FIZICA MEDIULUI:
O Incursiune Spațio-Temporală în Misterele Universului

RELATIVITATEA SPAȚIULUI ȘI TIMPULUI

Conf. Dr. Mihai V. PUTZ

Chemistry Department, West University of Timisoara,
Pestalozzi Street No.16, Timisoara, RO-300115, Romania;
E-mails: mvputz@cbg.uvt.ro or mv_putz@yahoo.com ;
Web: http://www.mvputz.iqstorm.ro

Member of American Chemical Society
Member of European Society of Mathematical Chemistry

Editor in-Chief of Int. J. Chem. Model. (at NOVA Publishers)
Editor in-Chief of Int. J. Environ. Sci. (at SERIALS Publishers)
Guest Editor & Editor of Int. J. Mol. Sci. (at MDPI Organization)

Transformările Spațiu-Timp de tip Galilei. Experiența lui Michelson

Abordarea clasică (Galilei, Newton)

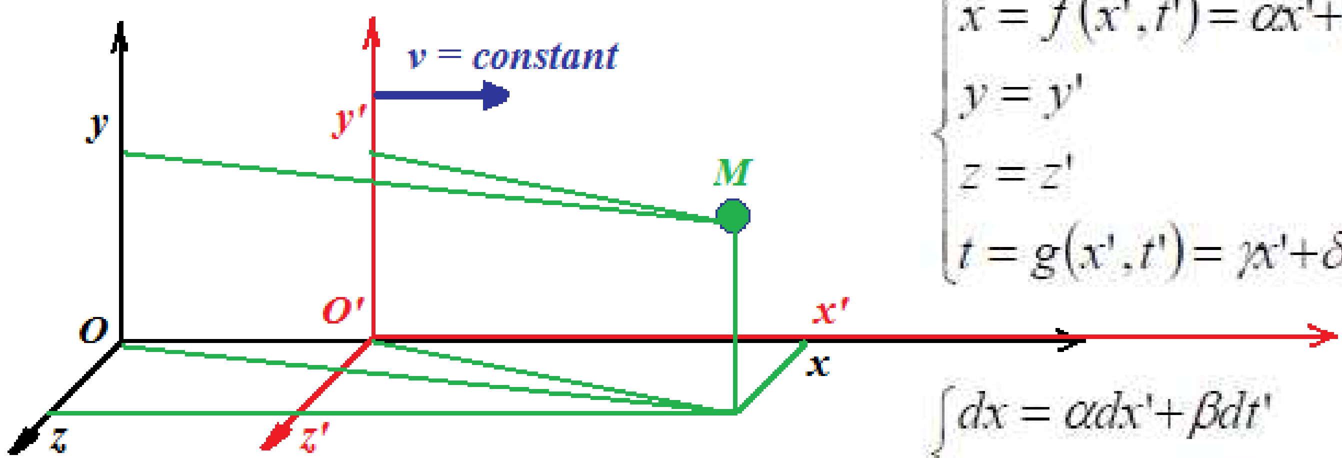
Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica

PC1: *Timpul este absolut*

PC2: *Spațiul este absolut*

PC3: *Masa unui corp este absolută*

PC4: Apariția unui eveniment este unică, în orice sistem de referință inerțial



$$\begin{cases} x = f(x', t') = \alpha x' + \beta t' \\ y = y' \\ z = z' \\ t = g(x', t') = \gamma x' + \delta t' \end{cases}$$

$$\begin{cases} dx = \alpha dx' + \beta dt' \\ dt = \gamma dx' + \delta dt' \end{cases}$$

$$v = \textbf{constant} = \frac{dx}{dt} = \frac{\alpha dx' + \beta dt'}{\gamma dx' + \delta dt'} = \frac{\alpha \frac{dx'}{dt'} + \beta}{\gamma \frac{dx'}{dt'} + \delta} = \frac{\alpha v' + \beta}{\gamma v' + \delta}$$

$$\begin{cases} x = \alpha(v)x' + \beta(v)t' \\ t = \gamma(v)x' + \delta(v)t' \end{cases}$$

$$M \equiv O' \Rightarrow M \ \textit{are viteza } v$$

$$\begin{cases} x = \beta(v)t' \\ t = \delta(v)t' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} dx = \beta(v)dt' \\ dt = \delta(v)dt' \end{cases} \Rightarrow v = \frac{dx}{dt} = \frac{\beta(v)}{\delta(v)} \Rightarrow \beta(v) = v\delta(v)$$

