

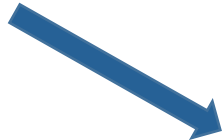
Προσεγγίζοντας το  
απόλυτο μηδέν



# Απόλυτο μηδέν

\*  $T = 0 \text{ K} = -273.15 \text{ }^\circ\text{C}$

\* Τα άτομα βρίσκονται στη θεμελιώδη τους κατάσταση, σύμφωνα με την εξίσωση Boltzmann


$$\frac{n_i}{n_0} = e^{\frac{-(E_i - E_0)}{kT}}$$

\* Τα άτομα κινούνται με την ελάχιστη δυνατή κινητική ενέργεια, η οποία ονομάζεται ενέργεια μηδενός, zero point energy

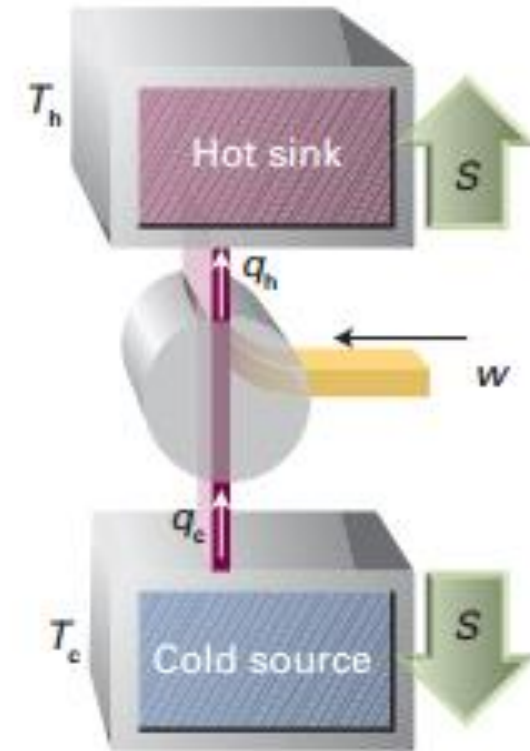
### 3<sup>ος</sup> Νόμος της θερμοδυναμικής

Είναι αδύνατη η επίτευξη του απόλυτου μηδενός με πεπερασμένο αριθμό βημάτων.

$$C = \frac{q_c}{w} \xrightarrow{\text{ιδανικό ψυγείο}} C_o = \frac{T_c}{T_h - T_c}$$

$$\begin{array}{l} T_c \longrightarrow 0 \\ \downarrow \\ C_o \longrightarrow 0 \\ \downarrow \\ w \longrightarrow +\infty \\ \downarrow \end{array}$$

