



Segunda edición

J. W. Kane \ M. M. Sternheim

Física

EDITORIAL REVERTÉ

Material protegido por derechos de autor

Título de la obra original:
PHYSICS, Second Edition

Edición original en lengua inglesa publicada por
John Wiley & Sons, New York (NY) 1003, USA

Copyright © by John Wiley & Sons, Inc.

Todos los derechos reservados.

Traducción autorizada de la edición en lengua inglesa publicada por John Wiley & Sons, Inc.

Versión española por

Dr. José Casas Vázquez

Catedrático de Terminología de la Universidad Autónoma de Barcelona

y

Dr. David Jou Mirabent

Profesor de la Universidad Autónoma de Barcelona

Propiedad de:

EDITORIAL REVERTÉ, S. A.

Loreto, 13-15. Local B

08029 Barcelona. ESPAÑA

Tel: (34) 93 419 33 36

Fax: (34) 93 419 51 89

reverte@reverte.com

www.reverte.com

REIMPRESIÓN: ENERO DE 2007

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, queda rigurosamente prohibida, salvo excepción prevista en la ley. Asimismo queda prohibida la distribución de ejemplares mediante alquiler o préstamo públicos, la comunicación pública y la transformación de cualquier parte de esta publicación (incluido el diseño de la cubierta) sin la previa autorización de los titulares de la propiedad intelectual y de la Editorial. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (CEDRO) vela por el respeto a los citados derechos.

Edición en español:

© EDITORIAL REVERTÉ, S. A., 2000

ISBN 13: 978-84-291-4318-8

ISBN 10: 84-291-4318-1

Depósito Legal: B-1897-2007

Impreso en España - Printed in Spain

Impreso por Domingraf Impressors

Mollet del Vallés (Barcelona)

ficie y las aguas profundas de grandes presas podría emplearse para producir energía del mismo modo que hemos descrito para las aguas marinas. Si se supone que las aguas profundas están siempre a 5° C, ¿cuál es el rendimiento ideal para utilizar esta fuente de energía en enero y julio si la temperatura del agua de la superficie es 8 y 23° C, respectivamente, en estos dos meses?

RESPUESTAS A LAS CUESTIONES DE REPASO

Q 11-1, $P\Delta V$; Q 11-2, la energía térmica transportada; Q 11-3, la energía de un sistema debida a la energía cinética de traslación, rotación y vibración de sus moléculas más la debida a las interacciones moleculares; Q 11-4, el cambio de energía interna; Q 11-5, entropía; Q 11-6, $\Delta Q/T$; Q 11-7, disminuir; Q 11-8, $1 - T_1/T_2$; Q 11-9, como la razón del calor absorbido a la temperatura más baja al trabajo realizado sobre el sistema.

TEMAS SUPLEMENTARIOS

11.7 | METABOLISMO HUMANO

Todos los seres vivos necesitan energía para mantener los procesos vitales. Las plantas verdes obtienen su energía directamente del Sol mediante el proceso de la fotosíntesis. Las plantas que no utilizan la fotosíntesis, como los hongos, y los animales necesitan alimentos capaces de proporcionar energía química. En cualquier caso, tanto las plantas como los animales operan dentro de las limitaciones impuestas por la termodinámica.

La primera ley de la termodinámica proporciona un esquema conveniente para catalogar los factores que intervienen en el complejo tema del metabolismo humano. Supongamos que en un tiempo Δt una persona realiza un trabajo mecánico ΔW . Éste puede utilizarse directamente en hacer ciclismo, traspasar nieve o empujar un coche. En general, el cuerpo perderá calor, por lo cual ΔQ será negativo. Su valor puede medirse hallando cuánto calor se ha de extraer de la habitación en que se halla la persona para que la temperatura del aire siga siendo constante. Según la primera ley, el cambio de energía interna ΔU viene dado por $\Delta U = \Delta Q - \Delta W$. Dividiendo por Δt , obtenemos la siguiente relación entre las tasas de cambio de las corres-

pondientes magnitudes

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} - \frac{\Delta W}{\Delta t} \tag{11.14}$$

La tasa de cambio de la energía interna puede medirse con precisión observando la tasa de consumo de oxígeno para convertir el alimento en energía y materiales de desecho. Por ejemplo, un mol (180 g) de glucosa, que es un hidrato de carbono típico, se combina con 134,4 litros de gas oxígeno en una serie de pasos para formar anhídrido carbónico y agua. En este proceso se liberan 2780 kJ de energía. El *equivalente energético del oxígeno* se define como el cociente entre la energía liberada y el oxígeno consumido. Para la glucosa este cociente es 2780 kJ/134,4 litros = 21,4 kJ litro⁻¹. El *contenido energético por unidad de masa* se define como la energía liberada dividida por la masa. Para la glucosa este cociente es 2780 kJ/180 g = 15,9 kJ g⁻¹.

