Cap.2. Definiţii şi raporturi între noţiunile de bază ale mecanicii punctelor materiale

§2.1. Mărimi şi unităţi fundamentale ale cinematicii; mărimi primitive

Alegerea mărimilor fizice fundamentale este realizată în funcţie de precizia măsurărilor (este de dorit ca, pentru aceste mărimi, erorile relative de măsurare să fie mai mici sau cel mult de acelaşi ordin de mărime cu erorile relative corespunzând altor mărimi fizice), având totodată şi un caracter istoric. După cum este cunoscut, corespunzând în fapt formalismului *nerelativist* al fizicii, mărimile fizice fundamentale ale cinematicii - în sistemul internaţional (SI) de mărimi şi unităţi fizice - sunt lungimea şi timpul (durata).

În conformitate cu ultima ediţie [1] a standardului internaţional de specialitate, *unităţile fundamentale SI ale cinematicii* sunt *secunda,* definită drept durata a 9.192.631.770 perioade ale radiaţiei corespunzătoare tranziţiei între cele două nivele hiperfine (4,0 şi 3,0) ale stării fundamentale a atomului de cesiu 133, şi *metrul*, definit ca lungimea drumului parcurs de lumină în vid, într-un interval de 1/299.792.458 dintr-o secundă. În prezent se consideră că:

1) prima unitate fundamentală definită (secunda) corespunde duratei,

2) unitatea (metrul) corespunzând mărimii fundamentale (lungimea) este definită prin *postularea* (impunerea) *valorii numerice SI* (299.792.458) *a vitezei luminii în vid.*

Definiţiile actuale ale unităţilor fundamentale SI evidenţiază necesitatea introducerii noţiunilor de bază pe o cale diferită de cea "clasică", asociată formalismului nerelativist al fizicii.

Mărimile fizice de bază, care pot fi definite prin operaţii de echivalenţă, ordonare şi legi de compunere adecvate şi pot asigura definiţii coerente, în conformitate cu formalismele fizicii moderne, ale celorlalte mărimi fizice, sunt numite *mărimi primitive.*

§2.2. Definiţiile mărimilor primitive ale cinematicii

a) Definiţia duratei locale

Un sistem fizic care poate fi "reprodus" identic într-un număr practic nelimitat de exemplare şi care prezintă o evoluţie care se poate repeta de un număr practic nelimitat (N>>1) de ori este numit *ceasornic.* În fizica modernă, drept "ceasornice" servesc atomii anumitor izotopi, aflaţi în anumite stări (vezi definiţia de mai sus a secundei, precum şi [4]).

Considerăm două ceasornice identice C_1 şi C_2 , "sudate" rigid între ele, pornite dintr-o aceeaşi stare S_o la începutul procesului fizic P_1, respectiv al procesului P_2 şi oprite în stările S_1, respectiv S_2, odată cu încetarea procesului P_1, respectiv a procesului P_2 (v.figura 2.1). După cum succesiunea de stări S_oS_1 include (sau este inclusă în) succesiunea de stări S_oS_2, vom spune că durata procesului P_1 este mai mare (respectiv, mai mică) decât durata procesului P_2:

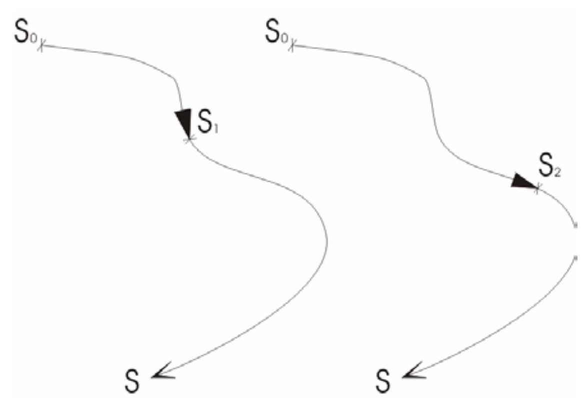

Figura 2.1.

$$\Delta t(P_1) > \Delta t(P_2) \text{ (respectiv: } \Delta t(P_1) < \Delta t(P_2)\text{)},$$

definind astfel *operația de ordonare a duratelor*.

Dacă $S_oS_1 \subset S_oS_2$ şi: $S_oS_1 \supset S_oS_2$, atunci: $\Delta t(P_1) \equiv \Delta t(P_2)$, definind în acest mod şi *operația de echivalență a duratelor*.

