

# LEGEA GRAVITAȚIEI UNIVERSALE A LUI NEWTON



**Nicolae Sfetcu**

# Legea gravitației universale a lui Newton

Nicolae Sfetcu

Publicat de Nicolae Sfetcu

Copyright 2018 Nicolae Sfetcu

PREVIZUALIZARE CARTE

## Gravitația

Gravitația este un fenomen natural prin care toate lucrurile cu masă sunt aduse spre (sau gravitează) unul spre altul, inclusiv obiecte variind de la atomi și particule de lumină, planete și stele. Deoarece energia și masa sunt echivalente, toate formele de energie (inclusiv lumina) provoacă gravitație și sunt sub influența ei. Pe pământ, gravitația dă greutate obiectelor fizice, iar gravitația Lunii provoacă marea oceanului. Atracția gravitațională a materiei gazoase inițiale prezentă în Univers a determinat-o să înceapă coalescența, formând stele - și ca stelele să se unească în galaxii - astfel încât gravitația este responsabilă pentru multe dintre structurile de mari dimensiuni din Univers. Gravitația are o gamă infinită, deși efectele sale devin din ce în ce mai slabe pe obiectele mai îndepărtate.

Gravitația este descrisă cel mai bine de teoria generală a relativității (propusă de Albert Einstein în 1915), care descrie gravitația nu ca o forță, ci ca o consecință a curburii spațiu-timpului cauzată de distribuția neuniformă a masei. Exemplul cel mai extrem al acestei curburii a spațiului este o gaură neagră, din care nimic - nici măcar lumina - nu poate scăpa odată trecut de orizontul evenimentului găurii negre. Cu toate acestea, pentru majoritatea aplicațiilor, gravitația este bine aproximată de legea lui Newton de gravitație universală, care descrie gravitația ca o forță care determină atragerea oricăror două corpuri între ele, cu forța proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele.

“Gravitația este forța care te trage în jos.” – afirmă Merlin în *The Sword in the Stone* a lui Disney.

Merlin a avut dreptate, desigur, dar gravitația face mult mai mult decât să ne țină în scaun. Aici a fost geniul lui Isaac Newton, în a recunoaște aceasta. Newton a amintit într-un memoriu ulterior că în timp ce încerca să își dea seama ce ține luna de pe cer, a văzut un măr căzând pe pământ în livada lui, și așa și-a dat seama că Luna nu este suspendat pe cer, ci cade continuu, ca o ghiulea de tun care a fost trasă atât de rapid încât cade continuu spre Pământ dar fără să ajungă pe el datorită curburii acestuia.

Gravitația este cea mai slabă dintre cele patru forțe fundamentale ale fizicii, de aproximativ  $10^{38}$  ori mai slabă decât forța tare, de  $10^{36}$  ori mai slabă decât forța electromagnetică și de  $10^{29}$  ori mai slabă decât forța slabă. Ca o consecință, nu are o influență semnificativă asupra nivelului

particulelor subatomice. În schimb, este forța dominantă la scară macroscopică și este cauza formării, formei și traiectoriei (orbitei) corpurilor astronomice. De exemplu, gravitația determină Pământul și celelalte planete să orbiteze Soarele, de asemenea determină Luna să orbiteze Pământul și provoacă formarea de maree, formarea și evoluția Sistemului Solar, stele și galaxii.

Cel mai timpuriu exemplu de gravitație din Univers, posibil sub forma gravitației cuantice, supergravitației sau singularității gravitaționale, împreună cu spațiul și timpul obișnuit, s-a dezvoltat în timpul epocii Planck (până la  $10^{-43}$  secunde după nașterea Universului) posibil dintr-o stare primitivă, cum ar fi un vid fals, un vid cuantic sau o particulă virtuală, într-o manieră necunoscută în prezent. Încercările de a dezvolta o teorie a gravitației în concordanță cu mecanica cuantică, o teorie a gravitației cuantice, care ar permite ca gravitația să fie unită într-un cadru matematic comun (o teorie a tuturor lucrurilor) cu celelalte trei forțe ale fizicii, reprezintă o arie actuală de cercetare.

## Istoria teoriei gravitației

### Revoluția științifică

Lucrările moderne asupra teoriei gravitaționale au început cu lucrările lui Galileo Galilei la sfârșitul secolului al XVI-lea și începutul secolului al XVII-lea. În experimentul său faimos (deși posibil apocriptic) prin care aruncă bile de pe Turnul din Pisa și mai târziu prin măsurători atente ale bilelor care se rostogoleau pe un plan înclinat, Galileo a arătat că accelerația gravitațională este aceeași pentru toate obiectele. Aceasta a fost o deviere majoră de la convingerea lui Aristotel că obiectele mai grele au o accelerație gravitațională mai mare. Galileo a afirmat că postulatul că rezistența la aer este motivul pentru care obiectele cu o masă mai mică pot cădea mai încet într-o atmosferă. Lucrările lui Galileo au stabilit scena pentru formularea teoriei gravitației a lui Newton.

### Teoria lui Newton a gravitației

În 1687, matematicianul englez Sir Isaac Newton a publicat *Principia*, care face ipoteza legii pătratului invers a gravitației universale. În propriile cuvinte, "am dedus că forțele care țin planetele în orbitele lor trebuie să fie reciproce cu pătratele distanțelor lor față de centrele pe care se învârt: și astfel am comparat forța necesară pentru a păstra Luna pe orbita ei cu forța de gravitație de la suprafața Pământului: și am găsit răspunsul destul de aproape." Ecuația este următoarea:

$$F = G \cdot m_1 m_2 / r^2$$

unde  $F$  este forța,  $m_1$  și  $m_2$  sunt masele obiectelor care interacționează,  $r$  este distanța dintre centrele maselor și  $G$  este constanta gravitațională.

Teoria lui Newton a avut cel mai mare succes când a fost folosită pentru a prezice existența lui Neptun pe baza mișcărilor lui Uranus, care nu puteau fi explicate prin acțiunile celorlalte planete. Calculele lui John Couch Adams și Urbain Le Verrier au prezis poziția generală a planetei, iar calculele lui Le Verrier au condus pe Johann Gottfried Galle la descoperirea lui Neptun.

O discrepanță în orbita lui Mercur a subliniat neajunsuri în teoria lui Newton. Până la sfârșitul secolului al XIX-lea, se știa că orbita sa a prezentat ușoare perturbații care nu puteau fi luate în considerare în întregime de teoria lui Newton, dar toate căutările pentru un alt corp perturbant (cum ar fi o planetă care orbitează chiar mai aproape de Soare decât Mercur) nu au avut succes. Problema a fost rezolvată în 1915 de noua teorie de relativitate generală a lui Albert Einstein, care a prezis o mică discrepanță pe orbita lui Mercur.