En la Tabla 11.1 aparecen el contenido energético medio por unidad de masa y el equivalente energético del oxígeno para los hidratos de carbono, las proteínas y las grasas que se consumen habitualmente. El equivalente energético del oxígeno es aproximadamente el mismo, salvo en un pequeño tanto por ciento. Así pues, se utiliza un valor medio de 20,2 kJ litro⁻¹ para convertir el consumo medido de oxígeno en tasa de cambio de la energía interna. Por ejemplo, si una persona consume oxígeno a la tasa elevada de 100 litros h⁻¹, la tasa de cambio de la energía interna es (100 litros h⁻¹)(20,2 kJ litro⁻¹) = 2020 kJ h⁻¹ = 561 W.

TABLA 11.1

Contenido energético medio por unidad de masa de alimento y equivalente energético del oxígeno de una dieta típica

Alimento	Contenido energético por unidad de masa (kJ g ⁻¹)	Equivalente energético del oxígeno (kJ litro ⁻¹)
Hidrato de carbono	17,2	21,1
Proteína	17,6	18,7
Grasa	38,9	19,8
Etanol	29,7	20,3
Promedio estándar		20,2

Tasa metabólica basal | Todos los animales, incluidos los seres humanos, consumen energía interna incluso cuando duermen. La tasa de consumo de energía en reposo, pero despiertos, se denomina *tasa metabólica basal*. Su valor es aproximadamente de $1,2 \text{ W kg}^{-1}$ para un hombre medio de 20 años y de $1,1 \text{ W kg}^{-1}$ para una mujer de la misma edad. Ello corresponde a unas 1700 kcal por día y 1400 kcal por día para un hombre de 70 kg y una chica de 60 kg, respectivamente. La mayor parte de la energía consumida por una persona en reposo se convierte directamente en calor. El resto se utiliza para producir trabajo en el interior del cuerpo y se convierte después en calor.

Los materiales de los alimentos no se utilizan directamente por el cuerpo, sino que se convierten primero en materiales tales como el ATP (trifosfato de adenosina) que puede ser consumido directamente por los tejidos. En esta transformación se pierde aproximadamente el 55 por ciento de la energía interna en forma de calor. El 45 por ciento restante queda disponible para realizar trabajo interno en los órganos del cuerpo o para hacer que se contraigan los músculos que mueven los huesos y realizar así trabajo sobre los objetos exteriores.

Cuando una persona está realizando una actividad tal como subir escaleras o hacer la limpieza de la casa, la tasa metabólica aumenta (Tabla 11.2). Una parte del aumento en la conversión de la energía interna se necesi-

ta para proporcionar el trabajo mecánico realizado por la persona. El resto se debe al aumento de las demandas internas del cuerpo. Por ejemplo, al traspalar, la tasa metabólica es unas ocho veces mayor que la tasa metabólica basal, pero la cantidad de trabajo mecánico producido es en realidad muy pequeña. La energía metabólica es consumida principalmente por los músculos esqueléticos que cambian y mantienen la posición del cuerpo.

El ejemplo siguiente estudia algunas de las ideas que hemos desarrollado en este punto.

Ejemplo 11.8

(a) ¿Cuánta energía interna consume un hombre de 65 kg al ir 4 horas en bicicleta? (b) Si esta energía se obtiene por metabolismo de la grasa del cuerpo, ¿cuánta grasa se gasta en este período?

