The Antiphysical Review

Founded and Edited by M. Apostol **235** (2022)

ISSN 1453-4436

Dl V si Teoria Relativitatii

M. Apostol
Department of Theoretical Physics, Institute of Atomic Physics,
Magurele-Bucharest MG-6, POBox MG-35, Romania
email: apoma@theory.nipne.ro

1 Absurdul si suferinta

Dl V sustine ca Teoria Relativitatii n-ar fi corecta, deoarece, dupa parerea lui, viteza luminii in vid c n-ar fi constanta, iar transformarile Lorentz ar duce la concluzii absurde. In sprijinul acestei pareri dl V aduce urmatoarea experienta. Sa presupunem ca avem doua bare de lungimi egale l, paralele, una fiind in miscare fata de cealalta cu viteza constanta $\pm v$ in lungul directiei barelor (axa x), ca in Figura 1. Pentru observatorul 1 bara 2 se afla in miscare cu viteza v, ca urmare lungimea ei se micsoreaza conform formulei $l' = \gamma l$, unde $\gamma = \sqrt{1 - v^2/c^2}$ (Figura 2). Observatorul 1 va vedea succesiunea de evenimente

$$B'A,\ A'A,\ B'B,\ A'B\ , \tag{1}$$

ca in Figura 3. Evenimentele sint definite ca suprapunerea capetelor barelor.

Pentru observatorul 2 bara 1 se afla in miscare, cu viteza $-v$, ca urmare lungimea ei se micsoreaza conform formulei $l' = \gamma l$ (Figura 4). Pentru acest observator succesiunea de evenimente este

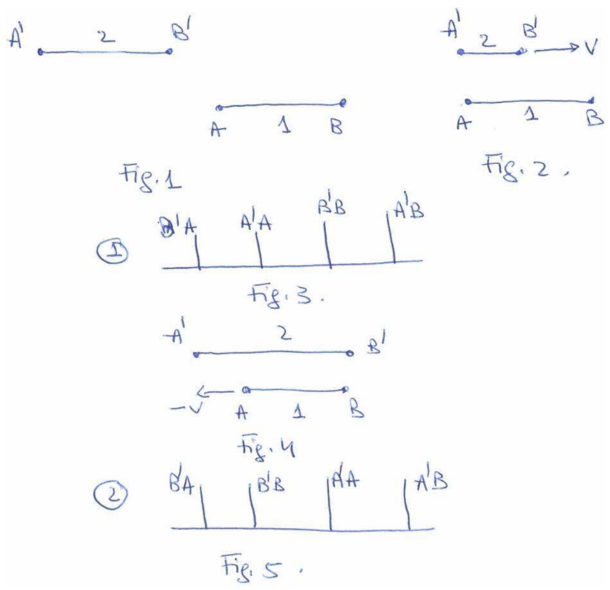
$$B'A,\ B'B,\ A'A,\ A'B\ , \tag{2}$$

ca in Figura 5.

Inversiunea ordinii evenimentelor $A'A$, $B'B$ in cele doua observatii este pentru dl V absurda; mai ales ca evenimentele $B'A$, $A'B$ isi patreaza ordinea.

Sint de acord. Teoria Relativitatii contrazice simtul comun. Din acest punct de vedere ea este absurda. Fizica moderna este absurda (Feynman). Mecanica Cuantica nu este inteligibila (Bohr).

Intr-adevar, daca evenimentele $B'A$ si $A'B$, de la capetele celor doua serii din ecuatiile (1) si (2), ar fi unul o explozie ($B'A$) si celalalt moartea oamenilor produsa de explozie ($A'B$), atunci cei doi observatori ar vedea amindoi succesiunea cauzala de evenimente explozie-moarte. Intii este explozia $B'A$ si apoi este moartea provocata de explozie $A'B$, pentru ambii observatori. Dar daca explozia ar fi $A'A$ si moartea oamenilor ar fi $B'B$, atunci observatorul 1 va vedea succesiunea cauzala explozie-moarte, pe cind observatorul 2 ar vedea succesiunea absurda moarte-explozie, adica intii ar muri oamenii si apoi ar avea loc explozia. Ajungem la lucruri absurde: omul moare intii si numai apoi se naste, intii ne scarpinam si numai apoi ne maninca, de-abia dupa ce cade cortina cinta doamna aia grasa, etc, etc.



