciba, ni por el trabajo que contra él se realice o el que se le obligue a realizar, cosa que siempre se cumple por ser la atmósfera prácticamente infinita o por utilizar un gran depósito de agua.

⁽¹⁾ El lector encontrará desarrollado todo lo concerniente al concepto de energía utilizable en mis artículos publicados en los «Anales de Mecánica y Electricidad» nos. Septiembre-Diciembre 1945.

Es evidente que, si el sistema está en reposo y en equilibrio consigo mismo y, además, tiene la misma presión y temperatura que el medio, no habrá posibilidad de obtener trabajo ni del sistema, ni del medio, ni de la combinación de ambos. Dícese entonces que el sistema se halla *termodinámicamente muerto*.

Cuando el sistema se halla *termodinámicamente vivo*, será posible hacerle pasar al estado muerto, y ello permitirá obtener trabajo a expensas de la energía del sistema y del medio. Además, interesa tan sólo el *trabajo útil*, ésto es, el que se manifiesta en cuerpos extraños al medio, por ejemplo en la elevación de pesos. El trabajo realizado contra el medio y el calor expulsado hacia él han de darse por perdidos.

Las consideraciones precedentes justifican la siguiente definición:

La energía utilizable de un sistema es el trabajo máximo que puede ser realizado en cuerpos extraños al medio cuando se pasa al estado muerto.

La cuestión ahora es evaluar la energía utilizable de un sistema cuando se conoce su composición y estado termodinámico, así como las circunstancias en que se encuentra, ésto es, la naturaleza y condiciones de medio. La termodinámica de una respuesta unívoca, a saber:

La energía utilizable de un sistema se compone de tres términos, que son:

1.º Diferencia entre su energía interna y la que tendría si estuviera termodinámicamente muerto.

2.º Producto de la presión del medio, p_0 , por la diferencia entre el volumen del sistema y el que tendría si estuviera termodinámicamente muerto.

3.º Producto de la temperatura del medio, T_0 , por la diferencia, cambiada de signo, entre la entropía del sistema y la que tendría si estuviera termodinámicamente muerto.

De un modo simbólico, la energía utilizable, que representaremos por L_u se expresa así:

$$L_u = U - U_0 + p_0(V - V_0) - T_0(S - S_0)$$

y resulta ser igual a la disminución que la magnitud

$$B = U + p_0V - T_0S$$

experimenta al pasar al estado muerto.

Nótese que en esta expresión interviene el sistema por sus magnitudes termodinámicas, U , energía interna, V , volumen y $-S$, entropía cambiada de signo. El medio en cambio, no interviene sino por su presión, p_0 , y su temperatura, T_0 .

Los organismos se alimentan de energía utilizable

En un organismo viviente en reposo, cuando no hay ninguna manifestación externa de su vida, basta considerar la energía libre de Helmholtz para el estudio de su comportamiento termodinámico. Pero en cuanto hay alguna manifestación externa de su actividad, el ser ha de considerarse como un sistema termodinámico sumergido en un medio de presión y de temperatura constantes, y entonces la termodinámica nos dice que cualquier acto ha de ir acompañado de una disminución de su energía y *la muerte termodinámica*, sólo podrá evitarse reponiendo las pérdidas de energía utilizable. Los alimentos valen pues, por lo que tienen de energía utilizable.

De los tres términos que contiene la expresión de la energía utilizable, el que depende del volumen, sólo tiene importancia en sistemas gaseosos. En condiciones normales, ningún animal está sometido a fuerzas exteriores que hagan variar apreciablemente su volumen y, por tanto, el término en cuestión será constante y no habrá de ser tenido en cuenta al hacer el cómputo de los cambios de energía utilizable. En consecuencia, la energía utilizable de un organismo está dada por la expresión:

$$B = U - T_0S$$

que coincidiría con la expresión de la energía libre si la temperatura, T , del organismo coincidiera con la T_0 del ambiente.

