

Oscilații și unde mecanice

1

Spectacolul valurilor mării este fascinant (fig. 1.1).



Fig. 1.1. Valurile mării.

Valurile răsar parcă de nicăieri și se lovesc de țărm iarăși și iarăși, fără încetare.

Câteodată, însă, valurile sunt uriașe (fig. 1.2).



Fig. 1.2. Val uriaș (tsunami).

Așa s-a întâmplat în decembrie 2004, în Sumatra (o insulă din arhipelagul indonezian), până atunci un adevărat paradis turistic (fig. 1.3).



Fig. 1.3. Vedere aeriană a unei localități din Sumatra, înainte de a fi lovită de valurile uriașe.

Un cutremur submarin a pus în mișcare imense cantități de apă, care s-au năpustit asupra țărmurilor, distrugând totul în cale (fig. 1.4).



Fig. 1.4. Aceeași localitate, distrusă complet de valurile uriașe.

Peste două sute de mii de oameni au pierit în urma devastărilor produse de valurile uriașe din decembrie 2004!



1. Cum am putea oare supraviețui unor cutremure și valuri uriașe devastatoare?

Înțelegând cât mai adânc astfel de mișcări de legănare, cum sunt cele ale pământului și ale apei, putem găsi soluții pentru sporirea siguranței și confortului vieții noastre!

Nimeni nu știe când și unde se va produce următorul cutremur și nici dacă următorul cutremur submarin va determina apariția valurilor uriașe (nu toate cutremurele submarine produc astfel de valuri).

*Acest capitol te va ajuta să începi să înțelegi de ce se cutremură Pământul, cum se formează valurile și multe altele asemenea, pregătindu-te astfel să contribui și tu la controlul mișcărilor de legănare, numite generic **oscilații și unde mecanice**.*

A. Oscilatorul mecanic

Dacă arunci o piatră în apa liniștită a unui lac, vei stârni mici valuri la suprafața apei, asemenea valurilor mării (fig. 1.5). În curând, toată suprafața apei este în mișcare.



Fig. 1.5. Mici valuri produse la suprafața apei de căderea unei pietre.

O frunză care plutește pe suprafața apei se mișcă repetat în sus și în jos, deasupra și sub nivelul inițial al apei liniștite.

Numim **oscilație mecanică** o mișcare repetată de o parte și de cealaltă a unei poziții de echilibru.

Apa dintr-o mică porțiune de la suprafața lacului și frunza efectuează oscilații mecanice.

Numim **oscilator mecanic** corpul care efectuează o mișcare oscilatorie.



2. Notează alte exemple de oscilatori mecanici pe care i-ai întâlnit. Discută aceste exemple cu colegii tăi.

A.1. Fenomene periodice și oscilații mecanice

Existența noastră este reglată de fenomene care se repetă regulat: succesiunea zilelor, a săptămânilor, a lunilor, a anotimpurilor, a anilor. Pe parcursul unei zile ne reglăm activitățile privind din când în când ceasul: indicațiile acestuia se modifică la fiecare secundă.

Numim **fenomen periodic** un fenomen care se repetă la intervale egale de timp. Intervalul de timp la care se repetă un fenomen periodic este **perioada** acestuia.

Unitatea de măsură pentru perioadă este, în Sistemul Internațional de unități, secunda (simbol **s**).



3. Cât este perioada după care se repetă trecerea minutarului unui ceas printr-o anumită poziție de pe cadran? Exprimă această perioadă în secunde.

Oscilațiile mecanice au fost primele fenomene pe care s-a bazat funcționarea ceasurilor. Un astfel de ceas este cel cu pendul: un corp dens, atârnat la capătul unei tije, se balansează periodic de-o parte și de cealaltă a poziției verticale de echilibru (fig. 1.6).



Fig. 1.6. Ceas cu pendul.

Un mecanism ingenios menține în mișcare pendulul pe parcursul mai multor zile, afișând în permanență minutele și orele. În ceasurile moderne (electronice), în loc să mișcăm încoace și-ncolo corpuri macroscopice, folosim oscilatori electrici, în care electronii sunt cei care oscilează.