(a) Según la Tabla 13.2, la tasa metabólica al ir en bicicleta es de $7,6 \text{ W kg}^{-1}$. Un hombre de 65 kg consume por lo tanto energía a una tasa de $(7,6 \text{ W kg}^{-1})(65 \text{ kg}) = 494 \text{ W}$. Cuatro horas son $1,44 \times 10^4 \text{ s}$, de modo que el consumo neto de energía es

$$\begin{aligned} -\Delta U &= (494 \text{ W})(1,44 \times 10^4 \text{ s}) \\ &= 7,1 \times 10^6 \text{ J} \\ &= 7100 \text{ kJ} \end{aligned}$$

(b) La energía equivalente de la grasa es de $38,9 \text{ kJ g}^{-1}$, de modo que la masa de grasa necesaria para producir esta energía es

$$\begin{aligned} \text{Masa de grasa} &= \frac{(7100 \text{ kJ})}{(38,9 \text{ kJ g}^{-1})} \\ &= 180 \text{ g} = 0,18 \text{ kg} \end{aligned}$$

Para apreciar este resultado es conveniente compararlo con el equivalente energético de la comida necesaria para un hombre sedentario durante 24 horas, que es de 10 500 kJ o 2500 kcal. Por lo tanto, el ejercicio de ir en bicicleta durante 4 horas consume aproximadamente dos tercios de la energía que un hombre sedentario necesita para todo el día. Ello indica que limitar la cantidad de comida es para la mayoría de la gente una forma más práctica de perder peso que no el hacer ejercicio físico.

TABLA 11.2

Tasas metabólicas aproximadas por unidad de masa de un hombre de 20 años durante varias actividades

Activity	$-\frac{1}{m} \frac{\Delta U}{\Delta t}$ (W kg^{-1})
Dormir	1,1
Acostado y despierto	1,2
Sentado en posición recta	1,5
De pie	2,6
Pasear	4,3
Temblar	hasta 7,6
Montar en bicicleta	7,6
Traspalar	9,2
Nadar	11,0
Cortar leña	11,0
Esquiar	15,0
Correr	18,0

El rendimiento de utilización de los alimentos | El rendimiento de los seres humanos al utilizar la energía química de los alimentos para realizar trabajo útil puede definirse de varias maneras. El convenio más habitual se basa en comparar la tasa con

TABLA 11.3

Rendimientos máximos de trabajos físicos

Actividad	Rendimiento en porcentaje
Traspalar en posición inclinada	3
Levantar pesos	9
Girar una rueda pesada	13
Subir escaleras de mano	19
Subir escaleras	23
Montar en bicicleta	25
Escalar colinas con una pendiente de 5°	30

Adaptado de E. Grandjean, *Fitting the Task to the Man: An Ergonomic Approach*, Taylor and Francis, Londres, 1969.

que se realiza trabajo mecánico con la tasa metabólica basal. El rendimiento e en tanto por ciento es entonces

$$e = \frac{100 \frac{\Delta W}{\Delta t}}{\left| \frac{\Delta U}{\Delta t} - \frac{\Delta U}{\Delta t_{\text{basal}}} \right|} \% \quad (11.15)$$

El denominador es la diferencia entre la tasa metabólica real y la basal. El rendimiento sería del 100 por ciento si toda la energía adicional se convirtiera en trabajo mecánico. La Tabla 11.3 recoge algunos rendimientos medidos.

El siguiente ejemplo muestra el cálculo del rendimiento para escalar una montaña.

Ejemplo 11.9

Una chica de 20 años y de 50 kg de masa escala una montaña de 1000 m de altura en 4 horas. Su tasa metabólica por unidad de masa durante esta actividad es de 7 W kg⁻¹. (a) ¿Cuál es la diferencia entre esta tasa metabólica y su tasa metabólica basal? (b) ¿Cuánto trabajo se realiza en la escalada? (c) ¿Cuál es su rendimiento?

(a) Como la tasa basal de la mujer es de 1,1 W kg⁻¹, la diferencia por unidad de masa es (7 - 1,1)W kg⁻¹ = 5,9 W kg⁻¹. La diferencia total de las tasas es este número multiplicado por la masa del cuerpo, es decir

$$\left| \frac{\Delta U}{\Delta t} - \frac{\Delta U}{\Delta t_{\text{basal}}} \right| = (50 \text{ kg})(5,9 \text{ W kg}^{-1}) = 295 \text{ W}$$

(b) El trabajo realizado durante la escalada es igual

al cambio de energía potencial de la chica, es decir

$$\Delta W = mgh = (50 \text{ kg})(9,8 \text{ m s}^{-2})(1000 \text{ m}) = 4,9 \times 10^5 \text{ J}$$

