UNIVERSUL ŞI OMUL – O RECONSTRUCŢIE LOGICĂ ŞI PROBABILISTĂ A PRINCIPIULUI ANTROPIC

IULIAN GRIGORIU

Universitatea „Dunărea de Jos”, Galaţi

The Universe and Humanity – a Logical and Probabilistic Reconstruction of the Anthropic Principle. The present article positions itself as a conceptual and logical analysis of the Anthropic Principle (AP), using an explicit probabilistic analogy between the emergence of a universe favorable to observers and a lottery game. Within this analogy, the “winning numbers” correspond to the constants of physics and to the laws of cosmology, chemistry, biology, and other sciences that underlie the emergence of life and thought. Probabilistic calculations serve to formalize the two basic forms of the Anthropic Principle – the Weak Anthropic Principle (WAP) and the Strong Anthropic Principle (SAP) – to simulate certain possible situations as conceptual support for philosophical reflection, and to place within specific orders of magnitude the causal relations between the universe and observers. At the same time, this approach highlights the interpretative limits of scientific, cosmological, and metaphysical modeling. The reconstruction of the Anthropic Principle proposed here consists both in the formal structures obtained through probabilistic modeling and in the simulation, by means of calculation, of different cosmological scenarios in which observers may or may not emerge in the universe.

Keywords: anthropic principle, observer selection, probabilistic modeling, cosmological parameters, fine-tuning.

INTRODUCERE

Articolul de față se poziționează ca o analiză conceptuală și logică a principiului antropic (AP), cu o analogie probabilistă explicită între apariția unui univers propice unor observatori și un joc de loto. În cadrul acestei analogii, „bilele câștigătoare” reprezintă constantele fizicii, legile cosmologiei, ale chimiei, biologiei etc., ce stau la baza vieții și gândirii. Calculele probabilistice au darul să formalizeze cele două forme de bază ale Principiului Antropic (forma slabă – WAP și forma tare – SAP), să simuleze anumite situații reale, ca suport al gândirii filosofice, să încadreze în anumite ordine de mărime legăturile cauzale dintre univers și observatori, evidențiind limitele interpretative și de modelare științifică, cosmologică, dar și metafizică. Reconstrucția AP constă în formele obținute ca suport al modelării probabiliste și în simularea prin calcul a diferitelor variante cosmologice în care pot sau nu să apară observatori în Univers.

PRINCIPIUL ANTROPIC ȘI FORMELE SALE. PUNEREA PROBLEMEI

Principiul antropic exprimă o reflecție asupra relației dintre condițiile fizice ale universului și existența observatorilor inteligenți capabili să-l descrie și să-l interpreteze. În formularea sa generală, principiul atrage atenția asupra faptului că proprietățile universului observabil nu pot fi complet independente de existența unor ființe care să le observe, întrucât doar într-un univers compatibil cu apariția vieții și a inteligenței pot apărea astfel de observatori. Această formulă subliniază condiționarea observațională că orice descriere a cosmosului se realizează din interiorul unui cadru care satisface condițiile minime necesare existenței observatorilor. În acest sens, principiul antropic funcționează ca un cadru de interpretare a relației dintre cosmologie și existența umană, mai degrabă decât ca o teorie fizică propriu-zisă.

FORMULĂRILE PRINCIPALE ALE AP

PRINCIPIUL ANTROPIC SLAB
(Weak Anthropic Principle – WAP)

Formularea clasică a principiului antropic slab se datorează lui Brandon Carter care, într-un articol devenit canonic, afirmă: „What we can expect to observe must be restricted by the conditions necessary for our presence as observers”[1]. Într-o formulare larg utilizată ulterior, principiul antropic slab afirmă că valorile observate ale parametrilor fizici și cosmologici sunt constrânse de necesitatea ca acestea să permită existența observatorilor în anumite regiuni ale universului, precum și de faptul că ne aflăm, inevitabil, într-o astfel de regiune.

Această variantă nu presupune niciun scop, intenție sau finalitate a universului. Ea afirmă că nu trebuie să ne surprindă faptul că universul are proprietățile necesare pentru viață inteligentă, deoarece dacă nu le-ar avea, nu am fi aici să ne întrebăm despre ele. Este un argument de tip observațional și selectiv și explică aparentele „coincidențe” din cosmos prin selecție de către observator[2]. În cosmologia contemporană, formularea lui Carter se utilizează adesea pentru a contextualiza valorile constantelor fundamentale sau anumite trăsături ale structurii universului, fără a pretinde că oferă o explicație ultimă a acestora.

[1] Brandon Carter, „Large Number Coincidences and the Anthropic Principle in Cosmology”, în M. S. Longair (ed.), *IAU Symposium 63*, *Confrontation of Cosmological Theories with Observational Data*, Dordrecht, Reidel Publishing Company, 1974, pp. 291–298, p. 291 („Ceea ce ne putem aștepta să observăm trebuie să fie limitat de condițiile necesare prezenței noastre în calitate de observatori”).

John D. Barrow, Frank J. Tipler, *The Anthropic Cosmological Principle*, Oxford, Oxford University Press, 1986, Introducere, pp. 16–22, interpretarea WAP ca selection effect.

