

Epistemologia relativității generale

Nicolae Sfetcu

04.07.2019

Sfetcu, Nicolae, "Epistemologia relativității generale", SetThings (4 iulie 2019),
URL = <https://www.setthings.com/ro/epistemologia-relativitatii-generale/>

Email: 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/>.

Interpretările filosofice timpurii ale teoriei generale a relativității sunt foarte diverse, fiecare încercând să identifice pe Einstein ca un adept al respectivei filosofii. Adepții lui Mach au evidențiat încercarea lui Einstein de a pune în aplicare o "relativizare a inerției" în teoria generală, și tratamentul lui operaționalist pentru simultaneitate. Kantienii și neo-kantienii au arătat importanța unor "forme intelectuale" sintetice în teoria generală, în special principiul covarianței generale. Empiriștii logici au pus accentul pe metodologia teoriei, a convențiilor pentru a exprima conținutul empiric.¹

Bertrand Russell a observat că

"A existat o tendință, nu neobișnuită în cazul unei noi teorii științifice, ca fiecare filosof să interpreteze lucrarea lui Einstein în conformitate cu propriul său sistem metafizic și să sugereze că rezultatul este o mare aderare a puterii la opiniile pe care filosoful în cauză a avut loc anterior. Acest lucru nu poate fi adevărat în toate cazurile; și se poate spera că nu este adevărat în niciunul. Ar fi dezamăgitor dacă o schimbare fundamentală așa cum a introdus-o Einstein nu ar implica nicio noutate filosofică."²

Majoritatea lucrărilor timpurii ale lui Einstein dezvăluie că acesta este un susținător al lui Ludwig Boltzmann, mai degrabă decât al lui Ernst Mach, în dezbaterile asupra atomismului.³ Cu toate acestea, în 1912, numele lui Einstein a fost afișat printre aceia care au aderat la Mach într-o chemare la formarea unei "Societăți pentru filosofia pozitivistă". La sfârșitul vieții,⁴ Einstein a scris despre "influența profundă" exercitată asupra lui de către Școala lui Mach de mecanică, și despre influența foarte mare din tinerețe a "poziției epistemologice a lui Mach". Declarațiile ocazionale epistemologice și metodologice par să indice acordul cu părțile esențiale ale doctrinei pozitivistice a lui Mach.⁵ Ideea lui Mach că masa și mișcarea inerțială a corpului rezultă din influența tuturor celorlalte mase înconjurătoare a fost probabil cea mai puternică motivație a dezvoltării unei teorii relativiste a gravitației.⁶

Un pasaj din prima expunere completă a lui Einstein, a arătat că cerința lui de covarianță generală pentru ecuațiile câmpului gravitațional (adică faptul că acestea rămân neschimbate sub transformarea arbitrară, dar continuu adecvată a coordonatelor spațiu-timp), "îndepărtează din

¹ Thomas A. Ryckman, „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”, în *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. Edward N. Zalta, Spring 2018 (Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2018), <https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/genrel-early/>.

² Bertrand Russell, *Relativity: Philosophical Consequences*, in *Encyclopaedia Britannica: Thirteenth Edition Volume 31* (ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA PRESS, 1926), 331.

³ Thomas Ryckman, *Einstein*, 1 edition (London ; New York: Routledge, 2011), cap. 3.

⁴ Albert Einstein, „Autobiographische Skizze”, în *Helle Zeit — Dunkle Zeit: In memoriam Albert Einstein*, ed. Carl Seelig (Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 1956), 21, https://doi.org/10.1007/978-3-322-84225-1_2.

⁵ Albert Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 23. Aufl. 2001. Nachdruck (Berlin: Springer, 2002).

⁶ Ryckman, „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”.

spațiu și timp ultima rămășiță a obiectivității fizice" . Josef Petzoldt, un filosof machian, a remarcat că Einstein este cel mai bine caracterizat ca pozitivist relativist.⁷ Filosofia contemporană a arătat că remarcile lui Einstein au fost doar referiri eliptice la un "argument al găurii", conform căruia dacă o teorie este în general covariantă, punctele goale ale manifestației spațio-temporale nu pot avea o identitate primitivă inerentă, și deci nici o realitate independentă.⁸ Astfel, pentru o teorie general covariantă, nicio realitate fizică nu se acumulează în "spațiul gol" în absența câmpurilor fizice, idee care nu este o susținere a fenomenalismului pozitivist.

Relativizarea tuturor efectelor inerțiale ("principiu al lui Mach"), împreună cu principiul relativității generale interpretat de Einstein drept principiul covarianței generale, și cu principiul echivalenței, au fost considerate de Einstein cele trei principii piloni pe care s-a bazat teoria sa.

Portretele retrospective ale metodologiei lui Einstein în geneza relativității generale se focalizează pe ideea unei strategii care ține cont de estetica matematică.⁹ Pozitiviștii și operaționaliștii au argumentat cu analiza simultaneității a lui Einstein ca element metodologic fundamental al teoriei relativității.