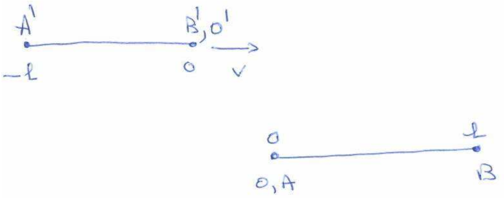
Teoria Relativitatii pretinde ca ordonarea cronologica a evenimentelor (aflate in conul de lumina, adica evenimente masurabile, reale) se pastreaza. In vreme ce evenimentele care isi schimba ordonarea temporala nu sint evenimente reale, masurabile, cauzale. In sectiunea urmatoare vom calcula diferenta de spatiu si timp (distanta si durata) dintre cele doua evenimente $B'B$ si $A'A$, care isi schimba ordinea temporala, si vom gasi intr-adevar ca ele nu sint legate cauzal, adica nu putem sa asociem cu unul o explozie si cu celalalt moartea provocata de explozie. Aceasta este invatatura Teoriei Relativitatii. Teoria Relativitatii ne invata ca nu exista viteza mai mare decit viteza luminii in vid. Acesta este un fapt experimental. Este de neinteles, nu are nici o motivatie, este absurd; el da luminii o pozitie privilegiata in natura (Dumnezeu?), fara nici un motiv. Dar este fapt, si trebuie sa-l acceptam ca atare. Pentru ca explozia sa produca moarte trebuie ca ea sa emita un agent fizic (gaze, radiatii, etc) care sa se propage cu viteza mai mica decit viteza luminii in vid, cel mult egala. Acest lucru nu se intimpla pentru evenimentele $A'A$ si $B'B$, dimpotriva, distanta dintre ele impartita la durata dintre ele conduce la o viteza mai mare decit viteza luminii. Ca urmare, $A'A$ nu poate fi o explozie, $B'B$ nu poate fi moarte.

Este inevitabila intrebarea: de ce? De ce Teoria Relativitatii desconsidera unele evenimente, ca fiind "nefizice", si alege numai pe unele, care ar fi "bune", ar fi "fizice"? Aceasta diferentiere nu este arbitrara, ea este ceruta de statutul special al vitezei luminii in vid, care este viteza maxima in univers (si desigur constanta, fiind ea maxima). Dar de ce lumina ar fi cel mai rapid lucru din lume? Aceasta idee nu o putem intelege. Intelegerea vine din intelegere, nu din fapte. Ori acest lucru este un fapt. Stim doar ca asa este, intrucit toate experientele ne arata acest lucru. Teoria Relativitatii provine din fapte, si este fapt ca viteza luminii este viteza maxima. Acest fapt ne conduce sa eliminam din analizele noastre o serie intreaga de evenimente, pe care le declaram acauzale si le aruncam la cos. Totul pare in regula, nimic nu e contradictoriu, nimic nu ne blocheaza in marsul nostru stiintific si triumfal spre adevar, lumina si dreptate. Dar este extrem de inconfortabil. Stiinta este extrem de inconfortabila, este o suferinta.

Este imposibil sa-l facem pe dl V sa admita ca aceasta experienta, care confirma Teoria Relativitatii, nu ne duce la un rezultat absurd. Nu putem in nici un fel sa-i alinam aceasta suferinta intelectuala. Eu personal, care, probabil, spre deosebire de dl V, am studiat mai mult Teoria Relativitatii, gasesc si eu acest rezultat absurd. Si sufar cind ma gindesc la el. Pe patul de moarte Heisenberg ar fi spus: de ce Doamne ai lasat pe lume Relativitatea?