Pentru a defini *legea de compunere a duratelor*, ceasornicul C_1 este pornit din starea S_1 odată cu începerea procesului P_2 şi este oprit odată cu încetarea procesului P_2. Dacă S este starea în care s-a oprit în acest caz ceasornicul 1, atunci succesiunea de stări S_oS este compusa succesiunilor de stări S_oS_1 şi S_oS_2: $S_oS_1TS_oS_2 = S_oS$, acestei succesiuni corespunzându-i durata data de ecuația: $\Delta t(S_oS) = \Delta t(S_oS_1)T_R\Delta t(S_oS_2)$. În cazul în care drept lege de compunere în corpul numerelor reale T_R este aleasă adunarea, elementele de mai sus definesc mărimea fizică (inclusiv, măsura sa liniară) - *durata locală* (în raport cu un anumit ceasornic).

b) Sisteme fizice de referință. Repaus relativ; sincronizarea ceasornicelor identice aflate într-un acelaşi sistem de referință

În fizica elementară, lungimea (implicit, distanța) este definită cu ajutorul unor rigle rigide (v. §1.1). În condițiile în care fizica modernă studiază şi sisteme fizice de mari dimensiuni, aflate în mişcare relativă rapidă (planetele unui sistem stelar, galaxii ş.a.), definiția clasică a lungimii nu mai poate fi utilizată şi, implicit, definiția clasică a sistemului fizic de referință - ca ansamblu de ceasornice şi axe de coordonate aflate în repaus relativ - trebuie de asemenea actualizată.

Faptul că sinteza rezultatelor fizicii contemporane a impus postularea unei anumite valori numerice (constantă) a vitezei luminii în vid arată că, în prezent, prin *sistem fizic de referință (referențial)* trebuie înțeles un *ansamblu de cel puțin 3 stații de radioemisie/recepție necoliniare, cuplate rigid cu ceasornice identice, aflate în repaus relativ.* Pentru a defini repausul relativ a două stații radar R_1 şi R_2 (fig.2.2), considerăm momentele t_{1e} şi $t_{1r}(t_{1e})$ la care a fost emis un scurt impuls electromagnetic de la stația R_1, respectiv a revenit la stația R_1 acest impuls după reflexia (reemisia) la stația R_2 (ambele momente fiind măsurate de ceasornicul C_1); în cazul în care, indiferent de momentul t_{1e} al emisiei impulsului, diferența $t_{1r}(t_{1e}) - t_{1e} = \text{const.}(t_{1e})$, vom spune că stațiile radar considerate sunt în *repaus relativ.*

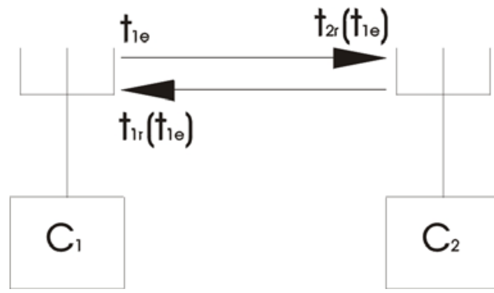

Figura 2.2.

Fie $t_{2r}(t_{1e})$ momentul la care ceasornicul C_2, identic cu C_1 şi aflat în repaus relativ față de acesta, recepționează impulsul electromagnetic (scurt) emis de stația R_1 la momentul t_{1e}. Dacă diferența $\delta t = t_{2r}(t_{1e}) - \dfrac{1}{2}(t_{1e} + t_{1r}(t_{1e}))$ este nulă, *ceasornicele* identice C_1 şi C_2, aflate în repaus relativ, sunt *sincronizate.* În cazul în care $\delta t > 0$ sau $\delta t < 0$, *se poate obține sincronizarea ceasornicelor identice* C_1 şi C_2, *aflate în repaus relativ* prin "darea înapoi", respectiv "înainte" a ceasornicului C_2 cu $|\delta t|$.