Deși teoria lui Newton a fost înlocuită de relativitatea generală a lui Einstein, cele mai moderne calcule gravitaționale non-relativiste sunt încă realizate folosind teoria lui Newton, deoarece este mai simplu de lucrat și oferă rezultate suficient de precise pentru majoritatea aplicațiilor care implică mase, viteze și energii suficient de mici.

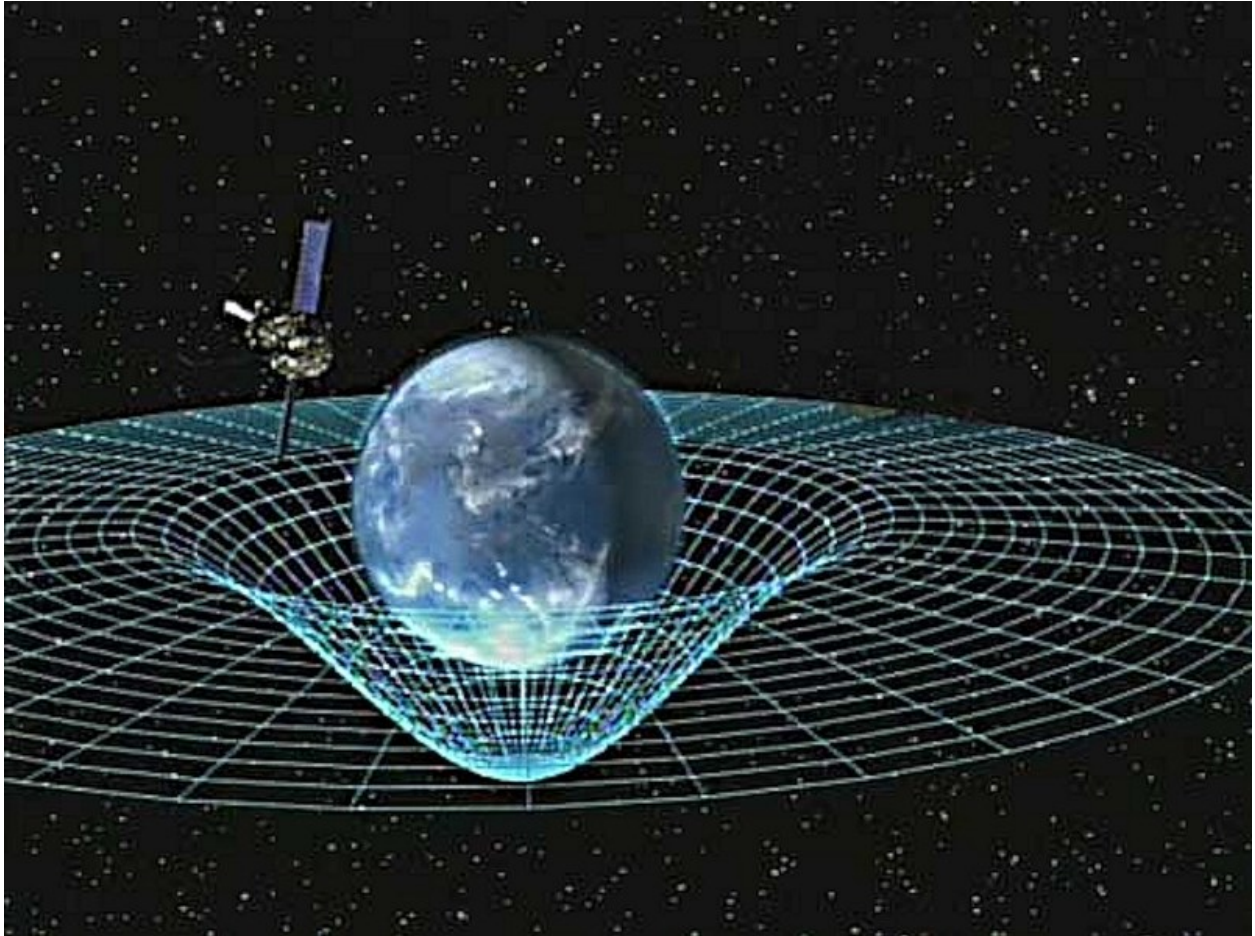
### **Principiul echivalenței**

Principiul echivalenței, explorat de o succesiune de cercetători, inclusiv Galileo, Loránd Eötvös și Einstein, exprimă ideea că toate obiectele cad în același fel și că efectele gravitației sunt nediscernabile de anumite aspecte ale accelerației și decelerației. Cea mai simplă modalitate de a testa principiul slabei echivalențe este de a scăpa două obiecte de diferite mase sau compoziții într-un vid și de a vedea dacă au atins terenul în același timp. Astfel de experimente demonstrează că toate obiectele cad cu aceeași viteză când alte forțe (cum ar fi rezistența la aer și efectele electromagnetice) sunt neglijabile. Testele sofisticate folosesc un echilibru de torsiune de tipul inventat de Eötvös. Experimentele prin satelit, de exemplu STEP, sunt planificate pentru experimente mai precise în spațiu.

Formulările principiului echivalenței includ:

- Principiul echivalențe slabe: *Traietoria unei mase punctuale într-un câmp gravitațional depinde doar de poziția sa inițială și viteză și este independentă de compoziția sa.*
- Principiul de echivalență einsteinian: *Rezultatul oricărui experiment non-gravitațional local într-un laborator care cade liber este independent de viteza laboratorului și localizarea acestuia în spațiu.*
- Principiul echivalenței tari care impune ambele aspecte de mai sus.

## Relativitatea generală



*(Analogia bidimensională a distorsiunii spațiu-timp generate de masa unui obiect. Materia schimbă geometria timpului spațial, această geometrie (curbată) fiind interpretată ca gravitație. Liniile albe nu reprezintă curbura spațiului, ci sistemul de coordonate impus spațiu-timpului curbat, care ar fi rectiliniu într-un spațiu-timp plat.)*

În relativitatea generală, efectele gravitației sunt atribuite curburii spațiu-timp în locul forței. Punctul de pornire pentru relativitatea generală este principiul echivalenței, care echivalează căderea liberă cu mișcarea inerțială și descrie obiectele inerțiale care cad liber ca fiind accelerate în raport cu observatorii neinerțiali pe pământ. Cu toate acestea, în fizica Newtoniană, nicio astfel de accelerare nu poate apărea decât dacă cel puțin unul dintre obiecte este operat de o forță.

