

SURSE DE RADIATII SI TEHNICI DE PROTECTIE

Prof. Dr. Radu Fecete

Cursul 1 Universul. Terra. Originea stelara și abundența elementelor

Energie, materie, masa, unitatea și diversitatea naturii, structura atomică, elemente

Materia și energia în univers

Relativ recenta punere în funcțiune a acceleratorului de particule din Geneva ne-a demonstrat de cât de multă energie este nevoie pentru a crea o cantitate mică de materie. De fapt, încă de la începutul secolului XX se cunoaște cu exactitate cantitatea de energie necesară creerii materiei și care este dată de celebra ecuație a lui Albert Einstein „ $E = mc^2$ ”, unde E reprezintă energia, m masa de repaus și c viteza luminii în vid. Practic această formulă a deschis drumul pentru producerea artificială de energie nucleară, dar este valabilă pentru orice proces din acest univers. Pentru a avea o imagine mai clară a cât de mult înseamnă aceasta energie putem să luăm exemplul, descris de N. Calder în *Universul Magic*¹, unui copil nou născut cu masa de 3 kg și pentru care ar fi nevoie de o energie echivalentă cu aceea dezvoltată de un uragan timp de o oră sau produsă de o centrală electrică timp de un an iar dacă ar trebui ca părinții să cumpere această energie atunci ar trebui să plătească un miliard de dolari.

Până la momentul de scriere a lui Einstein masa, considerată ca măsură a inerției corpurilor, a fost un concept total diferit de energie și care se manifesta ca energie de mișcare, de combustie chimică, de transfer sub forma de caldura, potentiala ca de exemplu aceea a apei care cade într-o turbină, energie electrică, radiantă, etc. Energia termică a fost asociată cu corpurile *calde*, iar unele dintre corpurile cele mai calde, stelele, au și o masă enormă. Omenirii i-au trebuit destul de mult timp pentru a-și da seama că există o cantitate enormă de energie înmagazinată și în corpurile reci. În 1905 Einstein scria: „masa unui corp este o măsură a conținutului său energetic”.

Dacă ne întrebăm cum se poate elibera energia stocată în elemente atunci, de exemplu pentru un nucleu radioactiv se știe că masa totală a produșilor materiali rezultați este mai mică decât masa inițială a nucleului care se dezintegrează. Diferența este cedată particulelor expulzate din nucleu sub forma de energie cinetică sau se regăsește ca energie radiantă a radiațiilor gama. Un alt mecanism de obținere a energiei care funcționează foarte bine în stele, dar care nu a fost încă pus la punct pe Pământ, este acela bazat pe fuziunea nucleară. De exemplu, în procesul de fuziune a hidrogenului în heliu, nucleul unui atom de heliu este ceva mai ușor decât cele patru nuclee de hidrogen necesare să fuzioneze pentru obținerea sa. Astfel s-a calculat că în fiecare secundă Soarele nostru transformă aproximativ 7×10^8 tone de hidrogen în aproximativ 6.95×10^8 tone de heliu iar restul se regăsește sub forma a 5 milioane tone de energie radiantă¹. La o astfel de *revarsare* de energie ne întrebăm cum de nu asistăm

la o explozie a Soarelui. Secretul constă în masa enormă a acestuia și a faptului că la scara planetară forțele de atracție gravitaționale sunt și ele enorme. De fapt la scala întregului univers aceste forțe de atracție gravitațională datorate masei sistemelor solare sau chiar a galaxiilor sunt cele care guvernează evoluția universului.

Unitatea și diversitatea naturii

Suntem *praf de stele*. Este o afirmație care apare în literatura SF a lui Isaak Asimov dar care este nu mai puțin adevărată. Într-adevăr cea mai mare parte dintre elementele chimice existente pe Pământ s-au format în urma activității explozive de formare a stelelor din galaxia noastră în urma cu mai mult de 4.55×10^9 ani (varsta Pământului)^{1,3} sau ca urmare a morții unei stele, explozia unei supernove³. Sir Martin Rees, profesor la Universitatea Cambridge și detinator al titlului de Astronom Regal explică astfel formarea elementelor în stele: Atunci când tot hidrogenul din centrul unei stele mari s-a transformat în heliu, miezul acesteia se comprimă până când heliul însuși poate interacționa. Atunci când tot heliul, la rândul lui s-a consumat steaua se contractă și se încălzește și mai mult și procesul se repetă. Stele precum Soarele nu ajung să aibă un miez suficient de fierbinte pentru ca acest proces de transmutații să meargă prea departe, dar centrele unor stele mai grele pot să atingă și un miliard de grade. Acestea eliberează energie prin procesele de fuziune a carbonului și se agunge la producerea oxigenului, neonului, sodiului, etc până se ajunge la formarea nucleului de fier, care legat mai strans decât oricare alt nucleu. Pentru formarea de nuclee mai grele în loc să se producă energie aceasta trebuie să fie consumată. Atunci când miezul de fier depășește un anumit prag, gravitația câștigă competiția împotriva reacțiilor termonucleare iar miezul stelei suferă o implozie și se ajunge la formarea unei stele neutronice care eliberează suficientă energie printr-o explozie fantastică și care duce la apariția unei supernove. În timpul acestei explozii temperatura crește suficient de mult pentru a se forma urme ale altor elemente până la uraniu³.

