



TEORIA RELATIVITĂȚII RESTRÂNSE

II.



Sumar

- Preliminarii
- Postulatele TRR
- Dilatarea timpului

Preliminarii

- Experimentul lui Michelson & Morley nu reușește să demonstreze existența eterului.
- Experimentul Michelson & Morley indică o valoare constantă a vitezei luminii, independentă de viteza sursei care o produce și deci imposibilitatea aplicării regulii de compunere clasică a vitezelor în cazul luminii.
- Ecuațiile lui Maxwell prezic de asemenea o valoare constantă a vitezei luminii independentă de mișcarea oricărui SRI.

1905

Revista Annalen der Physik - A. Einstein publică 4 articole

1. Explicarea efectului fotoelectric extern (introduce ideea că la nivel atomic schimbul de energie se efectuează sub forma unor porții discrete de energie = cuante de energie = fotoni)
2. Teoria mișcării browniene (evidență a atomilor și a mișcării lor dezordonate descrisă de legi statistice)
3. Introducere în teoria relativității restrânse. ["Zur Elektrodynamik bewegter Körper"](#)
[\[On the Electrodynamics of Moving Bodies\]](#)
4. Relația masă-energie. [Does the Inertia of a Body Depend Upon Its Energy Content?](#)

$$E = mc^2$$

Postulatele TRR

1. Prin nici un experiment de fizică nu poate fi pus în evidență repausul sau mișcarea rectilinie uniformă a unui sistem de referință inerțial. (SRI sunt perfect echivalente, legile fizicii se formulează la fel în orice SRI).
2. Viteza luminii în vid este o constantă fiind independentă de mișcarea sursei de lumină sau a observatorului.



Ce este timpul ?

- Ceea ce măsurăm cu un ceas.

Ce este spațiul?

- Ceea ce măsurăm cu o riglă etalon

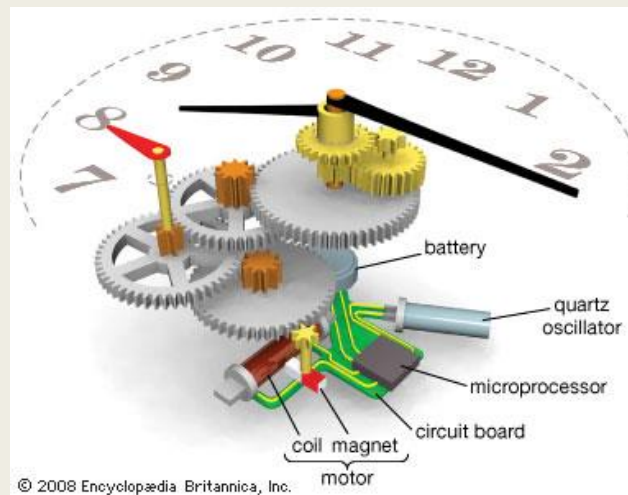
Cum măsurăm timpul?

Ceasuri

- Clepsidra
- Ceasul cu apă
- Ceasul cu pendul
- Ceasul cu arc
- Ceasul cu cristal de quartz
- Ceasuri biologice
- Ceasuri atomice



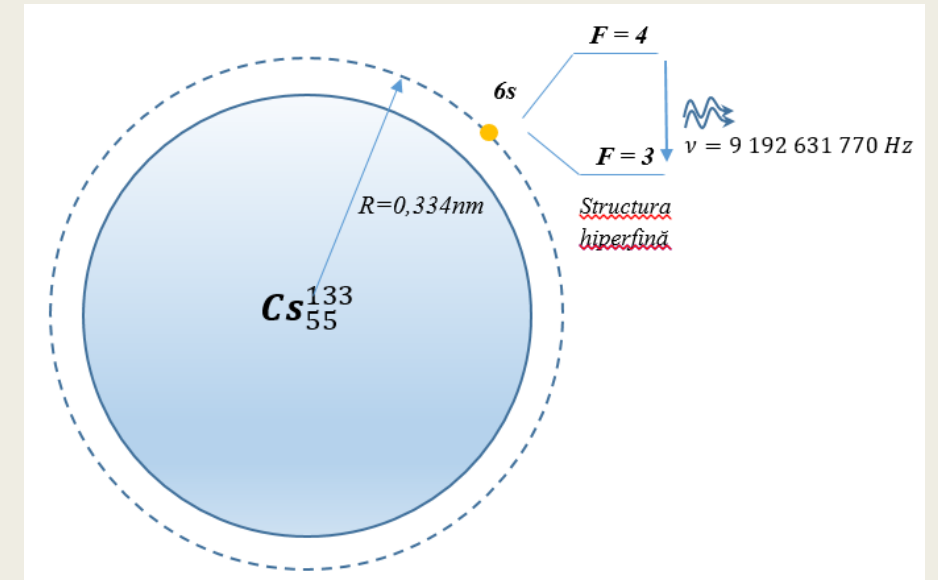
Au la bază fenomene periodice
sau aproximativ periodice



