**Noțiuni de dinamica punctului material**

***Dinamica*** *este partea mecanicii ce studiază cauzele mișcării mecanice*

În cadrul cinematicii am studiat mișcarea mecanică pentru a vedea principalele mărimi fizice ce o caracterizează: vector de poziție, lege de mișcare, viteză accelerație etc. În studiul mișcării mecanice efectuat de către cinematică nu se pune problema determinării cauzelor acesteia ci doar descrierea ei sub forma unei funcții numită lege de mișcare. Dinamica face un pas înainte și, pornind de la descrierea mișcării, vrea să determine cauzele acesteia. De exemplu, pentru un punct material, de ce el se mișcă rectiliniu uniform accelerat când, la fel de bine, putea să aibă o mișcare circulară uniformă?

Ca orice știință matură și dinamica are o serie de legi fundamentale din care se pot deduce toate consecințele observabile experimental în domeniul mecanic. Aceste legi fundamentale, descoperite de către Isaac Newton, poartă denumirea de principiile mecanicii.

***Principiile mecanicii***

***Principiul I (principiul inerției):*** *Orice corp își menține starea de repaus sau de mișcare rectilinie uniformă atât timp cât asupra sa nu acționează alte corpuri care să-i modifice starea de mișcare.*

Principiul inerției afirmă că mișcarea rectilinie uniformă este mișcarea naturală a corpurilor lăsate libere (starea de repaus putând fi considerată un caz particular de mișcare rectilinie uniformă cu viteza zero!). După cum am arătat, mișcarea mecanică este relativă în sensul în care ea este definită întotdeauna față de un sistem de referință (SR). Dar sistemele de referință se pot mișca și ele unele față de altele. De aceea legea mișcării unui mobil într-un sistem de referință nu trebuie să coincidă cu legea de mișcare a aceluiași mobil în alt sistem de referință. Ca un caz particular, dacă un punct material se mișcă rectiliniu și uniform față de un SR, există cel puțin un SR față de care corpul nu se mișcă rectiliniu și uniform. Rezultă imediat faptul că dacă un corp lăsat liber se mișcă rectiliniu și uniform în alt sistem de referință el se poate afla într-o mișcare accelerată. Concluzia care se desprinde imediat este că principiul inerției nu este valabil în toate SR.

*Se numește* ***sistem de referință inerțial*** *(SRI), acel SR în care este valabil principiul inerției.*

***Transformările lui Galilei*** *sunt acele legi care ne arată cum se transformă parametrii mișcării la trecerea dintr-un SR în altul.*

Fie două sisteme de referință ca în Fig. 1.

y

M

y’ x’

S S’

x

Fig.1 Mișcarea unui mobil raportată la două SR

Constatăm că mișcarea mobilului M poate fi descrisă în două sisteme de referință S și S’. Sistemul S este considerat, prin convenție, sistem fix. Sistemul S’ ce se mișcă față de S, este considerat sistem mobil. Punctul M este mobilul. Mișcarea mobilului față de sistemul fix, se numește mișcare absolută. Mișcarea mobilului față de sistemul mobil se numește mișcare relativă. Mișcarea sistemului mobil față de sistemul fix se numește mișcare de transport. În mod analog, mărimile ce descriu mișcarea mobilului în cele două SR se numesc absolute și respectiv relative. Avem astfel: vector de poziție absolută și vector de poziție relativă; viteză absolută și viteză relativă etc.

Deoarece proprietățile spațiului și ale timpului nu depind de starea de mișcare (caracterul absolut al acestora), lungimile și duratele măsurate din cele două SR vor avea aceeași valoare. Ca un exemplu, măsurat în S’ este același cu cel măsurat în S. rezultă că putem aplica regula de compunere a vectorilor:

3.1

Deoarece timpul este invariant, rezultă că t=t’, ceea ce duce la:

Sau, conform definiției vitezei:

3.2

Făcând a doua derivare, obținem:

3.3

Relațiile 3.1, 3.2 și 3.3 se numesc ***transformările Galilei*** (ale coordonatelor, respectiv ale vitezelor sau accelerațiilor).

