

# La capacità termica dei solidi

---

*Luca Gammaitoni - SSIS 2004*

*Quando si lavora alla soluzione di un problema, fa sempre comodo sapere la risposta.*

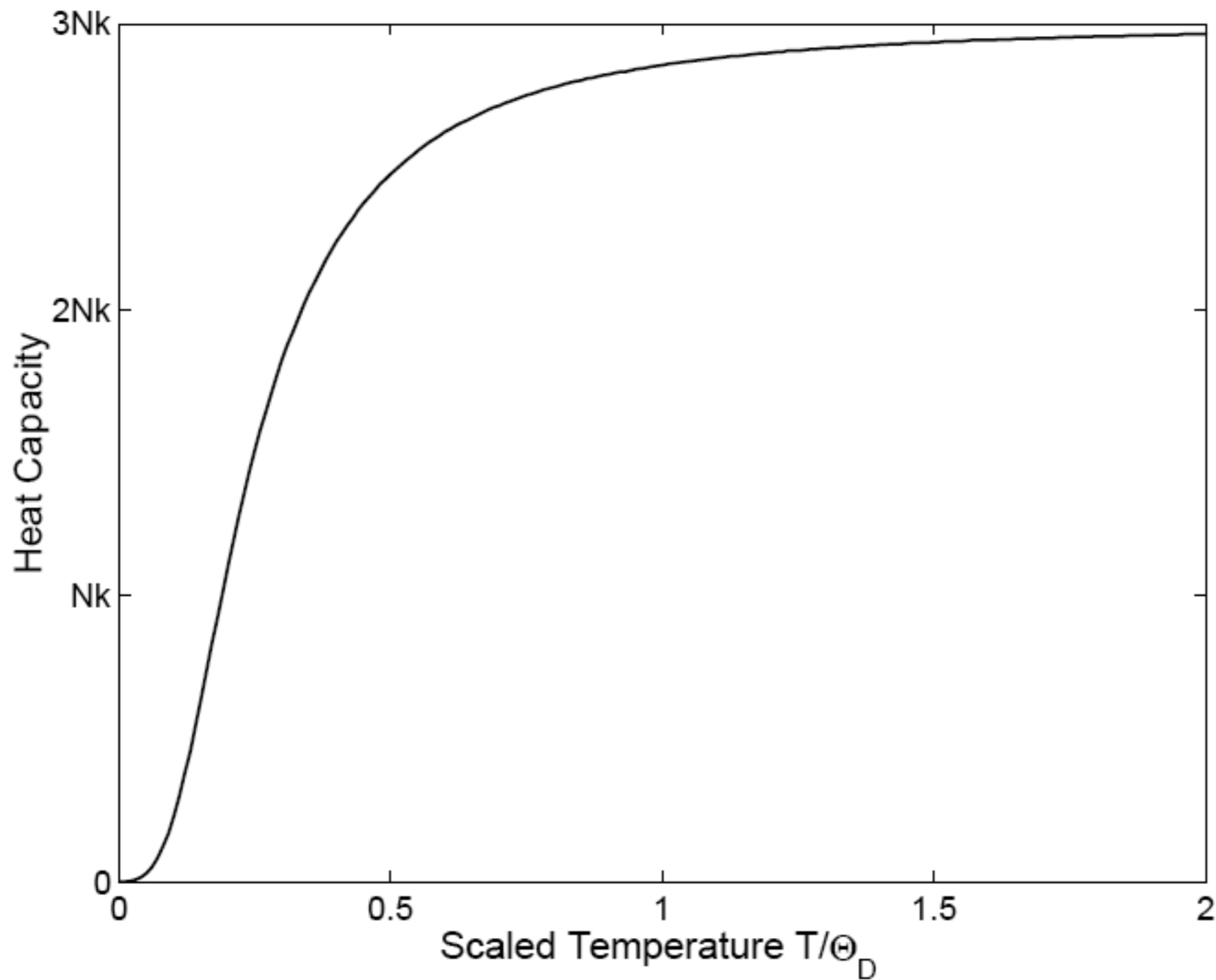
*Anonimo*

# I termini del problema

- *Dato un solido, la sua capacità termica  $C$  descrive la capacità del solido di aumentare la propria energia interna rispetto alla variazione della sua temperatura:*