PRINCIPIUL ANTROPIC TARE
(Strong Anthropic Principle – SAP)

O formulare mai puternică a principiului antropic afirmă: „The Universe must have those properties which allow life to develop within it at some stage in its history”[3].

Această versiune, cunoscută sub numele de principiul antropic tare, introduce un element suplimentar față de forma slabă.

În anumite interpretări, această formulare este citită ca susținând ideea că apariția vieții sau a inteligenței este inevitabilă sau că universul posedă, încă de la început, proprietăți orientate către producerea observatorilor.

În formele sale cele mai radicale, principiul antropic tare a fost extins până la ideea că existența conștiinței este necesară pentru existența universului însuși, ceea ce a condus la interpretări speculative, uneori inspirate din anumite lecturi ale mecanicii cuantice, cum ar fi rolul observatorului în colapsarea funcției de undă atunci când universul este observat, lucru incert sau neverificabil[4] (Participatory Anthropic Principle și relația cu interpretări cuantice), sau la interpretări explicit metafizice și teisme cosmologice[5].

STATUTUL EPISTEMIC ȘI CONTROVERSELE PRINCIPIULUI ANTROPIC

Principiul antropic constituie un ansamblu de formulări și interpretări, cu implicații foarte diferite, ceea ce împarte comunitatea științifică și filosofică în privința valorii, sensului și utilității sale[6]. Principiul antropic slab este, în general, considerat o afirmație metodologică legitimă, mai ales în cosmologie și fizică teoretică, unde selecția observațională joacă un rol inevitabil. El este frecvent utilizat ca instrument explicativ limitat, fără pretenția de a furniza cauze ultime. În schimb, principiul antropic tare este mult mai controversat. Critici precum Steven Weinberg au subliniat că principiul antropic, în forma sa tare, nu explică valorile constantelor fundamentale, cel mult restrângând intervalul de așteptare al acestora[7].

Filosofi ai științei precum Elliott Sober consideră principiul tare speculativ sau tautologic și arată că multe argumente antropice pot fi înțelese drept cazuri

[3] *Ibidem*, p. 26 („Universul trebuie să aibă acele proprietăți care permit dezvoltarea vieții în cadrul său, la un moment dat din istoria sa.”).

[4] John Archibald Wheeler, „Law Without Law”, în John Archibald Wheeler, Wojciech Hubert Zurek (ed.), *Quantum Theory and Measurement*, Princeton, Princeton University Press, 1983, pp. 182–213.

[5] J.D. Barrow, F.J. Tipler, *op. cit.*, pp. 551–560.

[6] Steven Weinberg, „Anthropic Bound on the Cosmological Constant”, în *Physical Review Letters*, vol. 59, nr. 22, 1987, pp. 2607–2610.

[7] Steven Weinberg, „The Cosmological Constant Problem”, în *Reviews of Modern Physics*, vol. 61, nr. 1, 1989, pp. 1–23.

particulare de efecte de selecție, fără a implica scop sau *design*[8]. Alți filosofi asociază SAP cu un argument în favoarea designului inteligent[9], ceea ce îl face problematic pentru știința empirică.

Există, de asemenea, formulări alternative, precum așa-numitul principiu antropic final, propus de Barrow și Tipler[10], sau abordări probabilist-statistice dezvoltate în contextul teoriilor multiversului, care adaugă noi niveluri de complexitate și controverse conceptuale[11].

Consider că acest principiu necesită în continuare o clarificare logică, dar și o delimitare între perspectivele științifice și cele metafizice care se țes împrejurul său. De aceea, îmi propun să procedez la o reevaluare a celor două forme principale ale sale, folosind o analogie probabilistă de tip loterie, pentru a delimita astfel interpretările științifice de extensiile metafizice, de altfel, la fel de îndreptățite.

LOGICA INTERNĂ A PRINCIPIULUI CU VARIANTELE SALE

Forma slabă – evaluare logică:

Din punct de vedere logic, existența unui univers favorabil apariției vieții constituie o condiție necesară a existenței observatorilor inteligenți, fiindcă dacă universul nu ne-ar fi favorabil, noi n-am exista; dar de vreme ce existăm, înseamnă că universul ne este favorabil.

Aceasta este forma logică a AP în varianta slabă.

Dacă notăm cu U faptul că există un univers și cu O faptul că există Observatori, logica AP apare:

Dacă nu U-favorabil, atunci nu O

Avem O

Deci există U-favorabil.

Formal, avem o contrapoziție validă.

Aceasta este formularea principiului antropic slab[12].

[8] Elliott Sober, *Evidence and Evolution: The Logic Behind the Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 2008, pp. 104–107.

[9] Robin Collins, „The Teleological Argument", în W. Lane Craig, J. P. Moreland (ed.), *The Blackwell Companion to Natural Theology*, Oxford, Wiley-Blackwell, 2009, pp. 203–281.

[10] J.D. Barrow, F.J. Tipler, *op. cit.*, p. 23, Final Anthropic Principle (FAP): „Intelligent information-processing mustcome into existence in the Universe, and, once it comes into existence, it will never die out." („Procesarea inteligentă a informației trebuie să ia naștere în Univers și, odată ce va lua naștere, nu va dispărea niciodată.")