Folosind transformările Galilei constatăm că numai dacă un sistem se mișcă rectiliniu uniform față de un SRI atunci și în el este respectat principiul inerției. Rezultă astfel că: *SRI-urile se mișcă rectiliniu și uniform unele față de altele.*

Proprietatea corpurilor de a-și menține starea de mișcare rectilinie și uniformă se în SRI se numește *inerție*.

*Mărimea fizică ce măsoară inerția corpurilor se numește* ***masă****.* În sistemul internațional de mărimi și unități, masa este o mărime fundamentală. Unitatea de măsură a masei este Kilogramul:

Conform mecanicii clasice, masa punctului material nu depinde de viteza acestuia (este un invariant)

***Principiul al II-lea (principiul fundamental al dinamicii): accelerația imprimată unui punct material de este proporțională cu forța ce se exercită asupra acestuia și invers proporțională cu masa lui.***

Analitic, acest enunț, în SI, se exprimă prin următoarea formulă:

3.4

În enunțul acestui principiu apare noțiunea de forță. ***Forța*** *este măsura acțiunii corpurilor exterioare asupra punctului material.* În sistemul SI, unitatea de măsură a forței este Newtonul (N). din formula principiului al II-lea, rezultă:

***Principiul al III-lea (principiul acțiunilor reciproce)****: Când un corp acționează asupra altui corp cu o*[*forță*](https://ro.wikipedia.org/wiki/For%C8%9B%C4%83)*(numită*[*forță de acțiune*](https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=For%C8%9B%C4%83_de_ac%C8%9Biune&action=edit&redlink=1)*), cel de-al doilea corp acționează și el asupra primului cu o*[*forță*](https://ro.wikipedia.org/wiki/For%C8%9B%C4%83)*(numită*[*forță de reacțiune*](https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=For%C8%9B%C4%83_de_reac%C8%9Biune&action=edit&redlink=1)*) de aceeași mărime și de aceeași direcție, dar de sens contrar.*

Constatăm că nu se poate acționa asupra unui corp fără ca acesta să nu reacționeze asupra corpului ce produce acțiunea. De aceea se spune că corpurile interacționează între ele. Deși acțiunea și reacțiunea sunt egale ca modul și de sens contrar ele nu se anulează reciproc, deoarece nu acționează asupra aceluiași corp și deci nu are sens să facem adunarea vectorială a acestora.

***Principiul al IV-lea (principiul suprapunerii forțelor):*** *Dacă mai multe forțe acționează în același timp asupra unui corp, fiecare va produce propria sa accelerație, accelerația rezultantă fiind*[*suma vectorială*](https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=Suma_vectorial%C4%83&action=edit&redlink=1)*a*[*accelerațiilor*](https://ro.wikipedia.org/w/index.php?title=Accelera%C8%9Biilor&action=edit&redlink=1)*individuale.*

Principiul suprapunerii forțelor ne dă posibilitatea să aflăm forța totală ce acționează asupra unui punct material atunci când asupra acestuia acționează simultan mai multe corpuri. Deși pare aplicarea directă a teoremei de compunere a vectorilor (matematic), el nu trebuie privit în acest sens ci ca o constatare experimentală (lege a naturii). Se spune din acest punct de vedere că legea de compunere a forțelor este liniară. Se putea ca experiența să dovedească faptul că forțele nu se compun liniar.

În problemele practice de mecanică, se cunosc forțele ce acționează asupra mobilului. Cum scopul mecanicii este determinarea legii de mișcare a mobilului, se procedează în felul următor: folosind principiile dinamicii (III și IV) se determină forța rezultantă ce acționează asupra mobilului. Aplicând formula fundamentală a dinamicii conținută de principiul al II-lea, se determină legea accelerației. Prin dubla integrare a legii și cunoscând condițiile inițiale se determină legea de mișcare.

***Legi de conservare în mecanica clasică***

În cursul desfășurării diferitelor procese mecanice se întâmplă ca unele mărimi fizice să rămână constante. Se spune că acele mărimi mecanice respectă anumite legi de conservare. Cunoașterea mărimilor mecanice invariante în problema ce trebuie rezolvată permite simplificarea calculelor ce duc la determinarea legii de mișcare.

