

IDEE PER UNA LEZIONE DIGITALE

PARAGRAFO	CONTENUTO	DURATA (MINUTI)
1. Lavoro, energia interna e calore	<p> ESPERIMENTO VIRTUALE</p> <p>La macchina di Joule Gioca, misura, esercitati</p>	
4. Conduzione e convezione	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Conduzione nei metalli Come si diffonde il calore in una sbarretta metallica riscaldata a un'estremità?</p>	1
	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Convezione Confrontando una pentola d'acqua riscaldata dall'alto con una riscaldata dal basso, si spiega il ruolo delle correnti convettive nella propagazione del calore in un fluido.</p>	1
5. L'irraggiamento	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Irraggiamento Rappresentazione della trasmissione di calore per irraggiamento dal Sole alla Terra.</p>	1
	<p> IN LABORATORIO</p> <p>Calore dei raggi solari Focalizzando i raggi solari con uno specchio concavo, si verifica che essi trasportano calore per irraggiamento e aumentano la temperatura nella regione in cui convergono.</p>	2
6. L'effetto serra	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Effetto serra Partendo dal funzionamento di una serra da giardino si spiega l'effetto serra che riscalda il nostro pianeta.</p>	1
7. Passaggi tra stati di aggregazione	<p> ANIMAZIONE</p> <p>I passaggi tra stati di aggregazione Si descrivono i tre stati di aggregazione della materia utilizzando l'acqua come esempio, e si trattano i passaggi di stato dal punto di vista energetico.</p>	1,5
8. Fusione e solidificazione	<p> FILM</p> <p>I cambiamenti di stato sulla ISS La sezione 2 del film <i>La materia e lo spazio</i> dell'ESA (www.esa.int) descrive i cambiamenti di stato a terra e sulla Stazione Spaziale Internazionale</p>	10
9. La vaporizzazione e la condensazione	<p> ESPERIMENTO VIRTUALE</p> <p>Acqua che cambia stato Gioca, misura, esercitati</p>	
10. Il vapore saturo e la sua pressione	<p> IN LABORATORIO</p> <p>Ebollizione dell'acqua nel vuoto Si può far bollire l'acqua a temperatura ambiente? Basta una pompa a vuoto!</p>	2
11. La condensazione e la temperatura critica	<p> ANIMAZIONE</p> <p>Il diagramma di fase Una spiegazione animata del diagramma di fase, dove si evidenziano le diverse aree del grafico seguendo lo sviluppo della transizione di fase.</p>	2



VERSO IL CLIL

🇬🇧 FORMULAE IN ENGLISH

🔊 AUDIO

Heat capacity (or thermal capacity)	$C = \frac{Q}{\Delta T}$	Thermal capacity equals the ratio of the heat absorbed to the change in temperature.
Heat capacity given specific heat capacity	$C = cm$	The heat capacity of a substance equals the specific heat capacity of the substance c multiplied by its mass m .
Heat variation during a thermal process	$Q = cm\Delta T$	The amount of heat transferred to a substance equals the product of its specific heat c , its mass m and its temperature change ΔT .
Equilibrium temperature	$T_e = \frac{c_1 m_1 T_1 + c_2 m_2 T_2}{c_1 m_1 + c_2 m_2}$	The equilibrium temperature equals the sum of the products of the thermal capacity and the temperature for each material all divided by the sum of the thermal capacities for all the materials.
Thermal conductivity	$\frac{Q}{\Delta t} = \lambda_c S \frac{\Delta T}{d}$	The ratio of the heat exchanged to the time interval equals the product of the thermal conductivity, the surface area, and the ratio of the temperature difference to the thickness.
Stefan-Boltzmann's law	$\frac{\Delta E}{\Delta t} = ezAT^4$	The energy irradiated by a black body radiator over time equals the product of the emissivity of the object e , Stefan's constant z , the radiating area A and the fourth power of the absolute temperature T .
Heat in a melting process	$Q = L_f m$	The heat required to melt a material equals the latent heat of fusion of the material multiplied by its mass.
Energy in a melting process	$\Delta \mathcal{E}_f = L_f m$	The energy needed to melt a material equals the latent heat of fusion of the material multiplied by its mass.
Energy in a solidification process	$\Delta \mathcal{E}_f = -L_f m$	The energy released in freezing equals minus the latent heat of fusion of the material multiplied by its mass.
Energy in a vaporization process	$\Delta \mathcal{E}_v = L_v \cdot m$	The energy needed to vaporise a material equals the latent heat of vaporisation of the material multiplied by its mass.
Energy in a condensation process	$\Delta \mathcal{E}_v = -L_v \cdot m$	The energy released in condensation equals minus the latent heat of vaporisation of the material multiplied by its mass.

🇬🇧 QUESTIONS AND ANSWERS

🔊 AUDIO

- Is the specific heat capacity of a substance an extensive property?

No. Heat capacity, the ratio of the amount of heat energy absorbed by a substance to its temperature change, is an extensive physical property that depends on the amount of substance in a system. Specific heat capacity, often simply called specific heat, is the amount of heat required to raise the temperature of 1 g of a particular substance by one kelvin and is an intensive property i.e. an intrinsic characteristic of that substance.

- Identify and briefly describe the three main mechanisms of heat transfer.

The three main mechanisms of heat transfer are conduction, convection and radiation. *Conduction* (also known as diffusion) is the direct transfer of kinetic energy between particles at the contact boundary of two bodies or systems. *Convection* is the transport of heat in the body of a gas or liquid under the action of an externally applied force, or by gravitational or buoyancy forces. *Radiation* is the transfer of energy through any transparent medium – a solid or fluid, but may also occur across a vacuum (as when the Sun heats the Earth) – by means of electromagnetic waves.

🇬🇧 QUESTIONS AND ANSWERS

🔊 AUDIO

- ▶ Give three examples of large-scale convection processes on Earth.

On Earth, convection is a heat transfer mechanism that occurs through the bulk motion of fluids mainly under the influence of Earth's gravity. Convection plays a key role in atmospheric circulation, oceanic circulation and mantle convection. *Atmospheric circulation* is the large-scale movement of air and the main mechanism through which thermal energy is distributed on the surface of the Earth. It is caused by latitudinal variations in incident solar radiation (a minimum at the poles and a maximum at the Equator) and longitudinal variations in the amount of heat imparted to air when over land or sea. *Oceanic circulation* is the bulk movement of warm water, heated by solar radiation, from the Equator towards the poles. *Mantle convection* is the slow movement of the Earth's mantle that carries heat from the interior of the Earth to the surface.

