Eugen-Mihăiţă CIOROIANU
(coordonator)
Mihaela-Tinca MIAUTĂ
Silviu-Constantin SĂRARU

MECANICĂ NEWTONIANĂ

LUCRĂRI DE LABORATOR

Eugen-Mihăiţă CIOROIANU
(coordonator)
Mihaela-Tinca MIAUTĂ
Silviu-Constantin SĂRARU

MECANICĂ NEWTONIANĂ

LUCRĂRI DE LABORATOR

EDITURA UNIVERSITARIA
Craiova, 2013

Referenți:
Prof. univ. dr. Constantin Bizdadea
Lector univ. dr. Iulian Negru

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

CIOROIANU, EUGEN MIHĂIȚĂ

Mecanică newtoniană : lucrări de laborator / Eugen-Mihăiță Cioroianu (coord.), Mihaela-Tinca Miaută, Silviu-Constantin Săraru. - Craiova : Universitaria, 2013

ISBN 978-606-14-0786-6

I. Miaută, Mihaela Tinca
II. Săraru, Silviu-Constantin

53

Cuvânt înainte

Activitățile de laborator prezentate în acest material se adresează în principal studenților din anul I de la programele de studiu de licență organizate de Departamentul de Fizică şi acelora care doresc să îşi împrospăteze sau îmbogățească cunoştințele de Mecanică newtoniană. Prin lucrările de laborator propuse, autorii urmăresc sprijinirea şi încurajarea studenților în construirea unei baze solide de concepte şi noțiuni precum şi înlăturarea ideii preconcepute că Mecanica newtoniană constituie un set de ecuații şi enunțuri.

Metodele moderne de predare-învățare impun o abordare nouă a activităților de laborator menită să conducă la o gândire conceptuală şi o îmbinare cât mai bună a teoriei cu practica. Lucrarea conține 15 teme în cadrul cărora sunt propuse 26 de activități de laborator aferente disciplinei Mecanică newtoniană. Fiecare temă abordată este structurată în două parți. În prima parte sunt prezentate succint noțiunile teoretice necesare înțelegerii şi implicit bunei desfăşurări a activităților practice de laborator descrise în cea de-a doua parte. Noțiunile teoretice prezentate sunt adaptate nivelului de cunoştințe matematice al studenților din anul I şi urmează linia cursului. Mai exact, există 4 teme de cinematică în cadrul cărora sunt propuse 7 activități de laborator şi respectiv 11 teme de dinamică pentru care sunt propuse 19 activități de laborator. Scopul activităților propuse este de a evidenția cât mai clar relațiile existente între diferite mărimi şi identificarea factorilor care le influențează. Activitățile de laborator sunt interactive oferind studenților posibilitatea de a lucra în echipă. De asemenea, activitățile de laborator le oferă acestora un control sporit şi o administrare a procesului de învățare prin asumarea responsabilității cu privire la conținutul învățării.

Autorii mulțumesc în mod deosebit prof. dr. C. Bizdadea şi lector dr. I. Negru pentru comentariile şi suportul acordat în cursul elaborării acestui material.

Craiova, 10 noiembrie, 2013

E. M. Cioroianu

M. T. Miaută

S. C. Săraru

1. Studiul mişcării rectilinii

Noțiuni teoretice

Poziția unei particule (punct material) la un moment de timp dat, în raport cu un sistem de referință este descrisă de vectorul de poziție $\vec{r}$ al particulei față de acel sistem de referință.

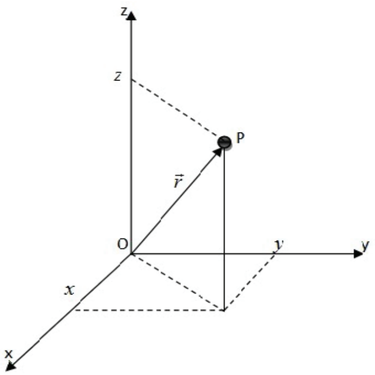

Figura 1.1

În mod echivalent, poziția punctului material față de sistemul de referință considerat poate fi descrisă prin intermediul coordonatelor carteziene x, y, z ale punctului material față de acel sistem de referință