Există în natură 92 de specii de atomi, primul fiind hidrogenul a cărui nucleu conține un proton și se termină cu uraniul care are 92 de nucleoni. Nuclee mai grele cu sarcini electrice până la 114 au fost create în laborator, toate fiind instabile la procesul de fisiune nucleară. Plutoniul, care are numărul de ordine 94 are un timp de viață de mii de ani, dar alte elemente au timpuri de viață extrem de scurte. În comparație se consideră că vârsta unei galaxii este de ordinul 10 miliarde de ani (10^{10} ani), vârsta sistemului solar este de 4.55 miliarde de ani (și se estimează că va mai exista încă 5 miliarde de ani), iar durata medie a nucleului de ^{238}U este de 4.24 miliarde de ani. Durata medie de viață a atomului de ^{14}C , folosit pentru datări, este de aproximativ 6000 de ani. Atomii unui element pot exista în mai multe varietăți, numite

izotopi, și care diferă prin numărul de neutroni. Acești atomi și izotopii lor se găsesc peste tot în univers dar combinațiile acestora sunt atât de multe încât formează diverse structuri ale materiei organice și anorganice. Astfel numai pe Pământ se consideră că sunt nu mai puțin de 8.7 milioane de specii din care 7.7 milioane de specii de animale. Diversitatea este atât de mare încât speciile și subspeciile pot fi catalogate în ordine în genuri, triburi, subfamilii, familii, ordine, cohorte, clase, filum și apoi în regnuri. Astfel omul aparține regnului: animalia; încrengătura: chordata; clasa: mammalia, ordinul: primata; familia: hominidae; genul: Homo; specia: Homo sapiens; subspecia: Homo sapiens sapiens.

Elemente și compusi

Disputa privind limita la care putem ajunge într-un proces de descompunere a materiei a început încă în secolul al V-lea î.Hr. în Grecia antică, și tot atunci a luat naștere și conceptul de atom: “ca cea mai mică parte dintr-o substanță”; atom în greacă însemnând “indivizibil”. Această idee a fost reluată în secolele XVII și XVIII în timpul revoluției științifice și a fost pe deplin consolidată în secolul al XIX-lea, atunci când au apărut tot mai multe dovezi legate de existența atomilor și moleculelor. Astfel, chimistul englez John Dalton (n. 6 septembrie 1766 — d. 27 iulie 1844), a definit atomul ca fiind cea mai mică parte a unei substanțe care poate intra într-o reacție chimică⁴. El a observat că oxigenul și hidrogenul se pot combina în proporții diferite dar bine definite în funcție de compusul final. Dalton a elaborat primul tabel comparativ al elementelor în care ordinea în care apar atomii a fost bazată strict pe masa atomică. Mai târziu, în 1869 chimistul rus Dimitri Ivanovich Mendeleev (n. 27 ianuarie 1834— d. 20 ianuarie 1907) a elaborat sistemul periodic al elementelor unde a clasificat atomii după masa atomică dar i-a grupat și după anumite proprietăți comune (vezi Fig. 1).

Mendeleev considera masa atomică singurul element caracteristic esențial și a propus sistemul periodic al elementelor prin completarea celor 61 de elemente cunoscute la acea dată dar a avut și o intuiție salutară lasând loc liber pentru alte elemente care urmează să fie descoperite. Sistemul periodic modern cuprinde peste 114 de elemente, 92 dintre ele se găsesc în stare naturală iar restul fiind deja produse în laborator. Ordinea în sistemul periodic este dată acum de numărul atomic, care este numărul de protoni dintr-un element (și pentru a se păstra neutralitatea atomului este și numărul de electroni) și nu de masa atomică, la care contribuie și numărul de neutroni.

TABELUL PERIODIC AL ELEMENTELOR
(CONFORM RECOMANDĂRILOR IUPAC)

numărul atomic → 1 ← configurația electronică

Simbolul (stare solidă, lichidă, gazoasă) → H ← denumirea elementului

masa atomică → 1,008 ← raza atomului Å

temperatura de topire °C → 0,00

GRUPA 1 (I A) 2 (II A) 3 (III B) 4 (IV B) 5 (V B) 6 (VI B) 7 (VII B) 8 (VIII B) 9 (VIII A) 10 (VIII B) 11 (I B) 12 (II B) 13 (III A) 14 (IV A) 15 (V A) 16 (VI A) 17 (VII A) 18 (VIII A)