- ▶ Where does the energy for life on Earth come from?

Although hydrothermal vents on the Earth's ocean floors provide a source of energy for some life forms, the vast majority of the energy required to support life on Earth comes directly from the Sun. The energy from this shortwave solar radiation in the visible (VIS), near-ultraviolet (UV), and near-infrared (NIR) is referred to as insolation, which is defined as the energy received on a given surface area during a given time and is measured in joules per square millimetre. Insolation can be either direct or diffuse depending on whether it has been affected by atmospheric scattering.

- ▶ What is the main reason why steam is used in industrial heating systems rather than hot water?

To effect a change of state, from ice into water or from water into steam (water vapour), heat has to be supplied to overcome the molecular forces between the water molecules. Melting and boiling are therefore endothermic processes, and the reverse processes, condensing and freezing, are exothermic processes. The heat absorbed in boiling or released in condensation is called the latent heat of vapourisation, which is 2,257 kJ/kg for water. Steam heating systems deliver heat by the condensation of steam into liquid in a heat exchanger which releases 2,257 kJ per litre of water in comparison to 167.44 kJ for a litre of water that cools from 80 °C to 40 °C. Therefore, steam is preferred in industrial heating systems as a lot more water would have to be pumped around the system to achieve the equivalent heating effect as steam.

PROBLEMI MODELLO, DOMANDE E PROBLEMI IN PIÙ

1 LAVORO, CALORE E TEMPERATURA

PROBLEMA MODELLO 1 ENERGIA ASSORBITA DAL FRULLATORE

Un litro di brodo alla temperatura di 20 °C viene messo nel frullatore. Il brodo è assimilabile all'acqua e il frullatore fornisce al brodo una potenza di 200 W.

- ▶ Quanto lavoro è necessario per fare aumentare la temperatura del brodo a 21 °C?
- ▶ Per quanto tempo è necessario azionare il frullatore?

■ DATI

Temperatura iniziale $T_i = 20 \text{ °C}$

Temperatura finale $T_f = 21 \text{ °C}$

Potenza erogata $P = 200 \text{ W}$

■ INCOGNITE

Lavoro $W=?$

Intervallo di tempo $\Delta t=?$

L'IDEA

Per l'esperimento di Joule, l'energia assorbita responsabile della variazione di temperatura è uguale al lavoro compiuto dal frullatore. Dalla relazione fra potenza e lavoro, calcolo l'intervallo di tempo necessario.

LA SOLUZIONE

Calcolo il calore assorbito come $\Delta\mathcal{E} = m c \Delta T$.

Poiché considero il brodo come se fosse acqua, allora 1 L = 1 kg.

Dato che $\Delta\mathcal{E} = 1^\circ\text{C} = 1\text{ K}$, allora:

$$\Delta\mathcal{E} = c m \Delta T = 4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K}) \times 1 \text{ kg} \times 1 \text{ K} = 4 \times 10^3 \text{ J};$$

questa quantità corrisponde al lavoro W necessario per arrivare alla temperatura cercata.

Determino il tempo impiegato come $t = \frac{W}{P}$.

Posso ricavare il tempo dall'espressione $W = Pt$ ricordando che il lavoro W compiuto dal sistema è pari all'energia assorbita dal brodo; pertanto

$$t = \frac{W}{P} = \frac{\Delta\mathcal{E}}{P} = \frac{4 \times 10^3 \text{ J}}{200 \text{ W}} = 2 \times 10 \text{ s}.$$

PER NON SBAGLIARE

- L'unità di misura del calore specifico può essere espressa anche come $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$.

7 **★★★** Una bottiglia di latte da 1,0 L, alla temperatura di $5,0^\circ\text{C}$, viene messa nel forno a microonde finché la temperatura arriva a 40°C . Il riscaldamento del latte può essere considerato analogo a quello dell'acqua, mentre quello della bottiglia è trascurabile.

- ▶ Quanto lavoro meccanico bisognerebbe compiere con un mulinello per avere lo stesso aumento di temperatura?

[$1,5 \times 10^3 \text{ J}$]

8 **★★★** In un mulinello di Joule, i due pesi vengono fatti scendere 10 volte, per un tratto sempre uguale. Nel mulinello c'è 1,0 kg di acqua e la massa di ciascun peso è di 12 kg;

vogliamo fare aumentare la temperatura dell'acqua di $0,50^\circ\text{C}$.

- ▶ Quanto deve misurare il dislivello percorso dai due pesi?

[0,89 m]

9 **★★★** Una pentola che contiene 2,0 L d'acqua alla temperatura di 20°C viene posta su un fornello elettrico, di potenza 600 W. Tutta la quantità di calore fornita dal fornello è assorbita dall'acqua.

- ▶ Dopo quanto tempo l'acqua raggiunge la temperatura di 100°C ?

[19 min]

2 LA MISURAZIONE DEL CALORE

14 Un buon calorimetro ha pareti ben isolate con il vuoto o con il polistirolo espanso per evitare dispersioni termiche nell'ambiente esterno. Il suo calore specifico deve essere piccolo o grande?

17 **★★★** Un calorimetro contiene 300 g di acqua alla temperatura di $20,0^\circ\text{C}$ e ha una capacità termica di $70,0 \text{ J}/^\circ\text{C}$. Al suo interno viene introdotto un disco di piombo di massa pari a 30,0 g che è stato riscaldato e si trova alla temperatura di 100°C .

- ▶ Calcola la temperatura di equilibrio del sistema formato dall'acqua, dal calorimetro e dal pezzo di piombo.

Suggerimento: questa volta una parte del calore viene assorbita anche dal calorimetro.

[$20,2^\circ\text{C}$]

18 **★★★** Un thermos contiene 400 g di acqua alla temperatura di $30,0^\circ\text{C}$. Al suo interno vengono contemporaneamente inseriti due oggetti, entrambi alla temperatura di $95,0^\circ\text{C}$:

un cilindro di alluminio che ha massa di 50,0 g e un disco d'argento, di massa 80,0 g.

► Quanto vale la temperatura di equilibrio?

[32,4 °C]

19 Un oggetto di ottone ($c = 380 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$) di 400 g ha una temperatura di 180 °C. Viene introdotto in un calorimetro che contiene 2,0 L di acqua alla temperatura di 20 °C. La massa equivalente in acqua del calorimetro è di 0,030 kg.

► Calcola la temperatura di equilibrio.

