Silviu-Constantin SĂRARU

Silviu-Constantin SĂRARU

FIZICĂ - curs introductiv

mecanică newtoniană • fizică moleculară şi căldură
electricitate şi magnetism • optică geometrică

EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2021

Referenți științifici

Conf.univ.dr. Iulian PETRIȘOR
Lect.univ.dr. Iulian NEGRU

Descrierea CIP a Bibliotecii Naţionale a României
SĂRARU, SILVIU-CONSTANTIN
Fizică : curs introductiv : mecanică newtoniană, fizică moleculară şi căldură, electricitate şi magnetism, optică geometrică / Silviu-Constantin Săraru. - Craiova : Universitaria, 2021
Conţine bibliografie
ISBN 978-606-14-1759-9

53

Cuvânt înainte

Această lucrare se adresează în principal studenţilor din anul I de la programele de studiu de licenţă organizate de Departamentul de Fizică care doresc să îşi completeze sau ridice nivelul cunoştinţelor de Fizică din liceu care să le permită abordarea disciplinelor fundamentale de Fizică clasică. Lucrarea este structurată în cinci capitole şi o anexă. În primul capitol sunt introduse două concepte importante din Fizică, conceptul de model şi respectiv cel de teorie. Următoarele patru capitole sunt dedicate prezentării unor elemente introductive, aferente a patru discipline fundamentale în studiul Fizicii: Mecanică newtoniană, Fizică moleculară şi căldură, Electricitate şi magnetism şi Optică. În anexă sunt prezentate câteva noţiuni de algebră vectorială. Baza lucrării o constituie notiţele de curs pentru disciplina *Modele fundamentale în fizica clasică* începând cu anul 2015, de la ciclul de studii universitare de licenţă Fizică informatică si Fizică medicală de la Departamentul de Fizică din cadrul Facultăţii de Ştiinţe a Universităţii din Craiova.

Doresc să mulţumesc colegului dr. Iulian Negru pentru recomandări şi discuţiile utile pe care le-am avut în vara acestui an.

Craiova,
septembrie 2021

Silviu-Constantin Săraru

Capitolul 1

Noţiunea de model şi teorie

Problema principală a Fizicii ca ştiinţă fundamentală a naturii este aceea de a descrie şi de a explica fenomenele şi procesele fizice care au loc în natură. Procesele şi fenomenele fizice întâlnite în natură prezintă o foarte mare complexitate şi diversitate. Din acest motiv abordarea directă a acestor fenomene şi procese este foarte dificilă sau chiar imposibilă. Strategia de abordare în cazul acestora recurge la noţiunea de model. Modelul reprezintă într-un anumit sens idealizarea unei situaţii fizice date, mai precis construcţia unui model implică neglijarea cu bună ştiinţă a anumitor caracteristici ale procesului sau fenomenului considerat. Caracteristicile care se neglijează nu se aleg la întâmplare. Alegerea caracteristicilor care se neglijează se realizează în funcţie de scopul propus pentru care modelul a fost construit. Astfel, în anumite situaţii corespunzătoare unui scop pot fi relevante anumite caracteristici care mai apoi pot deveni irelevante în cazul altui scop propus. Importanţa construcţiei modelelor este reprezentată de faptul ca în general modelele pot fi rezolvate exact sau oferă o cantitate de informaţii suficientă despre fenomenul sau procesul studiat care constituie un punct de start adecvat pentru o abordare mai complexă.

Unul dintre modelele utilizate în primul capitol al cursului este reprezentat de punctul material. Punctul material reprezintă modelul unui corp pentru care se neglijează extinderea spaţială. Punctul material este caracterizat numai prin masa sa. O primă implicaţie a neglijării extinderii spaţiale este reprezentată de neglijarea rotaţiilor.

