

# SPUMA CUANTICĂ ȘI ANAXIMANDRU

Roman Chirilă

roman.chirila@ici.ro

Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare în Informatică, ICI, București

**Rezumat:** Dacă aruncăm o privire la o scară de o zecime de milionime dintr-o miliardime de metru ( $10^{-16}$ ), ceea ce reprezintă dimensiunile unui proton, și o scară de timp de ordinul unei milionimi dintr-o miliardime ale unei miliardimi de secundă ( $10^{-24}$ ), adică mai puțin decât i-ar trebui luminii să traverseze un proton, atunci vom observa o agitație frenetică a particulelor elementare, niște fluctuații cuantice care conferă o anumită vigoare acestui micro-univers, efecte care lipsesc la nivel macroscopic. La o scară și mai mică, la dimensiuni Planck ( $10^{-33}$  cm) și timp Planck ( $5 \times 10^{-44}$  s, adică timpul necesar luminii să parcurgă o lungime Planck), reprezentările noastre obișnuite despre timp și spațiu își pierd subit valabilitatea, ceea ce rămâne fiind o *spumă cuantică*, un soi de haos a unei geometrii ciudate a spațiu-timpului.

*Spuma cuantică* reprezintă textura universului nostru, dar care nu poate fi observată din cauza micimii sale. De asemenea, spuma cuantică este considerată teoretic a fi formată din particule virtuale de energie foarte înaltă care apar pentru un timp extrem de scurt și dispar apoi prin anihilare, în urma interacțiilor dintre particule. Aceste fluctuații ale vidului cuantic modifică proprietățile vidului, conferindu-i acestuia o energie diferită de zero, cunoscută și sub denumirea de energia vidului, sau Zero Point Energy. Ceea ce este cu adevărat remarcabil este faptul că teoria cuantică a câmpului prezice o valoare infinită a acestui vid cuantic. Prin urmare, vidul nu este un spațiu gol, ci dimpotrivă o enormă sursă de energie. În lucrarea de față sunt prezentate efectul Casimir și alte efecte, ca dovezi experimentale ale existenței acestui vid cuantic. Pe de altă parte, Max Born, comentând relațiile de incertitudine ale lui Heisenberg, a ajuns la ideea că particulele elementare din mecanica cuantică pot fi privite ca stări cuantice diferite ale aceleiași *substanțe primordiale*, numite *apeiron*, după Anaximandru, care a postulat-o în urmă cu peste două mii de ani.

În lucrarea de față sunt prezentate evidentele similitudini dintre *spuma cuantică* și *apeiron*-ul lui Anaximandru. Poate că printre aceste idei, putem descoperi mecanismul intim de formare a universului nostru. Prin urmare, n-ar trebui să ne întoarcem la *apeiron*?

**Cuvinte cheie:** lungimea Planck, timpul Planck, spuma cuantică, fizica cuantică, fluctuațiile vidului, energia punctului zero, *apeiron*-ul lui Anaximandru, efectele Casimir, Lamb, Delbrück, Unruh.

**Abstract:** When we take a look at a bit of space 1 ten-millionth of a billionth of a meter ( $10^{-16}$ ), which is within the dimensions of the single proton, and a speck of time 1 millionth of the billionth of the billionth of a second ( $10^{-24}$ ), which is less time than it takes light to go from one side of the proton to the other, we'll observe an expected frenzied dance of particles, the quantum fluctuations that give an strong vigor to the world of the very small. But such effects on the large scale of space and time we see nothing but glassy smooth aspect. When we go deeper and deeper, at the Planck length ( $10^{-33}$  cm) and Planck time ( $5 \times 10^{-44}$  s, i. e. the time needed for light to move through one Planck length) our ordinary ideas of length and time would evaporate remaining a *quantum foam* state as a kind of chaos of weird space-time geometries.

Quantum foam is considered to be the fabric of the Universe, but cannot be observed yet because it is too small. Also, quantum foam is theorized to be created by virtual particles of very high energy, arising briefly and then annihilating during particle interactions. These "vacuum fluctuations" affect the properties of the vacuum itself, giving it a nonzero energy known as vacuum energy or Zero-Point Energy. One of the most interesting aspects of vacuum energy is that, calculated in quantum field theory, it is infinite! Therefore, this finding implies that the vacuum of space is not an empty space but could be an enormous source of energy. The existence of quantum vacuum can be proved experimentally. The Casimir effect and other effects are also described in the paper. On the other hand, Max Born, in commenting upon Werner Heisenberg's arriving at the idea that the elementary particles of quantum mechanics are to be seen as different quantum states of one and the same primordial substance proposed that this primordial substance to be called *apeiron* as well as Anaximander postulated it with over two thousand years ago.

*Anaximander* was a pre-Socratic Greek philosopher who belonged to the Milesian school and learned the teachings of his master Thales. In physics, his postulation that the *apeiron* (indefinite, infinite, or limitless) was the source of all things led Greek philosophy to a new level of conceptual abstraction for the first time in history. Anaximander understood the beginning or first principle to be an endless, unlimited primordial mass (*apeiron*), subject to neither old age nor decay, that perpetually yielded fresh materials from which everything we perceive is derived. Physicist Carl Sagan claims that he conducted the earliest recorded scientific experiment.

