

# Euristica relativității generale

Nicolae Sfetcu

05.07.2019

Sfetcu, Nicolae, "Euristica relativității generale", SetThings (5 iulie 2019), URL = <https://www.setthings.com/ro/euristica-relativitatii-generale/>

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



Acest articol este licențiat Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International. Pentru a vedea o copie a acestei licențe, vizitați <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>.

Principiul esențial de coordonare în teoria generală a relativității (TGR) este principiul echivalenței, incluzând o euristică negativă în conformitate cu metodologia programelor științifice de cercetare a lui Imre Lakatos.<sup>1</sup> Argumentul ”nu este acela că toate cadrele de referință sunt echivalente, ci că coordonarea clasică a mișcării uniforme în linie dreaptă cu căile particulelor fără forță aplicată nu poate fi realizată fără nicio ambiguitate sau inconsistență.”<sup>2</sup> Principiul echivalenței afirmă că descompunerea mișcării gravitaționale într-o mișcare uniformă și o accelerație gravitațională nu poate fi unică, deoarece căderea liberă nu se distinge la nivel local de mișcarea uniformă. Oricum, o astfel de descompunere implică o încălcare a covarianței generale, pentru că reprezintă o alegere arbitrară a unui sistem de coordonate.<sup>3</sup> Pentru orice sistem de coordonate, dacă identificăm liniile sale cu liniile geodezice, putem construi câmpul gravitațional astfel încât să se poată diferenția între aceste geodezice și mișcările efective.<sup>4</sup>

Teoria specială a relativității (TSR) a lui Einstein este construită pe două postulate fundamentale. postulatul luminii (viteza luminii, în "cadrul de repaus", este independentă de viteza sursei), și principiul relativității. Acesta din urmă a fost adoptat de Einstein în mod explicit ca mijloc de restrângere a formei legilor, oricare ar fi structura lor detaliată. Astfel, avem diferența între o teorie "constructivă" și una "principală" Teoria generală a relativității a fost dezvoltată folosind ca nucleu un principiu de simetrie: principiul covarianței generale.<sup>5</sup> Inițial, Einstein a văzut principiul covarianței generale ca o extensie a principiului relativității în mecanica clasică, și în TSR. Pentru Einstein, principiul covarianței generale a fost un postulat crucial în dezvoltarea TGR. Libertatea difeomorfismului TGR (invarianța formei legilor sub transformări ale coordonatelor depinzând de funcțiile arbitrare ale spațiului și timpului) este o simetrie spațio-temporală "locală", spre deosebire de simetriile spațio-temporale "globale" ale TSR (care depind în schimb de parametrii constanți).

În ultimii ani, au apărut numeroase dezbateri în fizică și filosofie referitor la anumite tipuri de simetrii care acționează în spațiul teoriilor. Asemenea simetrii sunt interpretate ca realizând o "echivalență" între două teorii despre care se spune că sunt legate de o "simetrie

---

<sup>1</sup> Imre Lakatos, *The Methodology of Scientific Research Programmes: Volume 1: Philosophical Papers* (Cambridge University Press, 1980).

<sup>2</sup> Robert Disalle, „Spacetime Theory as Physical Geometry”, *Erkenntnis* 42, nr. 3 (1995): 317–337.

<sup>3</sup> A. Einstein, „The foundation of the general theory of relativity”, în *The Principle of Relativity. Dover Books on Physics. June 1, 1952. 240 pages. 0486600815, p. 109-164, 1952, 114, <http://adsabs.harvard.edu/abs/1952prel.book..109E>.*

<sup>4</sup> Einstein, 142–43.

<sup>5</sup> Katherine Brading, Elena Castellani, și Nicholas Teh, „Symmetry and Symmetry Breaking”, în *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. Edward N. Zalta, Winter 2017 (Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2017), <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/symmetry-breaking/>.

duală" (în cazul unei "simetrii" în sensul strict al unui automorfism, acestea se numesc "auto-dualități"). Katherine Brading<sup>6</sup> exemplifică prin dualitățile dintre teoriile câmpului cuantic (cum ar fi dualitatea magnetică/electrică generalizată), între teoriile corzilor (cum ar fi dualitățile T și S) și între descrierile fizice care sunt, precum o teorie a câmpului cuantic și o teorie a corzilor, ca în cazul dualităților gauge/gravitație.<sup>7</sup> Alte exemple sunt dualitatea poziție-impuls, dualitatea undă-particulă, sau și dualitatea Kramers-Wannier a modelului Ising bidimensional în fizica statistică. Dualitățile sunt transformări între teorii, în timp ce simetria este o mapare între soluțiile aceleiași teorii. O simetrie poate fi exactă (valabilitate necondiționată), aproximativă (valabilă în anumite condiții) sau ruptă (în funcție de obiectul luat în considerare și de contextul său). Simetriile au funcționat normativ, ca niște constrângeri, în covarianța generală a lui Einstein în stabilirea ecuațiilor relativității generale.

