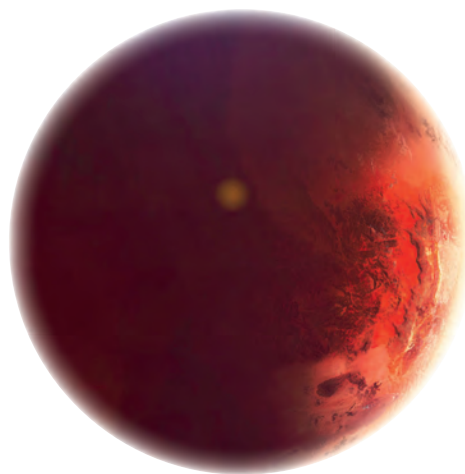




T R A I A N A N G H E L



UNIVERSUL

într-o picătură de apă

Fizica pe care nu o înveți la școală

CORINT
EDUCAȚIONAL

Despre autor:

Traian Anghel, profesor cu gradul didactic I la Liceul Teoretic „Nicolae Iorga” din Brăila, este absolvent al Facultății de Fizică a Universității din București și al unui curs postuniversitar de informatică la Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați. A publicat lucrări în care sunt prezentate teme referitoare la programarea Web și a plăcii de dezvoltare Arduino, precum și la utilizarea calculatoarelor și a resurselor online în educație. De asemenea, a publicat culegeri de probleme de fizică destinate utilizării la clasă, precum și pregătirii elevilor pentru participarea la olimpiadele școlare, la examenul de bacalaureat și la concursul de admitere în învățământul superior.

Redactare: Corina Toader

Tehnoredactare: Lorena Ionică, Dan Crăciun

Design copertă: Dan Mihalache

Credite foto: Shutterstock

ISBN 978-606-782-057-7

Toate drepturile asupra acestei lucrări sunt rezervate EDITURII CORINT BOOKS.
Corint Educațional este marcă înregistrată.

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

ANGHEL, TRAIAN

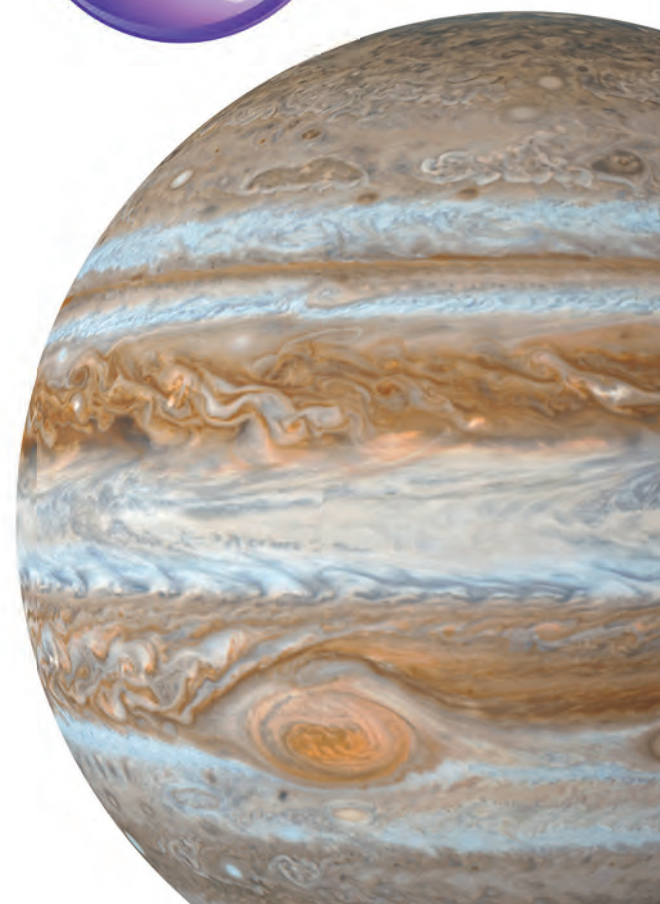
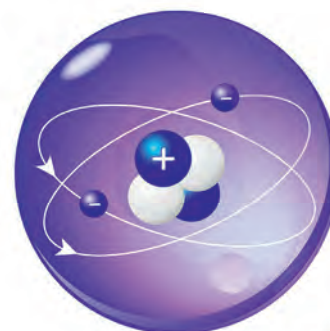
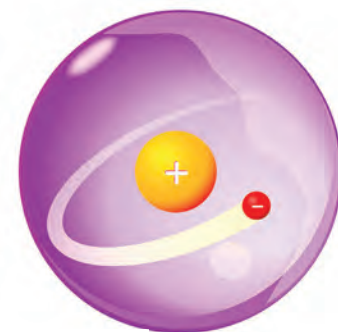
Universul într-o picătură de apă : fizica pe care nu o înveți la școală /

Traian Anghel. - București : Corint Educațional, 2020

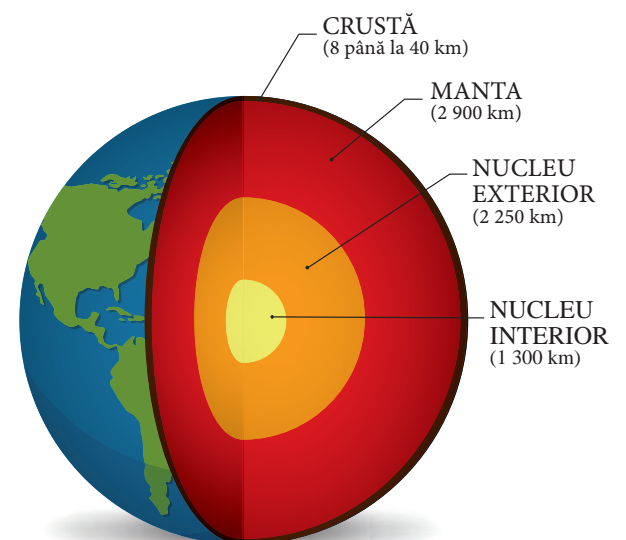
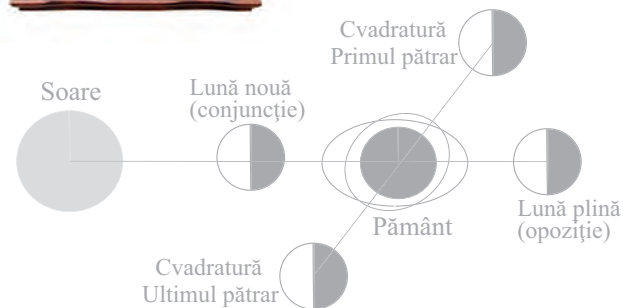
ISBN 978-606-782-057-7

