Методи вимірювання магнітної сприйнятливості

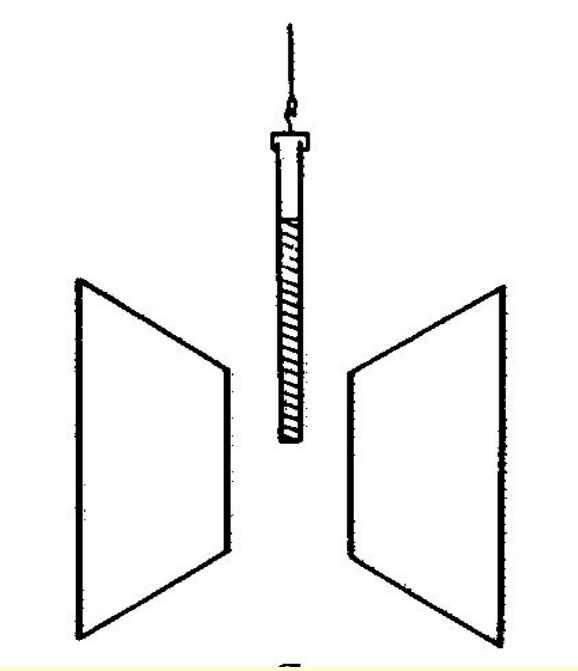
1. Силові методи
2. Індукційні методи
3. Вимірювання сприйнятливості розчинів

Метод Гюї:

- Однорідне магнітне поле
-Зразок поміщується у довгу ампулу, один кінець якої знаходиться у нульовому полі, а другий у ненульовому
- Вимірювання сили, що зміщує зразок у напрямку ненульового поля (для парамагнітного зразка)

Сила залежить від:

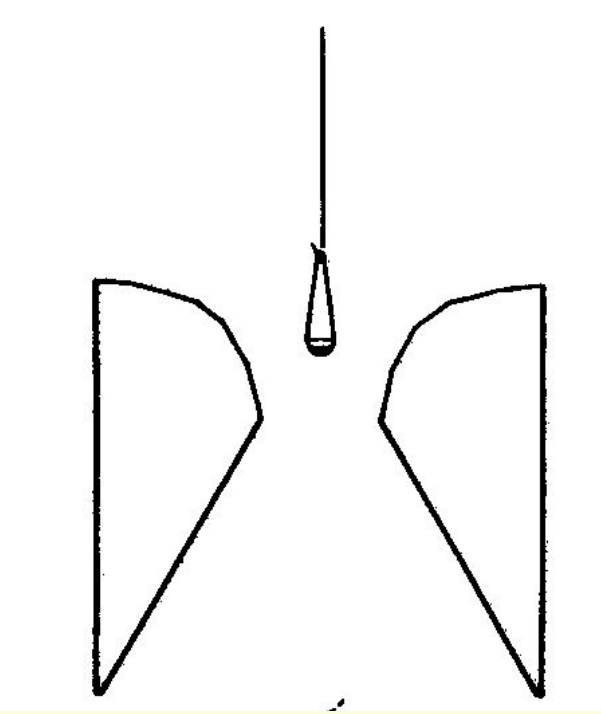
(i) напруженості поля
(ii) сприйнятливості зразка
(iii) маси зразка
(iiii) площі



$$\Delta mg = \frac{1}{2}(\chi - \chi_0)S(H_{max}^2 - H_{min}^2)$$

Метод Фарадея:

- Неоднорідне магнітне поле
- Вимірювання сили, що зміщує зразок
у напрямку більш сильного поля (для парамагнітного зразка)
- Зразок поміщується в область ізодинамічності
- Полюсні наконечники