$$C = dU/dT$$

# Gli esperimenti

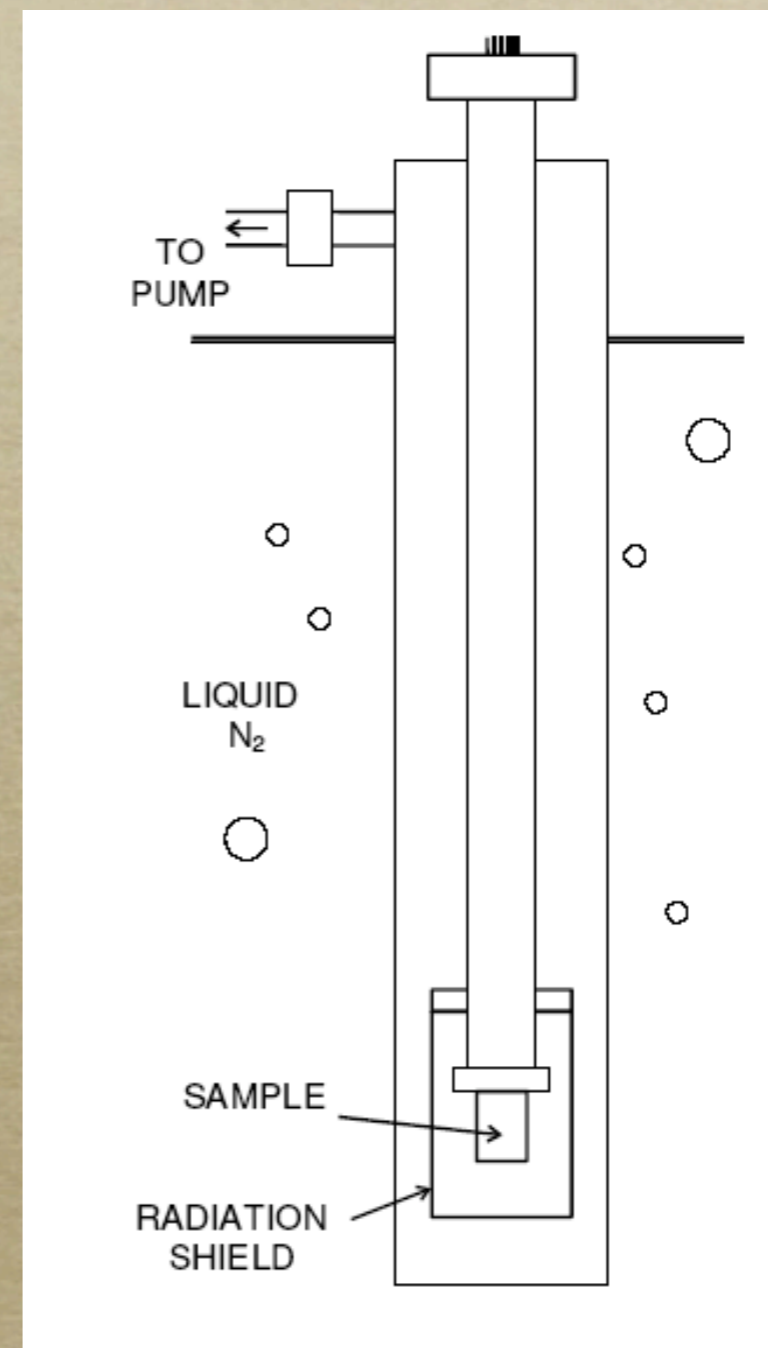


# Osservazioni

- *A temperatura elevata  $C$  è quasi costante e vale circa  $3NK_B$*
- *A temperatura prossima allo zero tende a zero con due andamenti diversi a seconda che il solido sia conduttore o isolante:  
 $C = aT^3 + gT$ , dove  $g=0$  se isolante.*

# Come si fa un esperimento per misurare C

- *Si raffredda il campione a bassa T*
- *si cede calore al campione in modo controllato (es: con una resistenza elettrica)*  
 $P = dU/dt$
- *si misura la variazione di temperatura in funzione del tempo  $R = dT/dt$*
- *si deriva  $C = P / R = dU/dT$*



# La teoria

---

- *Dobbiamo trovare la legge fisica che descriva il comportamento della C*
- *per questo abbiamo bisogno di un modello del solido*