[11] Max Tegmark, „Parallel Universes", în J.D. Barrow, P.C.W. Davies, C.L. Harper (ed.), *Science and Ultimate Reality: From Quantum to Cosmos*, Cambridge, Cambridge University Press, 2003, pp. 459–491.

[12] În forma logică a principiului antropic în varianta slabă (noi existăm, deci universul este favorabil apariției observatorilor), se înțelege implicit propoziția „un univers nefavorabil face imposibilă existența noastră". Altfel spus, concluzia este validă pentru că premisa ascunsă este clară

Din punct de vedere logic, existența unui univers favorabil apariției vieții constituie o condiție necesară a existenței observatorilor inteligenți, fiindcă într-un univers care nu ar permite apariția vieții, observatorii nu ar putea exista. În acest sens, nu este surprinzător că trăim într-un univers cu o anumită vârstă, structură și valori ale constantelor fizice, căci numai un astfel de univers poate fi observat de ființe capabile de observație. Principiul antropic slab nu introduce cauzalitate finală și nu afirmă că universul a apărut sau a fost produs cu intenția de a genera observatori, limitându-se exclusiv la o condiționare observațională.

Forma tare – unde apare saltul logic:

În schimb, forma tare a principiului susține că e suficient ca universul să existe, acesta conține toate ingredientele de apariție a observatorilor inteligenți și va conduce cu necesitate la apariția lor. Formal:

U există

deci, cu necesitate, apare O.

Adică, probabilitatea de apariție a observatorilor, condiționată de univers, este un eveniment sigur – $P(O \mid U) = 1$ (unde U este universul descris prin parametri). Cosmologic, universul pare atât de bine reglat încă din primele fracțiuni de secundă, încât conduce la apariția observatorilor lui inteligenți, într-un anumit spațiu și interval de timp suficient de vaste. Aici voi arăta că SAP nu e derivabil logic din principiul antropic slab și, prin calcul probabilistic, că nu rezultă din reglajul fin al constantelor fizicii (*fine-tuning*) + existența observatorilor. Ideea care îl susține și chiar îl îndreptățește metafizic se întemeiază pe faptul că nu avem o explicație fizicalistă a reglajelor fine dintre constantele de cuplaj ale celor patru forțe fundamentale din natură, așa încât să înțelegem cum se întrunesc de la sine condițiile apariției observatorilor. Peste aceste fapte obiective se suprapune următorul tip de gândire: fiindcă observatorii există, înseamnă că se întâmplă ceva „extra" în univers, ceva peste capul nostru, și are ca rezultat inclusiv apariția noastră. Structura implicită a unei astfel de judecăți este:

1. Nu avem (încă) o explicație fizicalistă completă pentru existența universului și a omului.

2. Observatorii există.

3. Deci există un factor extra-fizicalist. Aceasta nu este o deducție validă strict, ci un argument abductiv (cea mai bună explicație) sau un argument din insuficiența explicației curente. Deducția de mai sus nu este o eroare, dar trebuie etichetată, fie ca interpretare metafizică rezonabilă pentru unii, contestabilă pentru alții. Un fizician sau un filosof naturalist vor spune că lipsa explicației nu implică neapărat existența unui principiu *extra*. Un filosof teleolog va răspunde că tocmai caracterul sistematic și precoce al reglajului sugerează finalitate. Ambele poziții sunt coerente, dar opozabile epistemic. Deși principiul antropic, în forma slabă, este un argument pentru posibilitatea existenței omului, ca formulare tare, apare ca un principiu cosmologic teleologic, în sensul că universul are ca scop apariția omului

sau a altor observatori, ceea ce îi determină întreaga manifestare și structură, la un loc cu valorile constantelor naturii.

Formei slabe și celei tari a principiului anropic li se potrivesc opozițiile probabilitate *vs* necesitate și condiționare *vs* cauzalitate. SAP depășește cadrul strict al principiului antropic slab și necesită ipoteze suplimentare, fie de ordin dinamic (inevitabilitatea apariției vieții și inteligenței), fie de ordin cosmologic (un ansamblu vast de universuri), fie de ordin metafizic. Principiul antropic tare rămâne presat de datele științifice, dar poate fi interpretat metafizic ca indicând o finalitate cosmologică. În acest sens se invocă reglajul fin al constantelor fundamentale și absența unei explicații fizicaliste complete a valorilor acestora. Argumentul antropic asupra constantei cosmologice este dezbătut de Weinberg[13], care consideră că raționamentul antropic are sens doar pentru acele constante a căror variație este mare în comparație cu intervalul foarte mic permis antropic. Dacă o constantă nu variază suficient sau este fixată de alt mecanism fizic, atunci argumentul antropic nu i se aplică. În context, Weinberg respinge obiecția că argumentele antropice ar introduce religia în cosmologie. Dimpotrivă, un peisaj de universuri posibile și selecția antropică oferă o cale naturalistă de a înțelege de ce constantele noastre par favorabile vieții, fără a postula un creator care le-ar fi reglat intenționat. În acest punct, Weinberg apropie multiversul de rolul pe care selecția naturală l-a jucat în biologie, observând că ambele teorii încearcă să explice aparența de design fără a recurge la design. Lacuna explicativă din cadrul teoriilor actuale nu implică în mod necesar existența unei cauze finale sau a unui principiu teleologic. Calculele statistice și modelele cosmologice pot justifica doar indirect un univers premeditat, intenția acestui articol fiind aceea de a depista granița dintre știință și metafizică și de a cerceta când se justifică și când nu o perspectivă finalistă în urma unei abordări probabiliste.