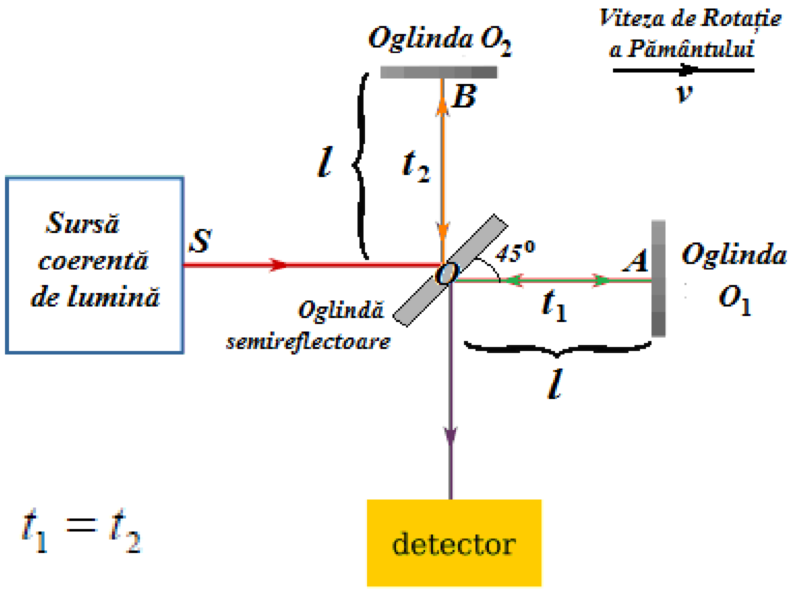
$$v \to -v \Rightarrow \beta(-v) = -v\delta(-v)$$

$$t = t'$$

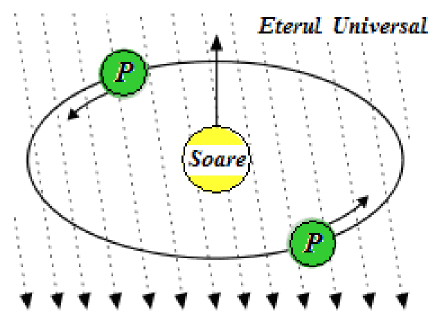
$$t = \gamma(v)x' + \delta(v)t' = t' \Rightarrow \begin{cases} \delta(v) = 1 \\ \gamma(v) = 0 \end{cases}$$

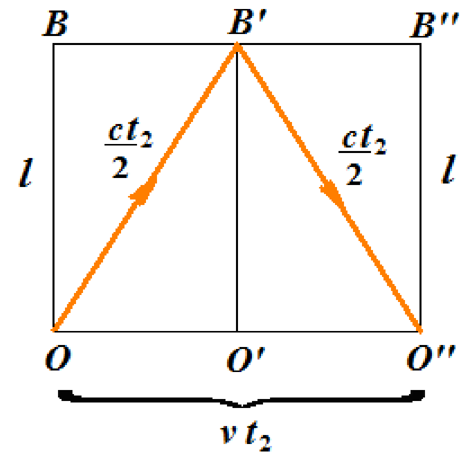
$$t' = \gamma(-v)x + \delta(-v)t = t \Rightarrow \begin{cases} \delta(-v) = 1 \\ \gamma(-v) = 0 \end{cases}$$

Schema experimentului Michelson (1881) pentru demonstrarea existenței eterului universal.