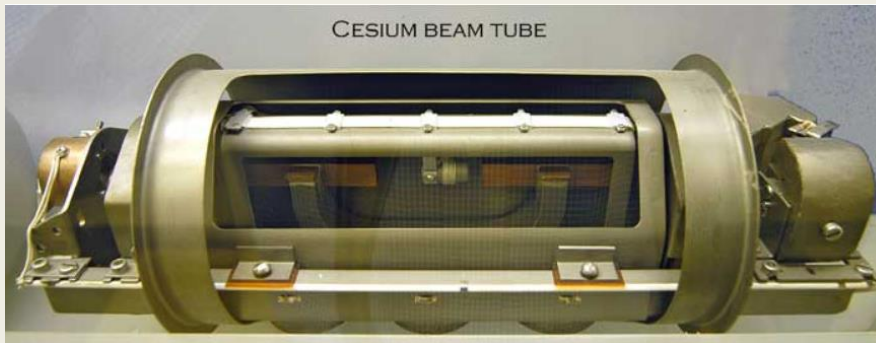
Ceasul atomic

Cele mai acurate ceasuri sunt **ceasurile atomice**.

Sistemul Internațional de Unități definește 1 secundă ca fiind 9 192 631 770 perioade ale radiației electromagnetice rezultate în urma tranziției între cele două niveluri hiperfine ale stării fundamentale a atomului de Cesium – Cs_{55}^{133} aflat în apropierea temperaturii de 0 K (absența mișcării, zero efecte ale radiației).



