

## TIMPUL ȘI PROBLEMA CONSERVĂRII ENERGIEI

LUCA NAHORNIAC

Student la Facultatea de Fizică și la Facultatea de Filosofie, Universitatea din București

**Time and the Problem of Energy Conservation.** This paper purports to show a transcendental link between the problem of energy conservation in General Relativity and the metaphysical status of spacetime. By tracing a parallel between the contemporary discussion in physics and Kant's *Analogies of Experience*, I adopt a functionalist position in showing how the two problems are interrelated. Comparing Special and General Relativity, I highlight the outcomes of reifying spacetime – and the transcendental cost of substantivalism.

**Keywords:** spacetime, energy, Kant.

Episodul întrucâtva anecdotic al profesiunii de credință a lui Einstein în Dumnezeu lui Spinoza e binecunoscut, dar din păcate mai des legat de biografia decât de gândirea lui. Într-adevăr, pentru oricine se apropie pentru prima dată de Teoria Generală a Relativității cu un anumit bagaj filosofic, impresia care se impune (chiar dacă nu ar fi, poate, un adevăr demonstrabil discursiv) e că rudimente conceptuale din titulatura Substanței infinite a lui Spinoza sunt încă de găsit în spațiu-timpul relativist, așa cum l-a construit Einstein. În cele ce urmează, voi încerca, pornind de la ceea ce în mod limpede nu e decât o presimțire, să articulez o pledoarie pentru importanța marilor schimbări tăcute din istoria științei, precum cea care s-a înfăptuit în primul sfert al secolului trecut, de o importanță covârșitoare pentru parcursul ulterior al științei moderne.

Pentru o anumită orientare a filosofiei științei, au fost de multe ori mai revelatoare pentru progresul științific condițiile sociale, contextul politic sau felurite întrepătrunderi de medii culturale, decât studiul prin reconstrucție conceptuală al marilor sisteme teoretice. Să mai citești încă istoria prin lentila poveștilor exemplare ale „marilor oameni” este, astăzi, privit în cel mai bun caz cu suspiciune și, în orice caz, cu ușoară compătimire rezervată dintotdeauna celor naivi.

Deși clădirile obișnuite anevoie își pot schimba fundația fără să fie dărâmate cu totul, gândul este iarăși de o consistență mai subtilă decât materia, care îi permite să-și înnoiască fundamentele fără a schimba aparent aproape nimic din suprastructura conceptuală. Iar ocaziile în care centrul de greutate al vreunui astfel de edificiu noetic masiv se mută fără a-și anunța răsturnarea implicită sunt cu atât mai satisfăcător de urmărit, cu cât sunt mai rare și mai de anvergură. Una dintre

aceste rare ocazii o constituie răsturnarea care a avut loc, în primul sfert al secolului XX, prin Teoria Generală a Relativității.

Faptul că timpul a fost „spațializat” în Relativitatea Generală e deja un loc comun, dar implicațiile acestei observații teoretice, altfel aparent banale, sunt mult mai profunde decât ar putea părea la prima vedere. Timpul devine în mod explicit simetric, iar ecuațiile de mișcare pot fi rescrise întotdeauna inversând pur și simplu semnul timpului, fără nicio restricție teoretică. Deși poate părea desigur straniu, dacă nu chiar scandalos, în această teorie, care descrie cel mai bine universul la scara lui astronomică, timpul e prin construcție simetric, pentru că de fapt nu există deloc o „săgeată a timpului” bine definită, care să fie orientată spre viitor sau spre trecut. Celelalte încercări ale spiritului științific de a prinde caracterul unidirecțional al timpului (abordarea fizicii statistice, de exemplu), cu greu se pot compara cu grandoarea (incontestabilă în cele din urmă) viziunii propuse de Teoria Generală a Relativității, care încă domină paradigmatic cadrul cosmologiei contemporane. Astfel, singurul timp propriu-zis valid rămâne să fie prezentul.

După cum voi arăta, printre consecințele mai puțin evidente ale acestei poziții se numără și faptul că una dintre legile sacre ale panteonului fizicii teoretice începe să se clatine: legea conservării energiei. Mai exact, aceasta rămâne valabilă doar în mod local, în forma ei *diferențială*, cantitatea totală de energie dintr-un „volum” spațio-temporal dat nefiind conservată în cazul general și nici măcar definită în mod neechivoc întotdeauna (altfel spus nu avem și o *formă integrală* a legii). Toate aspectele menționate până acum pot fi conectate prin studierea mutării „centrului de greutate” al teoriei despre care am discutat la început, iar felul în care mișcarea a avut loc poate fi expus făcând apel la unul dintre cele mai faimoase argumente din istoria filosofiei, cel al conservării substanței – datorat lui Kant.

Propun astfel o investigație a relației dintre conservarea tensorului energie-impuls (reprezentantul matematic, generalizat corespunzător, al materiei în toate formele ei) și statutul metafizic al spațiu-timpului. Înaintez așadar teza unei invers-proporționalități (desigur necuantificabilă ca atare, dar nu mai puțin reală) dintre măsura în care, pe de o parte, putem trata spațiu-timpul însuși ca o substanță reprezentabilă intelectual și măsura în care, pe de altă parte, am putea formula legi veritabile integrale de conservare în acest caz. Altfel spus, adoptând o abordare funcționalistă, energia conservată și spațiu-timpul „substanțial” pot fi văzute drept candidați apti pentru același rol transcendentă de a unifica toate evenimentele într-un singur set (cauzal) conectat – de fapt, într-o aceeași lume. Prin urmare, accentuarea unuia ar duce în mod natural la decăderea celuilalt. Voi exemplifica faptul că ce se întâmplă atunci când timpul devine, filosofic vorbind, substanțial este că lucrurile își pierd consistența obiectivă. Spre ilustrarea celor de mai sus, voi analiza în paralel structura *Analogiilor Experienței* ale lui Kant și dezbaterile fizicii teoretice contemporane despre legile de conservare din Teoria Relativității.

