

MIHAELA GARABET  
SANDA FĂTU  
JEANINA CÎRSTOIU

# ȘTIINȚE

Manual pentru clasa a 11-a

**filiera teoretică / profil umanist / specializarea  
filologie;**

**filiera vocațională / profil teologic / toate  
specializările, cu excepția specializărilor teologie  
ortodoxă și patrimoniu cultural;**

**filiera vocațională / profil pedagogic /  
specializările: bibliotecar-documentarist,  
instructor-animator, pedagog școlar**

*Editura*  
**ALL**

# Capitolul 1. Reprezentări ale Universului



Când și cum s-a format Universul?  
Cât este de mare?  
Este Terra centrul Universului?  
Ce este radiația cosmică de fond?



„De fapt, e oare Universul infinit sau numai foarte mare? E veșnic, sau doar are o viață lungă?

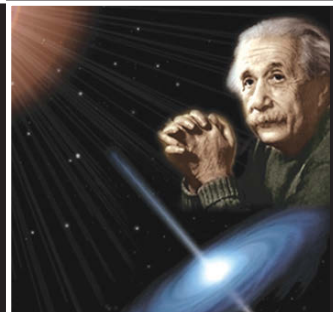
Cum ar putea mintea noastră finită să înțeleagă un univers infinit? Nu-i o îndrăzneală prea mare fie și doar să încercăm?

Eu cred că putem și trebuie să încercăm să înțelegem Universul. Am făcut progrese remarcabile în înțelegerea cosmosului, mai ales în ultimii ani. Nu avem încă o imagine completă, dar nici departe nu suntem”.

**Steven Hawking**

Universul într-o coajă de nucă

Ce este Big Bang?  
Cum a evoluat Universul? Cum va sfârși Universul? Dar oare va sfârși?



Ce este teoria relativității?  
Cum a apărut?  
Cum a revoluționat teoria relativistă știința secolului al XX-lea?

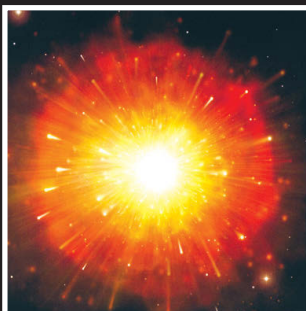
„O ființă omenească e un fragment din lumea întreagă, numită de noi «Univers», un fragment limitat în spațiu și timp...”

**Albert Einstein**

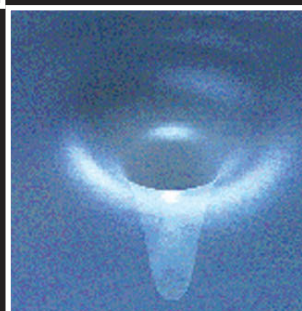
„... dacă roadele cercetării noastre nu ne aduc întotdeauna alinare, există cel puțin o consolare în cercetarea însăși. Oamenii nu se mulțumesc să-și ridice moralul cu povești despre zei și uriași, ori să-și închidă gândurile, luându-se cu treburile zilnice, ei își construiesc telescoape și sateliți, și acceleratoare, și stau ore nespărșite la mesele lor de lucru căutând semnificația datelor pe care le obțin. Efortul de a înțelege Universul este unul dintre foarte puținele lucruri care ridică viața omului deasupra condiției sale de simplu participant la o dramă, conferindu-i în schimb ceva din măreția unei tragedii”.

**Steven Weinberg**

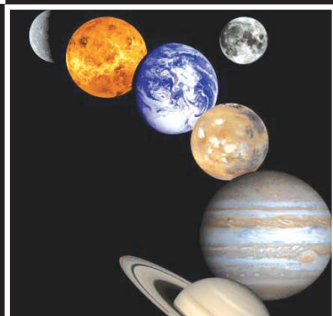
Primele trei minute ale Universului



Cum s-au născut stelele?  
Câte sunt?  
Ce sunt constelațiile? Cum au apărut galaxiile?



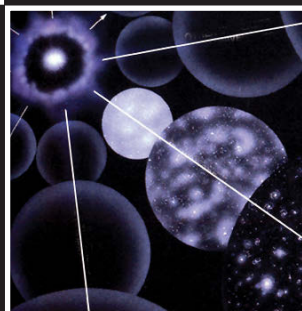
Cum s-a descoperit sistemul solar?  
Ce diferență este între o stea și o planetă?  
Universul este în expansiune?



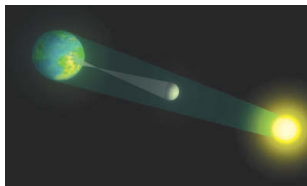
Când și cum a apărut viața pe Pământ? Suntem singuri?



Când s-a născut astronomia?  
Cum a fost cercetat cosmosul?  
Avem o teorie completă a Universului?



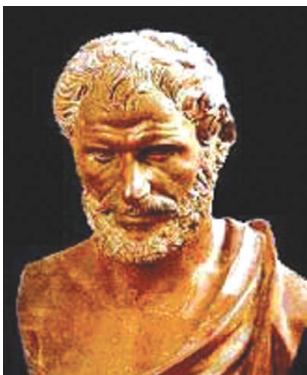
Universul (lat. universum = întreg) poate fi definit în sens metafizic ca fiind tot ceea ce există în spațiu și timp.



▲ În timpul eclipselor Soarele, Luna și Pământul se află pe aceeași linie.



▲ Modelul babilonian al cosmosului.



▲ **Aristotel** (384–322 î. Hr.), filosof, fizician și matematician grec. A scris „Metafizica”, „Fizica”.



▲ **Ptolemeu** (85–165 d. Hr.), astronom, matematician și geograf grec. A scris „Magiste Syntaxis”.

# Din istoria cosmologiei

*Cosmologia este știința care studiază structura, dinamica și dezvoltarea Universului. Ea încearcă să explice cum s-a format Universul, ce s-a întâmplat în trecut și ce s-ar putea întâmpla în viitor.*

## Începuturile

Fără nici o îndoială, originile acestei științe se află în preistorie. Oamenii de atunci puneau manifestările celeste pe seama divinului, a puterii și a voinței zeilor.

Babilonienii considerau că în ceruri se află casa zeilor. Ei utilizau sistemul sexagesimal în studiul matematicii și al astronomiei. Au observat că mișcările planetelor se repetă după un interval de timp suficient de mare. Eclipsese se repetă și ele cu o periodicitate de aproximativ 18 ani (actualul ciclu Saros).

Semnele zodiacale cărora le-au atribuit câte 30° pe cercul zodiacal, precum și predicțiile astrologice datează din anul 500 î.Hr. Cel mai mare merit le revine în crearea tabelului efemeridelor.

În viziunea babiloniană cosmosul are modelul unui dom în care obiectele celeste se manifestă potrivit voinței zeilor.

Vechii greci (Thales, Anaximandru, Anaximene) au încercat elaborarea unor teorii ale cosmosului, independent de zeități. Thales propune *apa* ca element de bază, Anaximene credea că *aerul* este baza, iar Anaximandru îl considera nemărginit.

Forma sferică a Pământului a fost propusă de către Parmenide din Elea în jurul anului 500 (d.Hr.). El considera cosmosul sferic, având Pământul în centrul său.

Ceva mai târziu, Aristotel aduce următoarele argumente în sprijinul atribuirii formei sferice a Pământului:

- în timpul deplasării pe suprafața Pământului, fenomenele celeste se „mută” pe harta cerului;
- umbra Pământului pe Lună este rotundă, indiferent de pozițiile relative ale Soarelui, Pământului și ale Lunii;
- corăbiile aflate la distanțe mari pe ocean (circa 10 km) se „scufundă” sub linia orizontului.

O altă contribuție majoră a vechilor greci în astronomie este încercarea de a atribui cosmosului structură tridimensională. Chiar dacă structura rămânea geocentrică Eudoxos a propus un model cosmic pentru a explica mișcarea Soarelui în jurul Pământului. El plasa stelele fixe în sfera celestă, aflată în exteriorul sferei Soarelui.

Sfera celestă se rotea o dată pe zi, sfera solară o dată pe an, iar mișcările trebuiau suprapuse, pentru a putea explica mișcările planetare. Aristotel a dezvoltat un model al cosmosului cu 55 de sfere celeste concentrice, având Pământul în centru. Fiind o autoritate supremă în materie de filosofie naturală a Antichității, a accentuat dimensiunea religioasă a modelului geocentric al cosmosului.

Ptolemeu a creat modelul geocentric epiciclic, modelul capabil să explice mișcările retrograde ale planetelor. Pământul era considerat centrul Universului,

iar celelalte corpuri cerești se mișcau pe traiectorii perfect circulare în jurul corpului central. Pentru a corela modelul cu observațiile astronomice, a fost necesară reprezentarea altor cercuri suplimentare fiecărei orbite în parte, numite *epicicluri*. Prin suprapunerea rotației în jurul Pământului cu rotația epiciclică se putea explica mișcarea aparent retrogradă. Opera lui Ptolemeu intitulată „*Almagest*” a rămas cartea de căpătâi a astronomilor timp de 14 secole, până când Copernic a propus teoria heliocentrică.

Antichitatea și-a spus cuvântul în astronomie, de la miturile străvechi până la conturarea primelor viziuni științifice. Ea a realizat prima diferențiere între stele și planete, a atribuit Pământului forma sferică, a încercat măsurarea dimensiunilor Pământului și a primelor distanțe cosmice (de la Pământ la Lună).

Toate stelele erau considerate a se afla la aceeași distanță față de Pământ, fiind grupate în constelații.

Inaccesibilitatea Cosmosului a creat însă o separare între „lumea cerurilor” și „lumea pământească”, ceea ce a întărit concepțiile religioase ale vremii.

În Evul Mediu, odată cu dezvoltarea navigației și a necesității întocmirii de hărți și calendare, astronomia cunoaște încercări sporadice de dezvoltare a teoriei heliocentrice. Biserica Creștină și-a consolidat dominația, proclamând subordonarea științei către religie și punând la căpătâiul științei învățătura lui Aristotel și modelul cosmologic al lui Ptolemeu.

## Teoria heliocentrică a lui Copernic

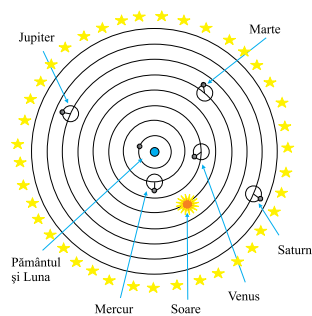
Nicolai Copernic a răsturnat concepția despre sistemul planetar, dovedind, în lucrarea sa „*De revolutionibus orbium celestium*”, că Pământul nu se află în centrul acestuia, ci se rotește în jurul propriei axe. El a reușit calculul distanțelor dintre Soare (pe care îl considera fix, în centrul Universului) și planete. Deși considera că orbitele sunt circulare și planetele se mișcă accelerat (ca și Ptolemeu), teoria sa are imperfecțiuni în ceea ce privește pozițiile planetare. Teoria heliocentrică a intrat în contradicție cu Biserica Catolică și în anul 1616, lucrarea lui Copernic a fost interzisă. Însă revoluția începuse. Adepții acestei teorii proclamau noul adevăr privind sistemul solar.