Cuprins

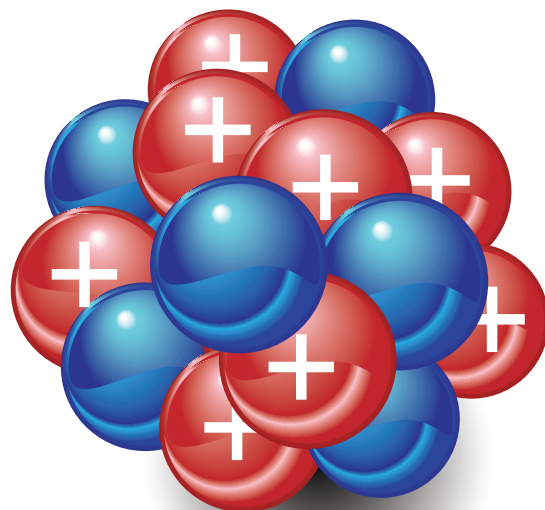
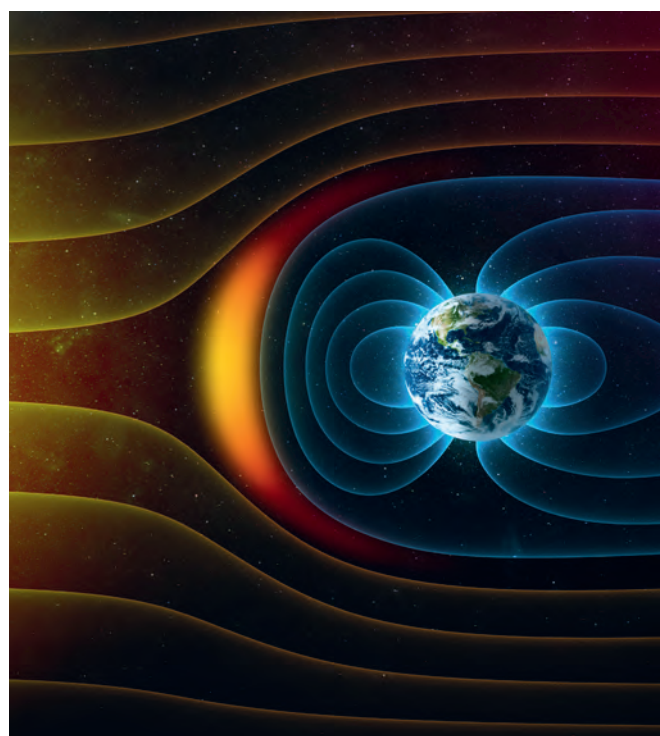
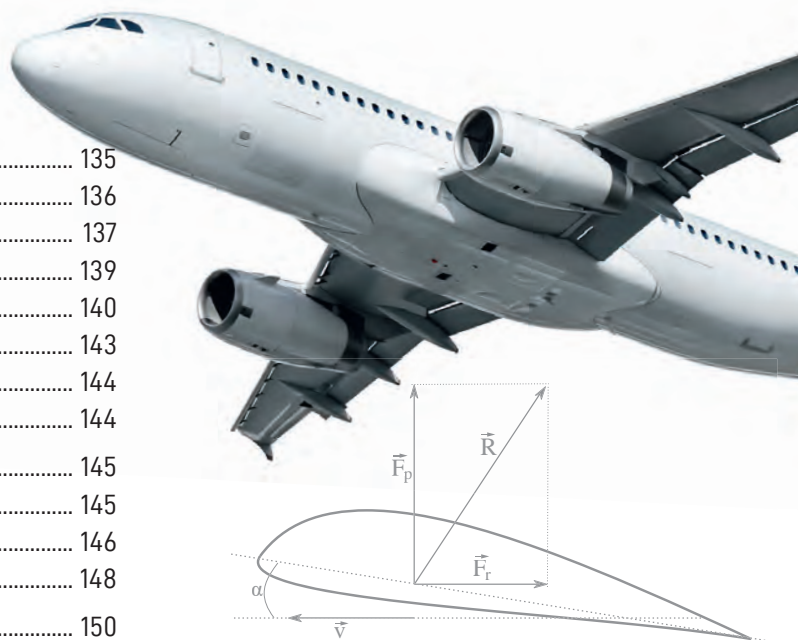
Introducere	6
1 Cum s-a născut Universul? Big Bang	8
1.1. Hubble și deplasarea spre roșu	8
1.2. Einstein și constanta cosmologică	10
1.3. Friedman și expansiunea universului	12
1.4. Lemaître: scurtă biografie	13
1.5. Radiația cosmică de fond	14
1.6. Abundența relativă a hidrogenului și heliului	16
1.7. Inflația cosmică	17
1.8. Teoria stării staționare	19
1.9. Etape în evoluția universului	19
1.10. Materia și energia întunecate	22
2 Cum se nasc și mor stelele?	24
2.1. Proprietăți, structură și surse de energie	24
2.2. Nașterea stelelor și a galaxiilor	29
2.3. Procese fizice prin care se eliberează energia în stele	30
2.4. Viața și moartea stelelor	31
2.5. O poveste cu supernove	34
3 Cum s-a format Pământul?	35
3.1. Legende ale creației	35
3.2. Vârsta Pământului	37
3.3. Ipoteza Kant-Laplace	38
3.4. Ipoteza acreției	39
4 Cum se poate măsura circumferința Pământului?	41
4.1. Mișcarea de rotație a Pământului	41
4.2. Mișcarea de revoluție a Pământului	43
4.3. Producerea anotimpurilor. Echinocții și solstiții	45
4.4. Eratostene: scurtă biografie	47
4.5. Cum se poate măsura circumferința Pământului?	48
5 De ce nu cade Luna pe Pământ?	52
5.1. Principiile mecanicii	52
5.2. Mișcarea circulară uniformă	55
5.3. Legea atracției universale	58
5.4. Isaac Newton: scurtă biografie	61
5.5. De ce nu cade Luna pe Pământ?	63
5.6. Sateliți artificiali ai Pământului	66



6	De ce toate corpurile cad la fel de repede?	71
	6.1. Galileo Galilei: scurtă biografie	71
	6.2. Determinarea legii căderii corpurilor	74
	Sisteme de referință inerțiale	74
	Principiul relativității	75
	Căderea corpurilor	76
	Experiment	77
7	Ce este forța Coriolis?	81
	7.1. Forțe de inerție: noțiuni introductive	81
	7.2. Accelația Coriolis	82
	7.3. Forțe de inerție: noțiuni avansate	84
	7.4. Greutatea corpurilor. Verticala terestră	84
	7.5. Forța Coriolis	85
	7.6. Căderea liberă	88
	7.7. Pendulul lui Foucault	88
8	Cum se formează marea?	90
	8.1. Despre marea oceanice	90
	8.2. Forța mareică	92
	8.3. Marea lunisolară	94
	8.4. Marea Pământului	94
	8.5. Consecințe pe termen lung	95
	8.6. Legătura dintre marea și cutremure	96
9	Cum se produc cutremurele?	97
	9.1. Oscilații mecanice	97
	9.2. Unde mecanice	100
	9.3. Straturile Pământului	102
	9.4. Caracteristicile cutremurelor și măsurarea lor	105
	9.5. Unde seismice	108
10	Câte molecule se află într-un miligram de apă?	111
	10.1. Atomismul în Antichitate	111
	Școlile filosofice indiene care împărtășesc atomismul	112
	Atomismul grecesc	113
	10.2. Mărimi caracteristice structurii discrete a substanței	116
	10.3. O masă mică, un număr mare și o lungime foarte mare ..	119
11	Care este viteza moleculelor de aer?	121
	11.1. Mișcarea browniană	121
	11.2. Gazul ideal și legile statistice	122
	11.3. Masa molară medie a aerului	125
	11.4. Viteza și densitatea	126
12	La ce temperatură fierbe apa pe Everest?	127
	12.1. Lichefierea gazelor și vaporii saturați	127
	12.2. Vaporizarea lichidelor	129
	12.3. Fierberea lichidelor	130
	12.4. Presiunea atmosferică depinde de altitudine	131
13	Care este cea mai mică temperatură?	133
	13.1. Noțiuni termodinamice de bază	133



13.2. Postulatul fundamental al termodinamicii	135
13.3. Procese termodinamice	136
13.4. Echilibrul termic și temperatura	137
13.5. Măsurarea temperaturii	139
13.6. Temperatura atmosferei	140
13.7. Efectul de seră	143
13.8. Temperatura spațiului cosmic	144
13.9. Temperaturi extreme pe Pământ	144
14 De ce zboară avionul?	145
14.1. Aerodine și avioane	145
14.2. Începuturile aviației	146
14.3. Forța portantă	148
15 Ce este efectul Doppler?	150
15.1. Sunetul. Surse sonore	150
15.2. Calitățile sunetului	153
15.3. Efectul Doppler	154
15.4. Bangul sonic	156
16 Cum funcționează motoarele termice?	158
16.1. Motorul cu abur	158
16.2. Motorul cu ardere internă	160
16.3. Motorul Otto	161
16.4. Motorul Diesel	163
17 Cum se formează curcubeul?	164
17.1. Elemente de optică geometrică	164
17.2. Dispersia luminii	167
17.3. Formarea curcubeului	169
17.4. Mirajul	171
18 Ce este magnetismul?	173
18.1. Noțiuni generale despre magnetism	173
18.2. Tipuri de magnetism	175
18.3. Hans Christian Ørsted: scurtă biografie	179
18.4. Câmpul magnetic al curentului electric	180
18.5. Câmpul magnetic terestru	182
18.6. Forța electromagnetică	184
19 Care sunt defectele de vedere?	186
19.1. Sisteme optice	186
19.2. Lentile	187
19.3. Ochiul uman. Defecte de vedere	191
20 Ce este radioactivitatea?	194
20.1. Descoperirea radioactivității	194
20.2. Structura nucleului	195
20.3. Stabilitatea nucleului	199
20.4. Legea dezintegrării radioactive	200
20.5. Serii radioactive	204
20.6. Datarea cu carbon radioactiv	204
20.7. Radioactivitatea artificială	205