2 Sa vedem cum stam cu timpul

Sa luam bara AB ca un sistem de referinta cu originea in A, coordonata x si timpul t. Sa luam bara $A'B'$ ca un alt sistem de referinta, cu originea in B', coordonata x' si timpul t'. Sa presupunem ca sistemul de referinta $A'B'$ se afla in miscare cu viteza v fata de sistemul de referinta AB; desigur, si sistemul de referinta AB se afla in miscare, cu viteza $-v$, fata de sistemul de referinta $A'B'$ (Figura 6).



~~Fig. 6~~ Fig. 6

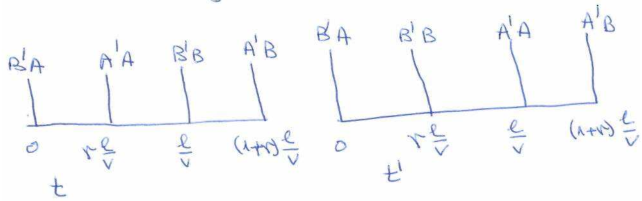


Fig. 7

Acum, sa scriem cu atentie legaturile dintre coordonate si timpi in cele doua sisteme de referinta, conform transformarilor Lorentz; avem, asadar,

$$x' = \frac{x - vt}{\gamma} \; , \; t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\gamma} \; . \tag{3}$$

Sa calculam momentele de timp in care capetele A, B' se suprapun; coordonatele acestor capete sint $x = 0$, $x' = 0$. Ecuatiile (3) ne dau

$$B'A : \; t_1 = t_1' = 0 \; . \tag{4}$$

In continuare sa calculam timpii evenimentului $A'A$; coordonatele acestor puncte sint $x = 0$, $x' = -l$. Ecuatiile (3) dau

$$A'A : \; t_2 = \gamma\frac{l}{v} \; , \; t_2' = \frac{l}{v} \; . \tag{5}$$

Procedam la fel pentru evenimentul $B'B$, de coordonate $x = l$ (B), $x' = 0$ (B'),

$$B'B : \; t_3 = \frac{l}{v} \; , \; t_3' = \gamma\frac{l}{v} \tag{6}$$

si pentru evenimentul $A'B$, de coordonate $x = l$ (B), $x' = -l$ (A'):

$$A'B : \; t_4 = (1+\gamma)\frac{l}{v} \; , \; t_4' = (1+\gamma)\frac{l}{v} \; . \tag{7}$$

Sa ordonam acum timpii $t_{1,2,3,4}$ si timpii $t_{1,2,3,4}'$ in ordinea lor crescatoare, ca in Figura 7. Observam, intr-adevar, ca evenimentele $A'A$ si $B'B$ sint inversate temporal pentru cei doi observatori, pe cind evenimentele $B'A$ si $A'B$ isi pastreaza ordinea, asa cum am vazut in sectiunea precedenta.

Desigur, acest fenomen provine din scurtarea lungimii in miscare. De exemplu, la momentul initial $t_1 = t_1' = 0$ coordonata capatului A' este $x_{A'} = -\gamma l$, conform ecuatiilor (3), ceea ce ne arata ca lungimea barei in miscare este $l' = (x = 0, A = B') - (x = -\gamma l, A') = \gamma l$.

Sa vedem acum diferenta de timp dintre evenimentele $A'A$ si $B'B$; ea este, evident, $\Delta t = t_3 - t_2 = t_2' - t_3'$, adica $\Delta t = (1-\gamma)\frac{l}{v}$ (ecuatiile (5) si (6)). Distanta dintre cele doua evenimente este, evident, $\Delta x = l$, conform coordonatelor date mai sus acestor puncte (atit coordonatele x, cit si coordonatele x'). Ce viteza ar avea un corp care ar strabate aceasta distanta in timpul Δt? Evident, viteza lui va fi $v' = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v}{1-\gamma}$. Da, dar cita vreme $v < c$, aceasta viteza este mai mare decit viteza luminii. Intr-adevar,

$$\begin{aligned} v' = \tfrac{v}{1-\gamma} = c\tfrac{v/c}{1-\sqrt{1-v^2/c^2}} = \\ = c\tfrac{1+\sqrt{1-v^2/c^2}}{v/c} > c\tfrac{1}{v/c} > c\ . \end{aligned} \tag{8}$$

Conform invataturii Teoriei Relativitatii acest lucru este imposibil. Nu exista nici un corp, nici macar lumina, care sa lege aceste evenimente unul de altul. Evenimentele $A'A$ si $B'B$ pot fi ordonate temporal arbitrar, noua nu ne pasa, intrucit intre ele nu exista nici o legatura cauzala. Intre altele, acesta este un punct esential in asigurarea covariantei seriei de perturbatii in Electrodinamica Cuantica.