1 (I A) H 1,008 HIDROGEN 2 (II A) He 4,003 HELIU

3 (III A) B 10,81 BOR 4 (IV A) C 12,01 CARBON 5 (V A) N 14,01 AZOT 6 (VI A) O 15,99 OXIGEN 7 (VII A) F 18,99 FLUOR 8 (VIII A) Ne 20,18 NEON

9 (II B) Li 6,941 LITIU 10 (I B) Be 9,012 BERILIU 11 (II B) Na 22,99 SODIU 12 (II B) Mg 24,31 MAGNEZIU 13 (III A) Al 26,98 ALUMINIU 14 (IV A) Si 28,09 SILICIU 15 (V A) P 30,97 FOSFOR 16 (VI A) S 32,07 SULFUR 17 (VII A) Cl 35,45 CLOR 18 (VIII A) Ar 39,95 ARGON

19 (II B) K 39,10 POTASIU 20 (I B) Ca 40,08 CALCIU 21 (III B) Sc 44,96 SCANDIU 22 (IV B) Ti 47,88 TITAN 23 (V B) V 50,94 VANADIU 24 (VI B) Cr 51,99 CROM 25 (VII B) Mn 54,94 MANGAN 26 (VIII B) Fe 55,85 FIER 27 (VIII B) Co 58,93 COBALT 28 (VIII B) Ni 58,69 NICHEL 29 (VIII B) Cu 63,54 COPR 30 (VIII B) Zn 65,38 ZINC 31 (III A) Ga 69,72 GALIU 32 (IV A) Ge 72,64 GERMANIU 33 (V A) As 74,92 ARSEN 34 (VI A) Se 78,96 SELEN 35 (VII A) Br 79,90 BROM 36 (VIII A) Kr 83,80 KRIPTON

37 (II B) Rb 85,47 RUBIDIU 38 (I B) Sr 87,62 STRONTIU 39 (III B) Y 88,91 ITRIU 40 (IV B) Zr 91,22 ZIRCONIU 41 (V B) Nb 92,91 NIOBIU 42 (VI B) Mo 95,94 MOLIBDEN 43 (VII B) Tc 98,91 TEHNICIU 44 (VIII B) Ru 101,07 RUTENIU 45 (VIII B) Rh 102,91 RIODIU 46 (VIII B) Pd 106,36 PALADIU 47 (VIII B) Ag 107,87 ARGINT 48 (VIII B) Cd 112,41 CADMIU 49 (III A) In 114,82 INDIU 50 (IV A) Sn 118,71 STANIU 51 (V A) Sb 121,75 STIBIU 52 (VI A) Te 127,60 TELUR 53 (VII A) I 126,90 IODIU 54 (VIII A) Xe 131,29 XENON

55 (II B) Cs 132,91 CESIU 56 (I B) Ba 137,34 BARIU 57-71 (III B) LANTANIDE 72 (IV B) Hf 178,49 HAFNIU 73 (V B) Ta 180,94 TANTAL 74 (VI B) W 183,85 WOLFRAM 75 (VII B) Re 186,21 RENIU 76 (VIII B) Os 190,23 OSMIU 77 (VIII B) Ir 192,22 IRIU 78 (VIII B) Pt 195,08 PLATINA 79 (VIII B) Au 196,97 AUR 80 (VIII B) Hg 200,59 MERCUR 81 (III A) Tl 204,38 TALIU 82 (IV A) Pb 207,20 PLOUMB 83 (V A) Bi 208,98 BISMUT 84 (VI A) Po (209) POLONIU 85 (VII A) At (210) AESTATIU 86 (VIII A) Rn (222) RADON

87 (II B) Fr 223,02 FRANCIU 88 (I B) Ra 226,02 RADIU 89-103 (III B) ACTINIDE 104 (IV B) Rf 261,10 RIFORMIU 105 (V B) Db 262,10 DUBNIU 106 (VI B) Sg 263,10 SEABORGIU 107 (VII B) Bh 264,10 BOHRIU 108 (VIII B) Hs 265,10 HASIUM 109 (VIII B) Mt 266,10 MITHENIUM 110 (VIII B) Ds 271,10 DARTMOUTH 111 (VIII B) Rg 272,10 ROENTGIUM 112 (VIII B) Uub 285,10 UNUNBIU 113 (III A) Uut 284,10 UNUNTRIUM 114 (IV A) Uuq 285,10 UNUNQUADRIUM 115 (V A) Uup 288,10 UNUNPENTIU 116 (VI A) Uuh 289,10 UNUNHEXIU 117 (VII A) Uus 289,10 UNUNSEPTIU 118 (VIII A) Uuo 289,10 UNUNOCTIU