JOC DE LOTO COSMOLOGIC. FORMALIZARE PROBABILISTĂ. SELECȚIE ȘI CONDIȚIONARE BAYESIANĂ

Pentru a clarifica statutul logic și probabilist al principiului antropic atât în forma slabă, cât și în forma tare, voi proceda la o transpunere a sa într-o analogie probabilistă, fără valoare efectiv ontologică și fără a pretinde că descrie structura reală a universului. În același timp, analogia funcționează exclusiv ca instrument conceptual pentru a evidenția rolul hazardului, al selecției observaționale și al condiționării probabiliste. Universul, legile fizicii și condițiile inițiale sunt reduse la un joc de extragere de bile „norocoase” și „nenorocoase”, presupunând inițial că totul se întâmplă conform legilor hazardului, ceea ce, de altfel, va fi pus în discuție: e suficientă întâmplarea pentru ca să apară un univers cu observatori?, răspunsul

[13] Steven Weinberg, „Living in the multiverse”, în Carr Bernard (ed.), *Universe or Multiverse?*, Cambridge, Cambridge University Press, 2007, pp. 29–42.

fiind pozitiv sau negativ, în funcție de modelul de univers adoptat. În forma sa cea mai simplă, analogia ține de următoarele corespondențe: o singură extragere este echivalentă cu apariția unui univers cu un număr determinat de condiții inițiale și constante fundamentale; o combinație câștigătoare unică este echivalentă cu îndeplinirea anumitor condiții care permit apariția observatorilor inteligenți; apariția observatorilor este echivalentă cu câștigarea la loto.

În acest cadru, principiul antropic slab este analog cu afirmația că *este posibil* ca extragerea unică să fi produs o combinație câștigătoare, iar principiul antropic tare devine analog cu afirmația că *extragerea a trebuit* să fie câștigătoare sau că rezultatul câștigător era necesar. Dacă extragerea nu este trucată, adică nu este manipulată de un factor extern de natură metafizică, atunci apariția observatorilor survine ca un eveniment extrem de improbabil, dar calculabil probabilistic pe baza legilor fizicii, cosmologiei, biologiei și teoriei complexității. Această perspectivă explică și de ce, privindu-ne retrospectiv ca „extragere câștigătoare", suntem tentați să acceptăm forma tare a principiului antropic, adică să privim universul exclusiv din perspectiva unui rezultat favorabil.

UNDE ANALOGIA ESTE UTILĂ ȘI UNDE DEVINE ÎNȘELĂTOARE

Analogia cu jocul de loto este utilă în măsura în care ilustrează efectul de selecție a observatorului, și anume faptul că nu este surprinzător că observăm un univers compatibil cu noi, deoarece, într-un univers incompatibil, nu am exista pentru a observa. Totuși, analogia devine înșelătoare în mai multe privințe, reflectând poziția „bunului simț" asupra existenței vieții și universului în genere. Mai întâi, trebuie luată în considerare ambiguitatea unei singure extrageri. Nu este clar din punct de vedere cosmologic dacă există un singur univers cu un singur set de constante sau un ansamblu de universuri (multivers, inflație eternă) corespunzând mai multor „extrageri". Fără un ansamblu bine definit, noțiunea de probabilitate a constantelor rămâne parțial metaforică, apărând și problema măsurii, și dependența determinantă de distribuția inițială *a priori*. Pentru că dacă în jocul de loto real distribuția este bine definită și uniformă, în cosmologie nu avem un consens asupra distribuției inițiale a constantelor fundamentale. Schimbarea acestei distribuții poate modifica dramatic probabilitatea regiunilor locuibile, așa cum va rezulta din exemplele numerice din final. În al treilea rând, e vorba de multiplicitatea combinațiilor câștigătoare. Viața și observatorii nu apar, probabil, într-o singură combinație punctiformă de parametri, ci într-o familie de condiții compatibile. Prin urmare, analogia cu o singură combinație câștigătoare este aproape sigur prea restrictivă. De asemenea, apare o confuzie între WAP și „posibilitatea extragerii". Formularea standard a principiului antropic slab, în spiritul lui Carter, este una de condiționare, adică observăm doar universuri compatibile cu observatorii, nu universuri „alese" pentru a produce observatori.

FORMALIZAREA AP

Pentru a depăși limitele analogiei intuitive, este necesară o formalizare minimă, în care voi folosi următoarele notații:

θ= vectorul parametrilor fundamentali ai universului

O= evenimentul „există observatori inteligenți”

L= regiunea din spațiul parametrilor compatibilă cu existența observatorilor.