Problema 2.2.1: Se consideră 3 ceasornice identice: C_1, C_2 şi C_3, aflate în repaus relativ, în poziții - în general - necoliniare. Să se arate că, dacă ceasornicele C_1 şi C_2, respectiv C_1 şi C_3, sunt sincronizate, atunci şi ceasornicele C_2 şi C_3 sunt sincronizate.

c) Definiția vitezei ca mărime primitivă; punctul material, referențial inerțial

Pentru a defini operațiile de echivalență-ordonare a vitezelor, considerăm 2 ceasornice identice C_1 şi C_2, aflate în repaus relativ şi sincronizate (v.fig.2.3). Fie t_1 momentul comun la care mobilele M_1, M_2 pornesc de la ceasornicul C_1 spre C_2, iar t_{21} şi t_{22} momentele (măsurate de C_2) la care mobilele ajung la C_2. După cum $\Delta t_1 = t_{21} - t_1 \leq t_{22} - t_1 = \Delta t_2$ sau: $\Delta t_1 = t_{21} - t_1 \geq t_{22} - t_1 = \Delta t_2$, avem: $v_1 \geq v_2$ respectiv: $v_1 \leq v_2$ (operațiile de ordonare, respectiv echivalență a vitezelor).

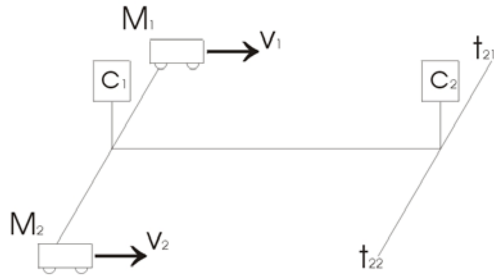

Figura 2.3

În fine, pentru a defini legea de compunere a vitezelor, considerăm ceasornicele identice C_1, C_2 şi C_3, aflate în repaus relativ şi sincronizate, aşezate în lungul traseului mobilelor M_1, M_2 şi M (fig.2.4), astfel încât:

a) la momentul inițial t_1 - mobilele M_1 şi M pornesc de la ceasornicul C_1, iar mobilul M_2 pleacă de la C_2,

b) la momentul final t_f $(> t_i)$, mobilele M_1 şi M_2 ajung la ceasornicele C_2 şi, respectiv, C_3.

Compusul $v_1 T v_2$ al vitezelor v_1 şi v_2 este definit drept viteza v a mobilului M, dacă acesta ajunge la ceasornicul C_3 la momentul t_f: $v = v_1 T v_2$, deci, în cazul măsurilor liniare:

$$\{v\} = \{v_1\} + \{v_2\} .$$

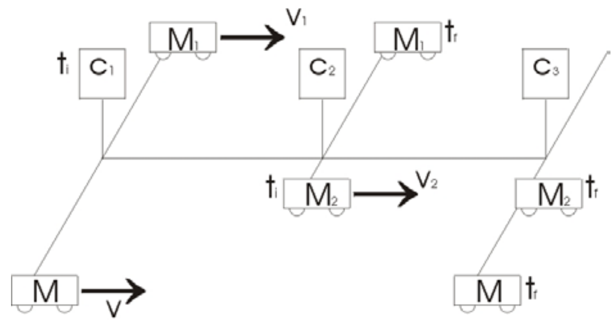

Figura 2.4

În acest mod pot fi definite componentele vitezei şi, implicit, viteza ca mărime vectorială (*primitivă*).

Un corp de dimensiuni neglijabile, dar având o inerție neglijabilă, se numeşte *punct material.* Un punct material asupra căruia nu se exercită interacțiuni sau pentru care rezultanta interacțiunilor este permanent nulă se numeşte *punct material liber.* Un referențial față de care mişcarea unui punct material liber este rectilinie şi uniformă (se deplasează cu o viteză constantă) este numit *referențial inerțial.*

Deoarece densitatea unui corp nu poate fi mult ("infinit") mai mare decât cea a solidelor (de ordinul a $10^3 \,\mathrm{kg/m^3}$), iar sistemele fizice sunt supuse interacțiunilor, reiese că noțiunile de mai sus sunt idealizate. În schimb, în anumite condiții, cerințele definitorii ale noțiunilor de mai sus pot fi satisfăcute în bună aproximație. Spre exemplu, pentru un interval de timp mult mai mic decât durata caracteristică celui mai scurt proces neinerțial, un *referențial* este aproape (*cuasi*)*inerțial.*

Problema 2.2.2: a) Depinde caracterul inerțial/neinerțial al unui referențial de mişcarea relativă față de alte sisteme fizice de referință? b) Pentru ce intervale de timp (durate) un referențial solidar legat de Pământ este aproape (cuasi)inerțial?