Electronii sunt cele mai ușoare particule (au masa aproximativ 10^{-30} kg). Electronul este de zeci de miliarde de miliarde de ori mai ușor decât corpul care balansează într-un ceas cu pendul! Fiind atât de puțin masivi, electronii pot fi puși fără dificultate să oscileze de miliarde de ori în fiecare secundă, așa cum se întâmplă într-un calculator personal obișnuit sau într-un telefon mobil.



1. Construiește un pendul din lucruri aflate la îndemână și măsoară perioada de oscilație a acestuia.

Pasul 1. Perforează cu vârful unui compas centrul capacului unei cutii cilindrice de plastic, cum sunt cele în care se păstrează filmele fotografice sau tabletele (fig. 1.7).



Fig. 1.7. Pendul realizat din lucruri la îndemână.

Trece prin orificiu capătul unui fir de ață lung de aproximativ 1,5 m. Leagă capătul firului trecut prin capac de centrul unei bucăți de sârmă (dintr-o agrafă de birou) sau o jumătate de băț de chibrit. Astfel firul nu mai poate ieși prin capac. Pune în cutie câteva monede vechi de 100 de lei (care nu mai au astăzi nici o utilizare) sau câteva piulițe mari. Fixează capacul și pendulul este gata!

Pasul 2. Fixează la marginea de sus a tablei sau a unei uși o clemă cu șurub (menghină de mână) și leagă de tija clemei capătul liber al firului pendulului (fig. 1.8.).

Atenție! Dacă folosești o ușă, asigură-te că pendulul este atârnat pe partea ușii care se împinge, pentru ca să nu te lovească cineva care ar intra pe ușă în timp ce lucrezi!

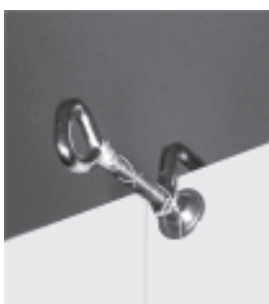


Fig. 1.8. Atârnarea pendulului.

Pendulul atârna cu firul întins vertical. Aceasta este poziția de echilibru a pendulului (fig. 1.9).



Figura 1.9. Poziția de echilibru a pendulului.

Pasul 3. Trage pendulul lateral astfel încât firul să rămână mereu întins și paralel cu tabla (sau cu ușa) și eliberează-l (fig. 1.10).



Fig. 1.10. Pornirea pendulului.

Observă oscilațiile acestuia de o parte și de cealaltă a verticalei.

Pasul 4. Măsoară, folosind un ceas cu secundar, durata a zece oscilații complete ale pendulului (o oscilație completă este o mișcare dus-întors, după care pendulul ajunge din nou aproape în aceeași poziție și mișcarea se repetă aproape identic).

La www.fizica.ro ai acces la o aplicație pentru calculator care îți permite să măsoari intervale de timp cu precizia de o miime de secundă!

Pasul 5. Calculează perioada de oscilație a pendulului folosind rezultatele măsurătorilor tale.



4. De ce oare oscilează pendulul?

Pendulul este în echilibru în poziția în care rezultanta forțelor la care este supus este nulă. Aceasta se întâmplă atunci când firul este întins vertical: greutatea corpului pendulului și tensiunea în fir au orientări opuse și mărimi egale (fig. 1.11).



Fig. 1.11. Forțele care acționează asupra corpului pendulului în poziția de echilibru: rezultanta acestor forțe este nulă.

Când pendulul este tras și eliberat dintr-o poziție în care firul este înclinat, rezultanta forțelor la care este supus corpul pendulului este nulă și îndreptată aproximativ spre poziția de echilibru (fig. 1.12).