Giordano Bruno a fost ars pe rug în anul 1600, la cererea Inchiziției. A murit afirmând: „Pe mine mă puteți arde, dar adevărul spuselor mele nu-l puteți nimici!”

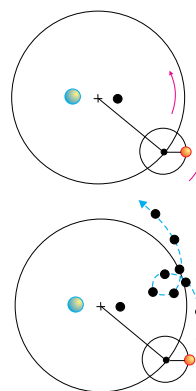
Deci, Pământul încetează să mai fie centrul Universului, toate planetele se rotesc în jurul Soarelui, stelele sunt mult mai îndepărtate decât Soarele, orice mișcare stelară este rezultatul rotației Pământului și orice mișcare a Soarelui este rezultatul rotației și al revoluției Pământului, mișcările aparent retrograde sunt explicabile. Toate acestea reprezintă caracteristicile ferm doveditoare ale justității sistemului copernican.

## Apoi a intervenit Galilei

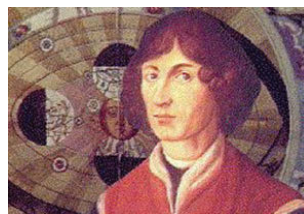
Descoperiri noi, de mare însemnătate, ale structurii Universului, au fost făcute de Galileo Galilei, cu ajutorul lunetei care îi poartă numele. El a identificat cei patru sateliți mari ai lui Jupiter, aspectele neobișnuite ale lui



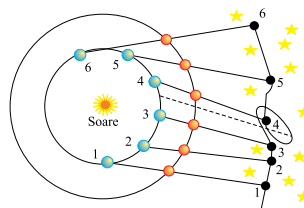
▲ Modelul geocentric epiciclic al lui Ptolemeu.



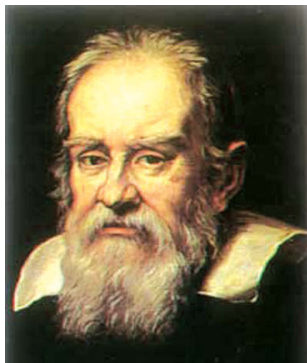
▲ Explicarea mișcărilor retrograde ale planetei cu ajutorul epiciclurilor.



▲ Nicolai Copernic (1473–1543), astronom și cosmolog, matematician și economist polonez.



▲ Primul model, heliocentric al lui Copernic.



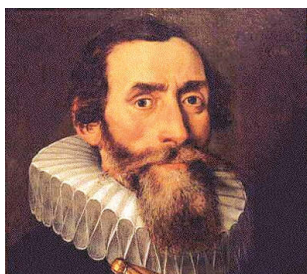
### ▲ Galileo Galilei

(1564–1642), astronom, fizician și filosof italian, „părinte” al științei moderne, a deschis o nouă eră în cercetarea științifică bazată pe observarea directă a naturii și pe rezultatele utilizării mijloacelor tehnice de investigație.



### ▲ Tycho Brahe

(1546–1601), astronom danez, și-a desfășurat activitatea în observatorul astronomic creat în insula Hven, situată între Danemarca și Suedia.



### ▲ Johannes Kepler

(1571–1630), astronom danez, fondatorul mecanicii celeste. În cartea sa „Astronomia Pars Optica” a pus bazele opticii moderne. În „Astronomia nova” a publicat primele două legi referitoare la mișcarea planetelor.

Saturn, fazele lui Venus, petele solare, munții lunari, compoziția stelară a Căii Lactee. Acestea demonstrau contradicția cu scolastica, deoarece corpurile cerești nu mai apăreau perfecte, iar planetele nu mai gravitau în jurul Pământului.

Odată cu formularea principiului inerției, Galilei excludea existența „motorului” divin care să însuflă mișcarea obiectelor cerești. Inchiziția l-a forțat pe Galilei să nu susțină concepția copernicană în care credea. El și-a petrecut ultimii ani din viață sub supraveghere severă pentru a nu mai propovădui ideile eretice. Celebra expresie: „E pur si muove!” a fost pronunțată de Galilei după ce a fost silit să abjure în procesul celebru intentat de către Inchiziție, în 1633. După 359 de ani, Biserica Catolică recunoștea că l-a condamnat pe Galilei pe nedrept pentru afirmația sa referitoare la rotația Pământului în jurul Soarelui. Și aceasta după 13 ani de activitate a comisiei Academiei pontife de Științe înființată de către papă pentru a studia cazul.

## Primul observator astronomic

Observațiile astronomice ale lui Tycho Brahe au fost făcute cu ajutorul unui cuadrant circular. El a alcătuit atunci un catalog stelar și a făcut măsurători astronomice precise pentru vremea sa.

Și-a dezvoltat propria teorie geo-helio-centrică asupra mișcării planetare, care plasa Soarele pe o orbită în jurul Pământului, iar celelalte planete pe orbite în jurul Soarelui.

Tycho a propus un model de sistem solar aflat între modelul lui Ptolemeu și al lui Copernic. Pământul se află în centrul Universului (ipoteză incorectă, dar acceptată la acea vreme!), Soarele și Luna orbitează în jurul Pământului, iar celelalte planete orbitează în jurul Soarelui. Lui Brahe îi rămâne meritul de a fi efectuat cele mai precise observații astronomice de până atunci, observații care i-au permis lui Kepler să construiască modelul actual al sistemului solar.

## Legile lui Kepler

Studiile lui Tycho Brahe au stat la baza operelor lui Johannes Kepler, care a enunțat și publicat, începând cu 1609, cele trei legi fundamentale ale astronomiei. În timp ce studia datele culese de Brahe, privind mișcarea planetei Marte, el a realizat că orbita acestei planete este foarte asemănătoare cu o elipsă, formulând astfel prima lege a mișcării planetare: „Planetele se mișcă pe orbite care au Soarele într-unul dintre focare”.

Tot el descoperise în 1602 cea de-a doua lege, a ariilor: „În mișcarea neuniformă a planetelor pe traiectoriile eliptice, razele vectoare duse de la Soare la planete, „mătură” arii egale în intervale de timp egale”.

În 1618, scria cea de-a treia lege: „Pătratele perioadelor de revoluție a planetelor în jurul Soarelui,  $T$ , sunt proporționale cu cuburile semiaxelor mari ale elipselor,  $a$ ”:

$$T^2 = ct \cdot a^3.$$

Pentru a putea înțelege importanța acestor legi ale lui Kepler sunt necesare cunoașterea, în continuare, a legii atracției universale a lui Newton și apoi a teoriei relativiste a gravitației a lui Einstein.

„Este un mare merit să cunoști numerele empirice ale naturii, de exemplu distanțele dintre planete, dar este un merit mai mare să faci să dispară câțimile empirice, ridicându-le la o formă generală de determinatii cantitative, astfel încât ele să devină momente ale unei legi sau măsuri; merite nemuritoare și-au câștigat, de exemplu, Galilei cu privire la cădere și Kepler cu privire la mișcarea corpurilor cerești. Aceștia au demonstrat legile descoperite de ei, arătând că acestora le corespunde întregul cuprins al particularităților furnizate de percepție. Trebuie însă să cerem o demonstrație și mai înaltă a acestor legi pentru ca determinațiile lor cantitative să fie cunoscute din calitățile sau conceptele determinate la care ele se referă (cum sunt spațiul și timpul)”.

Friederich Hegel – Știința logicii

## Despre spațiu și timp

Ați învățat la fizică, în clasa a 9-a, că orice corp material există în spațiu și timp. Spațiul și timpul nu se pot separa de materia aflată în mișcare. Măsurarea timpului presupune observarea și contorizarea modificărilor care au loc față de un eveniment fixat ca origine de măsurare.

Proprietățile corpurilor materiale determină proprietățile geometrice ale spațiului. Spațiul fizic, omogen și izotrop, este un spațiu tridimensional descris de geometria euclidiană. Timpul se scurge la fel în orice punct al unui astfel de spațiu: două ceasuri sincronizate într-un punct al său, vor indica același timp și după mutarea unuia dintre ele în alt punct din spațiu.

Să vedem cum au fost percepute timpul și spațiul de-a lungul vremii!

### Evoluția conceptelor de spațiu și timp în știință

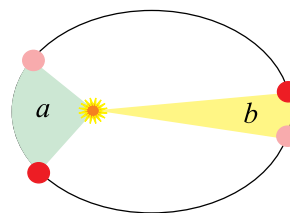
Fără a fi o proprietate a corpurilor, precum inerția sau interacțiunea, timpul, ca succesiune de intervale regulate, reprezintă de fapt rezultatul raportării omului la lumea exterioară. Încă din Antichitate se obișnuia măsurarea intervalelor scurse între diferite fenomene (de exemplu, revărsările Nilului). Deși inițial durata unei ore varia în funcție de anotimp, treptat omenirea a inventat și perfecționat instrumentele pentru măsurarea timpului. Secolul al XIX-lea a adus în casa fiecăruia ceasornice suficient de precise.

Multă vreme știința a prezentat timpul ca pe o referință unică și absolută, senzație întărită de utilizarea frecventă a ceasurilor și a calendarelor. Sute de ani, Thales, Euclid, Galilei și Newton au revoluționat matematica și fizica, au creat teorii simple care explicau cu succes fenomenele naturale. Primul model matematic al timpului și al spațiului a apărut în 1687, în „Principia Mathematica” a lui Newton. Aici timpul și spațiul constituiau un cadru în care se petreceau evenimentele care influențau în vreun fel timpul și spațiul. Timpul era considerat liniar, infinit în ambele sensuri și etern. Spațiul, de fapt universul fizic, fusese creat cu câteva mii de ani înainte.

În secolul al XVIII-lea, Imanuel Kant gândește că timpul nu este absolut ca la Newton, ci este dependent de conștiința umană. În fond, Kant vedea timpul ca pe o formă a priori<sup>1</sup> a sensibilității, adică o structură a raportului subiectului cu sine însuși și cu lumea. Prin sensibilitate înțelegea percepția

<sup>1</sup> a priori are semnificația: independent de experiență.

aria  $a =$  aria  $b$



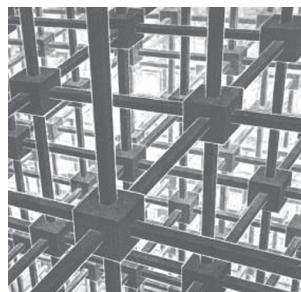
▲ În timpul mișcării planetei pe orbita eliptică, razele vectoare duse de la Soare la planete „mătură” arii egale în intervale de timp egale.

„Nimic nu mă nedumerește mai mult ca timpul și spațiul. Și totuși, nimic nu mă tulbură mai puțin decât timpul și spațiul, fiindcă nu mă gândesc niciodată la ele”.