Introducere

*În știință, o persoană încearcă să le spună celorlalți,
într-o modalitate pe care toată lumea să o înțeleagă,
ceva ce nimeni nu a știut înainte.
În poezie, lucrurile stau exact invers.*

Paul Dirac

Pe măsura trecerii timpului, cantitatea de informații și cunoștințe acumulată de societatea umană devine din ce în ce mai mare. Din acest motiv, rolul principal al instituțiilor de învățământ nu este acela de a oferi studenților¹ numai cunoștințe (acestea sunt atât de multe încât nu există timpul fizic necesar pentru a fi însușite la școală și nici măcar pe durata – atât de scurtă – a vieții unui om), ci – mai ales – competențe. Aducându-ne aminte de o poveste foarte cunoscută, dar instructivă și plină de tâlc, putem spune că persoana căreia i se face un bine (i.e., studentul implicat în procesul educațional) nu primește peștele, ci undița și alături de aceasta câteva lecții de pescuit bine predate (i.e., în general, studentului nu i se oferă în primul rând cunoștințe, ci mai degrabă competențe și deprinderi pe care le va folosi ulterior, în timpul vieții active).

În cursul liceului și al facultății, studenții se specializează în diverse domenii, urmându-și scopurile, talentul și preferințele pentru anumite profesii, ținând seama și de nevoile societății. Din acest motiv, există medici, ingineri, contabili, economiști, artiști etc, indispensabili unei societăți aflate în permanentă evoluție. Aceștia, folosindu-și cunoștințele, competențele și deprinderile obținute

în cadrul procesului educațional, își îndeplinesc obligațiile care le revin la locul de muncă, învățând de asemenea lucruri noi și perfecționându-se continuu. Gimnaziul și cursul inferior al liceului sunt cicluri de învățământ în care elevii dobândesc ceea ce se numește cultura generală². În cursul superior al liceului, elevii se specializează în anumite profesii. Totuși, adevărata specializare are loc în cursul facultății.

Răspândirea mijloacelor de comunicare în masă, în special a Internetului, a permis ca un număr mare de informații din numeroase domenii, dar și noile descoperiri din știință și tehnică, să ajungă extrem de repede la majoritatea oamenilor. De exemplu, foarte multe persoane cunosc astăzi intențiile NASA de a trimite în viitorul apropiat pe Marte o navă cosmică având la bord oameni, dar și pe cele ale antreprenorului Elon Musk de a realiza același lucru chiar mai repede decât își propune agenția spațială americană. De asemenea, mulți oameni au aflat prin intermediul presei de punerea în evidență în 2012 la CERN a bosonului Higgs, particulă elementară ipotetică (până atunci), a cărei existență a fost preconizată cu mai multe decenii înainte de fizicianul britanic Peter Higgs³ în cadrul modelului standard.

¹ Studenți în sens larg, adică persoane care studiază într-un cadru organizat (la liceu, facultate, dar și în cadrul altor forme de învățământ, public sau privat).

² O mare parte a acesteia este dobândită prin studiu individual, acasă, în biblioteci, muzee, alte instituții.

³ Acesta a primit în 2013 premiul Nobel pentru fizică „pentru descoperirea teoretică a unui mecanism care contribuie la înțelegerea originii masei particulelor subatomice, care a fost recent confirmat.”

Totuși, avalanșa de informații la care este supus omul modern necesită sistematizarea lor. Cum se poate realiza acest lucru ținând cont că majoritatea informațiilor existente astăzi nu au fost învățate în anii pregătirii de bază (liceu și gimnaziu), iar în timpul facultății s-a produs specializarea, însoțită inevitabil de axarea pe o anumită categorie de cunoștințe, specifice unui domeniu (e.g., medicină, inginerie, programare, contabilitate, administrarea afacerilor etc)? Una dintre soluții constă în consultarea unor cărți de popularizare a științei. Scopul acestui tip de lucrări este de a permite persoanelor care nu sunt specializate într-un anumit domeniu (e.g., fizică), dar sunt interesate de acesta, să încadreze noile informații într-un sistem general de cunoștințe.

Cartea de față este o lucrare de popularizare a fizicii, în care sunt analizate o serie de repere importante în dezvoltarea acestei științe. Ținând cont că fizica a luat naștere și s-a dezvoltat încercând să ofere răspunsuri întrebărilor referitoare la legile specifice fenomenelor naturale (pe care omul și le-a pus de-a lungul evoluției sale), cartea include mai multe capitole care sunt concepute ca răspunsuri la câteva dintre aceste interogări.

Dacă doriți să aflați răspunsurile la întrebările *Cum s-a născut universul?*, *Cum s-a format*

Pământul?, *La ce temperatură fierbe apa pe Everest?*, *Cum se poate măsura circumferința Pământului?*, *Care este viteza moleculelor de aer?*, *De ce zboară avionul?*, *Cum se formează curcubeul?*, *Ce este radioactivitatea?*, *Cum se produc cutremurele?*, dar și la multe altele, va trebui să consultați această carte.

Lucrarea este adresată atât persoanelor adulte care – din diverse motive – nu au avut un contact aprofundat cu fizica în timpul anilor de școală, dar și adolescenților și tinerilor, inclusiv elevilor și studenților, preocupați să înțeleagă legile care guvernează natura, lumea înconjurătoare și universul în care trăim. Pentru expunerea temelor analizate în carte sunt utilizate instrumente matematice dobândite în cei patru ani de liceu, în special în primii doi.

În carte s-au folosit abrevierile *e.g.* (în latină, *exempli gratia*) pentru *de exemplu* și *i.e.* (în latină, *id est*) pentru *adică*, *altfel spus*, *cu alte cuvinte*, ambele utilizate ca atare în limba engleză și în limba română.

Amintindu-ne o maximă a lui Grigore Moisil – „Spre deosebire de vin, știința nu trebuie lăsată să se învechească” –, să începem! Cu ce? Cu începutul, desigur: Big Bang.

Traian Anghel

Cum se nasc și mor stelele?

2

*Știința poate stabili limite cunoașterii,
dar nu trebuie să limiteze imaginația.*

Bertrand Russell

Stelele, aceste mici puncte strălucitoare pe cerul întunecat al nopții, au un ciclu de viață: ele se nasc, trăiesc și mor. În capitolul de față vom încerca să răspundem la întrebarea din titlu, bazându-ne pe cele mai recente informații obținute de cercetători.

2.1. Proprietăți, structură și surse de energie

Pentru a înțelege evoluția stelelor, de la naștere (figura 2.1) până la moarte, este util să cunoaștem mai întâi proprietățile acestora. Soarele este o stea aflată în centrul Sistemului Solar din care face parte și Pământul. Analizând proprietățile, structura și sursele de energie ale Soarelui, se pot determina aceste caracteristici și pentru alte stele similare.

Soarele este o stea din generația a treia, a cărei formare – în urmă cu circa 4,6 miliarde de ani – a fost probabil declanșată de undele de șoc ale unei supernove situate în apropiere. Această ipoteză este susținută de prezența în Sistemul Solar a metalelor grele (e.g., aur și uraniu), care provin cu mare probabilitate din reacțiile nucleare dintr-o supernovă.

