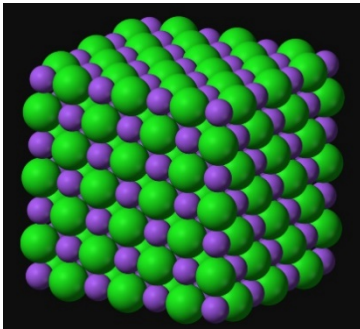


## Mesurant la calor



Et donen un material. Només pots fer una mesura per tal d'extreure'n la màxima informació possible: Quina propietat mesuraries?

Aquesta pregunta li van fer a Albert Einstein, i no ho va dubtar ni un segon: La calor específica! De fet, no és d'estranyar: el gran Einstein va ser el primer a aplicar la teoria quàntica, acabada de sortir del forn, per explicar com es comporten els materials en escalfar-los<sup>1</sup>.

## Una mica de teoria

Després d'un dia al laboratori, un investigador es fa uns espaguetis. Omple l'olla amb 500g d'aigua (massa,  $m$ ) i encén el foc fins que la temperatura augmenta de 25º a 100ºC (increment de temperatura,  $\Delta T = 75^\circ C$ ). De fet, el científic hauria trigat menys temps a escalfar la mateixa quantitat d'oli per fer-se unes patates fregides: l'oli té una calor específica ( $C_e$ ) més baixa!

La calor ( $Q$ ) que es necessita per escalfar l'aigua o l'oli és, per tant, més gran com més gran és la massa d'allò que escalfa i com més gran és l'increment de temperatura... i depèn també del material que escalfem: L'aigua té una calor específica gran, i triga molt a escalfar-se. El contrari succeeix amb l'oli, té una calor específica més petita i s'escalfa i es refreda molt ràpidament... i encara amb més rapidesa ho fan els metalls!

Podem resumir ara tot el que hem dit amb la següent expressió:

$$Q = C_e \cdot m \cdot (T_{fin} - T_{ini})$$

On podem observar que la calor bescanviada pel sistema,  $Q$  [cal] depèn de la massa de l'objecte  $m$  [g], de la seva calor específica  $C_e$   $\left[\frac{cal}{g^\circ C}\right]$  i de la diferència entre la temperatura inicial i final.

Fixeu-vos també en el fet que si un objecte guanya calor, la seva temperatura augmenta i per tant la calor  $Q$  és positiva. Si en perd, la seva temperatura disminueix i la calor és, per tant, negativa.

<sup>1</sup> La calor específica està relacionada amb els moviments d'àtoms i molècules a nivell microscòpic. Albert Einstein va descriure aquests moviments imaginant un sòlid com un conjunt de boles unides per molles... unes molles quàntiques.

## El nostre experiment

L'objectiu del nostre experiment és respondre a la pregunta que li van fer a Albert Einstein:

*Quina és la calor específica d'uns cargols de metall?*

Per fer això escalfarem els cargols i els ficarem en un pot amb aigua freda: Si la calor específica dels cargols és molt gran escalfaran molt l'aigua, doncs podran cedir una gran quantitat de calor. Però si la seva calor específica és petita, escalfaran molt poquet l'aigua. És important, a més, que el pot (que anomenarem "calorímetre") estigui molt ben aïllat: volem que tota la calor dels cargols passi a l'aigua i no es perdi!<sup>2</sup> La pregunta ara és: podem escriure tot això en una equació?



La calor que perden els cargols calents  $Q_{cargols}$  la guanya l'aigua  $Q_{aigua}$ , per tant la suma d'aquestes dues calors ha de ser zero: tota la calor dels cargols passa a l'aigua. Escrivim de moment aquesta simple afirmació:

$$Q_{cargols} + Q_{aigua} = 0$$

Recordem que  $Q_{cargols}$  és negativa perquè es refreden, i  $Q_{aigua}$  és positiva perquè la temperatura de l'aigua augmenta. També sabem que al final, **les temperatures dels cargols i l'aigua seran iguals, i l'anomenarem  $T_{fin}$** . Escrivim l'expressió anterior amb totes aquestes dades:

$$C_{e,cargols} \cdot m_{cargols} \cdot (T_{fin} - T_{ini,cargols}) + C_{e,aigua} \cdot m_{aigua} \cdot (T_{fin} - T_{ini,aigua}) = 0$$

<sup>2</sup> Tot i ser una bona aproximació, *això no és del tot cert*. Una part de la calor anirà a parar també al calorímetre que s'escalfarà amb l'aigua. Suposarem, però, que aquesta calor és negligible... si voleu saber més aneu al final del document on sí que tenim en compte aquest efecte!