57 (III B) La 138,91 LANTAN 58 (IV B) Ce 140,12 CERIU 59 (V B) Pr 140,91 PRASEODIM 60 (VI B) Nd 144,24 NEODIM 61 (VII B) Pm 144,91 PROMETIU 62 (VIII B) Sm 150,36 SAMARIU 63 (VIII B) Eu 151,96 EUROPIU 64 (VIII B) Gd 157,25 GADOLINIU 65 (VIII B) Tb 158,93 TERBIU 66 (VIII B) Dy 162,50 DIPSIDIU 67 (VIII B) Ho 164,93 HOLMIU 68 (VIII B) Er 167,26 ERBIU 69 (VIII B) Tm 168,93 TULIU 70 (VIII B) Yb 173,05 YTERBIU 71 (VIII B) Lu 174,96 LUTETIU

89 (III B) Ac 227,03 ACTINIU 90 (IV B) Th 232,04 TANDIU 91 (V B) Pa 231,04 PROTACTINIU 92 (VI B) U 238,03 URANIU 93 (VII B) Np 237,04 NEPTUNIU 94 (VIII B) Pu 244,06 PLUTONIU 95 (VIII B) Am 243,06 AMERICIU 96 (VIII B) Cm 247,07 CURMIU 97 (VIII B) Bk 247,07 BERKELIU 98 (VIII B) Cf 251,08 CALIFORNIU 99 (VIII B) Es 252,08 ESTONIUM 100 (VIII B) Fm 257,10 FERMIU 101 (VIII B) Md 258,10 MENDELIUV 102 (VIII B) No 259,10 NOBELIU 103 (VIII B) Lr 260,10 LAWRENCIU

blocul de elemente s blocul de elemente d blocul de elemente p metale → nemetale

LANTANIDE ACTINIDE blocul de elemente f

Figura 1 Tabelul periodic al elementelor așa cum îl cunoaștem astăzi.

Proprietățile chimice de bază a fiecărui element sunt date de structura electronilor, pentru că cei care iau parte la reacțiile chimice și care duc la formarea de compusi sunt electronii. Cu cât electronii sunt mai puternic legați de protoni cu atât atomul este mai puțin reactiv și viceversa. Descrierea corectă a comportării electronilor într-un atom se poate face doar apelând la mecanica cuantică dar la un nivel de descriere simplu putem considera că electronii înconjoară nucleul și sunt dispuși pe straturi (sau nivele) și substraturi (sau subnivele). Reprezentarea de straturi și substraturi este de obicei folosită la reprezentările simpliste în spațiu iar nivelele și subnivelele se referă de obicei la energia electronilor. Numărul de electroni dintr-un strat (nivel) este limitat crescând cu creșterea energiei sau a poziției stratului. Datorită proprietății de spin într-un nivel energetic electronii pot să fie cuplați sau necuplați, iar straturile pot să fie complete sau incomplete. Astfel de exemplu, gazele inerte (ca Ne - grupul) au straturile complet ocupate fără loc pentru alți electroni în vreme ce metalele alcaline (ca Na – natriul sau sodiul) au un singur electron pe ultimul strat cu electroni. În felul acesta putem explica de ce Ne care are numărul atomic 10 nu este alături de Na cu numărul atomic 11 ci se află la capetele sistemului periodic în grupele 18 și respectiv 1 dar cu un rând mai jos⁴.

Nivele de organizare a materiei

Unul din obiectele de studiu al fizicii este și acela legat de structura materiei, de nivelul de organizare a acesteia de la cel mai mare la cel mai mic. Astfel se considera ca diametrul universului este de $\sim 10^{26}$ m adică $\sim 10^{10}$ ani lumina. Universul vizibil este format din roiuri de galaxii, iar diametrul mediu al unei galaxii este $\sim 10^{21}$ m adică $\sim 10^5$ ani lumina. Galaxia noastră se apreciază ca are aproximativ 2×10^{11} stele. Diametrul sistemului nostru solar este 1.2×10^{13} m (aici este inclusă și fosta planetă Pluto), al Soarelui 1.4×10^9 m iar al Pământului².