Einstein a sugerat că spațiul este curbat de materie și că obiectele care cad liber se deplasează de-a lungul căilor drepte local în spațiu-timp curbat. Aceste căi drepte se numesc geodezice. Ca și prima lege a mișcării lui Newton, teoria lui Einstein afirmă că, dacă se aplică o forță asupra unui obiect, se va abate de la o geodezică. De exemplu, nu mai urmărim geodezicele pentru că rezistența mecanică a Pământului exercită o forță ascendentă asupra noastră și, prin urmare, suntem neinerțiali pe pământ. Aceasta explică de ce mișcarea de-a lungul geodezicelor în spațiu este considerată inerțială.

Einstein a descoperit ecuațiile de câmp ale relativității generale, care arată prezența materiei și curbura spațiu-timpului și sunt numite după el. Ecuațiile câmpului Einstein sunt un set de 10 ecuații diferențiale simultane, neliniare. Soluțiile ecuațiilor de câmp sunt componentele tensorului metric al spațiu-timpului. Un tensor metric descrie o geometrie a spațiu-timpului. Căile geodezice pentru spațiu-timp sunt calculate din tensorul metric.

.....

## Legea gravitației universale a lui Newton

Legea lui Newton a gravitației universale afirmă că o particulă atrage orice altă particulă din univers cu o forță care este direct proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre centrele lor. (Masele mari, sferice simetrice atrag și sunt atrase ca și când toată masa lor ar fi concentrată în centrele lor - teorema Shell). Aceasta este o lege fizică generală derivată din observațiile empirice din ceea ce Isaac Newton numea raționamentul inductiv Este o parte a mecanicii clasice și a fost formulată în lucrarea lui Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* ("*Principia*"), publicată pentru prima dată pe 5 iulie 1687.

Legea lui Newton a fost înlocuită de teoria relativității generale a lui Albert Einstein, dar continuă să fie folosită ca o aproximare excelentă a efectelor gravitației în majoritatea aplicațiilor. Relativitatea este necesară numai atunci când este nevoie de precizie extremă sau când se lucrează cu câmpuri gravitaționale foarte puternice, cum ar fi cele găsite în apropierea obiectelor extrem de masive și dense sau la distanțe foarte apropiate (cum ar fi orbita lui Mercur în jurul Soarelui).

În limbajul de astăzi, legea afirmă: Fiecare masă punctuală atrage fiecare altă masă punctuală printr-o forță direcționată pe linia care intersectează ambele puncte. Forța este proporțională cu produsul celor două mase și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele. Primul test de laborator al teoriei lui Newton a gravitație dintre mase a fost experimentul Cavendish condus de cercetătorul britanic Henry Cavendish în 1798. Acesta a avut loc la 111 ani după publicarea cărții *Principia* a lui Newton și la aproximativ 71 de ani de la moartea sa.

### Istorie

Nimeni nu știe sigur dacă amintirea lui Newton despre măr a fost corectă, dar perspectiva lui aceasta este. Filosofii au crezut încă de la greci că mișcarea "naturală" a stelelor, planetelor, Soarelui și Lunei este circulară. Kepler a stabilit că orbitele sunt de fapt eliptice, dar a crezut că mișcările planetelor este dictată de către o "forță divină" emanată de la Soare, iar Newton și-a dat seama că aceeași forță care face ca o piatră aruncată să cadă înapoi pe Pământ, ține și planetele pe orbita Soarelui, și Luna pe orbita Pământului.

Newton nu a fost singur cu contribuții semnificative la înțelegerea gravitației. Înainte de Newton, Galileo Galilei a corectat o concepție greșită comună, de la Aristotel, conform căreia obiectele cu diferite mase cad cu viteze diferite. Pentru Aristotel, pur și simplu era logic ca obiecte de diferite mase să cadă cu viteze diferite, și logica a fost de ajuns pentru el. Galileo a încercat să dea

drumul să cadă la obiecte de diferite mase în același timp. În afară de diferențele datorate frecțiunii din aer, Galileo a observat că toate masele cad la fel. Folosind ecuația lui Newton,  $F = ma$ , este clar pentru noi de ce:

$$F = Gm_1m_2/r^2 = m_1a_1$$

Ecuația de mai sus spune că masa  $m_1$  va accelera la accelerația  $a_1$  sub forța de gravitație:

$$a_1 = Gm_2/r^2$$

Nicăieri în ecuația de mai sus nu apare masa corpului care cade. Atunci când e vorba de obiecte aproape de suprafața unei planete, distanța  $r$  este atât de mică încât accelerația gravitațională pare a fi perfect constantă. Accelerația gravitațională pe Pământ se notează de obicei cu  $g$ , iar valoarea sa este de aproximativ 9,8 m/s<sup>2</sup>. Galileo nu a avut ecuațiile lui Newton, astfel încât intuiția sa privind proporționalitatea gravitației cu masa a fost de neprețuit, afectând chiar formularea lui Newton despre cum funcționează gravitația.

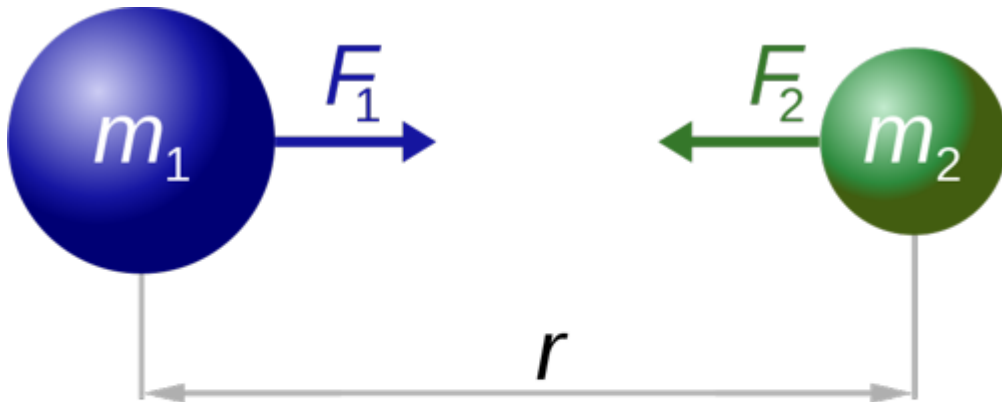
Cu toate acestea, pentru un corp mare, variațiile  $r$  pot crea variații semnificative ale forței.