[23 °C]

3 LE SORGENTI DI CALORE E IL POTERE CALORIFICO

PROBLEMA MODELLO 3 RISCALDARE LA PISCINA

Una piscina semi-olimpionica ha le seguenti dimensioni: lunghezza 25 m, larghezza 12 m e altezza media 1,5 m. La piscina è riempita per $2/3$ di acqua a 18 °C. Si vuole riscaldare l'acqua fino a 28 °C con una caldaia a metano.

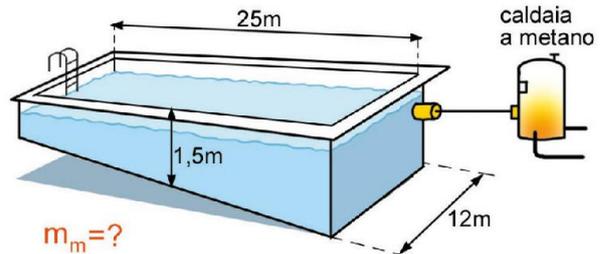
► Calcola la quantità di metano necessaria sapendo che l'efficienza della caldaia è del 66%.

■ DATI

Lunghezza piscina: $L = 50 \text{ m}$
 Larghezza piscina: $l = 12 \text{ m}$
 Altezza media: $h = 1,5 \text{ m}$
 Temperatura iniziale acqua: $T_1 = 18 \text{ °C}$
 Temperatura finale acqua: $T_2 = 28 \text{ °C}$
 Volume acqua: $V_A = 2/3 V_p$
 Efficienza caldaia: $\eta = 66\%$
 Potere calorifico metano: $P_{CM} = 0,50 \times 10^8 \text{ J/kg}$

■ INCOGNITE

Massa metano: $m_M = ?$



L'IDEA

Dalla relazione fra calore assorbito e variazione di temperatura ricavo la quantità di calore necessaria per riscaldare l'acqua della piscina.

Dalla definizione di potere calorifico $P_c = \frac{\Delta E}{m}$ ricavo la massa di metano da bruciare; devo tenere conto dell'efficienza della caldaia, cioè del fatto che solo una quantità pari a η del calore prodotto viene effettivamente sfruttato per riscaldare la piscina.

LA SOLUZIONE

Determino la massa di acqua che deve essere riscaldata dalla caldaia.

Il volume totale della piscina è: $V_p = Llh = (25 \text{ m}) \times (12 \text{ m}) \times (1,5 \text{ m}) = 4,5 \times 10^2 \text{ m}^3$.

Il volume dell'acqua contenuta nella piscina è: $V_A = \frac{2}{3} V_p = \frac{2}{3} \times (4,5 \times 10^2 \text{ m}^3) = 3,0 \times 10^2 \text{ m}^3$;

ne calcolo la massa:

$$m_A = V_A d_A = (3,0 \times 10^2 \text{ m}^3) \times (1000 \text{ kg/m}^3) = 3,0 \times 10^5 \text{ kg}.$$

Calcolo la quantità di calore necessaria per aumentare la temperatura come richiesto.

La quantità di calore necessaria per riscaldare la massa di acqua come richiesto è:

$$Q = c_A m_A (T_2 - T_1) = (4186 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})) \times (3,0 \times 10^5 \text{ kg}) \times (10 \text{ °C}) = 1,26 \times 10^{10} \text{ J}.$$

Calcolo il calore necessario alla luce dell'efficienza della caldaia.

Poiché la caldaia ha un'efficienza del 66%, il calore totale che deve essere prodotto dalla caldaia sarà maggiore di quello calcolato, cioè:

$$Q_{tot} = \frac{Q}{\eta} = \frac{1,26 \times 10^{10} \text{ J}}{0,66} = 1,9 \times 10^{10} \text{ J}.$$

Dalla formula del potere calorifico ricavo la massa m_M di metano da bruciare.

Dunque la massa di metano da bruciare ammonta a:

$$m_M = \frac{Q_{tot}}{P_{CM}} = \frac{1,9 \times 10^{10} \text{ J}}{0,50 \times 10^8 \text{ J/kg}} = 3,8 \times 10^2 \text{ kg}$$

4 CONDUZIONE E CONVEZIONE

- 31 Perché negli chalet di montagna le pareti sono spesso rivestite in legno?
- 32 Perché i doppi vetri d'inverno aiutano a mantenere caldo l'interno delle abitazioni?
- 33 Perché i Tuareg indossano indumenti di lana? E perché usano spesso tuniche di colore scuro invece che bianche?
- 35 *** Marina ha comprato 1 kg di gelato artigianale contenuto in una confezione di plastica rigida. La temperatura del banco freezer dei gelati è di -20°C . Lo spessore delle pareti del contenitore è di 4,0 mm, l'area del contenitore è di $4,5 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, il coefficiente di conducibilità termica della plastica è di $2,5 \times 10^{-2} \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$. Marina paga il gelato e si dirige a casa. La temperatura esterna è di 25°C e il calore totale necessario per fondere il gelato è di $4,3 \times 10^5 \text{ J}$.
 ▶ Quanto tempo impiega il gelato a sciogliersi completamente? Esprimi il risultato in ore. [9,4 h]

- 36 *** Una quantità di calore pari a 125 kJ si propaga attraverso una lastra d'argento ($\lambda = 430 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$) che ha una superficie di 50 cm^2 e uno spessore di 5,0 cm. Una faccia della lastra si trova alla temperatura di 23°C e l'altra faccia a una temperatura di 52°C .
 ▶ Calcola in quanto tempo si ha questo flusso di calore. [$1,0 \times 10^2 \text{ s}$]
- 37 *** Una lastra di rame spessa 4,0 cm ha una superficie di 2350 cm^2 . La differenza di temperatura tra le facce è di 23°C .
 ▶ Calcola la quantità di calore che di trasmette in 1,0 min.
 ▶ Calcola la potenza assorbita dalla lastra nel processo di conduzione. [$3,2 \times 10^6 \text{ J}$; 53 kW]

5 L'IRRAGGIAMENTO

- 41 Perché non ti scotti dietro una finestra di vetro esposta al Sole?
- 42 "Tutti i corpi emettono e assorbono contemporanea-

mente radiazioni elettromagnetiche, dunque se un corpo ha una temperatura costante e uguale alla temperatura dell'ambiente esterno non viene assorbita né irraggiata alcuna quantità di energia." Dov'è l'errore in questa frase?

PROBLEMA MODELLO 5 LA TEMPERATURA SUPERFICIALE DEL SOLE

L'energia emessa dal Sole arriva sulla Terra sotto forma di onde elettromagnetiche. La potenza che arriva, appena fuori dall'atmosfera, viene chiamata *costante solare* e vale 1367 W/m^2 .