In the present paper the obvious similarities between *quantum foam* and Anaximander's *apeiron* are discussed. Perhaps among these ideas we can find out how the Universe came into being. So, should we back to the *apeiron*?

**Keywords:** Planck length, Planck time, quantum foam, femtophysics, vacuum fluctuations, zero point energy, Anaximander's *apeiron*, Casimir, Lamb, Delbrück, Unruh effects.

## 1. Introducere

Într-un univers Planck, în care lungimea Planck este de  $1,61 \times 10^{-33}$  cm și timpul Planck de  $5,36 \times 10^{-44}$  secunde, vorbim despre *vid cuantic* [1]. La aceste dimensiuni este greu de imaginat ce anume mai rămâne din aparenta tridimensionalitate a lumii macroscopice newtoniene, sau din apriorismele sensibilității umane de tip kantian. Când vorbim despre *vid*, reprezentarea instinctivă este cea de *gol*, de nimic, de absență a oricărei urme materiale. Această reprezentare paradigmatică este și ea o consecință a mecanicii newtoniene, a unui context macroscopic, la scară umană, când o experiență ca cea efectuată de către Otto von Guericke, în anul 1640, devine mai mult decât elocventă: prin evacuarea aerului dintr-o sferă cu ajutorul unei pompe de aer, el a dovedit că există *vid*. Altfel spus, dacă scoatem dintr-o sferă, într-un fel oarecare, toate moleculele de aer, rămâne un spațiu *gol*, lipsit de aer, plin cu nimic și pe care îl numim *vid*.

Dar ce fel de vid avem, dacă scoatem aerul dintr-o incintă?

Răspunsul la această întrebare a condus ulterior la dezvoltarea diverselor tehnici de obținere a vidului și a instrumentarului de măsurare, de rafinare teoretică a conceptului de vid și a limbajului specific asociat cu această nouă tehnică a vidului.

În mecanica newtoniană, vidul era asociat cu însuși spațiul absolut definit de Newton ca fiind acel ceva totdeauna asemenea și imobil, fără nicio legătură cu ceva extern [2]. Mai târziu, Mach a sugerat faptul că acest spațiu newtonian absolut ar fi lipsit de sens și propunea un concept operațional care să permită definirea unui sistem de coordonate inerțial, determinat de distribuția de energie și a impulsului din univers. Teoria ondulatorie a luminii, prin partizanii săi Huygens, Young și Fresnel, a impus o nouă abordare a vidului, cea de mediu elastic. Mai mult decât atât, vidul devine mediu elastic și se numește *eter* la Cauchy, Poisson și Navier. Ipoteza eterului, ca sistem de referință absolut, a fost invalidată de celebrul experiment al lui Michelson și Morley din anul 1881, Einstein avansând, în 1905, principiul relativității restrânse, conform căruia legile naturii trebuie să se conserve în raport cu orice sistem de coordonate aflat în mișcare [3].

## 2. Aspecte cuantice

O perspectivă nouă asupra vidului, conferindu-i acestuia o nouă semnificație, o aduce cu sine mecanica cuantică. Astfel, relațiile de incertitudine ale lui Heisenberg permit apariția din vid a unor particule (electroni, neutroni, protoni, pioni etc.), cu condiția respectării legilor de conservare. De pildă, conform relației Heisenberg-Bohr, putem avea o variație de energie  $\delta E$  într-un interval de timp  $\delta t$ , cu condiția ca

$$\delta E \cdot \delta t \sim \hbar$$

unde  $\hbar = h / 2\pi$  ( $h$  este constanta lui Plank și are valoarea  $h = 6,6 \cdot 10^{-34}$  J·s =  $6,58 \cdot 10^{-16}$  eV·s).

Prin urmare, din acest vid cuantic poate să apară orice număr de particule, cu condiția conservării energiei pe o durată de timp, care este cu atât mai mică cu cât energia apărută din vid este mai mare și invers, cu cât energia apărută este mai mică, cu atât durata de timp poate fi mai mare. De exemplu, generarea unei perechi electron-pozitron necesită o energie de 1,04 MeV, dar nu poate dura mai mult de

$$\delta t = \hbar / \delta E = 6,32 \cdot 10^{-22} \text{ s.}$$

Tocmai datorită acestor valori de timp foarte mici, particulele produse de vidul cuantic se și numesc *particule virtuale*, ele datorându-se fluctuațiilor vidului [4]. Dacă această energie  $\delta E$  se consumă dintr-o sursă oarecare, atunci aceste particule virtuale devin *particule reale*.

Evident, exemplul de mai sus sugerează ideea că vidul cuantic poate fi imaginat ca o sursă inepuizabilă de materialitate corpusculară subnucleară, de veritabile universuri atomice, adevărate lumi cu existență efemeră, în conformitate cu relația Heisenberg-Bohr. Deci, iată, cum pentru

prima dată apare ideea că vidul nu este un spațiu gol, un spațiu umplut cu nimic, ci este un spațiu plin cu *ceva*.