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}. \tag{1.1}$$

În cursul evoluției particulei, coordonatele carteziene ale acesteia au valori diferite la momente de timp diferite, astfel că sunt funcții de timp. Exprimăm dependența de timp a coordonatelor carteziene x, y, z prin relațiile

$$x = x(t), y = y(t), z = z(t). \tag{1.2}$$

Presupunem că funcțiile de timp menționate sunt derivabile cel puțin de ordinul doi în raport cu parametrul de evoluție. În continuare considerăm mişcarea unidimensională a unei particule în lungul axei Ox a sistemului de referință. Faptul că particula are o mişcare unidimensională în lungul axei Ox implică

$$y(t) = 0, z(t) = 0, \tag{1.3}$$

la orice moment de timp. În situația precizată, mişcarea punctului material față de sistemul de referință este descrisă prin legea de mişcare

$$x = x(t), \tag{1.4}$$

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 relația

$$v_m(t_1, t_2) = \frac{x(t_2) - x(t_1)}{t_2 - t_1}. \tag{1.5}$$

Viteza medie nu oferă suficiente informații despre evoluția în timp a vitezei particulei în intervalul de timp considerat. Informația complet relevantă despre evoluția în timp a vitezei se obține atunci când lungimea intervalului de timp tinde la zero. Introducem viteza instantanee (momentană) la momentul t_1 prin relația

$$v(t_1) = \lim_{t_2 \to t_1} v_m(t_1, t_2). \tag{1.6}$$

Renotând t_2 cu t relația (1.6) devine

$$v(t_1) = \lim_{t \to t_1} \frac{x(t) - x(t_1)}{t - t_1}. \tag{1.7}$$

Membrul drept al ecuației anterioare reprezintă derivata funcției $x(t)$ calculată la momentul t_1

$$v(t_1) = \frac{dx}{dt}(t_1) \equiv \dot{x}(t_1). \tag{1.8}$$

Momentul de timp t_1 fiind ales arbitrar, rezultă că relația (1.8) are loc la orice moment de timp

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt}. \tag{1.9}$$

Ecuația anterioară stabilește legătura dintre funcțiile $v(t)$ şi $x(t)$. Relația

$$v = v(t), \tag{1.10}$$

se numeşte legea vitezei.

Definim accelerația medie a particulei în intervalul de timp $[t_1, t_2]$ prin relația

$$a_m(t_1, t_2) = \frac{v(t_2) - v(t_1)}{t_2 - t_1}. \tag{1.11}$$

Accelerația medie este irelevantă atunci când dorim să caracterizăm deplasarea particulei la un anumit moment de timp, aceasta oferind informații despre variația vitezei într-un interval de timp. Remediem acest neajuns introducând o nouă mărime, accelerația instantanee. Definim accelerația instantanee (momentană) la momentul t_1 prin

$$a(t_1) = \lim_{t_2 \to t_1} a_m(t_1, t_2). \tag{1.12}$$

Membrul drept al relației anterioare reprezintă derivata funcției $v(t)$ calculată la momentul t_1

$$a(t_1) = \frac{dv}{dt}(t_1). \tag{1.13}$$

Momentul de timp t_1 fiind ales arbitrar, rezultă că relația (1.13) are loc la orice moment de timp

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt}. \tag{1.14}$$

Am arătat anterior că legea vitezei se poate obține prin derivare din legea de mişcare (1.4). Derivând încă o dată rezultatul obținut se obține accelerația

$$a(t)=\frac{d}{dt}\left(\frac{dx(t)}{dt}\right)\equiv \ddot{x}(t). \tag{1.15}$$

Relația anterioară stabileşte legătura dintre funcțiile $a(t)$ şi $x(t)$.

În mişcarea rectilinie uniformă, accelerația este nulă

$$a(t)=0. \tag{1.16}$$

În cele ce urmează vom determina expresia vitezei şi legea de mişcare pentru mişcarea rectilinie uniformă. Din definiția accelerației (1.14) şi relația (1.16) găsim relația

$$\frac{dv(t)}{dt}=0, \tag{1.17}$$

din care prin integrare rezultă

$$v(t)=c_1, \tag{1.18}$$

unde c_1 fiind o constantă de integrare. Din definiția vitezei (1.9) şi relația (1.18) obtinem

$$\frac{dx(t)}{dt}=c_1. \tag{1.19}$$

Înmulțind (1.18) cu dt şi utilizând faptul că $\frac{dx(t)}{dt}dt=dx(t)$ ajungem la următoarea ecuație

$$dx(t)=c_1dt. \tag{1.20}$$

În urma integrării relației anterioare

$$\int dx(t)=\int c_1dt, \tag{1.21}$$

găsim pentru legea de mişcare următoarea formă

$$x(t)=c_1t+c_2, \tag{1.22}$$

unde c_1 şi c_2 sunt nişte constante care vor fi determinate din condițiile inițiale (poziția inițială şi viteza inițială)