- ▶ Considera il Sole un corpo nero e calcola con la legge di Stefan-Boltzmann la temperatura sulla superficie del Sole.

■ **DATI**

Distanza media Sole-Terra: $D = 1,496 \times 10^{11} \text{ m}$
 Emissività: $e = 1$ (Sole come corpo nero)
 Raggio medio del Sole: $R = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$
 Costante di Stefan Boltzmann:
 $z = 5,67 \times 10^{-8} \text{ J/(s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$
 Costante solare: $k = 1367 \text{ W/m}^2$

■ **INCOGNITE**

Temperatura superficiale del Sole: $T_s = ?$

L'IDEA

Dalla costante solare, ricavo la potenza emessa dal Sole, considerando una sfera con centro nel Sole e raggio uguale alla distanza media Sole-Terra (trascuro il raggio della Terra rispetto alla distanza Terra-Sole.)
 Dalla potenza complessiva emessa dal Sole, ricavo la temperatura superficiale tramite la legge di Stefan-Boltzmann.

LA SOLUZIONE

Calcolo la superficie della sfera con centro nel Sole e raggio uguale alla distanza media Terra-Sole.

La superficie della sfera con centro nel Sole vale:

$$A = 4 \pi D^2 = 4 \pi (1,496 \times 10^{11} \text{ m})^2 = 2,81 \times 10^{23} \text{ m}^2.$$

Calcolo la potenza emessa dal Sole e la sua superficie.

La potenza del Sole è:

$$P_S = Ak = (2,8 \times 10^{23} \text{ m}^2) \times \left(1367 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) = 3,8 \times 10^{26} \text{ W}.$$

Calcolo la superficie del Sole:

$$S = 4 \pi R^2 = 4 \pi (6,96 \times 10^8 \text{ m})^2 = 6,08 \times 10^{18} \text{ m}^2.$$

Dalla legge di Stefan-Boltzmann calcolo la temperatura superficiale del Sole.

Applicando la legge di Stefan-Boltzmann ricavo

$$T_S = \sqrt[4]{\frac{P_S}{e z S}} = \sqrt[4]{\frac{3,8 \times 10^{26} \text{ W}}{(5,67 \times 10^{-8} \text{ J}/(\text{s} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^4)) \times (6,08 \times 10^{18} \text{ m}^2)}} = 5,8 \times 10^3 \text{ K}.$$

PER NON SBAGLIARE

L'attività del Sole non è costante nel tempo, quindi la potenza emessa è un valore medio.

44 **★★★** Un phon emette una potenza di 800 W. Le resistenze interne sono approssimabili con un cilindro di diametro 0,6 cm e lunghezza 30 cm.

- ▶ Stima l'ordine di grandezza della temperatura delle sue resistenze quando il phon è acceso (considera $e = 0,30$).
- ▶ Di che colore diventano le resistenze?

[circa 1430 °C]

- ▶ Quanta energia è stata utilizzata per scaldare la lastra?
- ▶ Qual è il rapporto tra le energie emesse nell'unità di tempo dopo e prima del riscaldamento?

[18,3 kJ; 1,91]

45 **★★★** Una lastra di alluminio ha forma quadrata, di lato 35,0 cm; la sua massa è di 400 g. Si trova inizialmente a temperatura di 290 K e viene riscaldata fino a 341 K. Trascuriamo la dilatazione termica dell'alluminio.

46 **★★★** Un contenitore considerato come un corpo nero ha la forma di un cubo di lato 10 cm e si trova a temperatura ambiente (25 °C), insieme a una lampadina da 100 W.

- ▶ Quanto tempo impiega il contenitore a emettere la stessa quantità di energia emessa dalla lampadina in 1,0 h?

[1,3 × 10⁴ s]

6 L'EFFETTO SERRA

PROBLEMA MODELLO 6 ENERGIA PRODOTTA DA UN PANNELLO SOLARE

Una serie di pannelli solari sono installati sul tetto di un'abitazione in una località del centro Italia. La loro superficie complessiva è di 10 m². L'intensità della radiazione solare che raggiunge la superficie terrestre è in media di 1000 W/m² in estate e di 200 W/m² in inverno.

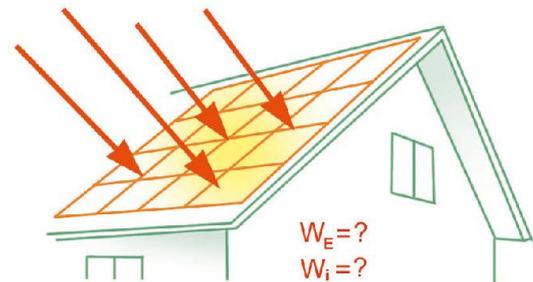
Considera un tempo medio giornaliero di insolazione estiva pari a 9,0 h, e un tempo medio giornaliero di insolazione invernale pari a 6,0 ore.

I pannelli hanno un'efficienza del 53%. Trascura l'inclinazione media della superficie dei pannelli rispetto ai raggi solari.

► Calcola l'energia giornaliera media fornita in estate e in inverno.

■ DATI

- Superficie: $S = 10 \text{ m}^2$
- costante solare media estiva: $k_e = 1000 \text{ W/m}^2$
- costante solare media invernale: $k_i = 200 \text{ W/m}^2$
- efficienza: $\eta = 53\%$
- tempo medio stimato di insolazione estiva: $t_E = 9,0 \text{ h}$
- tempo medio stimato di insolazione invernale: $t_I = 6,0 \text{ h}$



■ INCOGNITE

- Energia media giornaliera estiva: $W_E = ?$
- Energia media giornaliera invernale: $W_I = ?$

L'IDEA

La costante solare indica l'intensità della radiazione solare che arriva per metro quadrato e per secondo. L'efficienza indica quale percentuale di energia viene efficacemente convertita dai pannelli in energia elettrica.

LA SOLUZIONE

Devo applicare lo stesso procedimento alle due situazioni, estiva e invernale:

1. Calcolo la potenza radiante ricevuta dal Sole.
2. Ricavo l'energia radiante ricevuta durante i tempi medi di insolazione.
3. Calcolo l'energia giornaliera utile fornita dai pannelli.