Modo de aumentar la energía utilizable de un sistema

Para aumentar la energía utilizable de un sistema sin alterar su composición material, pueden seguirse dos procedimientos que, con

vistas ya a lo que sucede en los organismos, pueden denominarse *sin metabolismo* y *con metabolismo*. En el primer caso se suministra al sistema energía pura, sin nada de materia; en el segundo penetran en el sistema determinados cuerpos y son expulsados otros que son equivalentes desde el punto de vista material, pero que tienen menos energía, utilizable. Ambos métodos se utilizan en la técnica y merecen ser considerados brevemente:

a) La que pudieramos llamar *alimentación sin metabolismo*, consiste en suministrar al sistema, energía pura, sin materia de ningún género. El principio, de la equivalencia o primer principio de la termodinámica, tomado al pie de la letra, establece que todas las formas de energía son equivalentes, pero el segundo principio obliga considerar dos categorías de energía: el calor por un lado y todas las demás formas de energía, la mecánica, eléctrica y la magnética por otro. La diferencia estriba en que todas éstas pueden transformarse íntegramente una en otra y en calor, mientras que, al transformar el calor en otra forma de energía, necesariamente queda un residuo que se pierde en algún cuerpo de temperatura inferior a aquellos utilizados en la transformación. Por eso suele decirse del calor que es una *forma degradada de la energía*.

Es natural, pues, que no sea indiferente a la forma de energía y, en efecto, se demuestra que toda la energía que se suministra a un sistema, a excepción de la energía calorífica, se invierte íntegramente en energía utilizable, mientras que del calor se pierde una fracción T_0/T tanto mayor cuanto más baja es la temperatura, T , que tiene el sistema en el momento de recibirlo. Si $T = T_0$, ésto es, si el sistema tiene una temperatura igual a la ambiente, el calor absorbido no produce el menor aumento en la energía utilizable, y cuando es $T < T_0$, o sea cuando el sistema tiene una temperatura inferior a la del medio, se dá el hecho singular de que el calor hace disminuir la energía utilizable.

Al dar cuerda a un aparato de relojería o al cargar una batería de acumuladores, puede

pretenderse que toda la energía consumida, quede almacenada en forma de energía utilizable, pero si se quiere almacenar energía térmica, es irremediable la pérdida. Si, por ejemplo, se hace hervir agua en la caldera de una locomotora a una temperatura de 227° centígrados, y la temperatura ambiente es 27° centígrados, como

$$T = 227+273=500$$

$$T_0 = 27+273=300$$

de cada caloría se pierden $T_0/T=3/5$ partes, y sólo queda la quinta parte como energía utilizable.

b) También de la *alimentación con metabolismo* hay ejemplos en la técnica. Es lo que sucede en los motores de combustión interna, que reciben una mezcla formada por un combustible y aire y expulsan humos. Tal sucede en los automóviles. De ellos puede pretenderse que aprovechen toda la energía utilizable de la mezcla, lo cual sucederá cuando los humos queden termodinámicamente muertos, o sea en equilibrio consigo mismo y con el ambiente.

Para valorar un combustible destinado a la calefacción, basta tomar cuenta de las calorías que desprende al arder, pero si ha de emplearse en un motor de combustión interna, es preciso medir su energía utilizable, esto és, lo que disminuye la magnitud

$$B = U + p_0V - T_0S$$

cuando se quema de modo que los humos queden termodinámicamente muertos.

El porqué y el para qué del metabolismo

Si los animales tuvieran posibilidades de recibir del exterior energía mecánica e eléctrica y aprovecharla para reponer sus pérdidas de energía utilizable, el metabolismo sería innecesario para conservar el estado estacionario. La energía mecánica abunda por doquier; los ríos, el viento y las piedras que ruedan la ponen al alcance de nuestras manos. La energía eléctrica, aunque no directamente manejable, ha sido esclavizada por el hombre gracias a artificios adecuados. Pero ni una

ni otra sirven para reparar las pérdidas de los organismos animales. ¡Que gran cosa sería la alimentación sin metabolismo!. Golpes acompasados, o si se quiere mayor refinamiento, corrientes eléctricas, y luego baños fríos para expulsar la entropía sería todo lo necesario para remediar el hambre que aflige a la humanidad. La termodinámica no se opone a ello, y los partidarios de la adaptación al medio tendrían que explicar porqué no se han puesto aún los animales en condiciones de aprovechar, para su nutrición, la energía mecánica que tanto abunda.

