

## ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΕΝΝΟΙΕΣ & ΟΡΙΣΜΟΙ

### ΜΟΝΑΔΕΣ

**ΜΗΚΟΣ,  $\ell$**

**ΧΡΟΝΟΣ,  $t$**

**ΜΑΖΑ,  $m$**

Κυκλική συχνότητα:  $\omega \equiv 2\pi/t = 2\pi\nu$  .....  $[\omega] = 1/[t]$

Ταχύτητα:  $v \equiv dr/dt$  .....  $[v] = [\ell]/[t]$

Επιτάχυνση:  $a \equiv dv/dt$  .....  $[a] = [\ell]/[t]^2$

**Γωνιακή επιτάχυνση:**  $\dot{\omega} \equiv d\omega/dt$  .....  $a \equiv dv/dt$

Πυκνότητα μάζας:  $\rho_M \equiv dm/dV$  .....  $[\rho_M] = [m]/[\ell]^3$

Ορμή:  $p = mv = (\varepsilon/c^2)v$  .....  $[p] = [m][\ell]/[t]$

**Στροφορμή:**  $L = r \times p$  .....  $[L] = [m][\ell]^2/[t]$

Δύναμη,  $F$  .....  $[F] = [E]/[\ell] = [m][\ell]/[t]^2$

Ενέργεια:  $E = E_o + E_K + E_\Delta$  .....  $[E] = [m][\ell]^2/[t]^2$

Εσωτερική ενέργεια,  $U$

$$E_o + E_K = \sqrt{m_o^2 c^4 + c^2 p^2}$$

Κινητική ενέργεια,  $E_K \approx p^2/2m$

Δυναμική ενέργεια,  $E_\Delta$

Έργο,  $W = \int \mathbf{F} \cdot d\ell$

Θερμότητα,  $Q$

Θερμοκρασία,  $T$  : εμφανίζεται φυσικά ως  $k_B T$  .....  $[k_B T] = [E]$

→ Εντροπία  $S = k_B \ln \Delta \Gamma_N(U, V) = -k_B \sum_i P_i \ln P_i$  .....  $[S] = [E]/[T] = [k_B]$

→ **Χημικό δυναμικό**  $\mu = (\partial U / \partial N)_{S, V}$  .....  $[\mu] = [E]$

Πίεση  $P = F/A = E/V$  .....  $[P] = [F]/[\ell]^2 = [E]/[\ell]^3$

**Ροπή Δύναμης**  $M \equiv r \times F$  .....  $[M] = [E]$

Ηλεκτρικό φορτίο,  $q$  .....  $[q] = *$

Πυκνότητα ηλεκτρικού φορτίου  $\rho_q = dq/dV$  .....  $[q]/[\ell]^3$

Ηλεκτρικό ρεύμα  $I \equiv dq/dt$  .....  $[I] = [q]/[t]$

Πυκνότητα ηλεκτρικού ρεύματος  $\mathbf{j} \equiv I/A$  .....  $[j] = [q]/[t][\ell]^2$

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΕΝΝΟΙΕΣ & ΟΡΙΣΜΟΙ (συνέχεια)**

Ηλεκτρικό πεδίο  $\mathbf{E} \equiv \mathbf{F}_e/q$  .....  $[\mathbf{E}] = [E]/[\ell][q]$

ΗΕΔ,  $\equiv \oint \mathbf{E} \cdot d\ell$  .....  $[\text{ΗΕΔ}] = [E]/[q]$

Μαγνητικό πεδίο  $\mathbf{B} \equiv \mathbf{F}_m(c)/qv$

Ροή διανυσματικού πεδίου  $\mathbf{A}$ ,  $\Phi_A = \iint d\mathbf{S} \cdot \mathbf{A}$

Κυκλοφορία διανυσματικού πεδίου  $\mathbf{A}$ ,  $K = \oint d\ell \cdot \mathbf{A}$

→ Πυκνότητα ροής του βαθμωτού μεγέθους  $\mathbf{A}$ :  $\mathbf{j}_A = \rho_A \cdot \mathbf{v}_A$