În metafora peșterii lui Platon, umbrele de pe pereții de piatră ai peșterii nu sunt chiar halucinații ale observatorului, ci proiecții ale celor din afara peșterii. Prin urmare, dacă observatorul din interiorul peșterii ar efectua un salt energetic  $\delta E$  până înspre afara peșterii, aceste umbre ar căpăta consistența lor reală, în persoana trecătorilor de afară. În caz contrar, interiorul peșterii va genera ca din nimic o lume de fantasme fugitive, umbre efemere, care apar și dispar inexplicabil pentru observatorul izolat din peșteră. Pentru acesta, peștera se umple subit și de neînțeles cu umbre mișcătoare, veritabile *absențe* ale unei tridimensionalități exterioare, peștera devenind, astfel, un spațiu generator de universuri efemere, asemeni vidului cuantic (vorba poetului trubadur, *te rog pe tine umbră să redevii ființă!*) La nivel metaforic, iată, modelul peșterii lui Platon poate constitui o prefigurare timpurie a câmpului cuantic de mai târziu, așa cum și ideea eleaților de *atom* (indivizibil) a căpătat concretețe abia peste secole de evoluție și experiment științific.

### 3. Scurt istoric

Problema vidului a preocupat și gânditorii Greciei antice[5]. Astfel, la Pitagora (580 î.Hr.- 495 î.Hr.), vidul este identificat cu „aerul”, ca un ansamblu de numere pure. La Democrit (460 î.Hr.– 370 î. Hr.), vidul este „intervalul care separă atomi de atomi și corpuri de corpuri, asigurându-le starea discretă și posibilitatea de mișcare”. La poetul și filosoful latin Lucrețius (99 î.Hr.- 55 î.Hr.), „toată natura prin sine însuși se bazează pe două lucruri: există corpuri și există vid în care aceste corpuri sunt plasate și în care se mișcă”. La Aristotel, “se pare că vidul există în locul în care nu este nimic. Rațiunea acestui fapt constă în aceea că se gândește că existența este corp și că orice corp se găsește într-un loc, iar vidul este acolo unde nu se găsește niciun corp”.

Revenind la subiectul nostru, să mai subliniem încă o dată faptul că acest vid cuantic nu este nici pe departe un spațiu gol, dimpotrivă, este plin de fluctuații ale undelor electromagnetice care nu pot fi niciodată eliminate complet, asemeni unui ocean încărcat cu valuri de diferite mărimi și care pulsează în permanență, fără a putea fi anihilate sau oprite vreodată. Din acest uriaș ocean femtofizic apar și dispar, aproape instantaneu, particule și antiparticule, o infinitate de lumi cu existența efemeră. Acest soi de vid se aseamănă foarte mult cu *apeiron*-ul lui Anaximandru, în care pre-există și sunt generate perpetuu toate elementele constitutive a tot ceea ce există.

### 4. Anaximandru (610 î.Hr.- 546 î.Hr.)

La Anaximandru, „începutul lucrurilor este *apeiron*-ul... De acolo de unde se produce nașterea lucrurilor, tot de acolo le vine și pieirea, potrivit cu necesitatea; căci ele trebuie să-și dea [să-și facă] dreptate și să-și dea răsplată unele altora pentru nedreptatea făcută, potrivit cu rânduiala timpului” (v. trad. Viorel Colțescu, în: *Istoria filosofiei. Filosofie veche, medie și modernă*, Editura Universității de Vest, Timișoara, 2002, p. 72. - v. site-ul *Centrul de Cercetare în Istoriografie Filosofică și Filosofie Imaginarului*).

După spusele lui Teofrast, Anaximandru a fost discipolul și urmașul lui Thales (640 î.Hr. – 550 î.Hr.). Așa se și explică faptul că și Anaximandru pune în centrul preocupărilor sale problema unui principiu ultim al lucrurilor, problema unui *arhe*, dar sensibil diferit de Thales. Spre deosebire de acesta, pentru care *apa* era temeiul ultim al lucrurilor, pentru Anaximandru acest temei trebuia să fie *ceva cu totul de altă natură* decât un atribut al sensibilității noastre umane și dincolo de intuiția și percepția noastră imediată. Acel *arhe* trebuia să fie *ceva intermediar între aer și foc, mai fin ca aerul și mai dens ca focul, ceva ne-produs, ne-trecător, ne-mărginit, fără trecut și fără viitor*.

Principiul originar al lucrurilor trebuia deci să fie *ceva fără (a) limită (peiron), apeiron*, adică *nemărginit* și de nimic îngrădit.

Astfel, apare pentru prima dată în istoria gândirii omenești, drept temei al lumii noastre materiale, un concept abstract, obținut pe cale rațională. Acest concept anaximandric nu mai are

niciun fel de legătură cu lumea senzorială a simțurilor omenești, ci este gândit ca fiind ne-muritor, ne-trecător, ne-produs și veșnic tânăr. Acest *nemărginit* reprezintă o materie subtilă, invizibilă, care, dintr-o pornire internă, iese din omogenitatea sa originară și prin *diferențiere* produce elementele contrare, cum ar fi rece și cald, umed și uscat etc., din care s-au născut toate lucrurile și această lume. Anaximandru gândește, deci, formarea lumii ca pe un proces subtil de diferențiere, care este produsă de veșnica mișcare a elementelor contrare, pe care le cuprinde Nemărginitul, ca potențial al său nelimitat.