In schimb, $B'A$ si $A'B$ se afla la distanta $\Delta x = l$ unul de altul si timpii lor difera cu $\Delta t = t_4 - t_1 = (1+\gamma)\frac{l}{v}$; viteza unui corp ce strabate acest Δx in acest timp Δt este

$$v' = \frac{v}{1+\gamma} < v\ , \tag{9}$$

ceea ce este perfect posibil. Aceste doua evenimente sint cauzale si-si pastreaza ordonarea cronologica.

3 Un absurd si mai absurd

Dl V leaga capetele A, A' cu un fir, de aceeasi lungime l ca lungimea barelor. Apoi introduce o sursa de lumina la un capat si un detector de lumina la alt capat. Aceasta experienta este menita sa ilustreze exemplul de mai sus cu explozia si moartea oamenilor, adica experienta atribuie un caracter cauzal, fizic unor evenimente care in fapt sint acauzale, cum am aratat mai sus.

Cu aceasta ocazie am sesizat insa o problema putin cunoscuta in Teoria Relativitatii, anume cum se schimba lungimea unei curbe in miscare. O arat mai jos.

4 Lungimea curbei

Mai intii sa observam ca transformarile Lorentz

$$x' = \frac{x - vt}{\gamma}\ ,\ t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\gamma} \tag{10}$$

conduc la

$$x' = \gamma x - vt'\ . \tag{11}$$

Masurarea lungimilor se face la acelasi moment de timp, asa incit putem sa redefinim coordonata x' prin $x' \to x' + vt'$, sau sa consideram ca masuram lungimea la momentul (arbitrar) $t' = 0$. Coordonata in miscare devine

$$x' = \gamma x \ \ , \tag{12}$$

ceea ce indica, intr-adevar, contractia Lorentz.

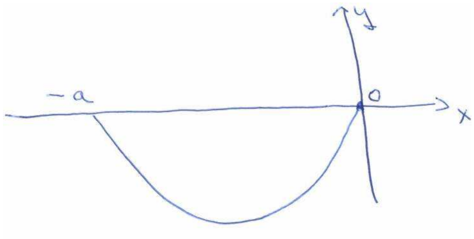


Fig. 8

Sa presupunem acum ca avem o curba in planul xy, definita de ecuatia $y(x, p)$, unde p reprezinta parametri. Ne fixam atentia asupra unui arc al acestei curbe, cuprins intre coordonatele $x = a$ si $x = b$, astfel incit variatia curbei sa fie monotona pe acest arc. Lungimea arcului este data de integrala

$$l = \int_a^b dx \sqrt{1 + y'^2(x, p)} \ \ , \tag{13}$$

unde $y'(x, p)$ este derivata lui y in raport cu x. In miscarea cu viteza v de-a lungul axei x coordonata x se schimba; ea devine x' din ecuatia (12); in vreme ce coordonata transversala y nu se schimba. Totodata, se schimba si parametrii p, care devin p'. Ca urmare, ecuatia curbei se schimba, pentru a pastra aceeasi coordonata y. Sa presupunem ca aceasta ecuatie devine $\widetilde{y}(x', p')$. Evident, trebuie sa avem $\widetilde{y}(x', p') = y(x, p)$. Ca urmare, lungimea arcului de curba in miscare este data de integrala

$$l' = \int_{\gamma a}^{\gamma b} dx' \sqrt{1 + \widetilde{y}'^2(x', p')} \ \ , \tag{14}$$