Cu formalismul astfel definit, exprim ecuația probabilistă a principiului antropic slab:

$$P(\theta \in L \mid O) = 1 \quad (1).$$

Probabilitatea ca parametrii favorabili apariției observatorilor să se afle în zona acestora este 1. Altfel spus, dat fiind existența observatorilor, este sigur că parametrii universului observați se află într-o regiune L, compatibilă cu existența acestora. Avem o condiționare logică și probabilistă, nefiind vorba, după cum am arătat mai sus, de o explicație cauzală. Această expresie nu spune nimic despre cât de mare este regiunea L și nici despre cât de probabil era universul nostru înainte de condiționarea pe existența observatorilor.

În continuare, formalizarea bayesiană a selecției antropice,

$$P(\theta \mid O) \propto P(O \mid \theta) \cdot \pi(\theta) \quad (2),$$

arată că distribuția parametrilor observați este proporțională cu produsul dintre probabilitatea apariției observatorilor pentru un anumit set de parametri și distribuția *a priori* a acestora. Formula surprinde esența raționamentului antropic slab, fără a introduce teleologie.

$\pi(\theta)$ reprezintă distribuția a priori (modul în care sunt alese bilele), iar

$P(O \mid \theta)$ exprimă cât de favorabile sunt condițiile pentru apariția observatorilor.

De ce nu rezultă principiul antropic tare.

Din ecuațiile (1) și (2) nu rezultă afirmația: $P(O) = 1$ adică ideea că apariția observatorilor este necesară. Formalismul arată că, dacă observatorii există, ei vor observa un univers compatibil cu existența lor. Trecerea de la această constatare la ideea că universul a fost ales sau constrâns să producă observatori reprezintă un pas metafizic sau teleologic, ceea ce nu poate fi susținut matematic.

UN CALCUL DE TIP LOTO – MODEL MINIMAL

Pentru a ilustra ce este și ce nu este calculabil, considerăm un model simplificat, în varianta geometrică simplă. Presupunem că avem n parametri independenți, uniform distribuiți în intervalul (0, 1). Viața este posibilă dacă fiecare parametru se află într-o fereastră îngustă Δ_i:

$$P(\theta \in L) = \prod_{i=1 \to n} \Delta_i \quad (3).$$

O astfel de probabilitate reprezintă volumul regiunii locuibile în spațiul parametrilor. De exemplu, pentru $n = 10$ și $\Delta_i = 10^{-2}$, se obține 10^{-20}. Acest rezultat reprezintă probabilitatea într-un model idealizat cu ipoteze arbitrare și nu are pretenția că ar exprima probabilitatea reală a apariției vieții. În schimb, dacă distribuțiile inițiale sunt neuniforme, dacă variabilele sunt corelate sau dacă regiunea compatibilă cu observatorii nu este unică, fiind alcătuită din mai multe subregiuni, aceeași probabilitate poate crește sau scădea cu multe ordine de mărime. Într-o variantă graduală, mai realistă, obținem:

$$P(O) = \int P(O \mid \theta) \cdot \pi(\theta)\, d\theta \quad (4).$$

Această formulă permite modelarea graduală a favorabilității pentru observatori și evaluarea probabilității totale prin integrare sau simulări numerice (de tip Monte Carlo). Formula este utilă metodologic, dar nu fixează un rezultat obiectiv fără o teorie bine definită a distribuțiilor implicate.

CONDIȚIONARE *VS* CAUZALITATE – CE ÎNSEAMNĂ „OBSERVĂM X” *VS* „X ESTE PRODUS PENTRU NOI”

Pentru a face mai transparent mecanismul selecției antropice, analogia cu jocul de loto poate fi exprimată într-o formă conceptuală mai precisă. Mai întâi, distribuția inițială a parametrilor universului, analogă modului în care bilele sunt distribuite într-o urnă înainte de extragere, o reprezentăm prin $\pi(\theta)$.

În al doilea rând, probabilitatea ca un anumit set de parametri cosmologici să permită apariția observatorilor, analogă probabilității ca o combinație de numere să fie câștigătoare, apare ca

$P(O \mid \theta)$. În fine, distribuția parametrilor care pot fi efectiv observați, analogă combinațiilor care pot fi relatate de câștigătorii loteriei, este $P(\theta \mid O)$. Această corespondență poate fi exprimată prin condiționarea bayesiană introdusă anterior prin ecuația (2).

Astfel se exprimă faptul că parametrii universului pe care îi observăm sunt condiționați de două elemente, probabilitatea ca acei parametri să permită apariția observatorilor, exprimată prin termenul $P(O \mid \theta)$ și distribuția inițială a parametrilor universului, exprimată prin $\pi(\theta)$. Prin urmare, universul pe care îl observăm este rezultatul unei duble selecții, selecția fizică a parametrilor universului și selecția observațională impusă de existența observatorilor. În termenii analogiei cu loto, principiul antropic slab poate fi exprimat prin faptul că numai câștigătorii pot relata rezultatul extragerii. Aceasta înseamnă că observarea unei combinații câștigătoare nu este ceva surprinzător, deoarece doar o asemenea combinație permite existența unor participanți care să poată relata rezultatul.

În același mod, faptul că observăm un univers compatibil cu existența noastră nu reprezintă o coincidență inexplicabilă. Toate observațiile reflectă faptul că doar într-un asemenea univers pot exista observatori capabili să-l descrie. De asemenea,

ține de limita interpretării faptul că ne gândim la extragere ca la una câștigătoare. Principiul antropic slab afirmă compatibilitatea dintre observatori și univers, iar analogia cu jocul de loto ilustrează un efect de selecție. Avem aici de-a face cu o limitare epistemică, ceea ce face problematică o explicație teleologică.