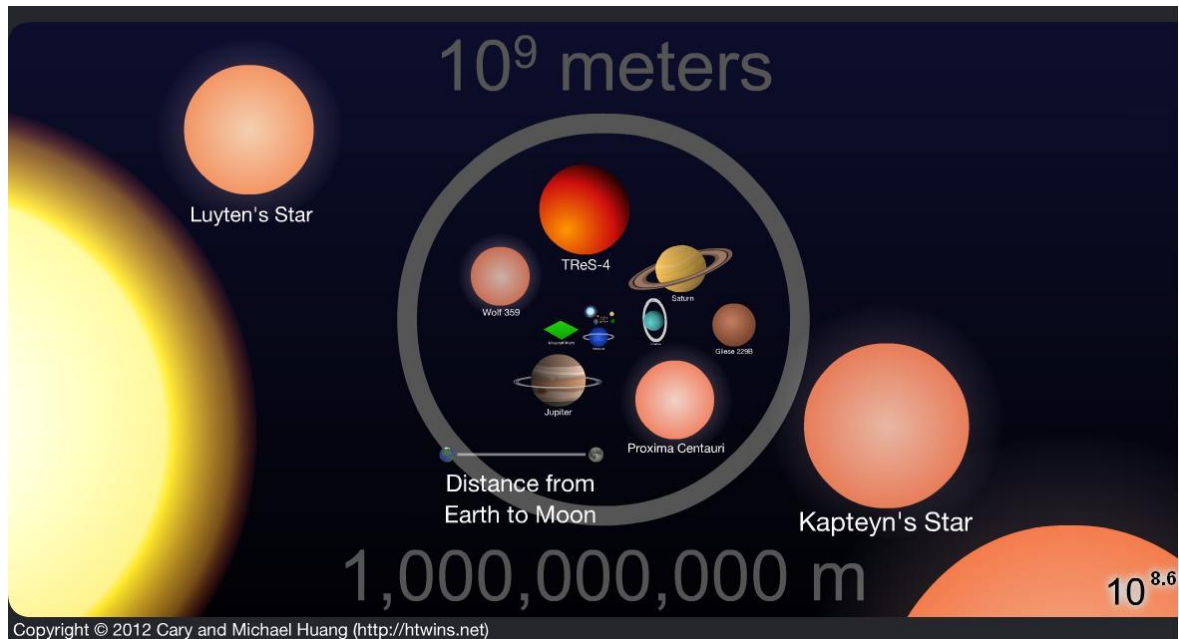


Figura 2 Sistemul solar comparat.

Substanța din univers, caracterizată cel mai ușor de numărul de nucleoni (neutroni și protoni) și nu de atomi pentru că aceasta se găsește în cea mai mare parte sub formă de plasmă este de ordinul de mărime $10^{80 \pm 2}$. Se apreciază că în soare ar fi un număr de 10^{57} nucleoni, iar într-o planetă locuită de oameni ar exista 4×10^{51} nucleoni.

La un alt nivel creațiile umane dintre cele mai mari au ordinul de mărime a câtorva metri până la sute de kilometri așa cum ar fi autostrazile moderne sau marele zid chinezesc. Astfel înălțimea turnului Eiffel este de 320 m, a mării piramide din valea regilor este de 150 m, a statuii libertății din New York este de 93 m, iar a stației spațiale internaționale este de 108 m în timp ce modul lunar Apollo avea numai 9 m. Lungimea unui Boeing 747 este de 70 m iar a rachetei Saturn V este de 110 m (vezi Fig. 2).

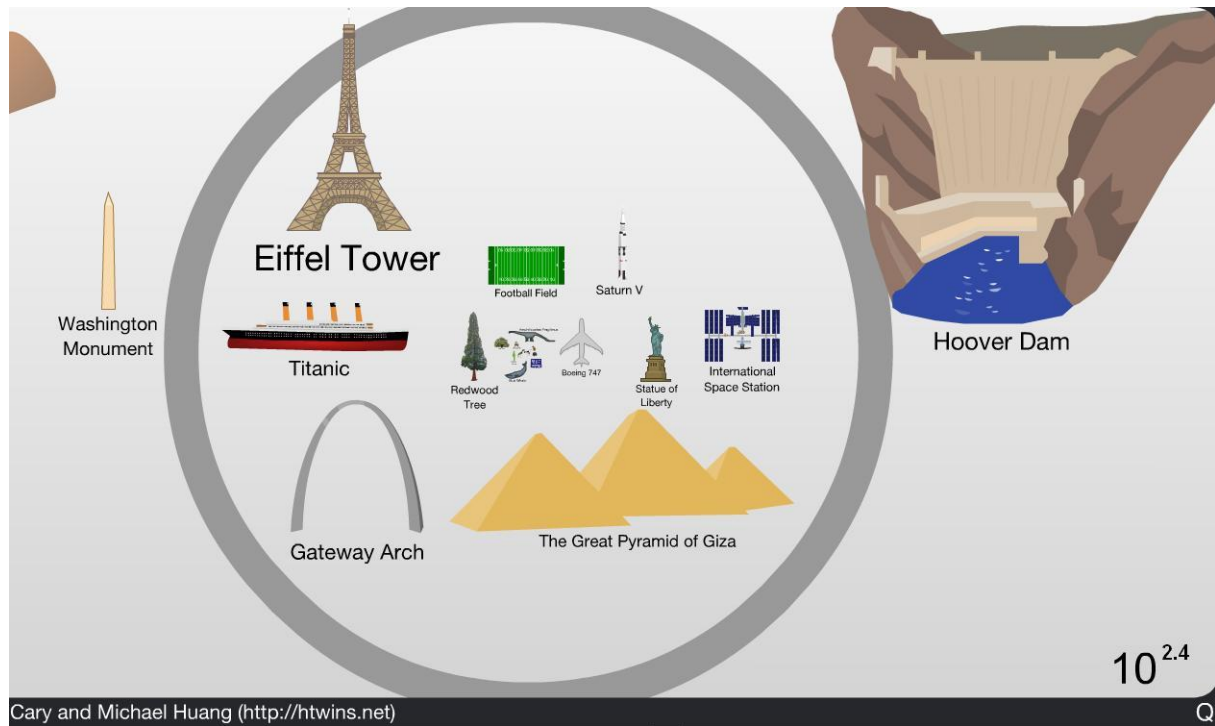


Figura 3 Compararea unora din cele mai impresionante construcții rezultate în urma activității umane cu câteva din creațiile naturii.