Charles Lamb



▲ Măsurarea timpului a preocupat omenirea dintotdeauna.



▲ În acord cu concepția newtoniană, spațiul este tridimensional și nu este influențat de evenimentele care au loc.



### ▲ Imanuel Kant

(1724–1804), filosof de origine germană. A scris „Critica rațiunii pure”, „Critica rațiunii practice”. Este considerat a fi inițiat în filosofie o revoluție de talia revoluției copernicane din astronomie. El propune ca ipoteză ideea că obiectele nu preexistă cunoașterii pe care o avem despre ele. Obiectul de cunoscut se învârtă în jurul subiectului, la fel cum Pământul se învârtă în jurul Soarelui.



### ▲ Isaac Newton

(1642–1727), a rămas în istoria științelor ca fiind „cel care a întrecut prin geniu neamul omenesc”.



▲ Newton a demonstrat imposibilitatea geocentrismului susținut de Biserică, pornind de la faptul că planetele nu se pot învârti în jurul unui corp cu masa mai mică decât Soarele.

obiectelor prin intuiții sensibile. În ceea ce privește spațiul, conceptul a evoluat de la limita aristoteliană în interiorul căreia este conținut un corp, la întinderea geometrică – esența spațiului cartezian la Descartes. La Leibniz spațiul devine o „ordine de coexistență” compusă din totalitatea mișcărilor și a pozițiilor lucrurilor unele în raport cu altele.

Kant atribuie și spațiului aceeași formă a priori<sup>1</sup> a sensibilității pe care o dă și timpului.

„Spațiul nu este decât forma tuturor fenomenelor externe, adică condiția subiectivă a sensibilității”<sup>2</sup> ... deci nu este un dat natural al corpurilor independent de reprezentarea omenească. Pentru a putea schița concepția actuală asupra spațiului și a timpului vom prezenta câteva idei din teoria relativității restrânse, teorie care a reformulat viziunea lui Newton asupra acestor concepte, stabilind legătura lor obiectivă, precum și legătura lor cu materia în mișcare.

Practic, vom stabili că spațiul și timpul sunt relative și că depind de mișcarea observatorului. Evident în anumite condiții: și anume, când observatorul se mișcă cu o viteză comparabilă cu viteza luminii.

Mai departe, în teoria generalizată a relativității vom vedea că timpul și spațiul sunt indisolubil legate, atât unul față de celălalt, cât și de Univers.

## Newton și legea atracției universale

Inspirat, potrivit legendei, de căderea unui măr, Newton a arătat că atracția constituie o proprietate a tuturor corpurilor din natură. Între forța care guvernează mișcarea planetelor și forța care guvernează mișcarea mărului către Pământ nu există nici o diferență! Potrivit legii atracției universale toate corpurile sunt legate printr-o forță de atracție reciprocă, forță proporțională cu pătratul maselor care se atrag și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele. Mai mult, legea este valabilă atât pe Pământ, cât și în cosmos.

În lucrarea sa intitulată „*Philosophiæ naturalis principia mathematica*” (Principiile matematice ale filosofiei naturale), el dezvăluie legea atracției universale și o parte dintre consecințele ei. Ea va sta la baza unei noi ramuri a astronomiei, intitulate *mecanica cerească*.

Totodată, Newton a enunțat cele trei principii ale mecanicii clasice, baza mecanicii până în momentul în care teoria relativității le-a relevat limitele.

Cu ajutorul acestor legi, Newton a explicat sistemul solar copernican, arătând că mișcarea planetelor în jurul Soarelui este guvernată de către forța de atracție a acestuia. Principiul poate fi extins și la mișcarea altor corpuri cerești.

După introducerea legii atracției universale s-a pus problema modului în care se propagă interacțiunea gravitațională. A apărut astfel conceptul de acțiune la distanță. Cu ce viteză se propagă deci această acțiune?

Viteza luminii a fost determinată prima dată de către danezul Olaus Römer (1644–1710), același care a creat primul cerc meridian al Pământului.

<sup>1</sup> a priori are semnificația: independent de experiență.

<sup>2</sup> I. Kant – „Critica rațiunii pure”.

## Istoria continuă...

A urmat descoperirea periodicității cometelor. Edmund Halley (1656–1742) a determinat orbitele unor comete în jurul Soarelui. Cometa care îi poartă numele fusese observată din anul 466 (î.Hr.) și revenise la un interval de circa 76 ani. Observațiile astronomice erau din ce în ce mai precise, grație perfecționării telescoapelor. Pentru prima dată după câteva milenii, astronomul William Herschel (1738–1822) „trece” granițele cunoscute ale sistemului nostru planetar, descoperind planeta Uranus și doi dintre sateliții acestuia.

Apoi a venit descoperirea lui Neptun, la mijlocul secolului al XIX-lea de către John Couch Adams (1819–1892) și de Jean Joseph Leverrier (1811–1877).

Pluton a fost descoperit în 1930, prin astrofotografiere, de către Clyde Tombaugh.

Sistemul solar ajungea acum să aibă o rază de 5910 milioane de kilometri.

Una dintre marile descoperiri ale secolului al XIX-lea a fost *astrofotografia*. Perfecționarea ei a dus la identificarea de noi comete, sateliți ai planetelor, stele și galaxii necunoscute până atunci.

Astfel, între orbitele planetei Marte și Jupiter au „apărut” o serie de **asteroizi**, numiți inițial planete pitice. Încă de pe vremea lui Kepler se presupunea că în această zonă ar trebui să se găsească ceva. Numărul lor se estima a se situa între 40 și 140 de mii, ceea ce a dus la apariția denumirii de **centură de asteroizi**. Cel mai mare asteroid descoperit a fost denumit Ceres (1000 km diametru). Al doilea, în ordinea mărimii, este Palas (600 km diametru). Se pare că au fost deja descoperiți chiar și asteroizii cu diametrul sub 20 de km. Priviți prin telescop ei apar ca niște stele, de fapt ca puncte luminoase. Deși marea lor majoritate au formă sferică, există destule abateri. Unii au aspect stâncos, alții sunt alunghiți. Strălucirea lor diferă în funcție de formă.

Tot grație dezvoltării astrofotografiei s-au îmbunătățit cunoștințele despre **comete**, aștri cunoscuți de multă vreme. Structura acestor corpuri cerești schimbătoare a fost descifrată. După cum aprecia Kepler: „pe cer sunt tot atâtea comete câți pești sunt în ocean”. Sistemul nostru planetar cuprinde un uriaș nor de comete.

Sfârșitul secolului al XIX-lea aducea progrese deosebite și *astronomiei de observație*, în ceea ce privește Soarele, Luna și planetele. Astfel, prin cercetarea formațiunilor suprafeței solare s-au descoperit straturile atmosferei sale și a fost descoperită mișcarea de rotație a Soarelui, abolind astfel dogma imobilității centrului Universului.

Perfecționarea telescopului a făcut posibilă descoperirea sateliților planetelor Marte și Jupiter, au fost întocmite hărți ale suprafeței Lunii și ale planetei Marte.

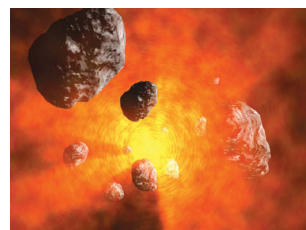
### Evaluare

**Activitate experimentală.** Explicați formarea eclipselor de Soare și de Lună. Realizați o simulare a acestora, utilizând o monedă pentru reprezentarea Lunii, un bec puternic pentru Soare și un ceas de masă rotund pentru Pământ.

La adresa: [www.paulspages.co.uk/ec99/ec99.htm](http://www.paulspages.co.uk/ec99/ec99.htm) puteți vedea filmul eclipsei solare din 11 august 1999.



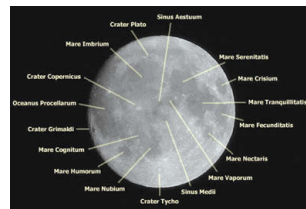
▲ Cometa Halley a avut în 1910 o coadă de 110 milioane de km. Componentele unei comete sunt: **nucleul** – un punct luminos cu densitate maximă, **coama** – cu aspect nebulos, rarefiat și **coada** alcătuită din gaze foarte rarefiate și uneori pulberi.



▲ Asteroizii – corpuri cerești cu diametru variabil.



▲ Telescop din primele generații.



▲ Harta Lunii.

## Sistemul solar

Sistemul solar ar putea fi definit ca fiind un ansamblu de corpuri cosmice – planete și aglomerări de materie, care gravitează în jurul Soarelui din cauza câmpului gravitațional al acestuia. Soarele se află în centrul sistemului solar și concentrează circa 99% din masa totală a acestuia. Este alcătuit în totalitate din gaze, are lumină proprie și temperatură ridicată cu care întreține procese de generare a energiei.

Până la sfârșitul secolului al XIX-lea se cunoșteau doar planetele Mercur, Venus, Marte, Jupiter și Saturn.

Imaginea sistemului solar s-a îmbogățit în secolul al XIX-lea prin descoperirea planetelor Uranus, Neptun și Pluto, a asteroizilor, denumiți și planetoizi sau planete mici. Majoritatea lor se găsesc între orbitele planetelor Marte și Jupiter. Tot atunci au fost descoperite mai multe comete și au fost create modele pentru structura și alcătuirea lor. Au fost studiați anumiți meteoriți cu orbite circumsolare ca și cometele. Mulți dintre meteoriți provin din destrămarea cometelor.

Acum putem schița portretul sistemului Solar: 9 planete (Mercur, Venus, Pământ, Marte, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun, Pluto), 60 de sateliți naturali ai planetelor descoperiți până în prezent, câteva zeci de mii de asteroizi, mulți, foarte mulți meteoriți și comete. Între aceste componente se află mediul interplanetar constituit din pulberi, radiații, câmpuri magnetice etc.). Distanțele dintre Soare și cele 9 planete sunt foarte mari.

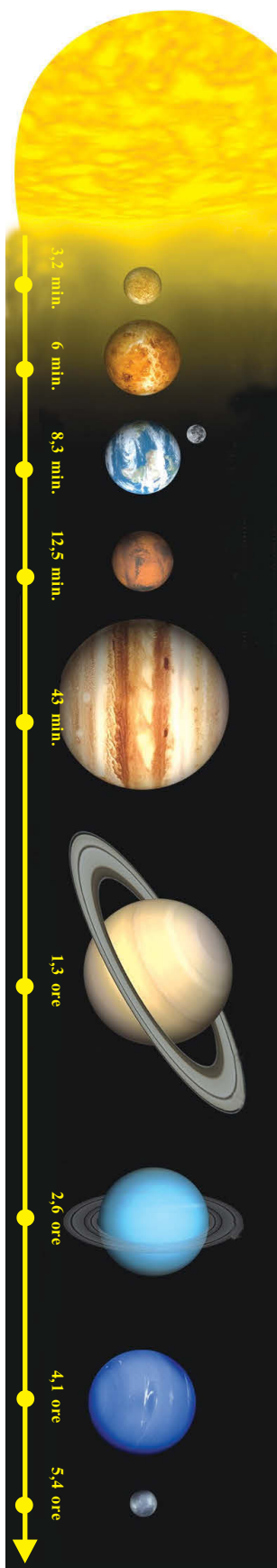
Soarele emană continuu energie: lumină în domeniul vizibil, radiații infraroșii, ultraviolete, radiații X și gamma, unde radio în domeniul invizibil. Această energie devine parte a mediului interplanetar și se numește **vânt solar**.