Un alt exemplu de model utilizat în mecanica newtoniană este reprezentat de particula liberă. Particula liberă reprezintă modelul unui corp pentru care neglijăm extinderea spaţiala şi efectul forţelor care acţionează asupra sa. Particula liberă reprezintă de asemenea o idealizare deoarece este bine cunoscut faptul că asupra tuturor corpurilor din natură acţionează forţe.

Considerând mai multe puncte materiale construim un model numit sistem mecanic. Sistemul mecanic este un sistem de puncte materiale care nu sunt independente, acestea fiind supuse unor interacţii/legături reciproce, astfel încât formează un întreg mai mult sau puţin deformabil.

Un alt concept important în Fizică este reprezentat de teorie. Teoria reprezintă un asamblu sistematic de idei, de ipoteze, de legi şi concepte care descriu şi explică fapte sau evenimente privind anumite domenii sau categorii de fenomene. O teorie este necesară în scopul obţinerii unor predicţii ulterioare asupra fenomenelor şi proceselor fizice. O altă latură foarte importantă în descrierea fenomenelor şi proceselor fizice este latura experimentală. Astfel, testul că o teorie descrie suficient de corect anumite fenomene este confirmat de verificarea experimentală a acesteia. Confirmarea experimentală a unei teorii sporeşte încrederea în aceea teorie, în timp ce infirmarea experimentală deschide premisele dezvoltării unei alte teorii. Fiecare dintre teoriile fizice sunt teorii cu caracter ipotetico-deductiv. Astfel de teorii au ca punct de start un sistem de postulate sau principii cu ajutorul cărora putem obţine un sistem de consecinţe logice. În cadrul fiecărei teorii apar legi şi interpretări caracteristice acesteia. Pentru a fi clare şi cât mai precise, legile Fizicii sunt exprimate cu ajutorul unor formule matematice (relaţii, ecuaţii etc.). Utilizarea formulelor elimină în bună măsură ambiguităţile generate de sensul multiplu al expresiilor. Astfel, rezultă necesitatea utilizării matematicii în Fizică, însă pentru a nu pierde semnificaţiile fizice ale obiectelor matematice trebuie evitată o matematizare excesivă. Un exemplu de teorie este cea dezvoltată de I. Newton cu privire la descrierea mişcării corpurilor [1] sau teoria dezvoltată de J.C. Maxwell în vederea descrierii interacţiei electromagnetice la nivel clasic [2].

Capitolul 2

Noţiuni de mecanică newtoniană

2.1 Cinematica punctului material

2.1.1 Descrierea poziţiei punctului material

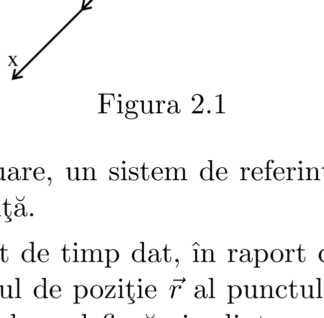

Figura 2.1

Un sistem de referinţă spaţial este format din trei axe ortogonale două câte două şi concurente într-un punct O numit originea sistemului de referinţă spaţial. Un sistem de referinţă spaţial împreună cu o riglă permite determinarea poziţiei oricărui punct din spaţiu. Un sistem de referinţă spaţial împreună cu o riglă şi un ceasornic reprezintă un sistem de referinţă spaţio-temporal şi permite pe lângă determinarea poziţiei unui punct în spaţiu şi localizarea temporală instantanee. In continuare, un sistem de referinţă spaţio-temporal îl vom numi sistem de referinţă.

Poziţia unui punct material la un moment de timp dat, în raport cu un sistem de referinţă este descrisă de vectorul de poziţie $\vec{r}$ al punctului material faţă de acel sistem de referinţă. In lungul fiecăreia dintre axe construim câte un vector cu modulul egal cu unitatea numit versor. Prin convenţie se alege orientarea din figura 2.1. In mod echivalent, poziţia punctului material faţă de sistemul de referinţă considerat poate fi descrisă prin intermediul coordonatelor carteziene $\{x, y, z\}$ ale punctului material faţă de acel sistem de referinţă

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}. \tag{2.1}$$

Pentru a descrie poziţia particulei la orice moment de timp este necesar să specificăm trei parametri. Astfel, poziţia punctului material este descrisă la orice moment de timp prin coordonatele sale carteziene $\{x, y, z\}$ care reprezintă proiecţiile vectorului de poziţie $\vec{r}$ pe axele Ox, Oy şi respectiv Oz.