În continuare sunt prezentate proprietățile de bază ale Soarelui. Astrul central al Sistemului Solar se găsește la o distanță de aproximativ $1,49 \cdot 10^8$ km față de planeta noastră și are raza de circa 696 000 km. Fluxul energetic observat la distanță terestră (1370 W/m^2) poate fi transformat într-o putere totală de $3,85 \cdot 10^{26} \text{ W}$. Masa Soarelui este de aproximativ $1,99 \cdot 10^{30} \text{ Kg}$, repre-

zentând circa 99,86% din masa întregului Sistem Solar (restul până la 100% revenind planetelor, asteroizilor, meteoroizilor și prafului interplanetar care orbitează în jurul astrului). Temperatura la suprafața sa (adică a stratului din care provine lumina emisă de acesta, numit *strat radiant*) este de 5780 K. Perioada de rotație a Soarelui în jurul axei sale este de circa 25 de zile. În ceea ce privește compoziția, acesta este alcătuit în principal din hidrogen și heliu.

Proprietatea unei stele care poate fi pusă în evidență cel mai ușor este luminozitatea sa, măsurată printr-o mărime denumită *magnitudine*. Prima scală de magnitudine a fost dezvoltată de astronomul grec Hiparh (190-120 î.e.n.), având valori cuprinse între 1 și 5. Pe scala lui Hiparh, stelele cu o luminozitate mică au o magnitudine mare. Ulterior, s-a constatat că simțurile umane reacționează logaritmice față de stimuli, punându-se la punct o nouă scală. Pe noua scală de magnitudine, cea mai luminoasă stea de pe cerul nopții are magnitudinea de $-1,44$, iar steaua cu luminozitatea cea mai slabă, 30.

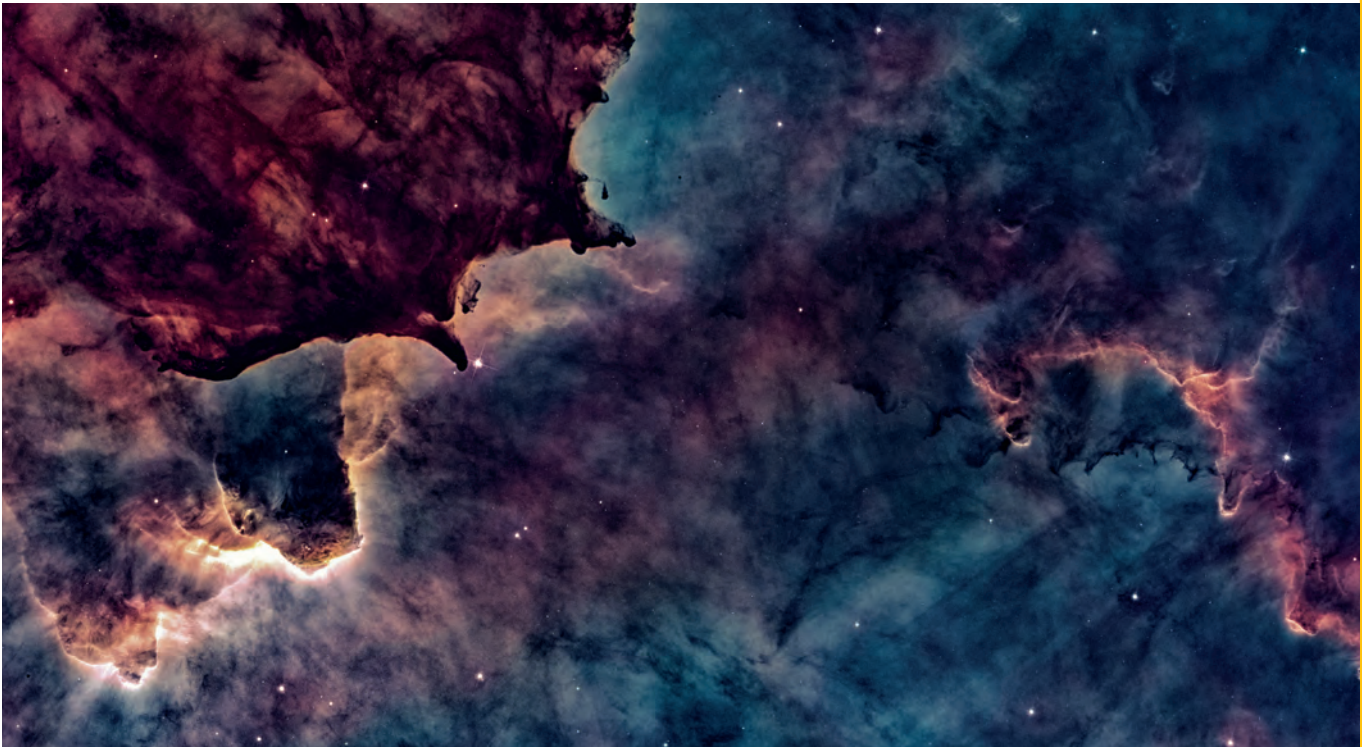


Figura 2.1. Nașterea unei stele în nebuloasa Carina

Stelele sunt colorate diferit, lucru care poate fi ușor observat cu un telescop. Culoarea diferită este datorată temperaturilor diferite ale stratului radiant al acestora. Astfel, stelele mai reci apar ca fiind roșii, iar cele mai calde, albastre. S-a stabilit pentru majoritatea stelelor o relație între temperatură și putere: cu cât temperatura este mai ridicată, cu atât puterea este mai mare. De asemenea, s-a descoperit că stelele cu masă mare (masive) sunt mai puternice și mai calde. Puterea unei stele este proporțională cu masa acesteia la puterea a 3-a. Masa stelelor se obține multiplicând masa Soarelui cu factori cuprinși între aproximativ 0,1 și 100. Circa jumătate dintre stelele învecinate cu Soarele sunt duble, adică sunt sisteme alcătuite din două stele (numite și *sisteme binare*), care gravitează în jurul unui punct comun, denumit *centru de masă*. Acest tip de astru este important deoarece permite măsurarea masei stelei și a altor mărimi (prin observarea mișcării companionului și invers). Se estimează că mai mult de 25% dintre stelele existente în univers sunt duble. De asemenea, cele mai reci stele au temperatura de circa 2 000 K, iar cele mai calde, de aproximativ 50 000 K.

Studiul spectrelor luminii emise de stele oferă informații despre structura și compoziția acestora. Astfel, s-a stabilit că stelele sunt alcătuite din circa 3/4 hidrogen, aproximativ 1/4 heliu și 2% elemente

mai grele (reprezentate în cea mai mare parte de carbon, azot și oxigen; litiul și beriliul sunt în concentrații foarte mici). Din acest motiv și luând în seamă temperaturile foarte mari, Soarele nu se află în stare solidă sau lichidă, toată materia care îl alcătuiește găsindu-se în stare de plasmă sau gazoasă. Soarele și celelalte stele au formă practic sferică, datorată gravitației.

Mergând de la exterior către centrul Soarelui, presiunea crește din cauza greutateii straturilor situate deasupra. Pe măsură ce presiunea se mărește, vor crește densitatea și temperatura. Din acest motiv, straturile situate în adâncime sunt mai fierbinți decât cele aflate deasupra. Acesta este motivul pentru care căldura produsă în interiorul Soarelui va fi transportată către exterior, prin convecție (în straturile de la suprafață) sau prin radiație (în straturile situate sub cele de la suprafață, figura 2.2). Rezultă că straturile mai adânci ale Soarelui se vor răci, ceea ce ar trebui să determine contracția stelei, lucru care – s-a constatat – nu este adevărat. Explicația constă în aceea că dimensiunile Soarelui nu se schimbă din cauza energiei și presiunii suplimentare create de procesele de fuziune nucleară (numite și *reacții termonucleare*, deoarece se desfășoară la temperaturi extrem de înalte), prezentate în continuare.

Cum s-a format Pământul?