Un studiu recent al lui Ofer Gal despre istoria timpurie a legii pătratelor inverse din perioada "ultimilor ani 1670", consideră că "proporția inversă între gravitație și pătratul distanței era o idee destul de comună și a fost avansată de mai multe persoane din diferite motive".

Același autor acordă credit lui Hooke ca având o contribuție semnificativă și chiar seminală, dar tratează pretenția lui Hooke privind prioritatea sa referitor la pătratul invers ca fiind neinteresantă, întrucât mai multe persoane, în afară de Newton și Hooke, au sugerat cel puțin acest lucru, și evidențiază, în schimb, ideea "combinării mișcărilor celeste" și convertirea gândirii lui Newton de la forța "centrifugală" spre cea "centripetală" drept contribuții semnificative ale lui Hooke.

Newton însuși a dat credit în *Principia* la două persoane: Bullialdus (a scris, dar fără a dovedi, că există o forță dinspre pământ spre soare), și Borelli (a scris că toate planetele sunt atrase spre soare). Whiteside a scris că influența principală a fost cea a lui Borelli, deoarece Newton avea o copie a cărții sale.

## Forma modernă



$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

(Sursa: Dennis Nilsson,

<https://en.wikipedia.org/wiki/File:NewtonsLawOfUniversalGravitation.svg>, CC Attribution 3.0 Unported license)

Conform lui Newton, “Fiecare obiect din Univers atrage orice alt obiect cu o forță îndreptată de-a lungul liniei centrelor celor două obiecte, proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre cele două obiecte.”

Newtona a publicat legea gravitației universale în *Principia Mathematica*, astfel:

$$F = Gm_1m_2/r^2$$

unde:

F = forța gravitațională dintre două obiecte

$m_1$  = masa primului obiect

$m_2$  = masa celui de al doilea obiect

r = distanța dintre obiecte

G = constanta universală a gravitației

Strict vorbind, această lege se aplică numai pentru obiecte punctiforme. Dacă obiectele au dimensiuni spațiale, forța reală trebuie să fie găsită prin integrarea forțelor între diferitele puncte.

## Forma vectorială



Formulara de mai sus este o versiune simplificată. Aceasta este exprimată mai corect ca ecuație vectorială. (Toate literele bolduite reprezintă cantități vectoriale în cele ce urmează), formulara de mai jos este complet vectorială:

$$\mathbf{F}_{12} = Gm_1m_2(\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1)/|\mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1|^3$$

unde:

$\mathbf{F}_{12}$  este forța asupra lui  $m_1$  de la  $m_2$   
 $m_1$  și  $m_2$  sunt masele  
 $\mathbf{r}_1$  și  $\mathbf{r}_2$  sunt vectorii de poziție ale maselor lor  
G este constanta gravitațională

Pentru forța asupra masei  $m_2$ , pur și simplu multiplicați cu -1.

Diferența principală dintre cele două formulări este că a doua formă utilizează diferența în poziție pentru a construi un vector care e direcționat de la o masă la alta, și apoi împarte acel vector cu lungimea sa pentru a preveni schimbarea mărimii forței.

.....

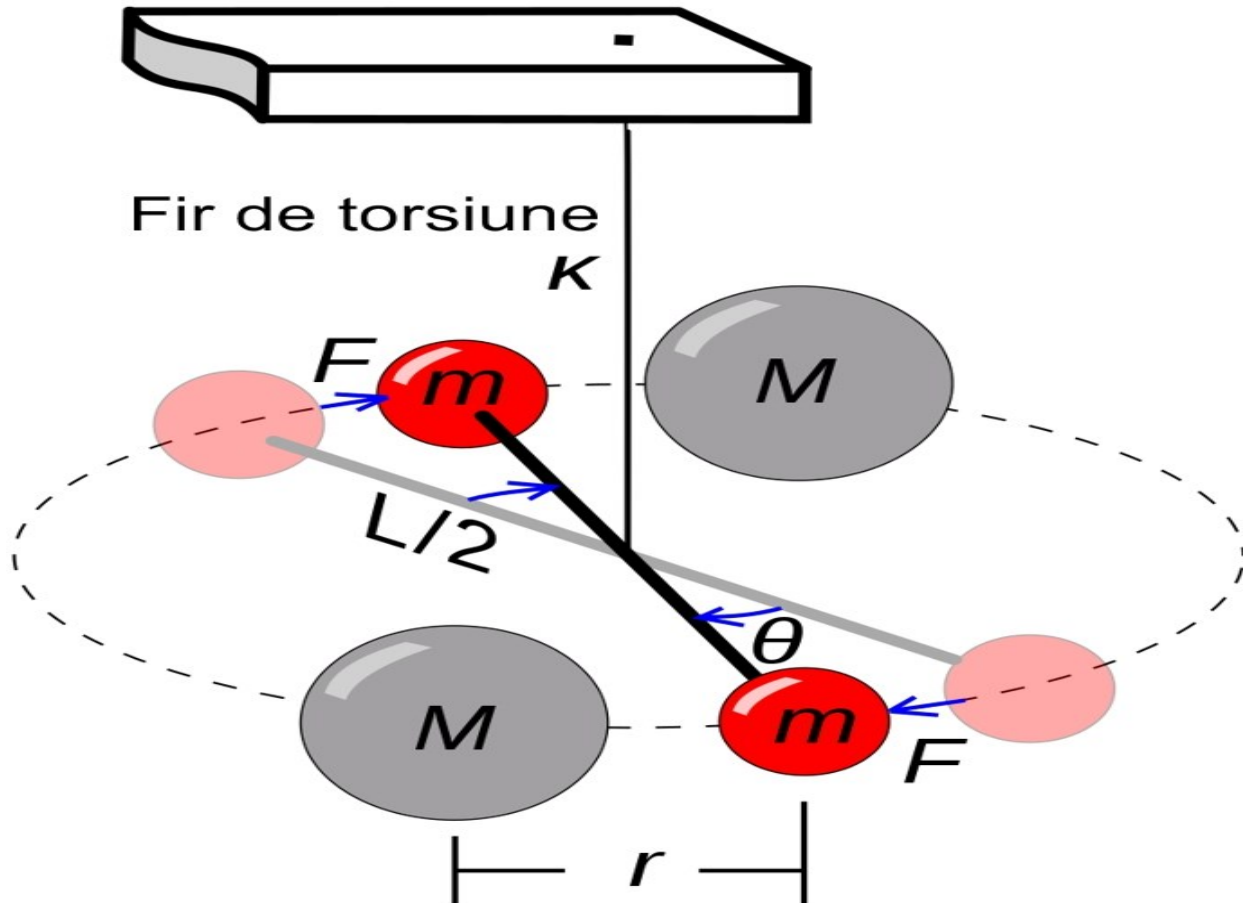
## Constanta gravitațională universală, G