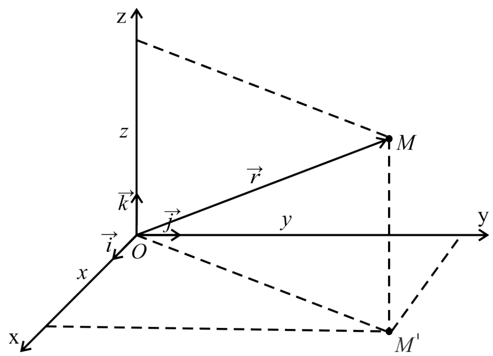

Figura 2.2

Numărul parametrilor independenţi care permit descrierea minimală şi completă a poziţiei unui sistem de puncte materiale reprezintă numărul gradelor fizice de libertate ale sistemului respectiv. Astfel, particula liberă are trei grade de libertate.

Adesea, pentru abordarea diferitelor probleme din Fizică, este util să lucrăm cu sisteme de coordonate diferite de cel cartezian. In continuare, vom introduce sistemele de coordonate sferice, cilindrice şi respectiv polare. Pentru a introduce aceste sisteme de coordonate vom apela la o imagine geometrică simplă, relativ la localizarea în spaţiul tridimensional a unui punct material M.

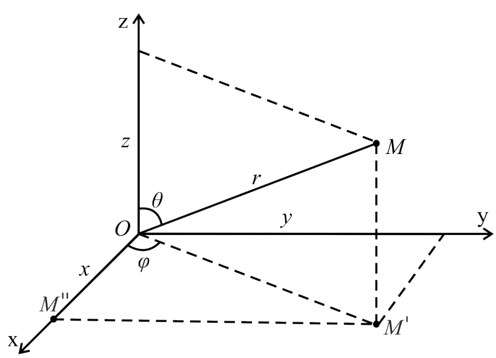

Figura 2.3

Construim segmentul de dreaptă OM care uneşte originea sistemului de referinţă şi poziţia punctului material la un anumit moment de timp. Lungimea acestui segment este egală cu modulul vectorului de poziţie unde $r \equiv |\vec{r}| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$. Proiectăm segmentul OM în planul xOy. Notăm unghiul dintre axa Oz şi segmentul de dreaptă OM cu θ iar unghiul dintre proiecţia segmentului de dreaptă OM în planul xOy şi axa Ox cu φ. Cu aceste notaţii putem descrie poziţia punctului material prin intermediul coordonatelor $\{r, \theta, \varphi\}$.

Cunoaşterea coordonatelor $\{r, \theta, \varphi\}$ la un anumit moment de timp implică cunoaşterea coordonatelor $\{x, y, z\}$ la acelaşi moment de timp. In cele ce urmează, vom obţine relaţiile care dau legătura dintre coordonatele carteziene $\{x, y, z\}$ şi coordonatele $\{r, \theta, \varphi\}$. Din triunghiul OMM' determinăm relaţiile