Το απόλυτο μηδέν είναι **ανέφικτο!**

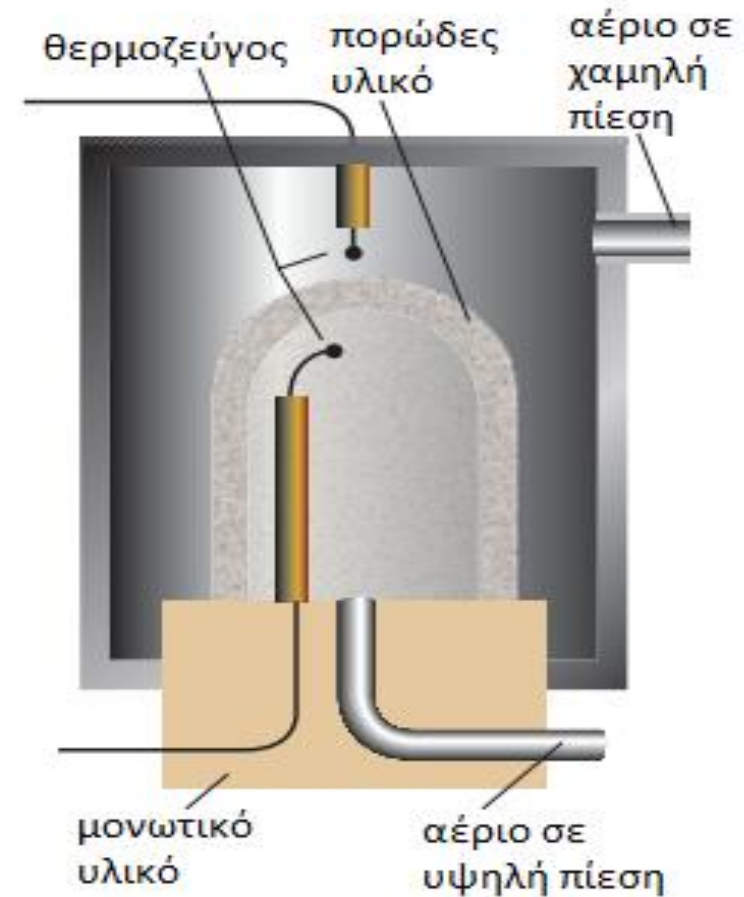


# Υγροποίηση αερίων

Φαινόμενο Joule-Thomson



Αδιαβατική εκτόνωση αερίου



# Υγροποίηση αερίων

Ψυγείο Linde



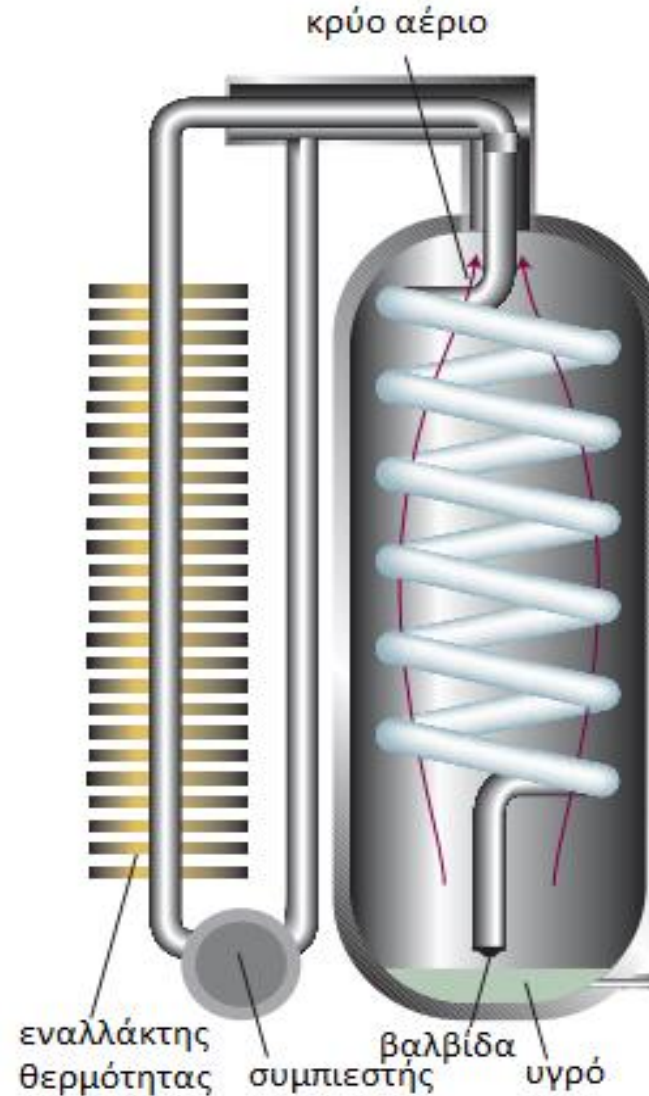
Επαναλαμβανόμενοι κύκλοι  
του φ. Joule-Thomson



Πτώση της θερμοκρασίας  
κάτω από τη θερμοκρασία  
συμπύκνωσης



Υγροποίηση αερίου



# Περιοχή του υγρού Ηλίου

\*  $T_{\text{υγροποίησης}} = 4.216 \text{ K}$

\* Παραμένει υγρό σε  $P = 1 \text{ atm}$  και  $T = 0 \text{ K}$

\* Μέσω αντλιών επιτυγχάνονται θερμοκρασίες έως  $1 - 0.7 \text{ K}$

\*  $T = 2.2 \text{ K} \longrightarrow \text{He II} \longrightarrow \text{Υπερρευστό}$

