

A. UNIVERSUL

1. Reprezentări ale Universului

Teoria heliocentrică a lui Copernic Legile lui Kepler

Observarea astrilor și studiul mișcării lor a preocupat gândirea umană de milenii. S-a născut știința, numită *astronomie*, care studiază toate corpurile exterioare Pământului (numite astri), sau mai general, întreg spațiul în care se află aceste corpuri, numit Univers. Astronomia studiază pozițiile, mișcările, structurile, compozițiile, interacțiunile și evoluția astrilor, structura sistemelor de astri și a Universului.

Numeroasele stele pe care le vedem pe cer și mai ales puzderia de stele din Calea Lactee formează un sistem uriaș, numit Galaxie. În Galaxia noastră (Calea Lactee) există peste 150 miliarde de stele printre care și Soarele nostru. Dincolo de Galaxia noastră, există un număr foarte mare de galaxii dintre cele mai variate. Cu ajutorul unor instrumente astronomice perfecționate, au fost observate peste un miliard de galaxii. Legile de mișcare a astrilor au fost descoperite progresiv, studiindu-se mai întâi o mică parte din Univers, numită **sistem solar**, compusă din Soare, un număr mic de corpuri care se rotesc în jurul Soarelui numite planete, comete, corpuri meteorice, gazul și pulberea interplanetară.

În lucrarea sa *De Revolutionibus Orbium Caelestium*, Copernic afirmă că:

a) Soarele (imobil) ocupă centrul Universului (este vorba despre *teoria heliocentrică*, a cărei denumire vine de la cuvântul grecesc Helios, care înseamnă Soare).

b) Fiecare planetă efectuează două mișcări:

- una de rotație în jurul Soarelui, pe o orbită circulară;
- o a doua de revoluție în jurul axei sale.

Copernic precizează că vitezele planetelor pe orbitele lor sunt cu atât mai mici cu cât planeta se află la distanță mai mare de Soare.

Teoria heliocentrică a lui Copernic a fost susținută și de **Galileo Galilei**. Astfel astronomia câștigă noi poziții avansate prin epocalele descoperiri ale lui Galilei, printre care și luneta care-i poartă numele. Galilei, cu luneta construită de el, verifică în practică concluziile deduse matematic de către Copernic.

Folosindu-se de observațiile astronomice ale danezului danez **Tycho Brahe** (1546–1601), astronomul german **Johannes Kepler** (1571–1630) a studiat mișcarea reală a planetelor în jurul Soarelui și a stabilit următoarele trei legi referitoare la mișcarea planetelor:

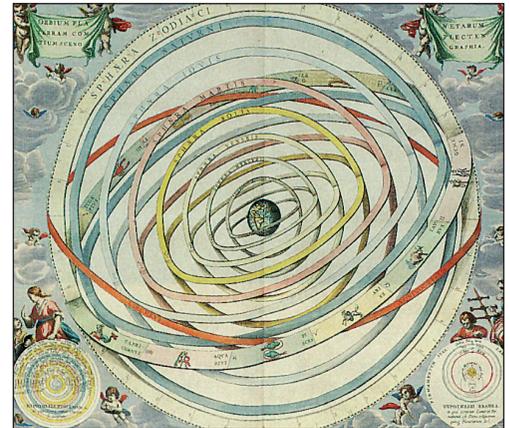


Fig. 1

Lumea antică, avidă de cunoaștere, a făcut observații astronomice sistematice, cu 2 000 de ani î.Hr. Grecii au făcut observații astronomice și de la aceștia au rămas unele concepții corecte despre forma Pământului și natura mișcării acestuia, cât și despre modul de dispunere a planetelor și stelelor în Univers, numit sistemul lumii.

Concepția astronomului grec Ptolemeu (secolul al II-lea d. Hr., între anii 100–170) susținea că sistemul lumii este alcătuit astfel: în centrul Universului se află Pământul imobil, iar în jurul lui se rotesc pe orbite circulare Luna și Soarele. Celelalte astre se rotesc în jurul Pământului pe orbite mai complicate (fig. 1). Aceasta este concepția geocentrică asupra sistemului lumii, concepție răspândită până târziu în Evul Mediu (aproximativ 15 secole).

Aristarh din Samos (310–230, î.e.n.; școala din Alexandria), a avut prima idee de a plasa Soarele în centrul sistemului lumii. După șaptesprezece secole, astronomul polonez Nicolai Copernic (1473–1543) preia această idee pe care o dezvoltă.

Observație!

Planetele având traiectorii aproximativ circulare, semiaxa mare se reduce la raza r a cercului orbitei și legea a treia a lui Kepler se scrie: $\frac{T^2}{r^3} = \text{constant}$

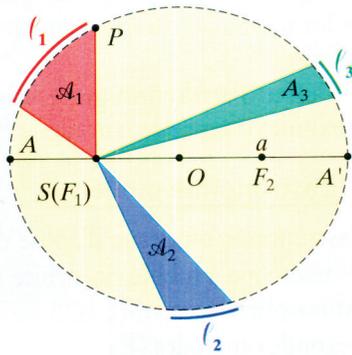


Fig. 2

Concluzii

- Sistemul solar constituie o mică parte din Univers. El este compus din Soare, planete, comete, corpuri meteorice, gaz și pulbere interplanetară.
- Conform *teoriei heliocentrice* a lui Copernic, Soarele ocupă centrul Universului. Fiecare planetă efectuează o mișcare de rotație în jurul Soarelui (mișcare de revoluție) și o mișcare de rotație în jurul axei sale.
- Kepler a studiat mișcarea reală a planetelor în jurul Soarelui și a stabilit cele trei legi de mișcare a planetelor.

Aplicații

- Analizați datele referitoare la sistemul solar, prezentate în tabelul 1 și răspundeți la următoarele întrebări:
 - Cum este masa Soarelui, comparativ cu masa planetelor?
 - Care este planeta care are cele mai mari dimensiuni și cea mai mare masă?
 - Care este cea mai mică planetă, ca masă și dimensiuni?
 - Care dintre datele prezentate în tabel ne indică distanța dintre Soare și planete?
- Enunțați concepția geocentrică a lui Ptolemeu.
- Enunțați teoria heliocentrică a lui Copernic. Ce a susținut Galileo Galilei în legătură cu această teorie?
- Definiți noțiunile de periheliu și afeliu.

Prima lege a lui Kepler (1609):

Într-un sistem de referință heliocentric, planetele în mișcarea lor în jurul Soarelui descriu traiectorii eliptice, Soarele fiind în unul din focarele elipsei.

A doua lege a lui Kepler (1609):

Raza vectoriale Soare-planetă mătură arii egale în intervale de timp egale.

A treia lege a lui Kepler (1619):

Raportul dintre pătratul perioadei de revoluție (timpul în care planetele descriu o dată în întregime elipsa) și cubul semiaxei mari a a orbitei este același pentru toate planetele: $\frac{T^2}{a^3} = \text{constant}$.

Figura 2 reprezintă ariile măturate de raza vectoriale Soare-planetă în același interval de timp τ . Punctul în care planeta se află la cea mai mică distanță față de Soare, A , se numește *periheliu*, iar punctul extrem opus, A' , se numește *afeliu*.

Planeta mergând spre periheliu, își accelerează mișcarea, atinge o viteză maximă în acest punct, după care, îndepărtându-se spre afeliu, își încetinește mișcarea orbitală, la afeliu planeta are cea mai mică viteză.