$$z = r\cos\theta, \tag{2.2}$$
$$OM' = r\sin\theta, \tag{2.3}$$

iar din triunghiul $OM''M'$

$$x = OM'\cos\varphi, \tag{2.4}$$
$$y = OM'\sin\varphi. \tag{2.5}$$

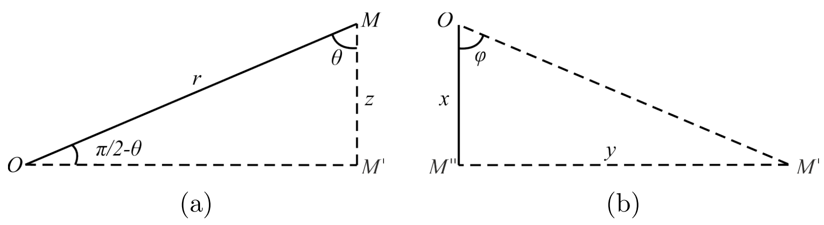

Figura 2.4

Inlocuind (2.3) în (2.4)–(2.5) găsim că legătura dintre coordonatele carteziene $\{x, y, z\}$ şi coordonatele $\{r, \theta, \varphi\}$ este dată de relaţiile

$$x = r\sin\theta\cos\varphi, \tag{2.6}$$
$$y = r\sin\theta\sin\varphi, \tag{2.7}$$
$$z = r\cos\theta. \tag{2.8}$$

Relaţiile (2.6)–(2.8) arată că dacă la un anumit moment de timp cunoaştem coordonatele $\{r, \theta, \varphi\}$ atunci cunoaştem coordonatele carteziene $\{x, y, z\}$ la acelaşi moment de timp. Coordonatele $\{r, \theta, \varphi\}$ se numesc coordonate sferice.

In cele ce urmează vom considera un alt sistem de coordonate şi anume coordonatele cilindrice. Pentru a exprima coordonatele carteziene $\{x, y, z\}$ în funcţie de coordonatele cilindrice vom utiliza din nou imaginea geometrică relativ la localizarea în spaţiul tridimensional a unui punct material M la un anumit moment de timp.

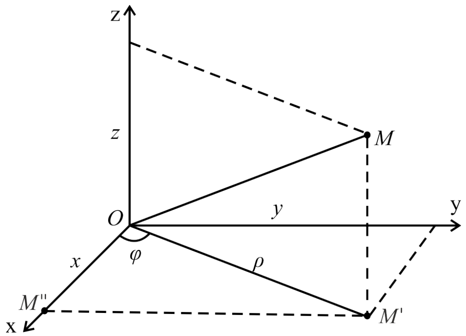

Figura 2.5

Construim segmentul de dreaptă care uneşte originea sistemului de referinţă şi poziţia punctului material la un anumit moment de timp. Proiectăm segmentul OM în planul xOy. Notăm unghiul dintre proiecţia segmentului de dreaptă OM în planul xOy şi axa Ox cu φ. Din triunghiul dreptunghic $OM''M'$ găsim

$$x = OM' \cos\varphi, \tag{2.9}$$

$$y = OM' \sin\varphi. \tag{2.10}$$

Notăm lungimea segmentului OM' cu ρ pentru care prin construcţie avem că $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$. In acest moment putem exprima coordonatele carteziene $\{x, y, z\}$ în funcţie de coordonatele $\{\rho, \varphi, z\}$ prin intermediul relaţiilor

$$x = \rho \cos\varphi, \tag{2.11}$$

$$y = \rho \sin\varphi, \tag{2.12}$$

$$z = z. \tag{2.13}$$

Coordonatele $\{\rho, \varphi, z\}$ constituie coordonatele cilindrice. Coordonata z care apare în coordonatele cilindrice reprezintă chiar coordonata carteziană. Astfel cunoaşterea coordonatelor cilindrice $\{\rho, \varphi, z\}$ la un anumit moment de timp implică imediat cunoaşterea coorodonatelor carteziene $\{x, y, z\}$ la acel moment de timp prin intermediul relaţiilor (2.11)–(2.13).

Vom aborda în continuare problema descrierii poziţiei unui punct material în plan. Alegem pentru simplitate planul xOy. Poziţia unui punct material M la un anumit moment de timp poate fi descrisă prin intermediul coordonatelor carteziene $\{x, y\}$ sau prin intermediul coordonatelor $\{\rho, \varphi\}$, unde $\rho = \sqrt{x^2 + y^2}$ iar φ este unghiul dintre vectorul de poziţie şi axa Ox.