În imaginea din figură sunt indicate intervalele de timp necesare luminii să ajungă de la Soare la fiecare planetă. Planetele sunt distanțate proporțional cu aceste intervale.

Planetele au formă aproximativ sferică. Atunci când sunt privite prin lunetă sau prin telescop, ele apar ca niște discuri, nu scânteiază și au strălucire variabilă. Venus este cel mai strălucitor astru, Uranus este cea mai depărtată planetă vizibilă cu ochiul liber. Planetele asemănătoare Pământului se numesc **telurice** și au densitatea ridicată, volumul redus, iar atmosfera rarefiată. În această categorie intră Mercur, Venus și Marte, alături de Terra. Ele au sateliți puțini și sunt constituite din substanțe pietroase și din metale. Celelalte planete, asemănătoare cu Jupiter se numesc **joviene**. Ele sunt: Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun. Ele au densitatea mai mică decât primele, volumul mare, atmosfera densă, mulți sateliți și sunt în general alcătuite din hidrogen și din compușii acestuia. Pluton intră în nici una dintre categorii.

În reprezentările uzuale ale sistemului solar planetele apar ca fiind sfere (de fapt discuri), cu dimensiuni proporționale cu mărimea lor. La fel și Soarele. Dacă am micșora întregul sistem de un miliard de ori, ar trebui utilizate sfere de următoarele dimensiuni:

- Soare – 1,4 m diametru;
- Mercur – 5 mm diametru, la distanța de 58 m de Soare;
- Venus – 13 mm diametru, la 108 m de Soare;
- Pământ – 13 mm diametru, la 149 m de Soare;
- Marte – 7 mm diametru, la 228 m de Soare;



▲ Imaginea sistemului solar.

- Jupiter – 144 mm diametru, la 778 m de Soare;
- Saturn – 121 mm diametru, la 1400 m de Soare;
- Uranus – 53 mm diametru, la 2500 m de Soare;
- Neptun – 50 mm diametru, la 4500 m de Soare;
- Pluto – 5 mm diametru, la 5900 m de Soare.

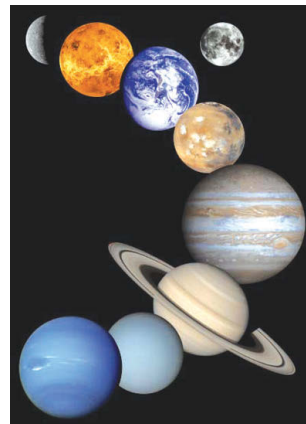
În urmă cu un secol, limita sistemului nostru solar era considerată a fi orbita celei mai îndepărtate planete. Azi, se consideră ca graniță a sistemului solar cea mai mare distanță până la care mai ajung corpuri cerești care au mișcări de evoluție periodice în jurul Soarelui. În această categorie, până la aproximativ 200 000 de unități astronomice față de Soare, intră cometele cu coadă lungă.

Una dintre problemele fundamentale ale cercetării sistemului solar a fost și continuă să fie detectarea unor eventuale forme de viață în afara Terrei.

Pe Lună nu s-au detectat nici un fel de microorganisme. Pe Venus temperatura este prea mare pentru a permite dezvoltarea vreunei forme de viață. Vehiculele care au explorat planeta Marte nu au detectat nimic viu pe suprafața acesteia. Desigur nu se poate declara că existența vieții este posibilă numai pe Terra. Rezolvarea acestei probleme se va face în viitorul mai mult sau mai puțin apropiat.

## Cum s-a născut Pământul?

În urmă cu aproximativ 4,6 miliarde de ani, un nor de gaz și praf interstelar condensa. Principalele momente din formarea Terrei au fost: concentrarea materiei gazoase, aranjarea gravitațională, dezintegrarea elementelor grele, încălzirea din interior spre exterior, formarea și evoluția geosferelor. Ca urmare a condensării norului, cu predilecție în zona lui centrală, a apărut o sferă care se rotea cu viteza mai mare decât azi. Datorită încălzirii progresive s-a produs dezintegrarea elementelor grele din interiorul planetei. Scoarța planetei a fost fragmentată de magma care a adus la suprafață substanțe, gaze și apă. Așa s-au născut atmosfera și hidrosfera terestră. Creșterea masei atmosferice a dus la încetinirea mișcării de rotație. Raza Pământului a crescut cu circa o treime. Compoziția atmosferei s-a modificat de-a lungul timpului. Inițial era foarte densă și conținea mult dioxid de carbon și amoniac. Apariția biosferei, învelișul viu al Terrei, a dus la creșterea concentrației de oxigen atmosferic. De-a lungul celor aproximativ 4,5 miliarde de ani Terra a trecut printr-o perioadă de încălzire puternică urmată de o glaciațiune. Se crede că dacă răcirea ar fi fost mai puternică cu 3–4°C, Pământul ar fi fost acoperit cu o crustă de gheață ireversibilă. Evoluția însă a fost de așa factură încât a favorizat apariția și dezvoltarea formelor inteligente de viață. Fragmentele meteoritice cădeau spre suprafața sferei formate. La locul impactului apăreau cratere enorme. În urma dezintegrărilor radioactive care au avut loc, precum și datorită energiei potențiale gravitaționale datorate aglomerării, miezul sferei s-a încălzit rămânând în stare lichidă. Straturile superioare s-au solidificat formând **mantaua** și **crusta**. Sub acțiunea vaporilor de apă și a emisiilor de hidrogen din interiorul sferei, s-au amorsat reacții chimice care au dus la apariția unor molecule complexe. Primele organisme terestre erau constituite din sisteme moleculare autoreproducătoare. Înfrățirea Terrei s-a schimbat odată cu încetarea ploilor meteoritice. Atunci a început ridicarea munților și



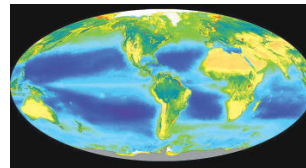
▲ Planetele sistemului solar.



▲ Mercur, Venus, Terra, Marte, Jupiter, Saturn, Neptun, Pluto.



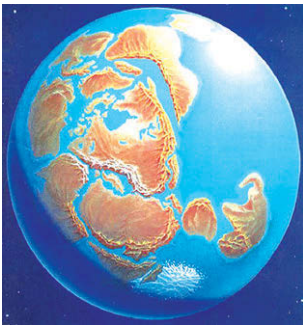
▲ Terra, planeta albastră.



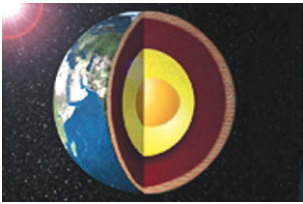
▲ Gaia – nume mitologic acordat Pământului, este totodată o teorie care consideră planeta ca fiind o entitate care conține biosfera, atmosfera, hidrosfera și litosfera. Geosferele se echilibrează ca niște ființe vii, ceea ce stabilizează temperatura scoarței. Funcția principală este atribuită biosferei.



▲ Forme inteligente de viață.



▲ Distribuția ipotetică a continentelor în Precambrian.



▲ Terra azi.

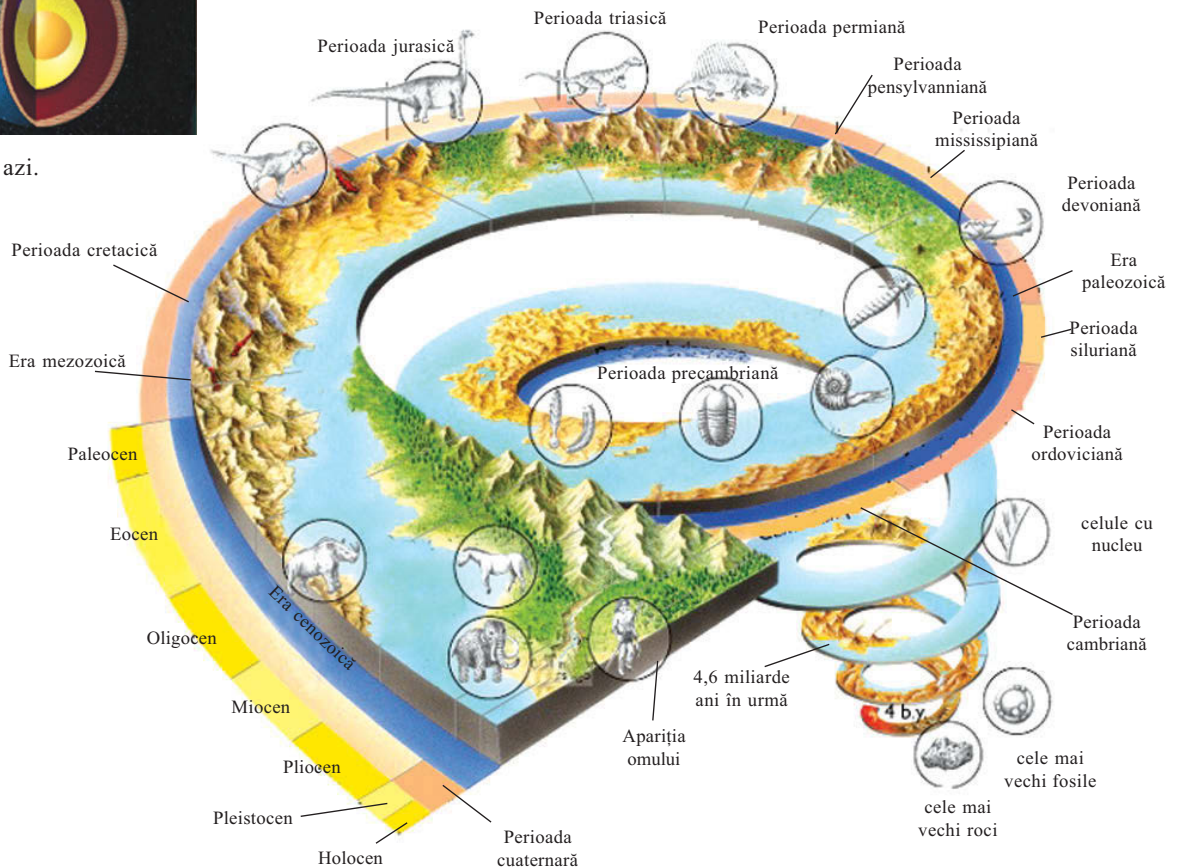
apariția apelor curgătoare. Totodată, materialul din mantaua Terrei a fost ridicat spre fundul oceanelor, iar marginile continentelor au fost subduse către profunzimi. Prin ciocnirea plăcilor tectonice au apărut lanțurile muntoase. Au urmat perioade de glaciațiuni. Selecția naturală a ales sistemele moleculare autoreproductibile care s-au putut adapta mediului în schimbare. Primele au apărut plantele care utilizau lumina pentru a descompune apa în hidrogen și în oxigen. Ulterior au apărut forme de viață din ce în ce mai complexe și mai inteligente. Veți studia amănunțit apariția vieții într-o lecție viitoare!