Constanta gravitațională, cunoscută și sub numele de *constantă gravitațională universală*, sau ca și *constantă lui Newton*, notată prin litera **G**, este o constantă fizică empirică implicată în calculul efectelor gravitaționale în legea gravitației universale a lui Isaac Newton și în teoria relativității generale a lui Albert Einstein. Valoarea sa măsurată este de aproximativ  $6.674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Constanta gravitațională apare în legea lui Newton de gravitație universală, dar nu a fost măsurată până la șaptezeci și unu de ani după moartea lui Newton, de către Henry Cavendish, cu experimentul lui Cavendish realizat în 1798 (*Transactions Philosophical*, 1798). Cavendish a măsurat G implicit, folosind un echilibru de torsiune inventat de geologul Rev. John Michell. El a folosit un grindă de torsiune orizontală cu bile de plumb cu inerția (în raport cu constanta de torsiune) determinată de oscilația grinzii. Atracția lor slabă față de alte bile așezate alături de rază era detectabilă de deformarea pe care o provoca. Scopul lui Cavendish nu era de a măsura constanta gravitațională, ci de a măsura densitatea Pământului în raport cu apa, prin cunoașterea precisă a interacțiunii gravitaționale.

Precizia valorii măsurate a lui G a crescut doar modest de la experimentul original Cavendish. G este destul de greu de măsurat, deoarece gravitația este mult mai slabă decât alte forțe fundamentale și un aparat experimental nu poate fi separat de influența gravitațională a altor corpuri. În plus, gravitația nu are o relație stabilă cu alte forțe fundamentale, deci nu pare posibilă calcularea indirectă a acesteia din alte constante care pot fi măsurate mai precis, așa cum se întâmplă în alte domenii ale fizicii. Valorile publicate ale lui G au variat destul de larg, iar

unele măsurători recente de înaltă precizie sunt, de fapt, mutual exclusive. Acest lucru a condus la valoarea CODATA din 2010 de către NIST cu o creștere a incertitudinii cu 20% față de 2006. Pentru actualizarea din 2014, CODATA a redus incertitudinea la mai puțin de jumătate din valoarea din 2010.



(Diagrama balanței de torsiune folosită în experimentul Cavendish efectuată de Henry Cavendish în 1798, pentru a măsura Marele  $G$ , cu ajutorul unei scripete, bile mari atârinate de un cadru fiind rotite alături de bile mici).

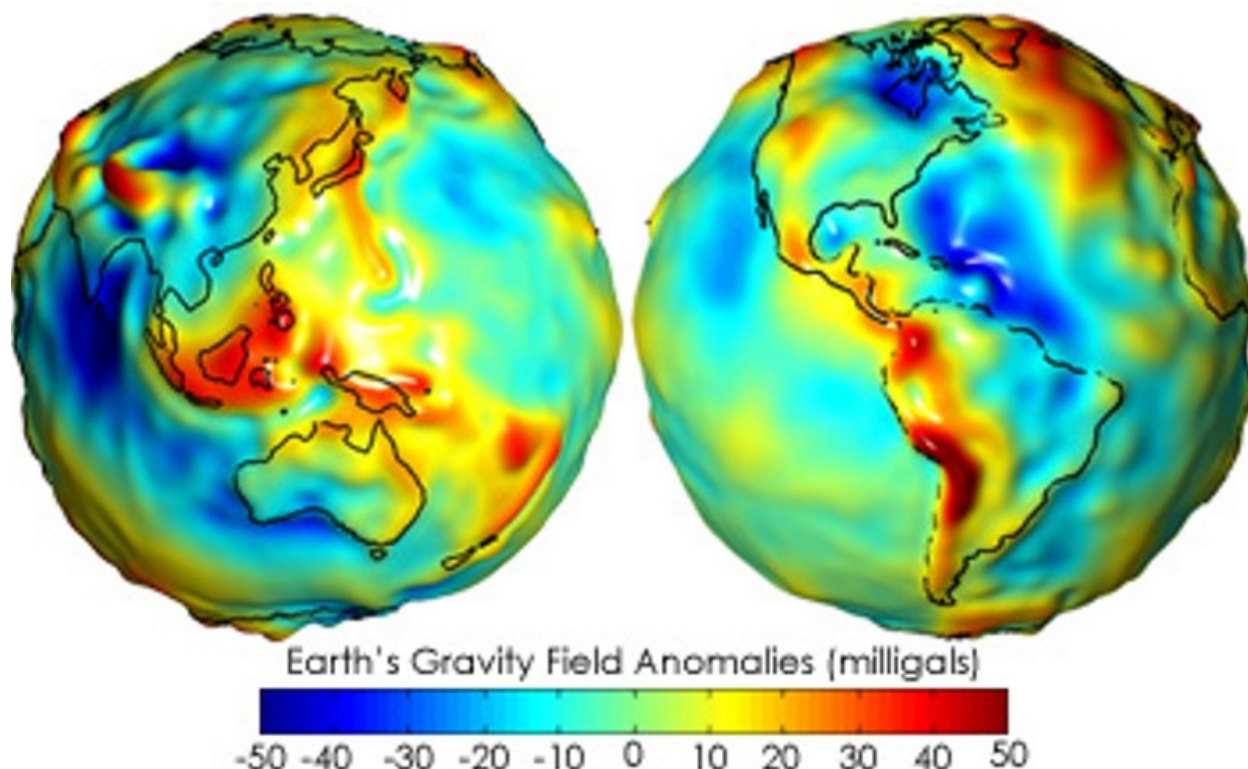
În ediția din ianuarie 2007 a *Science*, Fixler și colab. a descris o nouă măsurătoare a constantei gravitaționale prin interferometrie atomică, raportând o valoare  $G = 6,693(34) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ . O măsurare a atomului rece îmbunătățită de Rosi și colab. a fost publicată în 2014 de  $G = 6,67191(99) \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$ .