Pe baza acestor ipoteze, Anaximandru concepe o cosmogonie îndrăzneată și naivă în același timp, dar plină de virtuți originale pentru acea epocă. După el, din această masă inițială s-a format lumea noastră vizibilă, prin diferențiere. Evident, nu numai o lume, ci o *infinitate* de lumi, pe care temeiul originar le va absorbi din nou în sine. Din infinit are loc continua producere și apunere a lumilor, ce se nasc într-un număr infinit, căci acesta este atributul esențial al *ființării* acestei lumi: *Unde este originea lucrurilor, acolo se află și apunerea lor, în concordanță cu necesitatea. Ele plătesc astfel unora altora pedeapsa și căința pentru nedreptatea lor, în concordanță cu ordinea timpului*, zice Anaximandru (v. N. B. în [www.crestinortodox.ro/religie-filosofie/perioada-cosmologica/anaximandru](http://www.crestinortodox.ro/religie-filosofie/perioada-cosmologica/anaximandru)).

Există, evident, (fiind vorba de vechii greci!) și o interpretare a lui Heidegger la textul lui Anaximandru (textul invocat este *Vorba lui Anaximandru*) [6]. Vom reda în continuare, pentru deliciul cititorului un fragment propriu interpretărilor heideggeriene, plin de subtilități semantice. Iată, în anul 1946, Heidegger traduce fragmentul lui Anaximandru

Ex hon de he genesis esti tois ousi kai ten phthoran eis tauta ginesthai kata to chreon. Didonai gar auta diken kai tisin allelois tes adikias kata ten tou chronou taxin astfel: „*De acolo de unde este, pentru ființare, ieșirea-la-iveală, tot de acolo iese la iveală și retragerea (în același), potrivit cu nevoia ce ține în frâu; căci fiecare ființare își dă (de la sine) acordul în privința unui rost, tot așa cum ființările își acordă unele altora respect, învingând orice ieșire-din-rosturi, potrivit cu felul în care timpul împarte [ființării] clipa [lui «a fi»]*” [6]. Heidegger ia în considerare afirmația arche ton onton to apeiron („începutul ființării este acel-ceva-care-ființează-în-lipsa-limitei”), despre care Simplicius ne spune că aparține lui Anaximandru, și deduce astfel că arche și apeiron se referă la chreon, căci el mensește a fi-ul fiecărei ființări și nu este menit la rândul său, fiind singurul nelimitat. În acest text din 1946, lipsit de limite este doar chreon-ul, în timp ce într-un alt text din 1941, Heidegger încearcă să apropie (grație celui a privativ) apeiron-ul de aletheia. Ele au în comun faptul că lasă ființarea să fie, ființarea lipsită de limite este cea care poate sălășlui în clipă. Deși spusa lui Anaximandru este chreon („angajarea”), ea rămâne neformulabilă, căci, deși aici are loc o „potrivire” între ființa ce-l afectează pe om și răspuns, acea potrivire nu este una de tipul științelor pozitivistice, căci ea nu epuizează ființa, ea nu ne este făcută „disponibilă” în întregime, tocmai pentru că intră în „jocul” aletheei (alternanța stării de neascundere cu ascunderea). Noi nu putem avea decât un soi de „privire prealabilă” asupra ei și aspirăm spre o descoperire completă care ne este, însă, indisponibilă. Ceea ce iese la iveală, în urma celui genesis, sălășluiește în neascuns. Această sălășluire este „clipă”. Însă, pentru a se păstra „dreptatea”, acel ceva trebuie să se reîntoarcă în ascuns (deci, în neascuns trebuie să se „profileze” ascunsul). Această măsură, acest echilibru este „rostul” lucrului. Chiar pentru a veni în neascuns, ființarea trebuie să-și dea acordul pentru acel rost, adică pentru propriul a fi. Chreon, adică a fi-ul, așa cum este numit de Anaximandru, dă a fi-ul fiecărei ființări, care poate astfel adăsta în clipa proprie, înțeles ca „venire-în-ființă-și-adăstare-în-venire”. Ori ființarea este, vedem, „adăpostită” în clipa și rostul ei, dar este adăpostită și adunată și în „anterioritatea funciară” (deci în chreon) alături de celelalte ființări care, cum am spus, „își dau unele altora seamă”. (v. Interpretarea heideggeriană a fragmentelor lui Anaximandru din <http://filosofiepebega.blogspot.ro/2013/02/interpretarea-heideggeriana.html>).

Prin urmare, ceea ce este demn de remarcat la Anaximandru este faptul că ființele sunt generate de către infinit, într-o succesiune temporală, fiind realități care se alternează în existență, una înlocuind-o pe cealaltă (nedreptatea), dar toate fiind destinate distrugerii (ispășirea nedreptății), ca o luptă continuă a contrariilor. Timpul joacă un rol de judecător, acordând fiecărei realități contrare o limită de existență, o durată a dominării uneia asupra celeilalte, într-o succesiune

infinită, nemărginitul fiind considerat principiul ultim al tuturor lucrurilor. Singura realitate nemuritoare și fără de vârstă, cea care se sustrage ciclului nașterii și al morții este, pentru Anaximandru, *apeiron*-ul.