$$x(t_0)=x_0,\ v(t_0)=v_0. \tag{1.23}$$

Particularizând relațiile (1.18) şi (1.22) la momentul de timp t_0 şi utilizând condițiile inițiale (1.23) găsim că

$$c_1=v_0,\ c_2=x_0-v_0t_0. \tag{1.24}$$

Înlocuind (1.24) în (1.22) obținem pentru legea mişcării rectilinii uniforme următoarea formă

$$x(t)=x_0+v_0(t-t_0), \tag{1.25}$$

iar pentru legea vitezei

$$v(t)=v_0. \tag{1.26}$$

Pentru acest tip de mişcare, reprezentarea grafică a poziției ca funcție de timp este o dreaptă a cărei pantă este viteza

$$tg\alpha = v_0 . \tag{1.27}$$

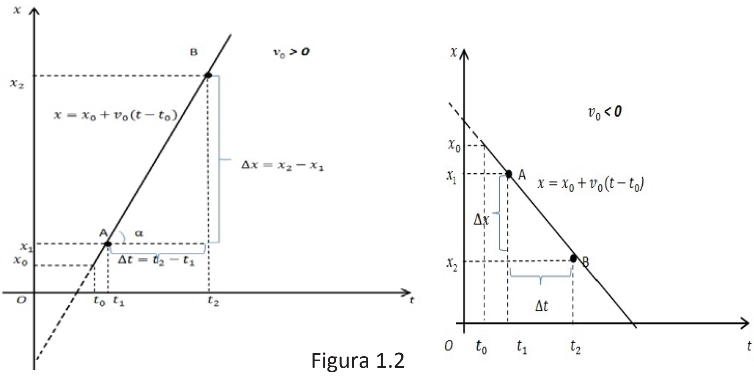

Figura 1.2

Reprezentarea grafică a vitezei ca funcție de timp este o dreaptă paralelă cu axa timpului iar reprezentarea grafică a accelerației ca funcție de timp este o dreaptă care coincide cu axa timpului

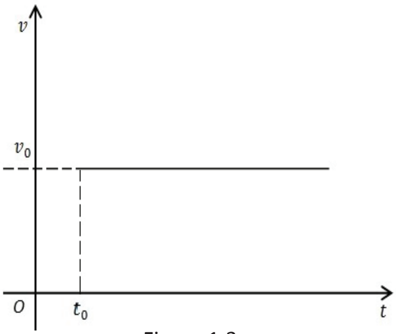
Figura 1.3

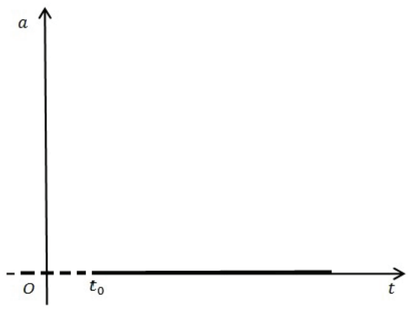
Figura 1.4

În mişcarea rectilinie uniform variată accelerația este constantă, dar nenulă

$$a(t) = const. \equiv a . \tag{1.28}$$

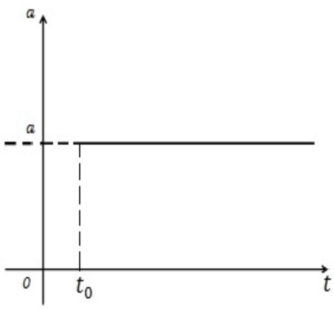
Figura 1.5

Determinăm expresiile legii vitezei şi legii de mişcare pentru mişcarea rectilinie uniform variată. Din definiția accelerației (1.14) şi relația (1.28) obținem ecuația

$$\frac{dv(t)}{dt} = a\,. \tag{1.29}$$

Întegrând (1.28) în raport cu parametrul de evoluție (timpul) deducem

$$v(t) = at + c_1\,, \tag{1.30}$$

unde c_1 este o constantă de integrare. Din definiția vitezei (1.9) şi relația (1.30) obtinem

$$\frac{dx(t)}{dt} = at + c_1\,. \tag{1.31}$$

Integrând (1.31) în raport cu parametrul de evoluție găsim expresia legii de mişcare

$$x(t) = \frac{1}{2}at^2 + c_1 t + c_2\,, \tag{1.32}$$

unde c_1 şi c_2 sunt constante care vor fi determinate din condițiile inițiale (1.22). Particularizând relațiile (1.30) şi (1.32) la momentul de timp t_0 şi utilizând condițiile inițiale (1.23) determinăm constantele de integrare

$$\begin{aligned} c_1 &= v_0 - at_0, \\ c_2 &= x_0 - v_0 t_0 + \frac{1}{2}at_0^2. \end{aligned} \tag{1.33}$$