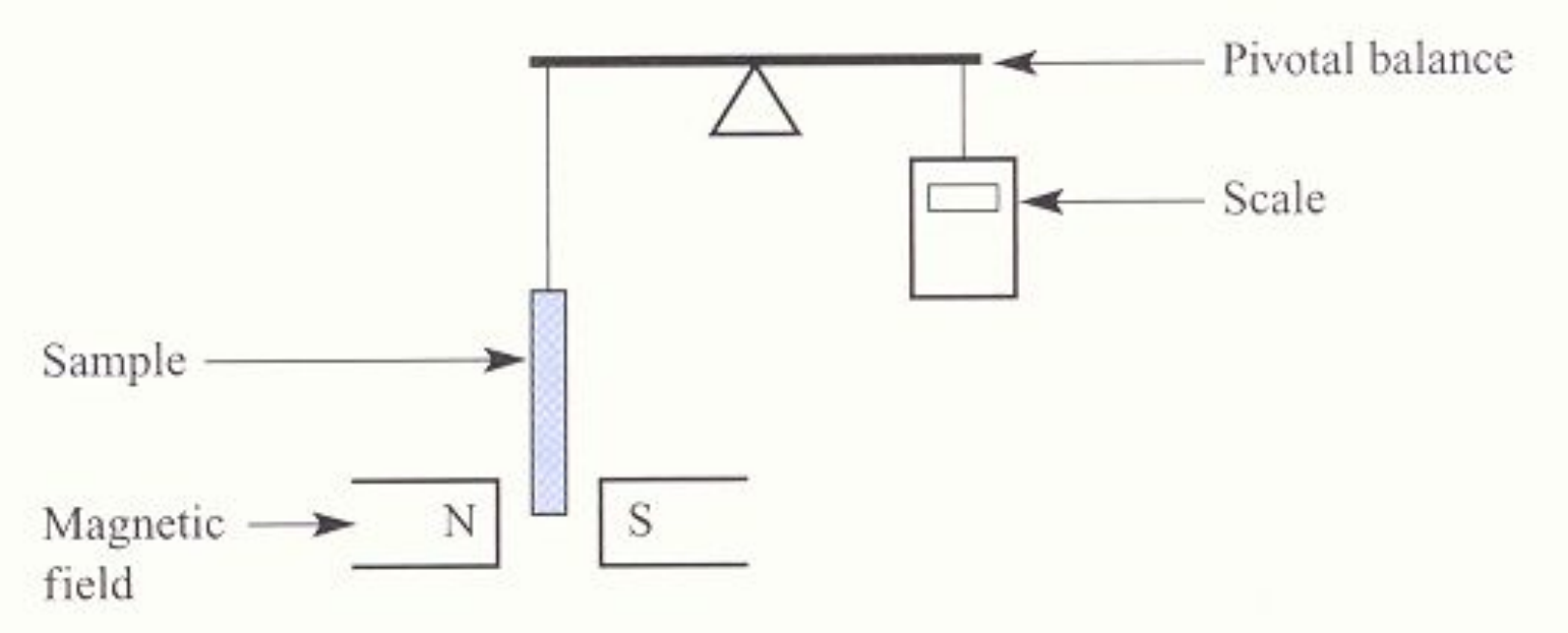


Сила залежить від:

(i) градієнта поля
(ii) сприйнятливості зразка
(iii) маси зразка

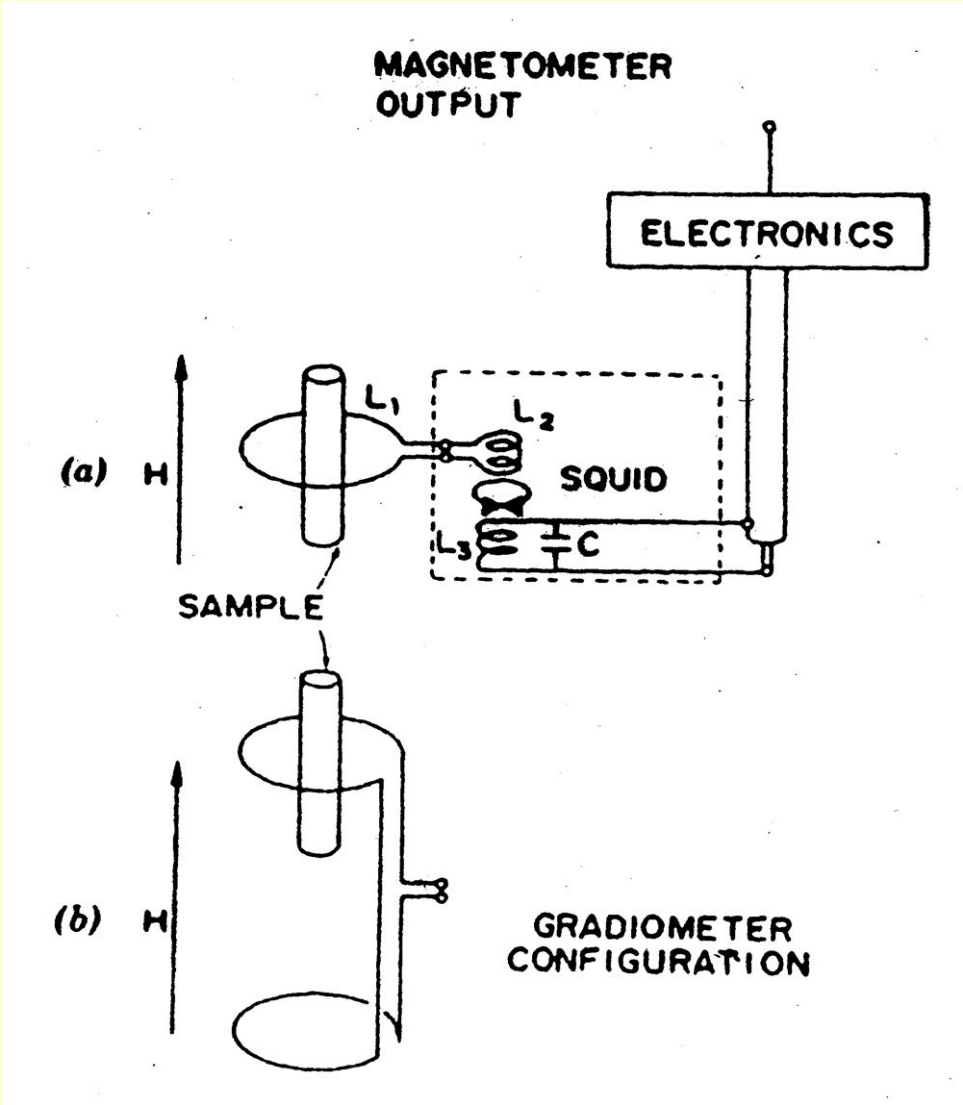
$$F = \chi m H_0 \frac{dH}{dz}.$$

Торсійні терези



SQUID

$$\mathbf{M = k \cdot \Delta\Phi}$$



Зразок поміщують у однорідне аксіальне поле

Зміщення зразку призводить до зміни у густині магнітного потоку, яка вимірюється:

$$\mathbf{M = k \cdot \Delta\Phi}$$

Техніка експерименту

Зразок: полікристали, монокристал (Фарадей),
полікристали, монокристал, розчини (SQUID)

Кількість спінів (S = ½) на моль:
(а) для твердих зразків: $5\cdot10^{-6}$ - $5\cdot10^{-7}$ (Фарадей), $5\cdot10^{-8}$ (SQUID).
Наприклад, M = 500 => маса зразка = 2 мг.
(б) для розчинів: $5\cdot10^{-8}$ (SQUID)
Наприклад, c = $0.3\cdot10^{-3}$ M => V = 0,2 мл.

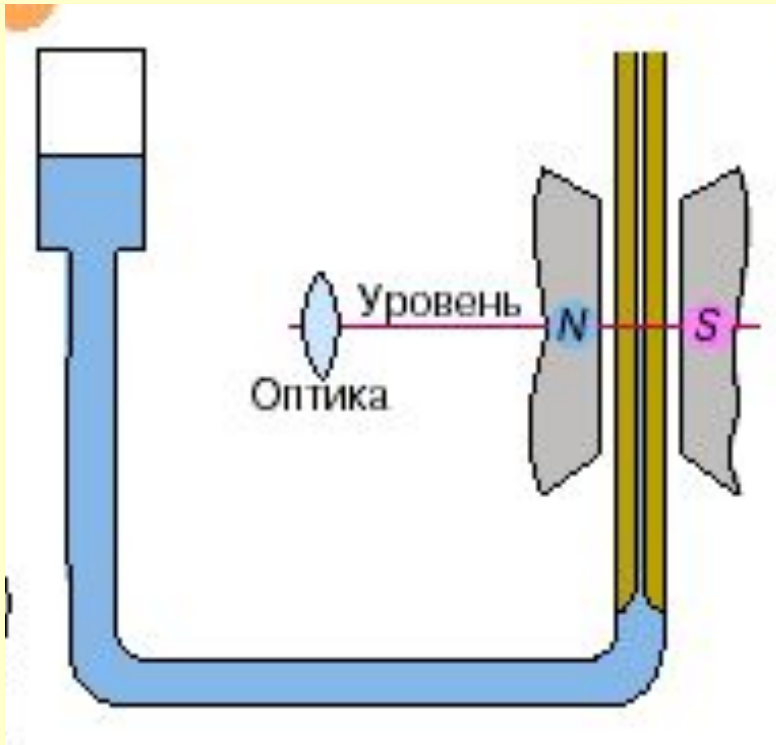
Температурний діапазон: як правило, 2 – 300 K (SQUID)