Voi începe prin a prezenta pe scurt problema în contextul fizicii teoretice de la începutul secolului trecut, luând în considerare reacția comunității științifice la acea vreme. Apoi, voi lega considerentele ținând de simetrie în contextul

geometriei diferențiale de chestiunea existenței mărimilor conservate (în secțiunea întâi). Adoptând o poziție funcționalistă, voi trasa o paralelă între elementele structurale ale Teoriei Relativității și noțiunea kantiană de substanță, văzută ca un indiciu transcendentă pentru statutul spațiu-timpului însuși (secțiunea a doua). Voi parcurge apoi pașii unei comparații între elementele de structură ale Teoriei Relativității Speciale și, respectiv, Generale, legând reprezentarea câmpurilor vectoriale Killing de chestiunea structurilor de fundal (*background structures*). În continuare, în susținerea tezei invers-proportionalității formulate la început, voi formula un argument cu valoare de teoremă reciprocă bazat pe modificările tensorului metric atunci când considerăm un spațiu care posedă simetrii. În final, voi face apel la o comparație între noțiunile diferite de simultaneitate folosite în Relativitatea Specială și în cea Generală.

Nu întreprind în cele ce urmează nici o apărare exhaustivă a sistemului kantian, nici un argument în favoarea substanțialismului, ci doar o schiță pentru rezolvarea ambiguității care zace între statutul metafizic al spațiu-timpului și validitatea legilor integrale de conservare a energiei. Cred că, deși în niciun fel obligatoriu prin forța lucrurilor, un argument de inspirație transcendentă poate fi cel puțin util ca instrument conceptual mai rar folosit în comparație cu abordările pozitivistice, leibniziene sau convenționaliste, care au fost mult mai des uzitate în epoca noastră.

### 1. PUNEREA ORIGINARĂ A PROBLEMEI: FIZICA

În teoria lui Einstein, după cum se spune îndeobște, spațiu-timpul îi dictează materiei cum să se miște, iar cea din urmă îi dictează celui dintâi forma și curbura. Deși nu complet greșită și cu siguranță foarte utilă ca expunere inițială a principiilor Relativității Generale, afirmația de mai sus are și cusurul că face ecuația de câmp, ecuația centrală a întregii teorii,

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

să pară de parcă spațiu-timpul și materia și-ar „răspunde” reciproc permanent într-un joc al activității și pasivității perpetue, când de fapt ecuația de câmp descrie mai degrabă universul ca întreg deja desfășurat, monolitic și perfect în echilibrul pe care îl păstrează între cele două părți ale egalității. Ecuația de câmp nu e în sine o ecuație de mișcare (la ecuația geodezică și alte ecuații de mișcare se va putea ajunge doar mai târziu), ci e mai degrabă descrierea unei priviri atemporale, geometrice asupra echilibrului etern dintre câmp și surse.

În cele ce urmează, notațiile sunt cele consacrate pentru geometria pseudo-riemanniană; tensorul metric (sau, pur și simplu, metrica) arată cum se măsoară

distanțele și unghiurile în fiecare punct al unui spațiu dat; el conține așadar toate informațiile despre curbura, dimensionalitate și alte proprietăți de suprastructură adăugate asupra varietății, care inițial nu posedă decât trăsături topologice (cum ar fi conectivitatea, compactitatea sau deschiderea intervalelor). Aceste din urmă proprietăți nu presupun niciun fel de măsură, ci doar relațiile fundamentale dintre vecinii membri ai unei mulțimi de elemente – sunt, cu alte cuvinte, proprietăți pur topologice. Pentru a face geometrie, e totuși nevoie de mai mult, iar aici un rol principal îl joacă tensorul metric, care în spațiu-timpul cvadridimensional în care trăim capătă forma matematică a unei matrice 4x4. De cealaltă parte a egalității care constituie ecuația centrală a Relativității Generale se află tensorul energie-impuls, care descrie densitățile de energie și materie, fluxurile de impuls și presiunile curgând din toate direcțiile spațiu-timpului într-un punct dat – pe scurt, tensorul energie-impuls descrie sursa substanțială a câmpului gravitațional și deci sursa curburii spațiu-timpului.

Printre primele consecințe stranii observate ale ecuațiilor de câmp ale lui Einstein a fost și aparenta abolire a legii conservării energiei. Deși a atras la momentul respectiv o serie de oponenți și de critici<sup>1</sup>, după anul 1920 discuția s-a transformat într-una mai curând tehnică, aparent lipsită de consecințe relevante pentru cei care nu se ocupau cu Relativitatea Generală. Și, într-adevăr, în afară de disconfortul care l-a determinat inițial pe Einstein să studieze pseudotensorul gravitațional, daunele sistemice au fost relativ limitate, cel puțin prin contrast cu prestigiul pe care această lege îl avusese cândva în panteonul fizicii. Dar faptul că și motivul pentru care lucrurile au stat astfel este relevant pentru însăși problema discutată și face parte din argumentele ce vor urma.

Desigur, în Relativitatea Generală, legea conservării tensorului energiei-impuls rămâne în continuare valabilă la nivel local (adică în vecinătatea infinitezimală unde spațiu-timpul este oricum considerat plat), ceea ce nu e deloc surprinzător:

$$\nabla_{\mu} T^{\mu\nu} = 0$$

Cu toate acestea, la o scară mai largă, găsirea unei forme integrale devine din ce în ce mai dificilă. O soluție inițială pentru recăștigarea a ceva precum legea conservării energiei încerca să dea seama de energia pierdută sau câștigată grație câmpului gravitațional prin construirea unui tensor atotcuprinzător:

$$t^{\mu\nu} = \partial_{\lambda} U^{\mu\lambda\nu} - \frac{1}{8\pi} G^{\mu\nu}$$

<sup>1</sup> Controversa și-a atins maximul între 1916 și 1918. Critici precum Schrödinger (1918) au arătat cum componente ale pseudotensorului gravitațional propus de Einstein pot fi făcute să dispară într-un câmp gravitațional atât de simplu precum soluția Schwarzschild.