Un studiu controversat din 2015 al unor măsurări anterioare ale lui  $G$ , de Anderson și alții, a sugerat că majoritatea valorilor reciproc exclusive pot fi explicate printr-o variație periodică. Variația a fost măsurată ca având o perioadă de 5,9 ani, similară celei observate în măsurătorile LOD (length-of-day - lungimea-unei-zile), sugerând o cauză fizică comună care nu este neapărat o variație în  $G$ . Un răspuns a fost produs de unii dintre autorii originali ai măsurătorilor  $G$  utilizate în Anderson și colab. Acest răspuns observă că Anderson și colab. nu numai că au omis măsurătorile, ci au folosit și timpul publicării, nu timpul în care au fost efectuate experimentele. O diagramă cu timpul estimat de măsurare de la contactarea autorilor originali modifică serios

corelația lungimii zilei. De asemenea, considerarea datelor colectate de Karagioz și Izmailov într-un deceniu nu arată nicio corelație cu măsurătorile de lungime a zilei. Ca atare, variațiile în  $G$  apar cel mai probabil din erorile de măsurare sistematice care nu au fost corect luate în considerare.

Sub presupunerea că fizica supernovelor de tip Ia este universală, analiza observațiilor a 580 de supernove de tip Ia a arătat că constanța gravitațională a variat cu mai puțin de o parte din zece miliarde pe an în ultimii nouă miliarde de ani.

## Gravitația Pământului



*(Gravitația Pământului măsurată prin misiunea GRACE NASA, care arată abateri de la gravitația teoretică a unui Pământ neted idealizat, așa-numitul elipsoid pământesc. Roșul arată zonele în care gravitația este mai puternică decât valoarea standard, uniformă, iar albastrul arată zonele în care gravitația este mai slabă.)*

Fiecare corp planetar (inclusiv Pământul) este înconjurat de propriul câmp gravitațional, care exercită o forță de atracție asupra tuturor obiectelor. Presupunând o planetă sferică simetrică, puterea acestui câmp în orice punct dat de pe suprafață este proporțională cu masa corpului planetar și invers proporțională cu pătratul distanței de la centrul planetei.

Puterea câmpului gravitațional este numeric egală cu accelerarea obiectelor aflate sub influența sa. Rata de accelerare a obiectelor care se află în apropiere de suprafața Pământului variază foarte puțin în funcție de altitudine, latitudine, precum și de alți factori. Pentru greutate și măsuri, o valoare standard a gravitației este definită de Biroul Internațional de Măsuri și Greutăți, în cadrul Sistemului Internațional de Unități (SI).

Această valoare, notată  $g$ , este  $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ .

Valoarea standard de  $9,80665 \text{ m/s}^2$  este cea adoptată inițial de către Comitetul Internațional de Măsuri și Greutăți în 1901 pentru  $45^\circ$  latitudine, chiar dacă aceasta a fost dovedită a fi mai mare cu aproximativ cinci unități din zece mii. Această valoare a persistat în meteorologie și în unele măsurători atmosferice standard, ca valoarea la  $45^\circ$  latitudine, chiar dacă aceasta se aplică mai exact la latitudinea de  $45^\circ 32' 33''$ .

Presupunând valoarea standardizată pentru  $g$  și ignorarea rezistenței aerului, acest lucru înseamnă că un obiect care se găsește în mod liber în apropierea suprafeței Pământului crește viteza sa cu  $9,80665 \text{ m/s}$  la fiecare secundă de la timpul inițial. Astfel, un obiect pornind din repaus va atinge o viteză de  $9,80665 \text{ m/s}$  după o secundă, aproximativ  $19,62 \text{ m/s}$  după două secunde, și așa mai departe, adăugând  $9,80665 \text{ m/s}$  pentru fiecare viteză rezultată. De asemenea, din nou ignorând rezistența aerului, toate obiectele, când cad de la aceeași înălțime, vor atinge pământul în același timp. Este relevant de menționat că gravitația Pământului nu are exact aceeași valoare în toate regiunile. Există mici variații în diferite părți ale globului, datorită caracteristicilor, latitudine de suprafață, cum ar fi munții și crestele, și densității poate neobișnuit de mare sau mică de sub-suprafață.

Potrivit Legii a treia a lui Newton, asupra Pământului însuși se exercită o forță egală în mărime și în direcția opusă celei pe care o exercită pe un obiect în cădere. Acest lucru înseamnă că Pământul accelerează, de asemenea, spre obiect până când se ciocnesc. Deoarece masa Pământului este imensă, însă, accelerația imprimată Pământului prin această forță opusă este neglijabilă în comparație cu cea a obiectului. Dacă obiectul nu sare înapoi după ce s-a ciocnit cu Pământul, fiecare dintre ele exercită atunci o forță de contact de respingere pe de altă parte, care echilibrează efectiv forța de atracție a gravitației și previne accelerarea în continuare.

Forța de gravitație pe Pământ este rezultanta (suma vectorială) a două forțe: (a) atracția gravitațională, în conformitate cu legea universală a lui Newton a gravitației, și (b) forța centrifugă, care rezultă din alegerea unui obiect de pe Pământ, rotind sistemul de referință. La ecuator, forța de gravitație este cea mai slabă din cauza forței centrifuge cauzate de rotația Pământului. Forța de gravitație variază în funcție de latitudine și crește de la circa  $9,780 \text{ m/s}^2$  la ecuator la aproximativ  $9,832 \text{ m/s}^2$  la poli.

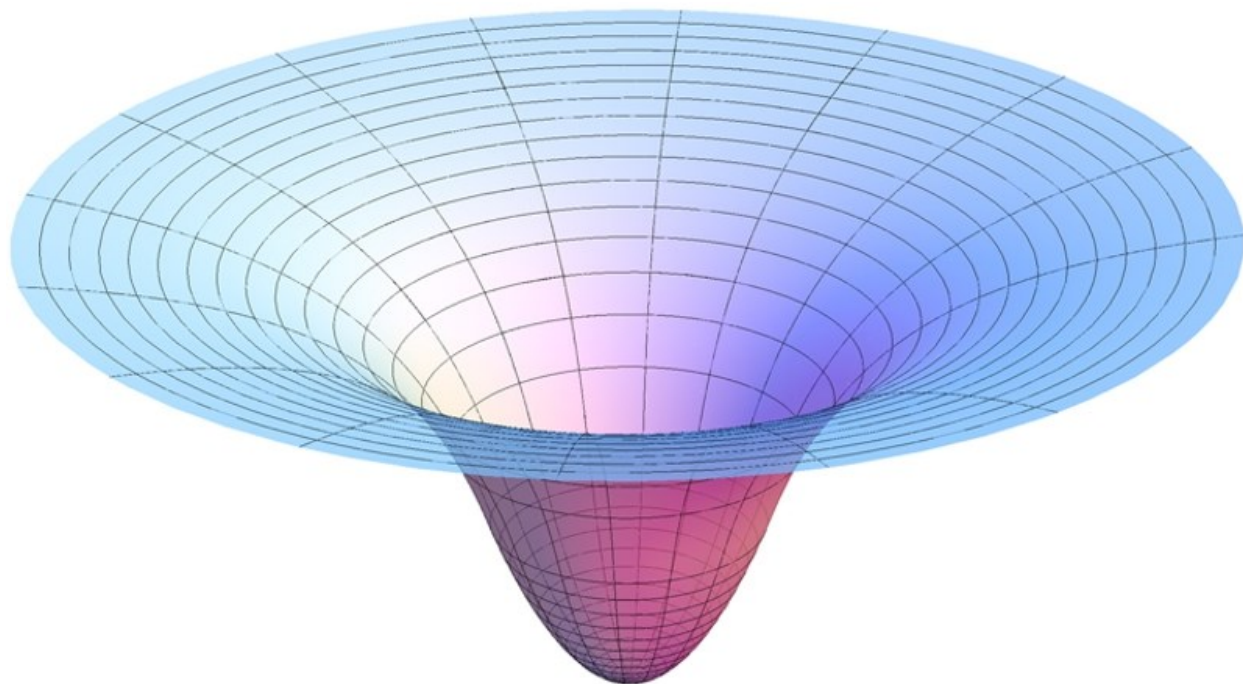
.....