Ceasul cu Cesium



<http://tycho.usno.navy.mil/cesium.html>

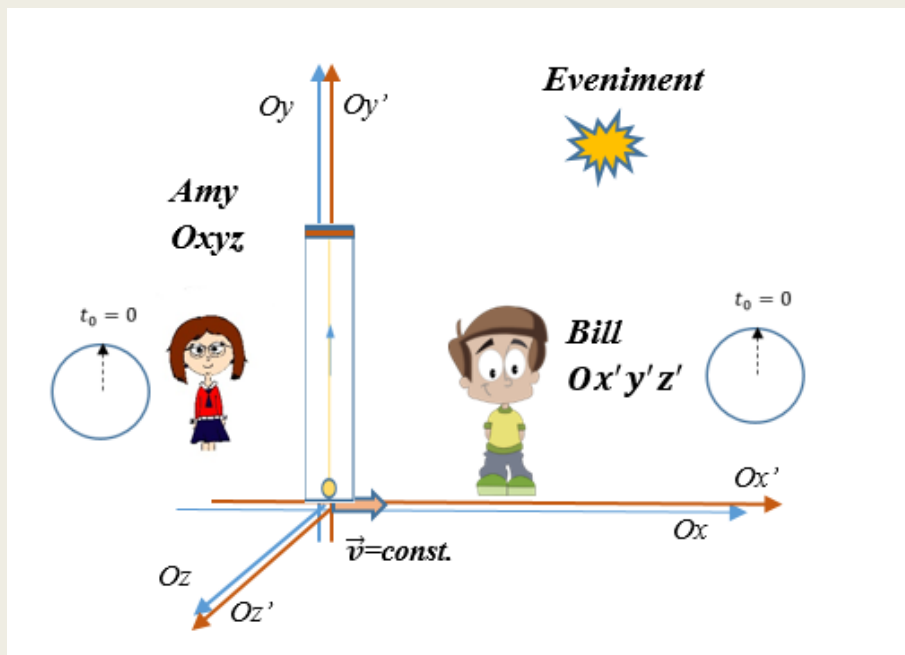


HP5071A, Agilent Technologies, Inc. of Santa Clara

Un asemenea ceas poate avea o eroare de doar 1s la 1 400 000 ani

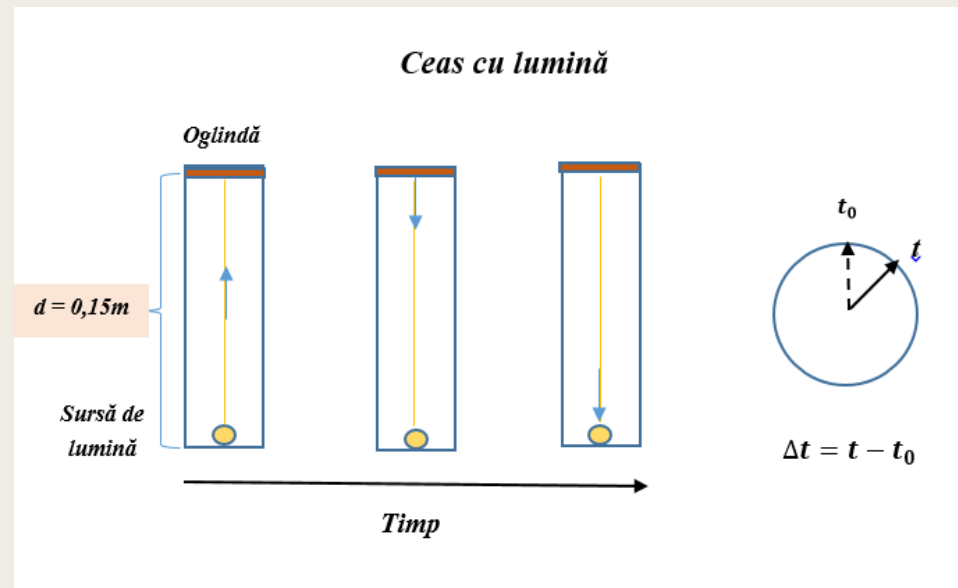
Importante pentru – telecomunicații, GPS, experimente precise legate de TRR

Dilatarea timpului



Problema

Să presupunem că avem două SRI, unul $Oxyz$ în repaus cu un observator Alice cu ceasul său, al doilea $Ox'y'z'$ cu observatorul Bob cu ceasul său identic și sincronizat cu al lui Alice, în mișcare față de primul cu viteză constantă $\vec{v}$. Undeva se produce un eveniment care durează un interval de timp. Măsurând acest interval de timp cu instrumentele proprii obțin cei doi observatori Alice și Bob aceeași valoare?



Pentru a răspunde la această problemă A. Einstein a inventat așa numitul experiment mintal. (Gedankenexperiment, thought experiment)

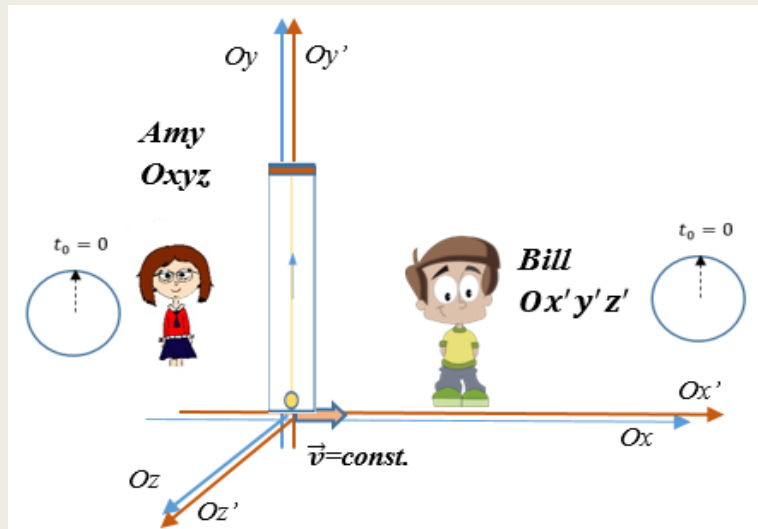
A utilizat pentru argumentare un ceas cu lumină. Ceasul cu lumină nu conține deloc părți metalice și folosește un fascicul de lumină care este reflectat de o oglindă. Mersul dus-întors al razei de lumină reprezintă un tic, o unitate de măsură. Pentru valorile alese ale lungimii avem:

$$d = 0,15m$$

$$c = 3 \cdot \frac{10^8 m}{s}$$

$$1 \text{ tic} = \frac{2d}{c} = 1ns$$

Dilatarea timpului



- Considerăm un ceas cu lumină legat de SR $Ox'y'z'$ - Bill
- $Ox'y'z'$ se deplasează cu viteză constantă $\vec{v}$ prin translație față de $Oxyz$ – Amy în lungul axei Ox , celelalte axe rămân nemodificate
- Bill măsoară timpul în care raza emisă de ceas ajunge la oglindă ca fiind t' , acesta fiind evenimentul analizat.
- Din punctul de vedere al lui Amy pentru a vedea același eveniment ca Bill trebuie să trimită o rază oblică. Datorită constanței vitezei luminii același eveniment are loc în timpul t din punctul de vedere al lui Amy. $t > t'$
- SR mobil se deplasează față de cel fix din punctul de vedere al lui Amy cu vt

Din triunghiul dreptunghic care se formează,

$$c^2 t^2 = c^2 t'^2 + v^2 t^2$$

$$c^2 t^2 - v^2 t^2 = c^2 t'^2$$

$$(c^2 - v^2) t^2 = c^2 t'^2$$

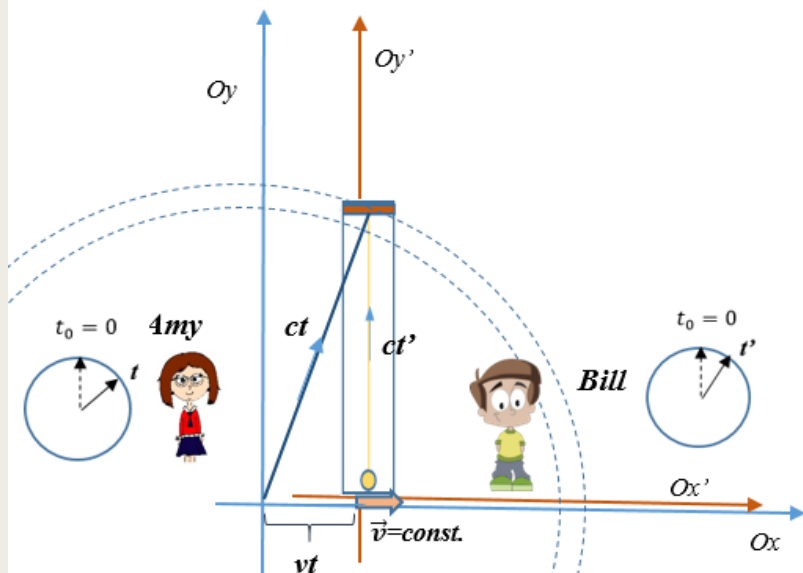
$$t^2 = \frac{c^2}{(c^2 - v^2)} t'^2$$

✓ t' este timpul în SR față de care evenimentul este în repaus, în cazul acesta ceasul cu lumină e în repaus față de SR $Ox'y'z'$ - Bill. Acest timp se mai numește timp propriu.

✓ t este timpul în SR față de care evenimentul se află în mișcare, ceasul este în mișcare față de $Oxyz$ – Amy

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \gamma t'$$

Pentru același eveniment ceasul lui Amy măsoară mai mult decât ceasul lui Bill.