## 5. Rezultate experimentale

Am văzut, deci, că la o scară foarte mică de timp și spațiu, în domeniul femtofizic, principiul incertitudinii al lui Heisenberg permite energiei să se descompună rapid în particule și antiparticule și apoi să se anihileze, fără a încălca legile fizice ale conservării. Odată ce scara de timp și spațiu se micșorează, energia particulelor virtuale crește. Conform teoriei relativității generale ale lui Einstein, această energie curbează continuumul spațiu-timp. Energii diferite vor conduce la curburi diferite ale spațiu-timpului. Acest lucru sugerează faptul că la nivelul dimensiunilor Planck energia acestor flucuații ar fi suficient de mare pentru a provoca abateri semnificative ale spațiu-timpului, conferindu-i acestuia un aspect de *spumă*, o *spumă cuantică*, așa cum a fost ea botezată de către John Wheeler, în 1955[1]. Spuma cuantică reprezintă, deci, pe de o parte expresia calitativă a turbulențelor la nivel subnuclear, constituind, pe de altă parte, un concept fundamental al texturii universului[7], un soi de *apeiron* cuantic.

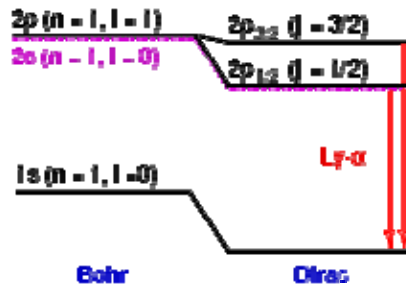
În concluzie, acest vid cuantic nu este deloc un spațiu gol, ci plin cu particule și antiparticule, care apar și dispar, încărcând vidul acesta cu energii foarte mari, de valori diferite. În literatura de specialitate, vidul cuantic se mai numește și *punctul zero*, iar energia vidului cuantic poartă numele de *energia punctului zero* (ZPE – Zero Point Energy). La nivel macroscopic, newtonian, energia punctului zero se manifestă sub formă de *materie*, materia fiind forma cea mai densă pe care o poate lua această energie.

*Prima estimare* a energiei punctului zero a fost efectuată de fizicienii John Wheeler și Richard Feynman. Folosind ecuația lui Einstein

$$E = mc^2$$

energia punctului zero ar fi de ...  $10^{94}$  g/cm<sup>3</sup>. Adică, o cană cu ZPE ar putea aduce în stare de fierbere toate oceanele lumii!... Altfel spus, 1 cm<sup>3</sup> de ZPE ar conține echivalentul masic a mai mult decât întreaga masă a universului nostru vizibil. Prin urmare, ceea ce noi obișnuim de regulă să numim *materie*, aceasta nu este de fapt decât o formă difuză de *energie*, iar numai un foarte mic procent (9, 99999 %) din ceea ce credeam noi că este materie nu este altceva decât *spațiu* material, consistent macroscopic. (v. <http://www.energielibera.net/Ce-este-vidul/energia-vidului.html>). Din această perspectivă cred că trebuie interpretată și afirmația savantului și inventatorului american (de origine română) Nicolae Tesla, din anul 1891: *Peste multe generații de acum încolo, dispozitivele noastre vor funcționa cu energie ce poate fi obținută în orice punct din Univers. Este o chestiune de timp până când omul va ajunge să-și branșeze dispozitivele la această sursă de energie inepuizabilă și reală a naturii. (...) Energia rotitoare, turbionară din Univers, poate fi captată de omenire. Noi ne rotim în spațiul imens cu o viteză inimaginabilă; totul în jurul nostru se mișcă, se rotește, totul este impregnat de energie...Trebuie să existe o modalitate de a accesa această energie și a o folosi. Apoi, cu lumina (particule fotonice) obținută din mediu, cu energia obținută din aceasta, cu fiecare formă de energie obținută fără efort, din sursa inepuizabilă a Universului, umanitatea va avansa cu pași gigantici.*

**Efectul Lamb** constituie o punere în evidență a existenței particulelor virtuale rezultate din flucuațiile vidului cuantic.

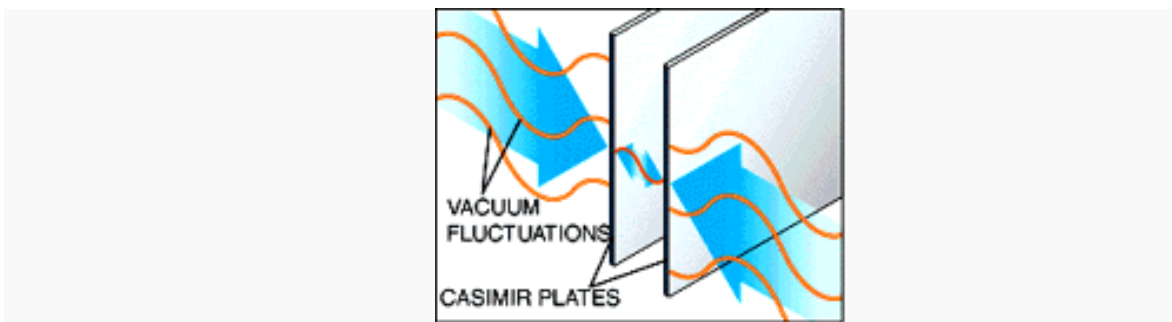


**Ilustrarea efectului Lamb pe atomul de hidrogen**  
(v. [http://en.wikipedia.org/wiki/Lamb\\_shift](http://en.wikipedia.org/wiki/Lamb_shift).)