unde am folosit contractia Lorentz de mai sus. In aceasta integrala inlocuim $\widetilde{y}(x', p')$ cu $y(x, p)$ si x' cu γx; obtinem

$$l' = \gamma \int_a^b dx \sqrt{1 + y'^2(x, p)} = \gamma l \ \ , \tag{15}$$

adica exact contractia data de factorul Lorentz γ pentru lungimea arcului de curba l. Rezultatul poate parea contra-intuitiv, deoarece ne-am astepta sa se contracte numai proiectia curbei pe directia de miscare, proiectie care este mai scurta decit lungimea curbei, deci contractia ar trebui sa fie mai mica decit contractia data de factorul Lorentz. Dar exact cerinta ca sa se pastreze coordonata pe directie transversala face sa se modifice ecuatia curbei, in asa fel incit ea sa fie identica cu ecuatia in coordonatele in repaus. De asemenea, sa observam ca proiectia pe directia de miscare este o marime geometrica, nu un obiect fizic, asa incit ea nu cade sub incidenta transformarilor Lorentz. Este interesant de observat ca lungimea este data, echivalent, si de o integrala in raport cu y, in care intervine derivata functiei $x(y, p)$; modificarea lui x si constanta lui y duc la modificarea variabilei de integrat y, exact cu factorul Lorentz. Mai mult, ecuatia oricarei curbe se poate scrie in coordonate adimensionale si parametri adimensionali, care, desigur, sint invarianti Lorentz; acest procedeu este echivalent cu o alegere convenabila a scalei unitatilor de masura. Observam ca toate lungimile ce intervin in ecuatie sint scalate cu factorul Lorentz, indiferent de orientarea lor fata de directia de miscare; in particular, unii parametri nu au nici o orientare. Aceasta este proprietatea de invarianta de scala. Lungimea in aceste unitati adimensionale este un numar adimensional. Lungimea reala l are insa dimensiunea unei lungimi. Re-scalata, conform regulii de scalare pe care am folosit-o, aceasta lungime adimensionala trebuie inmultita cu factorul Lorentz. Inca mai mult, lungimea unui arc de curba este proiectia lui pe axa x (mai mica decit lungimea arcului) inmultita cu un factor unghiular care este adimensional. Contractia se face asupra proiectiei, care o transfera lungimii.

Este interesant ca rezultatul e valabil si in cazul in care unul din capete, de exemplu b, este fix, ca in Figura 8, deoarece coordonata proiectiei este afectata de contractie, asa incit nu e necesar ca proiectia sa fie un corp rigid.

Sa aplicam acest rezultat la curba catenara (lantisorul); ecuatia acestei curbe, cuprinsa intre doua limite simetrice, este

$$y = r \cosh \frac{x}{r} \ , \tag{16}$$

unde parametrul r este legat de lungimea curbei. Aceasta curba este forma pe care o ia un lant greu, fixat la capete pe aceeasi orizontala, in cimp gravitational uniform. Mai intii, fixam un sistem de referinta cu originea la unul din capetele firului si cu celalalt capat in punctul de coordonate $(-a, 0)$; ecuatia (16) devine

$$y = -r \cosh \frac{a}{2r} + r \cosh \frac{x + a/2}{r} \ . \tag{17}$$

Lungimea acestei curbe este

$$l = \int_{-a}^{0} dx \cosh \frac{x + a/2}{r} = 2r \sinh \frac{a}{2r} \ . \tag{18}$$

Aceasta ecuatie se scrie si ca

$$\frac{\sinh(a/2r)}{a/2r} = \frac{l}{a} \ . \tag{19}$$

Aici observam ca a variaza intre l si 0, deci l/a variaza intre 1 si ∞, asa incit putem aproxima ecuatia cu

$$\frac{e^{a/2r}}{a/2r} \simeq \frac{2l}{a} \ , \tag{20}$$

pentru $2l/a \gg 1$. Solutia acestei ecuatii este

$$\frac{a}{2r} = \ln \left[\frac{2l}{a} \ln \left(\frac{2l}{a} \ln \frac{2l}{a} ... \right) \right] \ . \tag{21}$$

Aceasta ecuatie ne da parametrul $r(a, l)$ in functie de coordonata capatului a si lungimea curbei l. O aproximatie se poate gasi si pentru $l/a \simeq 1$.