$$t_1 = t_2$$





$$c^2 t_2^2 = 4l^2 + v^2 t_2^2$$

$$t_1 = \underbrace{\frac{l}{c+v}}_{O-A} + \underbrace{\frac{l}{c-v}}_{A-O} = \frac{2lc}{c^2 - v^2}$$

$$t_2 = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

$$\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \text{factor Lorentz-FitzGerald}$$

$$t_1 = \underbrace{\frac{l\sqrt{1 - v^2/c^2}}{c+v}}_{O-A} + \underbrace{\frac{l\sqrt{1 - v^2/c^2}}{c-v}}_{A-O} = \frac{2lc\sqrt{1 - v^2/c^2}}{c^2 - v^2} = \frac{2l}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

$$t_1 / t_2 = 1$$

$$Observatorul\ în\ O: \begin{cases} x = \alpha(v)x' + vt' \\ t = t' \end{cases} \qquad Observatorul\ în\ O': \begin{cases} x' = \alpha(-v)x - vt \\ t' = t \end{cases}$$

$$x = \alpha(v)x' + vt' = \alpha(v)\left[\alpha(-v)x - vt\right] + vt$$

$$= \alpha(v)\alpha(-v)x - \alpha(v)vt + vt;$$

$$x = \alpha(v)\alpha(-v)x - vt\left[1 - \alpha(v)\right] \Rightarrow \begin{cases} \alpha(v)\alpha(-v) = 1 \\ 1 - \alpha(v) = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \alpha(-v) = 1 \\ \alpha(v) = 1 \end{cases}$$

scrierea completă a transformărilor Galilei

$$în\ O: \begin{cases} x = x' + vt' \\ y = y' \\ z = z' \\ t = t' \end{cases} \qquad O': \begin{cases} x' = x - vt \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{cases}$$

$$\dot{x} = \dot{x}' + v \Rightarrow \ddot{x} = \ddot{x}' \Rightarrow m\ddot{x} = m\ddot{x}' \Leftrightarrow F = F'$$

Transformările Spațiu-Timp de tip Lorentz. Universul Minkowski

Einstein (în 1905) reformulează postulatele clasice

PS1: *"Legile după care se modifică legile sistemelor fizice nu depind de alegerea sistemului de coordonate la care se raportează aceste modificări, din mulțimea sistemelor de referință în translație uniformă unul față de celălalt."*

PS2: *"Orice rază de lumină se mișcă într-un sistem de coordonate <<în repaus>> cu o viteză determinată c, independent de faptul că ea este emisă de un corp în repaus sau în mișcare."*

$$x' = \alpha x + \beta t$$

$M \equiv O' \Rightarrow M$ *are viteza* v

$$0 = \alpha v t + \beta t \Rightarrow \beta = -\alpha v$$

$x = vt$

$$x' = \alpha(x - vt)$$

$$x = \alpha(x' + vt')$$

$$t' = \frac{x - \alpha x'}{\alpha v} = \frac{x - \alpha^2 (x - vt)}{\alpha v} = \alpha t - \frac{\alpha^2 - 1}{\alpha v} x$$

$$c = \frac{x}{t} = \frac{x'}{t'}$$

$$\begin{cases} ct' = \alpha (c - v) t \\ t' = \alpha t - \dfrac{\alpha^2 - 1}{\alpha v} ct \end{cases} \qquad \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$$