Calculăm vitezele medii pe distanțele l_1 , l_2 și l_3 parcurse de planetă în același interval de timp τ :

$$v_1 = \frac{l_1}{\tau}; v_2 = \frac{l_2}{\tau}; v_3 = \frac{l_3}{\tau}. \quad \text{Dar } l_1 > l_2 > l_3, \text{ de unde: } v_1 > v_2 > v_3.$$

Date referitoare la sistemul solar

Tabelul 1

Corpul	Masa (kg)	Raza (m)	Perioada de rotație (s)	Raza medie a orbitei (m)	Perioada de revoluție (s)
Soare	$1,98 \cdot 10^{30}$	$6,95 \cdot 10^8$	$2,14 \cdot 10^6$	-	-
Mercur	$3,28 \cdot 10^{23}$	$2,57 \cdot 10^6$	$7,60 \cdot 10^6$	$5,79 \cdot 10^{10}$	$7,60 \cdot 10^6$
Venus	$4,83 \cdot 10^{26}$	$6,31 \cdot 10^6$	$2,60 \cdot 10^6$	$1,08 \cdot 10^{11}$	$1,94 \cdot 10^7$
Pământ	$5,98 \cdot 10^{24}$	$6,38 \cdot 10^6$	$8,61 \cdot 10^4$	$1,49 \cdot 10^{11}$	$3,16 \cdot 10^7$
Marte	$6,37 \cdot 10^{23}$	$3,43 \cdot 10^6$	$8,85 \cdot 10^4$	$2,28 \cdot 10^{11}$	$5,94 \cdot 10^7$
Jupiter	$1,90 \cdot 10^{27}$	$7,18 \cdot 10^7$	$3,54 \cdot 10^4$	$7,78 \cdot 10^{12}$	$3,74 \cdot 10^8$
Saturn	$5,67 \cdot 10^{26}$	$6,03 \cdot 10^7$	$3,60 \cdot 10^4$	$7,43 \cdot 10^{12}$	$9,30 \cdot 10^8$
Uranus	$8,80 \cdot 10^{25}$	$2,67 \cdot 10^7$	$3,88 \cdot 10^4$	$2,87 \cdot 10^{12}$	$2,66 \cdot 10^9$
Neptun	$1,03 \cdot 10^{26}$	$2,48 \cdot 10^7$	$5,69 \cdot 10^4$	$4,50 \cdot 10^{12}$	$5,20 \cdot 10^9$
Pluton	-	-	-	$5,90 \cdot 10^8$	$7,82 \cdot 10^6$

Analizând datele tabelului rezultă că masele planetelor reprezintă numai 1/750 din masa Soarelui. Distanțele planetelor față de Soare sunt foarte mari.

Legea newtoniană a gravitației

Din cele discutate până aici, rezultă că s-a precizat tot mai mult natura, structura și întinderea sistemului solar și s-au descoperit legile fundamentale ale mișcării sistemului solar. Nu s-a precizat nimic în legătură cu interacțiunile dintre corpurile care alcătuiesc sistemul solar.

Nu s-a arătat cum este asigurată stabilitatea sistemului solar și care sunt cauzele mișcărilor planetelor în jurul Soarelui.

Potrivit legii gravitației universale, toate corpurile din Univers interacționează prin forțe de atracție, fie că este vorba despre particule de nisip, despre blocuri de piatră sau despre aștri. *Interacțiunea gravitațională este universală*, acționând în același mod asupra tuturor corpurilor și nu există nici un mijloc de a proteja un corp împotriva acțiunii sale. Legea gravitației universale a dat un răspuns la toate problemele importante legate de mișcarea corpurilor cerești.

Având în vedere dimensiunile mici ale astrilor față de distanțele dintre ele, Newton le-a considerat *puncte materiale*.

Ceea ce determină o planetă să se rotească în jurul Soarelui este forța de atracție dintre Soare și planetă. Pe de o parte, atracția exercitată de Soare reține planeta în jurul acestuia, împiedicând-o să se îndepărteze în spațiul cosmic, iar pe de altă parte, datorită inerției, planeta tinde mereu să se miște rectiliniu uniform, deci să se îndepărteze de Soare. Planeta este obligată în felul acesta să se deplaseze pe traiectoria sa. La fel se întâmplă și cu Luna care se mișcă în jurul Pământului și odată cu acesta în jurul Soarelui, împreună cu sistemul solar, se mișcă în Galaxie datorită aceleiași legi a gravitației universale.

Prin descoperirea gravitației universale, Newton a arătat care sunt cauzele stabilității sistemului solar.

Interacțiunea gravitațională între două puncte materiale. Legea atracției gravitaționale

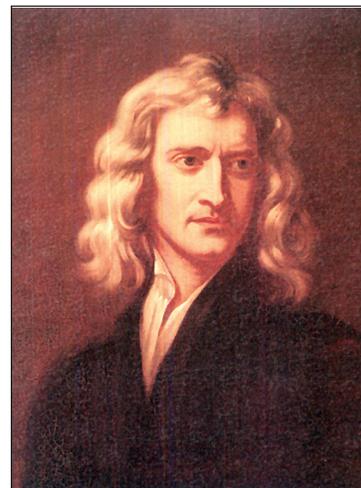
Considerăm două corpuri punctiforme de mase m_1 și m_2 plasate în punctele A și B aflate la distanța r unul de celălalt (fig. 3). Se consideră că cele două puncte se atrag reciproc.

Punctul material din B exercită asupra punctului material din A o forță \vec{F}_{21} și punctul material din A exercită asupra celui din B o forță \vec{F}_{12} .

Aceste forțe se numesc *forțe de interacțiune gravitațională*.

Conform principiului acțiunii și reacțiunii, forțele \vec{F}_{21} și \vec{F}_{12} au aceeași dreaptă suport, același modul și sensurile opuse:

$$\vec{F}_{21} = -\vec{F}_{12}, \text{ cu modulele } F_{21} = F_{12}. \quad (1.1)$$



Isaac Newton (1642–1727)

Savantului englez **Isaac Newton** îi datorăm descoperirea adevărului, din care să rezulte cauzele căderii libere a corpurilor pe suprafața Pământului, mișcării planetelor în jurul Soarelui, formării mareelor, formării galaxiilor.

Aceste fenomene, aparent de naturi diferite sunt manifestări ale aceleiași legi: **legea gravitației universale**, descoperită în anul 1666 de către Isaac Newton.

Newton reduce sfera la un punct material, obiect fără dimensiuni, a cărui singură proprietate este masa, construind astfel, modelul punctului material. Aceasta este prima concepție modernă asupra particulei. Pornind de la modelul punctului material, Newton a elaborat o teorie matematică a gravitației universale, care descrie cu un aparat matematic minimal și cu o surprinzătoare precizie, mișcarea corpurilor cerești. În felul acesta, Newton a pus bazele mecanicii cerești, dând o imagine nouă a Universului. Legile lui Kepler sunt simple consecințe ale legii gravitației universale.

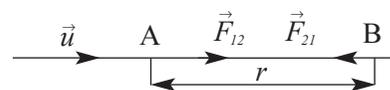


Fig. 3

**Legea atracției gravitaționale
a lui Newton se enunță astfel:**

Două corpuri punctiforme plasate în punctele A și B , de mase m_1 și m_2 exercită unul asupra celuilalt forțe de atracție de sensuri opuse, dirijate de-a lungul dreptei AB , și al căror modul este proporțional cu produsul maselor celor două corpuri și invers proporțional cu pătratul distanței dintre ele:

$$F_{21} = F_{12} = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1.2)$$

Factorul de proporționalitate din relația (1.2), se numește *constanta gravitațională universală*, care are valoarea:

$$k = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2\text{kg}^{-2}.$$

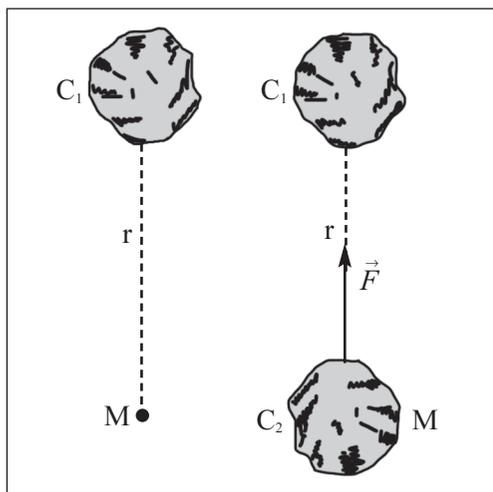


Fig. 4

Un câmp este o regiune din spațiu ale cărei proprietăți au fost modificate prin prezența unui corp în această regiune, numit sursă de câmp.