# Modello 1: atomi come pendoli

*1818 - Dulong e Petit*

- *Un solido è composto da atomi che oscillano come fossero pendoli*
- *Ogni oscillatore è indipendente dall'altro*
- *Ogni oscillatore ha un'energia  $K_B T$  per grado di libertà (quindi  $3K_B T$  per atomo)*
- *L'energia totale del solido è la somma delle energie dei singoli atomi*
- *Quindi  $U = 3 N K_B T$  e così  $C = 3 N K_B$*

# Modello 1: atomi come pendoli

---

- *Buon accordo a  $T$  ambiente*
- *Fallimento a basse  $T$*

*Quali indicazioni per raffinare il modello?*



# Modello 2: atomi quantistici

*1907 - Einstein*

- *Un solido è composto da atomi che oscillano come fossero oscillatori quantomeccanici*
- *Ogni oscillatore è indipendente dall'altro*
- *Ogni oscillatore ha un'energia  $E_n = (n + 1/2) hf$*
- *L'energia totale del solido è  $N$  volte l'energia media dei singoli atomi  $U = 3(\langle n \rangle + 1/2) hf$*
- *$\langle n \rangle$  è calcolata con la statistica quantistica*

# Modello 2: atomi quantistici

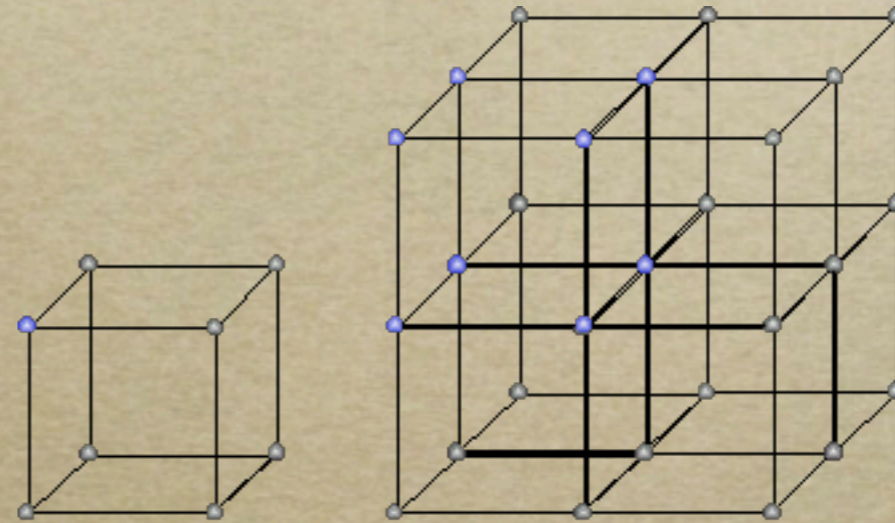
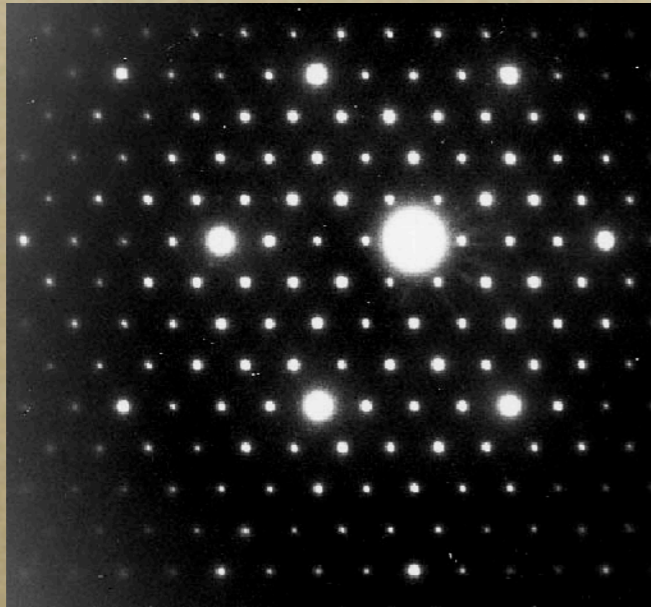
---