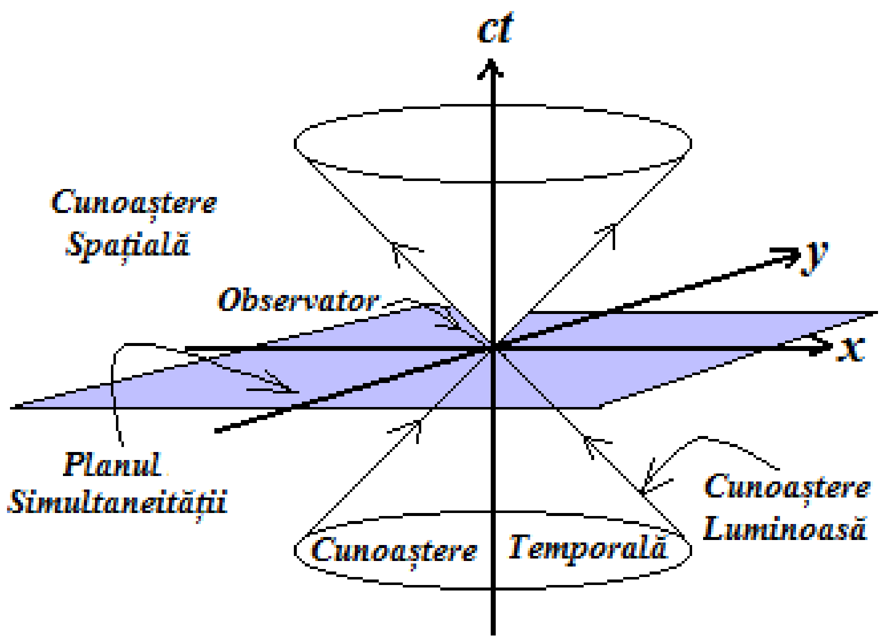
transformările Lorentz

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}} \qquad t' = \frac{t - \dfrac{v}{c^2} x}{\sqrt{1 - \dfrac{v^2}{c^2}}}$$

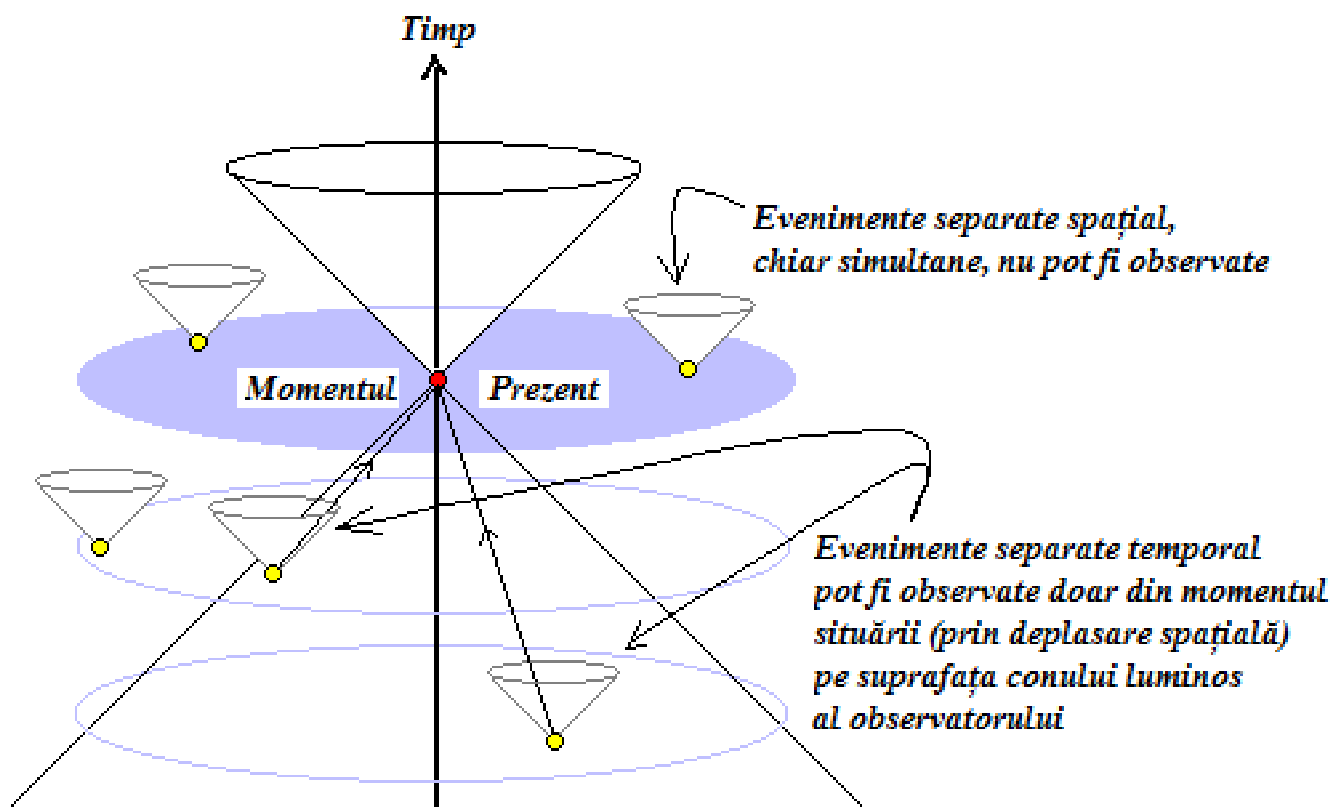
Universul Minkowski, spațio-temporal este o realitate, la fel ca și cvadri-vectorii; cu cuvintele lui Minkowski rostite la o conferință la Koln în 21 septembrie 1908, "*părerile asupra spațiului și timpului pe care doresc să vi le dezvolts-au născut pe un teren experimental-fizic. În aceasta constă tăria lor. Tendința lor este să dea demonstrații radicale. Din acest moment trebuie ca spațiul pentru sine să dispară complet în umbră și să se considere numai existența unei asociații a celor două.*"