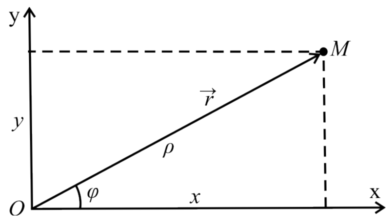

Figura 2.6

Relaţiile care dau legătura dintre cele două seturi de coordonate sunt

$$x = \rho \cos \varphi, \tag{2.14}$$

$$y = \rho \sin \varphi. \tag{2.15}$$

Coordonatele $\{\rho, \varphi\}$ se numesc coordonate polare. Cunoaşterea coordonatelor polare $\{\rho, \varphi\}$ la un anumit moment de timp ne conduce prin intermediul relaţiilor (2.14)–(2.15) la cunoaşterea coorodonatelor carteziene $\{x, y\}$ la acelaşi moment de timp.

Analizând relaţiile (2.11)–(2.13) găsim că setul de coordonate cilindrice nu reprezintă altceva decât o combinaţie dintre coordonatele polare şi coordonatele carteziene.

2.1.2 Mişcarea unidimensională

In cursul evoluţiei particulei, coordonatele carteziene ale acesteia au valori diferite la momente de timp diferite, astfel că sunt funcţii de timp

$$x = x\,(t)\,, \quad y = y\,(t)\,, \quad z = z\,(t)\,. \tag{2.16}$$

Presupunem că funcţiile care depind de timp din membrul drept al relaţiilor anterioare sunt derivabile cel puţin de ordinul doi în raport cu parametrul de evoluţie, în cazul nostru timpul.

In continuare considerăm mişcarea unidimensională a unei particule în lungul axei Ox a sistemului de referinţă.

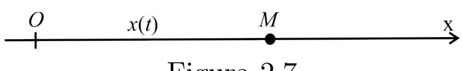

Figura 2.7

Faptul că particula are o mişcare unidimensională în lungul axei Ox implică

$$y(t) = 0, \quad z(t) = 0, \tag{2.17}$$

la orice moment de timp. Astfel, mişcarea punctului material faţă de sistemul de referinţă este descrisă prin legea de mişcare

$$x = x(t). \tag{2.18}$$

Fie t_1 şi t_2 două momente de timp arbitrare dar fixate pentru care valorile coordonatei x sunt $x(t_1)$ şi respectiv $x(t_2)$. Definim viteza medie a particulei în intervalul de timp $[t_1, t_2]$ prin relaţia

$$v_m(t_1, t_2) = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1}. \tag{2.19}$$

Viteza medie nu oferă suficientă informaţie despre evoluţia particulei în intervalul de timp considerat. Informaţia devine relevantă atunci când lungimea intervalului de timp tinde la zero. Introducem viteza momentană sau instantanee la momentul de timp t_1 prin relaţia

$$v(t_1) = \lim_{t_2 \to t_1} v_m(t_1, t_2). \tag{2.20}$$

Renotând t_2 cu t relaţia (2.20) devine

$$v(t_1) = \lim_{t \to t_1} \frac{x(t) - x(t_1)}{t - t_1}. \tag{2.21}$$

Membrul drept al relaţiei (2.21) reprezintă derivata funcţiei $x(t)$ calculată la momentul de timp t_1

$$v(t_1) = \frac{dx}{dt}(t_1) \equiv \dot{x}(t_1). \tag{2.22}$$

Momentul t_1 fiind ales arbitrar rezultă că relaţia (2.22) are loc la orice moment de timp

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt}. \tag{2.23}$$

Relaţia anterioară stabileşte legătura dintre funcţiile $v(t)$ si $x(t)$. Relaţia

$$v = v(t) \tag{2.24}$$

se numeşte legea vitezei.