Forța de interacțiune gravitațională nu depinde de compoziția chimică a corpurilor, de sarcinile lor electrice sau de starea lor de agregare, ci depinde doar de masa corpurilor și distanța dintre ele.

Valoarea foarte mică a constantei *gravitaționale universale* arată că atracția gravitațională devine apreciabilă numai în cazul corpurilor cu masă foarte mare. O întrebare firească este următoarea: prin intermediul cui și cum apar aceste forțe de interacțiune gravitațională? Răspunsul la această întrebare îl dă fizicianul englez Michael Faraday (1791–1867), care introduce conceptul de **câmp**.

În cazul gravitației, Faraday punea problema în felul următor:

Dacă într-un loc din spațiu se află un corp C_1 și dacă se aduce într-un punct M la distanța r de acest corp, un alt corp C_2 , apare o forță de atracție (fig. 4). De ce oare apare această forță atunci când în această regiune din spațiu nu există nimic altceva decât corpul C_1 ? Pentru Faraday, ar trebui să fie în spațiul din jurul corpului C_1 , o anumită „stare” sau „o condiție necesară ca să se producă atracția”. Acestei stări existente în spațiul din jurul corpului C_1 , Faraday i-a dat numele de *câmp*.

Spațiul este modificat prin prezența corpului C_1 , în regiunea în care se află, modificare pe care cel de al doilea corp o resimte sub forma unei forțe.

Această modificare se poate pune în evidență atunci când un al doilea corp foarte mic, numit corp de probă, este introdus în această regiune din spațiu și asupra lui se produce o acțiune mecanică, cu condiția ca și corpul de probă să producă un câmp de aceeași natură.

Câmpul fizic poate fi:

- *gravitațional*, regiune a spațiului din vecinătatea unui corp material;
- *electric*, regiune a spațiului din vecinătatea unui corp purtător de sarcini electrice;
- *electromagnetic*, regiune a spațiului din vecinătatea unui conductor parcurs de curent electric, sau din vecinătatea unei particule purtătoare de sarcini electrice, aflată în mișcare etc.

Orice corp creează în jurul său un câmp gravitațional și de asemenea suferă acțiunea câmpului gravitațional creat de alte corpuri.

Considerăm un corp A de masă M , care constituie o sursă de câmp gravitațional (fig. 5). Se poate asocia fiecărui punct P din spațiu, un vector $\vec{\Gamma}$, astfel încât forța gravitațională ce se exercită asupra unei mase oarecare m , să se obțină înmulțind această masă cu $\vec{\Gamma}$, adică:

$$\vec{F} = m\vec{\Gamma} \quad (1.3)$$

Vectorul $\vec{\Gamma}$ se numește intensitatea câmpului gravitațional.

$$\vec{\Gamma} = \frac{\vec{F}}{m} . \quad (1.4)$$

Câmpul generat de masa Pământului se numește câmp gravitațional terestru. Pământul acționează asupra tuturor corpurilor de la suprafața sa. Pentru a aplica legea atracției universale și forței cu care Pământul (care nu este o masă punctiformă) acționează asupra maselor de la suprafața sa trebuie să facem următoarele aproximații simplificatoare:

a) Pământul să fie considerat un corp sferic de centru O , de rază R și de masă M , concentrată în centrul său.

b) Să se neglijeze efectele produse de mișcarea anuală a Pământului — mișcarea de revoluție în jurul Soarelui — și de mișcarea sa diurnă — rotația în jurul axei polilor.

$$g_0 = 9,8\text{m/s}^2.$$

Pământul atrage toate corpurile, cu o forță \vec{F} care variază cu distanța r dintre acel corp și centrul globului terestru, conform relației:

$$F = k \frac{mM}{r^2} .$$

Accelerația gravitațională a acestor corpuri, care se deplasează spre Pământ, depinde, de asemenea, de această distanță:

$$g = k \frac{M}{r^2} ,$$

unde am notat cu M masa Pământului.

Un câmp este considerat *uniform* atunci când intensitatea câmpului $\vec{\Gamma}$ are aceeași direcție, același sens și același modul în orice punct al său. Deoarece $\vec{\Gamma} = \vec{g}$, și vectorii accelerație trebuie să îndeplinească aceleași condiții.

Ne întrebăm dacă poate exista o regiune a spațiului în care vectorii care reprezintă accelerația gravitațională să aibă practic același modul și să fie paraleli, adică o regiune în care câmpul gravitațional să fie uniform.

În apropierea suprafeței Pământului într-o regiune suficient de mică, putem neglija curbura Pământului, iar câmpul gravitațional terestru poate fi considerat uniform.

În cazul în care câmpul gravitațional terestru este uniform într-o regiune din jurul Pământului, atunci accelerația gravitațională are în orice punct din acea regiune aceeași valoare și aceeași direcție.

Într-o astfel de regiune și greutatea unui corp este constantă, având același modul și aceeași direcție în orice punct s-ar afla corpul.

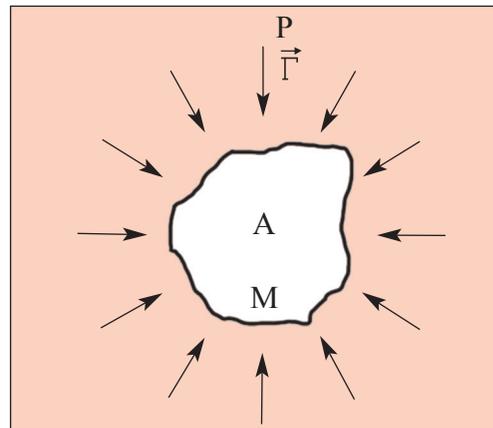


Fig. 5

Intensitatea câmpului gravitațional într-un punct P reprezintă forța ce se exercită asupra unității de masă situată în punctul P.



Legenda descoperii legii gravitației universale

Se cunoaște povestea după care Newton a ajuns la descoperirea Legii gravitației universale, urmărind, la Woosthorpe (localitatea sa natală), căderea unui măr dintr-un pom. Această poveste este, pare-se, autentică, și nu o legendă după relatările lui Stukeley, un contemporan al lui Newton.

Concluzii

- Toate corpurile din Univers interacționează între ele prin forțe de atracție gravitațională.
- Interacțiunea gravitațională este universală.
- Newton a enunțat legea atracției gravitaționale. Două corpuri punctiforme de mase m_1 și m_2 exercită unul asupra altuia forțe al căror modul este direct proporțional cu pătratul distanței din ele:

$$F = k \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} .$$

- Forțele de interacțiune se exercită prin intermediul câmpului gravitațional.

Aplicații

1. Ce se înțelege prin modelul punctului material?
2. Ce valoare are constanta gravitațională universală k ?
3. Definiți noțiunea de câmp fizic.
4. Definiți intensitatea câmpului gravitațional.
5. Ce se înțelege prin câmp fizic uniform?
6. În ce situație câmpul gravitațional terestru poate fi considerat uniform?
7. Calculați forța de atracție gravitațională dintre două corpuri punctiforme A și B , care au masele $m_A = 2$ kg și $m_B = 3$ kg, la distanța $r = 20$ cm.

$$\mathbf{R} : F = 10^{-8} \text{ N.}$$

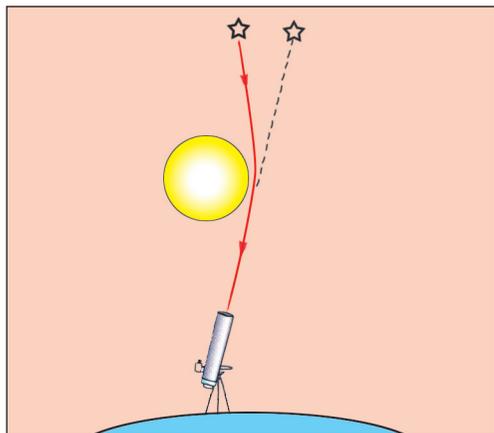


Fig. 6

Toate corpurile care se află în câmpul gravitațional al Pământului, sunt supuse unei forțe de atracție. Aceste forțe de atracție se exercită asupra tuturor particulelor de substanță care alcătuiesc un corp. Ele sunt reprezentate de o mulțime de forțe distribuite în tot volumul fiecărui corp.