# Câmpul gravitațional

În fizică, un câmp gravitațional este un model folosit pentru a explica influența pe care un corp masiv o extinde în spațiul din jurul său, generând o forță asupra unui alt corp masiv. Astfel, un câmp gravitațional este folosit pentru a explica fenomenele gravitaționale și este măsurat în newtoni per kilogram (N/kg). În conceptul original, gravitația a fost o forță între masele punctuale. După Isaac Newton, Pierre-Simon Laplace a încercat să modeleze gravitația ca un fel de câmp de radiație sau fluid, și din secolul al XIX-lea explicațiile pentru gravitație au fost de obicei predate în termeni de model de câmp, mai degrabă decât ca o atracție punctuală.

Într-un model de câmp, în locul ideii că două particule se atrag reciproc, se consideră că particulele distorsionează spațiu-timp datorită masei lor, iar această distorsionare este ceea ce este perceput și măsurat ca o "forță". Într-un astfel de model se afirmă că materia se mișcă în anumite moduri ca răspuns la curbura spațiului, și că sau nu există nicio forță gravitațională, sau gravitația este o forță fictivă.

## Mecanica clasică



*(Diagrama unei porțiuni bidimensionale a potențialului gravitațional în și în jurul unui corp sferic uniform. Punctele de inflexiune ale secțiunii transversale sunt la suprafața corpului. Sursa: AllenMcC, <https://en.wikipedia.org/wiki/File:GravityPotential.jpg>, CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported license)*

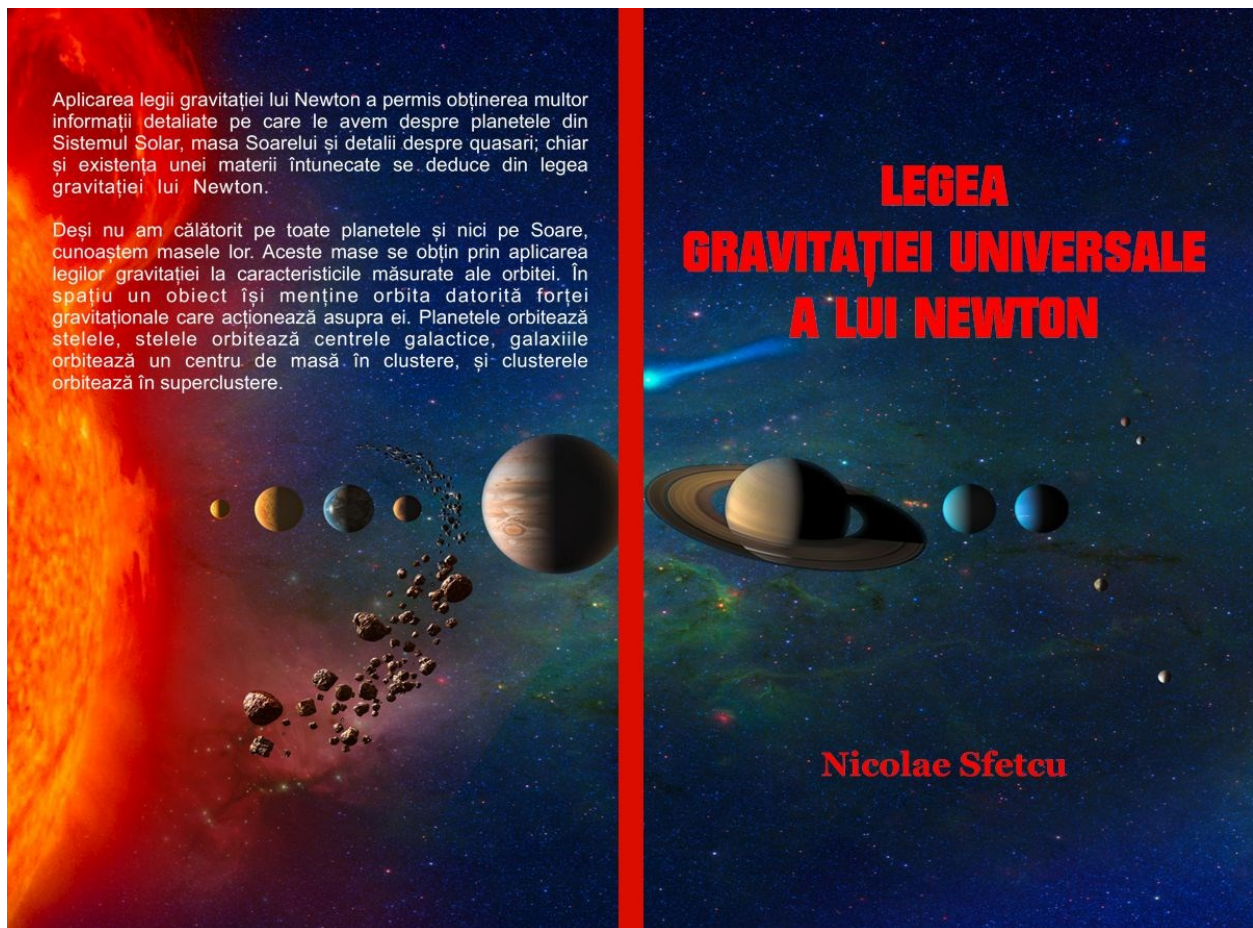
În mecanica clasică, ca și în fizică în general, un câmp gravitațional este o cantitate fizică. Un câmp gravitațional poate fi definit folosind legea lui Newton a gravitației universale. Determinat în acest fel, câmpul gravitațional  $\mathbf{g}$  în jurul unei singure particule de masă  $M$  este un câmp vectorial constând în fiecare punct dintr-un vector direcționat spre particulă. Amploarea

câmpului în fiecare punct este calculată aplicând legea universală a gravitației, și reprezintă forța pe unitate de masă a oricărui obiect în acel punct din spațiu. Deoarece câmpul de forță este conservativ, există o energie potențială scalară pe unitatea de masă,  $\Phi$ , în fiecare punct din spațiu asociat câmpurilor de forță; acest lucru se numește potențial gravitațional.

