
FIZICĂ II

Fizica sistemelor medicale

BOER Attila



EDITURA
UNIVERSITĂȚII
TRANSILVANIA
DIN BRAȘOV

2023

Cupins

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Oscilații mecanice și unde elastice | 7 |
| 1-1 | Oscilații liniare libere | 7 |
| 1-2 | Oscilații liniare amortizate | 12 |
| 1-3 | Oscilații forțate. Fenomenul de rezonanță | 17 |
| 1-4 | Compunerea oscilațiilor | 21 |
| | a) Compunerea oscilațiilor paralele de aceeași frecvență | 21 |
| | b) Compunerea oscilațiilor paralele de frecvențe diferite | 22 |
| | c) Compunerea oscilațiilor perpendiculare | 23 |
| 1-5 | Unde elastice - mărimi energetice specifice | 27 |
| 1-6 | Unde sonore | 29 |
| 1-7 | Efectul Doppler | 30 |
| 2 | Mecanica fluidelor | 35 |
| 2-1 | Introducere | 35 |
| 2-2 | Presiunea hidrostatică | 36 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 2–3 | Principiul lui Arhimede | 41 |
| 2–4 | Tensiunea superficială | 42 |
| 2–5 | Curgerea lichidelor. Ecuația lui Euler | 44 |
| 2–6 | Ecuația lui Bernoulli | 45 |
| 2–7 | Lichide reale. Ecuația Navier-Stokes | 50 |
| 2–8 | Ecuația Hagen-Poiseuille | 51 |
| 2–9 | Numărul lui Reynolds | 53 |
| 3 | Fizica temperaturilor joase | 55 |
| 3–1 | Potențiale termodinamice | 55 |
| 3–2 | Gazul Van der Waals | 57 |
| 3–3 | Răcirea gazelor | 60 |
| 3–4 | Termodinamica substanțelor magnetice | 64 |
| 3–5 | Tranziții de fază | 66 |
| 4 | Fizica statistică | 71 |
| 4–1 | Distribuția Maxwell-Boltzmann | 71 |
| 4–2 | Distribuția Maxwell-Boltzmann în cazul unui gaz ideal | 73 |
| 4–3 | Calculul presiunii în cazul unui gaz ideal | 74 |
| 4–4 | Distribuția moleculelor după viteze | 75 |
| 4–5 | Distribuția Boltzmann | 78 |
| 5 | Fizica atomică | 81 |

4 CUPRINS

| | | |
|-----|--|-----|
| 5-1 | Mișcarea sarcinilor electrice în câmp electric și magnetic | 81 |
| 5-2 | Modelul atomic al lui Bohr. Constanta lui Rydberg . | 86 |
| 5-3 | Momente cinetice și magnetice ale electronului în atom. Efectul Zeeman | 89 |
| 5-4 | Atomi cu mai mulți electroni. Principiul lui Pauli . . | 92 |
| 5-5 | Razele X. Producere și aplicații | 94 |
| 6 | Fizica nucleară | 97 |
| 6-1 | Caracteristici ale nucleului atomic | 97 |
| 6-2 | Modele nucleare | 98 |
| 6-3 | Radioactivitatea | 99 |
| 6-4 | Reacții nucleare | 102 |
| 6-5 | Noțiuni de dozimetrie a radiațiilor nucleare | 103 |
| 6-6 | Rezonanța magnetică nucleară (RMN) | 105 |
| | Tabel cu constante fizice | 111 |
| | Bibliografie | 113 |

Prefa

Volumul de față are la bază cursul Fizică II (Fizica sistemelor medicale), pe care l-am ținut în ultimii ani la specializarea Inginerie medicală de la Universitatea Transilvania din Brașov, Facultatea de Design de Produs și Mediu.

Lucrarea acoperă următoarele teme:

- Oscilații mecanice și unde elastice
- Mecanica fluidelor
- Fizica temperaturilor joase
- Fizica statistică
- Fizica atomică
- Fizica nucleară

În cadrul fiecărui capitol sunt prezentate principiile și legile referitoare la fenomenele fizice studiate, precum și aplicații în domeniul medical. Lucrarea cuprinde și o serie de probleme propuse spre rezolvare. Domeniul opticii nu este discutat în cadrul acestei cărți, deoarece fenomenele optice sunt prezentate în detaliu la cursurile de Optoelectronică și Inginerie optică.

6 CUPRINS

Cartea se adresează în primul rând studenților din anul II de la specializarea de Inginerie medicală, dar poate fi utilizată cu succes și de către studenți de la alte specializări ingineresti în scopul aprofundării cunoștințelor din domeniul fizicii.

Aș dori să-i mulțumesc pe această cale soției mele pentru încurajare și răbdarea de care a dat dovadă pe parcursul scrierii lucrării.

1

Oscilații mecanice și unde elastice

1-1 Oscilații liniare libere

În cazul mișcării oscilatorii coordonatele punctului material se abat foarte puțin față de o anumită valoare ce corespunde stării de echilibru.

Când punctul material se depărtează de starea de echilibru apar forțe conservative ce tind să-l readucă în starea de echilibru.

Dacă forțele respective sunt proporționale cu puterea întâi a coordonatei, oscilațiile se numesc *liniare*. În cazul în care în expresia forței apar și termeni de ordin superior, vorbim despre oscilații *neliniare*.