**Παράγωγα μεγέθη**

**Ροπή αδράνειας**  $I = \sum_i m_i \rho_i^2$  (τύποι για κυκλικό δακτύλιο και σφαιρικό φλοιό)

Θερμοχωρητικότητα  $C = \frac{dQ}{dT}$

→ Μέτρα ελαστικότητας  $B$ ,  $\mu_s$ ,  $B = -V \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)$ ,  $[B] = [P]$

Διπολική ροπή  $\mathbf{p}_e$ ,  $[p_e] = [q][\ell]$

Ηλεκτρική αντίσταση,  $R = V_e / I$ ,  $[V_e] = [\text{ΗΕΔ}]$

Ειδική ηλεκτρική αντίσταση,  $\rho_e$ :  $R = \rho_e \ell / A$ ,  $\sigma_e = 1 / \rho_e$ ,  $[\rho_e] = [R][\ell]$

Χωρητικότητα,  $C_e = q / V_e$

Αυτεπαγωγή,  $L_e = \Phi_B / I$ ,  $\Phi_B$  ροή του  $\mathbf{B}$

Διηλεκτρική συνάρτηση,  $\epsilon$

Μαγνητική διαπερατότητα,  $\mu$

→ Επιφανειακή τάση,  $\sigma$ ,  $[\sigma] = [E]/[\ell]^2$

→ Ιξώδες,  $\eta$ ,  $[\eta] = [P][t]$

Δείκτης διάθλασης,  $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ , G-CGS

→ Πολωσιμότητα,  $a = \mathbf{p}_e / E$ ,  $[a] = [\ell]^3$ , G-CGS

→ Επιδεκτικότητα  $\chi$ ,  $\epsilon = 1 + 4\pi\chi$ , G-CGS

\*Ξεκαθαρίστε τη σχέση των συστημάτων SI και G-CGS για τα ηλεκτρομαγνητικά μεγέθη. Το SI έχει τις πιο οικείες μονάδες, ενώ το G-CGS έχει συνήθως πιο απλούς τύπους, γιατί, αντί των  $\epsilon_0$  και  $\mu_0$  στις εξισώσεις του Maxwell, χρησιμοποιεί την ταχύτητα του φωτός  $c$ .

## ΠΙΝΑΚΑΣ 5: 22 ΒΑΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ

1. Διατήρηση στροφορμής,  $\mathbf{L}$ , απομονωμένου συστήματος

$$\left( \mathbf{L} = \sum_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{p}_i = \mathbf{I}\boldsymbol{\omega} \right) \quad I = \sum_i \Delta m_i \rho_i^2 = \int dV \rho_M \rho^2$$

2. Διατήρηση ορμής,  $\mathbf{P}$ , απομονωμένου συστήματος ( $\mathbf{P} = \sum_i \mathbf{p}_i$ ,

$$\mathbf{p}_i = m_i \mathbf{v}_i, \quad m_i = m_{oi} / \sqrt{1 - (v_i^2 / c^2)})$$

3. Διατήρηση ενέργειας,  $E$ , απομονωμένου συστήματος

$$E = E_o + E_K + E_\Delta, \quad E_o + E_K = \sum_i \sqrt{m_{oi}^2 c^4 + c^2 p_i^2} = \sum_i m_i c^2$$

**1<sup>ος</sup> νόμος:**  $dU = dQ - dW + dE_m$

4. Διατήρηση εσωτερικών χαρακτηριστικών (φορτίο, βαρυονικός αριθμός, λεπτονικοί αριθμοί κ.α.) parity, time reversal (όχι πάντα)