Con el calor, la otra forma de nutrición sin metabolismo, la cosa está mucho peor. Para que entre calor en un animal hay que ponerlo en un medio cuya temperatura sea superior a la suya, y entonces se consigue todo lo contrario de lo que se pretende, pues según se ha dicho en el apartado anterior, disminuiría la energía utilizable.

En resumen; *el metabolismo es indispensable porque los animales carecen de órganos que les permitan captar y almacenar la energía mecánica o la energía eléctrica, y porque el calor que les llega del exterior no sirve para compensar sus pérdidas de energía utilizable.*

Otra cuestión, de carácter finalista, es el *para qué* ha recurrido la naturaleza al metabolismo en lugar de dotar a los animales de órganos capaces de captar la que, para distinguirla de la térmica, pudiéramos llamar energía noble; la que se suministra a los aparatos de relojería y a todos los autómatas que el hombre fabrica. La respuesta; evidentemente, no puedo darla la física, pero pudiera ser ésta. La materia es indispensable para el crecimiento y la propagación, y ambas funciones son esenciales en los organismos, cosa que no sucede con los autómatas.

El calor de incubación

A la vista de una gallina incubando sus huevos, toda persona libre de prejuicios, dirá que los calienta. Pero el lector que haya tenido la paciencia de llegar hasta aquí y que tenga ya su cerebro lleno de sutilezas termodinámicas, encontrará justificable la siguiente

pregunta. ¿Quién da calor a quién: la gallina a los huevos o los huevos a la gallina?. He hecho la pregunta a todos mis conocidos, y la respuesta, cuando fué dada de buena fe ha sido unánime: la gallina da calor a los huevos.

Pero la cuestión no puede ser resuelta por plebiscito. Nuestros razonamientos anteriores tampoco sirven, porque durante la incubación no hay estado estacionario. Al revés, de día en día se producen en el huevo cambios de tal calibre que bastan veintiun días cabales para que de tres fases aparentemente homogéneas cada una, la clara, la yema y la bolsita de aire, nazca la maravilla de un pollito vivo.

Si el huevo se conserva en lugar fresco, el pollito no nace. Para la incubación es preciso que la temperatura se eleve hasta unos 39° C y que se mantenga entre ciertos límites. Esto es, justamente, lo que hace la gallina o la incubadora.

Con lo que sabemos de mecánica cuantista podemos formarnos idea de porqué la vida del embrión no se inicia sino con una temperatura conveniente. Basta suponer que la incubación se inicia por saltos cuantistas que han de sufrir determinados centros del huevo, y que tales saltos o cambios de configuración sólo pueden producirse cuando llega de una sola vez determinada energía. Tales paquetes de energía han de proceder de los movimientos desordenados de las moléculas próximas, de lo que en la teoría cinética se llama agitación térmica, cuya medida es la temperatura. Si la temperatura es baja, la agitación molecular es pequeña y es muy poco probable que se acumule en una sola molécula la energía necesaria para los referidos saltos; el *tiempo de expectación* es muy grande. Pero si la temperatura se eleva convenientemente, es seguro en muy poco tiempo se producirán los cambios de configuración y la vida dejará de ser latente para hacerse activa.

Para que prosiga el proceso vital, ha de mantenerse la temperatura en un intervalo muy restringido, pues el embrión carece todavía de mecanismo de regulación y la falta es suplida por la gallina. El huevo, durante el periodo de incubación es, desde el punto de

vista termodinámico, un sistema con volumen invariable y que se mantiene a temperatura constante. La termodinámica dice que, en tales condiciones, *la energía libre disminuye necesariamente*.