Estate:

1. La potenza radiante del Sole ricevuta dalla superficie dei pannelli è: $P_{Re} = S k_e = 1000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 10 \text{ m}^2 = 10 \text{ kW}$.
2. In un intervallo medio di tempo pari a 9,0 h (tempo quotidiano di insolazione media estiva), questa potenza radiante corrisponde a un'energia di:

$$\Delta E_R = P_{Re} t_E = 10 \text{ kW} \times 9,0 \text{ h} = 10 \times 10^3 \text{ W} \times 32400 \text{ s} = 324 \text{ MJ}.$$

3. Valutando l'efficienza dei pannelli, otteniamo un'energia media quotidiana di:

$$\Delta E_E = \eta \Delta E_R = 0,53 \times (324 \times 10^6 \text{ J}) = 1,7 \times 10^8 \text{ J}.$$

Inverno:

1. La potenza radiante del Sole ricevuta dalla superficie dei pannelli è: $P_{Ri} = S k_i = 200 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \times 10 \text{ m}^2 = 2,0 \text{ kW}$.
2. In un intervallo medio di tempo pari a 6,0 h (tempo quotidiano di insolazione media invernale), questa potenza radiante corrisponde a un'energia di:

$$\Delta E_R = P_{Ri} t_I = 2,0 \text{ kW} \times 6,0 \text{ h} = 2,0 \text{ kW} \times 21600 \text{ s} = 43,2 \text{ MJ}.$$

3. Valutando l'efficienza dei pannelli, otteniamo un'energia media quotidiana di:

$$\Delta E_I = \eta \Delta E_{Ri} = 0,53 \times (43,2 \times 10^6 \text{ J}) = 23 \text{ MJ}.$$

54 ★★★ Il tetto di un palazzo, di superficie 240 m^2 , deve essere ricoperto di pannelli solari. Hai a disposizione dei pannelli che trasformano in energia utilizzabile il 60% dell'energia che incide su di essi. Sui pannelli arriva dal Sole una potenza radiante di 620 W/m^2 . Per collaudare i pannelli viene raccolta energia per 10 min.

- ▶ Quanta energia producono i pannelli?

[$5,4 \times 10^7 \text{ J}$]

8 LA FUSIONE E LA SOLIDIFICAZIONE

71 ★★★ Un congelatore contiene del ghiaccio a una temperatura di $-6,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

- ▶ Quanto ghiaccio si può fondere versandovi sopra 1,0 L di acqua a $100 \text{ }^\circ\text{C}$? Assumi che il calore specifico del ghiaccio non vari con la temperatura.

[1,2 kg]

72 ★★★ Per fondere completamente un blocco di piombo già alla temperatura di fusione occorrono $50 \times 10^3 \text{ J}$ di energia termica.

- ▶ Qual è la massa del piombo?

[2,2 kg]

73 ★★★ Forniamo 31500 J di energia a 300 g di un materiale che si trova alla sua temperatura di fusione, e questo fonde completamente.

- ▶ Di che materiale si tratta?
- ▶ Con la stessa quantità di calore vogliamo fondere dell'oro, il cui calore latente di fusione è $16,1 \text{ kcal/kg}$.

9 LA VAPORIZZAZIONE E LA CONDENSAZIONE

89 ★★★ Un volume di alcool pari a 300 ml si trova alla temperatura di ebollizione.

- ▶ Calcola la quantità di calore necessaria a vaporizzarla completamente. La densità dell'alcool etilico è 860 kg/m^3 .

[$2,2 \times 10^5 \text{ J}$]

90 ★★★ Un recipiente isolante contiene 350 g di mercurio a $22,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Un riscaldatore elettrico viene immerso nel mercurio. Il riscaldatore fornisce una potenza di 100 W .

55 ★★★ Vogliamo riscaldare un disco di rame, di massa $5,0 \text{ kg}$ facendo aumentare la sua temperatura di $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Il diametro del disco è di 40 cm .

- ▶ Quanto tempo deve essere esposto al Sole?
- ▶ Quanto tempo dovrebbe essere esposto, se venisse messo al di sopra delle nubi?

[$7,4 \times 10^2 \text{ s}; 3,4 \times 10^2 \text{ s}$]

La massa di oro fusa è maggiore o minore del materiale precedente?

[argento; 467 g]

74 ★★★ Sulla stessa sorgente vengono posti due crogiuoli contenenti $1,5 \text{ kg}$ di piombo e $1,5 \text{ kg}$ di stagno. Il 25% dell'energia proveniente dalla sorgente termica si disperde nell'ambiente.

- ▶ Calcola quanto calore bisogna fornire a ciascuna sostanza per fonderla completamente.

[$1,2 \times 10^5 \text{ J}; 4,6 \times 10^4 \text{ J}$]

75 ★★★ Ci sono 250 mL di tè inizialmente a $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Utilizzando dei cubetti di ghiaccio di lato $2,0 \text{ cm}$ alla temperatura di $-4,0 \text{ }^\circ\text{C}$, vuoi portare il tè alla temperatura di $8,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

- ▶ Quanti cubetti di ghiaccio ti servono? Considera il tè come se fosse acqua, e ricorda che la densità del ghiaccio è 910 kg/m^3 .

[circa 4 cubetti]

- ▶ Quanto tempo è necessario per far evaporare la metà del mercurio?

[11 min e 20 s]

91 ★★★ Del vapore acqueo a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ viene fatto condensare in un impianto di refrigerazione e successivamente raffreddato alla temperatura di $20,0 \text{ }^\circ\text{C}$. Il calore ceduto dal vapore nell'intero processo è $1,80 \times 10^8 \text{ J}$. L'intero processo dura $30,0 \text{ min}$.

- ▶ Quanti kilogrammi di vapore condensano?
- ▶ Quanta energia viene sottratta in un secondo?

[$69 \text{ kg}; -1,0 \text{ kJ}$]

10 IL VAPORE SATURO E LA SUA PRESSIONE

PROBLEMA MODELLO 9 UNA STIMA PER INTERPOLAZIONE LINEARE

Per sterilizzare si impiegano sia metodi chimici che fisici. Tra questi ultimi si utilizza anche il riscaldamento a temperature elevate dell'oggetto da sterilizzare con modalità prestabilite. Immagina di eseguire una sterilizzazione "casalinga", immergendo l'oggetto da sterilizzare nell'acqua contenuta in una pentola a pressione e portata a ebollizione. La temperatura di ebollizione dell'acqua nella pentola è 110 °C. Fai riferimento ai dati della tabella sulla pressione di vapore saturo dell'acqua e al grafico della FIGURA 16 relativo alla pressione di vapore saturo in funzione della temperatura.

- Stima la pressione del vapore saturo dentro la pentola approssimando il tratto utile del grafico con una linea retta.