Considerăm un punct material asupra căruia acționează o

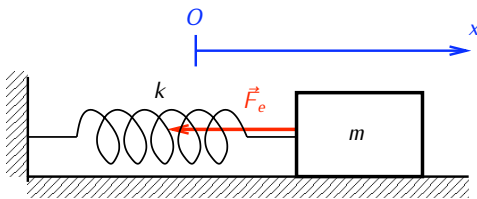


FIGURA 1-1 Oscilații liniare libere sub acțiunea unei forțe elastice

8 1 Oscilații mecanice și unde elastice

forță elastică de forma: $F_e = -kx$ (vezi figura 1-1).

Aplicând principiul al doilea al dinamicii obținem:

$$m\ddot{x} = -kx \implies m\ddot{x} + kx = 0 \quad \omega_0 = \frac{\sqrt{k}}{m}$$

Obținem astfel *ecuația diferențială a mișcării oscilatorii*:

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad (1-1)$$

Soluția ecuației este de forma: $x = C e^{i\omega_0 t}$. Deoarece $\ddot{x} = -\omega_0^2 e^{i\omega_0 t}$, obținem *ecuația caracteristică*:

$$\omega^2 + \omega_0^2 = 0$$

care are soluțiile:

$$\omega_{1,2} = \pm i \omega_0$$

Prin urmare soluția generală a ecuației (1-1) este:

$$x = C_1 e^{i\omega_0 t} + C_2 e^{-i\omega_0 t}$$

sau

$$x = C_1 e^{i\omega_0 t} + C_2 e^{-i\omega_0 t} \quad (1-2)$$

unde C_1 și C_2 sunt constante complexe.

Folosim formula lui Euler: $e^{i\omega_0 t} = \cos \omega_0 t + i \sin \omega_0 t$. Rezultă:

$$\begin{aligned} x &= (C_1 + C_2) \cos \omega_0 t + i(C_1 - C_2) \sin \omega_0 t = \\ &= a \cos \omega_0 t + b \sin \omega_0 t = \\ &= b \frac{a}{b} \cos \omega_0 t + \sin \omega_0 t \end{aligned}$$

Introducem notațiile: $\frac{a}{b} = \operatorname{tg} \varphi_0$, $\frac{b}{\cos \varphi_0} = A$. Obținem:

$$\begin{aligned} x &= A \cos \omega_0 t \sin \varphi_0 + \sin \omega_0 t \cos \varphi_0 = \\ &= A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \end{aligned}$$

Dependența de timp a elongației x este descrisă de ecuația:

$$x = A \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \quad (1-3)$$

Semnificațiile fizice ale mărimilor care apar în relația de mai sus sunt următoarele:

x – elongația

t – timpul

A – amplitudinea

ω_0 – pulsația proprie a oscilatorului

φ_0 – faza inițială

Mișcarea oscilatorie este o mișcare periodică. Notăm cu T perioada mișcării oscilatorii.

$$x(t+T) = x(t) \implies \sin(\omega_0(t+T) + \varphi_0) = \sin(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$$\omega_0(t+T) + \varphi_0 = \omega_0 t + \varphi_0 + 2\pi \implies T = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

Frecvența mișcării oscilatorii este egală cu inversul perioadei: $\nu = \frac{1}{T}$. Unitatea de măsură a frecvenței este Hz (Hertz).

Mișcarea oscilatorie poate fi tratată ca o proiecție a mișcării circulare uniforme pe o axă (Ox sau Oy) (vezi figura 1-2). Viteza unghiulară a mișcării circulare corespunde pulsației mișcării oscilatorii.

10 1 Oscilații mecanice și unde elastice

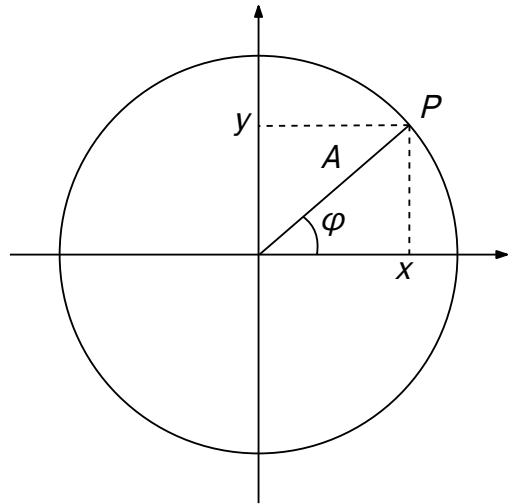


FIGURA 1-2 Mișcarea oscilatorie ca proiecție a mișcării circulare uniforme

Dacă notăm cu φ_0 valoarea inițială a unghiului φ vom avea:

$$\dot{\varphi}_0 = \frac{\varphi - \varphi_0}{t} \Rightarrow \varphi = \dot{\varphi}_0 t + \varphi_0$$

Obținem atunci pentru dependența de timp a coordonatelor x și y următoarele ecuații:

$$\begin{cases} x = A \cos \varphi = A \cos (\dot{\varphi}_0 t + \varphi_0) \\ y = A \sin \varphi = A \sin (\dot{\varphi}_0 t + \varphi_0) \end{cases} \quad (1-4)$$

Ținând cont de principiul fundamental al dinamicii $F_e = m a_x$ și de expresia accelerației $a_x = -\dot{\varphi}_0^2 x$, obținem relația dintre pulsația proprie a mișcării oscilatorii și constanta elastică.

$$\dot{\varphi}_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (1-5)$$

Figura 1-3 prezintă graficul elongației în funcție de timp pentru $A = 2 \text{ cm}$, $\dot{\varphi}_0 = 2 \text{ Hz}$ și $\varphi_0 = \frac{1}{4}/6$.