3

Știința este cunoaștere organizată.
Immanuel Kant

Pământul este casa noastră, locul în care s-a născut și a evoluat omul. Încă din zorii preistoriei, oamenii au încercat să înțeleagă lumea în care trăiesc, inclusiv modul în care au fost create universul și Pământul. Inevitabil, legendele apărute erau legate de concepțiile religioase ale acelor vremuri, specifice fiecărui popor.

3.1. Legende ale creației

Potrivit legendei asiro-babiloniene datând din secolul VIII î.e.n., Marduk (Copilul-Soare), fiul zeului apelor dulci, Ea, și al zeiței Damakina, l-a învins pe dragonul femelă Tiamat, după ce tatăl său l-a omorât pe Apsu (conducătorul zeilor), soțul acesteia, și pe cei unsprezece monștri de sub comanda lor (figura 3.1). După luptă, a tăiat în două jumătăți trupul lui Tiamat, o parte folosind-o pentru crearea cerului, iar pe cealaltă la crearea Pământului. Apoi a suspendat trupurile lui Apsu și ale celor unsprezece monștri pe firmament, formând astfel cele douăsprezece semne ale zodiacului și făcând ca Luna și planetele să se miște de-a lungul bolții cerești. Ea, tatăl lui

Marduk, a făcut omul din sângele lui Apsu, pentru a trăi în lumea creată de fiul său.

După legenda egipteană, creația a început cu zeul soare Amon-Ra (reprezentând fuziunea lui Ramon cu Ra; figura 3.2), născut din floarea de lotus care creștea pe suprafața oceanului primordial. Zeul avea trei copii: Nut, Geb și Shu. Cel din urmă, găsindu-i încolăciți în haos pe primii doi, i-a despărțit. Astfel, Nut a devenit cerul, Geb a devenit Pământul și Shu (stând între ceilalți doi), aerul.

Potrivit Vedei indiene, la început, Mahaa-Vishnu, Zeul suprem, plutește pe suprafața oceanului cosmic, emanând prin expirație un număr imens de universuri,



Figura 3.1. Zei babilonieni antici



Figura 3.2 Zeul soare Amon-Ra

pe care apoi le inspiră, fiind distruse în corpul său. Fiecare ciclu (respirație: expirație-inspirație) se repetă de un număr foarte mare de ori, durata sa fiind de miliarde de ani. Mahaa-Vishnu este zeul creator, dar și distructiv, care se îngrijește de evoluția și ordinea lumii. Zeul Brahman a creat ulterior elemente naturale și forme de viață, pe care le guvernează.

În versiunea ebraică a creației (care a durat șase zile), Iahve (Dumnezeu) a creat în prima zi cerul și Pământul, dar acesta din urmă era lipsit de ordine, pustiu și neluminat. De aceea, Dumnezeu a creat lumina pe care a despărțit-o de întuneric. Apoi (în ziua a doua) a creat firmamentul și a rânduit apele dedesubtul lui, adunându-le într-un loc pentru ca uscatul să apară între ele. Lumina, creată anterior, a fost dată Soarelui, Lunii și stelelor. Omul a fost creat de Dumnezeu după chipul și asemănarea lui în ultima zi, a șasea.

Pentru originea denumirii planetei noastre, Terra, a se vedea caseta *Numele Pământului*. O serie de

termeni științifici care se referă la Pământ se formează folosind prefixul *geo* (e.g., geografie, geologie, geodezie, geodinamică; geocentric, geotermal; geolocalizare) derivat din numele zeiței grecești a Pământului, Gea sau Gaia (în mitologia greacă veche se considera că din ea se trăgeau toți ceilalți zei). Pământul mai este denumit *Planeta Albastră*, pentru că, văzut din spațiu, pare a avea această culoare datorită întinderilor mari de apă în stare lichidă.

NUMELE PĂMÂNTULUI

Pământul este singura planetă din sistemul nostru solar al cărei nume nu este inspirat din mitologia greacă sau romană. Numele Terra provine din latinescul *terra* (pământ, sol), care, la rândul lui, derivă din cuvântul de origine indo-europeană *terse* (uscat).



Figura 13.7 Aurora boreală

Stratosfera este separată de stratul următor (mezosfera) prin *stratopauză*. În mezosferă, presiunea aerului este de circa 200 de ori mai mică decât la suprafața Pământului și temperatura scade rapid cu creșterea altitudinii, ajungând la -80°C la înălțimea de 80 km. Scăderea rapidă a temperaturii determină o dinamică mărită a fenomenelor atmosferice, viteza vântului ajungând la valori de sute de kilometri pe oră. Partea superioară a stratosferei conține nori argintii formați din particule de gheață.

Zona de tranziție dintre mezosferă și stratul următor (termosfera) este *mezopauza*, în care se produce o schimbare majoră în ceea ce privește compoziția și fenomenele atmosferice, schimbare

care se va accentua și se va manifesta puternic în termosferă. Acest strat aflându-se la altitudini mari, radiația solară este puternic absorbită, temperatura aerului crește repede, ajungând la valori de circa $1\,500^{\circ}\text{C}$. Sub acțiunea radiațiilor ultraviolete se produce disocierea moleculelor de N_2 , O_2 și CO_2 . Atomii rezultați prin disociere vor fi ulterior ionizați tot sub acțiunea radiațiilor ultraviolete. În consecință, componenta ionizată a atmosferei crește odată cu altitudinea, dominând fenomenele atmosferice. Un exemplu foarte cunoscut de fenomen atmosferic din termosferă este *aurora boreală* (figura 13.7), care se produce în partea joasă a acesteia (100-150 km). De asemenea, transmiterea undelor

radio pe distanțe mari are la bază reflexia pe sub-straturile ionosferice.

Zona de tranziție dintre termosferă și ultimul strat (exosferă) se numește *termopauză*. Temperatura exosferei este foarte mare; din cauza gravitației reduse, particulele de gaz ionizat se împrăștie în spațiul cosmic. Componenta neutră este practic nulă, iar distanța medie dintre două particule este foarte mare. Termosfera și exosfera alcătuiesc împreună *ionosfera*, stratul ionizat al atmosferei, care începe de la altitudinea de circa 50 km și continuă până la mai mult de 1 000 km. Această regiune conține numai o mică fracțiune (circa 1%) din cantitatea totală a atmosferei, dar are un rol extrem de important deoarece formează granița dintre atmosferă

și spațiul cosmic. Ionosfera își datorează existența radiațiilor ultraviolete provenite de la Soare. După cum am văzut anterior, aceste radiații disociază moleculele și ionizează atomii, aerul devenind astfel bun conducător de electricitate deoarece posedă particule electrizate libere (i.e., ioni pozitivi și electroni). Dar corpurile de acest tip au proprietatea de a absorbi sau de a reflecta undele electromagnetice. Ionosfera absoarbe și reflectă parțial undele emise de stațiile radio, făcând posibilă comunicația între puncte îndepărtate de pe glob. Dacă ionosfera nu ar exista, undele radio emise de stațiile de transmisie s-ar pierde în spațiu în loc să se curbeze prin reflexii succesive (între ionosferă și suprafața Pământului), ajungând astfel la stațiile de recepție.

