

9. Magnetisme dan Temperatur Rendah

Isi:

- Mengapa suhu rendah?
- Magnetisme, Kerja Magnetik
- Pendinginan magnetik
- Pengukuran pada suhu sangat mutlak rendah
- Superkonduktivitas

9.1. Mengapa suhu rendah?

Pada temperatur rendah, beberapa fenomena fisika yang menarik dapat diamati, seperti misalnya:

- (1) Superkonduktivitas
- (2) Superfluida ('frictionless fluid')
- (3) High order magnetisme
- (4) Transformasi fasa

Hal ini karena pada suhu rendah:

- (1) sederhana secara prinsip
- (2) keteraturan tinggi
- (3) jumlah keadaan/*state* sangat kecil
- (4) entropi kecil

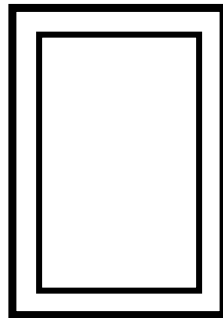
→ Bidang LTP (*Low temperature physics*) merupakan bidang aktif pada riset saat ini.

Interaksi magnetik cukup penting untuk mempelajari materi pada suhu rendah. Hal ini bukan hanya karena fenomena magnetisme teramati dengan baik, tetapi juga karena kerja magnetik dapat menghasilkan temperatur rendah.

Bagaimana cara menghasilkan suhu rendah?

Pertama harus dicari isolator panas yang "mendekati sempurna"

→ dewar



Yakni konstruksi dinding isolator berganda, dengan vakum antara dua dinding. Biasanya dari glass, metal atau keramik.

(Termos air panas, merupakan salah satu contoh dewar sederhana)

Kontakkan bahan dengan:

Nitrogen cair $\rightarrow 77$ K

Helium cair $\rightarrow 4,2$ K (tekanan atmosfer)

Kalau ingin di bawah suhu 4,2 K???

Dengan memompa keluar uap helium, suhu akan mencapai 1 K.

Apabila digunakan cairan isotop He^3 akan dicapai 0,3 K.

Bagaimana kalau ingin lebih rendah lagi??

\rightarrow Manfaatkan prinsip termodinamika tentang kerja magnetik.

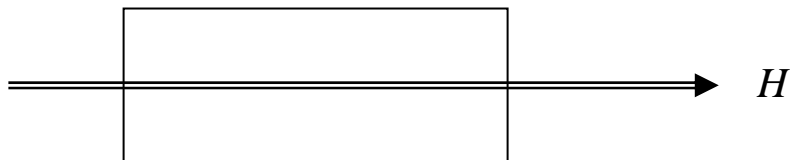
Suhu dapat mencapai 0,01 K, bahkan 0,001 K.

Beberapa eksperimen mutakhir bahkan sudah mampu sampai 10^{-6} K.

Disini peran termodinamika sangat menonjol.

9.2. Kerja Magnetik

Suatu sistem dengan volume V mendapatkan pengaruh medan magnet luar H :



Momen magnetik rata-rata per-unit volume:

$$\bar{M}_o = M / V$$

Sehingga induksi magnetik menjadi

$$B = H + 4\pi\bar{M}_o \quad (9.1)$$

Kalau dinyatakan dalam permeabilitas sampel μ' dan suseptibilitas $\chi = \bar{M}_o / H$, maka:

$$B = \mu'H = (1 + 4\pi\chi)H \quad (9.2)$$

Dari hal ini dapat dimulai argumentasi termodinamika statistik:

$$dQ = TdS = d\bar{E} + dW \quad (9.3)$$

Kerja dalam kaitan dengan medan magnet:

$$dW_r^{(m)} = dE_r = (-F_x)dx = \left(-M_r \frac{\partial H}{\partial x} \right) dx \quad (9.4)$$

$$dW_r^{(m)} = dE_r = -M_r dH$$

jadi momen magnetik:
$$M_r = - \frac{\partial E_r}{\partial H} \quad (9.5)$$

merupakan “gaya diperumum”.

Selanjutnya:

$$dW^{(m)} = - \overline{M} dH \quad (9.6)$$

Entropi dapat dinyatakan:

$$TdS = \overline{dE} + \overline{p}dV + \overline{M}dH \quad (9.7)$$

dalam bentuk lain:

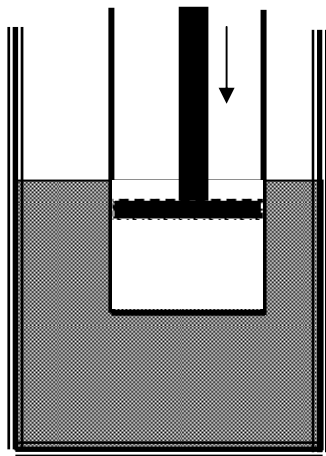
$$TdS = \overline{dE^*} + \overline{p}dV - H \overline{dM} \quad (9.8)$$

disini $E^* = E + \overline{M}H$ adalah “semacam” entalpi.

9.3. Pendinginan Magnetik

Prinsip kerja pendinginan magnetik serupa dengan pendinginan secara mekanik.

Secara mekanik:



Suhu $T = T_i$



isolasi

gas berekspansi bebas secara adiabatik

$$T = T_f \\ \rightarrow T_f < T_i$$

Pendinginan magnetik:

$$S(T_j, H_f) = S(T_i, H_i) \quad (9.9)$$

$$S\left(\frac{H_f}{T_f}\right) = S\left(\frac{H_i}{T_i}\right) \quad (9.10)$$

Sehingga

$$\frac{H_f}{T_f} = \frac{H_i}{T_i}$$

atau

$$\frac{T_f}{T_i} = \frac{H_f}{H_i}$$

$$\frac{T_f}{T_i} = \frac{H_m}{H_i} \quad (9.11)$$

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_H dT + \left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_T dH = 0 \quad (9.12)$$

atau

$$\frac{dT}{dH} = \left(\frac{\partial T}{\partial H}\right)_S = -\frac{\left(\frac{\partial S}{\partial H}\right)_T}{\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_H} \quad (9.13)$$

Soal Latihan:

Sebuah material terdiri dari n partikel independen dan dalam pengaruh medan magnet lemah H . Setiap partikel dapat mempunyai momen magnet $m\mu$ sejajar medan magnet, dengan $m=J, J-1, J-2, \dots, -J+1, -J$. Disini J merupakan bilangan bulat dan μ merupakan konstanta. Temperatur sistem adalah T .

- (a) Carilah fungsi partisi sistem
- (b) Hitung magnetisasi rata-rata, \overline{M} , dari material
- (c) Untuk T yang besar, carilah ekspresi asimtotik \overline{M} .