***Legea conservării impulsului***

Prin definiție, ***vectorul impuls*** *( este produsul dintre masa punctului material și vectorul viteză al acestuia.*

În SI, unitatea de măsură a impulsului est Newton ori secundă:

Cu ajutorul impulsului, formula fundamentală a dinamicii, se rescrie astfel:

Presupunând că pe intervalul de timp Δt forța este constantă, prin integrare, din ecuația de mai sus rezultă:

3.5

Ecuația 3.5 se numește ***legea impulsului***.

Dacă forța ce acționează asupra punctului material este nulă (ceea ce înseamnă că punctul material este izolat sau rezultanta forțelor ce acționează asupra lui este nulă), rezultă:

3.6

Relația 3.6 se numește ***legea conservării impulsului*** și se enunță astfel:

*Impulsul unui punct material izolat se conservă în timpul mișcării*.

***Legea conservării momentului cinetic***

Fie un punct din spațiu față de care studiem mișcarea unui punct material, ca în figura 2.

M

O

Fig. 2 Mișcarea unui punct material în jurul unui punct fix

Prin definiție, ***momentul cinetic*** *al unui punct material în jurul unui punct este produsul vectorial între vectorul de poziție și impulsul punctului material*.

3.7

Derivând relația de definiție 3.7 în raport cu timpul, rezultă:

Se constată că apare o nouă mărime mecanică numită ***vectorul moment al forței față de un punct*** dată de expresia:

În SI, unitatea de măsură a momentului forței este Newton ori metru:

Cu această definiție, obținem ***legea momentului cinetic***:

3.8

*(Pentru cei ce vor să știe mai mult, din 3.7 se obține 3.8, astfel:*

*Produsul vectorial deoarece vectorul impuls, conform definiției, este paralel cu viteza)*

Constatăm că, pentru cazul în care momentul forței aste nul, derivata momentului cinetic în raport cu timpul este nulă:

3.9

Relația 3.9 se numește ***legea conservării momentului cinetic*** și se enunță astfel:

*Dacă momentul forțelor ce acționează asupra unui punct material este nul, în timpul mișcării momentul cinetic al acestuia se conservă*.

***Legea (teorema) variației energiei cinetice***

*Puțină matematică: în fizică se întâlnesc adesea mici variații ale mărimilor fizice. Când variația Δx a unei mărimi fizice tinde către zero se spune că avem o variație infinitezimală a acesteia și o notăm cu dx. Fie o funcție de x, y=f(x), prin definiție, se numește diferențiala acelei funcții mărimea:*

Fie un punct material ce se deplasează sub influența unei forțe, ca în figura 3.

M θ

Fig.3 Mobil ce se deplasează sub influența unei forțe

Prin definiție, se numește ***lucru mecanic elementar*** *produsul scalar dintre vectorul forță și deplasarea infinitezimală a* *mobilului*:

3.10

În SI, unitatea de măsură a lucrului mecanic este Joule

Ținând cont de formula fundamentală a dinamicii, de definiția vectorului accelerație precum și de definiția diferențialei unei funcții se obține din 3.10 ecuația:

3.11

În ecuația 3.11 apare o nouă mărime fizică:

3.12

numită ***energie cinetică***:

Energia cinetică are aceeași unitate de măsură ca și lucrul mecanic: Joule.

Relația 3.11 se numește ***legea (teorema) energiei cinetice*** și se enunță astfel:

*Variația energiei cinetice a unui punct material este egală cu lucrul mecanic efectuat de forțele ce acționează asupra acestuia*.

*(Pentru cei ce vor să știe mai mult: legea variației energiei cinetice se demonstrează astfel:*

*)*

***Câmpul de forțe conservative***

Fie un punct material ce se deplasează între două puncte din spațiu pe o curbă oarecare, ca în figura 4.