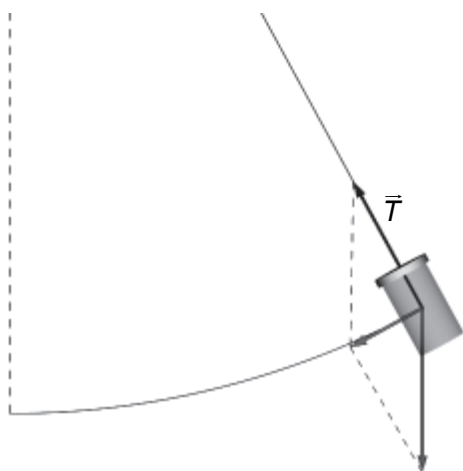


Fig. 1.12. Forțele care acționează asupra corpului pendulului într-o poziție în care firul este înclinat: rezultanta forțelor este nulă.

Astfel, pendulul accelerează spre poziția de echilibru, câștigând viteză. Când ajunge în poziția de echilibru, nu se poate opri brusc acolo: datorită inerției, își va continua mișcarea dincolo de poziția de echilibru.

Ajuns dincolo de poziția de echilibru, rezultanta forțelor la care este supus corpul pendulului este iarăși

nenulă și îndreptată aproximativ tot spre poziția de echilibru (fig. 1.13).

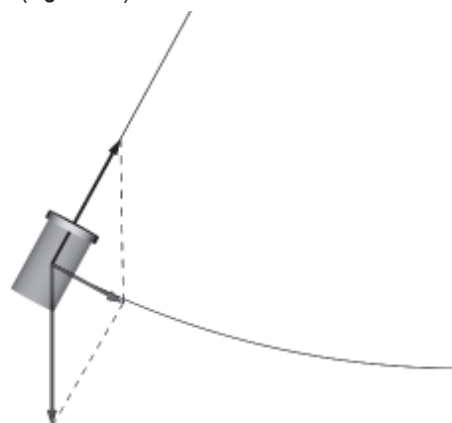


Fig. 1.13. Forțele care acționează asupra corpului pendulului dincolo de poziția de echilibru: rezultanta forțelor este iarăși nulă.

Astfel, pendulul pierde treptat din viteza pe care o avea și, în cele din urmă, ajunge în repaus, firul fiind înclinat la maximum. De aici începe să câștige viteză înspre poziția de echilibru, trece prin aceasta și se oprește foarte aproape de locul din care a plecat. De aici încolo mișcarea pendulului se repetă aproape identic.

O parte din energia pendulului este transferată treptat particulelor de aer întâlnite în cale. Oscilațiile pendulului sunt din ce în ce mai „mărunte” și, în cele din urmă pendulul se „liniștește” în poziția de echilibru – toată energia sa de oscilație a fost transferată mediului.

Toți oscilatorii mecanici sunt caracterizați de poziții de *echilibru stabil*. Odată scos din poziția de echilibru, oscilatorul este supus unei forțe rezultante nenule care încearcă să-l aducă în poziția de echilibru (*forța de revenire*). Inerția oscilatorului și viteza dobândită în procesul de revenire, fac ca oscilatorul să treacă dincolo de poziția de echilibru, fiind supus astfel unei forțe de revenire care încearcă din nou să-l aducă în poziția de echilibru. Până când energia oscilatorului nu este transferată în întregime mediului, acesta oscilează, încercând mereu să-și regăsească echilibrul.



5. Modifică parametrii pendulului (masa, lungimea firului, unghiul de la care începe să oscileze) și încearcă să obții un pendul care să „bată” secunda (adică trece dintr-o parte în cealaltă la fiecare secundă). Prezintă în scris cum ai procedat, care sunt parametrii care influențează semnificativ perioada de oscilație a pendulului și care parametri au o influență nesemnificativă.

A.2. Mărimi caracteristice mișcării oscilatorii

Un cunoscător al unui domeniu este capabil să identifice o mulțime de caracteristici ale unui subiect aparținând acelui domeniu, recunoscând importanța fiecărei caracteristici în parte. Un cunoscător al automobilelor va fi interesat nu doar de prețul acestora, ci și de tipul, puterea și turația motorului, consumul specific, tipul de tracțiune, ținuta de drum, tipul anvelopelor, și multe altele asemenea. Fiecare dintre aceste caracteristici are importanța sa în performanța globală a unui automobil.