*1907 - Einstein*

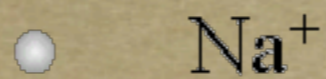
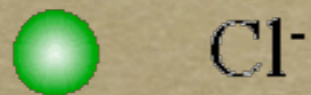
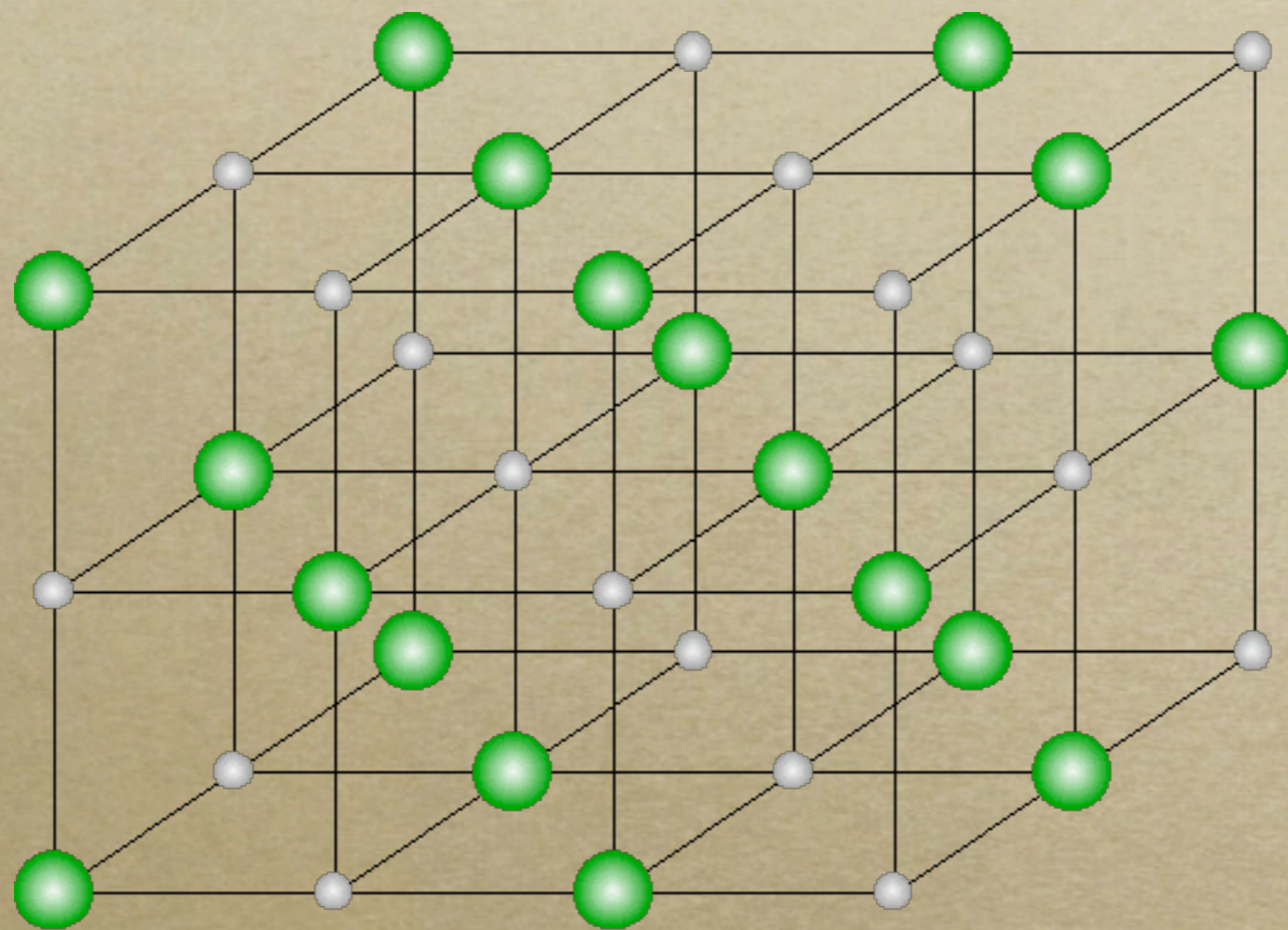
- *Ad alte  $T$  buon accordo con gli esperimenti (legge di Dulong -Petit)*
- *Per  $T$  che va a zero,  $C$  va a zero ma con la legge sbagliata:  $\exp(-b/T)$ .*

*Quali indicazioni per raffinare il modello?*

# Gli atomi nel solido



# *Il reticolo cristallino*



# Modello 3: reticolo cristallino

## Debye

- *Un solido è composto da atomi che sono legati gli uni agli altri da molle e oscillano influenzandosi a vicenda.*
- *Si considera una descrizione a modi normali di oscillazione*

$$C_V = \frac{12\pi^4 N_A k_B}{5} \left( \frac{T}{\theta_D} \right)^3$$