5. Εντροπία και ο 2<sup>ος</sup> νόμος

$$S \equiv k_B \ln \Gamma_N(U, V, \dots) \equiv -k_B \sum_I P_I \ln P_I$$

$$dS = dS_{\varepsilon\xi} + dS_{\varepsilon\sigma} \quad (\text{όταν } dE_m = 0), \quad \text{όπου } dS_{\varepsilon\xi} = \frac{dQ}{T},$$

$$\boxed{dS_{\varepsilon\sigma} \geq 0 \quad [2^{\text{ος}} \text{ νόμος}]}$$

6.  $dW = PdV$  κλπ,  $dE_m = \mu dN$  και γενικεύσεις

$$7. \quad P_I = \frac{e^{-E_I/k_B T}}{Z}, \quad Z = \sum_I e^{-E_I/k_B T}, \quad \text{Σημαντικός τύπος}$$

$$8. \quad n_i = \frac{1}{e^{(\varepsilon_i - \mu)/k_B T} \pm 1}, \quad \text{προϋποθέσεις ισχύος; \quad Σημαντικός τύπος}$$

$$G \equiv U + PV - TS \equiv H - TS, \quad dG \leq -SdT + VdP + dE_m$$

$$9. \quad x' = x, \quad y' = y$$

$$z' = \gamma(z - v_o t), \quad ct' = \gamma(ct - v_o z / c)$$

$$\gamma = 1 / \sqrt{1 - (v_o / c)^2}$$

} Lorentz

10.  $\mathbf{F}_m = -\frac{GmM}{r^2} \mathbf{r}_o$ , ΓΘΣ και η ημινευτώνεια εκδοχή της

11.  $\mathbf{F}_{HM} = q(\mathbf{E} + \mathbf{v} \times \mathbf{B})$ , SI

12. Εξισώσεις Maxwell

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5: 22 ΒΑΣΙΚΟΙ ΝΟΜΟΙ (συνέχεια)**

$$\left. \begin{aligned} \Phi_E &= \frac{1}{\epsilon_0} Q && \Leftrightarrow \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{1}{\epsilon_0} \rho_e \\ K_E &= -\frac{\partial \phi_B}{\partial t} && \Leftrightarrow \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \Phi_B &= 0 && \Leftrightarrow \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ K_B &= \mu_0 I + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \phi_E}{\partial t} && \Leftrightarrow \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{aligned} \right\} \text{(SI)}$$

$$13. \quad c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}, \quad \mathbf{S} = \frac{1}{\mu_0} \mathbf{E} \times \mathbf{B}, \quad u = \frac{1}{2} \epsilon_0 \mathbf{E}^2 + \frac{1}{2 \mu_0} \mathbf{B}^2, \quad \mathbf{p} = \epsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B} = \frac{\mathbf{S}}{c^2}$$

$$14. \quad U = \int u dV = n \hbar \omega, \quad \mathbf{P} = \int \mathbf{p} dV = n \hbar \mathbf{k}, \quad L = \frac{U}{\omega} = n \hbar$$

$$15. \quad \frac{d\mathbf{p}}{dt} = \mathbf{F} \text{ (μη κβαντικός)}, \quad \frac{d\mathbf{L}}{dt} = \mathbf{M}$$

$$16. \quad \varepsilon = \hbar \omega, \quad \mathbf{p} = \hbar \mathbf{k}, \quad |\mathbf{k}| = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$17. \quad -\frac{\hbar^2}{2m} \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) + \mathcal{V}(\mathbf{r}) \psi = i \hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} \text{ (κβαντικός)}$$

$$18. \quad \Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

$$19. \quad \varepsilon_K \gtrsim \sqrt{m_0^2 c^4 + 9,12 \frac{\hbar^2 c^2}{V^{2/3}} - m_0 c^2} \xrightarrow{c \rightarrow \infty} 4,56 \frac{\hbar^2}{m_0 V^{2/3}} \xrightarrow{m_0 c^2 \ll cp} 3 \hbar c / V^{1/3}$$

20. Απαγορευτική αρχή του Pauli (για όμοια σωματίδια με ημιακέραιο σπιν)

$$21. \quad E_K \geq 2,87 N \frac{\hbar^2}{m} \left( \frac{N}{V} \right)^{2/3} \quad \text{ή} \quad E_K \geq 2,32 c \hbar N \frac{N^{1/3}}{V^{1/3}} \quad \text{για } m_0 c^2 \ll cp$$

$$22. \quad \delta E = c_1 \hbar^2 / m V^{2/3}: \text{ σύγκριση του } \delta E \text{ με } k_B T \text{ ή } \hbar \omega$$

Αριθμός μονοσωματιδιακών καταστάσεων:  $\frac{V V_k}{(2\pi)^3}$ , όπου  $V_k$  είναι ο όγκος στο χώρο των  $\mathbf{k}$ .