La un nivel de ordinul metrilor este corpul unui om adult dar și cea mai mare floare din lume *Rafflesia* în timp ce viermele de pământ gigant poate ajunge la 3 m lungime. Tot la 3 m poate să ajungă anvergura aripilor unui albatros, dimensiunile unui crab jaonez, la 5 m înălțime poate să ajungă un elefant în timp ce înălțimea unei plante de floarea soarelui poate să ajungă la 2.5 m. Înălțimea unui *Tyranosaurus Rex* a fost estimată la 7 m în timp ce lungimea celui mai mare dinozaur cunoscut, *Amphilicoelias Fragilimus*, a fost de 60 m.

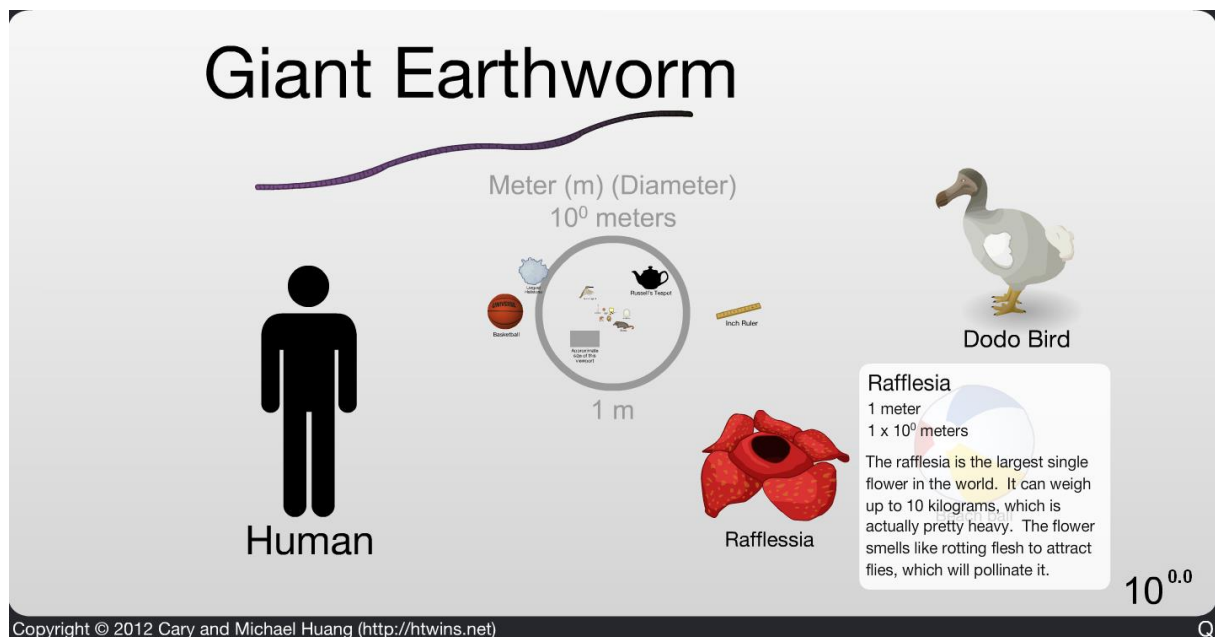


Figura 4 Câteva exemple de organizare a materiei la dimensiunea corpului uman adult.

