

Teoria specială a relativității

Nicolae Sfetcu

Publicat de Nicolae Sfetcu

Copyright 2018 Nicolae Sfetcu

PREVIZUALIZARE CARTE

Teoria specială a relativității

Teoria specială a relativității a fost inițial propusă de Albert Einstein într-o lucrare publicată la 26 septembrie 1905 intitulată "*Despre electrodinamica corpurilor în mișcare*". Inconsecvența mecanicii newtoniene cu ecuațiile lui Maxwell de electromagnetism și lipsa confirmării experimentale a unui eter luminifer ipotetic au dus la dezvoltarea relativității speciale, care corectează mecanica pentru a face față situațiilor care implică mișcări la o fracțiune semnificativă a vitezei luminii (cunoscută ca viteză relativistă). Astăzi, relativitatea specială este cel mai precis model de mișcare la orice viteză atunci când efectele gravitaționale sunt neglijabile. Chiar și așa, modelul mecanicii newtoniene este încă util (datorită simplității și preciziei sale înalte) ca o aproximare la viteze mici în raport cu viteza luminii.

Înainte de formularea relativității speciale, *Hendrik Lorentz* și alții au remarcat deja că electromagnetismul diferă de fizica newtoniană prin aceea că observațiile unui aceluiași fenomen pot fi diferite pentru o persoană care se deplasează în raport cu altă persoană la viteze apropiate de viteza luminii. De exemplu, una din persoane poate observa că nu există niciun câmp magnetic, în timp ce cealaltă observă un câmp magnetic în aceeași zonă fizică. Lorentz a sugerat o teorie a eterului, în care obiectele și observatorii care călătoresc față de un eter staționar suferă o contracție fizică (*contractia Lorentz-Fitzgerald*) și o modificare a timpului (*dilatarea timpului*). Acest lucru a permis reconcilierea parțială a electromagnetismului cu fizica newtoniană. Când vitezele implicate sunt mult mai mici decât viteza luminii, legile rezultate se simplifică la legile lui Newton. Teoria, cunoscut sub numele de *Teoria Eterului Lorentz*, a fost criticată (chiar și de către Lorentz însuși), din cauza naturii sale neelaborate.

În timp ce Lorentz sugera ecuațiile de transformare Lorentz ca o descriere matematică cu exactitate a rezultatelor măsurătorilor, contribuția lui Einstein a fost de a obține aceste ecuații pornind de la o teorie mai fundamentală. Einstein a vrut să afle ce este invariant (neschimbat) pentru toți observatorii. Titlul său original pentru teoria sa a fost (tradus din germană), este "*Teoria invarianțelor*". Max Planck a propus termenul de "relativitate", pentru a sublinia ideea că legile fizicii se schimbă pentru observatori în mișcare unul față de celălalt.

Până când Einstein a dezvoltat relativitatea generală, pentru a încorpora cadre generale (sau accelerate) de referință și gravitație, a fost folosită expresia "relativitate specială". O traducere

care a fost adesea folosită este "relativitatea restrânsă"; "special" însemnând într-adevăr un "caz special".

O caracteristică definitorie a relativității speciale este înlocuirea transformărilor galileiene ale mecanicii newtoniene cu transformările Lorentz. Timpul și spațiul nu pot fi definite separat unele de altele. Mai degrabă spațiul și timpul sunt interconectate într-un singur continuum cunoscut sub numele de spațiu-timp. Evenimente care apar simultan pentru un singur observator pot avea loc la momente diferite pentru altul.

Teoria este "specială" prin faptul că se aplică numai în cazul special în care curbura spațiu-timpului datorită gravitației este neglijabilă. Pentru a include gravitația, Einstein a formulat relativitatea generală în 1915. Relativitatea specială, contrar unor descrieri depășite, este capabilă de includerea accelerațiilor, precum și a cadrelor de referință accelerate.

Deoarece relativitatea galileiană este acum considerată o aproximare a relativității speciale care este valabilă pentru viteze reduse, relativitatea specială este considerată o aproximare a relativității generale care este valabilă pentru câmpurile gravitaționale slabe, adică la o scară suficient de mică și în condiții de cădere liberă. În timp ce relativitatea generală încorporează geometria noneuclidiană pentru a reprezenta efectele gravitaționale ca curbura geometrică a spațiului, relativitatea specială este limitată la spațiu-timpul plat, cunoscut ca spațiul Minkowski. Un cadru local invariant Lorentz care respectă relativitatea specială poate fi definit la scări suficient de mici, chiar și în spațiu-timpul curbat.