B

A Γ

O

Fig.4 Deplasarea unui mobil în lungul unei curbe

Lucrul mecanic elementar efectuat de forța este dat de formula 3.10. Pentru a afla lucrul mecanic total efectuat de foră pentru a deplasa mobilul pe curba Γ de la punctul A la punctul B, se face „suma” lucrurilor mecanice individuale. Această însumare continuă se numește în matematică integrala curbilinie pe curba Γ. Obținem astfel:

În foarte multe cazuri, lucrul mecanic efectuat de forță între două puncte fixe din spațiu depinde de forma curbei ce unește cele două punct. Se spune că lucrul mecanic depinde de drum. Există cazuri particulare în care lucrul mecanic al forțelor între două puncte fixe nu depinde pe ce curbă se face deplasarea între acestea.

Se numesc ***forțe conservative*** *forțele pentru care lucrul mecanic între două puncte din spațiu nu depinde de curba pe care se deplasează mobilul între acestea.*

*Regiunea din spațiu în care acționează forțele conservative se numește* ***câmp de forțe conservative*.**

Să presupunem că în Fig.4 acționează un astfel de câmp de forțe conservative. În aceste condiții, rezultă că lucrul mecanic al forțelor între punctele A și B depinde doar de poziția acestora și nu de curba Γ. Așa stând lucrurile, putem să definim o funcție ce ia valori în funcție de poziție

3.13

astfel încât lucrul mecanic efectuat între A și B să fie legat de diferența valorilor acestei funcții în cele două puncte.

Ținând cont de cele spuse anterior, se poate defini următoarea relație de legătură între lucrul mecanic elementar (infinitezimal) și variația infinitezimală a lui U:

3.14

Semnul minus a fost introdus din motive de eleganță matematică, așa cum vom vedea ulterior.

*Funcția definită prin relația 3.14 se numește* ***energie potențială***.

Fiind introdusă printr-o diferențială, energia potențială este definită până la o constantă aditivă arbitrară. Pentru a elimina nedeterminarea în valoarea energiei potențiale, se alege un punct din spațiu unde, prin convenție, energia potențială este considerată nulă (punctul de referință). Odată stabilit punctul de referință, energia potențială într-un punct dintr-un câmp de forțe conservative este dată de următoarea regulă:

*Energia potențială a unui punct material într-un punct din spațiu unde acționează o forță conservativă este egală cu lucrul mecanic necesar pentru a deplasa mobilul din punctul considerat în punctul de referință*.

***Conservarea energiei mecanice***

Să presupunem că suntem în interiorul unui câmp de forțe conservative. Punctul material aflat în mișcare are atât energie cinetică cât și energie potențială.

*Suma dintre energia cinetică și energia potențială a unui punct material se numește* ***energia mecanică*** *a punctului material*.

3.15

Folosind lege variației energiei cinetice 3.11, rezultă, pentru un lucru mecanic elementar:

3.16

Relația 3.16 arată că energia mecanică a unui punct material într-un câmp de forțe conservative se conservă în timp. Această constatare se poate exprima sub forma unei legi de conservare:

***Într-un câmp de forțe conservative energia mecanică a unui punct material nu se poate modifica în timp***.

Așa cum am mai spus la începutul acestui subcapitol al mecanicii, legile de conservare sunt utile din punct de vedere practic pentru a ușura rezolvarea diferitelor probleme de mecanică. Dincolo de aspectele practice, legile de conservare ne dau și o perspectivă de ansamblu asupra realității. Dacă realitatea fizică ar fi constituită doar din fenomene mecanice, atunci, în orice sistem finit izolat de restul lumii fizice mărimile ce caracterizează mișcarea mecanică s-ar conserva în timp. În termeni calitativi aceasta arată faptul că mișcarea mecanică nu ar putea să apară sau să dispară și că ia s-ar conserva la nesfârșit. Vom numi un astfel de sistem în care mișcarea mecanică se conservă sistem pur mecanic. În realitate, astfel de sisteme pur mecanice nu există, dar, cu o aproximație rezonabilă, unele sisteme fizice pot fi considerate, cel puțin pe intervale mici de timp, ca fiind mecanice.