Considerăm că această mulțime de forțe este echivalentă cu o forță unică numită greutatea corpului, aplicată în centrul de greutate al acestuia, exprimată prin relația:

$$\vec{G} = m\vec{g} \quad \text{sau } G = mg. \quad (1.5)$$

Teorii moderne ale Universului — dovezi experimentale

În istoria oricărei științe, una dintre măsurile progresului este perfecționarea metodelor de investigare, elaborarea unor metode mai precise și mai adecvate obiectului cercetării. Perfecționarea metodelor de cercetare este în mod firesc corelată cu schimbarea corespunzătoare a teoriei.

Newton, prin teoria gravitației universale, a pus bazele mecanicii cerești, dând în felul acesta o imagine nouă, nebănuită până la el, despre Univers.

Din teoria relativității generale decurge o nouă concepție asupra Universului. Einstein tratează câmpurile gravitaționale ale diferitelor corpuri ca fiind curburi ale spațiului-timp în regiunile din jurul acestor corpuri. Pământul curbează considerabil spațiul-timp și forțează Luna să se miște accelerat. La rândul său, Soarele curbează spațiul-timp, ceea ce face ca razele de lumină care trec prin apropierea sa să fie curbate.

Teoria relativității generale a permis explicarea unor fenomene care nu au putut fi explicate prin legea gravitației universale, ca de exemplu:

- a) anomaliile mișcării planetei Mercur (planeta cea mai apropiată de Soare);
- b) efectul de atracție gravitațională suferită de lumina care trece prin apropierea unui astru cum ar fi Soarele (fig. 6).

Razele de lumină care vin de la o stea din apropierea Soarelui sunt curbate de către acesta; observatorul vede steaua în prelungirea razelor care pătrund în telescop, el vede poziția aparentă a stelei. Măsurătorile făcute în anul 1919, de către astronomul englez Eddington, în timpul unei eclipse totale de Soare au pus în evidență acest fenomen.

a. Universul în expansiune

Timpe de milenii, astronomia — știința corpurilor cerești — s-a constituit și s-a dezvoltat exclusiv pe baza observațiilor vizuale,

adică pe baza informațiilor aduse din cosmos de razele de lumină, singurele accesibile omului atâta timp cât tehnica nu i-a pus la dispoziție alte mijloace în afara celor optice. Domeniul de cercetare al astronomului s-a lărgit treptat începând cu aproximativ un secol, când progresul fizicii și al tehnicii a creat noi receptoare de radiații, ca placa fotografică, celulele fotoelectrice, etc. Acestea sunt sensibile și ele la razele luminoase, dar în același timp și la unele radiații invizibile pentru om, cum ar fi razele ultraviolete și cele infraroșii. Unele dintre aceste receptoare mai noi sunt sensibile și la radiații corpusculare.

Unul dintre instrumentele cu care a efectuat observații astronomice foarte importante, astronomul american Edwin Hubble, este telescopul de pe Mont Palomar (California). Observatorul în care se află acest telescop gigant este situat la înălțimea de 1 700 metri.

Telescopul cântărește 450 tone (tubul telescopului singur cântărește 140 tone). Acest instrument se află într-o cupolă cu diametrul de 47 metri. Cu acest telescop, care este în serviciu din anul 1949, se pot observa corpuri cerești aflate la distanța de 1 miliard ani-lumină.

Oglinda acestui telescop are un diametru de 508 metri și o grosime de 65 centimetri; el cântărește 18 tone. Oglinda este fabricată din pîrex, turnarea ei a durat 18 luni și a trebuit să se aștepte ca să se răcească complet 7 ani. Șlefuirea oglinzii s-a făcut timp de 1 an, după care partea utilă (reflectorizantă) a fost acoperită cu un strat de aluminiu.

Astronomia modernă dispune de aparatură foarte sofisticată, ca de pildă:

- telescopul Hubble lansat pe orbită în jurul Pământului, pentru a fi ferit de perturbații în atmosfera terestră;
- sondele spațiale (Pioneer, Voyager, Galileo, Magellan ...);
- noi telescoape terestre montate în Hawai și Chili.

b. Deplasarea spre roșu

Lumina albă pe care o emit diferite surse de lumină se poate descompune cu ajutorul unui dispozitiv optic (spre exemplu o prismă optică) într-o mulțime de lumini colorate care se întind continuu de la roșu la violet. Acesta constituie spectrul continuu al luminii vizibile (fig. 7). Spunem că lumina emisă de sursele respective este policromatică (fig. 8). Dacă trimitem un fascicul de lumină laser pe același dispozitiv optic, lumina laser nu este descompusă (fig. 9). Se spune că lumina emisă de acest dispozitiv este monocromatică. Ea este formată dintr-o singură linie spectrală. Fiecare substanță are un spectru caracteristic.

Stelele și galaxiile care sunt formate din gaze au spectrul lor caracteristic, format din anumite linii spectrale. O linie spectrală corespunde unei unde de lumină monocromatică.

Teoria gravitației a lui Newton se bazează pe noțiunea de forță gravitațională, aceasta acționând în mod *instantaneu* la distanță. Acest caracter instantaneu al acțiunii forței gravitaționale este incompatibil cu teoria relativității restrânse a lui Einstein. După această teorie, interacțiunile gravitaționale care se transmit în câmpul gravitațional, nu se pot propaga cu o viteză mai mare decât viteza luminii. Acest principiu având un caracter universal, Einstein a propus o teorie care să fie compatibilă cu principiul, și anume, *teoria relativității generale*, care concepe Universul nu ca un conținut spațial cu trei dimensiuni, ci ca un conținut cu patru dimensiuni, cuprinzând *spațiul și timpul*.

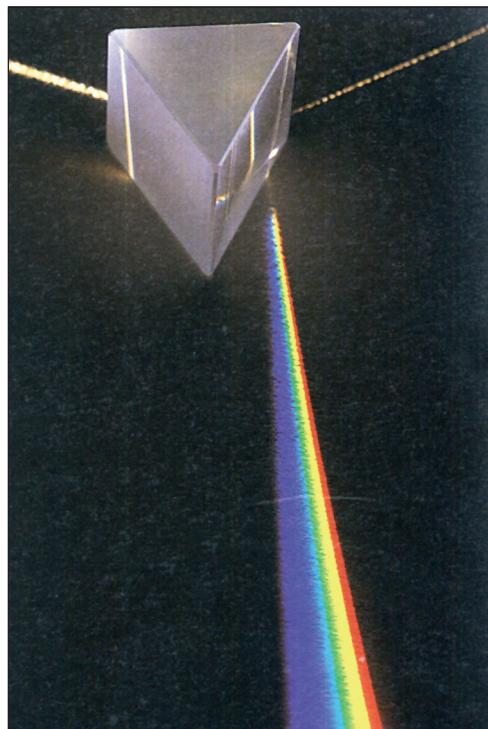


Fig. 7



Fig. 8



Fig. 9



Fig. 10

Lumina provenită de la un bec cu vapori de mercur este descompusă, sub forma unui spectru format numai din 4 linii spectrale (fig. 10).



Fig. 11

Deplasarea spre roșu este efectul de creștere aparentă a lungimii de undă emisă de către o sursă care se îndepărtează de observator, față de lungimea de undă corespunzătoare sursei în repaus relativ. Acest fenomen este o consecință a efectului Doppler.