Un cunoscător al mișcărilor oscilatorii va fi de asemenea capabil să identifice o mulțime de caracteristici ale acestor mișcări, recunoscând importanța fiecărei caracteristici în parte.



2. Construiește un pendul cu fir elastic și observă mișcarea acestuia.

Pasul 1. Înlocuiește firul de ață al pendulului pe care l-ai realizat la activitatea experimentală 1 cu un fir elastic subțire, extras dintr-o bandă elastică (cum sunt cele folosite la îmbrăcăminte). Ai realizat astfel un pendul cu fir elastic (fig. 1.14).



Fig. 1.14. Pendul cu fir elastic.

Poziția sa de echilibru este cu firul elastic alungit vertical. Alungirea firului elastic în poziția de echilibru depinde de greutatea corpului atârnat de acesta.

Pasul 2. Trage de corpul pendulului, vertical în jos și eliberează-l. Observă mișcarea pendulului și măsoară-i perioada de oscilație.

Perioada unei mișcări oscilatorii este o caracteristică importantă a acesteia. Uneori, suntem interesați să realizăm oscilatori având o anumită perioadă de oscilație.



6. Încearcă să faci ca oscilațiile pendulului cu fir elastic pe care l-ai realizat la activitatea experimentală precedentă să aibă perioada 1 s.

Când oscilațiile sunt rapide, având perioada o fracțiune dintr-o secundă, preferăm să utilizăm o altă caracteristică – *frecvența* oscilației.

Numim *frecvența* unei oscilații numărul de oscilații complete efectuate în fiecare secundă.

Cu cât este mai scurtă perioada de oscilație, cu atât numărul de oscilații efectuate în fiecare secundă este mai mare. Așadar, relația dintre frecvența și perioada unei oscilații este de inversă proporționalitate:

$$\text{frecvența} = \frac{1}{\text{perioadă}}$$

Unitatea de măsură pentru frecvență în Sistemul Internațional este s^{-1} , unitate numită hertz (simbol Hz). Numele unității a fost dat în onoarea germanului Heinrich Hertz, cel care a demonstrat experimental, pentru prima dată, existența undelor electromagnetice (unde radio). Vei întâlni acest subiect în capitolul al doilea al acestei cărți, sau ori de câte ori ascuți radioul (fiecare post de radio are frecvența sa)!



7. Un calculator personal are un microprocesor care funcționează la frecvența 2200 MHz. Într-un ciclu complet, microprocesorul calculatorului poate efectua un calcul tipic (o adunare a două numere, de exemplu). Cât durează un ciclu complet al acestui microprocesor?

Sucesiunea de imagini din figura 1.15 reprezintă pozițiile succesive ale unui pendul cu fir elastic, fotografiile fiind realizate cu frecvența de 15 Hz.

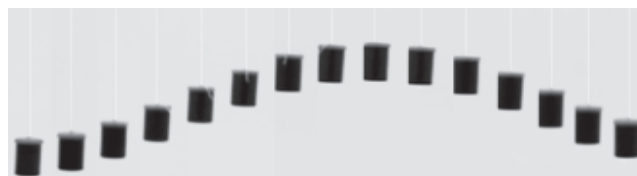


Fig. 1.15. Pozițiile succesive ale unui pendul cu fir elastic, fotografiate cu frecvența 15 Hz.

Și tu poți realiza astfel de fotografii, folosind un aparat fotografic digital care are opțiunea *multiburst* (fotografii multiple, în succesiune rapidă). Găsești la www.fizica.ro instrucțiuni de detaliu privind realizarea unor astfel de fotografii, precum și programe de calculator pentru „depachetarea” și analizarea acestui tip de fotografii.

Pe parcursul unei oscilații mecanice, poziția oscilatorului se modifică de la o clipă la alta, de o parte și de cealaltă a poziției de echilibru.

Numim *elongația* unei oscilații coordonata oscilatorului față de poziția de echilibru.

Fiind o coordonată față de poziția de echilibru, elongația este pozitivă într-o parte a poziției de echilibru și negativă în cealaltă parte, semnul fiind dat de alegerea axei de coordonate.