\* Με καθαρό υγρό  $^3\text{He}$  επιτυγχάνονται θερμοκρασίες έως  $0.3 \text{ K}$

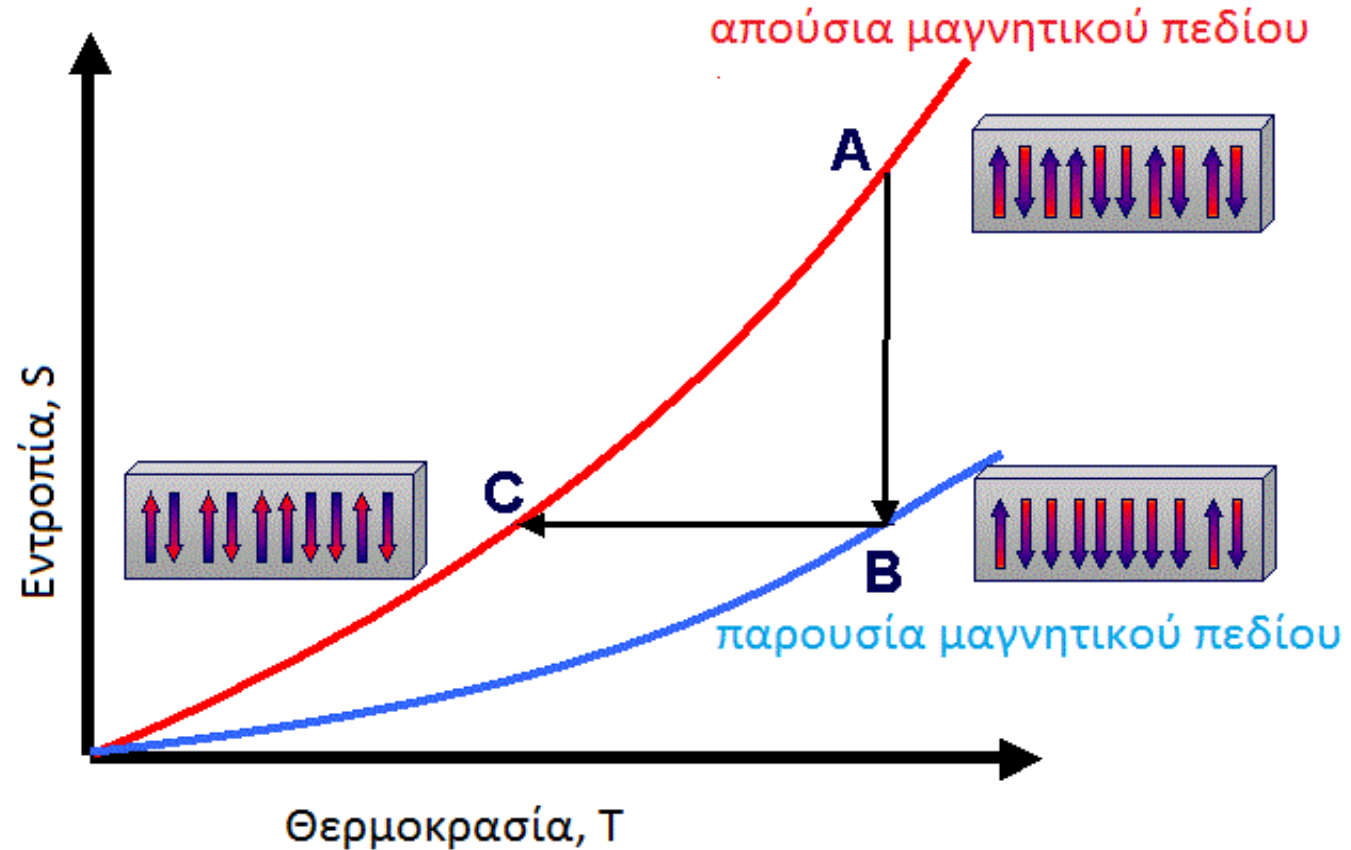
\* Το  $^3\text{He}$  μεταπίπτει στην υπερρευστή κατάσταση σε  $T = 1 \text{ mK}$   
παρουσία μαγνητικού πεδίου