Elie Zahar a afirmat că dezvoltarea de către Einstein a relativității s-a datorat unor convingeri metafizice vagi ale acestuia, corepunzând unor "prescripții euristice" proprii care au devenit un instrument specific și puternic. Zahar declară că revoluția științifică a lui Kuhn nu se aplică în cazul lui Einstein. Conform lui, două "dispozitive euristice" au dus la descoperirea teoriei relativității: cerința internă de coerență, și susținerea că, "din moment ce Dumnezeu nu este înșelător, nu pot exista accidente în natură." Simetriile naturale sunt fundamentale la nivel ontologic, iar regula euristică are prioritate în fața unei teorii care nu explică simetriile ca manifestări mai profunde.<sup>8</sup>

Conform lui Newton, gravitația nu este o calitate primară la fel ca inerția sau impenetrabilitatea. De aceea, inerția și gravitația sunt proprietăți independente. Dar Newton afirmă că masa inerțială este egală cu masa gravitațională, fără a explica motivul acestei identități (există o simetrie care contrazice independența celor două proprietăți). În cazul experienței lui Michelson, prin postularea eterului ca mediu universal rezultă că acesta este nedetectabil, ceea ce constituie un paradox. Einstein a devenit conștient de acest paradox. Einstein elimină asimetria dintre gravitație și inerție propunând ca toate câmpurile gravitaționale să fie inerțiale. El mai avea și alte obiecții față de fizica clasică: teoria electromagnetică a lui Lorentz se confruntau cu un dualism între particule încărcate discrete guvernate de legile lui Newton și un câmp continuu care respecta ecuațiile lui Maxwell;

---

<sup>6</sup> Katherine Brading și Harvey R. Brown, „Symmetries and Noether’s Theorems”, în *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*, ed. Katherine A. Brading și Elena Castellani (Cambridge University Press, 2003), 89–109.

<sup>7</sup> Brading, Castellani, și Teh, „Symmetry and Symmetry Breaking”.

<sup>8</sup> Elie Zahar, „Why Did Einstein’s Programme Supersede Lorentz’s? (II)”, *British Journal for the Philosophy of Science* 24, nr. 3 (1973): 223–262.

relativitatea se aplica pentru Lorentz mecanicii, dar nu și electrodinamicii; ideea de spațiu absolut (există un cadru inerțial privilegiat), deși eliminarea lui nu influențează mecanica clasică.

Einstein a apreciat la principiul relativității universalitatea sa și rolul său unificator pentru mecanică și electrodinamică, acesta fiind primul principiu pe care și-a dezvoltat teoria generală a relativității. Al doilea principiu este cel al luminii dar, din punct de vedere epistemologic, al doilea punct de plecare al lui Einstein în dezvoltarea teoriei generale a relativității nu a fost principiul luminii, ci ideea că ecuațiile lui Maxwell sunt covariante și exprimă o lege a naturii. Principiul luminii rezultă din această idee, ca și principiul relativității, conform lui Zahar.<sup>9</sup>

Practic, Einstein avea de ales să dezvolte relativitatea generală pornind de la ecuațiile lui Maxwell sau de la legile lui Newton. Dar în dualismul dintre particule și câmpuri, toate încercările de explicare mecanică a comportamentului câmpului au eșuat.

Conform lui Zahar, niciun experiment "crucial" nu ar fi putut fi conceput între teoria lui Lorentz și cea a lui Einstein în 1905. Dar Minkowski și Planck abandonează programul clasic pentru relativitatea specială, contrar metodologiei lui Kuhn. Mai mult, Einstein era pe atunci un quasi-necunoscut, în timp ce Lorentz era o autoritate recunoscută. Iar teoria lui Lorentz a fost foarte clară față de cea a lui Einstein care a implicat o revizuire majoră a noțiunilor de spațiu și timp. De asemenea, nu au existat anomalii pe care teoria lui Einstein să le fi soluționat mai bine decât Lorentz. În plus, Lorentz însuși a fost în final convins de noua perspectivă.<sup>10</sup> Whittaker<sup>11</sup> consideră pe Lorentz și Poincaré drept adevărații autori ai relativității speciale, meritul lui Einstein fiind cel al dezvoltării relativității generale. Astfel programul eteric al lui Lorentz nu ar fi fost învins de programul relativității, ci practic a fost dezvoltat în el. Zahar îl contrazice, pe baza faptului că cele două programe posedă euristici foarte diferite.<sup>12</sup>

În cazul revoluției copernicane, programul platonice de modelare a fenomenului prin mișcări circulare și sferice a avut inițial succes, cu fiecare planetă pe o sferă cristalină fizică reală în rotație axială. Ulterior s-a descoperit că distanța dintre pământ și planete variază, astfel încât s-au făcut ipoteze suplimentare prin excentricități, epicicluri și ecrane, pentru a explica noile observații. Când s-a încercat să se determine mișcarea corpurilor cerești față de pământ datorită mișcărilor neuniforme au apărut diferențe între fenomene și metodele matematice care

---

<sup>9</sup> Zahar.