Ara ens toca treballar una mica i aïllar la calor específica dels cargols:

$$C_{e,cargols} = \frac{C_{e,aigua} \cdot m_{aigua} \cdot (T_{fin} - T_{ini,aigua})}{m_{cargols} \cdot (T_{fin} - T_{ini,cargols})}$$

Les temperatures inicials i finals de l'aigua dintre el pot ( $T_{ini,aigua}$  i  $T_{fin}$ ) les mesurem amb un termòmetre ficat a dintre el calorímetre. La temperatura inicial dels cargols la podem llegir en el termòmetre digital enganxat al termos. Les masses les hem mesurat amb una balança. Per últim sabem que la calor específica de l'aigua és  $C_{e,aigua} = 1 \frac{cal}{g^{\circ}C}$  ... per tan ja ho sabem tot per poder respondre a la nostra pregunta Einsteniana!

## Mesurem!

Abans de començar comprovem que tenim tot el que ens fa falta per fer



l'experiment. Si manca algun element demaneu-ho al monitor

- Cargols lligats a una corda dels que mesurarem la calor específica. La corda serveix per introduir-los al termos a 75°C aproximadament.
- Calorímetre: Ha de tenir un termòmetre "punxat" al seu interior.
- Balança: per tal de pesar els cargols i l'aigua que posem al calorímetre.
- Vas de precipitats: per poder pesar la massa d'aigua.

Ara cal fer uns petits preparatius abans de començar amb l'experiment:

- Mesurem la massa d'aigua: per fer això peseu el vas de precipitat buit. Ompliu-lo amb uns 100 ml d'aigua destil·lada. Torneu a pesar el vas amb l'aigua. La massa de l'aigua serà aquesta mesura de la massa menys la del vas buit ( $m_{aigua}$ ). Apuntem aquesta massa a la taula de la pàgina següent.
- Introduïm l'aigua al calorímetre. Tapem el calorímetre i introduïm el termòmetre.
- Mesurem la massa dels cargols. ( $m_{cargols}$ ) Apuntem aquesta massa a la taula de la pàgina següent.

**Comencem l'experiment!** Tal com hem explicat, ara escalfarem els cargols introduint-los en l'aigua calenta del termos. Després els ficarem dintre el calorímetre i mesurarem quan s'ha escalfat l'aigua:

- Mesurem la temperatura de l'aigua a dins el calorímetre  $T_{ini,aigua}$  i l'apuntem a la taula al final de la pàgina.
- Agafem els cargols per l'extrem de la corda i els introduïm al termos. Esperem dos minuts. La temperatura de l'aigua del termos la podeu veure en el termòmetre digital. Després d'un parell de minuts, la temperatura dels cargols serà la mateixa que la de l'aigua del termos:  $T_{ini,cargols}$ . Apuntem aquesta temperatura a la taula.
- Ara cal anar *ràpid, però amb compte*. El millor és que una persona s'encarregui dels cargols i una altra del calorímetre.
  - Traiem els cargols del termos estirant de la corda.
  - Obrim el calorímetre. Per fer això traiem primer el termòmetre!
  - Introduïm el més ràpid possible els cargols al calorímetre.
  - Tapem el calorímetre, i introduïm el termòmetre de nou.
- Per tal que la temperatura de l'aigua sigui la mateixa en tot el recipient, teniu un estri per "remenar" l'aigua dintre el calorímetre. Moveu-lo **suau**ment cap a dalt i cap a baix<sup>3</sup>.
- Després d'un parell de minuts veureu que la temperatura va pujant fins a ser estable. Aquesta **temperatura màxima** serà la dels cargols i l'aigua després de bescanviar la calor entre ells:  $T_{fin}$ . Apunteu aquesta temperatura a la taula.
- *No espereu gaire més* perquè la temperatura de l'aigua tornarà a baixar eventualment.
- Si teniu temps podeu repetir l'experiment un segon cop per tal de tenir més d'una dada.