Galileo Galilei a afirmat deja că nu există o stare de repaus absolută și bine definită (nu există cadre de referință privilegiate), un principiu numit acum principiul de relativitate al lui Galileo. Einstein a extins acest principiu astfel încât acesta a reprezentat viteza constantă a luminii, fenomen care a fost observat în experimentul Michelson-Morley. El a afirmat, de asemenea, că este valabil pentru toate legile fizicii, inclusiv legile mecanicii și ale electrodinamicii.

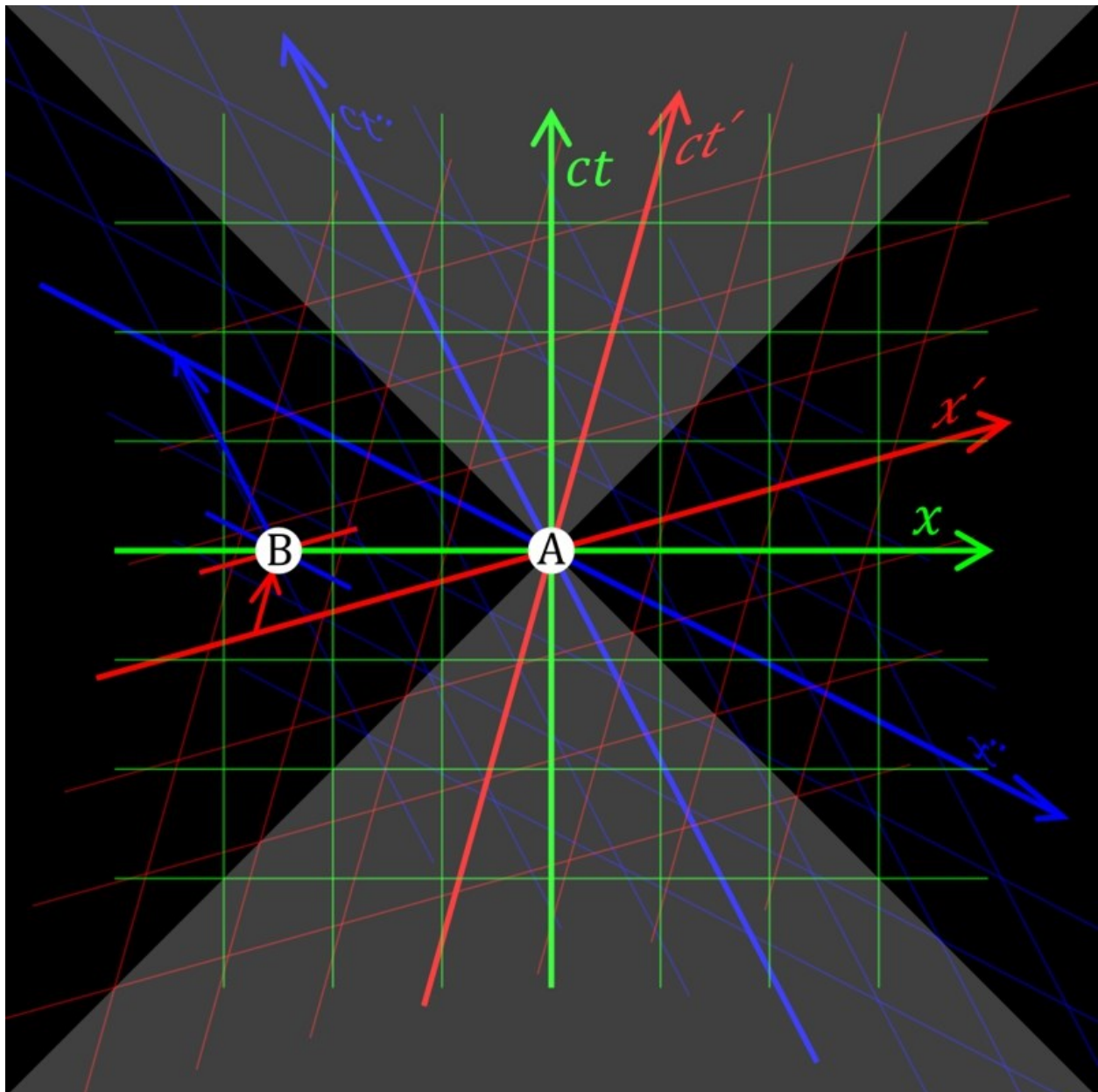
Relativitatea specială se ocupă în principiu cu comportamentul obiectelor și observatorilor care rămân în repaus sau se deplasează cu o viteză constantă. În acest caz, observatorul este declarat a fi într-un *cadru inerțial de referință* sau pur și simplu inerțial. Compararea poziției și timpului evenimentelor înregistrate de observatori inerțiali diferiți se poate face prin utilizarea *ecuațiilor de transformare Lorentz*. O denaturare comună cu privire la relativitate este că se consideră că relativitatea specială nu poate fi folosită pentru a gestiona cazul obiectelor și observatorilor care sunt în accelerare (*cadre de referință non-inerțiale*), dar acest lucru este incorect. De exemplu, problema rachetei relativiste. Relativitatea specială poate prezice corect comportamentul componentelor accelerate atâta timp cât nu este vorba de accelerația gravitațională, în care caz trebuie să fie utilizată relativitatea generală.