La tasa con que realiza trabajo durante 4 h = 1,44 × 10⁴ s es

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{4,9 \times 10^5 \text{ J}}{(1,44 \times 10^4 \text{ s})} = 34 \text{ W}$$

(c) Su rendimiento se calcula a partir de la definición

$$e = \frac{100 \frac{\Delta W}{\Delta t}}{\left| \frac{\Delta U}{\Delta t} - \frac{\Delta U}{\Delta t_{\text{basal}}} \right|} = \frac{100(34 \text{ W})}{295 \text{ W}} = 11,5\%$$

Así pues, la chica está consumiendo la energía de la comida para producir trabajo mecánico con un rendimiento del 11,5 por ciento. En general, el rendimiento de las actividades humanas está por debajo del 30 por ciento.

Es importante observar que la tasa con que se produce trabajo depende de cuánto tiempo se realiza de forma continua tal actividad. Una persona en buenas condiciones físicas puede producir aproximadamente una potencia de 21 W kg⁻¹ en una carrera ciclista, pero sólo durante unos 4 ó 6 segundos. Cuando se realiza un trabajo durante unas 5 horas, la tasa metabólica máxima es de unos 6 ó 7 W kg⁻¹. Para una persona que realice trabajo físico, la tasa metabólica promedio durante el año es de unos 4 W kg⁻¹ o incluso menor.

EJERCICIOS SOBRE LOS TEMAS SUPLEMENTARIOS

Sección 11.7 | Metabolismo humano

11-34 Una chica de 55 kg de masa produce calor a una tasa de 1,1 W kg⁻¹ cuando permanece acostada durante un día cálido. Si la temperatura de su cuerpo es constante, (a) ¿cuál es la tasa de cambio de su energía interna? (b) ¿Cuánta energía interna consumirá en 8 horas? (c) Si toda esta energía procede del metabolismo de hidratos de carbono, ¿qué masa de hidratos de carbono consume?

11-35 Una chica que sigue una dieta normal consume energía interna a una tasa de 3 W kg⁻¹ y tiene 50 kg de masa. (a) ¿Cuál es su tasa de consumo de oxígeno? (b) ¿Cuánto oxígeno consume en 8 horas?

11-36 Un hombre de 60 kg mueve tierra con una pala con un rendimiento del 3 por ciento y su tasa

metabólica es de 8 W kg^{-1} . (a) ¿Cuál es su producción de potencia? (b) ¿Cuánto trabajo produce en 1 hora? (c) ¿Qué calor pierde su organismo en 1 hora?

11-37 Una chica de 45 kg tiene en reposo una tasa metabólica basal normal. (a) ¿Qué volumen de oxígeno consume en 1 hora? (b) Si anda durante una hora, y tiene una tasa metabólica de $4,3 \text{ W kg}^{-1}$, ¿cuánto oxígeno consumirá?

11-38 Si un chico de 20 años y 70 kg de masa consume 1 litro de oxígeno por minuto, (a) ¿Cuál es su tasa metabólica? (b) Si hiciera trabajo con un rendimiento del 100 por cien, ¿cuál sería su potencia mecánica efectiva?

11-39 En 1846, J. P. Joule halló experimentalmente que en 24 horas un caballo hace un trabajo equivalente a elevar un peso de 10^5 N hasta una altura de 0,3 m. El forraje y el maíz consumidos durante dicho período equivalen a una reserva de energía interna de $1,2 \times 10^8 \text{ J}$. (a) ¿Qué fracción de dicha energía interna utiliza el caballo para hacer trabajo mecánico? (b) Si el rendimiento real del caballo fuera de un 30 por ciento, ¿cuál sería su tasa metabólica basal?

PROBLEMAS SOBRE LOS TEMAS SUPLEMENTARIOS

11-40 La tasa metabólica basal de la mayor parte de los hombres decrece después de los 20 años, habiendo disminuido en un 20 por ciento al llegar a los 70 años. (a) ¿Una persona anciana se enfriará en un día de invierno más rápidamente que una persona joven? ¿Por qué? (b) Si un hombre de 70 años realiza trabajo al mismo ritmo que un hombre joven y ambos trabajan con el mismo rendimiento, ¿cuál de ellos tendrá una tasa metabólica mayor? Explicarlo.