## Timpul geologic sau cum a evoluat Terra?

Evoluția Terrei până la aspectul ei actual a cunoscut câteva cicluri orogenetice, dintre care cele mai cunoscute sunt orogenezele caledoniană, hercinică și alpină. Într-un ciclu orogenetic pot intra mai multe ere; o eră conține mai multe perioade, iar fiecare perioadă poate conține două, trei epoci.

În perioada Arhaică a avut loc o încălzire puternică a suprafeței Pământului datorată amplificării efectului de seră. Aceasta ar fi putut fi ireversibilă.

În Proterozoic a avut loc o răcire a climei urmată de o glaciațiune puternică. Încă 3–4°C și Pământul ar fi fost ireversibil acoperit de ghețari. Momentul a fost depășit prin creșterea concentrației de oxigen atmosferic de către algele marine.



▲ Evoluția planetei Pământ.

# \* Teoria relativității restrânse

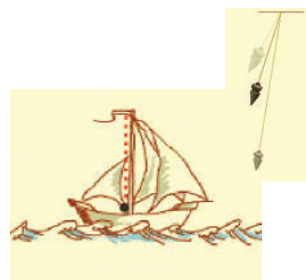
În 1632, Galileo Galilei formula principiul relativității clasice. Acesta spunea, în esență, că din cabina închisă a unei corăbii nu se poate distinge între starea de repaus a corăbii față de apă și starea ei de mișcare rectilinie uniformă (cu viteză constantă față de apă). Un pendul gravitațional suspendat într-o astfel de încăpere de pe corabie, deviază din poziția verticală a firului doar dacă corabia are accelerație. Ați învățat în clasa a 9-a, la fizică, despre forțele de inerție. O astfel de forță se exercită asupra pendulului atunci când corabia se mișcă rectiliniu, uniform accelerat.

Tot atunci ați aflat că sistemele de referință aflate în repaus sau în mișcare rectilinie uniformă față de Pământ, se numesc sisteme de referință inerțiale, SRI. Astfel, principiul relativității galileene se poate formula:

„Legile mecanicii clasice au aceeași formă în toate sistemele de referință inerțiale”

sau

„Toate sistemele de referință inerțiale sunt echivalente și pot servi în egală măsură studiului unui fenomen mecanic.”



▲ În funcție de valoarea accelerației corăbii deviația pendulului de la verticală este mai mare sau mai mică.

## \* Transformările Galilei

Potrivit ultimului enunț al principiului relativității clasice, dacă  $S$  și  $S'$  sunt două sisteme de referință inerțiale,  $S$  fiind fix față de Pământ, iar  $S'$  aflat în mișcare rectilinie cu viteza constantă  $\vec{v}$  față de  $S$ , vom studia starea mecanică a unui punct material  $P$ . Poziția lui este indicată de vectorii de poziție  $\vec{r}$  și, respectiv,  $\vec{r}'$ .

Relația dintre vectorii  $\vec{r}$  și  $\vec{r}'$  se poate scrie:

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{v} \cdot t, \quad t = t',$$

unde am considerat că timpul se scurge la fel de repede în ambele sisteme de referință.

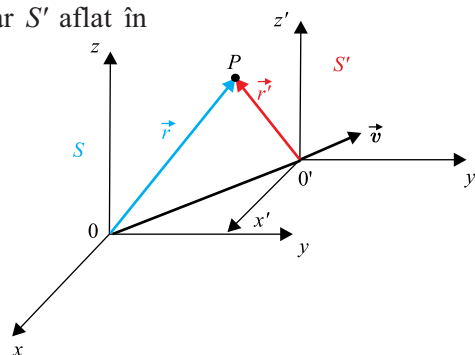
Se poate demonstra, prin împărțire la durata intervalului de timp cât se mișcă punctul  $P$ , regula de compunere a vitezelor:

$$\vec{u} = \vec{u}' + \vec{v},$$

unde  $\vec{u}$  este viteza lui  $P$  în sistemul fix  $S$ , numită viteză absolută, iar  $\vec{u}'$  este viteza lui în sistemul mobil  $S'$ , numită viteză relativă. În acest context, pentru  $\vec{v}$  se utilizează denumirea de viteză de transport. Aceste relații reprezintă transformările Galilei. În ceea ce privește accelerația lui  $P$  se poate demonstra că ea este invariantă:  $\vec{a} = \vec{a}'$ .

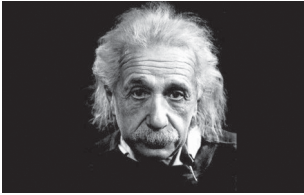
Dacă privim accelerația ca fiind efectul aplicării unei forțe  $\vec{F}$ , potrivit principiului fundamental al mecanicii, ajungem la concluzia că:  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$  și  $\vec{F}' = m \cdot \vec{a}'$ , deci  $\vec{a} = \vec{a}'$  și legile mecanicii newtoniene au aceeași formă în toate sistemele de referință inerțiale. Practic, forța  $F$ , exercitată asupra punctului  $P$ , îi imprimă aceeași accelerație indiferent de SR utilizat.

Revenind asupra concepției despre spațiu și timp în mecanica clasică, vom sublinia caracterul lor absolut. Dimensiunile unui obiect, distanțele dintre obiecte, duratele evenimentelor, au aceeași valoare în toate sistemele de referință inerțiale.



▲ Sistemul de referință  $S'$  se mișcă cu viteza constantă  $\vec{v}$  față de sistemul de referință considerat fix,  $S$ .

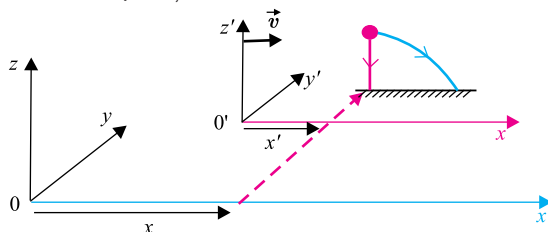
*Compunerea vectorilor*  
În cazul compunerii a doi vectori așezați al doilea cu originea în vârful primului, se aplică regula triunghiului. Se unește originea primului vector cu vârful celui de-al doilea și se atribuie sensul de la originea primului la vârful celui de-al doilea.



▲ **Albert Einstein** (1879–1955), fizician germano-american, laureat al Premiului Nobel în anul 1921 pentru explicarea efectului fotoelectric extern. A fost profesor la Universitatea din Zürich, Catedra de fizică teoretică. A fost directorul Institutului de Fizică „Kaiser Wilhelm”. În 1933 s-a mutat în Statele Unite unde a activat la Institutul pentru Studii Avansate din Princeton.

„Mecanica cuantică a avut nevoie mai întâi de o modificare pentru a fi de acord cu exigențele teoriei relativității. Această modificare se referă în esență doar la legile mișcărilor cu viteze mari, la care vitezele  $v$  ale materiei nu sunt prea mici în comparație cu viteza luminii. Experiența semnalează asemenea viteze mari doar la electroni și ioni; la alte mișcări, abaterile de la legile mecanicii clasice sunt atât de mici încât practic sunt neobservabile. La mișcarea astrilor ne vom referi doar în cadrul teoriei generale a relativității”.

**A. Einstein** – Teoria relativității pe înțelesul tuturor.



▲ Traectoria unei bile care cade liber în sistemul mobil  $S'$  este o dreaptă verticală. În sistemul fix față de pământ,  $S$ , ea reprezintă un arc de parabolă.

În anul 1905, Albert Einstein, generalizează principiul relativității galileene și îl extinde tuturor fenomenelor fizice, punând astfel capăt disputelor vremii respective. Pentru a putea fi aplicat și fenomenelor electromagnetice, Einstein a formulat principiul constanței vitezei luminii:

Viteza luminii este independentă de starea de mișcare a sursei luminoase și a observatorului și are aceeași valoare,  $3 \cdot 10^8$  m/s, în toate sistemele de referință inerțiale, în toate direcțiile.

Această formulare stinge contradicțiile privitoare la valoarea calculată a vitezei luminii, în cadrul teoriei lui Maxwell, asupra fenomenelor electromagnetice și la legea de compunere a vitezelor. Ori existau viteze ale luminii care depășeau  $3 \cdot 10^8$  m/s, în SR aflate în mișcare față de Pământ, ori trebuiau modificate legile electrodinamicii!

Einstein postula, în 1905, constanța vitezei luminii și extindea principiul relativității galileene asupra tuturor fenomenelor fizice, punând bazele teoriei relativității restrânse. Astfel, concepția asupra invarianței spațiului și a timpului „sărea în aer”!

Să considerăm un tren care se deplasează cu viteză constantă față de terasamentul căii ferate. Un călător aflat în vagon, în stare de repaus față de acesta, lasă să cadă o minge. Traectoria observată de el va fi verticală. Un alt personaj aflat lângă terasament, în repaus, va observa traiectoria mingii ca fiind parabolică, deoarece în timpul căderii sale pe verticala care trece prin podeaua vagonului, trenul se deplasează orizontal, cu viteză constantă față de Pământ. Deci, podeaua „fuge” cu viteza trenului. Dacă cei doi vor observa traiectorii diferite ale aceluiași mobil, în schimb durata acestei mișcări va avea aceeași valoare, indiferent care dintre ei o măsoară!

## \* Transformările Lorentz

Prin prisma noii teorii create de Einstein apare o problemă: „Cum se pot găsi poziția și timpul unui eveniment în raport cu trenul atunci când se cunosc poziția și timpul evenimentului în raport cu calea ferată?”\*. Câtă vreme vitezele rămân mult mai mici decât viteza luminii (300 000 km/s), răspunsul îl oferă transformările Galilei despre care ați aflat puțin mai devreme. Legea de compunere a vitezelor funcționează fără probleme.

„...Există oare un asemenea răspuns la această întrebare, astfel încât legea

de propagare a luminii în vid să nu fie în contradicție cu principiul relativității? În alți termeni: s-ar putea imagina o relație între poziția și timpul unui eveniment în raport cu două sisteme de referință astfel încât orice rază de lumină să posede aceeași viteză de propagare  $c$  în raport cu calea ferată și în raport cu trenul?”\* – se întreba Einstein.

Răspunsul îl oferă acum transformările Lorentz.