Această entitate – adică pseudotensorul gravitațional energie-impuls – apare ca modificare a derivatei superpotențialului  $U^{\mu\lambda\nu}$ , dar care este în sine artificial și nici măcar definit în mod unic<sup>2</sup>; pentru că eșuează în a se comporta ca un tensor veritabil (i.e. în a se transforma corespunzător când coordonatele se modifică), dispărând în anumite cadre și apărând în altele, bunului simț al fizicienilor i-a venit mereu greu să îl trateze ca pe un obiect propriu-zis. Este crucial să privim acest scepticism nu ca pe o simplă nemulțumire tehnică, ci ca pe un simptom al unei mutații metafizice. În vreme ce conservarea energiei rămâne euristic utilă în modelarea sistemelor izolate – cum ar fi găurile negre sau sistemele solare binare – sentimentul larg răspândit rămâne acela că energia conservată nu reprezintă un obiect „adecvat”. Consider că această intuiție are însă un fundament mai adânc: ea semnalează faptul că sarcina substanțialității a suferit o mutație, energia nemaifiind fundalul necondiționat al realității de ordin fizic, iar rolul ei fiind uzurpat de spațiu-timp.

De obicei, întreaga problemă este înțeleasă ca gravitând în jurul celei referitoare la existența câmpurilor vectoriale Killing (de tip temporal), a căror prezență sugerează de fapt o simetrie a metricii de-a lungul uneia dintre direcțiile curbe ale spațiu-timpului:

$$\nabla_{(\mu} K_{\nu)} = 0$$

Ca o versiune geometrizată a teoremelor lui Noether, prin care simetriile continue le corespund cantități conservate, simetria metricii dată de câmpul vectorilor Killing rezultă în cantitatea conservată:<sup>3</sup>

$$p^\mu \nabla_\mu (K_\nu p^\nu) = 0$$

Astfel, pentru că într-un cadru generic al Teoriei Relativității vectorii Killing de tip temporal nu pot fi găsiți (sau cel puțin nu la scară cosmologică) și, mai mult, întrucât par să existe dovezi care să susțină teza că universul nostru nu conține astfel de simetrii, se consideră de regulă că, în Relativitatea Generală, energia nu se conservă<sup>4</sup>.

<sup>2</sup> James Read, *On Certain A Priori Claims in the Foundations of Spacetime Theories*, teză doctorală susținută la University of Oxford, <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:2fa559a2-7c7f-4cd6-8bc7-d745319abbdc>, p. 131

<sup>3</sup> De obicei, energia conservată integral pe un „volum” de spațiu-timp este energia Komar, dar aici am prezentat doar energia pentru o particulă de test, deoarece aceasta ilustrează mai bine teorema Killing.

<sup>4</sup> Absența câmpurilor vectoriale Killing de gen temporal în modelele Friedmann–Lemaître–Robertson–Walker, care descriu universul nostru în expansiune, sunt un rezultat standard în cosmologie.

Dar niciuna dintre aceste discuții nu pare să îl preocupe pe fizicianul care încearcă să formuleze punerea unei probleme într-un cadru metric generic al Relativității Generale, lucru care se poate realiza, desigur, fără să se preocupe în primă instanță cu proprietățile superpotențialilor. Altfel spus, cu toate că energia conservată integral este cu siguranță utilă în numeroase contexte practice și cu toate că aproximări matematice ale unor vectori Killing pot fi căutate și identificate, acesta nu este în niciun caz un impediment *de jure* pentru fizicianul care vrea să conceapă un univers ipotetic gol, cu o metrică arbitrară în evoluție (soluții cosmologice fără nicio intenție de a se apropia de condițiile Killing).

Teza mea e că ambiguitatea conservării energiei în Relativitatea Generală este intim conectată cu faimoasa ambiguitate a statutului metafizic al spațiu-timpului însuși (și anume din motive filosofice care pot fi trasate până la Analogiile lui Kant, după cum voi arăta în următoarea secțiune). Mai precis, susțin că, în teoriile pre-relativiste, energia juca rolul ocupat acum de spațiu-timpul însuși, adică rolul unui fundal care garantează coeziunea tuturor fenomenelor fizice. Mai mult, „forța” proprietăților topologice implicite ale spațiu-timpului este, acum, atât de puternică, încât cauzalitatea nu mai este necesară pentru conectarea tuturor evenimentelor spațio-temporale. Voi argumenta așadar faptul că spațiu-timpul a fost indubitabil reificat (cel puțin la nivel funcțional) în Relativitatea Generală și că, în consecință, câmpurile vectoriale Killing nu mai poartă nicio necesitate transcendentă, cum ar fi făcut în Relativitatea Specială. Acesta este și motivul pentru care abolirea legii integrale a conservării energiei nu a produs nicio ruptură scandalosă la momentul respectiv – și anume pentru că, în mod tacit, funcția sa fusese preluată de un spațiu-timp puternic obiectivat.

## 2. SUBSTANȚĂ ȘI ENERGIE: METAFIZICA

Materia și energia obișnuiau să fie principalul subiect logic al predicăției în fizică, ale căror alterații le găsim întotdeauna în orice experiment. Pentru a menține unitatea fenomenelor fizice într-un singur set bine conectat de evenimente, o soluție tradițională (și în plus intuitivă) a fost aceea de a atribui orice schimbare aceluiasi subiect primordial (de aici *substanța*) – ale cărei diverse alterații sunt interconectate *a priori* prin aceea că aparțin aceleiași realități durabile.

Dacă ceva nou (să îl numim N) pare să apară din nimic, va trebui să concepem, pe de o parte, o serie temporală singulară care să conecteze existența și inexistența acestuia și, pe de altă parte, ceva care fundamentează în mod continuu această unitate (în măsura în care nu atribuim o existență separată timpului). Dacă nu ar exista o conexiune permanentă între starea de fapt dinainte de apariția lui N și cea ulterioară, am fi puși în fața unei realități scindate și, în cele din urmă, contradictorii, cuprinzând două timpuri paralele fără vreo legătură unul cu altul. Prin urmare, pentru a putea garanta conectivitatea evenimentelor într-un singur timp ordonat, suntem obligați logic să asociem alterațiile unui unic subiect persistent.