FORMALIZAREA AFIRMAȚIEI „UNIVERSUL TREBUIE SĂ PRODUCĂ OBSERVATORI"

Sensul afirmației frecvent invocată în literatura antropologică, potrivit căreia universul trebuie să producă observatori, va fi clarificat prin analiza logicii induse de termenul „trebuie". În absența unei precizări conceptuale, disputa dintre forma slabă și forma tare a principiului antropic riscă să devină o controversă terminologică, în care aceeași expresie este utilizată cu semnificații diferite.

În limbaj logic și modal, termenul „trebuie" poate fi interpretat în cel puțin două moduri distincte, ca necesitate modală absolută sau ca necesitate condiționată. Aceste două sensuri conduc la afirmații radical diferite despre statutul observatorilor în univers.

(A) „Trebuie" ca necesitate modală absolută.

În primul sens, „trebuie" poate fi interpretat ca o necesitate modală tare, adică drept o afirmație conform căreia apariția observatorilor este inevitabilă pentru orice configurație posibilă. Formal, se exprimă prin relația:

$$P(O \mid \theta) = 1, \text{ pentru orice } \theta \quad (5).$$

Această ecuație afirmă că, indiferent de valorile parametrilor fundamentali ai universului, probabilitatea apariției observatorilor este certă. Cu alte cuvinte, orice univers posibil ar conduce inevitabil la apariția observatorilor inteligenți. O astfel de afirmație este însă extrem de puternică și, ca teză empirică despre univers, dificil de susținut. Se cunosc numeroase configurații teoretice ale constantelor fundamentale în care nu se formează structuri cosmice stabile, nu apar stele sau elemente chimice complexe, iar condițiile necesare vieții nu se pot realiza. Prin urmare, interpretarea modală absolută a afirmației „universul trebuie să producă observatori" apare, în stadiul actual al cunoașterii științifice, drept implauzibilă.

(B) „Trebuie" ca necesitate condiționată.

Un al doilea sens, mai restrâns, al afirmației poate fi redat sub forma unei necesități condiționate de existența legilor și parametrilor universului nostru. În această interpretare, universul nostru, având legile și parametrii săi specifici, conduce inevitabil la apariția acestora, fără să mai presupunem că orice univers ar fi capabil de a produce observatori. Această poziție poate fi exprimată formal prin:

$$P(O \mid \theta, L) = 1 \quad (6),$$

unde θ reprezintă valorile parametrilor fundamentali ai universului și L, legile fizicii. Așadar, date legile fizicii și valorile parametrilor universului nostru, apariția observatorilor este inevitabilă. O astfel de poziție poate fi descrisă drept o teză teleonomică sau dinamică, unde apariția vieții și a inteligenței ar reprezenta un rezultat necesar al evoluției cosmice, eventual în sensul unui atractor al complexității în dinamica universului. Totuși, această teză rămâne, în prezent, numai o ipoteză puternică. Pentru a fi susținută empiric, ar fi necesară o teorie robustă care să arate că viața și inteligența sunt inevitabile în condițiile universului nostru. O asemenea teorie ar trebui să integreze rezultate din cosmologie, fizica structurilor, chimia complexă, biologia evolutivă și teoria sistemelor complexe.

(C) „Trebuie" ca necesitate statistică într-un ansamblu de universuri.

În sfârșit, termenul „trebuie" poate primi și o interpretare statistică, frecvent invocată în contextul teoriilor multiversului. În această interpretare, universul nostru face parte dintr-un ansamblu foarte mare de universuri sau regiuni cosmice cauzal independente. Dacă fiecare dintre acestea are o probabilitate mică, dar nenulă, de a produce observatori, atunci într-un ansamblu suficient de mare, este aproape sigur că cel puțin una dintre încercări va conduce la apariția observatorilor. Situația poate fi exprimată prin formula probabilității pentru cel puțin un succes într-un număr mare de încercări independente:

$$P(\text{există cel puțin un O}) = 1 - (1-p)^N \quad (7).$$

În această formulă, p reprezintă probabilitatea ca un univers individual să producă observatori, iar N reprezintă numărul total de universuri sau regiuni cosmice. Dacă N este suficient de mare și p este nenul, probabilitatea apariției observatorilor, în ansamblu, tinde către unu. În acest caz, afirmația că universul „trebuie" să producă observatori nu exprimă o necesitate logică sau metafizică, cât o certitudine statistică într-un ansamblu foarte mare de încercări.

Analiza de până acum arată că afirmația „universul trebuie să producă observatori" poate primi sensuri foarte diferite. În funcție de modul în care este interpretată necesitatea implicată de termenul „trebuie", am întâlnit o necesitate modală absolută (Ecuația 5), o necesitate dinamică specifică universului nostru (Ecuația 6) și o necesitate statistică într-un ansamblu foarte mare de universuri (Ecuația 7, a se vedea mai jos Exemplul numeric 3). Doar prima dintre aceste interpretări ar implica inevitabilitatea observatorilor în orice univers posibil, în timp ce celelalte două introduc ipoteze suplimentare despre structura sau multiplicarea universurilor. Prin urmare, trecerea de la principiul antropic slab la formele tari presupune introducerea unor ipoteze suplimentare care depășesc simpla selecție observațională.