Relativitatea specială implică o gamă largă de consecințe, care au fost verificate experimental, inclusiv contracția lungimii, dilatarea timpului, masa relativistă, echivalența masă-energie, o limită de viteză universală, și relativitatea simultaneității. A înlocuit noțiunea convențională de timp absolut universal cu noțiunea de timp dependent de cadrul de referință și de poziția spațială. Mai degrabă decât un interval de timp invariant între două evenimente, există un interval invariant spațiu-timp. În combinație cu alte legi ale fizicii, cele două postulate ale relativității

speciale prezic echivalența dintre masă și energie, exprimată în formula de echivalență a energiei de masă $E = mc^2$, unde c este viteza luminii în vid.

.....

Simultaneitatea (Relativitatea simultaneității)



(Evenimentul B este simultan cu A în cadrul de referință verde, dar a apărut înainte în cadrul albastru și va apărea mai târziu în cadrul roșu. Sursa: Army1987, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Relativity_of_Simultaneity.svg, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license)

În fizică, relativitatea simultaneității este conceptul că *simultaneitatea la distanță* - când două evenimente separate separat spațial se întâmplă în același timp - nu este absolută, ci depinde de cadrul de referință al observatorului.

Explicație

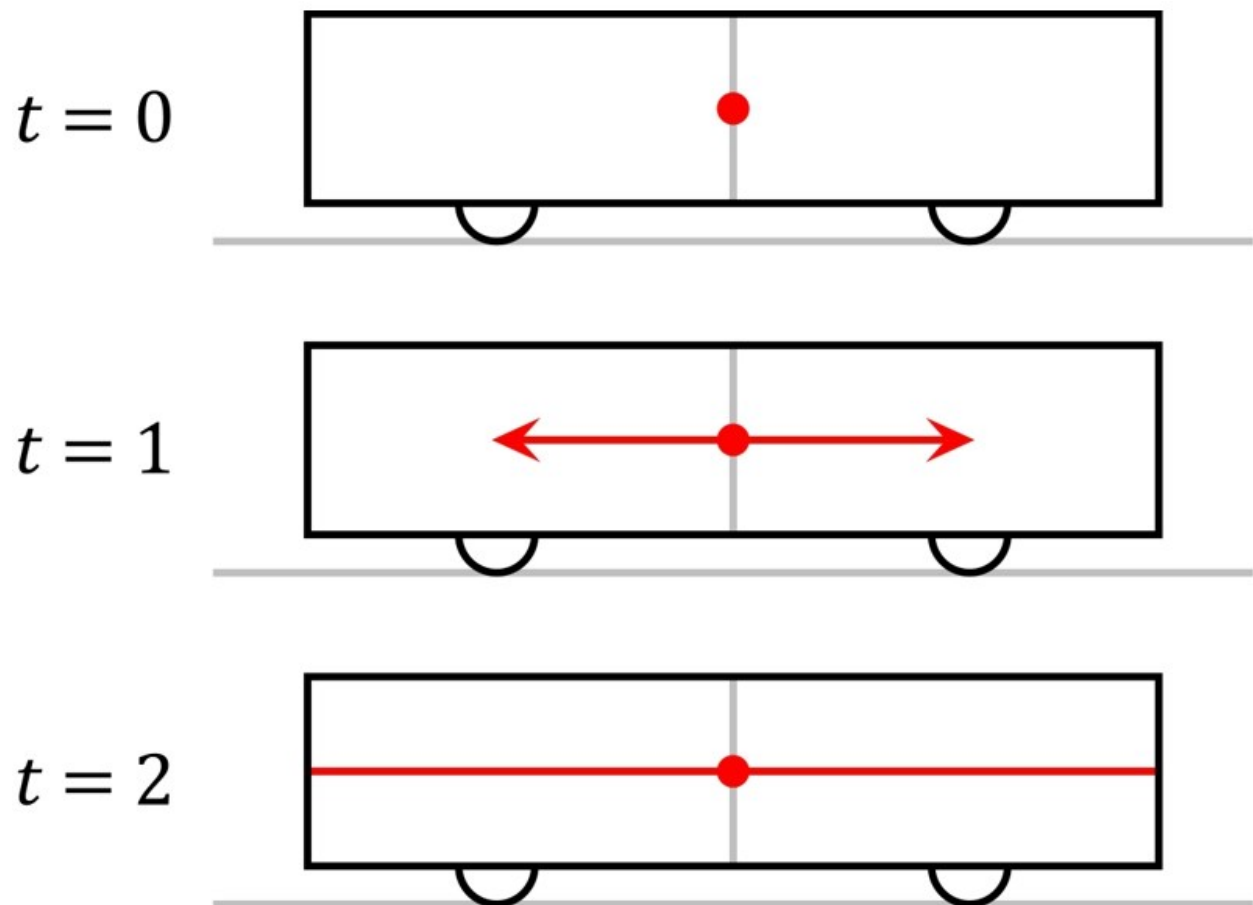
Conform teoriei speciale a relativității, este imposibil să spunem într-un sens *absolut* că două evenimente distincte apar în același timp dacă aceste evenimente sunt separate în spațiu. De exemplu, un accident de mașină din Londra și altul din New York, care par să se întâmple în același timp unui observator pe Pământ, va apărea în momente puțin diferite unui observator într-un avion care zboară între Londra și New York. Întrebarea dacă evenimentele sunt simultane este *relativă*: în cadrul de referință Pământ staționar, cele două ciocniri se pot întâmpla în același timp, dar în alte cadre (într-o stare de mișcare diferită față de evenimente), accidentul de la Londra poate apărea mai întâi, iar în alte cadre se poate întâmpla accidentul din New York. Cu toate acestea, dacă cele două evenimente ar putea fi conectate cauzal (adică timpul dintre evenimentul A și evenimentul B este mai mare decât distanța împărțită la viteza luminii), ordinea este păstrată (adică "evenimentul A precede evenimentul B") în toate cadrele de referință.