# Αδιαβατική απομαγνήτιση

**AB:** ισόθερμη  
μαγνήτιση

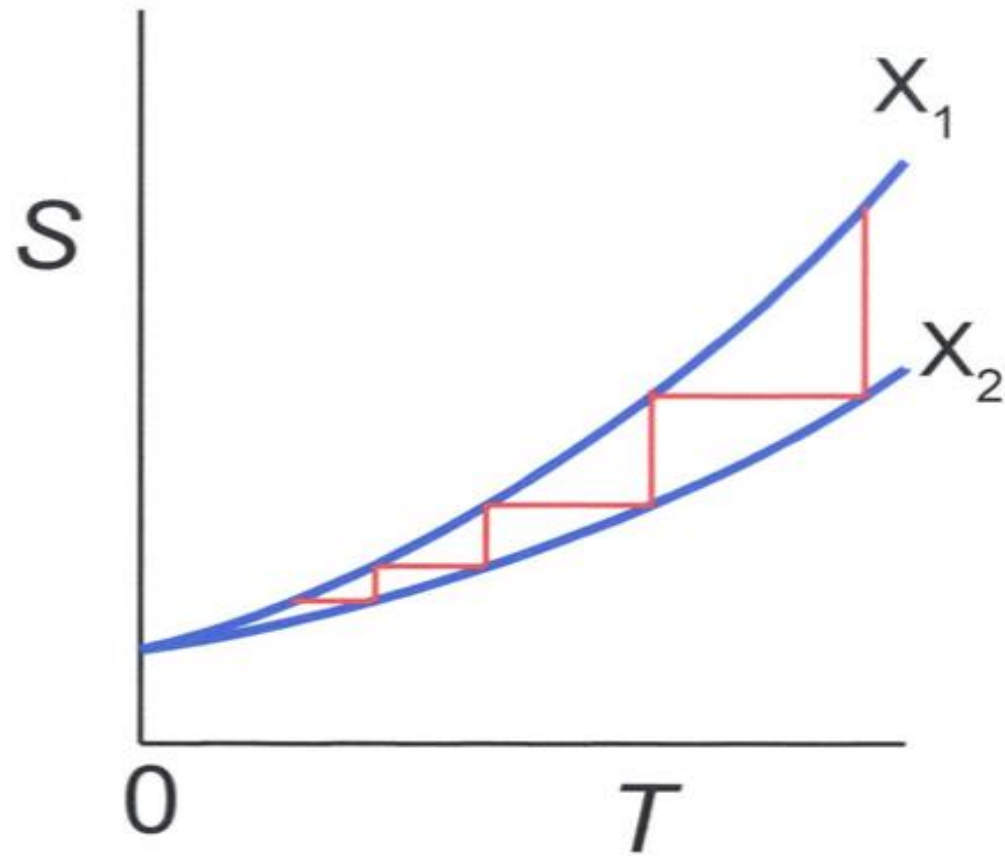
**BC:** αδιαβατική  
αντιστρεπτή  
απομαγνήτιση