CÂTEVA EXEMPLE NUMERICE ÎN DIFERITE IPOTEZE COSMOLOGICE

Exemplul numeric 1 – Model minimal cu trei parametri independenți.

Pentru a ilustra mecanismul probabilistic al selecției antropice într-o formă cât mai simplă, considerăm un model minimal cu trei parametri, x, y, z. Acești parametri pot reprezenta, în mod abstract, trei constante fizice sau trei condiții inițiale relevante pentru apariția structurilor complexe și, în ultimă instanță, a observatorilor. Ipotezele modelului țin de independența parametrilor (x, y și z pot varia independent unul de celălalt), distribuția lor este uniformă (fiecare parametru poate lua valori într-un interval normalizat, $0 \leq x, y, z \leq 1$) și toate valorile sunt considerate la fel de probabile. Observatorii pot apărea numai dacă parametrii se află într-un interval îngust, numit „fereastră antropică". Notăm aceste intervale prin Δx , Δy , Δz. În aceste condiții, probabilitatea ca toate cele trei condiții să fie satisfăcute simultan va fi produsul lățimilor acestor intervale:

$$P(L) = \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z = 10^{-6} \text{ (Ex.1)},$$

dacă presupunem că fiecare parametru trebuie să se afle într-o fereastră de lățime $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.01$. Deci, șansele ca un univers ales aleator să conțină observatori sunt, în cazul acestei ipoteze, de 1 la un milion.

Exemplul arată cum probabilitățile mici pot apărea natural atunci când existența observatorilor depinde de mai multe condiții independente, fiecare necesitând o ajustare relativ fină.

Exemplu numeric 2 – Influența distribuțiilor, corelațiilor și a multiplicității regiunilor locuibile.

În exemplul precedent am considerat un model foarte simplu, cu parametri independenți și uniform distribuiți. În această situație, probabilitatea regiunii compatibile cu apariția observatorilor a rezultat din produsul unor ferestre înguste, conducând la o valoare mică. În realitate însă, probabilitatea apariției observatorilor depinde în mod decisiv de structura modelului probabilistic, adică de distribuția parametrilor, de eventualele corelații dintre ei și de forma regiunii locuibile. Pentru a ilustra acest lucru, păstrăm același model cu trei parametri, x, y, z, dar modificăm succesiv ipotezele inițiale.

(2A) Distribuție neuniformă

În primul rând, să presupunem că parametrii nu sunt distribuiți uniform în intervalul $0 \leq x, y, z \leq 1$, distribuția lor fiind concentrată în anumite regiuni ale spațiului parametrilor. De exemplu, valorile lui x, y și z sunt mai probabile în apropierea regiunii locuibile. În acest caz, probabilitatea efectivă devine:

$$P(L) = \int \pi(x,y,z)\, dxdydz, \text{ pentru } (x,y,z) \in L \text{ (Ex.2A)}.$$

Funcția $\pi(x,y,z)$ reprezintă distribuția *a priori* a parametrilor. Dacă această distribuție este concentrată în apropierea regiunii locuibile, probabilitatea lui L

poate deveni mult mai mare decât produsul ferestrelor. De exemplu, ea poate crește de la 10^{-6} La 10^{-3} sau chiar 10^{-2}. Acest fapt arată că probabilitatea depinde de alegerea distribuției.

(2B) Corelații între parametri.

În exemplul anterior am presupus că parametrii sunt independenți. Însă, în multe situații fizice, constantele fundamentale sunt legate prin relații dinamice. Presupunem, de exemplu, că parametrii satisfac aproximativ relația $z \approx x + y$. În acest caz, spațiul parametrilor accesibili nu mai este tridimensional, ci se reduce la o suprafață sau la o bandă îngustă în interiorul spațiului inițial. Probabilitatea regiunii locuibile devine proporțională cu lungimea intersecției dintre această suprafață și regiunea compatibilă cu viața. Formal, probabilitatea poate fi scrisă schematizat ca Ecuația (Ex.2B):

$$P(L) \approx \int \pi(x,y,z) \cdot \delta(z - x - y)\, dxdydz, \text{ pentru } (x,y,z) \in L$$

Unde $\delta(z - x - y)$ reprezintă restricția care exprimă corelația dintre parametri. În acest caz, spațiul efectiv al posibilităților este mai mic, iar probabilitatea regiunii locuibile poate crește semnificativ.

(2C) Mai multe regiuni locuibile.

În exemplele precedente am presupus că există o singură regiune compatibilă cu apariția observatorilor. Totuși, nu există niciun motiv principial pentru a presupune că viața este posibilă într-un singur interval al parametrilor. Mai plauzibil ar fi ca spațiul parametrilor să conțină mai multe regiuni locuibile,

$$L_1, L_2, \dots, L_k.$$

În acest caz, probabilitatea totală a apariției observatorilor devine suma probabilităților acestor regiuni, ca în Ecuația (Ex.2C):

$$P(L) = \Sigma\, P(L_i)$$

Dacă fiecare regiune are probabilitate mică, dar numărul lor este mare, probabilitatea totală poate deveni mult mai mare decât probabilitatea unei singure regiuni. De exemplu, dacă fiecare regiune are probabilitatea 10^{-6}, iar numărul regiunilor este 1000, atunci probabilitatea totală devine aproximativ 10^{-3}.