<sup>10</sup> Zahar.

<sup>11</sup> Edmund Taylor Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity* (Harper, 1960).

<sup>12</sup> Zahar, „Why Did Einstein's Programme Supersede Lorentz's?”

permiteau doar mișcări circulare cu pământul în centrul universului. Copernic, deși a considerat Soarele fix, nu a rezolvat această diferență, apelând în continuare la epicicluri. Kepler a fost cel care a desființat epiciclurile și a găsit legile mișcării eliptice a planetelor cu Soarele într-un focar. Lorentz s-a folosit de transformările galileene, eliminând epiciclurile dar conferind cadrului eteric un statut privilegiat. Tot așa cum Copernic a fost conștient de idealizarea modelului său planetar, Lorentz a înțeles ulterior că coordonatele efective, și nu cele galileene, sunt cantitățile măsurate în cadrul în mișcare. Einstein a renunțat la transformările galileene și a identificat coordonatele efective măsurate ca fiind singurele reale. Euristica lui Einstein se bazează pe o cerință generală a covarianței Lorentz pentru toate legile fizice, impunând renunțarea la transformările galileene.

Zahar afirmă că Lorentz și Einstein au apelat la euristici diferite în programele lor de cercetare.<sup>13</sup> Programul eteric a fost înlocuit practic de un program cu putere euristică mai mare, acesta fiind motivul pentru care Planck a abandonat teoria lui Lorentz în favoarea lui Einstein chiar înainte ca programul lui Einstein să devină progresiv empiric. Cele două teorii sunt similare din punctul de vedere al ”nucleului dur” (euristica negativă), putând fi considerate drept programe bifurcate. Diferența dintre euristicile pozitive a fost cea care a condus la alegerea de către oamenii de știință a programului lui Einstein la începutul secolului trecut. Euristica pozitivă a lui Lorentz a constat în dotarea eterului cu proprietăți care să explice multe fenomene fizice, inclusiv câmpul electromagnetic și mecanica newtoniană. Această abordare a permis o dezvoltare rapidă a programului lui Lorentz, dar spre sfârșitul secolului 19 euristica sa atinsese un punct de saturație. A apărut o serie de programe degenerate ca modele mecanice pentru a rezolva anomaliile eterului. Pentru a explica anumite fenomene electromagnetice, Lorentz a introdus postulatul eterului aflat în stare de repaus, dar calculele ulterioare au contrazis această ipoteză.

Diferențele dinre viziunile lui Lorentz și Einstein era una metafizică: Lorentz considera că universul respectă legile inteligibile (există un mediu de propagare, un absolut "acum", etc.), în timp ce pentru Einstein universul este guvernat de principii coerente matematice. (legi covariante, etc.) Zahar afirmă că toate revoluțiile științifice majore au fost însoțite de o creștere a coerenței matematice însoțită de o pierdere (temporară) a inteligibilității (astronomia newtoniană este mai coerentă decât cea ptolemeică, dar acțiunea la distanță era neacceptată înainte de Newton, apoi acceptată la sfârșitul secolului 18 și din nou respinsă după Maxwell). În programul de cercetare al lui Lorentz, comportamentul câmpului electromagnetic ajunsese

---

<sup>13</sup> Zahar.

să dicteze proprietățile eterului, chiar improbabile (de exemplu, eter în repaus și care acționează prin forțe nete zero). Practic, strategia euristică a lui Lorentz s-a inversat: în loc deducă o teorie din eterul considerat fundamental, ajunge la eter pe baza câmpului. Euristica lui Einstein s-a bazat pe cerința ca toate legile fizice să fie Lorentz-covariante (să ia aceeași formă indiferent de cadrul de referință), și legea clasică să rezulte din noua lege ca un caz la limită.

Pentru a obține o teorie relativistă a gravitației, Einstein a păstrat principiul echivalenței, a decis să trateze toate sistemele de coordonate în mod egal și să impună o condiție a covarianței generale asupra tuturor legilor. Succesul empiric a relativității generale prin predicția corectă a comportamentului periheliului lui Mercur s-a dovedit crucial pentru dezvoltarea în continuare a programului.