11-41 Si la dieta de una persona de 70 kg tiene un equivalente en energía de $1,25 \times 10^7 \text{ J}$, ¿cuánto trabajo podrá realizar dicha persona con un rendimiento del 15 por ciento y una tasa metabólica de 250 W hasta que haya consumido toda la energía de los alimentos?

11-42 Si un hombre de 90 kg hace ejercicio con una tasa metabólica de $7,5 \text{ W kg}^{-1}$, ¿cuánto tiempo habrá de estar hasta consumir 1 kg de grasa?

11-43 Un velocista de 70 kg hace trabajo a un ritmo de 820 W durante el último tramo de una carrera ciclista en el que tarda 11 s. Si el rendimiento es

del 20 por ciento y sólo consume hidratos de carbono, ¿qué masa de éstos gastará?

11-44 Una chica de 45 kg sube corriendo un tramo de escaleras de 5 m de altura en 3 s. (a) ¿Cuál es su potencia mecánica efectiva? (b) Si la tasa metabólica basal de la chica es de 1 W kg^{-1} y trabaja con un rendimiento del 10 por ciento, ¿cuál es su tasa metabólica cuando sube las escaleras? (c) ¿Cuál es la cantidad total de oxígeno que consume mientras sube?

11-45 Si la mujer del Problema 11-44 baja las escaleras, la variación de su energía potencial es negativa. ¿Se necesita energía metabólica en este proceso? Dar una explicación.

11-46 En el Capítulo 8, el modelo de escala de resistencia a la flexión llevó a la conclusión de que la tasa metabólica de un animal de masa m varía como $m^{0,75}$. Esto significa también que la tasa metabólica por unidad de masa varía como $m^{0,75}/m = m^{-0,25}$. La tasa metabólica basal de un hombre de 60 kg es $1,2 \text{ W kg}^{-1}$. ¿Cuál es la tasa metabólica basal por unidad de masa de un caballo de 960 kg?

11-47 Utilizando la ley de escala descrita en el Problema 11-46, ¿cuál es la tasa metabólica basal esperada para un elefante de 6400 kg si la de una rata de 0,04 kg es de 0,3 W?

11-48 Un colibrí consume 0,06 W para revolotear. Las tasas de consumo de oxígeno medidas experimentalmente para un colibrí en reposo y revoloteando son respectivamente $5 \times 10^{-6} \text{ litros s}^{-1}$ y $35 \times 10^{-6} \text{ litros s}^{-1}$. ¿Cuál es el rendimiento de un colibrí cuando revolotea?

11-49 Una persona sometida a dieta consume 10 500 kJ, o sea 2500 kcal día⁻¹, y gasta 12 600 kJ día⁻¹. Si el déficit se suple mediante consumo de la grasa almacenada, ¿en cuántos días perderá 1 kg?

Lecturas adicionales

W. F. Magie, *A Source Book in Physics*, McGraw-Hill Books Co. New York, 1935, pp. 196-211. Fragmentos de los escritos de Mayer y de Joule.

V. V. Raman, Where Credit is Due-The Energy Conservation Principle, *Physics Teacher*, vol. 13, 1975, p. 80.

T. C. Ruch y H. D. Patton (eds.), *Physiology and Biophysics*, vol. 3, W. B. Saunders, Philadelphia, 1973. El cap. 5, escrito por Arthur C. Brown, habla del metabolismo humano.

- 9-29 0,0707 m
 9-31 (a) $\pm 0,447 \text{ m s}^{-1}$ (b) $\pm 0,387 \text{ m s}^{-1}$
 9-33 (a) 0,769 s (b) 4,61 s
 9-35 (a) $x_0, 0, -4\pi^2 f^2 x_0$ (b) $-x_0, 0, 4\pi^2 f^2 x_0$
 9-37 $x = R \text{ sen}(2\pi ft)$, $v = (2\pi f)R \text{ cos}(2\pi ft)$, $a = -(2\pi f)^2 R \text{ sen}(2\pi ft)$
 9-39 (a) $8,88 \text{ N m}^{-1}$ (b) 7,5 Hz
 9-41 (a) $19,7 \text{ N m}^{-1}$ (b) 0,995 m
 9-43 (a) $\approx 0,7 \text{ Hz}$ (b) $\approx 4 \text{ km}$
 9-45 $5,95 \text{ m s}^{-1}$
 9-47 (a) 147 J (b) $1,176 \times 10^5 \text{ N m}^{-1}$ (c) 7,72 Hz
 9-49 3,40 m
 9-51 $\theta_0 \sqrt{g/l}$
 9-55 $\approx 10^5 \text{ N m}^{-1}$
 9-57 (a) 98 000 N m⁻¹ (b) 7,05 Hz (c) Sí
 9-59 0,0621 m
 9-61 (a) 22,2 Hz (b) Bien