Tabelul 1 descrie modificarea în timp a elongației în cazul prezentat în figura 1.15, axa fiind aleasă vertical în sus, cu originea în dreptul capacului cutiei, în poziția de echilibru.

Tabelul 1. Modificarea în timp a elongației pendulului cu fir elastic.

| Numărul fotografiei | Timpul (s) | Elongația (cm) |
|---------------------|------------|----------------|
| 0 | 0 | -6,7 |
| 1 | 1/15 | -5,8 |
| 2 | 2/15 | -4,1 |
| 3 | 3/15 | -1,8 |
| 4 | 4/15 | 0,7 |
| 5 | 5/15 | 3,0 |
| 6 | 6/15 | 5,1 |
| 7 | 7/15 | 6,5 |
| 8 | 8/15 | 6,8 |
| 9 | 9/15 | 6,2 |
| 10 | 10/15 | 4,8 |
| 11 | 11/15 | 2,7 |
| 12 | 12/15 | 0,2 |
| 13 | 13/15 | -1,9 |
| 14 | 14/15 | -4,0 |
| 15 | 15/15 | -5,0 |

Pe parcursul oscilațiilor, oscilatorul ajunge, din când în când, la cea mai mare depărtare de poziția de echilibru.

Numim *amplitudinea* unei oscilații valoarea absolută a elongației maxime a acelei oscilații:

$$\text{amplitudinea} = | \text{elongația}_{\text{max}} |$$

Amplitudinea unei oscilații are aceleași unități de măsură ca elongația acelei oscilații (metri, în cazul pendulului cu fir elastic).



8. Cât este amplitudinea oscilației descrisă în tabelul 1? Dar perioada acesteia?

Este dificil să interpretezi multe date experimentale numerice, cum sunt cele din tabelul 1. Este mult mai convenabil să interpretezi reprezentarea grafică a aceluiași date (fig. 1.16).

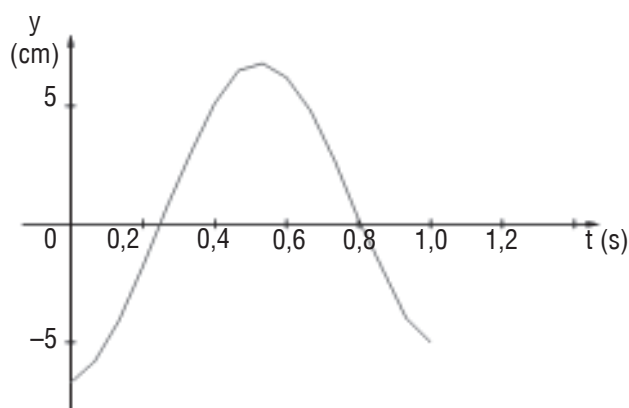


Fig. 1.16. Reprezentarea grafică a elongației pendulului cu fir elastic.

Perioada, frecvența, elongația și amplitudinea sunt câteva caracteristici importante ale oricărei mișcări oscilatorii. Vei utiliza aceste caracteristici ori de câte ori vei descrie sau vei analiza o mișcare oscilatorie.

A.3. Amortizarea oscilațiilor

În cazul pendulului cu fir elastic pe care l-ai realizat, amplitudinea oscilațiilor acestuia scade semnificativ de la o oscilație la alta. Graficul din figura 1.17 prezintă primele oscilații ale unui pendul cu fir elastic.

Și tu poți colecta astfel de date, folosind un mouse și un program pentru calculator. Găsești toate indicațiile necesare la www.fizica.ro.

Din analiza graficului din figura 1.17 reiese clar scăderea treptată a amplitudinii oscilațiilor. Acestea nu mai sunt riguros periodice: după o oscilație, pendulul nu revine în poziția de la începutul oscilației.