Conchidem că probabilitatea apariției observatorilor depinde de lățimea ferestrelor antropice, de structura probabilistică a modelului exprimată de distribuția *a priori* a parametrilor, de corelațiile dintre ei și de numărul regiunilor compatibile cu viața.

Exemplul numeric 3 – Multiplicitatea încercărilor și apariția inevitabilității statistice.

Până acum am analizat probabilitatea apariției observatorilor într-un singur „univers”, adică într-o singură realizare a parametrilor x, y, z. În acest cadru, probabilitatea regiunii locuibile poate fi extrem de mică, de ordinul 10^{-6} sau chiar

mai mică, în funcție de ipotezele modelului. Perspectiva se schimbă radical dacă admitem existența unui număr mare de încercări independente, adică a unui ansamblu de universuri sau regiuni cosmice în care parametrii pot lua valori diferite. Presupunem, în continuare, că probabilitatea ca într-o singură realizare a parametrilor să apară observatori este p = P(L), unde L reprezintă regiunea compatibilă cu apariția observatorilor. În modelul anterior, această probabilitate putea fi, de exemplu, $p = 10^{-6}$. Să presupunem acum că există un număr mare N de realizări independente ale universului, fiecare caracterizată prin valori diferite ale parametrilor x, y, z. Întrebarea dacă un univers particular produce observatori, devine: dacă există cel puțin un univers în care aceștia apar. Probabilitatea ca într-o singură realizare să nu apară observatori este 1 − p.

Dacă încercările sunt independente, probabilitatea ca în niciuna dintre cele N realizări să nu apară observatori este $(1 - p)^N$. Prin urmare, probabilitatea ca observatorii să apară în cel puțin una dintre aceste realizări este:

$$P(\text{există observatori}) = 1 - (1 - p)^N \quad \text{(Ex.3)}.$$

Această formulă exprimă trecerea de la probabilitatea locală, asociată unei singure realizări, la probabilitatea globală, asociată unui ansamblu de încercări. Pentru a evalua comportamentul acestei probabilități, considerăm cazul în care p este foarte mic, iar N este foarte mare. În această situație, expresia poate fi aproximată prin relația

$$(1 - p)^N \approx e^{(-pN)} \quad (8).$$

Această aproximație este valabilă pentru valori mici ale lui p și valori mari ale lui N și permite o interpretare simplă a rezultatului. Rezultă astfel că:

$$P(\text{există observatori}) \approx 1 - e^{(-pN)} \quad (9).$$

Pentru a ilustra numeric această situație, păstrăm valoarea $p = 10^{-6}$ și considerăm mai multe valori ale lui N. Dacă $N = 10^6$, atunci pN = 1, iar probabilitatea devine aproximativ $P \approx 1 - e^{-1} \approx 0.63$.

Aceasta înseamnă că, deși fiecare univers are o probabilitate foarte mică de a produce observatori, existența unui număr suficient de mare de universuri face ca apariția observatorilor să devină deja probabilă.

Dacă $N = 10^7$, atunci pN = 10, iar probabilitatea devine $P \approx 1 - e^{-10} \approx 0.999$. În acest caz, apariția observatorilor devine practic sigură.

Acest exemplu arată că o probabilitate extrem de mică la nivel local poate deveni aproape certitudine la nivel global, atunci când numărul de încercări este suficient de mare. Cu alte cuvinte, ceea ce este improbabil într-un singur univers poate deveni inevitabil într-un ansamblu de universuri.

Astfel de exemple demitizează anumite automatisme de gândire, cum ar fi „Pentru că p e mic, universul e trucat/intenționat”. O astfel de susținere nu urmează epistemologic, calculul arată că se poate ajunge la observatori, fără intenție, dacă

N este enorm. În dauna unei necesități absolute a observatorilor, se poate obține cel mult faptul statistic că într-un ansamblu cu N mare, este aproape sigur să existe cel puțin un O.

TREI NIVELURI DE RECONSTRUCȚIE A AP

Sinteza dintre modelul probabilistic și analiza conceptuală arată că principiul antropic poate fi reconstruit riguros pe trei niveluri. La nivel științific exprimă selecția și condiționarea observațională, la nivel cosmologic poate fi extins într-un cadru statistic al multiplelor încercări, iar la nivel metafizic, poate susține interpretări despre sens, finalitate și design, fără ca acestea să fie impuse de calcule.

Calculul delimitează selecția de dependența de ipotezele *a priori* și de condițiile în care apare inevitabilitatea statistică. Matematica poate arăta cum apar probabilitățile mici, dar nu poate transforma singură această micime într-o dovadă a designului sau a finalității. Din matematică nu rezultă necesitatea teleologică a observatorilor. Tocmai această delimitare face posibilă folosirea principiului antropic atât ca instrument de clarificare științifică, cât și ca punct de plecare pentru reflecția filosofică.