Legitimitatea acestei concluzii este susținută mai departe prin faptul că suntem constrânși să concepem existența unui alt lucru (M), prealabilă apariției lui N, căci un timp gol, dar potent cauzal este imposibil; prin urmare, am putea fi conduși spre a susține că noua entitate, N, trebuie să fie o simplă determinație particulară a entității preexistente M, tocmai datorită necesității transcendente de a fundamenta întotdeauna legătura între evenimente. Dacă însă M ar dispărea complet fix în clipa când N apare, am fi din nou obligați să conectăm logic pe M și pe N (văzute acum ca simple alterații) într-un același subiect – căci altfel nu ar rămâne nimic care să garanteze conectivitatea evenimentelor într-un singur timp ordonat, în locul a două timpuri distincte și izolate, fără o intersecție necesară.

Cealaltă soluție funcțională pentru conceptualizarea schimbării și transformării (deși neutilizată pe scară largă până la apariția Teoriei Generale a Relativității) este aceea de a reprezenta timpul însuși drept elementul care leagă diferite fenomene, eliminând astfel energia din rolul de fundal fenomenal substanțial.

Într-o manieră similară celei în care Eleanor Knox<sup>5</sup> interpretează poziția funcționalistă, încerc să articulez o poziție în care spațiu-timpul este investigat din perspectivă funcționalistă „nu prin ceea ce *este*, ci prin ceea ce *face*”, fără a asuma totuși vreun realism structural ontic. Asemenea lui Knox, înțeleg „funcționalismul științific” drept o manieră mult mai productivă de interpretare decât simpla speculație metafizică. Totuși, în cele ce urmează mă voi orienta către investigarea orizontului care se deschide între „banalitatea popular-teoretică referitoare la spațiu-timp” a simțului comun (care poate fi respinsă cu îndreptățire) și rolul funcțional riguros prescris spațiu-timpului de tradiția științifică. Acest domeniu, care nu trebuie confundat nici cu înțelegerea psihologizantă a jocului obișnuit de imagini, nici cu pura structură logică a unei teorii, este *domeniul transcendental*, i.e. domeniul condițiilor de posibilitate pentru dobândirea de cunoștințe (*a priori*) despre natură. Când privim Relativitatea Generală prin această lentilă funcționalistă, o mutație crucială devine vizibilă. Faptul istoric că, odinioară, conservarea substanței a fost privită drept o lege apodictic certă a naturii ne împinge să investigăm tocmai fundamentele acestei certitudini. Trebuie așadar să ne întrebăm ce funcție îndeplinea legea de conservare – o funcție care, conform tezei mele, a revenit acum spațiu-timpul însuși. Urmărirea demonstrației lui Kant pentru conservarea substanței se dovedește așadar importantă nu atât pentru contextul istoric, ci pentru contrastul structural: urmărind argumentul lui Kant, putem identifica momentul precis în care premisele sale diverg față de cadrul relativist modern.

În versiunea științei moderne, materia și energia sunt, în mod intuitiv, cele mai apropiate echivalente fizice pentru vechea idee filosofică de substanță, ceea ce reiese clar din faptul că chimiștii încă denumesc conservarea materiei

<sup>5</sup> Eleanor Knox, *Spacetime Structuralism or Spacetime Functionalism?* [Preprint], 2014, p.12. <https://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/22630> (accesat pe 17.12.2025).

„conservarea substanței”<sup>6</sup>. În prima *Analogie a Experienței*, Kant arată cum prima categorie pur logică a relației – *substantia et accidens* – implică în mod necesar o schemă corespunzătoare (aceea a realului care persistă în timp), pentru a structura experiența. Astfel apare aici un principiu *a priori* care susține că „Substanța persistă în orice schimbare a fenomenelor și cuantumul ei în natură nu crește, nici nu scade”<sup>7</sup>. Argumentul se desfășoară astfel: după cum pare că nu ne putem reprezenta timpul pur care, în trecerea noastră prin el, face toate alterațiile comprehensibile (tocmai pentru că în el însuși nu există niciuna), este nevoie de altceva pentru a garanta fluxul coerent al timpului. Fără această reprezentare fundamentală, nicio schimbare obiectivă nu ar putea fi experimentată, căci atunci nu am putea identifica niciun fundal comun în fața căruia să (ne) reprezentăm alterațiile și am fi în schimb confrunțați cu două sau mai multe timpuri paralele, fără nicio coeziune inteligibilă între ele<sup>8</sup>. Și, deși impresiile noastre senzoriale imediate sunt întotdeauna ulterioare una alteia, ele încă nu sunt obiectiv succesive, pentru că rămâne ca intelectul să guverneze modurile temporale în mod corespunzător pentru a forma experiența obiectivă a a simultaneității sau succesivității – iar pentru aceasta e nevoie de un substrat al experienței. După cum spune chiar el (Kant, B227), „Dacă am voi să atribuim timpului însuși o succesiune, ar trebui să mai gândim încă un alt timp, în care această succesiune ar fi posibilă”. Substanța e prin urmare ceea ce fundamentează orice alterație și cea care e ea însăși mereu alterată (în vreme ce alterațiile ei pur și simplu dispar), jucând astfel „rolul” timpului însuși în experiență. Pentru Kant, substanța nu e de întâlnit altundeva în afara experienței, dar nici nu e vreodată intuită direct ca atare, fiind în fapt un produs intelectual menit să asigure conectivitatea evenimentelor într-un același timp (fiind chiar actorul care joacă rolul acestuia).

Dar aici trebuie amintită poziția extrem de importantă de la care pleacă demonstrația lui Kant: „*Timpul nu poate fi perceput în sine*. Prin urmare, în obiectele percepției, adică în fenomene, trebuie să se găsească substratul care reprezintă timpul în genere și în care orice schimbare sau simultaneitate poate fi percepută în aprehensiune prin raportul fenomenelor față de el”<sup>9</sup>.