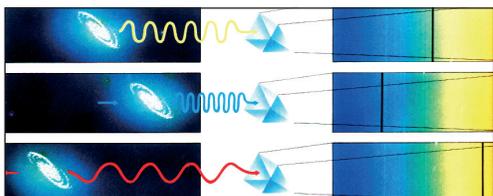


Fig. 12

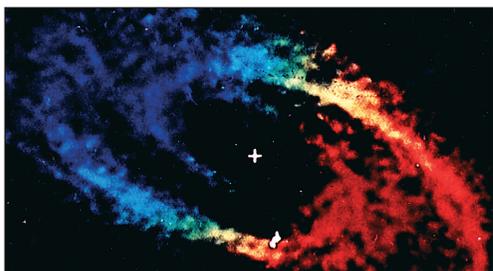


Fig. 13

Între sursa de lumină albă și prisma optică așezăm o flacără în care am introdus un tampon de vată îmbibată într-o soluție de clorură de sodiu. Flacăra se colorează în galben datorită radiațiilor galbene emise de către atomii de sodiu. Analizând spectrul sursei de lumină albă se observă o linie neagră în zona galbenă a spectrului vizibil (fig. 11).

Rezultă că un element, prezent într-un gaz incandescent, este capabil să absoarbă aceleași radiații pe care el le poate emite. Spectrul respectiv se numește *spectru de absorbție*.

Una dintre caracteristicile undelor luminoase este frecvența, care scade de la violet la roșu. În cazul undelor sonore frecvența scade de la sunetele înalte spre cele grave.

Fizicianul austriac **Doppler** a constatat că înălțimea sunetului emis de o sursă în mișcare în raport cu un observator în repaus își modifică frecvența. Dacă sursa se apropie de observator sunetele devin din ce în ce mai înalte, adică frecvența lor crește, iar dacă sursa se îndepărtează de observator sunetele devin din ce în ce mai grave, frecvența lor scade.

În anul 1848, fizicianul francez **Hippolyte Fizeau** a emis ipoteza că și lumina ar putea suferi același efect și că se poate observa apropierea sau îndepărtarea unei stele reperând poziția liniilor spectrale care apar când se descompune lumina emisă de astru cu ajutorul unei prisme. Dacă lumina emisă de stea tinde spre albastru steaua se apropie de observator, iar dacă se depărtează de observator lumina emisă de stea tinde spre roșu. Justețea ipotezei lui Fizeau a fost confirmată în anul 1868, de către astronomul englez **Huygens** care a demonstrat că Sirius se îndepărtează de Soare cu viteza de 45 km/s.

Studiind spectrele galaxiilor, americanul **Sliper** a constatat în anul 1924 un decalaj spre roșu corespunzător cu efectul Doppler (fig. 12). În figura 12, inițial galaxia este imobilă (partea de sus a figurii), în partea de mijloc galaxia se apropie de observator, linia spectrală tinde spre albastru. În partea de jos galaxia se depărtează de observator, linia spectrală tinde spre roșu.

Colegul său **Edwin Hubble** a mers mai departe, el a demonstrat că valoarea decalajului este proporțional cu viteza de deplasare a galaxiilor.

Figura 13 reprezintă o galaxie. Variația culorii galaxiei ne indică sensul ei de rotație. Partea albastră se apropie de noi; zona roșie se depărtează de noi. Aceasta este galaxia *M 81*, ea se rotește în jurul axei sale în sensul acelor unui ceas.

c. Legea lui Hubble

Astronomul american Edwin Hubble a demonstrat experimental că galaxiile se depărtează unele față de altele cu viteze proporționale cu distanțele parcurse:

$$v = H_0 d, \quad (1.6)$$

unde v este viteza relativă de deplasare a galaxiilor, exprimată în km/s, d este distanța parcursă de galaxii exprimată în Mpc (Mega parsec) și H_0 , constanta lui Hubble exprimată în km/sMpc.

Concluziile determinărilor sale Hubble le-a publicat în anul 1929, și a fost primul indiciu de expansiune a Universului și totodată a confirmat ipoteza cosmologică Bing Bang.

Hubble a propus modelul unui Univers în expansiune.

Astrofizicienii au ajuns la această concluzie constatând că toate spectrele galaxiilor sunt mai mult sau mai puțin decalate spre roșu. Într-un Univers în expansiune, galaxiile se depărtează unele de altele ca și petele de pe suprafața unui balon în timp ce este umflat (fig. 14).

Ei au stabilit următoarele caracteristici ale Universului:

- vârstă: 13,7 miliarde de ani;
- temperatură minimă: 2,736 K;
- număr de stele: aproximativ 10^{18} .

d. Teoria Bing Bang

În anul 1927 fizicianul și preotul belgian George Lemaitre a fost primul care a emis teoria ipotetică conform căreia Universul s-a format pornind de la o explozie a unui „atom primordial”.

În anul 1930, Edwin Hubble aduce dovezi experimentale în sprijinul ideii lui Lemaitre: deplasarea către roșu.

În anul 1940 fizicianul George Gamov și colaboratorii săi au susținut ideea de explozie incandescentă de materie și energie la începuturile Universului.

Denumirea acestei teorii de Bing Bang a fost dată de Fred Hoyle într-un program de la radio BBC, *The Nature of Things* (natura lucrurilor), care a fost publicată în anul 1950. În textul respectiv Hoyle nu descria teoria, însă ironiza concepția. Totuși expresia (de Bing Bang) a rămas și și-a pierdut latura sa pejorativă și ironică.

Conform susținătorilor teoriei Bing Bang, Universul s-a născut acum 13,7 miliarde de ani. Ce a fost înainte de explozie și până la data $t = 10^{-49}$ s, astrofizicienii nu au dat nici un răspuns. Se presupune că la data $t = 0$, ceea ce va deveni Universul nostru era închis într-o sferă cu diametrul de 10^{-35} cm (mai mică decât atomul de hidrogen), la temperatura de 10^{32} K.

Universul a suferit atunci o explozie fulgerătoare și au apărut *cuarcurile* (particule elementare), electronii, neutrinii și antiparticulele lor, apoi fotonii...

Începând cu prima secundă au început să se formeze nucleonii. Trei minute mai târziu au apărut nucleele atomice.

Primii atomi s-au format abia peste 30 000 ani. A trebuit să treacă trei miliarde de ani până la apariția primelor stele și galaxii.

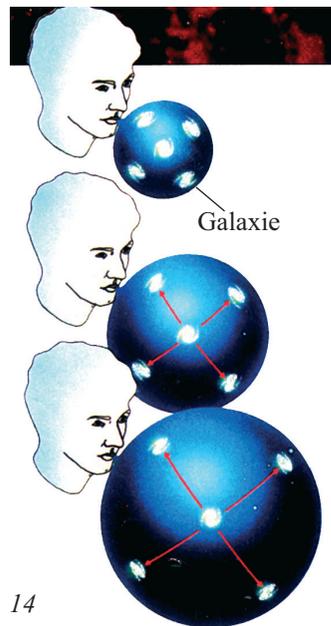


Fig. 14

Concluzii

- Einstein pune bazele teoriei relativității restrânse, enunțând principiul conform căruia, interacțiunile gravitaționale care se transmit în câmpul gravitațional, nu se pot propaga cu o viteză mai mare decât viteza luminii. Acest principiu are un caracter universal. Einstein concepe Universul ca un conținut cu 4 dimensiuni, cuprinzând spațiul și timpul, punând bazele teoriei relativității generale.

- O teorie interesantă este cea cu privire la formarea Universului pornind de la o explozie a unui „atom primordial”, cunoscută sub numele de Bing-Bang.

Una dintre dovezile experimentale cele mai importante o constituie deplasarea către roșu, studiată minuțios de Hubble.

Aplicații

1. Temă experimentală

Montați pe un banc optic o prismă optică și observați descompunerea luminii albe prin prismă. Precizați în câte raze de lumină colorate se descompune lumina albă și care sunt culorile razelor de lumină monocromatică. Cum se prezintă spectrul luminos astfel obținut?