Магнітні поля: 0,8 – 1 T (Фарадей), до 8 T (SQUID)

Калібровка: визначення константи приладу

Калібровка магнетометрів

Метод Квінке



$$\Delta h = \frac{H_0^2(\chi - \chi_0)}{2g}$$

Вимірюється зміна висоти стовпчика рідини в капілярі під дією магнітного поля

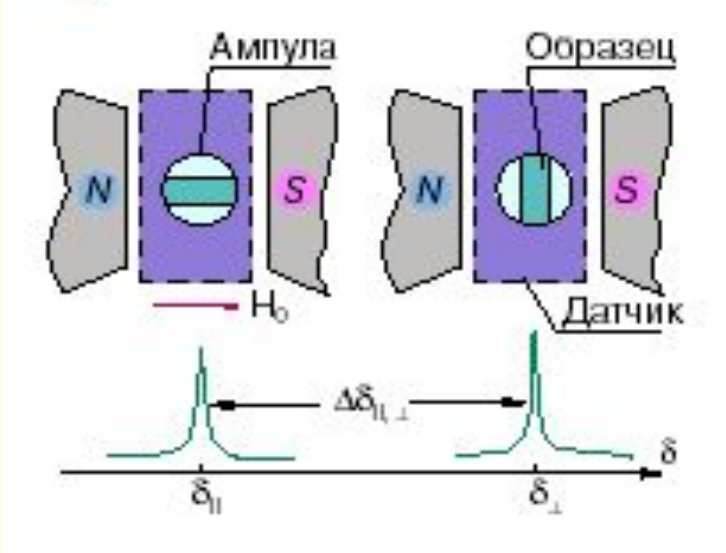
Віскозиметричний метод

$$\frac{t_0 - t_H}{t_H} = k\chi$$

Об’ємні магнітні сприйнятливості деяких розчинників

Растворитель	χ_V, $\times 10^6$
Вода	−0,7179
Тетрагидрофуран	−0,6389
Толуол	−0,6137
Бензол	−0,6070
Изопропанол	−0,6031
н-Октан	−0,5966
Нитробензол	−0,5950
Этанол	−0,5777
Диметилформамид	−0,5682
Метанол	−0,5227
Ацетонитрил	−0,5220
Ацетон	−0,4600

Вимірювання сприйнятливості розчинів за допомогою ЯМР



ЯМР в плоских ампулах

$$\delta_{\perp} - \delta_{\parallel} = A\chi + B$$

Метод Еванса

$$\Delta H / H = (2\pi/3)\Delta\kappa$$

$\Delta\kappa$ - зміна об’ємної сприйнятливості

$$\chi = \frac{3\Delta f}{2\pi f m} + \chi_0 + \frac{\chi_0 (d_0 - d_s)}{m}$$

χ – масова сприйнятливість розчинника

Δf – різниця частот резонансів

f – частота резонансу

m – маса речовини в 1 мл розчину

d_0 – густина розчинника

d_s – густина розчину

- <u>Formeln:</u> Grammsuszeptibilität $\chi_g = C \cdot l \cdot (R-R_0) / (m \cdot 10^9)$ in cm^3/g

  Molare Suszeptibilität $\chi_M = \chi_g \cdot M$ in cm^3/mol

  Effektives magnetisches Moment $\mu_{eff} = 2.828\ (\chi_M \cdot T)^{0.5}$ in μ_B

  Spin-Only-Werte $\mu_{SO} = (n(n+2))^{0.5}$ in μ_B

  C = Kalibrierungskonstante der Waage

  M = Molmasse der Probe in g/mol

  T = Temperatur in K

  n = Anzahl der ungepaarten Elektronen

- <u>Beispiel:</u> $Cu(SO_4)_2 \cdot 5H_2O$ M = 249.7 g/mol, T = 293 K

  $\chi_g = 6.00 \cdot 10^{-6}\ cm^3/g$ $\chi_M = 1.50 \cdot 10^{-3}\ cm^3/mol$

  $\mu_{eff} = 1.87\ \mu_B$

  Dies entspricht dem zu erwartenden Wert für ein ungepaartes Elektron.

  Der Spin-Only-Wert μ_{SO} mit n = 1 wäre $\mu_{SO} = 1.73\ \mu_B$