E deosebit de important de amintit aici că, în termeni kantieni, timpul e o formă pură a intuiției sau cel mult o intuiție formală; nu e astfel nici un obiect, nici

<sup>6</sup> Aceasta nu e, firește, o demonstrație, dar nici nu intenționez să fie mai mult decât un indiciu al unui simț comun.

<sup>7</sup> (B225).

<sup>8</sup> „Substanțele (în fenomen) sunt substraturile tuturor determinărilor de timp. Nașterea unora și dispariția altora ar suprima însăși condiția unică a unității empirice a timpului și fenomenele s-ar raporta atunci la două feluri de timp, a căror existență s-ar scurge simultan, ceea ce este absurd. Căci nu există decât un timp, în care toate timpurile diferite trebuie puse nu ca simultane, ci ca succesive.” (Immanuel Kant, *Critica rațiunii pure*, traducere Nicolae Bagdasar și Elena Moisuc, București, Editura Univers Enciclopedic Gold, 2009, p. 204) (B232).

<sup>9</sup> *Ibidem*, p. 201 (B226)

o proprietate a obiectelor, nici o pânză a relațiilor dintre obiecte. Nu e el însuși mult-căutata substanță, dar nici nu e complet deconectat de ea, căci cea din urmă își poate avea validitatea a priori în demonstrarea conservării ei numai și numai prin rolul pe care îl joacă în schematismul temporal al conceptelor pure. Dincolo de schematism, substanța ar rămâne un blocaj al funcției judecății categorice, încercând în van să ajungă la subiectul prim al oricărei cogniții (precum se întâmplă în paralogismul rațiunii pure). În fapt, în întregul sistem kantian presupuziția fundamentală este că unitatea reprezentărilor nu poate fi niciodată doar *dată* ca atare, nici prin simplă aprehensiune, nici prin vreun obscur acces intuitiv al intelectului (cu totul incomprehensibil pentru noi). Unitatea e *impusă* asupra lumii prin tripla sinteză a aprehensiunii, imaginației și intelectului, mânate de acea unitate sintetică originară a apercepției. Iar din cauza acestei asumptii fundamentale e nevoie de ceva extrasenzorial pentru a asigura coeziunea coerentă a experienței. Nu voi încerca să justific poziția teoretică a lui Kant, precum nu am încercat să justific atitudinea comună a fizicienilor care studiază Teoria Relativității, ci le voi lua mai degrabă ca atare în susținerea tezei mele – abia ea fiind, cred eu, complet justificabilă.

Pe de altă parte, după cum a descris atât de evocator Lucas, în Relativitatea Generală moștenim o lume a spațiu-timpului obiectivat, în care varietatea de fundal a lumii are o preeminență constructivă în fața oricăror alte entități<sup>10</sup>. Subiectul cunoscător (teoreticianul de referință) nu mai resimte necesitatea transcendentă pentru un subiect fundamental care să suporte predicția atributelor fizice (ca o substanță sub orice chip), deoarece acum varietatea diferențială a spațiu-timpului e deja de una singură un fundal foarte puternic. Acesta ar fi motivul filosofic pentru care, de la conceperea sa, Relativitatea Generală nu a putut acomoda legea conservării energiei în forma ei integrală, lipsindu-i câmpurile Killing în cadrul ei generic – spre deosebire de Relativitatea Specială, unde transformările implicate de grupul Poincaré induc câmpuri Killing generale. Faptul că timpul cel „adevărat” al duratei trăite nu ar fi încapsulat de concepția lui fizică, așa cum au sugerat Bergson sau Heidegger, poate fi desigur adevărat, dar nu este decisiv pentru argumentul meu, pentru care suficient e că fizicianul e pus în poziția în care să opereze cu spațiu-timpul *ca și cum* ar fi substanțial.

Altminteri, în absența unui fundal ori a unei mărimi conservate, este îndoielnic că am putea imagina interacțiunea în timpul unui eveniment în așa fel încât să garantăm contiguitatea (ordonată) între toate fenomenele drept conectate în

<sup>10</sup> „Space-time is not only a noun rather than an adjective, but the one and only noun referring to the one and only substance, the unique *deus sive natura*, which describes, accounts for and explains all phenomena. As against Newton, the Special Theory of relativity embodies many of the insights of Leibniz, and reveals a space-time inhabited by harmonious monads, instead of a space in which impenetrable atoms at times collide. But in the General Theory of Relativity we become monists, rather than pluralists, in the philosophical tradition of Spinoza rather than of Leibniz or of Newton and Locke.” (J.R. Lucas, *A Treatise on Time and Space*, New York, Routledge, 2019, p. 241.)

unul și același timp. Preocuparea mea nu e aici atât a păstra interacțiunea cauzală de dragul ei înseși (deși e indiscutabil o problemă importantă în sine), ci a menține contiguitatea de bază dintre toate evenimentele – ceea ce poate fi într-adevăr legat intuitiv de cauzalitate. Absența mărimilor conservate duce la o binecunoscută problemă în filosofia fizicii, aceea a felului în care teoria explicării cauzalității prin conservarea unor anumite cantități fundamentale poate fi pusă în acord cu Relativitatea Generală<sup>11</sup>. Potrivit lui Dowe, interacțiunea cauzală ar fi definită după cum urmează: „a causal interaction is an intersection of worldlines that involves exchange of a conserved quantity”. Desigur, în absența mărimilor conservate, câteva soluții aproximative pot în continuare să fie găsite pentru a salva explicația lui Dowe, dar în universul relativist așa ceva pur și simplu nu mai e necesar pentru a garanta buna conectivitate a varietății. Acest din urmă aspect va deveni mai evident comparând Relativitatea Specială cu cea Generală.