Dacă unui cadru de referință îi este atribuit exact același timp la două evenimente care se află în diferite puncte din spațiu, un cadru de referință care se mișcă în raport cu primul va aloca, în general, timpi diferiți celor două evenimente. Acest lucru este ilustrat în paradoxul scării, un experiment gândit care folosește exemplul unei scări care se mișcă la viteză mare printr-un garaj.

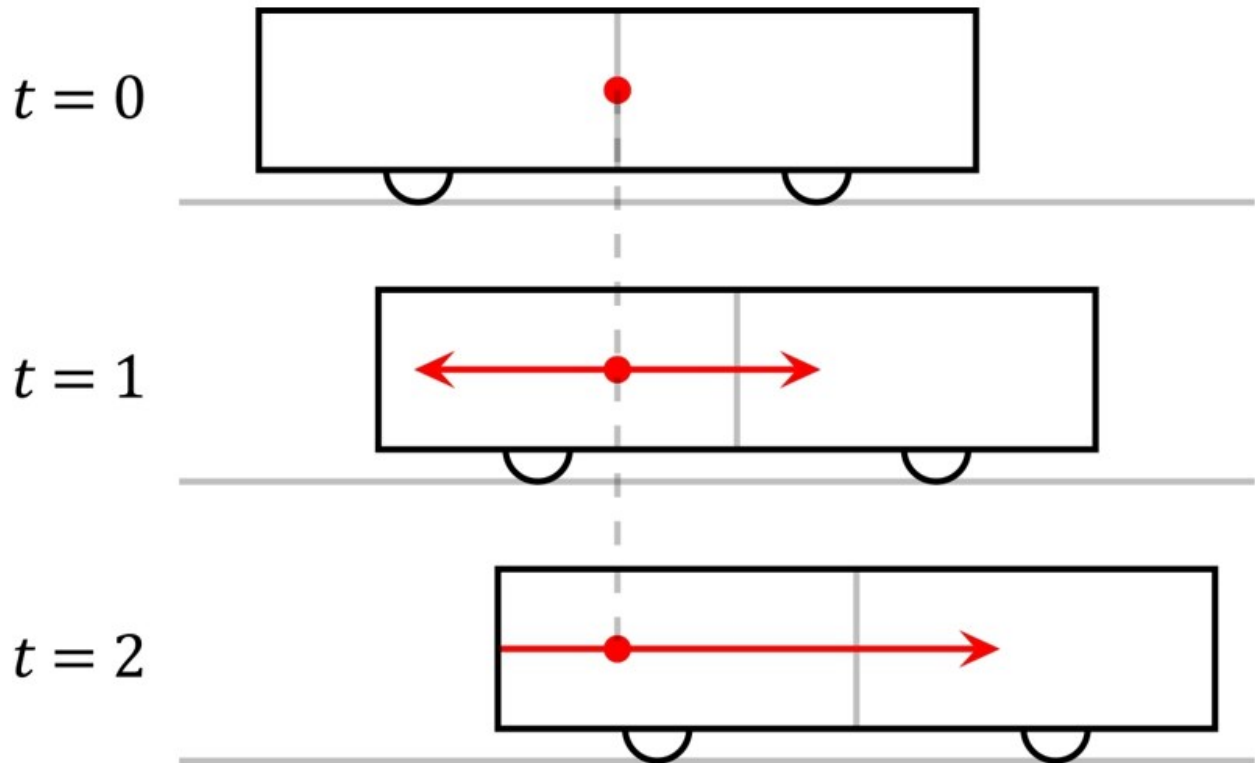
O formă matematică a relativității simultaneității ("ora locală") a fost introdusă de Hendrik Lorentz în 1892 și interpretată fizic (primului ordin în v/c) ca rezultat al unei sincronizări folosind semnale luminoase de către Henri Poincaré în 1900. Totuși, atât Lorentz, cât și Poincaré și-au întemeiat concepțiile asupra eterului ca un cadru de referință preferat, dar nedetectabil, și au continuat să facă distincția între timpurile "adevărate" (în eter) și "aparente" pentru deplasarea observatorilor. Albert Einstein în 1905 a abandonat eterul (clasic) și a subliniat importanța relativității simultaneității față de înțelegerea noastră a spațiului și a timpului. El a dedus eșecul simultaneității absolute din două ipoteze declarate:

- principiul relativității - echivalența cadrelor inerțiale, astfel încât legile fizicii se aplică în mod egal în toate sistemele de coordonate inerțiale;
- constanța vitezei luminii detectată în spațiul vid, independent de mișcarea relativă a sursei sale.

Experimentul de gândire tren-cale ferată



(Experimentul tren-calea ferată din cadrul de referință al unui observator în tren. Sursa: Acdx, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Traincar_Relativity1.svg, CC Attribution-Share Alike 4.0 International, 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license)



(Cadrul de referință al unui observator care se află pe calea ferată (contractia lungimii nu este prezentată). Sursa: Acdx, https://en.wikipedia.org/wiki/File:Traincar_Relativity2.svg, CC Attribution-Share Alike 4.0 International, 3.0 Unported, 2.5 Generic, 2.0 Generic and 1.0 Generic license)

O imagine populară pentru înțelegerea acestei idei este oferită de un experiment de gândire constând dintr-un observator la jumătatea drumului într-un tren de viteză și un alt observator care se află pe o cale ferată pe care trece trenul. Este similar cu experimentele de gândire sugerate de Daniel Frost Comstock în 1910 și de Einstein în 1917.

Un bliț de lumină se declanșează în centrul trenului exact când cei doi observatori trec unul pe lângă celălalt. Pentru observatorul aflat în tren, partea frontală și cea din spate a trenului sunt la distanțe fixe față de sursa de lumină și, în consecință, conform acestui observator, lumina va ajunge în același timp în fața și în spatele trenului.

Pentru observatorul care stă pe calea ferată, pe de altă parte, partea din spate a trenului se deplasează (atingând) spre punctul în care a apărut blițul, iar partea frontală a trenului se îndepărtează de el. Deoarece viteza luminii este finită și aceeași în toate direcțiile pentru toți observatorii, lumina îndreptată spre spatele trenului va avea o distanță mai mică de parcurs decât cea care se îndreaptă spre față. Astfel, blițul de lumină va ajunge la extremele trenurilor în momente diferite.

.....

Dilatarea timpului



(Dilatarea timpului explică de ce două ceasuri vor raporta momente diferite la accelerații diferite. De exemplu, la ISS timpul merge mai lent, cu o întârziere de 0.007 secunde în urmă pentru fiecare șase luni Pentru ca sateliții GPS să lucreze, trebuie să se adapteze pentru o curbă similară a spațiu-timpului pentru a se coordona cu sistemele de pe Pământ. (NASA))

Conform teoriei relativității, dilatarea timpului este o diferență în timpul scurs măsurat de doi observatori, fie datorită unei diferențe de viteză relative una față de cealaltă, fie prin faptul că sunt situați diferit relativ la un câmp gravitațional. Ca urmare a naturii spațiu-timpului, un ceas care se mișcă în raport cu un observator va ticăi mai încet decât un ceas care este în repaus în cadrul de referință al observatorului. Un ceas care este sub influența unui câmp gravitațional mai puternic decât cel al unui observator va ticăi de asemenea mai încet decât ceasul observatorului.

O astfel de dilatare a timpului a fost demonstrată în mod repetat, de exemplu, prin diferențe mici între o pereche de ceasuri atomice după ce unul dintre ele este trimisă într-o călătorie spațială, sau între ceasurile de pe o navă spațială care merg puțin mai încet decât ceasurile de referință de pe Pământ, sau ceasurile de pe sateliții pe GPS și Galileo care merg ceva mai repede. Dilația timpului a fost, de asemenea, obiectul literaturii science fiction, deoarece oferă tehnic mijloacele pentru călătoria în timp în timp.