■ **DATI**

Temperatura di ebollizione: $T_e = 110\text{ °C}$

■ **INCOGNITE**

$p_{vs} = ?$

L'IDEA

- Completo il grafico della FIGURA 16 riportando tutte le coppie di valori della tabella relativa all'acqua.
- Ottengo quindi una rappresentazione per punti della dipendenza tra le due grandezze (pressione e temperatura).
- Ricavo una stima della pressione di vapore saturo per valori non disponibili, assumendo un andamento lineare fra due punti: questo procedimento è chiamato **interpolazione lineare**.

LA SOLUZIONE

Rappresento i dati come coordinate di punti nel piano cartesiano pressione-temperatura.

Il grafico pressione-temperatura è questo:

Trovo l'equazione della retta di interpolazione tra due punti del grafico.

La temperatura di ebollizione nella pentola $T_e = 110\text{ °C}$ è compresa tra quella dei punti A e B. Il coefficiente angolare della retta che contiene il segmento AB è:

$$m = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \frac{p_B - p_A}{T_B - T_A} = \frac{374,7\text{ kPa}}{50\text{ °C}}$$

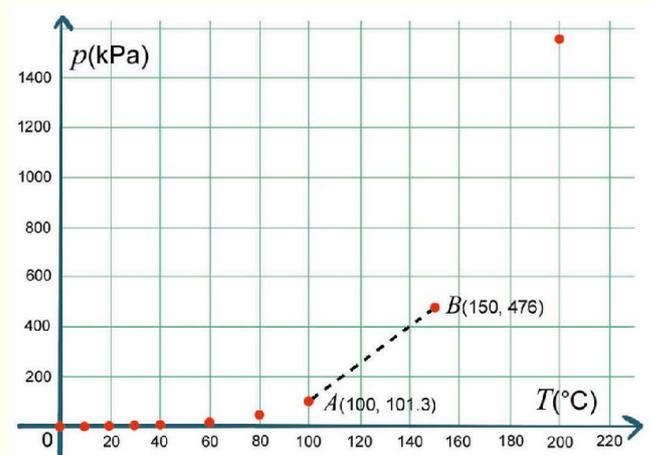
e l'equazione della retta sarà:

$$p = m(T - T_A) + p_A = \frac{374,7\text{ kPa}}{50\text{ °C}} \times (T - 100\text{ °C}) + 101,3\text{ kPa}.$$

Trovo le coordinate del punto cercato: l'ordinata è la pressione di vapore saturo da determinare.

Nell'equazione della retta trovata, sostituisco al posto di T la temperatura di ebollizione dell'acqua nella pentola a pressione e ottengo una stima del valore della pressione di vapore saturo nella pentola:

$$p = m(T_e - T_A) + p_A = \frac{374,7\text{ kPa}}{50\text{ °C}} \times (110\text{ °C} - 100\text{ °C}) + 101,3\text{ kPa} = 1,8 \times 10^2\text{ kPa}.$$



PER NON SBAGLIARE

- Quando si fa una stima di una grandezza mediante interpolazione lineare, bisogna considerare i valori più vicini a quello desiderato. Le temperature più vicine alla temperatura di ebollizione T_e per noi sono 100 °C e 150 °C: se avessimo usato un'altra coppia di valori (e quindi altri punti del grafico) avremmo ottenuto una stima meno precisa.

11 LA CONDENSAZIONE E LA TEMPERATURA CRITICA

PROBLEMA MODELLO 10 IL DIAGRAMMA DI FASE DELL'ACQUA

Nella figura è rappresentato il diagramma di fase pressione-temperatura dell'acqua, in cui sono evidenziate tre regioni, corrispondenti ai tre stati di aggregazione (solido, liquido e aeriforme). La separazione tra lo stato solido e lo stato liquido è indicata da una linea che può essere approssimata a una retta.

In un contenitore la fusione del ghiaccio avviene quando la temperatura è $0,0040\text{ }^{\circ}\text{C}$.

► Qual è la pressione nel contenitore?

■ DATI

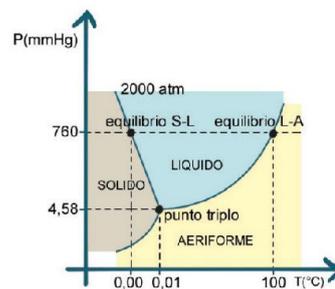
Temperatura di fusione alla pressione di $p_1 = 4,58\text{ mmHg}$: $T_1 = 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura di fusione a pressione atmosferica: $T_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura nel contenitore: $T_3 = 0,0040\text{ }^{\circ}\text{C}$

■ INCOGNITE

Pressione: $p_3 = ?$



L'IDEA

- Individuo sul grafico i due punti rappresentati che appartengono alla retta cercata. Dalle coordinate di due punti è possibile ricavare l'equazione della retta che li contiene.
- L'equazione della retta fornisce la relazione tra la pressione e la temperatura di fusione dell'acqua.

LA SOLUZIONE

Scrivo l'equazione della retta per due punti.

Considero le coordinate (T_1, p_1) e (T_2, p_2) di due punti nel diagramma pressione-temperatura, dove $p_1 = 4,58\text{ mmHg}$, $p_2 = 760\text{ mmHg}$, $T_1 = 0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, $T_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Lungo la linea di separazione tra la fase solida e la fase liquida, la relazione tra pressione e temperatura è data dalla retta:

$$p = \frac{p_1 - p_2}{T_1 - T_2}(T - T_2) + p_2.$$

Uso l'equazione della retta per calcolare la pressione richiesta.

Dall'equazione trovata ricavo che il punto che ha ascissa $T_3 = 0,0040\text{ }^{\circ}\text{C}$ ha ordinata

$$p_3 = \frac{4,58\text{ mmHg} - 760\text{ mmHg}}{0,01\text{ }^{\circ}\text{C} - 0\text{ }^{\circ}\text{C}} \times (0,0040\text{ }^{\circ}\text{C}) + 760\text{ mmHg} = 5 \times 10^2\text{ mmHg}.$$

101 **★★★** Considera il diagramma di fase pressione-temperatura dell'acqua e approssima a una retta la linea di separazione tra lo stato solido e lo stato liquido come nella figura dell'esercizio 45.

- In un contenitore la pressione è il 75% della pressione atmosferica. Qual è la temperatura di fusione del ghiaccio?

Suggerimento: scrivi l'equazione della retta di separazione fra lo stato solido e quello liquido.