### 3. ARGUMENTUL RECIPROC

În Relativitatea Specială, via programul de la Erlagen, spațiu-timpul Minkowski este doar spațiul omogen cerut de grupul Poincaré al isometriilor. Proprietățile spațiu-timpului, precum dimensionalitatea și coerența, sunt așadar date de dinamica transformării componentelor lui; acesta e mult mai mult decât un simplu artificiu matematic, căci expunerile obișnuite de manual încep în mod uzual prin acea descriere interpersonală a comunicării prin semnale luminoase (în fapt transformări între sistemele de referință ale observatorilor), și nu printr-o construcție geometrică impersonală desenată din vreun plan arhimedic absolut. Dimpotrivă, în Relativitatea Generală proprietățile varietății geometrice fundamentale pe care se desfășoară tot calculul fizic sunt pur și simplu date ca atare, anterior oricăror preocupări cu privire la dinamica sistemului – e.g. că poate fi acoperită de un atlas de hărți de parametrizare astfel încât suprapunerea lor să fie netedă și peste tot izomorfă cu  $\mathbf{R}^4$ ; ca un alt exemplu, conectivitatea subseturilor deschise ale acestei varietăți (necesară pentru a defini orice difeomorfism) pare pur și simplu luată ca atare, ca o trăsătură topologică de bază a spațiului, care e garantată de voința legiuitorului geometric, și nu e în niciun fel stabilită prin vreun soi de interacțiune sau transformare intersubiectivă. De aceea numesc în continuare spațiu-timpul Relativității Generale *reificat în mod funcțional* – pentru că pare, în ordinea expunerii cel puțin, anterior oricărei alte entități care ar „locui” în el (o privire în primele capitole ale manualelor din acest domeniu<sup>12</sup> arată exact această stipulare prin *fiat* geometric

<sup>11</sup> S. Murgueitio Ramírez, J. Read & A. Páez, *Causation and the conservation of energy in general relativity*. [Preprint], 2023 <https://ora.ox.ac.uk/objects/uuid:8a3b77ca-0461-4ece-9f62-b786708d47da/files/s8336h3359>

<sup>12</sup> Sean M. Carroll, *Spacetime and Geometry: An Introduction to General Relativity*, San Francisco, Addison Wesley, 2004.

demiurgic de care vorbesc) și constructiv ante-mergător și independent de conexiunea intersubiectivă a observatorilor. Felul de prioritate susținută de autori precum Dürr este, cred, nu doar o poziție speculativă, ci cea mai curată primă impresie avută de oricine începe să învețe formalismul Teoriei Generale a Relativității<sup>13</sup>. Pentru eseul de față e suficient că materia e „explanatorily dependent” de spațiu-timp (în termenii lui Dürr, față de întemeierea metafizică în sens tare a celei dintâi).

Că, în cele din urmă, spațiu-timpul nu e atât de evident „substanțial” în sensul precis pe care îl are termenul în literatura recentă de specialitate e desigur adevărat<sup>14</sup>, dar aceasta nu respinge cu nimic punctul de vedere pe care oricine îl are în timp ce calculează componentele tensorului metric, indiferent de accesul la „timpul real” al evenimentelor.

Acest tip de atitudine e concis conținută în satisfacția lui Einstein<sup>15</sup> vis-a-vis de faptul că în noua lui teorie (la acea vreme), spațiu-timpul e o substanță cu drepturi într-atât de depline încât să poată acționa la fel de bine cum poate fi acționat asupra ei, precum orice alt obiect bine-crescut al fizicii – și în marcant contrast cu spațiu-timpul Minkowski. Această practică intelectuală nu e de fapt deloc rară printre fizicieni și nu poate fi privită ca un angajament metafizic excentric specific lui Einstein – căruia, în plus, îi displăcea personal ideea unei geometrizări complete în sens propriu a întregii fizici și nu o vedea deloc ca un scop de atins nici dacă ar fi fost posibil (precum o făceau Weil și Eddington)<sup>16</sup>.

Observațiile făcute până acum conduc spre partea crucială a argumentației mele, partea reciprocă a tezei mele de la început: inversa proporționalitate dintre caracterul „substanțial” al spațiu-timpului și validitatea legii conservării energiei. Tot așa cum construind varietatea spațio-temporală fundamentală ca fiind complet dinamică, precum Einstein, suntem forțați să renunțăm la legile integrale de conservare – tot astfel deci, prin conversa primei observații, dacă introducem mărimi conservate spațiul-timpul curb va trebui să-și piardă ceva din caracterul lui dinamic, „substanțial”. Sunt astfel într-un prim punct în acord cu Vincent Lam, pentru care câmpurile vectoriale Killing de gen temporal sunt intrinsec legate de structurile de fundal („background structures”). Pentru el, cele dintâi induc un cadru inerțial global, „a non-dynamical background structure with respect to which integral non-gravitational energy-momentum conservation can be obtained”<sup>17</sup>.

<sup>13</sup> P.M. Duerr, C. Calosi, „The general-relativistic case for super-substantivalism”, *Synthese* 199, 13789–13822 2021. <https://doi.org/10.1007/s11229-021-03398-9>

<sup>14</sup> Și e poate chiar problematic să îl considerăm astfel, cum au arătat-o ultimii ani de discuție în jurul „Hole argument”.

<sup>15</sup> Albert Einstein, *The Meaning of Relativity*, Princeton, Princeton University Press, 1922, p. 56.

<sup>16</sup> D. Lehmkuhl, *Why Einstein did not believe that general relativity geometrizes gravity*, în *Studies in History and Philosophy of Science Part b: Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, vol. 46, 2014, pp. 316–326, <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2013.08.002>

<sup>17</sup> Vincent Lam, *Gravitational and non-gravitational energy: the need for background structures*, în *PhilSci-Archive*, 2010, p. 4, <https://philsci-archive.pitt.edu/8372/1/Lam2010.pdf>

Cu toate acestea, susțin, împotriva lui Lam și ca punct central al argumentului meu, că ceea ce fac simetriile câmpurilor vectoriale Killing nu e de fapt să *adauge* o nouă structură, ci mai degrabă să impună o constrângere, o limităție pentru manifestarea spațiu-timpului, altfel spus *pierderea* a ceva din structura lui. Consider cel mai general și nerestrâns în niciun fel spațiu-timp ca fiind realmente cel mai *tare* fundal al predicăției fizice. Și, dimpotrivă, introducerea asumpțiilor asimptotice la care se referă Lam<sup>18</sup> și curbele de izometrie dictate de câmpurile Killing sunt o relaxare a statutului metafizic al spațiu-timpului – și în niciun caz o altă nouă structură suprapusă. Recâștigăm deci conservarea energiei doar renunțând la foarte potentă reificarea care caracterizează Relativitatea Generală în ansamblul ei.