Dilatarea timpului în funcție de viteză

Relativitatea specială indică faptul că, pentru un observator într-un cadru de referință inerțial, un ceas care se mișcă în raport cu el va ticăi mai încet decât un ceas care este în repaus în cadrul său de referință. Acest caz este uneori numit dilatare relativistă specială a timpului. Cu cât viteza relativă este mai mare, cu atât este mai mare dilatarea timpului între ele, rata de timp ajungând la zero când se apropie de viteza luminii (299.792.458 m/s). Acest lucru face ca particulele fără masă care călătoresc cu viteza luminii să nu fie afectate de trecerea timpului.

Teoretic, dilatarea timpului ar permite pasagerilor dintr-un vehicul rapid să avanseze mai departe în viitor într-o perioadă scurtă de timp. Pentru viteze suficient de mari, efectul este dramatic. De exemplu, un an de călătorie ar putea corespunde unui număr de zece ani pe Pământ. Într-adevăr, o accelerație constantă de 1 g ar permite oamenilor să călătorească prin întregul Univers cunoscut într-o singură viață omenească. Călătorii în spațiu ar putea reveni apoi pe Pământ după miliarde de ani în viitor. Un scenariu bazat pe această idee a fost prezentat în *Planeta maimuțelor* de Pierre Boule, iar Proiectul Orion a fost o încercare de a materializa această idee.

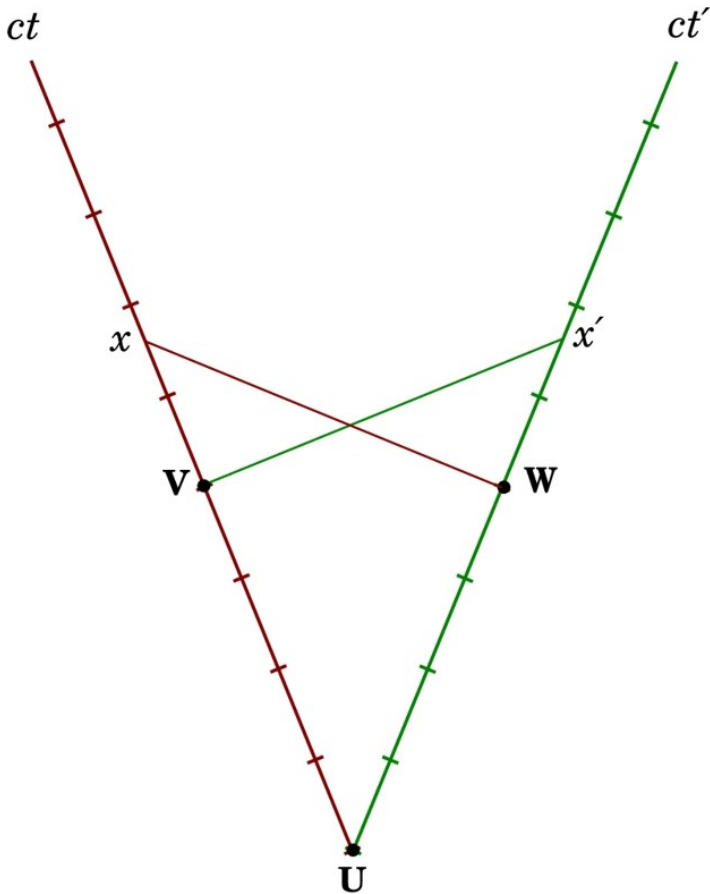
Cu tehnologia actuală limitând grav viteza de deplasare în spațiu, totuși, diferențele cu care se confruntă în practică sunt minuscule: după 6 luni pe Stația Spațială Internațională (ISS) (care orbitează Pământul la o viteză de aproximativ 7,700 m/s), un astronaut ar avea o vârstă cu aproximativ 0,005 secunde mai mică decât cei de pe Pământ. Experimentul Hafele și Keating a implicat avioane de zbor din întreaga lume cu ceasuri atomice la bord. La finalizarea călătoriilor, ceasurile au fost comparate cu un ceas atomic static, de pe sol. S-a constatat că au fost obținute câștiguri de 273 ± 7 nanosecunde pe ceasurile avioanelor. Actualul titular al recordului de timp al umanității este cosmonautul rus Serghei Krikalev. El a câștigat 22,68 milisecunde de viață în timpul călătoriilor sale în spațiu și, prin urmare, a bătut recordul anterior de circa 20 de milisecunde al cosmonautului Serghei Avdeiev.