En el caso de un animal adulto, de la precedente ley termodinámica se deduce que ha de desprender calor para poder conservar su estado estacionario. Durante el desarrollo del embrión no puede haber estado estacionario, y la termodinámica por si sola no permite predecir si habrá o no desprendimiento de calor. Pero a falta de una razón convincente, pueden darse razones en virtud de las cuales lo más plausible es que haya expulsión de calor. Helas aquí:

1.º Si el huevo recibiera calor de la gallina sería

$$dQ > 0,$$

y la desigualdad de Clausius

$$TdS > dQ$$

conduce, por ser $T = \text{const}$ a

$$\Delta S > 0,$$

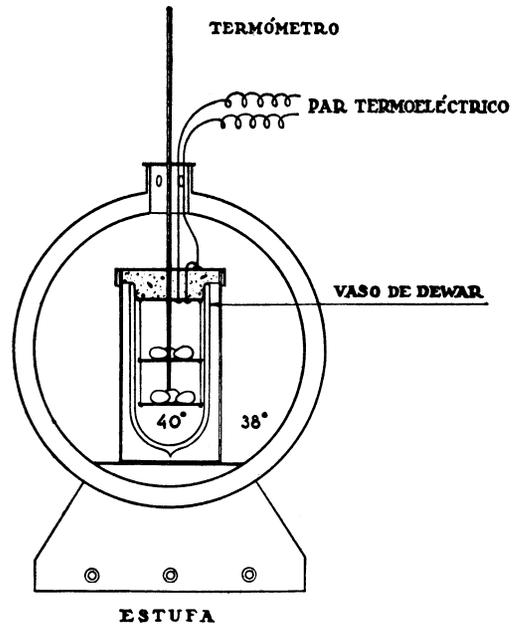
ésto es, la entropía del pollito sería mayor que la del huevo antes de incubarse, y como la entropía, para una temperatura dada, es la medida del desorden, resultaría que hay más orden, más jerarquía en la clara, yema y aire del huevo que en el pollito. Para que no suceda tal cosa es preciso que $\Delta Q < 0$, ésto es, que del huevo salga calor.

2.º El desprendimiento de calor no es un rasgo peculiar del animal adulto, en estado estacionario. Todos los animales desprenden calor, incluso en las épocas de más rápido crecimiento. Para que en el embrión ocurriera lo contrario sería preciso que hubiera en él transformaciones endotérmicas de tipo enteramente distinto a las que ocurren en el animal ya formado, lo cual es poco verosímil.

Por estas razones preví que los huevos desprendían calor al ser incubados y valía la pena hacer la comprobación experimental.

El mismo calorímetro que había utilizado ya para medir el desprendimiento de caloren los animales de sangre fría, sirvió para

mi propósito. Coloqué seis huevos en dos cestitas metálicas colgadas de un grueso corcho que servía de tapón a un vaso de Dewar. El tapón estaba perforado a fin de poder introducir un termómetro dividido en décimas de grado y para dar paso a los alambres de un par termoeléctrico cobre-constantán, cuyas uniones estaban soldadas a sendos discos de



latón situados a uno y otro lado del corcho. El disco exterior formaba la tapa de un cilindro de latón que rodeaba el vaso de Dewar para formar una envoltura isotérmica. Todo ello estaba colocado en una estufa con regulación automática de la temperatura.

El termómetro daba la temperatura, T_i , en lo interior del calorímetro, y el par termoeléctrico, gracias a un galvanómetro de espejo, servía para medir la diferencia, $\Delta T = T_i - T_e$, entre la temperatura interior y la exterior. Si ΔT se hacía positivo durante la incubación, mis previsiones quedarían confirmadas.