Intervalul (pătratic) Minkowski este o mărime invariantă la transformările 4D, reunind practic postulatele separate ale spațiului și timpului Galilean-Newtonian într-un singur continuum spațio-temporal absolut. De aceea, această valoare universală se mai numește și *linie de univers*

$$ds^2 = c^2 dt^2 - dl^2$$



Cunoașterile relative ale distanței și duratei în relativitate



Cunoașterile relative ale distanței și duratei în relativitate

Mărime Măsurată	**SRI Eveniment**	**Caracterizare Eveniment**	**Ecuație de Lucru**	**Receptare relativă**
DISTANȚĂ	*Evenimente în SRI-O':* x'_1, x'_2	*Măsurate simultan în SRI-O:* $t_1 = t_2$	$x' = \dfrac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$	$\underbrace{\Delta x'}_{\substack{SRI \\ propriu}} = \dfrac{\Delta x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
	Evenimente în SRI-O: x_1, x_2	*Măsurate simultan în SRI-O':* $t'_1 = t'_2$	$x = \dfrac{x' + vt'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$	$\underbrace{\Delta x}_{\substack{SRI \\ propriu}} = \dfrac{\Delta x'}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$
DURATĂ	*Evenimente în SRI-O':* t'_1, t'_2	*Colocale în SRI-O':* $x'_1 = x'_2$	$t = \dfrac{t' + vx'/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$	$\underbrace{\Delta t'}_{\substack{SRI \\ propriu}} = \Delta t\sqrt{1 - v^2/c^2}$
	Evenimente în SRI-O: t_1, t_2	*Colocale în SRI-O:* $x_1 = x_2$	$t' = \dfrac{t - vx/c^2}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$	$\underbrace{\Delta t}_{\substack{SRI \\ propriu}} = \Delta t'\sqrt{1 - v^2/c^2}$

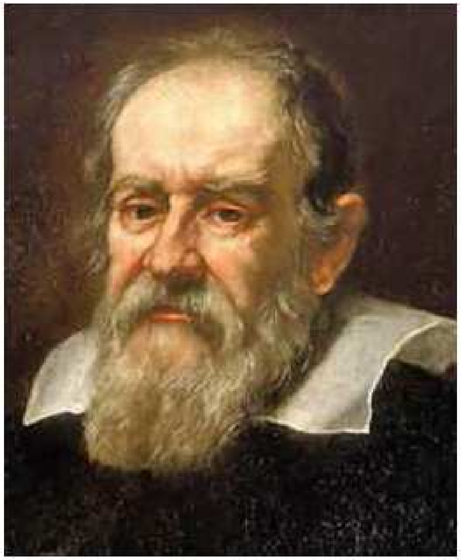
Lungimea unui obiect măsurată pe direcția mișcării sistemului mobil este maximă în sistemul propriu al obiectului; de notat că efectul contracției manifestat în sistemul observatorului (nu cel propriu) este în acord cu contracția longiludinală Lorentz-FitzGerald semnalată odată cu ezolvarea paradoxului diferențelor temporale pentru drumurile optice în experimentul Michelson, mai sus descris și comentat.