În mecanica clasică, potențialul gravitațional dintr-o locație este egal cu lucrul mecanic (energia transferată) pe unitatea de masă care ar fi necesară pentru a muta obiectul dintr-o locație de referință fixă în locația obiectului. Este analog cu potențialul electric cu masa jucând rolul sarcinii electrice. Locația de referință, unde potențialul este zero, este, prin convenție, înfinit departe de orice masă, rezultând un potențial negativ la orice distanță finită.

În matematică, potențialul gravitațional este, de asemenea, cunoscut ca potențialul newtonian, și este fundamental în studiul teoriei potențialului. Poate fi folosit și pentru rezolvarea câmpurilor electrostatice și magnetostatice generate de corpuri elipsoidale încărcate uniform sau polarizate.

## Cartea



Nimeni nu știe sigur dacă amintirea lui Newton despre măr a fost corectă, dar perspectiva lui aceasta este. Filosofii au crezut încă de la greci că mișcarea “naturală” a stelelor, planetelor, Soarelui și Lunei este circulară. Kepler a stabilit că orbitele sunt de fapt eliptice, dar a crezut că mișcările planetelor este dictată de către o “forță divină” emanată de la Soare, iar Newton și-a dat seama că aceeași forță care face ca o piatră aruncată să cadă înapoi pe Pământ, ține și planetele pe orbita Soarelui, și Luna pe orbita Pământului.

În 1687, Isaac Newton a publicat Principia, în care face ipoteza legii pătratelor inverse a gravitației universale. Aplicarea legii gravitației lui Newton a permis obținerea multor informații detaliate pe care le avem despre planetele din Sistemul Solar, masa Soarelui și detalii despre quasari; chiar și existența unei materii întunecate se deduce din legea gravitației lui Newton. Deși nu am călătorit pe toate planetele și nici pe Soare, cunoaștem masele lor. Aceste mase se obțin prin aplicarea legilor gravitației la caracteristicile măsurate ale orbitei. În spațiu un obiect își menține orbita datorită forței gravitaționale care acționează asupra ei. Planeta orbitează stelele, stelele orbitează în centre galactice, galaxiile orbitează un centru de masă în grupuri și clusterelor orbitează în superclustere.

Ediția MultiMedia Publishing <https://www.telework.ro/ro/e-books/legea-gravitatiei-universale-lui-newton/>

## Cuprins

### Gravitația

- Istoria teoriei gravitației
- - Revoluția științifică
- - Teoria lui Newton a gravitației
- - Principiul echivalenței
- - Relativitatea generală
- - Gravitația și mecanica cuantică
- Aspecte specifice
- - Gravitația Pământului
- - Ecuațiile pentru un corp care cade aproape de suprafața Pământului
- - Gravitația și astronomia
- - Radiații gravitaționale
- - Viteza gravitației
- Anomalii și discrepanțe

### Istoria teoriei gravitației

- Antichitate
- Era modernă
- - Teoria lui Newton despre gravitație
- - Explicații mecanice ale gravitației
- - Relativitatea generală
- - Gravitația și mecanica cuantică

### Isaac Newton

- Ortodoxia creștină

- Dumnezeu ca maestru creator
- Alte credințe
- Scrieri

#### Legea gravitației universale a lui Newton

- Istorie
- Forma modernă
  - Forma vectorială
  - Comparație cu forța electromagnetică
  - Reticențele lui Newton
- Aspecte problematice
  - Preocupări teoretice privind expresia lui Newton
  - Observații care contravin formulei lui Newton
  - Reticențele lui Newton
  - Soluția lui Einstein

#### Isaac Newton vs. Robert Hooke

- Opera și revendicările lui Hooke
- Opera și revendicările lui Newton
- Recunoașterea lui Newton
- Controversa modernă a priorității
- Schopenhauer despre Newton și Hooke

#### Ațiunea la distanță

- Ipotezele eterului
- Corespondența cu Richard Bentley
- Concluzii

#### Explicarea gravitației prin eter

- Curenți
- Presiune statică

#### Constanta gravitațională universală, $G$

#### Legea inversului pătratului în gravitație

- Formula
- Justificare
- Gravitația

#### Gravitația Pământului

- Ecuațiile pentru un corp în cădere în apropiere de suprafața Pământului

#### Greutatea și imponderabilitatea

- Greutatea în mecanica newtoniană
- Istorie
  - Newton
- Relativitatea

#### Mareele și gravitația

- Caracteristici
- Constituienți
- Istoria fizicii mareelor
- Forțe
- Ecuațiile de maree ale lui Laplace
- Mareele oceanelor



- - Amplitudine și ciclu
- - Batimetrie
- Marea Pământului
- - Forța fluxului
- - Marea corporală
- - Ceilalți contribuabili ai mareelor Pământului
- Marea atmosferei Pământului
- - Caracteristici generale
- Mareae lunare
- - Componenta principală lunară semi-diurnă
- Câmpul gravitațional
- Mecanica clasică
- Gravitația în interiorul unei planete (Teorema carcasei)
- Dovezile lui Newton
- - Forța pe un punct în interiorul unei sfere goale
- Modelul preliminar de referință al pământului (PREM)
- Referințe
- Despre autor
- Nicolae Sfetcu
- - De același autor
- - Contact
- Editura
- MultiMedia Publishing

## **Despre autor**

### **Nicolae Sfetcu**

Asociat și manager MultiMedia SRL și Editura MultiMedia Publishing.

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

Coordonator de proiect European Teleworking Development Romania (ETD)

Membru al Clubului Rotary București Atheneum

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

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

Membru al Internet Society

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

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

## Contact

Email: [nicolae@sfetcu.com](mailto:nicolae@sfetcu.com)

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

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

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

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

# Editura

## MultiMedia Publishing

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

Tel./ WhatsApp: 0040 745 526 896

Email: [office@multimedia.com.ro](mailto:office@multimedia.com.ro)

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

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

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

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

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