Montado el aparato, puse en marcha la estufa. Como es natural, la temperatura exterior subió rápidamente, mientras que la interior ascendió muy lentamente gracias al buen aislamiento térmico. Hubieron de pasar días para que la temperatura interior subiera

a 39°. Entoces, de acuerdo con las instrucciones que se dan en las incubadoras, procure mantener la temperatura de los huevos entre 39 y 40° C, para lo cual maniobraba convenientemente el termoregulador de la estufa. Desde luego, tomé las precauciones propias del caso, tales como airear y dar vuelta a los huevos todos los días y mantener el ambiente saturado de vapor de agua.

Bien pronto sucedió lo que se esperaba. Durante un par de días ambas temperaturas fueron sensiblemente iguales, pero luego empezó a subir la interior y, para que no rebasara los 40° C, fué preciso bajar paulatinamente la exterior. La diferencia ΔT alcanzó un valor próximo a los 2° que se mantuvo constante en los días sucesivos. Hubiera querido seguir el proceso hasta el final, pero no fué posible. Una mañana, al cabo de un par de semanas de incubación, encontré que el par termoeléctrico no daba diferencia apreciable entre la temperatura de los huevos y la temperatura exterior. Sin necesidad de abrir la incubadora adiviné que había ocurrido un percance y, en efecto, al romper los huevos, encontré los pollitos enteramente formados pero muertos. Era evidente que habían muerto de asfixia, pues para hacer las medidas calo-

rimétricas hay que impedir la circulación del aire por el vaso de Dewar.

Quedaba, pues, demostrado que los huevos desprenden calor al ser incubados. La gallina sirve para que no se enfrien excesivamente.

He aquí ahora los resultados. La pérdida de calor a través del calorímetro es proporcional a la diferencia de temperatura:

$$Q=C.\Delta T.$$

El factor de proporcionalidad, C , se determina colocando en el vaso de Dewar un alambre de resistencia conocida, haciendo pasar por él una corriente y midiendo ΔT cuando se ha llegado al régimen estacionario.

Con $R=20,271$ ohmio e $I=0,080$ amperios, resulta $\Delta T = 2,31$ °C. En consecuencia:

$$C = \frac{0,0062 \times 20,271}{2,31} = 0,0562 \frac{\text{julios}}{\text{seg} \times ^\circ\text{C}} = 0,0125 \frac{\text{cal}}{\text{seg} \times ^\circ\text{C}}.$$

Con $\Delta T=2^\circ$ y cinco pollitos, resulta para cada uno:

$$Q = \frac{0,0135}{5} \times 2 = 0,0054 \frac{\text{cal}}{\text{seg}}.$$

JÚLIO PALÁCIOS
PROF. CAT. DA UNIV. DE MADRID

7. PROBLEMAS PROPOSTOS

1S — «Problemas propostos a alunos de cursos secundários em que se mandam calcular as acções electrostáticas entre esferas condutoras carregadas e se resolvem aplicando a lei de Coulomb a essas cargas depois de transportadas para os centros das esferas respectivas são *lamentavelmente* propostos e *erradamente* resolvidos» isto nos escreve *Santacomba*, pseudónimo que encobre o nome de um professor que se nos dirige de Moura.

E depois resolve o problema pelo método das imagens eléctricas, de Kelvin, para chegar à conclusão de que o módulo da força que actua a carga ou a esfera é dado por

$$F = \frac{QQ'}{\epsilon d^2} + \frac{Q^2 r}{\epsilon d^3} - \frac{Q^2 r d}{\epsilon (d^2 - r^2)^2}$$

em que os símbolos são os do enunciado do problema e a força é repulsiva quando $F > 0$.

Santacomba podia ter acrescentado que se a carga pontual estiver muito afastada da esfera de modo que se possa desprezar r^2 perante d^2 , a força é repulsiva e de módulo dado pelo primeiro termo; mas se a carga pontual se avizinha da esfera, o denominador do terceiro termo torna-se muito pequeno e passa a haver predominio deste termo sobre a soma dos outros dois, e a força passa a ser atractiva. Pode até afirmar-se que dois conduto-