Valerica Baban

Factor relativist

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$\beta = \frac{v}{c}$$

$$\gamma \geq 1$$

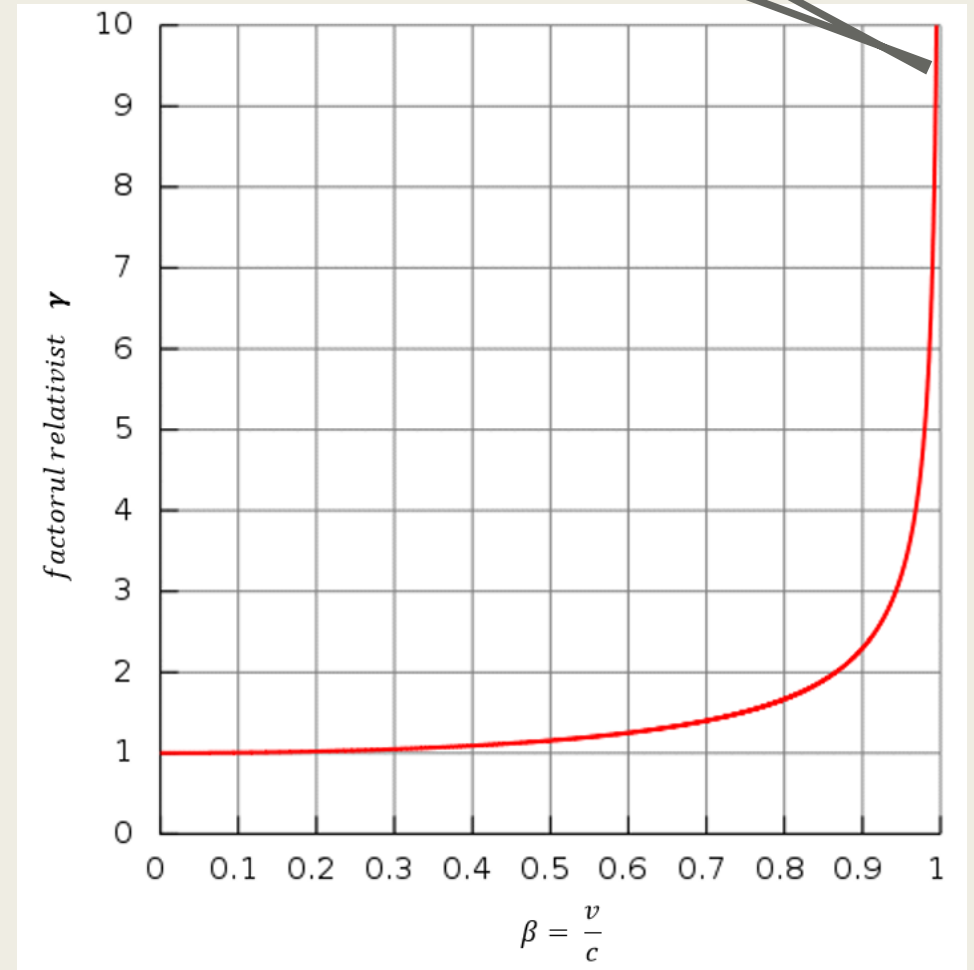
Variația factorului relativist cu viteza

$\Delta t' = t' - t_0 = 1\text{s}$ eveniment în SRI aflat în mișcare $Ox'y'z'$

$\Delta t = t - t_0 = \gamma \Delta t'$ durata evenimentului în SRI aflat în repaus $Oxyz$

La $v = c$, $\gamma \rightarrow \infty$

v (m/s)	$\beta = v/c$	γ	$\Delta t = t - t_0$ (s)
30000	0.0001	1.0000000005	1.0000000005
300000	0.001	1.00000005	1.00000005
30000000	0.1	1.005	1.005
60000000	0.2	1.02	1.02
150000000	0.5	1.15	1.15
180000000	0.6	1.25	1.25
240000000	0.8	1.66	1.66
270000000	0.9	2.29	2.29
299700000	0.999	22.36	22.36
299970000	0.9999	70.71	70.71