[0,0025 °C]

102 **★★★** In un recipiente vuoto di volume pari a $1,0\text{ m}^3$, in grado di sopportare una pressione pari a tre volte quella atmosferica, vengono immessi $1,5\text{ L}$ di acqua con l'intento di scaldarli, fino a ottenere «gas d'acqua». Assumi che si comporti come un gas perfetto.

- È possibile realizzare questo cambiamento di stato in tali condizioni?

Suggerimento: ricorda che la massa di una mole d'acqua è 18 g .

[No]

12 IL VAPORE D'ACQUA NELL'ATMOSFERA

PROBLEMA MODELLO 11 VAPORE SATURO IN UNA SAUNA

In una sauna, di volume 120 m^3 , la temperatura è a $90 \text{ }^\circ\text{C}$ e l'umidità relativa è del 35%. Usa i valori delle pressioni del vapore saturo in funzione della temperatura della tabella presente nel paragrafo 4 della teoria.

- Stima la pressione di vapore saturo all'interno della sauna e la pressione del vapore acqueo.
- Fornisci una stima del numero di moli di acqua presenti nell'aria.

■ DATI

Volume: $V = 120 \text{ m}^3$
 Temperatura: $T = 90 \text{ }^\circ\text{C} = 363 \text{ K}$
 Umidità relativa: $H_r = 0,35$

■ INCOGNITE

Pressione di vapore saturo: $p_{vs} = ?$
 Pressione del vapore acqueo: $p_{acqua} = ?$
 Numero di moli: $n = ?$

L'IDEA

- Ricavo una stima della pressione di vapore saturo dai dati, attraverso una interpolazione lineare.
- A partire dal valore della pressione di vapore saturo stimato, insieme al dato dell'umidità relativa, ricavo la pressione del vapore acqueo
- Opero una stima, in prima approssimazione, considerando il vapore acqueo nell'aria come un gas perfetto. Così, posso applicare l'equazione dei gas perfetti $pV = nRT$.

LA SOLUZIONE

Tramite l'interpolazione lineare dei dati ricavo una stima della pressione di vapore saturo nella sauna.

Dal grafico dei dati della pressione del vapore saturo in funzione della temperatura ho che: noto che la temperatura della sauna è l'ascissa del punto medio del segmento di estremi A e B (tratteggiato nella figura). La stima della pressione di vapore saturo è quindi la media delle pressioni di vapore saturo a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ e a $100 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$p_{vs} = \frac{101,3 \text{ kPa} + 47,4 \text{ kPa}}{2} = 74,4 \text{ kPa}.$$

Calcolo la pressione del vapore acqueo.

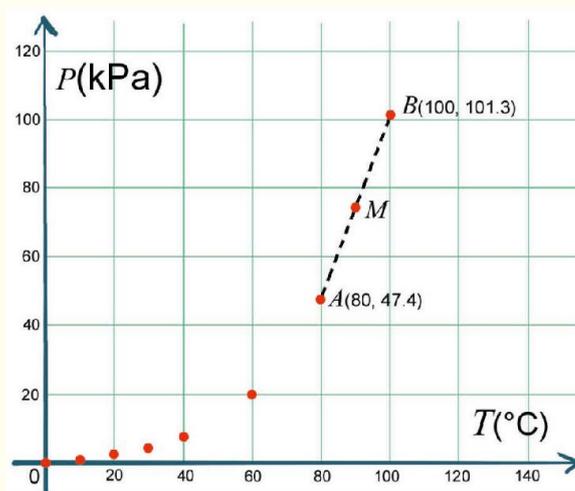
Con l'umidità relativa e la pressione di vapore saturo ricavo che la pressione del vapore acqueo è:

$$p_{acqua} = H_r p_{vs} = 74,4 \text{ kPa} \times 0,35 = 26 \text{ kPa}.$$

Fornisco una stima del numero di moli di vapore acqueo in aria.

In prima approssimazione, dalla legge di stato dei gas perfetti $pV = nRT$ ricavo il numero di moli di vapore acqueo:

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{26 \times 10^3 \text{ Pa} \times 120 \text{ m}^3}{8,315 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K}) \times 363 \text{ K}} \approx 10^3 \text{ mol}.$$



PROBLEMI GENERALI

12 ★★★ Occorre determinare il calore specifico di un blocco di 100 g di una certa sostanza. Il blocco viene posto in un calorimetro di rame di 25 g, che contiene 60 g di acqua. Il sistema raggiunge la temperatura di equilibrio $T_1 = 20\text{ °C}$. Si aggiungono poi 120 ml di acqua alla temperatura $T_2 = 80\text{ °C}$. Quando viene raggiunto il nuovo equilibrio termodinamico, la temperatura del sistema è $T_f = 54\text{ °C}$. Assumendo che il calorimetro non consenta scambi di calore con l'esterno, determinare (si ricorda che il calore specifico del rame è $385\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$):

- ▶ il calore assorbito dal rame Q_R ;
- ▶ il calore assorbito dalla sostanza incognita Q_s ;
- ▶ il calore specifico della sostanza incognita.

(Esame di Fisica, Corso di laurea in Farmacia, Università La Sapienza di Roma, 2008/2009)

[327 J; 8539 J; 1234 J]/(kg · K)]

13 ★★★ **TECNOLOGIA** Un motore a scoppio, di cilindrata 1350 cm^3 , è a quattro cilindri; in ogni cilindro viene iniettata una miscela di aria e benzina, che lo riempie completamente, composta per il 90,0% da aria e per il 10,0% da benzina.

Il potere calorifico della benzina è di $44,0 \times 10^6\text{ J/kg}$. Trascuriamo gli attriti tra il cilindro e il pistone, supponiamo che tutta la benzina iniettata bruci e approssimiamo la densità della benzina con il valore di 700 kg/m^3 .

- ▶ Quanto lavoro compie ciascun pistone a ogni scoppio?

[$1,04 \times 10^6\text{ J}$]

14 ★★★ Una sbarra di ghisa, con coefficiente di conducibilità termica pari a $60\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, è lunga 1,5 m, larga 10 cm e alta 12 cm. Una delle due estremità viene riscaldata fino alla temperatura di 120 °C , mentre l'altra, immersa nel ghiaccio, è a 0 °C .

- ▶ Calcola il calore che si propaga nella sbarra durante 3,0 min.
- ▶ Calcola la rapidità con cui il calore si trasferisce alla sbarra.

[$1,0 \times 10^4\text{ J}$; 58 J/s]

15 ★★★ Cinque bulloni di metallo, ognuno di massa 90 g, sono alla temperatura iniziale di 85 °C . Immergiamo i bulloni in un calorimetro che contiene 300 g di acqua alla temperatura di 15 °C . Dopo un po' di tempo l'acqua raggiunge la temperatura di equilibrio pari a 25 °C .