Înlocuind (1.33) în (1.32) găsim forma legii mişcării rectilinii uniform variate

$$x(t) = x_0 + v_0(t - t_0) + \frac{1}{2}a(t - t_0)^2\,. \tag{1.34}$$

Expresia legii vitezei în mişcarea rectilinie uniform variată se obține înlocuind prima relație din (1.33) în (1.30)

$$v(t) = v_0 + a(t - t_0)\,. \tag{1.35}$$

În cazul acestui tip de mişcare, reprezentarea grafică a vitezei ca funcție de timp este o dreaptă a cărei pantă este accelerația

$$tg\alpha = a\,, \tag{1.36}$$

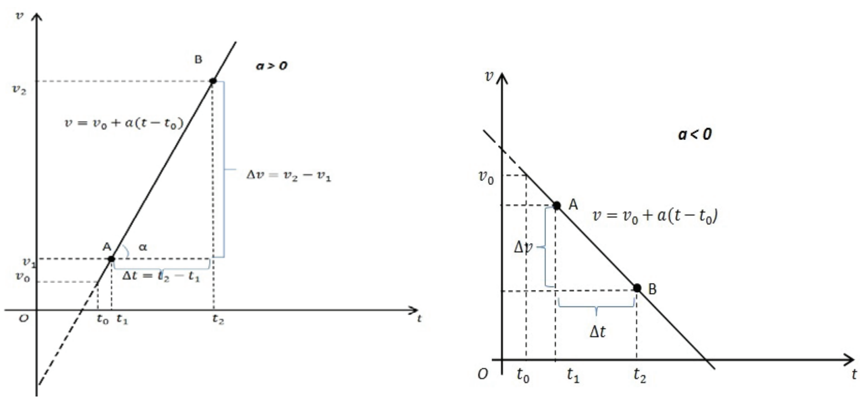

Figura 1.6

iar reprezentarea grafică a poziției ca funcție de timp este o parabolă

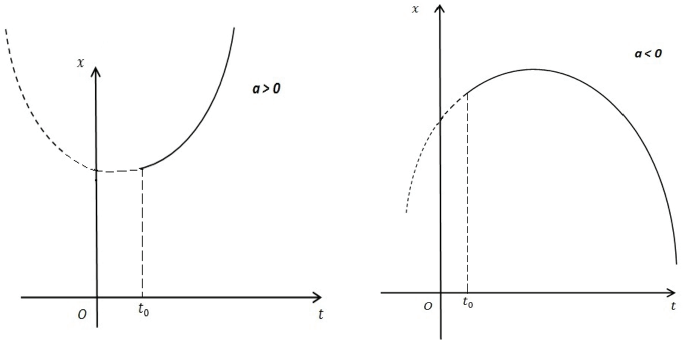

Figura 1.7

Activități de laborator propuse

Mărimi cinematice

Scop: Analiza relațiilor dintre mărimile cinematice (poziție, viteză și accelerație) în mișcarea rectilinie.

Obiective:

- determinarea accelerației unui mobil aflat în mișcare unidimensională accelerată folosind reprezentarea grafică a vitezei în funcție de timp;
- determinarea accelerației unui mobil aflat în mișcare unidimensională accelerată din graficul poziției ca funcție de timp;
- compararea valorilor accelerației obținute cu ajutorul celor două grafice.

Echipamente:

- pistă de aluminiu;
- senzor de mișcare;
- placă de achiziție date;
- mașinuță;
- ventilator.

Descrierea montajului experimental

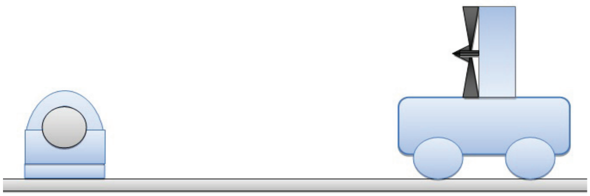

Figura 1.8

Se așează pista de aluminiu pe masă. Pentru a obține rezultate experimentale bune este necesar ca pista să fie orizontală. Dacă mașinuța se deplasează într-un sens sau altul pe pistă,