Reciprocitatea

Având în vedere un anumit cadru de referință și observatorul "staționar" descris anterior, dacă un al doilea observator a însoțit ceasul "în mișcare", fiecare dintre observatori ar percepe ceasul celuilalt ca ticăind cu o viteză *mai mică* decât ceasul local, întrucât ambii percep pe celălalt ca fiind în mișcare relativ la propriul cadru staționar de referință.

Bunul simț ar dicta că, în cazul în care trecerea timpului a încetinit pentru un obiect în mișcare, obiectul menționat va observa timpul lumii exterioare ca fiind accelerat corespunzător. Contraintuitiv, relativitatea specială prezice opusul. Atunci când doi observatori se mișcă unul față de celălalt, fiecare va măsura încetinirea ceasului celuilalt, în concordanță cu faptul că acesta se mișcă în raport cu cadrul de referință al observatorului.

Deși pare o contradicție, o ciudățenie similară apare în viața de zi cu zi. Dacă persoana A vede persoana B, persoana B va apărea mai mică pentru persoana A; în același timp, persoana A va apărea mai mică pentru persoana B. Fiind familiarizați cu efectele perspectivei, nu există nicio contradicție sau paradox în această situație.



(Timpul UV al unui ceas în S este mai scurt în comparație cu Ux' în S' și timpul UW al unui ceas în S' este mai mic comparativ cu Ux în S . Sursa: D.H, <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Eigenzeit.svg>, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license)

Reciprocitatea fenomenului conduce, de asemenea, la așa-numitul paradox al gemenilor în care este comparată îmbătrânirea gemenilor, unul care se află pe Pământ și celălalt care se îmbarcă într-o călătorie spațială, iar reciprocitatea sugerează că ambele persoane ar trebui să aibă aceeași vârstă atunci când ele se reunesc. Dar dilema ridicată de paradox poate fi explicată prin faptul că unul dintre gemeni trebuie să accelereze, iar celălalt să rămână inerțial.

Dilatarea timpului gravitațional

Dilatarea gravitațională a timpului este observată de un observator care, aflându-se sub influența unui câmp gravitațional, își va vedea propriul ceas încetinind, în comparație cu altul care se află sub un câmp gravitațional mai slab.

Dilatarea timpului gravitațional este valabil, de ex., pentru astronautii ISS. În timp ce viteza relativă a astronautilor încetinește timpul acestora, influența gravitațională redusă din locația lor îl accelerează, deși într-un grad mai mic. De asemenea, timpul unui alpinist trece teoretic ușor mai sus în vârful unui munte, comparativ cu cei de la nivelul mării. De asemenea, s-a calculat că datorită dilatării timpului, nucleul Pământului este cu 2,5 ani mai mic decât crusta. Călătoriile în regiuni ale spațiului în care are loc o dilatare gravitațională, cum ar fi în câmpul gravitațional al

unei găuri negre, dar totuși în afara orizontului evenimentului, probabil pe o traiectorie hiperbolică care iese din câmp, ar putea genera rezultate asemănătoare cu cele ale călătoriei spațiale cu viteze în apropierea vitezei luminii.



(Timpul trece mai repede într-un centru gravitațional, așa cum se întâmplă cu obiectele masive (ca Pământul) (NASA))

Contrar dilatării timpului datorită vitezei, în care ambii observatori văd pe celălalt că îmbătrânește mai lent (un efect reciproc), dilatarea timpului gravitațional nu este reciprocă. Aceasta înseamnă că, la dilatarea timpului gravitațional, ambii observatori sunt de acord cu faptul că ceasul mai apropiat de centrul câmpului gravitațional ticăie mai lent, și sunt de acord cu raportul diferenței.

Testarea experimentală

- În 1959, Robert Pound și Glen A. Rebka au măsurat foarte ușor deplasările spre roșu gravitaționale în frecvența luminii emise la o înălțime mai mică, unde câmpul gravitațional al Pământului este relativ mai intens. Rezultatele au fost în limitele a 10% din predicțiile relativității generale. În 1964, Pound și J. L. Snider au măsurat un rezultat în limita a 1% din valoarea estimată prin dilatarea timpului gravitațional.
- În 2010, dilatarea timpului gravitațional a fost măsurată la suprafața pământului cu o diferență de înălțime de numai un metru, folosind ceasuri atomice optice.

Cartea



Teoria relativității speciale a fost propusă în 1905 de Albert Einstein în articolul său "Despre electrodinamica corpurilor în mișcare". Titlul articolului se referă la faptul că relativitatea rezolvă o neconcordanță între ecuațiile lui Maxwell și mecanica clasică. Teoria se bazează pe două postulate: (1) că formele matematice ale legilor fizicii sunt invariabile în toate sistemele inerțiale; și (2) că viteza luminii în vid este constantă și independentă de sursă sau observator.

Reconcilierea cele două postulate necesită o unificare a spațiului și timpului în conceptul dependent de cadru spațiu-timp.