↓  
**Ψύξη**



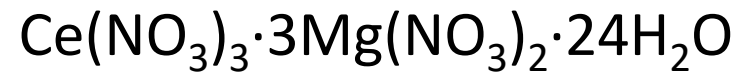
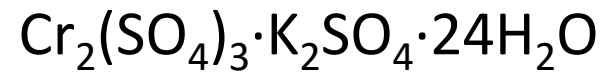
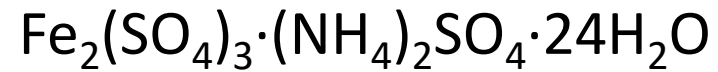
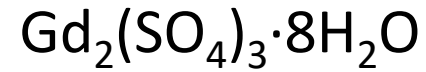
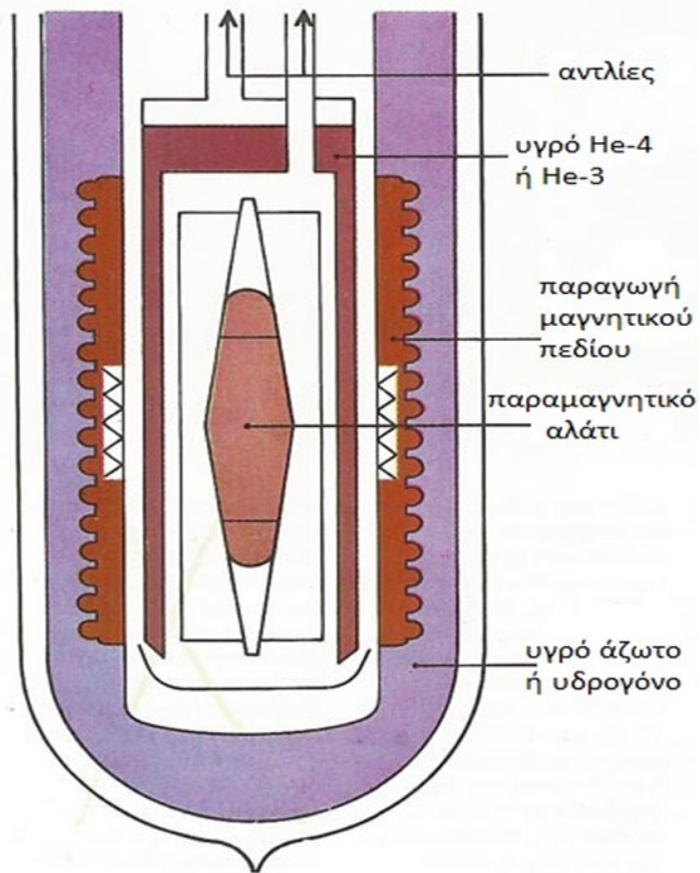
# Θεώρημα θερμοτήτας του Nernst