$m_{aigua} (g)$	$m_{cargols} (g)$	$T_{ini,aigua} (^{\circ}C)$	$T_{ini,cargols} (^{\circ}C)$	$T_{fin} (^{\circ}C)$

<sup>3</sup> Si el vostre professor o professora ho creu convenient podeu apuntar la temperatura cada 10 segons per veure amb quina velocitat s'escalfa l'aigua.

# Analitzem!

Amb les dades que hem obtingut podem calcular fàcilment la calor específica del metall utilitzant l'expressió que hem obtingut anteriorment:

$$C_{e,cargols} = \frac{C_{e,aigua} \cdot m_{aigua} \cdot (T_{fin} - T_{ini,aigua})}{m_{cargols} \cdot (T_{fin} - T_{ini,cargols})} = \boxed{\frac{cal}{g \cdot ^\circ C}}$$

Podeu comparar ara el resultat amb aquesta taula per tal d'esbrinar de quin material poden estar fets els cargols.

Material	Calor específica $\frac{cal}{g \cdot ^\circ C}$
Aigua	1
Alumini	0,21
Ferro	0,11
Plom	0,03

# Vull saber més!

... i la calor que s'emporta el calorímetre?:

*Si tenim en compte que el calorímetre també s'escalfa i que, per tant, s'emporta una part de la calor dels cargols, la calor específica que obtindrem*

*Serà més gran o més petita que la que hem calculat abans?*

Anem ara a fer quatre nombres. Per sort nosaltres hem mesurat la massa del vas de metall a l'interior del calorímetre ( $m_{vas} = 20g$ ) i a més sabem que és d'alumini. Tenint en compte aquestes dues dades, i que el vas té en tot moment la temperatura de l'aigua: calcula la calor específica dels cargols tenint en compte ara que el calorímetre s'emporta una part de la calor.

... com de fiable és la mesura?

*Cap mesura té sentit sense saber la incertesa que té associada... i en el cas del nostre experiment això és molt important. Si mesurem la nostra alçada, no és el mateix cometre un error d'un centímetre, que un error d'un metre!...i en el nostre cas? Quin error podem associar a la nostra mesura de la calor específica del metall?*

Per tal de tenir *una idea* de la incertesa en la mesura, un mètode és "equivocar-se" a propòsit... mentalment. És a dir, suposem que la massa d'aigua que hem mesurat és  $m_{aigua} = 124,5g$ . Pot ser ens hem equivocat en pesar, pot ser degut a l fet que el plat s'ha embrutat o perquè ens ha caigut una gota d'aigua abans de mesurar... per tant seria raonable pensar que la mesura pot estar entre els valors  $m_{aigua}^{min} = 124g$  i  $m_{aigua}^{max} = 125g$ .

Si fem ara el mateix amb totes les mesures (agafant el màxim i el mínim raonable) podem veure com varia el valor de la calor específica i tindrem una idea de quina és la incertesa en la mesura. En la taula us proposem calcular els casos més desfavorables... és a dir quan en el numerador i en el denominador teniu la mesura màxima i mínima i viceversa<sup>4</sup>.

$m_{aigua}^{max} (g)$	$m_{cargols}^{min} (g)$	$T_{ini,aigua}^{max} (°C)$	$T_{ini,cargols}^{min} (°C)$	$T_{fin}^{max} (°C)$	$C_{e,cargols}$
$m_{aigua}^{min} (g)$	$m_{cargols}^{max} (g)$	$T_{ini,aigua}^{min} (°C)$	$T_{ini,cargols}^{max} (°C)$	$T_{fin}^{min} (°C)$	$C_{e,cargols}$

<sup>4</sup> Estem fent un càlcul d'errors d'una forma *molt qualitativa*. Ho sabem. Per fer-ho bé el primer que caldria fer és repetir l'experiment molts cops i calcular la mitjana i la desviació tipus... i un cop amb això caldria fer una propagació d'errors que involucra derivades parcials... però pot ser ara no cal 😊.