Să revenim la cele două sisteme de axe  $S$ , fix față de Pământ, și  $S'$ , mobil, mișcându-se de-a lungul axei  $Ox$  cu viteza constantă  $v$ .

$S$  ar putea fi terasamentul, iar  $S'$  trenul care are o viteză foarte mare, comparabilă ca ordin de mărime cu viteza luminii.

Se pune problema calculului coordonatelor  $x', y', z', t'$  ale mingii în

\* A. Einstein – „Teoria relativității pe înțelesul tuturor”.

sistemul mobil  $S'$ , față de coordonatele cunoscute  $x, y, z, t$  din sistemul fix  $S$ , păstrând constantă valoarea vitezei luminii la schimbarea sistemului de referință! Ecuțiile care asigură această legătură sunt:

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

$$y' = y; \quad z' = z.$$

Ele sunt ecuațiile transformărilor Lorentz.

Dacă viteza trenului rămâne mult mai mică decât viteza luminii, atunci se obțin rezultatele prescrise de transformările Galilei:

$$x' = x - vt; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = t.$$

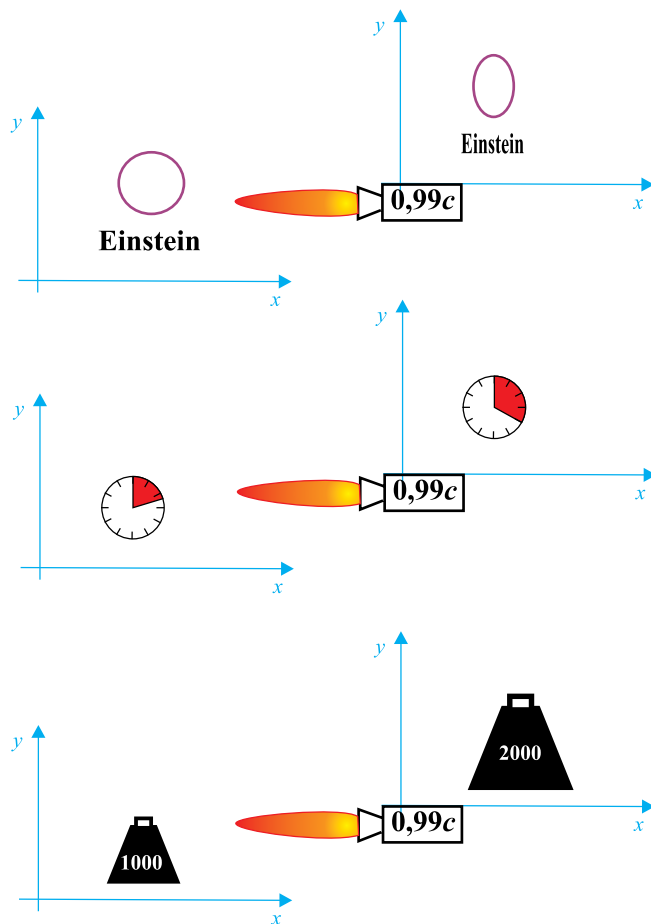
Deci, mecanica clasică se obține printr-o particularizare a mecanicii relativiste, pentru cazul în care  $v \ll c$ , adică vitezele de deplasare sunt mult mai mici decât viteza luminii.

La sfârșitul secolului al XIX-lea făcea mare vâlvă ideea existenței unui mediu continuu care umple spațiul, numit eter. Mai mult, se credea că lumina se deplasează prin eter cu viteza de 300 000 km/s. Deci, un observator aflat în repaus față de eter ar măsura o viteză a luminii de 300 000 km/s, iar unul aflat în mișcare față de eter ar măsura o viteză mai mică sau mai mare a luminii. Mișcarea Pământului prin eter, în jurul Soarelui, ar trebui să afecteze valoarea vitezei măsurate a luminii.

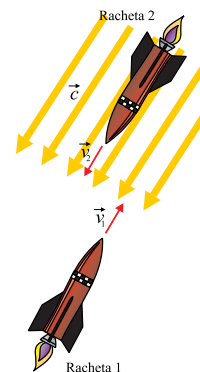
Idea existenței eterului nu a fost confirmată experimental. Cel mai precis experiment a fost efectuat în 1987 de către A. Michelson și E. Morley care au comparat vitezele a două raze de lumină care au direcții perpendiculare. Rezultatul obținut arăta că viteza luminii are mereu aceeași valoare: 300000 km/s.

Așa ceva este posibil numai dacă se admite că timpul și spațiul nu mai au caracter absolut. Timpul măsurat de fiecare observator cu propriul ceas diferă, dacă observatorul se mișcă cu viteză foarte mare (comparabilă cu viteza luminii!). Verificarea experimentală a acestui fapt s-a făcut prin compararea intervalelor de timp indicate de două ceasuri identice, sincronizate, unul aflat în aeroport, iar celălalt într-un avion. Cel din avion a înregistrat un interval de timp ceva mai scurt decât cel de la sol, chiar la vitezele normale de călătorie ale avionului. Motivul din basmul „Tinerete fără bătrânețe și viață fără de moarte” al lui Petre Ispirescu capătă viață: o secundă trăită în plus în avion, necesită ocolirea Pământului de circa  $10^8$  ori.

Deci, putem afirma că timpul se dilată în sistemele de referință aflate în mișcare. El are valoare minimă în sistemul propriu de referință. Ca o consecință directă a apărut paradoxul gemenilor. Fiecare observator are propria măsură a timpului!



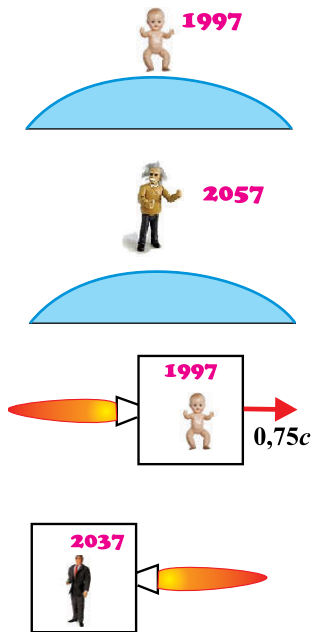
▲ Contrația lungimilor aflate pe direcția de mișcare, dilatarea duratelor în sistemul fix de referință și creșterea masei în sistemul de referință care călătorește cu viteza de  $0,99c$  față de sistemul de referință de pe Pământ.



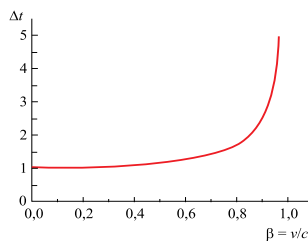
▲ Două rachete se deplasează pe aceeași direcție cu vitezele  $v_1$  și  $v_2$  în sensuri diferite. Un fascicul de lumină este paralel cu direcția lui de deplasare. Relativ la racheta 1 lumina ar avea viteza mai mare decât  $c = 300000$  km/s, iar relativ la racheta 2 ar avea viteza mai mică decât viteza luminii.



▲ Ceasul care a călătorit în jurul lumii cu avionul a înregistrat o durată a călătoriei ceva mai mică decât similarul său rămas în aeroport.



▲ Paradoxul gemenilor. Geamănul aflat în racheta care călătorește cu viteza de  $0,75c$  trăiește doar 40 de ani față de fratele său rămas pe Pământ unde s-au scurs 60 de ani. Deși pare nefiresc este adevărat că geamănul de pe Pământ va fi mai bătrân la revenirea celui din rachetă.



▲ La viteze obișnuite efectul dilatării temporale este neglijabil. La deplasarea cu viteza luminii timpul „încremenește”.

Astfel, unul dintre gemeni, se află într-o călătorie spațială cu o navetă deplasabilă cu o viteză comparabilă cu viteza luminii, iar celălalt rămâne pe Pământ. El va măsura timpul petrecut de fratele său în navetă, ca scurgându-se mai lent. La întoarcerea pe Pământ, fratele călător va fi mai tânăr decât geamănul său. Deși pare a fi împotriva firii s-au efectuat experimente care demonstrează acest paradox.

Unul dintre aceste experimente s-a ocupat cu detectarea particulelor elementare numite mezoni la nivelul solului terestru. Până aici nimic deosebit! Doar că aceste particule, cărora li se mai spune și miuoni, se nasc în straturile superioare ale atmosferei terestre, la altitudini de 20–30 km și au un timp de viață propriu de circa 1,5 microsecunde (măsurat de un ceas care se mișcă solidar cu mezonul!). Ei se deplasează cu viteze aproximativ egale cu viteza luminii. Un calcul simplu demonstrează că la 300 000 km/s în 1,5 microsecunde, un mezon ar înainta aproximativ 450 m. Atunci cum de ajung în apropierea suprafeței terestre? La 20–30 km distanță de aceasta? Măsurând intervalul de timp dintre generarea mezonului și detectarea lui la nivelul solului, cu ceasornice sincronizate aflate în repaus în raport cu solul, se obțin cam 75 microsecunde, timp în care el ar putea parcurge în jur de 22,5 km. Asta ar putea explica prezența la nivelul solului.

Acest experiment verifică relația propusă de Einstein pentru legătura dintre timpul propriu  $\Delta t$ , măsurat în sistemul fix  $S$ , și timpul  $\Delta t'$ , măsurat în sistemul care se mișcă cu viteza  $v$  față de  $S$ , de-a lungul axei  $Ox$ :

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

Timpul este minim în sistemul propriu de referință. Afirmăm că se produce *dilatarea timpului!*

În ceea ce privește spațiul, își pierde și el caracterul absolut. Să considerăm că, într-o navetă spațială, care se deplasează cu viteză comparabilă cu viteza luminii, se emite un puls luminos care are aceeași direcție cu direcția de deplasare a rachetei. Pulsul va fi observat atât de pe navă, cât și de pe Pământ. Fiecare dintre observatori va raporta distanțe diferite parcurse de către pulsul luminos. Dacă ne gândim că valoarea vitezei luminii nu se modifică în funcție de sistemul de referință, atunci este evident că nici duratele în care pulsul atinge oglinda pe care se reflectă, nici distanțele parcurse nu vor fi identice. Observatorul de pe Pământ va raporta o valoare mai mare a drumului parcurs de pulsul luminos. Spunem că are loc o *contracție a lungimilor aflate pe direcția de mișcare* a navetei spațiale. Lungimea este maximă în sistemul propriu de referință și respectă relația:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

unde  $l_0$  este lungimea măsurată în sistemul propriu, iar  $l$  – lungimea în sistemele aflate în mișcare.

„Frumusețea și simplitatea teoriei i-au convins pe mulți gânditori, dar mai rămâneau destui opozanți. Einstein a înlăturat două dintre absoluturile secolului al XIX-lea, repausul absolut, așa cum era el reprezentat de eter,

și timpul absolut sau universal, pe care ar fi trebuit să-l măsoare toate ceasurile. Mulți au considerat inacceptabil acest concept.<sup>1</sup>

Între anii 1920–1930 au existat multe discuții asupra acestei teorii. În zilele noastre, însă este unanim acceptată.