**Και ο μακρόκοσμος είναι κβαντικός**

## ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΝΟΥΜΕΡΑ ΝΑ ΘΥΜΟΣΑΣΤΕ

Ταχύτητα φωτός,  $c \approx 3 \times 10^8$  m/s

Μάζα ηλεκτρονίου,  $m_e c^2 \approx 0,511$  MeV,  $m_e = 9,11 \times 10^{31}$  kg

Μάζα πρωτονίου,  $m_p \approx 1836,15 m_e$

Μάζα νετρονίου,  $m_n \approx 1838,68 m_e$

Μάζα  $m_u \equiv u$  (1/12 άνθρακα-12),  $m_u \approx 1822,89 m_e$

Σταθερά βαρύτητας {στο σύστημα ( $\hbar = m_e = e = 1$ )},  $G = 2,4 \times 10^{-43}$

Επιτάχυνση βαρύτητας στη Γη,  $g \approx 9,81$  m/s<sup>2</sup>

Σταθερά του Avogadro,  $N_A \approx 6 \times 10^{23}$

Σταθερά λεπτής υφής,  $a \equiv e^2 / \hbar c = \hbar / m_e a_B c = v_0 / c \approx 1/137$

Σταθερά τελείων αερίων,  $R \equiv N_A k_B \approx 8,312$  J/K

Ακτίνα του Bohr,  $a_B \equiv \hbar^2 / m_e e^2 \approx 0,53$  Å

Ατομική μονάδα ενέργειας,  $E_0 \equiv e^2 / a_B = \hbar^2 / m_e a_B^2 \approx 27,2$  eV

Ατομική μονάδα χρόνου,  $\hbar / E_0 \approx 2,42 \times 10^{-17}$  s

290° K  $\leftrightarrow$  (1/40) eV, 273° K = 0° C

Ατομική μονάδα πίεσης,  $P_0 \equiv E_0 / a_B^3 \approx 294$  Mbar

Αδιάστατες εντάσεις βασικών αλληλεπιδράσεων

Βαρυτική,  $G m_p^2 / \hbar c \approx 5,9 \times 10^{-39}$

Ηλεκτρομαγνητική,  $e^2 / \hbar c = \alpha \approx 1/137$

Ασθενής,  $\alpha_w \approx 10^{-5}$

Ισχυρή,  $\alpha_s \approx 1$

Περιφέρεια της Γης,  $\Pi \approx 4 \times 10^7$  m

Μάζα του Ήλιου  $M_H \approx 1,99 \times 10^{30}$  kg

Μάζα της Γης  $M_T \approx 5,97 \times 10^{24}$  kg

$N_A m_u = 1$  g

1 eV / άτομο  $\approx 96,48$  kJ/mol = 23,06 kcal/mol

1 eV =  $1,6 \times 10^{-19}$  J  $\leftrightarrow$  12400 Å  $\leftrightarrow$  8065 cm<sup>-1</sup>  $\leftrightarrow$   $2,42 \times 10^{14}$  Hz  $\leftrightarrow$  11600 K

1 bar = 10<sup>5</sup> Pa = 0,987 atm = 750 torr = 750 mm Hg

1 AU =  $1,496 \times 10^{11}$  m, 1 ly =  $9,46 \times 10^{15}$  m, 1 pc =  $3,0857 \times 10^{16}$  m = 3,2616 ly

Περιοχή του ορατού φάσματος:

1,66 eV {400 THz}  $\leq \hbar \omega$  { $f$ }  $\leq$  3,1 eV {750 THz}, 750 nm  $\geq \lambda \geq$  400 nm