Acest efect constă în apariția unei diferențe energetice între nivelele cuantice ale hidrogenului,  $^2S_{1/2}$  și  $^2P_{1/2}$ , diferență care se mai numește și *deplasarea Lamb*. Conform ecuației lui Dirac din electrodinamica cuantică, cei doi orbitali,  $^2S_{1/2}$  și  $^2P_{1/2}$  ar trebui să aibă aceeași energie. Cu toate acestea, interacția dintre electron și vidul cuantic produce o mică diferență ale celor doi orbitali. Variația câmpului electric și magnetic, asociat cu vidul cuantic, perturbă potențialul electric datorat nucleului atomic al hidrogenului [10], [11]. Această perturbație produce o fluctuație a poziției electronului, ceea ce explică deplasarea energetică observată experimental. Cu alte cuvinte, conform mecanicii cuantice, electronul din atomul de hidrogen se mișcă în potențialul electric dat de nucleul atomului, adică protonul hidrogenului. Deplasarea spectrului atomic observată experimental arată că electronul hidrogenului este supus suplimentar și forțelor electrice exercitate pentru un scurt timp de către particulele care se nasc ca urmare a fluctuațiilor vidului cuantic. Calculele teoretice ale acestui efect sunt într-o uimitoare concordanță cu rezultatele experimentale, drept pentru care, fizicianul Willis Lamb a primit premiul Nobel pentru fizică, în anul 1955.

**Efectul Delbrück** reprezintă un alt fenomen fizic de manifestare a fluctuațiilor vidului cuantic. În esență, acest fenomen constă în împrăștierea fotonilor de înaltă energie în câmpul coulombian al nucleului, ca o consecință a polarizării vidului. Împrăștierea Delbrück a fost introdusă de fizicianul cu același nume, Max Delbrück, pentru a explica unele neconcordanțe apărute între calculele teoretice și rezultatele experimentale obținute în urma împrăștierii Compton pe atomi grei. Argumentul explicativ al lui Delbrück s-a bazat pe ecuația Dirac din mecanica cuantică relativistă, conform căreia vidul cuantic este umplut cu perechi de electroni-positroni virtuali cu care trebuie să interacționeze suplimentar fotonii incidenti.

**Efectul Casimir** este un alt fenomen care pune în evidență energia vidului cuantic, sau energia punctului zero. Acest fenomen a fost prezis pentru prima oară de către fizicianul olandez Hendrick Casimir, în 1948. Conform acestuia, două plăci conductoare, situate într-un mediu vidat, la o foarte mică distanță una de alta, sunt împinse una spre cealaltă de către o forță misterioasă. Această forță apare din cauza fluctuațiilor punctului zero, fluctuații care se manifestă ca urmare a particulelor virtuale care apar și dispar în acest spațiu.



**Ilustrarea efectului Casimir** (v. Scientific American, 1998)

Datorită acestei fluctuații, particulele virtuale existente, acoperind un spectru larg de lungimi de undă, acționează asupra celor două plăci conductoare. Efectul care se observă constă într-o

ușoară reducere a lungimilor de undă între plăci, astfel încât acestea să se potrivească între plăcile respective, spre deosebire de lungimile de undă din afara plăcilor. Rezultă, deci, că densitatea de energie a fluctuațiilor stării fundamentale dintre plăci, este mai mică decât densitatea de energie din afara lor cu o cantitate finită. Această diferență dintre densitățile de energie dă naștere unei forțe care împinge cele două plăci una spre alta, forță observată experimental. Forța care acționează asupra unor plăci ideale, perfect conductoare, în vid, este dată de formula:

$$F = \frac{\pi \hbar c A}{480 d^4} = 1.300127 \times 10^{-27} \frac{A}{d^4}$$

unde  $A$  este suprafața plăcilor,  $d$  distanța între ele,  $\hbar$  este constanta lui Planck și  $c$  viteza luminii. Prin urmare forța care acționează între cele două plăci conductoare este invers proporțională cu puterea a patra a distanței dintre plăci. (v. [ro.wikipedia.org](http://ro.wikipedia.org)). Evident, valoarea acestei forțe în vid poate fi alterată în funcție de materialul plăcilor. Dacă în locul plăcilor conductoare am folosi două oglinzi care se deplasează extrem de rapid, atunci fluctuațiile vidului devin fluctuații reale, iar particulele virtuale devin reale, ca și cum s-ar obține lumină din nimic. În acest caz, fenomenul poartă numele de efectul Casimir dinamic. Julian Schwinger și alți cercetători au sugerat faptul că acest efect dinamic poate fi considerat cauza unui alt misterios fenomen, cunoscut sub numele de sonoluminescență.