$$T \longrightarrow 0 \quad \longrightarrow \quad \Delta S \longrightarrow 0$$



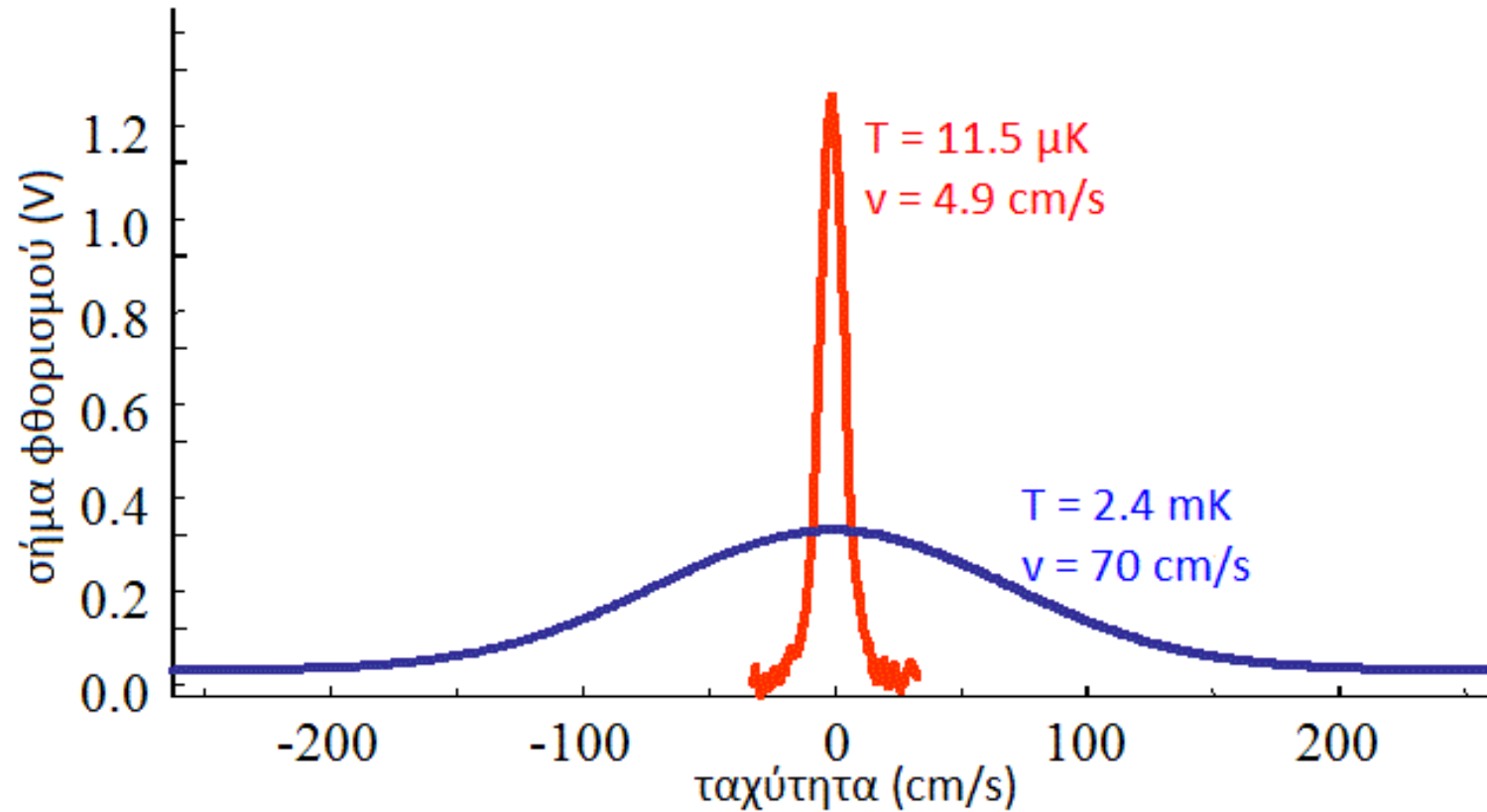
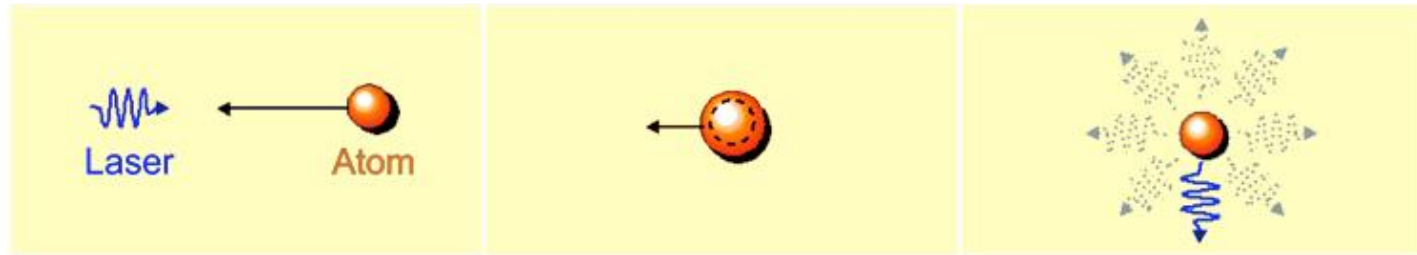


# Αδιαβατική απομαγνήτιση



T = 1 – 100 mK

# Ψύξη με Laser




\*  $T_{\text{Γης}} = 288.15 \text{ K}$

\*  $T_{\text{Γης,min}} = 183.95 \text{ K}$  (Ανταρκτική)

\*  $T_{\text{σύμπαντος}} = 2.73 \text{ K}$

\*  $T_{\text{σύμπαντος,min}} = 1 \text{ K}$  (Boomerang nebula)

\*  $T_{\text{min}} = 100 \text{ pK}$  (πυρήνες Rh)

\*  $T < 0$  

Ευχαριστώ  
πολύ