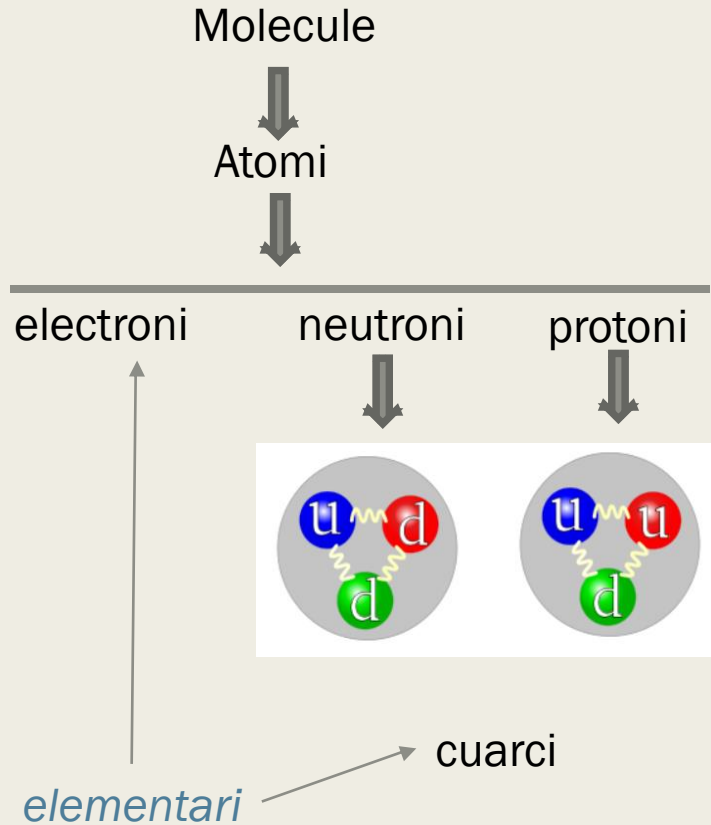


Dovezi experimentale privind dilatarea timpului

Timpul de viață al miuonilor μ

Miuonii sunt particule elementare instabile care se descompun în alte particule.

Structura materiei conform MODELULUI STANDARD



cuarci

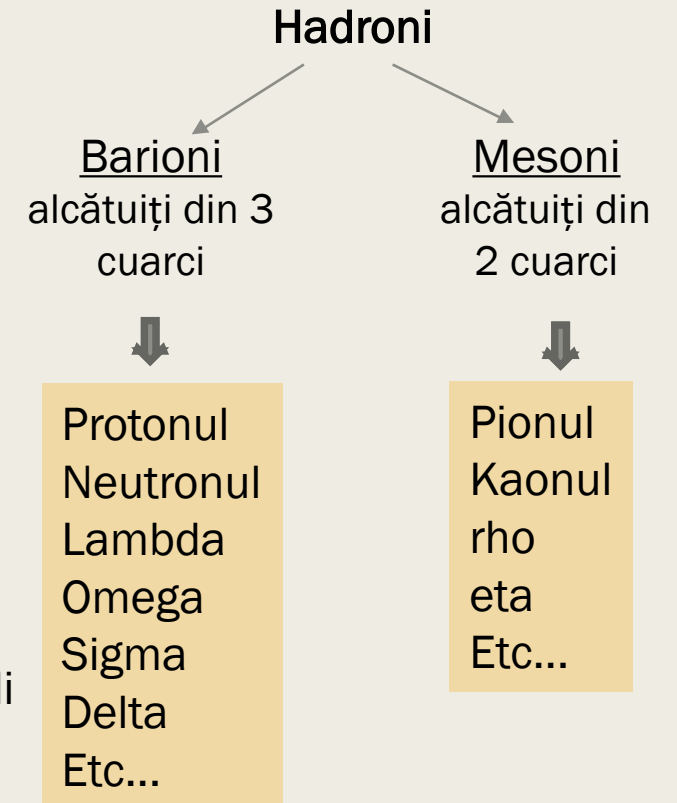
leptoni

Elementary Particles						
Quarks	u up	c charm	t top	Force Carriers		
	d down	s strange	b bottom			
	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino			
Leptons	e electron	μ muon	τ tau	Force Carriers		
Three Families of Matter						

Bosonii vectoriali

Miuonul μ

Particule elementare
fără structură internă



Dovezi experimentale privind dilatarea timpului

Timpul de viață al miuonilor μ

- Au fost descoperiți în 1936 de Carl D. Anderson studiind radiația cosmică.
- Sunt produși în păturile superioare ale atmosferei $\approx 10 - 15 \text{ km}$ prin dezintegrarea pionilor π^+ , π^- .
- Au masa mai mare ca a electronului $m_\mu = 207m_e$
- Sunt instabili, timpul mediu de viață în repaus este
$$t_\mu = 2,2 \mu s = 2,2 \cdot 10^{-6} s$$
- Interacționează cu moleculele care compun atmosfera.