13.7. Efectul de seră

Atmosfera terestră transformă Pământul într-o seră uriașă, menținând-o la o temperatură medie cuprinsă între 15°C și -18°C, mai mare decât cea care s-ar înregistra în lipsa acesteia. Cauza este așa-numitul *efect de seră* (figura 13.8): într-o astfel de incintă, acoperișul de sticlă este transparent la radiațiile vizibile venite de la Soare, dar opac la radiațiile termice emise de obiectele încălzite datorită radiațiilor solare. În consecință, energia solară pătrunsă în seră menține în interiorul acesteia o temperatură mai mare decât cea din exterior. În cazul atmosferei,

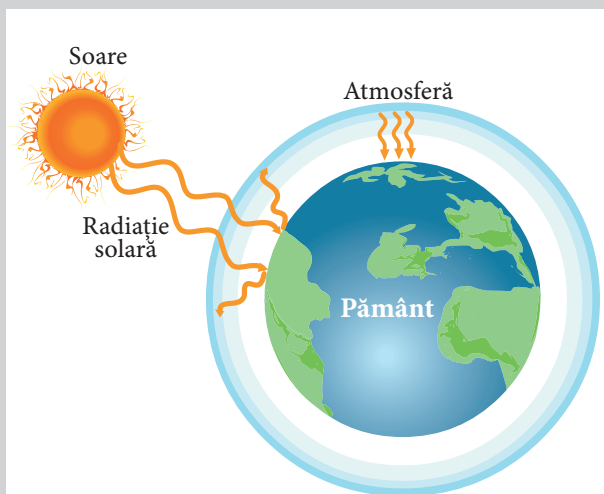


Figura 13.8 Efectul de seră

TEMPERATURA PE LUNĂ

Pe Lună – care practic nu are atmosferă – efectul de seră nu se manifestă, înregistrându-se diferențe mari de temperatură între partea luminată și partea întunecată, aceasta scăzând până la câteva zeci de kelvini.

rolul sticlei este luat de dioxidul de carbon și de vaporii de apă care – deși prezenți în cantități mici – absorb radiația termică emisă de suprafața terestră și o radiază înapoi pe Pământ. Astfel, căldura pierdută de suprafața terestră în timpul zilei prin curenții de convecție atmosferici ascensionali este recâștigată noaptea (a se vedea și caseta *Temperatura pe Lună*).

Pe Marte, unde atmosfera este subțire și nu există vapori de apă, temperatura medie la suprafața planetei este de aproximativ -50°C. În schimb, pe Venus – planetă a cărei atmosferă este bogată în dioxid de carbon – temperatura medie la suprafață este de 430°C.

În ultimii zeci de ani, din cauza activităților umane desfășurate în domeniul industriilor poluante (în care sunt arse mari cantități de combustibili fosili, i.e., cărbune și petrol), în atmosferă sunt eliberate cantități foarte mari de dioxid de carbon, care – ținând seama de efectul de seră – determină creșterea temperaturii medii a aerului, ducând la încălzirea globală.

13.8. Temperatura spațiului cosmic

Conform fizicii statistice, temperatura unui sistem este determinată de mișcarea particulelor componente ale acestuia. Cu cât intensitatea mișcării scade, cu atât temperatura acestuia va fi mai mică. Spațiul cosmic (i.e., spațiul din afara atmosferei) este aproape vid, acesta conținând numai câțiva atomi de hidrogen pe fiecare metru cub. Totuși, după cum am văzut în primul capitol al cărții, întregul univers observabil conține fotoni reprezentând așa-numita *radiație cosmică de fond* (sau CMBR – *Cosmic Microwave Background Radiation*), generată într-una dintre etapele Big Bang-ului. Temperatura acestei

radiații este de circa 2,73 K (aproximativ -270°C), valoare care constituie temperatura spațiului cosmic. Desigur, în zonele din spațiu în care se află alte particule cu energie mare, temperatura crește peste valoarea de mai sus.

Totuși, cea mai scăzută temperatură din spațiu a fost înregistrată la bordul telescopului european Planck (care a funcționat în perioada 2009-2013), construit cu scopul de a măsura anizotropia radiației CMBR. Pentru a păstra rezoluția necesară măsurătorilor, instrumentele au fost răcite la circa 0,1 K.

13.9. Temperaturi extreme pe Pământ

Cele mai reci locuri de pe Pământ (și din univers) se află în laboratoarele de fizică, ajungându-se aici la temperaturi cu circa $1/10^{10}$ K = 10^{-10} K (sau 100 pK) deasupra lui zero absolut, adică la 0,000 000 000 1 K.

Cea mai mică temperatură a suprafeței Pământului s-a înregistrat în Antarctica. Astfel, pe baza

datelor furnizate de sateliți, s-a măsurat o temperatură de -98°C . Cea mai mare temperatură înregistrată până în prezent a fost de 54°C , măsurată în California. Desigur, aceste extreme se pot modifica în timp, valorile precizate fiind valabile la data apariției cărții.

Cum funcționează 16 motoarele termice?

*Motorul cu abur a oferit mai multe științei decât
a oferit știința motorului cu abur.*

William Thomson, Lord Kelvin

Începând cu mult timp în urmă omul a fost interesat să dezvolte mașini care să-l înlocuiască în ceea ce privește munca fizică. O astfel de mașină este motorul termic, construit cu scopul de a transforma în lucru mecanic căldura obținută prin arderea unui combustibil.

Deși ponderea mijloacelor de transport (automobile, autocamioane, locomotive etc.) echipate cu motoare electrice este din ce în ce mai mare, cele având ca sistem de propulsie motoarele termice sunt încă majoritare. Din acest motiv, dar și din acela că peste câteva decenii sau chiar mai repede ele vor fi analizate numai de către cei care vor studia istoria fizicii, este util să aruncăm o privire asupra motoarelor termice, ceea ce vom face în capitolul pe care îl parcurgeți.

16.1. Motorul cu abur

Mașinile termice sunt dispozitive care, funcționând pe baza unui proces ciclic, transformă energia termică (i.e., căldura) în energie mecanică și invers. Primul tip de dispozitiv, cel care transformă căldura în energie mecanică într-un proces ciclic, se numește motor termic. Al doilea dispozitiv, cel care realizează procesul invers, de transformare a energiei mecanice în energie termică, poate fi atât mașina frigorifică, dar și pompa de căldură.

Orice sistem care transformă un tip oarecare de energie în energie mecanică într-un proces ciclic este un motor, începând chiar cu animalele și omul, care pot fi considerate *motoare vii*. Numele dat unității de măsură a puterii amintește de rolul acestui tip de motoare până la apariția aburului. În timp ce un cal pune în funcțiune o mașină, alți trei se odihneau.

De aceea, când același sistem mecanic a fost pus în funcțiune de un motor cu abur, inginerul Thomas Savéry i-a atribuit o putere de patru cai. Ulterior, James Watt a considerat că un cal poate învârti roata de acționare a unei mori de 144 de ori în timp de o oră. Deoarece roata avea o rază de 12 picioare, iar forța de tracțiune a calului a fost estimată la 180 de livre¹, rezultă că valoarea în SI a unității de măsură a puterii numită *cal-putere* englez (HP) este $1 \text{ HP} \cong 746 \text{ W}$ (în care $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ (N} \cdot \text{m)/s} = 1 \text{ (kg} \cdot \text{m/s}^2) \cdot \text{(m/s)}$).

În sistemul metric, calul-putere (CP) este puterea necesară pentru a ridica un corp cu masa de 75 kg în timp de o secundă, la înălțimea de un metru:

$$1 \text{ CP} = \frac{75 \text{ kg} \cdot 9,08665 \text{ m/s}^2 \cdot 1 \text{ m}}{1 \text{ s}} \cong 736 \text{ W}.$$

¹ Un picior are 0,3048 m, iar o livră 0,453592376 kg.



Figura 16.1 Motor cu abur

Motorul care utilizează vapori de apă se numește motor cu abur (figura 16.1), acesta fiind un tip de *motor cu ardere externă*, alături de turbina cu abur și motorul Stirling. Într-un motor cu ardere externă, agentul termic (aburul) este încălzit inițial într-un generator extern (numit generator de abur sau cameră de combustie) sau de o sursă externă prin peretele motorului, energia internă a acestuia fiind transformată în lucru mecanic.

Primul motor termic a fost mașina cu abur, iar primul dispozitiv de acest fel a fost inventat în secolul 1 e.n. de învățatul grec Heron din Alexandria. Deși motorul reușea să producă lucru mecanic, el nu servea unui scop util.

În 1681, matematicianul, fizicianul și inventatorul francez Denis Papin (1647-1713) a proiectat și realizat așa-numita *marmită* (sau cazanul lui Papin), al cărei element esențial era supapa de siguranță. În 1687, Papin a descris într-un memoriu prima *mașină atmosferică*, bazată pe utilizarea unui piston care se deplasează într-un cilindru vertical sub acțiunea aburului.