**Efectul Unruh** poartă numele fizicianului canadian William George Unruh de la Universitatea British Columbia din Vancouver și care a descoperit acest efect în 1976, după un doctorat obținut în 1971 la Princeton University, sub conducerea celebrului J. A. Wheeler. Unruh a arătat că, în cadrul teoriei relativității generale (unde câmpul de forțe gravitaționale este echivalent cu un câmp de accelerație), fluctuațiile vidului pot servi la determinarea accelerației unui observator, deoarece un detector de particule, aflat în mișcare accelerată, va reacționa la fluctuațiile vidului, ca și cum acesta s-ar afla în repaus, într-un gaz de particule cu o temperatură proporțională cu accelerația sa (v. [http://en.wikipedia.org/wiki/Unruh\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Unruh_effect)). Dacă detectorul nu este accelerat, atunci acesta nu va reacționa la fluctuațiile vidului. Altfel spus, o aceeași stare cuantică a câmpului, care este o stare fundamentală pentru observatorii din sistemele inerțiale, poate fi acum privită ca o stare termică pentru un observator aflat într-o mișcare uniform accelerată [8]. Prin urmare, efectul Unruh înseamnă că vidul cuantic depinde și de drumul (traectoria) observatorului prin spațiu-timp, adică de linia de univers pe care acesta o parcurge. Expresia matematică a efectului Unruh este exprimată prin ecuația de mai jos, în care se observă imediat dependența dintre temperatură și accelerația observatorului:

$$kT = \frac{\hbar a}{2\pi c}$$

unde,  $kT$  - energia echivalentă termică,  $a$  - accelerația constantă a particulei;  $c$  - viteza luminii în vid;  $\hbar$  - constanta redusă a lui Planck. Temperatura Unruh are aceeași expresie ca și temperatura Hawking  $T_H$  pentru găurile negre:

$$T_H = \hbar g / (2\pi c k_B)$$

relație obținută independent de către cei doi fizicieni, motiv pentru care se și numește de multe ori temperatura Hawking - Unruh ( $k_B$  - constanta lui Boltzmann;  $g$  - accelerația gravitațională).

O consecință importantă a efectului Unruh este aceea că există viduri cu energii diferite, deci *viduri diferite*. În teoria relativității generale, este știut faptul că o accelerație este echivalentă cu un câmp gravitațional, astfel încât un observator aflat izolat într-un lift, care este accelerat într-un câmp gravitațional, poate produce anularea câmpului gravitațional pentru observator. În mod similar, putem să ne imaginăm că avem un lift perfect izolat, cu vid în interior și cu pereții perfect conductori din punct de vedere electric, care este accelerat în sus. Drept urmare, podeaua sa va emite unde electromagnetice care se vor reflecta de tavanul acestui lift imaginar. Câmpul electromagnetic astfel creat poate fi descris în cadrul mecanicii cuantice ca un gaz de fotoni, aflat la o anumită temperatură [9]. Să mai presupunem acum că putem evacua fotonii din lift, cu un consum de energie extern. Două detectoare de tip Unruh, plasate în exteriorul și în interiorul liftului, mișcându-se accelerat, solidar cu liftul, vor indica faptul că în interiorul liftului vom avea

acum un alt vid față de exteriorul său. Detectorul din exteriorul liftului va indica o temperatură proporțională cu accelerația, iar detectorul din interiorul liftului nu va indica nimic. Prin urmare, cele două viduri sunt diferite, având valori energetice diferite. Dacă vom considera suplimentar că vidul din exterior are o energie minimă, considerată prin convenție ca fiind zero, atunci vidul din interior va avea o energie negativă. Pentru egalizarea celor două energii, ar fi necesar să reintroducem în interiorul liftului fotonii extrași anterior.

Revenind la subiectul nostru, vom spune, deci, că vidul cuantic este un spațiu care nu conține particule reale, ci numai particule virtuale și reprezintă o stare a universului cu energie minimă, sau starea de minimă energie a unei regiuni din univers.

Chiar și *emisia spontană* și impredictibilă de radiații de către atomi poate fi pusă pe seama fluctuațiilor gazului cu fotoni virtuali. Agitația particulelor subatomice, se presupune a fi cauzată de zona punctului zero. Aparent, fără a urma vreoaică regulă anume, fotonii virtuali se mișcă între lumea materială și acest punct zero, înainte și înapoi, un du-te-vino aparent haotic. În momentul interacțiunii cu lumea materială, acești fotoni sunt absorbiți de particulele subatomice din lumea materială, care vor ajunge în acest fel, într-o stare de energizare puternică. După timpi de ordinul nanosecundelor, energia este eliberată din nou din punctul zero prin intermediul unui alt foton virtual care interacționează cu particulele subatomice materiale iar mai apoi, se întoarce în zona punctului zero.

Denumirea de fotoni virtuali, derivă din faptul că aceste particule apar și dispar din zona punctului zero, fără concretizare în lumea materială consistentă, vizibilă ochiului omenesc. Aceste particule virtuale sunt doar intermediari, efectuând un transfer de energie din punctul zero în lumea fizică și invers. S-a constatat că nu numai fotonii virtuali apar în lumea fizică, ci odată cu ei apar și alte particule elementare care par să vină de nicăieri. Toate aceste particule apar în lumea fizică pentru doar câteva miimi sau milionimi de secundă, apoi dispar înapoi în punctul zero, neavând stabilitatea materială necesară pentru a se insera în realitatea fizică exterioară. Punctul zero este așadar, o spumă cuantică de particule virtuale și fotoni. Prin urmare, universul nu este în stare de repaus nici măcar în zonele libere, goale, unde pare că materia lipsește [12]. Chiar și într-o regiune cosmică lipsită de orice urmă de materie, oamenii de știință pot identifica prezența fotonilor virtuali.