Dacă în metrica Schwarzschild facem uz doar de staticitate, i.e. de translație și reversibilitate temporală,

$$t'(t, r, \theta, \varphi) = -t$$

întregul tensor metric se va transforma corespunzător prin matricea jacobiană,

$$G_{\mu' \nu'} = J_{\mu'}^{\mu} J_{\nu'}^{\nu} G_{\mu \nu}$$

având ca rezultat faptul că prima linie și prima coloană devin egale cu zero, cu excepția primului element, ceea ce e ca și cum convoluțiile spațiu-timpului ar fi pierdut un grad de libertate în care să-și manifeste dinamica curburii lor, iar spațiu-timpul ca întreg e de-a dreptul deja puțin mai aproape de cel imaginat de Minkowski:

$$G_{\mu \nu} = \begin{pmatrix} G_{tt} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & G_{rr} & G_{r\theta} & G_{r\varphi} \\ 0 & G_{\theta r} & G_{\theta\theta} & G_{\theta\varphi} \\ 0 & G_{\varphi r} & G_{\varphi\theta} & G_{\varphi\varphi} \end{pmatrix}$$

Această transformare arată cum nu poate fi vorba doar de pierderea unor termeni matematici, ci de renunțarea la capacitățile dinamice ascunse în termenii matricei: partea încă neafectată explicit a tensorului poate fi văzută ca traversând izometric un timp gol și pasiv și precis în această „direcție” o cantitate conservată va trebui să apară – întocmai precum în Relativitatea Specială. Deși doar o parte a

<sup>18</sup> *Ibidem*, p. 9.

metricii pare afectată, putem deja scrie vectorul Killing corespunzător și energia conservată rezultantă:

$$K_{\mu} = \left( - \left( 1 - \frac{2GM}{r} \right), 0, 0, 0 \right)$$

$$E = mc^2 \left( 1 - \frac{2GM}{r} \right) \frac{dt}{d\tau}$$

Ceea ce, în conjuncție cu celelalte simetrii spațiale care duc la conservarea momentului cinetic, permite ecuației geodezice generale

$$\frac{d^2 x^{\mu}}{ds^2} + \Gamma_{\alpha\beta}^{\mu} \frac{dx^{\alpha}}{ds} \frac{dx^{\beta}}{ds} = 0$$

Să fie scrisă în întregime în funcție de termeni neexplicit metrici (precum ar fi fost  $(\Gamma_{\mu\nu}^{\lambda}$  sau  $g_{\mu\nu})$  – ceea ce e, altfel spus, *ca și cum* spațiu-timpul nu ar fi, pentru particula de test, entitatea reificată care desigur continuă să fie în cadrul întregii Teorii Generale a Relativității:

$$-E^2 + \left( \frac{dr}{d\lambda} \right)^2 + \left( 1 - \frac{2GM}{r} \right) \left( \frac{L^2}{r^2} + \varepsilon \right) = 0$$

Devine astfel limpede vizibil cum, impunând mărimi conservate, structura de fundal devine mai puțin prezentă, iar spațiu-timpul devine mai puțin activ – ceea ce revine la a spune – mai puțin substanțial.

#### 4. O ALTĂ COMPARAȚIE ȘI O ÎNTĂRIRE

În susținerea suplimentară a tezei avansate la începutul lucrării invoc acum drept dovadă pentru reificarea spațiu-timpului cele două feluri expozitiv diferite în care e definită simultaneitatea în Relativitatea Specială, respectiv, Generală. Sunt, de asemenea, dintru început două aspecte diferite ale unității lumii sub aspectul ei sensibil: unitatea întregului *spațiu* (drept conținut într-un singur „moment”), față de unitatea întregului *timp* (drept conținut în evoluția unei aceleiași unice „substanțe” universale subzistente). În timp ce în capitolele anterioare am tratat numai despre al doilea fel de unitate, e doar firesc să verificăm dacă diferențele dintre cele două teorii persistă și în cazul primului fel de unitate – studiind deci cele două noțiuni diferite de simultaneitate.

În relativitatea specială, simultaneitatea este stabilită prin binecunoscuta procedură a ceasurilor, lumina trebuind să traverseze spații egale către observator pentru ca două evenimente să fie recunoscute ca simultane. Acest criteriu operațional precedă și întemeiază toată geometria ulterioară a spațiu-timpului Minkowski, în care ortogonalitatea hiperbolică a cvadrivectorilor va explica simultaneitatea. Astfel, simultaneitatea este relativă, după cum știm cu toții, dar este totuși (încă) *constitutivă* pentru spațiu-timp.

Din contră, în Relativitatea Generală, din perspectiva geometrică atemporală a demiurgului problemei, chestiunea revine la a felia varietatea ( $M$ ) în hipersuprafețe adecvate peste tot perpendiculare la vectorii Killing de gen temporal. Când astfel de vectori nu pot fi găsiți, felierea spațiu-timpului în suprafețe Cauchy ( $\Sigma$ ) rămâne cel mai apropiat lucru de făcut de vechea concepție a simultaneității ca fiind conținută într-un (unic) „moment de timp”. Prin definiție, suprafețele Cauchy au proprietatea de a vedea întreaga istorie universală în trecutul  $D^-(\Sigma)$  și respectiv viitorul  $D^+(\Sigma)$  al  $\Sigma$ , orice curbă causală intersectând suprafața (exact) o dată.