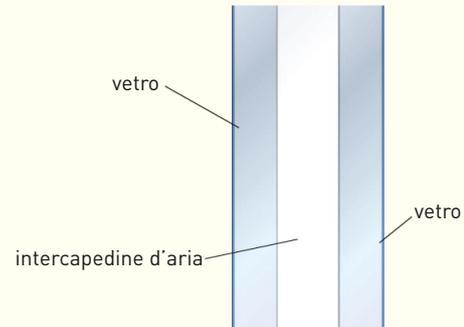
- ▶ Quanto vale il calore specifico del metallo?

[$4,7 \times 10^2\text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]

16 ★★★ **TECNOLOGIA** Il vetro di una finestra è alto 130 cm, largo 60 cm e spesso 1,2 cm.

Tra l'ambiente esterno e l'interno della casa, durante

l'anno, c'è una differenza media di temperatura di $8,1\text{ °C}$. In seguito, il vetro viene sostituito con una doppia lastra a camera stagna, contenente un'intercapedine d'aria, costruita come nella figura.



Ciascuna lastra di vetro ora è spessa 0,80 cm e l'intercapedine è spessa 1,2 cm.

- ▶ Quanta energia passava attraverso il primo vetro in un'ora?
- ▶ Quanta ne passa attraverso il doppio vetro a camera?
- ▶ Qual è il risparmio energetico percentuale?

[$1,8 \times 10^6\text{ J}$; $3,6 \times 10^4\text{ J}$; 98 %]

17 ★★★ Un cilindro di vetro sottile contiene aria. Il cilindro ha diametro di 40,0 cm ed è chiuso da un pistone che ha massa di 25,0 g, libero di muoversi e a tenuta stagna. Alla temperatura di 23 °C , il bordo inferiore del pistone si trova a un'altezza h di 32,0 cm rispetto alla base del cilindro. Il cilindro viene esposto al Sole finché il bordo inferiore del pistone arriva a 34,5 cm rispetto alla base. Trascuriamo il calore assorbito dal vetro e consideriamo l'aria come un gas perfetto, di densità $1,23\text{ kg/m}^3$ alla temperatura iniziale.

- ▶ Quanta energia ha assorbito l'aria dal Sole?
- ▶ Ipotizziamo che i raggi del Sole incidano solo sulla superficie circolare del pistone (e non sulla superficie laterale del cilindro) fatta di vetro trasparente e che assorbe calore in modo trascurabile. Quanto tempo dovremmo esporre al Sole il cilindro per avere l'innalzamento del pistone?

[$1,14 \times 10^3\text{ J}$; 15 s]

18 ★★★ Una sfera di alluminio, del diametro di 15,00 cm e di massa 12,30 kg, alla temperatura di $180,0\text{ °C}$, viene posta su un anello di rame, del diametro di 14,98 cm e di massa 13,50 kg, alla temperatura di $10,00\text{ °C}$. Trascuriamo gli scambi di calore con l'ambiente.



- ▶ Quando si raggiunge l'equilibrio termico, la sfera passa attraverso l'anello?
- ▶ Lasciamo invariate le temperature della sfera e dell'anello ma invertiamo i materiali: cosa ci fa escludere a priori la possibilità che una sfera uguale, ma di rame, passi attraverso un uguale anello di alluminio?

Suggerimento: Nello svolgimento dei calcoli, considera il numero di cifre significative dei dati geometrici e non quello dei coefficienti di dilatazione termica.

[Si]

- 19** **OLIMPIADI DELLA FISICA** Un uovo, preso direttamente dal frigorifero ad una temperatura $T_0 = 4\text{ }^\circ\text{C}$, è gettato in un pentolino contenente acqua mantenuta costantemente alla temperatura T_1 .

Ecco i dati che ti servono:

- ▶ Qual è la quantità di energia U necessaria per coagulare completamente l'uovo?
- ▶ Qual è il flusso di calore J che penetra nell'uovo?
- ▶ Qual è la potenza termica P trasferita all'uovo?
- ▶ Per quanto tempo occorre cuocere l'uovo in modo da renderlo sodo?

Suggerimento: Puoi usare la forma semplificata della legge di Fourier, $J = \kappa \Delta T / \Delta r$, dove ΔT è la differenza di temperatura associata a Δr , che a sua volta rappresenta una lunghezza di scala tipica del problema. Il flusso termico Δr è espresso in unità di W m^{-2} .

[Olimpiadi della Fisica, 2006]

TEST

- 19** Rispetto a una comune pentola chiusa, una pentola a pressione permette di cuocere i cibi in minor tempo principalmente perché:
- A** la temperatura di ebollizione dell'acqua è superiore a quella che si avrebbe in una comune pentola.
 - B** l'elevata pressione fa sì che il vapor acqueo penetri più in profondità nei cibi.
 - C** il coperchio sigillato evita la dispersione di calore.
 - D** l'elevato spessore del fondo della pentola consente una migliore distribuzione del calore.
 - E** la mancata dispersione dell'acqua permette di cuocere i cibi senza bruciarli.

Prova Unica di Ammissione ai Corsi di Laurea Magistrale in Medicina e Chirurgia e in Odontoiatria e Protesi Dentaria Anno Accademico 2012/2013

- 20** Aumentando la pressione esterna esercitata sulla superficie libera di un liquido, la temperatura di ebollizione:
- A** diminuisce.
 - B** aumenta.
 - C** dipende dal liquido.
 - D** raddoppia quando la pressione si dimezza.
 - E** resta costante.

Test ammissione Professioni Sanitarie 2012/2013

- 21** Below are four statements about thermal (heat) energy.
1. A substance can lose heat energy without its temperature falling.
 2. Heat energy can pass through a vacuum.
 3. Steam at $100\text{ }^\circ\text{C}$ has more heat energy than the same mass of boiling water at $100\text{ }^\circ\text{C}$.
 4. When a container of water is cooled near the top, a convection current is set up in the water.

Which statements are true?

- A** 1, 2 and 3
- B** 1, 3 and 4
- C** 2, 3 and 4
- D** 1, 2 and 4
- E** All of the statements.

BioMedical Admission Test (BMAT), UK, 2008/2009

- 22** Uno di questi fenomeni non è un cambiamento di stato:
- A** solidificazione.
 - B** conduzione.
 - C** brinamento.
 - D** sublimazione.