Primul motor cu abur (bazat pe descoperirile lui Papin) a fost proiectat în 1698 de inginerul englez Thomas Savéry și a fost utilizat pentru a pompa apa din mine, dar și pentru a trimite lichidul vital în casele londonezilor. Primul dispozitiv performant de acest fel a

fost realizat în 1712 de inginerul englez Thomas Newcomen și îmbunătățit în 1776 de James Watt. Acesta din urmă a realizat prima mașină cu abur veritabilă.

Primul om care a folosit motorul cu abur pentru propulsia unui autovehicul a fost Nicolas Cugnot, în 1769. Deși vehiculul – care atingea o viteză maximă de 5 km/h – putea transporta patru persoane, el a fost folosit în special pentru transportul armamentului greu.

James Watt a construit și brevetat în 1784 locomotiva cu abur, considerată cea mai mare realizare a sa. Anterior, în 1774, împreună cu industriașul Matthew Boulton, a fondat o întreprindere pentru construirea a ceea ce se numea *mașina cu abur a lui Watt, îmbunătățită*.

Ulterior, mașina cu abur a lui Watt a fost perfecționată. În 1827, inginerul și inventatorul francez Marc Seguin (1786-1875) a inventat primul cazan cu țevi, adoptat apoi de inginerul britanic George Stephenson (1781-1848) pentru locomotivele pe care le producea. Fizicianul și inginerul francez Gustave Hirn (1815-1890) a pus la punct în 1855 metoda supraîncălzirii aburului.

Motorul cu abur a fost utilizat până în prima jumătate a secolului al XX-lea. În continuare ne vom concentra atenția asupra *motorului cu ardere* (sau cu *combustie internă*).

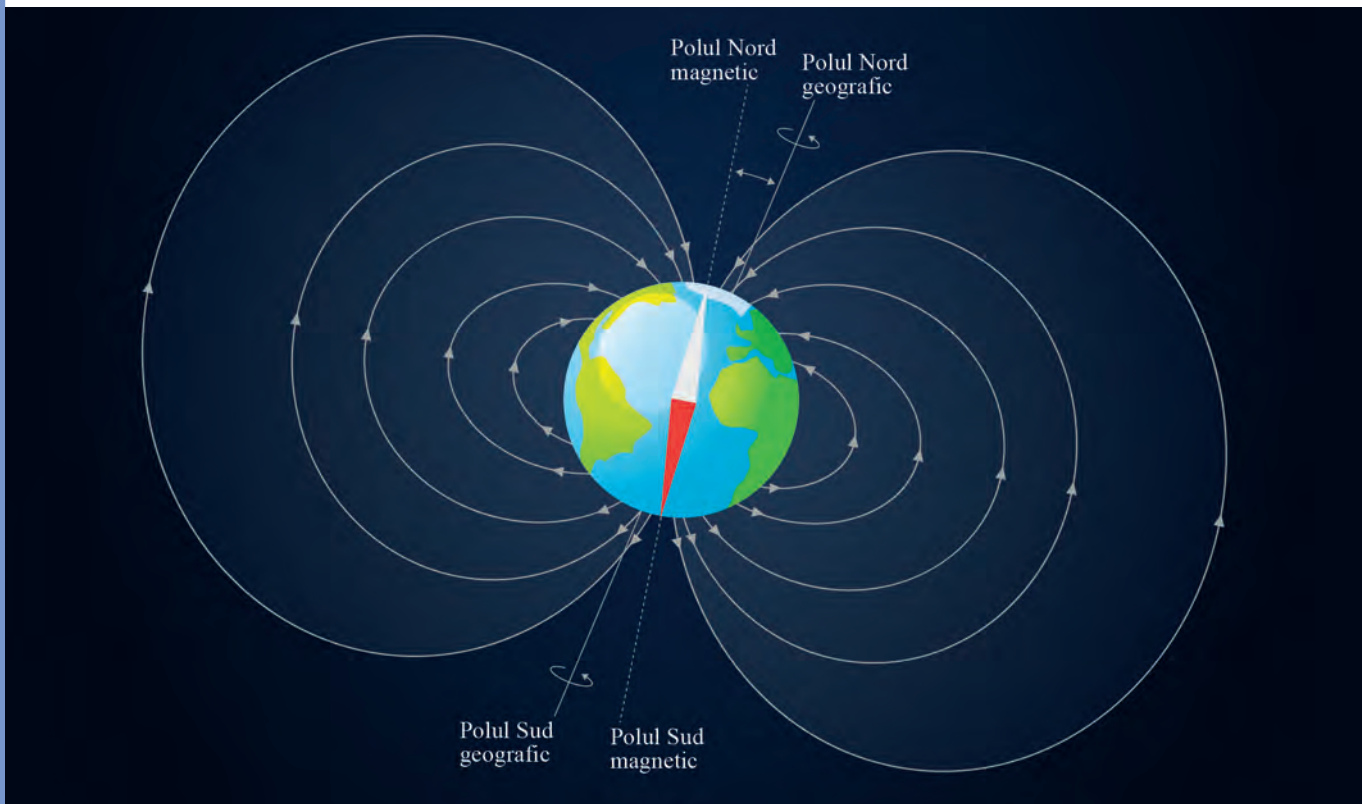


Figura 18.7 Câmpul magnetic al Pământului

18.5. Câmpul magnetic terestru

În particular, Pământul este un magnet permanent uriaș (figura 18.7). Magnetismul terestru (numit și *geomagnetism*) este generat de mai multe surse, dintre care amintim două: (1) frecarea materiei topite din nucleul extern și învelișul exterior și (2) concentrările regionale în scoarță de roci bogate în fier. Unele teorii afirmă că miezul lichid al Terrei în care se află metale (e.g., nichel și fier) generează câmpul magnetic din cauza mișcării de convecție a sarcinilor electrice existente în atomii metalelor respective (efectul de dinamo). Deoarece polii magnetici nu coincid cu polii geografici, axa magnetică (i.e., dreapta imaginară care unește polii magnetici) face un unghi cu axa geografică N-S. Acest unghi este denumit *declinație magnetică*, iar valoarea sa se schimbă în timp din cauza deplasării polilor magnetici (în zilele noastre, unghiul amintit este de aproximativ 11°). De-a lungul timpului, cei doi poli magnetici s-au inversat, nordul magnetic devenind sud și invers. Din cauza deplasării lor, inversiunea polilor magnetici ai planetei noastre se va produce și în viitor. Inducția câmpului geomagnetic la suprafața Pământului

depinde de zona în care este măsurată, având valori cuprinse între $25 \mu\text{T}$ și $65 \mu\text{T}$.

Spre deosebire de polii unui magnet obișnuit (pentru care liniile câmpului magnetic ies din nord și intră în sud), prin tradiție polii magnetici ai Pământului sunt denumiți invers (ceea ce ar trebui să fie polul sud este denumit polul nord și invers, astfel încât busola indică polul nord terestru; a se vedea casetele *Polul nord magnetic* și *Busola*).

Magnetosfera Pământului este zona din jurul planetei noastre în care câmpul geomagnetic este dominant. Zona respectivă constituie un scut care

POLUL NORD MAGNETIC

William Gilbert, cel care în 1600 a emis ipoteza că Pământul este un magnet uriaș, a definit polul nord magnetic terestru ca punctul în care câmpul magnetic al Pământului este îndreptat pe verticală în jos.

BUSOLA

Denumit și compas, este un instrument de navigație care folosește un ac magnetic, utilizat de-a lungul timpului pentru determinarea direcției în raport cu polii magnetici nord și sud ai Pământului. Busola este însoțită de un cadran care indică și direcțiile intermediare (e.g., NV, NE, SV, SE; figura 18.8).