$$M = D(\Sigma) = D^+(\Sigma) \cup D^-(\Sigma)$$

După cum există de obicei o destul de mare libertate în a alege suprafețele Cauchy, chestiunea e de obicei văzută ca una pur convențională, care se reduce la a trasa cele mai potrivite hipersuprafețe de timp constant, dată fiind metrica problemei. Desigur, în cadrul inerțial strict local unde curbura spațiului nu produce efecte, procedura semnalelor luminoase ar putea, în principiu, să fie efectuată, dar ea ar fi tot atât de utilă prin faptul de a spune de la început că oricine e simultan cu el însuși. Până și razele de lumină ajung să fie tratate ca simple „curbe nule în spațiu-timp”, văzute *sub specie aeternitatis*, fără a fi nevoie de jocul intersubiectiv al mărturiilor observatorilor și ceasurilor lor precum în Relativitatea Specială. Deși în cea din urmă simultaneitatea era încă constitutivă pentru construcția spațiu-timpului (prin rolul jucat de ortogonalitatea hiperbolică în invarianța Lorentz), în Relativitatea Generală suprafețele Cauchy sunt trasabile numai în spații global hiperbolice. Așadar, nici măcar această mai slabă și încă și mai relativă noțiune a simultaneității nu e în niciun fel esențială pentru formalismul teoriei și pentru a ține laolaltă varietatea în mod coerent – precum e cazul în spațiile Gödel sau anti-de Sitter în problema conservării energiei, simultaneitatea (ca suprafețe Cauchy) e încă desigur un instrument matematic util, dar nu mai e în vreun fel funcțional necesară pentru (acum doar topologica și nu și causală) conexiune a punctelor varietății (i.e. a evenimentelor).

Pentru a detalia mai departe această diferență fundamentală în conceptualizarea unității spațiului prin simultaneitate, e surprinzător de util un pasaj mai degrabă enigmatic din *Critica rațiunii pure* (Kant, B261). Dând demonstrația celei de-a

treia analogii a experienței<sup>19</sup>, Kant descrie două feluri în care putem înțelege comuniunea părților în întreg:

Cuvântul *Gemeinschaft* este în limba noastră germană echivoc și poate însemna *communio*, dar și *commercium*. Noi ne servim de el aici în sensul din urmă, în acela de comunitate dinamică, fără care nici cea locală (*communio spatii*) nu ar putea fi niciodată cunoscută empiric. E ușor de observat în experiențele noastre că numai influențele continue în toate locurile spațiului pot conduce simțul nostru de la un obiect la altul; că lumina, care joacă între ochiul nostru și corpurile cerești, poate efectua o comunitate mediată între noi și aceste corpuri și le dovedește astfel simultaneitatea<sup>20</sup>.

În mod cu adevărat surprinzător pentru acea epocă, aici primul exemplu oferit de „influență” nu e vreun fel de contact fizic sau chiar gravitația, ci tocmai propagarea luminii. Aici, simultaneitatea e derivată *dinamic*, din influența reciprocă a unui eveniment asupra celuilalt (deși nu tocmai *operațional* ca în procedura lui Einstein de sincronizare cu ceasuri)<sup>21</sup>. În plan logic, niciunul dintre evenimente nu conține rațiunea suficientă a celuilalt, nu îl determină complet pe celălalt, ci ambele se co-determină – suntem nevoiți să o spunem – *în același timp*. Deși s-ar fi putut opri la constatarea, subtilă, dar nu încă edificatoare, că simultaneitatea e transcendental inseparabilă de reciprocitatea cauzală, Kant merge și mai departe și afirmă că, fără această comuniune dinamică a influențelor<sup>22</sup> (*commercium*), nici măcar comuniunea spațială inertă a părților în întregul lor staționar (*communio spatii*) nu ar fi comprehensibilă. De fapt, cea din urmă are deja presupusă în ea însăși reprezentarea imaginativă a posibilității tuturor drumurilor echivalente în care varietatea ar putea fi traversată, i.e. a tuturor „influențelor” reciproce dintre părți. Astfel, ceea ce face *comuniunea spațială* a părților reprezentabilă e chiar această schemă a imaginației, în consecință făcând comuniunea dinamică a *spațiu-timpului* mai fundamentală decât cea statică a *întinderii spațiului* însuși (deși desigur nu ca formă pură a intuiției).

În Relativitatea Specială, simultaneitatea e definită într-un fel destul de consecvent cu sistemul kantian – prin influențe reciproce, care instanțiază o comuniune dinamică între fenomenele observate, susținând comuniunea tuturor evenimentelor în spațiul Minkowski. În fond, transformările Lorentz sunt inerent

<sup>19</sup> Formularea lui este „Toate substanțele, întrucât pot fi percepute în spațiu ca simultane, sunt într-o acțiune reciprocă universală” (Kant, B257).

<sup>20</sup> Ernst Cassirer, *Einstein's Theory of Relativity considered from the epistemological standpoint*, în *The Monist*, Vol. 32, No. 2, 1922, p. 283. <https://www.jstor.org/stable/27900904>

<sup>21</sup> Albert Einstein, *Relativity: The Special and the General Theory*, Princeton, Princeton University Press, 2019, p. 37.

<sup>22</sup> O axiomatizare de acest fel a fost chiar încercată, la eforturi de scară euclidiană, de Robb (1914), cu toate acestea fără vreo înclinație kantiană.

intersubiective, precum o arată derivarea transcendențială oferită de Lucas<sup>23</sup>. În mod contrar, în *Relativitatea Generală* comuniunea tuturor punctelor spațio-temporale într-o singură varietate conectată e ceea ce fac toate ulterioarele interacțiuni dintru început posibile, iar aceasta anterior oricărui jocuri intersubiective ale comunicării armonioase – dovedind încă o dată preeminența spațiu-timpului asupra oricărui alte elemente ale teoriei și eliminând nevoia de mărimi conservate.

Desigur, sistemul kantian nu poate acomoda toate particularitățile științei moderne – și nici măcar pe ale unei singure teorii –, dar folosirea argumentelor funcționaliste și a metodei de inspirație transcendențială a comparațiilor dintre cele două teorii e foarte valoroasă mai ales când, precum astăzi, se caută modificarea Teoriei Relativității spre a o face compatibilă cu Teoria Cuantică a Câmpurilor.

<sup>23</sup> Lucas urmează aici o demonstrație anterioară datorată lui Whitrow și Milne (J.R. Lucas, *A Treatise on Time and Space*, ed. cit., p. 211).