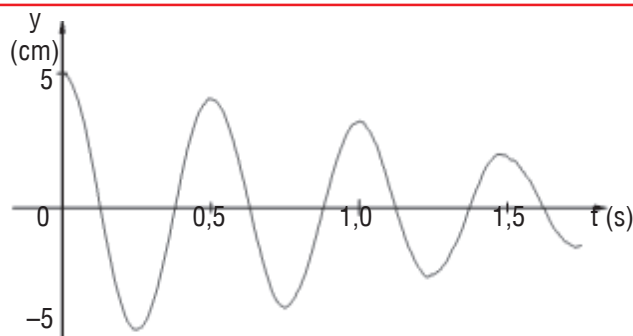


Fig. 1.17. Primele oscilații ale unui pendul cu fir elastic.

Numim *oscilație amortizată* oscilația a cărei amplitudine scade în timp.

Amortizarea oscilațiilor se datorează transferului inevitabil de energie mediului în care oscilatorul se mișcă. Ea este transferată mediului sub formă de căldură. Corpul pendulului întâlnește în drumul său moleculele aerului, transferându-le acestora o parte a energiei de oscilație. În consecință, oscilațiile devin din ce în ce mai puțin ample și, în cele din urmă, pendulul se oprește. Energia pe care o avea la începutul mișcării a fost transferată integral particulelor mediului.

Pendulului elastic din figura 1.18 i s-a atașat un CD pentru a mări suprafața de contact cu aerul în timpul oscilațiilor.



Fig. 1.18. Pendul cu fir elastic, căruia i s-a atașat un CD.

Mișcându-se în sus și în jos, pendulul cu CD orizontal întâlnește mult mai multe molecule de aer și transferă mai rapid energie mediului. Oscilațiile acestuia sunt mai puternic amortizate (fig. 1.19).

Uneori suntem interesați în stingerea cât mai rapidă a oscilațiilor (ca în cazul amortizoarelor unui automobil).

? 9. Cum ai proceda pentru a amortiza cât mai mult mișcarea pendulului cu fir elastic (mișcarea acestuia să înceteze chiar înainte de a trece de poziția de echilibru)?

Ai putea mări și mai mult suprafața de contact cu aerul, atașând, de exemplu, un disc de pick-up. Sau ai putea

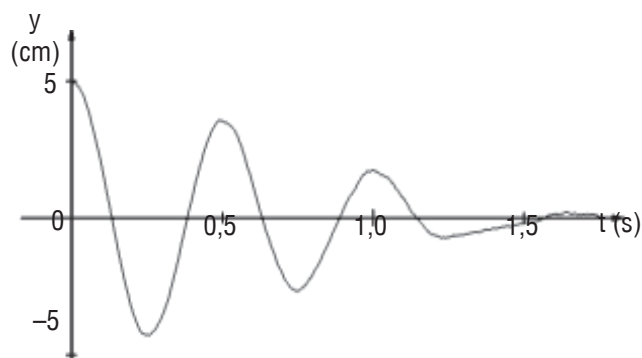


Fig. 1.19. Reprezentarea grafică a oscilațiilor pendulului cu CD atașat.

păstra CD-ul, dar ai pune pendulul să se miște într-un mediu mult mai dens, cum este apa (fig. 1.20).



Fig. 1.20. Pendul cu fir elastic și CD, pus să oscileze în apă.

Pendulul va întâlni de sute de ori mai multe molecule decât în cazul în care s-ar fi mișcat în aer. În consecință, mișcarea pendulului va fi mult mai puternic amortizată (fig. 1.21).

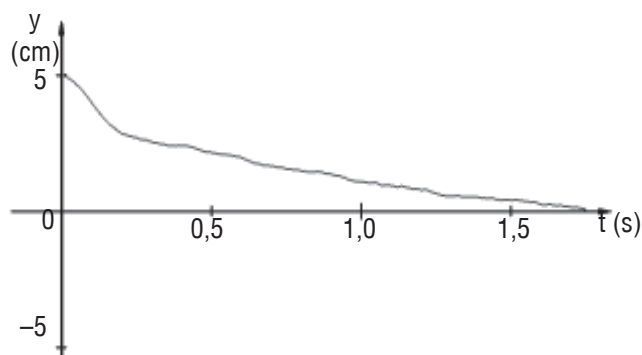


Fig. 1.21. Reprezentarea grafică a mișcării pendulului în apă.