Schema de dezintegrare a miuonilor

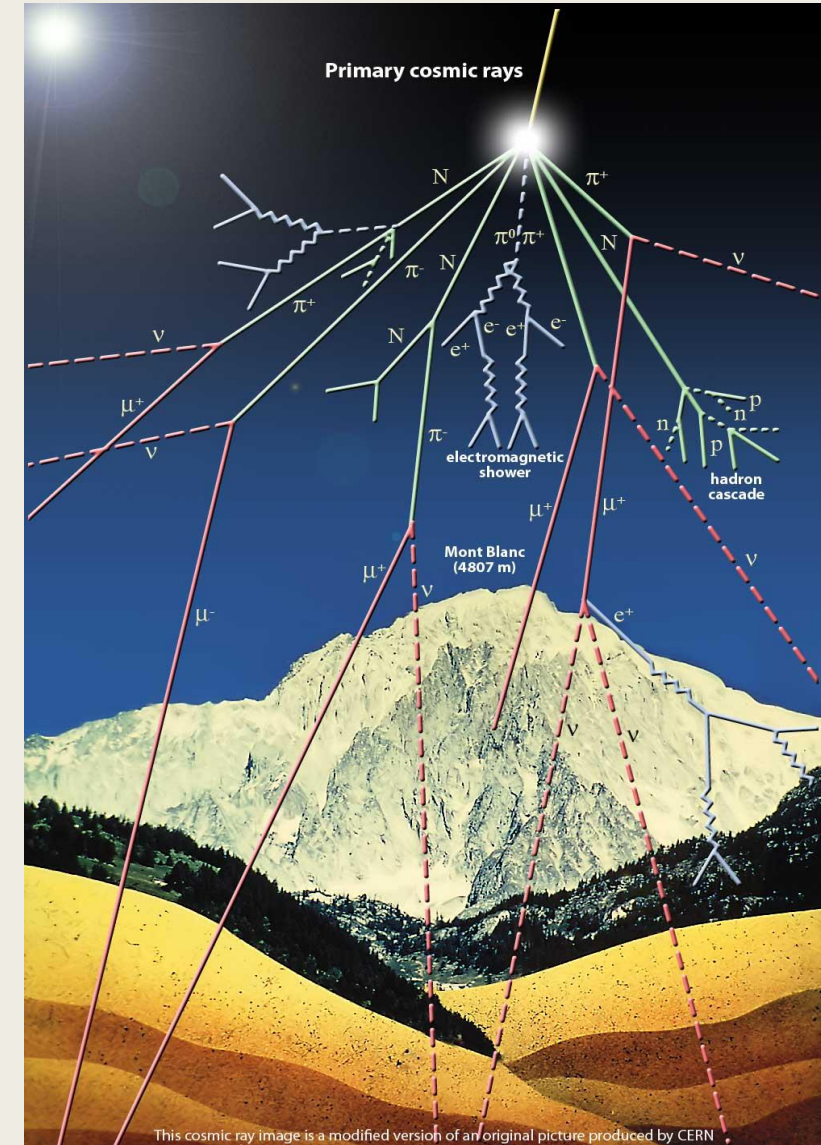
$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

electron + antineutrino electronic
+ neutrino miuonic

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

pozitron + neutrino electronic
+ antineutrino miuonic

- Miuonii ajung la nivelul mării într-un flux mediu de **1 miuon/cm²min** adică **10 000 miuoni/m²min**
- Miuonii constituie jumătate din fondul natural de radiații.



Dacă timpul lor de viață e așa mic cum de ajung așa mulți la nivelul mării?!

Dovezi experimentale privind dilatarea timpului

Timpul de viață al miuonilor μ

Miuonii ating atmosfera superioară cu $v = 0,994c$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

$$d = v \cdot t_\mu \cong 656 \text{ m}$$

Pentru mionul în SR propriu

Dacă ținem seama de efectul relativist față de Pământ

$$t = \gamma t_\mu, \quad v = 0,994c$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cong 9,13$$

$$t \cong 9t_\mu$$

$$d = v \cdot t \cong 6\,000 \text{ m}$$

Explicația faptului că miuonii parcurg distanțe mai mari (de chiar 10-15 km) este că timpul mediu de viață este o mărime statistică care trebuie înțeleasă astfel, unii pot avea un timp de viață mai scurt iar alții mai lung decât media.