Durata desfășurării unui proces este minimă în sistemul propriu, față de care fenomenul este în repaus.

În finalul acestei lecții, merită amintite stihurile *relativiste* din Literatura Română.

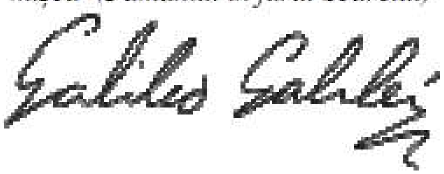
În speță, cele referitoare la durata relativă au fost admirabil sintetizate de Tudor Arghezi în poezia *Despărțirea* (din volumul *Cuvinte Potrivite*): "... *Când am plecat, un ornic bătea în ceață rar,/ Atât de rar că timpul trecu pe lângă oră ...*"

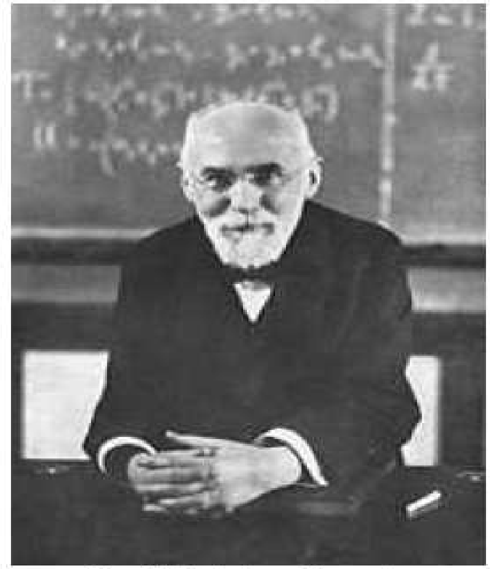
În schimb, versurile legate de spațiu și de parcurgerea (finită, întârziată) a acestuia de lumină (cu viteza luminii) sunt genial întruchipate de M. Eminescu în mitica poezie *La steaua* (scrisă 1886! cu mult înainte de formularea postulatelor teoriei relativității speciale de către Einstein în 1905): „*La steaua care-a răsărit/ E cale atât de lungă,/ Că mii de ani i-au trebuit/ Luminii să ne ajungă./ Poate de mult s-a stins în drum/ În depărtări albastre,/ Iar raza ei abia acum/ Lucii vederii noastre./ Icoana stelei ce-a murit/ Încet pe cer se suie: / Era pe când nu s-a zărit, / Azi o vedem, și nu e.*"



Galileo Galilei

15 Februarie 1564 Pisa, Ducat al Frolenței - 8 Ianuarie 1642 (la 77 ani) Arcetri, Mare Ducat al Toscanei; a avut contribuții în astronomie, fizică, matematică; a fost asociat la Universitățile Pisa (alma mater) și Padova; mentor academic: Ostilio Ricci; Studenți notabili: Benedetto Castelli, Mario Guiducci, Vincenzio Viviani; este faimos pentru cinematică, dinamică, observațiile telescopice, astronomie, teza heliocentrismului, oponența la inchiziție prin maxima "și totuși se mișcă"(Pământul în jurul Soarelui)





Hendrik Antoon Lorentz

(18 Iulie 1853, Arnhem, Olanda – 4 Februarie 1928 (la 74 ani) Haarlem, Olanda; contribuții în fizică, în special în teoria radiației electromagnetice, teoria relativității speciale, și explicarea efectului Zeeman ; a fost asociat la Universitatea din Leiden (alma mater); Coordonator de doctorat: Pierter Rijke; studenți dooctoranzi notabili: Geertruida L. De Haas – Lorentz, Adriaan Fokker, Leonard Ornstein; este faimos pentru forța Lorentz, transformările Lorenț, ipoteza contracției Lorentz-FizGerald, factorul Lorentz, relativitatea simultaneității; laureat al premiului Nobel pentru Fizică în 1902, împreună cu Pieter Zeeman pentru "cercetările influenței magnetismului asupra fenomenelor radiațiilor"