Încă din 1905, programul relativității s-a dovedit a fi superior euristic față de cel clasic. Dar relativitatea specială nu a reușit să surclaseze empiric programul Lorentz. Experimentul lui Bucherer<sup>14</sup> a confirmat ambele ipoteze, iar experimentul lui Kaufmann<sup>15</sup> le-a negat pe amândouă. Înainte de apariția relativității generale, comunitatea științifică vorbea despre teoria lui Lorentz-Einstein considerându-le ca echivalente din punctul de vedere al unui observator. Relativitatea generală a reușit să înlocuiască empiric programul Lorentz explicând cu succes "precesia anormală" a periheliului lui Mercur. Această predicție a constituit un progres empiric. În plus, relativitatea generală s-a dovedit a fi mai falsificabilă.

Nicholas Maxwell propune și el o metodă pentru unificarea a două teorii "care se contrazic reciproc."<sup>16</sup> Modalitatea propusă de el pentru stabilirea teoriei unificate este următoarea: din cele două teorii, se aleg elementele comune care nu se contrazic, se înlătură elementele contradictorii, și pe această bază se dezvoltă noua teorie. El nu exemplifică suficient de clar, în opinia mea, care ar fi acele elemente comune în cazul mecanicii clasice și a electrodinamicii clasice, luate în considerare de toți oamenii de știință ca două teorii contradictorii din care s-a născut teoria specială a relativității. De asemenea, Nicholas Maxwell impune existența unei "ipoteze cruciale", a cărei falsificabilitate să permită acceptarea teoriei ca rezultând dintr-o metodă de descoperire având la bază empirismul orientat spre scop. În fizica zilelor noastre, sunt nenumărate exemple de teorii unificatoare (precum teoria M care propune unirea tuturor forțelor fundamentale, inclusiv gravitația) care nu și-au propus să devină falsificabile prin "ipoteze cruciale".

---

<sup>14</sup> A. H. Bucherer, „Die experimentelle Bestätigung des Relativitätsprinzips”, *Annalen der Physik* 333 (1909): 513–36, <https://doi.org/10.1002/andp.19093330305>.

<sup>15</sup> W. Kaufmann, „Über die Konstitution des Elektrons”, *Annalen der Physik* 324 (1906): 949, <https://doi.org/10.1002/andp.19063240303>.

<sup>16</sup> Nicholas Maxwell, *Karl Popper, Science and Enlightenment* (London: UCL Press, 2017).

Relativitatea generală este rezultatul unificării, de către Einstein, a teoriei gravitației universale a lui Newton (cu acțiunea instantanee la distanță a gravitației) și teoriei speciale a relativității (cu limitarea oricărei viteze, la valoarea constantă a vitezei luminii,  $c$ ). Aceste două principii se contrazic. Deci, conform lui Maxwell, ar trebui eliminate din viitoarea teorie unificatoare.

## Bibliografie

- Brading, Katherine, și Harvey R. Brown. „Symmetries and Noether’s Theorems”. În *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*, ediție de Katherine A. Brading și Elena Castellani, 89. Cambridge University Press, 2003.
- Brading, Katherine, Elena Castellani, și Nicholas Teh. „Symmetry and Symmetry Breaking”. În *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ediție de Edward N. Zalta, Winter 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2017. <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/symmetry-breaking/>.
- Bucherer, A. H. „Die experimentelle Bestätigung des Relativitätsprinzips”. *Annalen der Physik* 333 (1909): 513–36. <https://doi.org/10.1002/andp.19093330305>.
- Disalle, Robert. „Spacetime Theory as Physical Geometry”. *Erkenntnis* 42, nr. 3 (1995): 317–337.
- Einstein, A. „The foundation of the general theory of relativity”. În *The Principle of Relativity. Dover Books on Physics. June 1, 1952. 240 pages. 0486600815, p. 109-164*, 109–64, 1952. <http://adsabs.harvard.edu/abs/1952prel.book..109E>.
- Kaufmann, W. „Über die Konstitution des Elektrons”. *Annalen der Physik* 324 (1906): 487–553. <https://doi.org/10.1002/andp.19063240303>.
- Lakatos, Imre. *The Methodology of Scientific Research Programmes: Volume 1: Philosophical Papers*. Cambridge University Press, 1980.
- Maxwell, Nicholas. *Karl Popper, Science and Enlightenment*. London: UCL Press, 2017.
- Whittaker, Edmund Taylor. *A History of the Theories of Aether and Electricity*. Harper, 1960.
- Zahar, Elie. „Why Did Einstein’s Programme Supersede Lorentz’s? (II)”. *British Journal for the Philosophy of Science* 24, nr. 3 (1973): 223–262.