2. Dați exemplu de fenomene care nu au putut fi explicate prin legea gravitației universale.

3. Enunțați legea lui Hubble.

Stele, galaxii și roiuri, supernove, stele neutronice, quasari

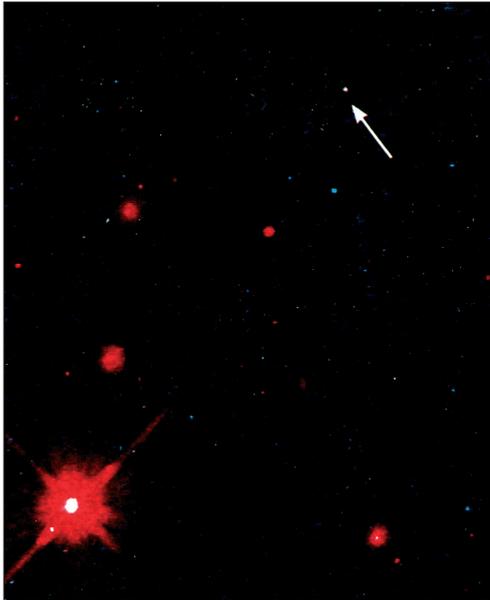


Fig. 15

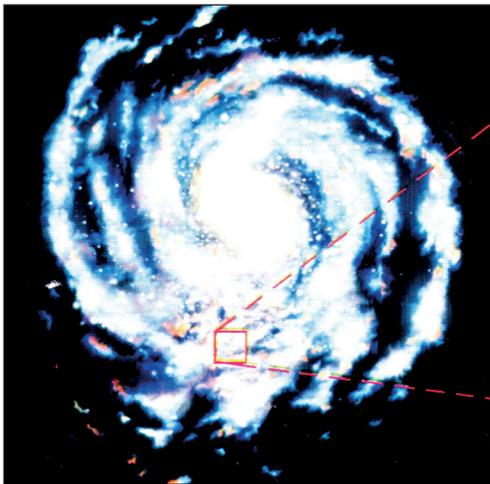


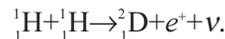
Fig. 16

Galaxiile sunt de trei tipuri: eliptice, în spirală și neregulate.

Galaxia noastră, Calea Lactee, uneori numită pur și simplu Galaxia, este o galaxie spirală (fig. 16), având un diametru de 75 000 ani-lumină și o grosime de aproximativ 3 000 ani-lumină. Ea conține aproximativ $3 \cdot 10^{11}$ stele și are o masă de $6 \cdot 10^{11}$ masa Soarelui.

a. Nașterea și moartea unei stele. Se presupune că o stea se formează treptat prin condensarea prafului cosmic sub forța gravitației. La un moment oarecare în timpul contracției, temperatura în centrul stelei se ridică destul de mult ca să se producă fuziunea nucleelor de hidrogen și să se producă heliu, căci majoritatea materialului din care sunt constituite stelele este hidrogenul.

Se pare că la stele relativ mici, cum este Soarele, primul proces care are loc, este combinarea a doi protoni și formarea unui deuteron (hidrogen greu) din ei. Reacția respectivă este:



Din moment ce s-au produs deuteroni, ei se combină cu alți protoni și formează nuclee de heliu. Rezultatul este că în timpul producerii acestor procese, se degajă energie suficientă pentru a menține strălucirea unei stele cum este Soarele pe timp de câteva miliarde de ani.

Un alt mod de realizare a sintezei heliului, cunoscut sub numele de ciclul carbonului, intervine la o temperatură ceva mai înaltă. El prezintă existența unei cantități mici de carbon, care nu se consumă în timpul procesului. Ciclul carbonului este probabil cel mai eficient în cazul stelelor mari.

Cuptorul nuclear din Soare arde lent, transformând circa 800 miliarde tone de hidrogen în heliu în fiecare secundă. În acest ritm, combustibilul hidrogen va dura aproximativ 10 miliarde de ani.

Când tot hidrogenul din centrul stelei a fost ars, se produce o nouă contracție, sub influența gravitației, până ce învelișul care înconjoară învelișul stelei, care conține încă hidrogen, devine destul de fierbinte pentru a produce heliu. În timpul acestui stadiu are loc o schimbare esențială în structura stelei. Nucleul compus din heliu se contractă, pe când învelișul exterior se dilată foarte mult, așa că steaua devine un *gigant roșu*, datorită temperaturii relativ joase a suprafeței stelei.

Mecanismul evoluției ulterioare a stelei poate fi următorul: învelișul stelei va putea fi distrus, datorită aprinderii nucleelor ușoare care se mai găsesc în straturile exterioare ale stelei. Degajarea bruscă de energie din această cauză va produce o explozie colosală, care va azvârli cu putere straturile exterioare în spațiu, ca o bombă cosmică cu hidrogen. Evenimente de acest tip dau naștere la **supernove**, care apar brusc ca niște stele noi extrem de strălucitoare, din care țâșnesc cu mare viteză o nebulozitate la distanțe enorme.

Soarta finală a unei stele după ce s-a consumat toată energia nucleară este să devină o sferă foarte condensată, care se răcește mereu, numită *pitică albă* (fig. 15).

b. Galaxii

Stelele nu sunt distribuite la întâmplare, ci tind să se îngrămădească sub formă de grupuri mari concentrate, cunoscute sub numele de *galaxii*. O galaxie este un sistem masiv, unit de forțe gravitaționale, alcătuit în afară de stele și din praf și gaze interstelare, materie întunecată invizibilă și posibil energie întunecată. Galaxiile conțin între 10^7 și 10^{10} stele, toate orbitând în jurul unui centru de gravitate comun. În plus față de stelele singuratică, marea majoritate a galaxiilor conțin un număr mare de sisteme stelare și de tipuri variate de nebuloase. Majoritatea galaxiilor au un diametru cuprins între câteva zeci și câteva sute de ani-lumină și sunt separate una de alta prin distanțe de ordinul câtorva milioane de ani-lumină.

Galaxiile cuprind într-un procent foarte mare așa numită materie întunecată (peste 90% din masa majorității galaxiilor). Natura acestor componente nu este bine elucidată. Există unele dovezi că în centrul galaxiilor există găuri negre imense. Probabil că există mai mult de 10^{11} galaxii în Universul vizibil.

c. Roiuri de stele

Roiurile de stele sunt grupări de stele care sunt de două feluri: închise și deschise. Roiurile închise, care se mai numesc și globulare sau sferice, sunt caracterizate printr-un număr mare de stele — sute de mii —, foarte strălucitoare, grupate strâns. Spre centru, stelele sunt atât de apropiate între ele, încât nu se pot distinge separat, ci apar ca o pată albă strălucitoare. Forma lor este aproape sferică, de unde li se trage și numele.

Roiurile deschise conțin de la câteva zeci până la câteva sute de stele; în aceste roiuri, stelele sunt mai depărtate unele de altele decât în roiurile globulare, și de aici li se trage și numele.

d. Quasar

Quasarul este un obiect ceresc asemănător unei stele, care emite intens radiații din domeniul radio și al cărui spectru conține linii mult deplasate spre roșu. Se presupune că ar fi de origine extragalactică, dar natura lor nu a fost încă elucidată.

e. Stele neutronice

Stelele neutronice sunt foarte mici. Ele concentrează o masă foarte mare, spre exemplu egală cu cea a Soarelui într-un volum sferic cu raza de 10 km. Acestea sunt vestigiile ale stelelor masive, cu masa de peste 10 ori masa solară. O stea masivă la sfârșitul existenței sale se transformă într-o supernovă. Aceasta dispersează o cantitate de materie în spațiu, dar își păstrează nucleul. Acesta se contractă și se transformă într-o stea cu neutroni.

Printre stelele din galaxia noastră se află și Soarele nostru.

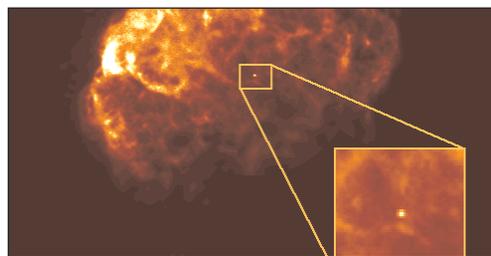
Galaxiile sunt legate gravitațional între ele formând grupuri de galaxii, într-un grup fiind până la 50 galaxii.