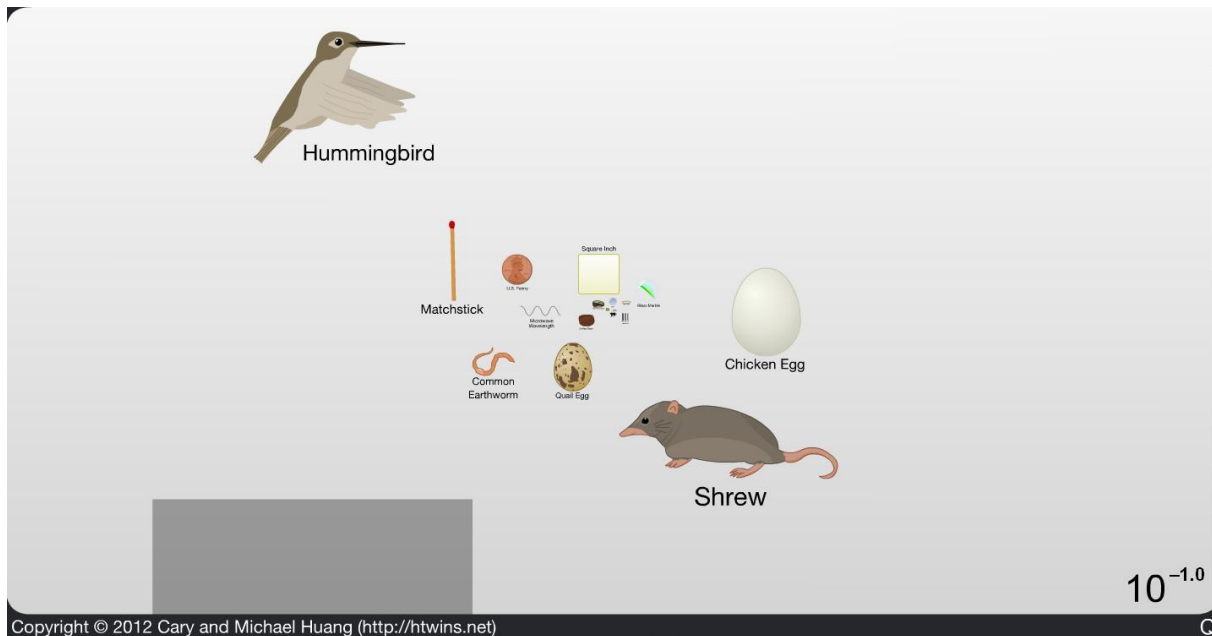


Figura 5 Cateva exemple de organizare a materiei de ordinul centrimetrilor.

La un alt nivel de organizare observăm cea mai mică pasare, Colibri de 10 cm și care poate să bata din aripi de 12-80 de ori pe secunda. Un ou de găina are 5.5 cm iar o boaba de cafea este de ordinul a 1 cm, în timp ce dimensiunea unei furnici este de 4 mm. Un firicel de nisip este de ordinul a 0.5 mm iar cea mai mare bacterie are 750 μm sau 7.5×10^{-4} m iar un graunte de sare are cam 200 μm . Cel mai mic punct care poate să fie observat cu ochiul uman este de ordinul de mărime a 100 μm o dimensiune apropiată de aceea a ovulului uman (120 μm). Un exemplu de celulă care nu mai poate fi observată fără ajutorul microscopului este aceea a unei celule de piele 35 μm . Dimensiunea leucocitelor este de ordinul a 10 μm iar a celulelor roșii 7 μm .

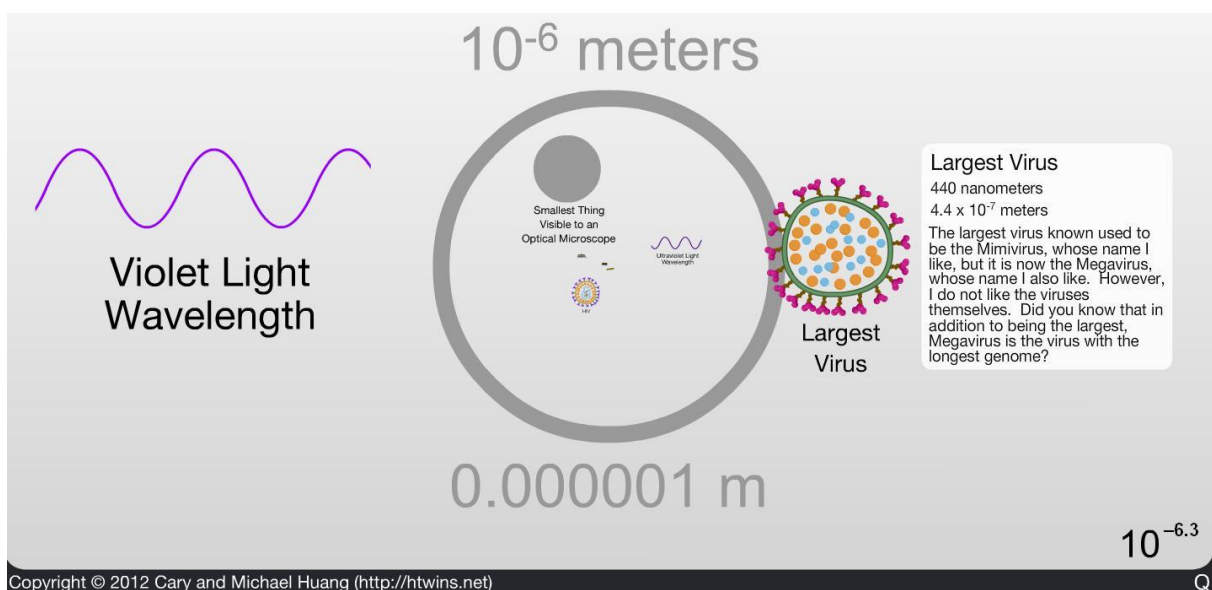


Figura 6 Cateva exemple de organizare a materiei de ordinul sub micrometrilor.