In miscare lungimea curbei este

$$\begin{aligned} l' &= \textstyle\int_{-\gamma a}^{0} dx' \cosh \frac{x+a/2}{r} = \gamma \int_{-a}^{0} dx \cosh \frac{x+\gamma a/2}{r} = \\ &= \gamma \cdot 2r \sinh \tfrac{a}{2r} = \gamma l \ . \end{aligned} \tag{22}$$

5 Cum sa intelegem contractia Lorentz

Lumina se propaga cu viteza constanta c, atit in viitor cit si in trecut; spatiul l parcurs de lumina este legat de timpul ei de miscare t prin $l \pm ct = 0$, ceea ce, matematic, este echivalent cu

$$c^2 t^2 - l^2 = 0 \ . \tag{23}$$

Pentru un corp aflat in miscare cu viteza v, constanta si uniforma, distanta parcursa este $l = vt$; deoarece $v < c$, avem un timp propriu τ, al corpului aflat in repaus, dat de

$$c^2t^2 - v^2t^2 = c^2\tau^2 \ ; \tag{24}$$

de aici se vede ca timpul in miscare este

$$t = \frac{\tau}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \ , \tag{25}$$

mai lung decit timpul de repaus. Aceasta este dilatatia timpului. Mai mult, din ecuatiile (23) si (24) se vede ca viteza luminii este o constanta universala maxima.

Sa presupunem acum ca vrem sa masuram lungimile, in miscare si in repaus. Masurarea lungimilor se face totdeauna la aceleasi momente de timp, adica in timpul necesar luminii sa strabata acea lungime; aceasta se vede din ecuatiile (23) si (24). Prin urmare, trimitem lumina un timp t de-a lungul unei distante $\lambda = ct$. Nu este necesar ca aceasta lungime sa fie o linie dreapta. Evident, aceasta va fi lungimea de repaus. La fel, trimitem lumina un timp τ pe o distanta $l = c\tau$. Evident, aceasta este lungimea corpului in miscare, vazuta in conditiile in care ne deplasam cu viteza v. Observam ca nu e necesar ca aceasta lungime sa fie paralela cu directia miscarii, dar ecuatia (24), pe care o vom folosi, nu este valabila pe directie perpendiculara pe directia miscarii (ecuatia (24) este construita pentru propagarea luminii in directia miscarii). Din ecuatia (24) obtinem

$$(c^2 - v^2)\frac{\lambda^2}{c^2} = l^2 \ , \tag{26}$$

sau

$$l = \lambda\sqrt{1 - v^2/c^2} \ . \tag{27}$$

Aceasta este contractia lungimilor: un corp in miscare are o lungime l mai mica decit lungimea de repaus λ, ambele lungimi fiind masurate in directia miscarii.

In final, sa observam ca modificarea lungimii in miscare se masoara. Masurarea se face cu un agent fizic, de exemplu o raza de lumina, care are timpi diferiti de propagare de la cele doua capete ale lungimii. Ca urmare, o corectie de propagare este necesara. Rezultatul masuratorii devine, asadar, indirect. Masurarea nu este o simpla vedere, o simpla vizualizare. In particular, fotografia unei lungimi in miscare nu prezinta contractie. Lumina pe care o inregistram pe fotografie ajunge la noi la acelasi moment, ca urmare a plecat la momente diferite de la capetele lungimii, asa incit ea nu este o masura a lungimii pe care o observam, propagarea ei nefiind corectata cu distantele diferite de la capete. [1]-[3]

References

[1] J. Terrell, "Invisibility of the Lorentz contraction", Phys. Rev. **116** 1041 (1959).

[2] R. Penrose, "The apparent shape of a relativistically moving sphere", Proc. Cambridge Phil. Soc. **55** 137 (1959).

[3] V. F. Weisskopf, "The visual appearance of rapidly moving objecst", Physics Today **13** 24 (1960).