Unul dintre primii oameni de știință care a pus în evidență și a măsurat această energie a vidului este Harold Puthoff. Acest lucru a fost efectuat la zero grade Kelvin, sau zero absolut, temperatură echivalentă cu -273 grade Celsius, adică cea mai scăzută temperatură posibilă înregistrată de oamenii de știință în spațiul cosmic. Conform fizicii newtoniene, la această temperatură scăzută orice mișcare la nivel molecular și atomic ar trebui să înceteze și orice manifestare energetică ar trebui să nu mai existe. Contrar așteptărilor sale, Puthoff a descoperit că spațiul cosmic este foarte activ energetic, comparându-l cu un cazan care fierbe, ulterior acestui fenomen dându-i-se denumirea de Zero Point Energy (energia punctului zero). Prin urmare, Puthoff a dovedit și el, în felul său, faptul că vidul este un spațiu plin cu o energie uriașă, misterioasă.

## 6. Concluzii

Această *spumă cuantică* pare a cuprinde circa 90 % din întinderea universului nostru vizibil. Din acest vid cuantic sunt generate o infinitate de particule virtuale, care ulterior sunt anihilate, într-o succesiune perpetuă și infinită. Tot la fel, pentru filosoful din Milet, toate ființele și lucrurile din jurul nostru sunt generate de către infinit și se întorc în infinit, după distrugerea lor. Astfel, cum infinitul acesta anaximandrian, *apeiron*, este considerat a fi substanța primordială a tuturor lucrurilor, tot astfel și lumea este infinită, în sensul că materialitatea lumii noastre înconjurătoare nu este decât una dintre infinitele lumi, asemeni celor care au fost, sau a celor care o să fie. Din această perspectivă, nu se poate să nu subliniem fertilitatea remarcabilă a unui concept filosofic, emis acum circa 2.500 de ani în urmă, când nu existau rafinamentele și posibilitățile tehnologice actuale și nici precedente teoretice ale vreunei teorii raționale, profund conceptualizate, precum cea a lui Anaximandru. Istoria gândirii omenești nu cred a cunoaște un caz similar, când o *primă*



viziune conceptuală a unui gânditor să fie într-un fel confirmată de una dintre *ultimele* teorii ale fizicii, la un interval de două milenii și jumătate. Așa cum tot o idee din gândirea eleaților, cea de *atom* – indivizibil – a fost recuperată de fizica cuantică, tot așa considerăm că și *apeiron* ar trebui să devină substantivul comun desemnat de cosmologia relativistă și cromodinamica cuantică actuală ca fiind substanța nucleară primordială a primei dimineți a acestei lumi, când, probabil, totul avea culoarea orbitoare a vidului: alb, alb, alb!...

## BIBLIOGRAFIE

1. **WHEELER, J. A.; FORD, K.:** Geons, Black Holes and Quantum Foam. Norton & Company, Inc., New York, 1998.
2. **GLEICK, J.:** Isaac Newton. Editura Publica, 2011.
3. **DIRAC, P. A. M.:** General Theory of Relativity. Wiley & Sons, 1975.
4. **PURICA, I.:** Ordo ab Chao. Structuri de ordine în fizică și societate. Editura Tehnică, 1996.
5. **PIATKOWSKI, ADELINA; BANU, I. (COORD.):** Filosofia greacă până la Platon, vol. 1, partea 1. Editura Științifică și Enciclopedică, 1979.
6. **MINCĂ, B.:** Scufundătorii din Delos. Heidegger și primii filosofi. Editura Humanitas, 2010.
7. **MORRIS, R.:** The Edges of Science. Crossing the Boundary from Physics to Metaphysics. Prentice Hall Press, 1990; Fourth Estate Ltd, London, 1992.
8. **HAWKING, S.:** A Brief History of Time. From the Big Bang to Black Holes, New York, Bantam, 1988 (Scurtă Istorie a Timpului. De la Big Bang la Găurile Negre. Humanitas, 1994).
9. **WEINBERG, S.:** The First Three Minutes. A Modern View of The Origin of The Universe. Basic Books, Inc. N. Y., 1977; Bantam, N. Y., 1984 (Primele Trei Minute ale Universului. Un Punct de Vedere Modern Asupra Originii Universului. Editura Politică, 1984).
10. **FLORESCU, VIORICA:** Lecții de Mecanică Cuantică, vol. I, II. Editura Universității, București, 2007.
11. **BRANSDEN, B. H.; JOACHAIN, C. J.:** Introducere în Mecanica Cuantică. Editura Tehnică, 1995, 1999.
12. **CHOWN, M.:** The Universe Next Door. Twelve mind-blowing ideas from the cutting edge of science. Headline Book Publishing, 2002.