Dilatarea duratelor și contracția lungimilor în sisteme de referință care se mișcă cu viteza comparabilă cu viteza luminii, nu sunt singurele modificări esențiale aduse de această teorie.

Principiul fundamental al mecanicii newtoniene,  $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ , rămâne valabil cât timp masa corpului  $m$  este constantă. Mai mult, dacă forța  $\vec{F}$  acționează un timp îndelungat asupra corpului aflat inițial în repaus, viteza corpului ar putea ajunge să depășească viteza luminii. Contradicție cu principiul potrivit căruia viteza luminii nu poate fi depășită!

Vom nota masa de repaus a corpului cu  $m_0$ , iar masa corpului care se mișcă cu viteze relativiste (viteze comparabile ca ordin de mărime cu viteza luminii) cu  $m$ .

Mecanica clasică, prerelativistă admite două mari legi de conservare: a energiei și a impulsului, complet independente unul față de altul. Teoria relativității le va unifica!

Astfel, pentru a accelera un corp din ce în ce mai mult, vor fi necesare cantități de energie din ce în ce mai mari întrucât masa lui va crește, va fi din ce în ce mai greu să accelereze. Pentru a atinge viteza luminii ar fi necesară o cantitate infinită de energie. Masa și energia devin în cazul relativist echivalente:

$$E = m \cdot c^2.$$

Altfel spus, masa corpurilor capătă caracter relativ. Între masa de repaus a unui corp  $m_0$  și masa lui de mișcare va exista o relație de tipul:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Această dependență a masei de viteză asigură verificarea legii conservării impulsului în orice SRI.

Ecuția  $E = m \cdot c^2$  avea să joace un rol fundamental în cercetarea și dezvoltarea energiei nucleare. Practic, masa poate fi convertită într-o cantitate foarte mare de energie. Confirmarea experimentală a acestei teorii avea să vină peste douăzeci și cinci de ani, din studiul reacțiilor nucleare. Veți afla cum, într-o lecție ulterioară dedicată fisiunii nucleare.

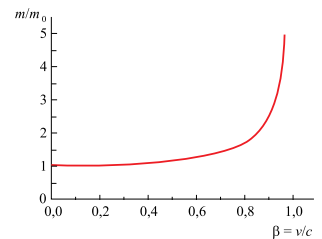
Teoria relativității restrânse este în acord deplin cu ecuațiile câmpului electromagnetic ale lui Maxwell. Însă ea nu este compatibilă cu legea newtoniană a gravitației care susține că o modificare minusculă a distribuției materiei dintr-o zonă produce modificări de câmp gravitațional care se propagă instantaneu în Univers. Aceasta ar presupune că se pot trimite semnale de viteză mai mare decât viteza luminii, iar timpul ar trebui să aibă caracter absolut. Ori tocmai se ajunsese la altă concluzie! Neajunsul a fost înlăturat de către teoria generalizată a relativității.

### Test de evaluare

- 1) Calculați cu cât la sută crește masa unei rachete care se deplasează cu o viteză reprezentând 80% din viteza luminii în vid.
- 2) Calculați contracția unei rigle cu lungimea de 1 m aflată pe direcția de mișcare a rachetei din problema 1).
- 3) Calculați ce durată are un eveniment petrecut în aceeași rachetă, dacă pe Pământ el durează 30 minute.

*„Masa și energia sunt deci de aceeași esență, adică sunt numai forme diferite de manifestare a aceluiași lucru. Masa unui corp nu este constantă; ea variază odată cu energia lui”.*

**Albert Einstein**



▲ Reprezentarea grafică a dependenței masei relative

$\frac{m}{m_0}$  de factorul relativist.

*„Cea mai importantă consecință a teoriei relativității restrânse se referă la masele inerțiale ale sistemelor fizice. A devenit evident că inerția unui sistem depinde în mod necesar de cantitatea sa de energie, ceea ce a condus direct la ideea că masa inerțială nu-i decât energie latentă. Principiul conservării masei și-a pierdut autonomia și s-a asociat cu cel al conservării energiei”.*

**Albert Einstein**

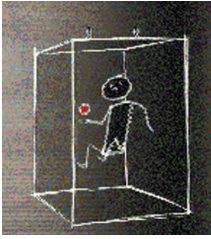
Ce e teoria relativității

<sup>1</sup> S. Hawking – „Universul într-o coajă de nucă”

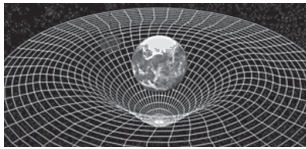
## \* Teoria generalizată a relativității

„Stăteam în biroul pentru brevete din Berna, când brusc mi-a venit o idee: dacă cineva cade liber, nu-și simte propria greutate. Am fost uluit. Gândul ăsta banal mi-a lăsat o impresie puternică. M-a împins spre o teorie a gravitației”.

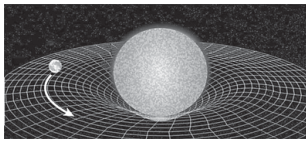
Albert Einstein



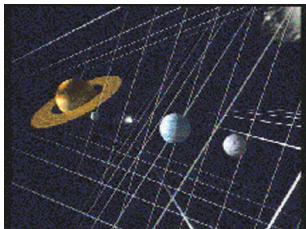
▲ Personajul din lift nu poate preciza dacă liftul cade liber sau dacă ipotetic se află într-o rachetă al cărei motor tocmai s-a oprit.



▲ Materia produce curbura spațiului-timp.



▲ Traectoria unei planete mai mici apare curbată în vecinătatea unei planete mari.



▲ În spațiul newtonian pozițiile obiectelor sunt descrise prin setul de coordonate  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , măsurat față de un punct fix.

Einstein a fost preocupat de legătura dintre corpurile accelerate și gravitație. În anul 1915, el modifică radical concepția științifică asupra spațiului și a timpului, spre a putea încheia o teorie a gravitației. Analog principiului relativității clasice, formulat de către Galilei prin prisma pendulului gravitațional aflat pe corabie, Einstein pornește raționamentul de la un personaj aflat într-o cutie care se poate mișca vertical. Un observator aflat în cutia asemănătoare unui lift, nu poate preciza dacă se află în repaus în câmp gravitațional sau dacă urcă accelerat, în afara câmpului gravitațional al Pământului. El simte acțiunea unei forțe orientate vertical în jos în ambele cazuri. Practic, accelerația și gravitația sunt echivalente ca efecte. Pentru a admite echivalența lor era necesară tratarea evenimentelor într-un continuu cu patru dimensiuni – 3 spațiale și a patra temporală, numit *spațiu-timp*. Vom descrie această noțiune în paragraful următor.

Având în vedere că planeta este rotundă, această echivalență obligă la curbarea spațiului-timp în vecinătatea corpurilor masive precum planetele. Altfel, oamenii din părțile opuse ale globului ar trebui să fie accelerați în direcții opuse, rămânând în același timp la distanță constantă unul față de altul. Pentru a explica cum stau totuși oamenii în părțile opuse ale globului, Einstein a avansat o nouă idee revoluționară!

Einstein a intuit că masa și energia distorsionează spațiul-timp astfel încât, chiar dacă planetele s-ar mișca în linie dreaptă, traiectoriile lor ar apărea îndoite. Aceasta este esența teoriei generalizate a relativității. Potrivit noii teorii, razele de lumină se curbează și ele în apropierea maselor mari pe lângă care trec. Lumina provenită de la stele ar trebui să devieze în câmpul gravitațional al Soarelui. Fenomenul ar putea fi vizibil de pe Pământ numai în timpul eclipselor totale de Soare, când stelele de pe boltă aflate în apropierea Soarelui, devin vizibile pentru scurt timp. Prima confirmare experimentală a teoriei generale a relativității a apărut în anul 1919, când a fost observată curbura razei de lumină provenită de la o stea aflată în apropierea Soarelui în timpul unei eclipse totale de Soare. Această curbură este responsabilă pentru deplasarea poziției aparente a stelei, așa cum este ea observată pe Pământ.

Această deviație aparentă a confirmat intuițiile lui Einstein prin care el transformă spațiul și timpul în mod fundamental.

„Atunci când o gănganie oarbă se târăște pe suprafața unei ramuri curbate ea nu observă că drumul pe care l-a parcurs este într-adevăr *curb*. Eu am avut norocul să observ ce n-a observat găngania.” (Albert Einstein)

Totodată, se conturează ideea că fenomenele care au un ritm propriu, cum ar fi mersul unui ceas, încetinesc în vecinătatea unor planete cu mult mai mari decât Pământul. Spre exemplu, pe Soare (dacă ar fi posibil să reziste la temperaturile de acolo!) un ceas ar indica pentru un fenomen pe care îl cronometrează o durată mai mică decât pe Pământ.

De aici până la ideea că liniile spectrale ale radiațiilor produse la suprafața unor mase gravifice foarte mari vor fi deplasate spre roșu în cazul Soarelui, față de cele emise de pe Pământ, nu a mai fost decât un singur pas: dovada experimentală.

Știința se trezea acum în fața unui Univers în care materia curbează spațiul-timp astfel încât corpurile cad unul spre altul. Einstein îmbrățișează ideea unui univers static și modifică ecuațiile teoriei sale, adăugând ceea ce el numea *constanta cosmologică*. Ea avea rolul de a curba spațiul-timp în

partea opusă, pentru a îndepărta corpurile unul față de altul. Caracterul său repulsiv contracarează efectul atractiv al materiei, asigurând astfel o soluție statică pentru univers. După o vreme, această idee va fi considerată, chiar de către autorul ei, cea mai mare greșeală a vieții lui.

## \* Spațiul Minkowski sau o nouă dimensiune spațio-temporală!

Spațiul este un continuu tridimensional în care se poate descrie poziția unui punct fix prin cele trei coordonate  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Oricând punctul va avea un vecin foarte apropiat, cu coordonatele foarte puțin diferite. De aceea îl numim continuu.

„Lumea” lui Minkowski atașează acestui continuu a patra dimensiune: cea temporală. Acum este oarecum evident că nu putem vorbi despre un set de coordonate  $x$ ,  $z$ ,  $y$  care să descrie poziția unui punct material mobil fără a preciza momentul de timp  $t$  la care au fost ele măsurate. Astfel, apare cea de-a patra dimensiune. Chiar dacă în cadrul fizicii clasice timpul este un continuu necesar descrierii stării mecanice a unui corp, el este independent de starea de mișcare a sistemului de referință. Teoria restrânsă a relativității duce la pierderea independenței timpului.

Spațiu-timp este curbat, ca și cum pe o plasă elastică s-ar lăsa o bilă grea. Deci timpul capătă și el o formă.