Teoria se numește "specială", pentru că se aplică numai în cazul special al măsurărilor efectuate atunci când atât observatorul cât și ceea ce este observat nu sunt afectați de gravitație. Zece ani mai târziu, Einstein a publicat teoria relativității generale, extinderea relativității speciale care încorporează gravitația.

Ediția MultiMedia Publishing <https://www.telework.ro/ro/e-books/teoria-speciala-relativitatii/>

Cuprins

Teoria specială a relativității

Postulatele teoriei relativității speciale

Invarianța vitezei luminii

Lipsa unui cadru de referință absolut

Determinări alternative ale relativității speciale

Experimentul Michelson-Morley pentru confirmarea eterului

Experimentele

Cel mai faimos experiment "eșuat"

Relativitatea specială

Cadre de referință, coordonate și transformarea Lorentz

Cadrele de referință și mișcarea relativă

Transformarea Lorentz

Măsurare versus aparența vizuală

Simultaneitatea (Relativitatea simultaneității)

Explicație

Experimentul de gândire tren-cale ferată

Diagramele spațiu-timp

Transformarea Lorentz

Istorie

Spațiu-timp

Explicație

Definiții

Istorie

Impulsul relativist (Cvadri-impuls)

Conservarea cvadri-impulsului

Dilatarea timpului

Dilatarea timpului în funcție de viteză

Reciprocitatea

Dilatarea timpului gravitațional

Testarea experimentală

Paradoxul gemenilor

Istorie

Exemplu specific

- Rezolvarea paradoxului în relativitatea specială
 - Rolul accelerației
 - Relativitatea simultaneității
- Contrația lungimii
 - Istorie
 - Bazele relativității
 - Simetrie
 - Realitatea contrației lungimii
- Însumarea vitezelor
 - Istorie
 - Relativitatea galileiană
 - Relativitatea specială
- Echivalența masă-energie ($E = mc^2$)
 - Nomenclatură
 - Conservarea masei și a energiei
 - Obiecte și sisteme de obiecte în mișcare rapidă
 - Aplicabilitatea formulei stricte de echivalență masă-energie, $E = mc^2$
 - Semnificația formulei stricte de echivalență masă-energie, $E = mc^2$
- Cauzalitatea și imposibilitatea depășirii vitezei luminii
- Călătoriile în cosmos
 - Istorie
 - Distanțele interstelare
 - Dilatarea timpului
 - Concepte teoretice
 - Călătorie mai rapidă decât lumina
 - Metrica Alcubierre
 - Gaură neagră artificială
 - Găurile de vierme
- Principiul corespondenței
 - Mecanica cuantică
 - Alte teorii științifice
- Referințe
- Despre autor
 - Nicolae Sfetcu
 - De același autor
 - Contact
- Editura
 - MultiMedia Publishing

Despre autor

Nicolae Sfetcu

Experiență în domeniile ingineriei, asigurarea calității, electronică și servicii Internet (web design, marketing pe Internet, soluții de afaceri online), traduceri și editare și publicare cărți.

Asociat și manager MultiMedia SRL și Editura MultiMedia Publishing.

Partener cu MultiMedia în mai multe proiecte de cercetare-dezvoltare la nivel național și european

Coordonator de proiect European Teleworking Development Romania (ETD)

Membru al Clubului Rotary București Atheneum

Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți al Asociației Române pentru Industrie Electronica și Software Oltenia

Inițiator, cofondator și președinte al Asociației Române pentru Teleducare și Teleactivități

Membru al Internet Society

Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți a Asociației Generale a Inginerilor din România

Inginer fizician - Licențiat în fizică, specialitatea Fizică nucleară. Master în Filosofie.

Contact

Email: nicolae@sfetcu.com

Facebook/Messenger: <https://www.facebook.com/nicolae.sfetcu>

Twitter: <http://twitter.com/nicolae>

LinkedIn: <http://www.linkedin.com/in/nicolaesfetcu>

YouTube: <https://www.youtube.com/c/NicolaeSfetcu>

Editura

MultiMedia Publishing

*web design, comerț electronic, alte aplicații web * internet marketing, seo, publicitate online, branding * localizare software, traduceri engleză și franceză * articole, tehnoredactare computerizată, secretariat * prezentare powerpoint, word, pdf, editare imagini, audio, video * conversie, editare și publicare cărți tipărite și electronice, isbn*

Tel./ WhatsApp: 0040 745 526 896

Email: office@multimedia.com.ro

MultiMedia: <http://www.multimedia.com.ro/>

Online Media: <https://www.telework.ro/>

Facebook: <https://www.facebook.com/multimedia.srl/>

Twitter: <http://twitter.com/multimedia>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/multimedia-srl/>