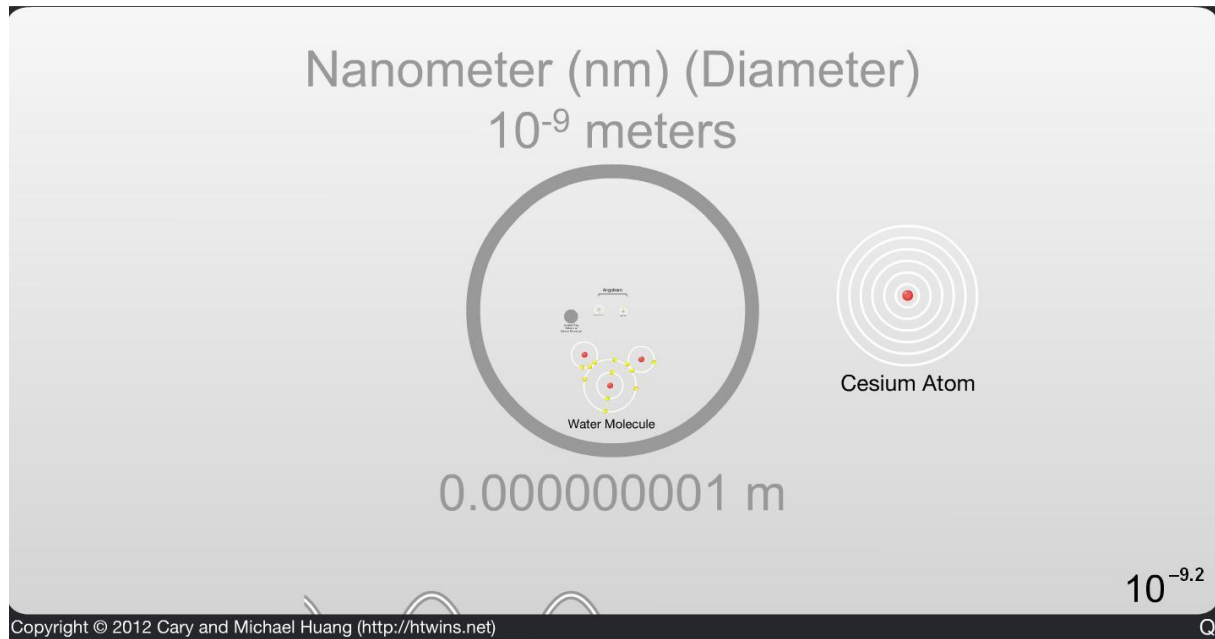


Figura 7 Cateva exemple de organizare a materiei de ordinul nanometrilor.

Mai mică decât un cromozom de $4 \mu\text{m}$ este bacteriia E-coli care are numai $2 \mu\text{m}$. Lungimea de undă a luminii de culoare roșie poate să aiba $0.75 \mu\text{m}$ sau 750 nm . Cel mai mare virus (Mimivirus – vezi Fig. 5) are 440 nm în timp ce cel mai mic obiect vizibil cu microscopul optic este de ordinul a 200 nm . Mai mic decât aceasta valoare este virusul HIV care are 90 nm în timp ce o poarta a unui tranzistor modern are numai 25 nm . Diametrul acidului dezoxiribonucleic (ADN-ul) are 3 nm și poate conține $10^8 - 10^{10}$ atomi. Cam de aceeași dimensiune sunt fosfolipidele (2.5 nm) lipide care sunt constituite membranele celulare. Diametrul atomului de Cs este de $2.3 \times 10^{-10} \text{ m}$ sau 2.3 \AA în timp ce dimensiunea moleculei de apă este de 2.8 \AA . Cel mai mic punct vizibil cu ajutorul microscopului electronic este de 0.5 \AA deci nu mai putem observa un atom de hidrogen care are 31 pm sau $31 \times 10^{-12} \text{ m}$. Uraniul, care este cel mai mare element natural are diametrul nuclear de 15 fm sau $15 \times 10^{-15} \text{ m}$ în timp ce nucleul atomului de heliu are numai $3 \times 10^{-15} \text{ m}$, iar diametrele protonilor și a neutronilor este de $1 \times 10^{-15} \text{ m}$. Deși neconfirmate se considera că domeniul de acțiune a forțelor slabe este de 10^{-17} m iar dimensiunea unui quark ar fi de 10^{-18} m . Un neutrino (ν) de înaltă energie ar avea dimensiunea de $1.5 \times 10^{-20} \text{ m}$ iar al unui neutrino obișnuit, care poate să treacă nestingherit prin materie este de $\sim 10^{-24} \text{ m}$. În sfârșit cea mai mică dimensiune posibilă (descrisă de principiul de incertitudine a lui Heisenberg) este aceea dată de lungimea Planck. La această dimensiune se considera că ar acționa cei mai mici constituenți ai materiei cum ar fi corzile (vezi string theory) care sunt elemente uni-dimensionale, sau membranele. Tot la această scală de mărime se considera că universul are mai multe dimensiuni ascunse de unde și conceptul de p-brane.