Teoria relativității restrânse merita un premiu Nobel. Albert Einstein l-a primit pentru explicarea legilor efectului fotoelectric extern, în anul 1921. El ar fi meritat și pentru teoria relativității un Premiul Nobel, deși o considera o teorie minoră pentru standardele sale.

Pentru a putea explica diferența dintre viziunile lui Newton și Einstein asupra spațiului și a timpului vom face apel la conurile de lumină. Vom considera ca eveniment emisia unui fascicul luminos. Acesta se va propaga în spațiu-timp, îndepărtându-se cu viteza luminii.

În reprezentarea spațială tridimensională a lui Newton, drumul razelor de lumină în spațiu are forma unei sfere care se mărește cu viteza luminii.

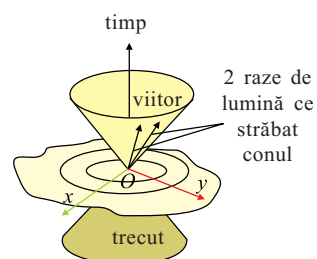
Acum vom utiliza o axă verticală pentru reprezentarea timpului și un plan orizontal pentru reprezentarea coordonatelor spațiale.

În planul orizontal vom putea utiliza doar două dimensiuni spațiale:  $x$  și  $y$ . Evenimentul se va petrece tot în punctul  $O$ , iar drumul undelor luminoase intersectează planele spațiale orizontale după cercuri a căror rază crește cu viteza luminii, în direcția axei timpului. Astfel, în diagrama spațiu-timp, drumul razelor de lumină formează conuri. Ele reprezintă istoria semnalului luminos. Observați conul simetric față de originea  $O$ . El reprezintă conul de lumină al trecutului și conține toată informația purtată înspre observatorul aflat în  $O$ .

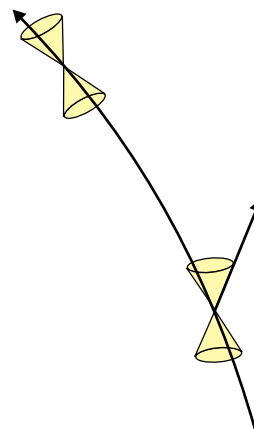
În reprezentarea spațiu-timpului, conurile de lumină sunt cele mai importante structuri, reprezentând limitele cauzalității. Istoria unei particule este reprezentată în acest caz printr-o linie cu sensul în sensul pozitiv al axei verticale. Această linie rămâne obligatoriu în interiorul conului de lumină, cu alte cuvinte o particulă materială nu se poate deplasa cu viteză mai mare decât viteza luminii. Nici un semnal nu se poate propaga din interiorul spre exteriorul lui. Cu ajutorul conurilor se pot explica: curbura spațiului, relativitatea simultaneității evenimentelor etc.



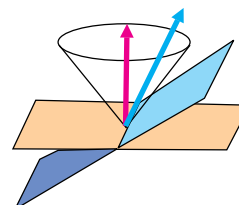
▲ Echivalența dintre accelerație și gravitație este adevărată numai dacă corpurile masive, precum planetele, curbă spațiul-timp, îndoidând traiectoriile obiectelor din apropiere.



▲ Spațiu-timp. Conul conține toate drumurile posibile pentru razele de lumină emise în timpul unui eveniment.

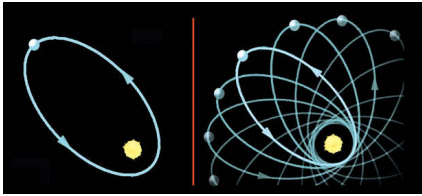


▲ Curbura spațiului.

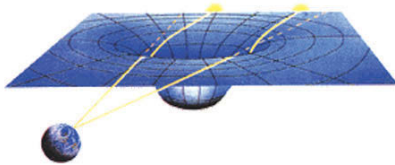


▲ Simultaneitatea evenimentelor este relativă.

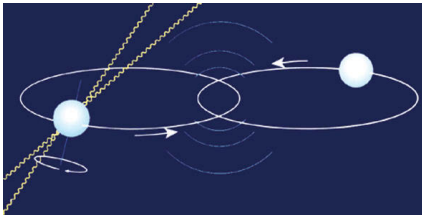
## \* Testarea teoriei generalizate a relativității



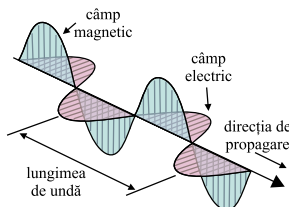
▲ Precesia planetei Mercur.



▲ Curbura razelor de lumină în vecinătatea planetelor.



▲ Pulsar binar și emisia de unde radio.



▲ Propagarea unei unde electromagnetice.



▲ Propagarea unei unde mecanice transversale într-un resort elastic.

Ideile acestei teorii au fost formulate de către Albert Einstein numai pe baza unor considerente estetice, geometrice și fizice. Testarea ei era posibilă prin trei observații cheie: mișcarea de precesie a planetei Mercur, curbura razelor de lumină în vecinătatea planetelor și dilatarea duratelor în potențialele gravitaționale – rămânerea în urmă a unui ceas aflat pe sol față de unul din vârful unui turn înalt. Cele trei experimente au demonstrat valabilitatea predicțiilor einsteiniene, însă efectele observate au fost foarte slabe. Alte teorii ale vremii puteau oferi rezultate similare. Cele mai impresionante observații, care puteau fi explicate doar prin prisma teoriei relativității, veneau de la Pulsarul binar PSR 1913+16. Ele aveau să aducă un Premiu Nobel pentru cercetătorii Joseph Taylor și Russell Hulse. Pulsarul este o stea neutronică care se rotește cu viteză foarte mare în jurul axei proprii. În cazul lui PSR 1913+16, un an reprezintă circa 8 ore pământești. Stelele neutronice emit pulsuri de unde radio pe direcția polilor magnetici. Când fasciculul îngust de radiație emisă ajunge pe direcția observatorului, acestea pot fi recepționate. Hulse a observat ca PSR 1913+16 este un pulsar binar și că emisia lui devine mai puternică, apoi scade în intensitate. Aceasta se întâmplă periodic, deoarece atunci când cele două stele de apropiere, emisia de unde radio crește, iar când ele se depărtează scade. Proprietățile stelelor din componența pulsarului au putut fi deduse din analiza timpilor de sosire a undelor radio, pe baza considerațiilor din teoria relativității. Rata de pierdere

a energiei de către sistemul binar de stele neutronice prezisă de Einstein, concordă foarte bine cu observațiile experimentale care s-au desfășurat pe un interval de 20 de ani. Aceasta face ca teoria generalizată a relativității să fie cea mai precis verificată teorie din punct de vedere experimental din toată știința actuală.

## Radiația electromagnetică sau ce este lumina?

Singurele informații care ajung la noi de la stele vin odată cu radiațiile emise de ele. Radiația electromagnetică trebuie înțeleasă ca fiind propagarea din aproape în aproape a două *câmpuri* care variază sinusoidal: electric și magnetic. Ele oscilează în plane perpendiculare atât între ele, cât și pe direcția de propagare și se generează reciproc prin fenomenul de inducție electromagnetică, respectiv magnetoelectrică, despre care ați învățat în clasa a X-a, la fizică. Ansamblul lor se numește *câmp electromagnetic*, iar propagarea lui este numită *undă electromagnetică*. În general, unda se definește ca fiind fenomenul de propagare, din aproape în aproape, a unui fenomen variabil în timp. Dacă fenomenul variabil care se propagă este mișcarea oscilatorie a unei surse, de exemplu a corzilor vocale, avem de a face cu o undă mecanică. Se demonstrează că punctele unde ajunge unda oscilează la rândul lor după o ecuație de forma:

$$y = A \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right),$$

unde:

# Cuprins

## Capitolul 1.

### Reprezentări ale Universului

Din istoria cosmologiei .....	4
Teoria heliocentrică a lui Copernic .....	5
Legile lui Kepler .....	6
Newton și legea atracției universale .....	8
Istoria continuă.....	9
Sistemul solar .....	10
*Teoria relativității restrânse .....	13
*Transformările Galilei .....	13
*Transformările Lorentz .....	14
*Teoria generalizată a relativității .....	18
*Spațiul Minkowski sau o nouă dimensiune spațio-temporală! .....	19
Explorarea Cosmosului în secolul al XX-lea ...	22
Expansiunea Universului. Legea lui Hubble ...	23
*Despre galaxii .....	24
Deplasarea spre roșu .....	27
Big Bang .....	28
Temperatura minimă .....	31
*Despre stele .....	31
<i>Activități de evaluare</i> .....	34

## Capitolul 2.

### Lumina – fenomene interpretabile clasic și cuantic

Fenomene optice observabile în natură.....	36
Fenomene optice ondulatorii .....	36
Curcubeul .....	38
Ionizarea în atmosferă .....	39
Aurorele polare .....	40
Teoria corpusculară .....	41
*Efectul fotoelectric extern .....	41
*Efectul Compton .....	42
Dualismul undă-corpusul .....	43
Principiul de nedeterminare .....	44
Despre găurile negre .....	46
<i>Activități de evaluare</i> .....	48

## Capitolul 3.

### Materia – componentă a Universului

Din istoria atomilor .....	50
Modele atomice .....	52
Structura învelișului electronic al atomului .....	56
Completarea straturilor cu electroni.	
Principiul Aufbau, principiul Pauli .....	57

Tabelul periodic, reflectare a structurii electronice a elementelor .....	58
Legături chimice .....	59
Proprietățile nucleului atomic .....	61
Radioactivitatea .....	62
Fiziunea și fuziunea nucleară .....	65
Activități de evaluare .....	66
Teorii acido-bazice .....	67
Catalizatori și enzime .....	71
<i>Activitate de evaluare</i> .....	74

## Capitolul 4.

### Resurse energetice

Surse de energie .....	76
Circuitul apei în natură .....	76
Circuitul oxigenului/dioxidului de carbon în natură.....	79
Circuitul azotului în natură .....	82
Circuitul carbonului în natură .....	83
<i>Activități de evaluare</i> .....	85

## Capitolul 5.

### Mediul și viața

*Perspective științifice și religioase asupra aparitiei lumii. Teorii privind evoluția mediului, vieții și omului .....	88
Medii biotice și abiotice .....	94
Habitate și nișe .....	95
Niveluri de organizare și de integrare a lumii vii.....	95
Diversitatea vieții – specii și rase.....	96
Dezvoltare durabilă .....	97
<i>Activități de evaluare</i> .....	98

## Capitolul 6.

### Populații și ecosisteme

Noțiuni de genetica populațiilor .....	100
Ritmuri biologice .....	105
*Relații trofice .....	106
Relațiile interspecifice din biocenoză .....	107
Creșterea și reglarea mărimii populației .....	110
Echilibrul natural .....	112
Impactul acțiunii oamenilor asupra mediului înconjurător – dispariția și protecția speciilor .....	114
*Teorii, legi și concepte despre ecosisteme .....	117
<i>Activități de evaluare</i> .....	118
Bibliografie .....	120