Calea Lactee

Concluzii

- Universul cuprinde o multitudine de stele. Elementul de bază din care sunt constituite stelele este hidrogenul. În anumite condiții care se creează, are loc fuziunea nucleelor de hidrogen și se produce heliu. Cu privire la sinteza heliului s-au emis diverse teorii.
- Supernovele apar brusc ca niște stele extrem de strălucitoare, din care țâșnește cu mare viteză o nebulozitate, la distanțe foarte mari.
- Galaxia este un sistem alcătuit din stele, praf și gaze interstelare.
- Quasarul este un corp ceresc care emite radiații din domeniul undelor radio și spectrul de linii este mult deplasat spre roșu.



Stea neutronică

Aplicații

1. Explicați care este mecanismul formării stelelor.
2. Ce înțelegeți prin roiuri de stele?
3. Ce este quasarul?
4. Ce sunt stelele neutronice și cum se formează?

Relativitatea clasică și modernă, perspectivă asupra schimbării percepției lumii la nivelul secolului XX

a. Principiul relativității clasice al lui Galilei

Principiul relativității clasice constituie punctul de plecare pentru înțelegerea relativității restrânse a lui Einstein. O formulare a acestui principiu se poate da pornind de la grupul de *transformări ale lui Galilei*. Transformările lui Galilei leagă coordonatele unui punct, măsurate față de două sisteme de referință inerțiale.

Pentru ca descrierea unei mișcări să fie completă, trebuie să se cunoască în fiecare moment poziția mobilului. În acest scop, se alege un corp de referință în raport cu care se studiază mișcarea, corpului de referință i se atașează un sistem de axe de coordonate și un ceasornic (sau un cronometru) pentru a măsura timpul. Sistemul astfel obținut se numește **sistem de referință** sau **referențial** (fig. 17).

Sistemul de axe de coordonate permite să se determine forma traiectoriei mobilului și să se cunoască poziția acestuia în fiecare punct de pe traiectoria sa. Cronometrul (ceasornicul) permite să se determine momentul la care mobilul se află într-un anumit punct în timpul mișcării sale.

Vom considera că în fiecare sistem de referință se află un observator. Cuvântul observator este folosit pentru a desemna un personaj fictiv legat de un sistem de referință, care studiază fenomenele ce se petrec în sistemul de referință respectiv.

Sistem de referință terestru. Acest sistem este folosit pentru studiul mișcărilor corpurilor de pe suprafața Pământului sau din apropierea sa. Corpul referință, în acest caz, este Pământul sau orice corp de pe suprafața sa.

Sistem de referință geocentric. Studiul mișcării Lunii sau a sateliților artificiali ai Pământului este foarte dificil în sistemul de referință terestru. În acest caz, este necesar să se definească un sistem de referință geocentric (fig. 18).

Sistem de referință heliocentric. Este definit în același mod ca și sistemul de referință geocentric (fig. 19).

Fie două sisteme de referință inerțiale (fig. 20). Unul S , format din axele de coordonate $OXYZ$ și scara timpului t , iar al doilea S' , format din axele de coordonate $O'X'Y'Z'$ (paralele cu axele de coordonate $OXYZ$) și scara timpului t' . Sistemul de referință S' se află în mișcare de translație rectilinie și uniformă cu viteza u față de sistemul de referință S . Presupunem că axele de coordonate OX și $O'X'$ sunt coliniare și că la momentul $t = 0$, originile axelor de coordonate coincid ($O = O'$). Vectorul vitezei \vec{u} este orientat de-a lungul

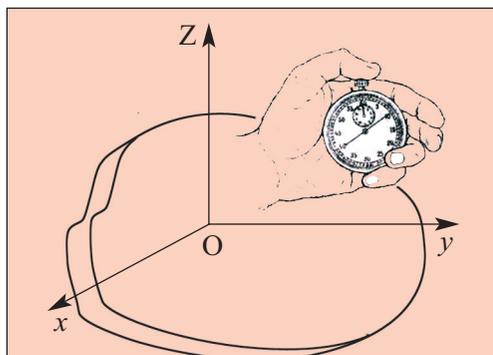


Fig. 17

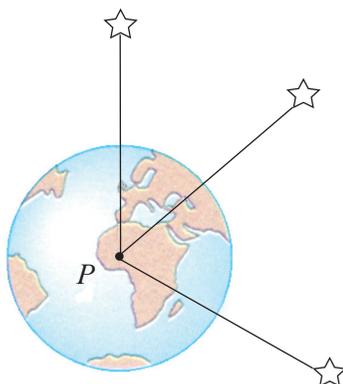


Fig. 18

Sistemul de referință geocentric este determinat de centrul Pământului și trei direcții care pornesc de la Pământ către trei stele foarte îndepărtate considerate fixe.

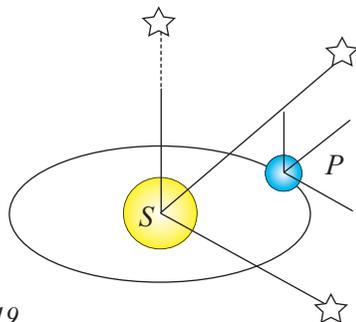


Fig. 19

Sistemul de referință heliocentric este determinat de centrul Soarelui și trei direcții care pornesc de la Soare spre trei stele foarte îndepărtate considerate fixe.

axei OX . La un moment t , observatorul din sistemul de referință S sesizează un eveniment în punctul M . Pentru acest observator punctul M are coordonatele x, y, z și t . Același eveniment este sesizat și de observatorul S' , în același moment ($t = t'$). Pentru acest observator punctul M are coordonatele x', y', z' și t' . Deoarece la momentul t distanța $OO' = ut$, relațiile care leagă coordonatele punctului material din cele două sisteme de referință sunt următoarele:

$$x = x' + ut, y = y', z = z', t = t', \text{ sau } x' = x - ut, y' = y, z' = z, t' = t. \quad (1.7)$$

Relațiile (1.7) se numesc *formulele de transformare ale lui Galilei*. Din transformările lui Galilei rezultă și legea de compunere a vitezelor.

b. Principiile relativității restrânse

În mecanica newtoniană principiul relativității era definit prin transformările lui Galilei date de relațiile (1.7). Vom determina noi relații pentru transformarea coordonatelor dintr-un sistem de referință inerțial în alt sistem de referință inerțial, care să țină seamă de principiile relativității restrânse.

Să considerăm două sisteme de referință inerțiale $S (OXYZT)$ și $S' (O'X'Y'Z'T')$, ale căror origini O respectiv O' coincid la momentul $t = t' = 0$. Sistemul S' se deplasează față de sistemul S , într-o mișcare de translație uniformă, cu viteza \vec{u} orientată de-a lungul axei OX .

Lorentz a stabilit în acest caz relațiile:

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{x' + ut'}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ y = y', z = z' \\ t = \frac{t' + \frac{ux'}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - \beta^2}} \\ y' = y, z' = z \\ t' = \frac{t - \frac{ux}{c^2}}{\sqrt{1 - \beta^2}} \end{array} \right.$$

Transformările lui Galilei se obțin când $u \ll c$, ca un caz limită $\beta^2 \rightarrow 0$.

Precizăm că am notat cu $\beta^2 = \frac{u^2}{c^2}$.

Se observă că în transformările Lorentz apare și coordonata timp. În teoria relativității restrânse se lucrează cu un spațiu în care, pe lângă cele trei coordonate x, y, z care precizează poziția unui punct, apare și cea de a patra coordonată, timpul t .

Acest spațiu în care un punct este caracterizat de 4 coordonate (x, y, z, t) a fost introdus de Minkowski în anul 1908.