Capítulo 10

- 10-1 37,8° C
 10-3 -40°
 10-5 36,461 u
 10-7 4,032 gramos
 10-9 $1,806 \times 10^{24}$
 10-11 1,58 moles
 10-13 127 gramos
 10-15 $5,07 \times 10^8 \text{ N}$
 10-17 2030 N; no
 10-19 (a) $\approx 10^5 \text{ Pa}$ (b) $\approx 1000 \text{ Pa}$
 10-21 5
 10-23 1,37
 10-25 10 970 K
 10-27 1,05 atm
 10-29 10 100 m
 10-31 La presión se duplica
 10-33 0,9957
 10-35 (a) $4,25 \times 10^{-21} \text{ J}$ (b) 205 K
 10-37 746 s
 10-39 $3,74 \times 10^6 \text{ Pa} = 37,0 \text{ atm}$
 10-41 196 moles m^{-3}
 10-43 303 u
 10-45 (a) $0,3 \text{ m}^3$ (b) 37,5 min
 10-47 5,12%
 10-49 9750 K
 10-51 (a) 0,45 s (b) 4,5 veces mayor
 10-53 7,88 atm
 10-55 12,5 J

Capítulo 11

- 11-1 (a) $P_1(V_2 - V_1)$ (b) $-P_1(V_2 - V_1)$
 11-3 1,4 J
 11-5 $3,24 \times 10^5 \text{ J}$
 11-7 25 W
 11-9 Aumenta más rápidamente con el pistón fijado. Todo el calor incrementa la energía interna
 11-13 (a) No (b) Aumenta
 11-15 (a) Todas cruces (caras): 1 manera; 1 cruz (cara) y 5 caras (cruces): 6 maneras; 2 cruces (caras) y 4 caras (cruces): 15 maneras; 3 caras y tres cruces: 20 maneras (b) 3 caras es lo más probable
 11-17 (a) 58,1% (b) $3,3 \times 10^6 \text{ J}$ (c) 41,8%
 11-19 500 K, 429 K
 11-21 (a) 9,31 (b) 25 W
 11-23 (a) 70 000 J (b) -80 000 J (c) 20 000 J
 11-25 50%
 11-27 (a) 2 ó 12: 1 manera; 3 u 11: 2 maneras; 4 ó 10: 3 maneras; 5 ó 9: 4 maneras; 6 u 8: 5 maneras; 7: 6 maneras (b) 7
 11-29 (a) 148 s
 11-31 (a) 43,9% (b) 1,52
 11-33 Enero, 1,07%; Julio, 6,08%
 11-35 (a) $7,43 \times 10^{-3} \text{ litros s}^{-1}$ (b) 214 litros
 11-37 (a) 8,82 litros (b) 34,5 litros
 11-39 (a) 25% (b) 231 W
 11-41 $1,24 \times 10^6 \text{ J}$
 11-43 2,68 gramos
 11-45 No
 11-47 $0,375 \text{ W kg}^{-1}$
 11-49 18,5d

Capítulo 12

- 12-1 $5,08 \times 10^{-3} \text{ m}$
 12-3 $4,6 \times 10^{-4} \text{ m}$
 12-5 La tapa se dilata más que el vidrio
 12-7 0,02991 m
 12-9 46,6 kJ
 12-11 $2,48 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
 12-13 10 000 kJ
 12-15 $3,54 \times 10^3 \text{ kJ}$
 12-17 (a) No (b) 0°C
 12-19 93,5 min
 12-21 315 W
 12-23 53,3 W
 12-25 (a) $0,263 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$ (b) $3,95 \text{ m}^2 \text{ K W}^{-1}$