Figura 18.8 Busola

apără Terra de particulele de energie mare din vântul solar (figura 18.9). Acesta din urmă este un flux de plasmă (format în principal de H^+ , He^{2+} și electroni) emis în mod continuu de Soare în spațiul interplanetar și care în apropierea Pământului se deplasează cu viteze de sute de kilometri pe secundă¹, comprimând magnetosfera în partea orientată către astrul central și alungind-o în cea opusă (a se vedea caseta *Aurora polară*). În apropierea Pământului, câmpul geomagnetic este suficient de puternic și acționează în partea dinspre Soare ca o barieră, forțând vântul solar să se separe și să curgă în jurul planetei noastre. Pe partea opusă Soarelui, câmpul geomagnetic este antrenat în spațiul cosmic de către

vântul solar, formând așa-numita coadă geomagnetică (*magnetotail*).

Magnetosfera este alcătuită din câteva zone, începând (dinspre Soare) cu un front de șoc (*bow*

¹ Viteza vântului solar variază considerabil într-o perioadă de 27 de zile (echivalentul unei rotații a Soarelui văzută de pe Pământ), între 270 km/s și 650 km/s.

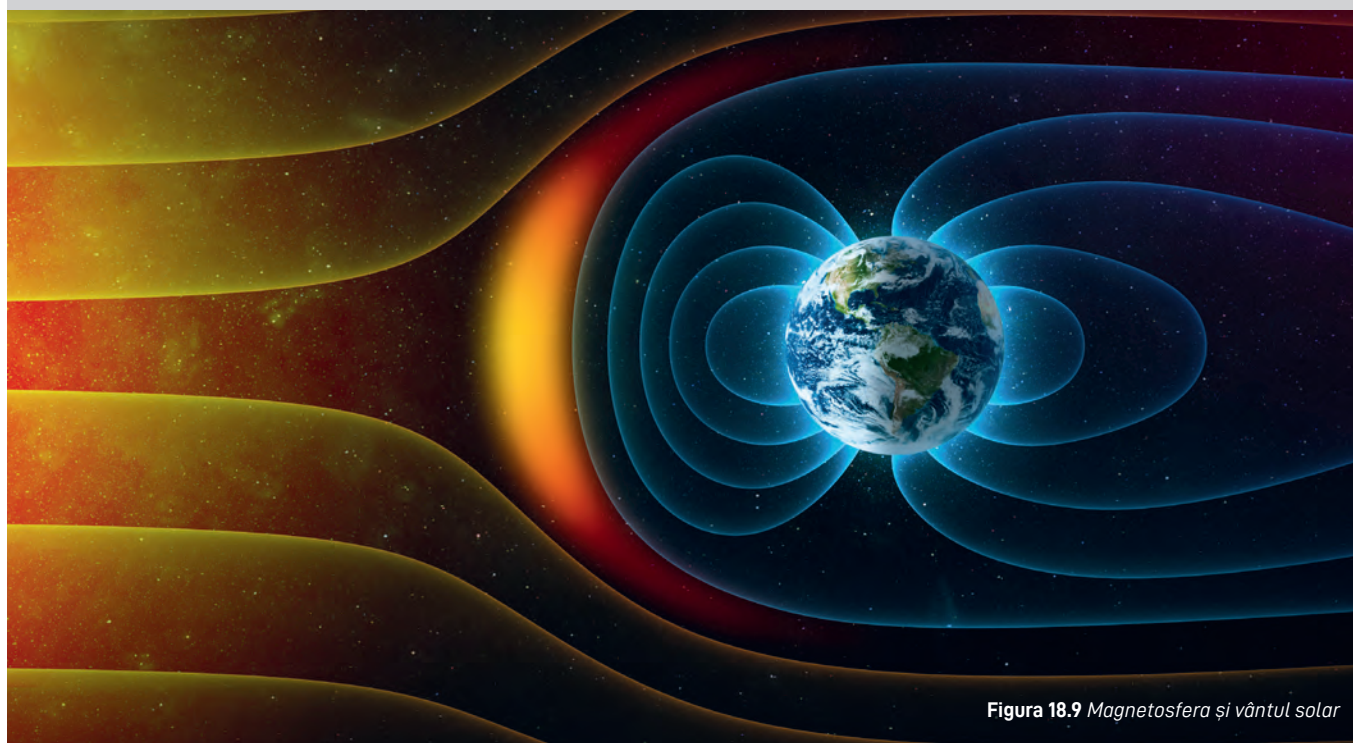


Figura 18.9 Magnetosfera și vântul solar

AURORA POLARĂ

Cu toate că magnetosfera constituie un scut în calea particulelor încărcate emise de Soare, electronii de energie mare pot pătrunde în zonele situate deasupra polilor magnetici, unde se ciocnesc cu atomii de azot și oxigen, excitându-i. Prin dezexcitare, atomii emit lumină în diverse culori și forme. Rezultatul este aurora polară, denumită boreală în emisfera nordică și australă în emisfera sudică.

shock) creat de mișcarea Pământului în vântul solar. În continuare se formează o teacă magnetică (*magnetosheath*), în care viteza în raport cu Pământul a particulelor care alcătuiesc vântul solar se reduce foarte mult. Urmează marginea efectivă superioară a magnetosferei, numită *magnetopauză* (*magnetopause*), caracterizată de absența unor fluxuri mari de particule și de un câmp magnetic slab (care permite, totuși, pătrunderea parțială a vântului solar în zonele situate deasupra polilor magnetici), apoi partea inferioară, denumită *ionosferă*¹ (*ionosphere*).

Sub acțiunea forțelor determinate de câmpul geomagnetic, particulele de plasmă din atmosferă

18.6. Forța electromagnetică

După cum se poate observa din cele prezentate până acum, câmpul magnetic are două surse: magnetii permanenți și conductorii parcurși de curent electric. Acest câmp poate acționa prin exercitarea unor forțe asupra altor magneți permanenți (e.g., acul magnetic sau busola, magnetul în formă de bară sau de potcoavă) sau asupra altor conductori parcurși de curent electric.

Rezultă că există atât interacțiuni ale elementelor (i.e., magneți permanenți și conductori parcurși de curent electric) din aceeași categorie (i.e., magnet cu magnet și conductor cu conductor), cât

descriu traiectorii în formă de spirală între cei doi poli magnetici ai Pământului². Aceste particule aflate în mișcare alcătuiesc *centura de radiații Van Allen*, descoperită în 1958 de omul de știință american James Alfred Van Allen (1914-2006), pe baza datelor furnizate de doi dintre sateliții Explorer (a se vedea caseta *Centura Van Allen*). În fapt, există două astfel de centuri, una internă (care se întinde între 1 000 km și 6 000 km și include protoni de mare energie) și una externă (care se întinde între 15 000 km și 25 000 km și include în special electroni de mare energie). În 1963 a fost descoperită chiar și a treia centură de radiații, la o altitudine de peste 7 000 km, alcătuită în special din electroni.

CENTURA VAN ALLEN

Localizarea și studiul centurii Van Allen a permis proiectarea călătoriilor spațiale astfel încât cosmonauții să nu fie afectați de radiațiile care o alcătuiesc. De asemenea, evitarea de către sateliți a zonelor în care se află centura Van Allen este necesară pentru ca aparatura conținută de aceștia să nu fie distrusă. Dacă zona nu poate fi evitată, sateliții trebuie dotați cu scuturi de protecție speciale.

și ale elementelor din categorii diferite (i.e., magnet cu conductor). Hans Christian Ørsted a observat deviația acului magnetic (magnet permanent) sub acțiunea câmpului magnetic creat de un conductor parcurs de curent electric, acesta fiind parte a unui circuit electric.

Forța exercitată de un câmp magnetic asupra unui conductor parcurs de curent electric (electromagnet) se numește *forță electromagnetică* sau *forță Laplace*. În cazul în care conductorul este liniar, iar câmpul magnetic este uniform, expresia acestei forțe este:

¹ Această zonă este la altitudini cuprinse între 50 km și 1 500 km, ionizarea sa având drept cauză interacțiunea componentei ultraviolete a luminii solare cu particulele din atmosferă. Până la altitudinea de 50 km atmosfera nu este ionizată, cu excepția situațiilor în care se produc descărcări electrice.

² Forța cu care un câmp magnetic acționează asupra unei particule încărcate cu sarcină electrică se numește forță Lorent.