Există o clasă de sisteme de referință care sunt cele mai folosite pentru descrierea fenomenelor fizice. Acestea sunt sistemele de referință care lasă nealterate proprietățile spațiului de omogeneitate (aceleași compoziție în toate punctele) și de izotropie (aceleași proprietăți în toate direcțiile) precum și de uniformitate a timpului și care se află în repaus sau în mișcare rectilinie și uniformă între ele. Sistemele ce satisfac această cerință se numesc sisteme de referință inerțiale sau galileene.

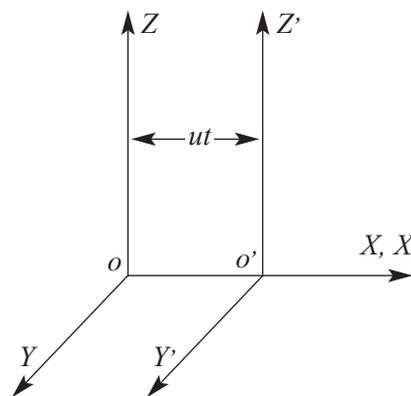


Fig. 20

Se numește sistem de referință inerțial sau galileean un sistem de referință S' , în mișcare rectilinie și uniformă în raport cu un alt sistem de referință S , aflat în repaus sau de asemenea în mișcare rectilinie și uniformă.

Principiul relativității restrânse constituie o generalizare a principiului relativității al lui Galilei. El se enunță astfel:

Toate legile fizicii sunt aceleași (se exprimă primă prin aceleași formule) în toate sistemele de referință inerțiale.



Albert Einstein

A pus bazele teoriei relativității restrânse și generalizate. A explicat efectul fotoelectric extern pe baza ipotezei fotonice a luminii. A primit premiul Nobel în anul 1921.

Concluzii

- Principiul relativității restrânse constituie o generalizare a principiului relativității lui Galilei și afirmă că toate legile fizicii sunt aceleași în toate sistemele de referință inerțiale.
- Teoria relativității demonstrează că noțiunile de timp și spațiu sunt *relative*.
- În cadrul acestei teorii orice punct este caracterizat prin 4 coordonate x, y, z, t , într-un spațiu numit spațiul Minkowsky.

Teoria relativității a fost elaborată de către Einstein în două etape; în prima etapă (1905), el a luat în considerare numai sistemele de referință inerțiale și a creat o *teorie a relativității restrânse (sau speciale)*. Mai târziu (1916), a luat în considerare și sistemele de referință neinerțiale și a creat *teoria relativității generalizate*.

Cum toate sistemele de referință inerțiale sunt echivalente, nu există sistem de referință privilegiat.

Datorită echivalenței sistemelor de referință inerțiale, prin nici un experiment de fizică nu se poate pune în evidență starea de repaus sau de mișcare rectilinie și uniformă a sistemelor inerțiale.

Principiul constanței vitezei luminii rezultă din experimentul Michelson și Morley și se bazează pe constatările experimentale care afirmă că viteza luminii în vid este aceeași în toate sistemele de referință inerțiale (în virtutea echivalenței lor) și este independentă de mișcarea sursei și cea a observatorului. Se enunță astfel:

În vid lumina se propagă întotdeauna cu aceeași viteză, independent de mișcarea sursei de lumină, având aceeași valoare în toate sistemele de referință inerțiale.

Aceste două principii impun negarea noțiunilor de spațiu absolut și timp absolut.

Principiul de corespondență postulează că legile noi trebuie să conțină vechile legi drept cazuri particulare. Relațiile care exprimă noul enunț al legilor fizice, derivat din primele două principii ale teoriei relativității restrânse trebuie astfel formulate, încât relațiile mecanicii newtoniene să apară drept cazuri particulare limită pentru: $\frac{u^2}{c^2} \rightarrow 0$.

Consecințele teoriei relativității sunt deosebit de importante și se referă la noțiunile de *spațiu* și *timp*. Anume, din principiile teoriei relativității rezultă că dacă se măsoară una și aceeași distanță în raport cu două sisteme de referință inerțiale diferite (care se mișcă unul față de celălalt cu o anumită viteză constantă), rezultatele sunt în general deosebite. Mai precis, dacă se măsoară **distanța** dintre două corpuri față de un sistem de referință inerțial în care cele două corpuri sunt în repaus, găsindu-se un anumit rezultat, și apoi se măsoară aceeași distanță față de un alt sistem de referință care se mișcă față de primul, deci și față de corpurile noastre, noua distanță rezultată este *mai scurtă* decât prima. Lucrurile se petrec ca și cum *spațiul se contractă*.

Este important însă faptul că de această „contradicție” este afectată numai acea dimensiune a corpului care este situată în lungul mișcării relative a celor două sisteme de referință. Desigur, intuiția noastră nu poate realiza acest fenomen și de aceea se mai spune încă uneori că efectul de contracție al lungimilor este „aparent”: dintr-un sistem de referință lungimea ne „apare” una, din alt sistem

ne „apare” alta. Nu trebuie să pierdem din vedere totuși că ceea ce „apare” într-un sistem este la fel de *real* ca și ceea ce „apare”, în altul, deoarece nu avem nici un motiv pentru a prefera un sistem de referință față de altul. Tot ceea ce putem spune este că *una și aceeași proprietate obiectivă a unui corp (lungimea) depinde în mod esențial de sistemul de referință la care este raportată.*

O concluzie similară se poate trage și în ceea ce privește **durata în timp** a unui fenomen. Durata unuia și aceluiași fenomen apare diferită atunci când măsurarea ei se face din sisteme de referință inerțiale diferite. De exemplu, dacă față de un anumit sistem de referință, un chibrit aprins, aflat în repaus față de acesta, arde să zicem într-un minut, față de un sistem de referință care se mișcă față de primul, și deci și față de chibrit, timpul de ardere este mai lung, și, în funcție de viteza relativă a mișcării celor două sisteme, poate fi de două minute, o oră, un an..., adică asistăm la *o dilatare a timpului.*

Distanțele și duratele intră însă în mod esențial în definiția noțiunilor de spațiu și timp. Din moment ce aceste cantități sunt diferite în raport cu sisteme diferite de referință, rezultă în mod clar că ele sunt noțiuni *relative*, că nu au deci sens decât dacă se specifică sistemul de referință față de care sunt considerate. **Teoria relativității demonstrează deci că noțiunile de spațiu și timp sunt relative**, nu absolute, așa cum erau considerate înainte de formularea și verificarea practică a acestei teorii.

Aplicații

1. Definiți noțiunea de sistem de referință.
2. Ce înțelegeți prin sistem de referință inerțial?
3. Scrieți transformările Galilei și transformările Lorentz și faceți o comparație între ele.
4. Definiți spațiul Minkowsky.
5. Enunțați principiul relativității restrânse și principiul constanței vitezei luminii.
6. Care sunt consecințele teoriei relativității?

Proiecte de portofolii

 Cercetare și comunicare

Studiați bibliografia recomandată și sub conducerea profesorului organizați în clasă o dezbatere cu tema:

„Experimentul Michelson – Morley, concluzii și premise pentru formularea principiilor teoriei relativității restrânse.”

Test de evaluare

1. Completați spațiile libere:

a. Concepția geocentrică susține că sistemul lumii este alcătuit astfel: _____ pe când concepția heliocentrică admite că în centrul Universului se află _____.

b. Punctul în care se află planeta la cea mai mică distanță față de Soare se numește _____ iar punctul în care planeta se află la cea mai mare distanță față de Soare se numește _____.

2. Pornind de la legea atracției gravitaționale a lui Newton și având în vedere relația de definiție a intensității câmpului gravitațional, stabiliți o relație prin care se exprimă intensitatea câmpului gravitațional al câmpului gravitațional creat de Pământ în orice punct situat la o distanță $r \geq 2R$, unde am notat cu R raza Pământului.

3. Prezentați pe scurt legenda descoperirii legii gravitației universale.

4. În ce constă fenomenul de deplasare spre roșu în Univers?

5. Prezentați pe scurt teoria Bing-Bang.

6. Ce aduce nou teoria relativității lui Einstein față de teoria relativității clasice a lui Galilei?