Filosofii kantieni nu au acordat o mare atenție teoriei relativității. Cassirer vede teoria generală a relativității ca o confirmare a principiilor fundamentale ale idealismului transcendent.¹⁰ Natorp¹¹ a apreciat principiul relativității ca fiind consecvent cu kantianismul prin distincția dintre conceptele transcendente ideale, pur matematice ale spațiului și timpului și măsurătorile fizice relative ale acestora. Din această relativizare, afirmă Natorp, rezultă că "evenimentele sunt ordonate nu în raport cu timpul absolut, ci numai ca fenomene determinate în relația reciprocă temporală, o versiune a relaționismului leibnizian."¹² De asemenea, constanța vitezei luminii, considerată o presupuziție empirică, "a reamintit că determinările absolute ale acestor măsurători, care nu pot fi atinse în știința naturală empirică, ar necesita o obligație absolută corespunzătoare."¹³ Natorp a considerat cerința de invarianță a

⁷ Joseph Petzoldt, Giora Hon, și Ernst Mach, *Der Verhältnis der Machschen Gedankenwelt zur Relativitätstheorie, an appendix to Die Mechanik in ihrer Entwicklung: Historisch-kritisch dargestellt* (Xenomoi Verlag, 1921), 516.

⁸ John D. Norton, „General Covariance and the Foundations of General Relativity: Eight Decades of Dispute”, *Reports of Progress in Physics* 56 (1993): 791–858.

⁹ Thomas Ryckman, „A Believing Rationalist”, *The Cambridge Companion to Einstein*, mai 2014, 377–420, <https://doi.org/10.1017/CCO9781139024525.014>.

¹⁰ Ernst Cassirer, W. C. Swabey, și M. C. Swabey, *Substance and Function and Einstein's Theory of Relativity* (Courier Corporation, 2003), 172–73.

¹¹ Paul Natorp, *Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften* (Sändig Reprint, H. R. Wohlwend, 1910), 399–404.

¹² Ryckman, „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”.

¹³ Ryckman.

legilor naturii cu privire la transformările Lorentz ca "poate cel mai important rezultat al anchetei lui Minkowski."¹⁴

O serie de poziții neo-kantiene, dintre care cea a lui Marburg și Bollert,¹⁵ au susținut că teoria relativității a clarificat poziția kantiană în estetica transcendențială demonstrând că nu spațiul și timpul, ci spațialitatea (determinitatea în ordinea pozițională) și temporalitatea (în ordinea succesiunii) sunt condiții *a priori* de cunoaștere fizică. Această revizuire a condițiilor de obiectivitate este esențială pentru idealismul critic.

Cea mai influentă interpretare neo-kantiană a relativității generale a fost *Zur Einsteinschen Relativitätstheorie*¹⁶ a lui Ernst Cassirer, în care se considera teoria ca fiind un test crucial pentru Erkenntniskritik (epistemologia științelor fizice ale idealismului transcendențial al lui Marburg). Recunoscând cerința unei covarianțe generale, Cassirer a afirmat că teoria generală a relativității, cu coordonatele spațiului și timpului, reprezintă doar "simboluri ale evenimentelor ("coincidențe"), variabile independente ale funcțiilor matematice (câmp) care caracterizează fizic magnitudinea stării".¹⁷ Covarianța generală ar fi cea mai recentă rafinare a principiului metodologic al "unității de determinare" care determină cunoașterea fizică prin trecerea de la concepte de substanță la concepte funcționale și relaționale. Cassirer a concluzionat că teoria generală a relativității prezintă "cea mai determinată aplicație și realizare în cadrul științei empirice a poziției idealismului critic."¹⁸

E. Sellien¹⁹ a declarat că opiniile lui Kant despre spațiu și timp se referă numai la spațiul intuitiv, și deci au fost impermeabile la spațiul și timpul măsurabil ale teoriei empirice a lui Einstein.

Empirismul logic al filosofiei științei a apărut în cea mai mare parte ca urmare a celor două teorii ale relativității lui Einstein, favorizând convenționalismul à la Poincaré față de neo-kantianism și pozitivismul machian. Filosofia empirismului logic al științei în sine se consideră că a fost formată din învățăturile extrase din teoria relativității. Câteva dintre cele mai caracteristice doctrine ale acestei filosofii (interpretarea elementelor *a priori* în teoriile fizice ca niște convenții, tratarea rolului necesar al convențiilor în dezvoltarea conceptelor teoretice

¹⁴ Natorp, *Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften*, 403.

¹⁵ Karl Bollert, *Einstein's Relativitätstheorie und ihre Stellung im System der Gesamterfahrung* (T. Steinkopf, 1921).

¹⁶ Ernst Cassirer, *Zur Einstein'schen relativitätstheorie: Erkenntnistheoretische betrachtungen* (B. Cassirer, 1921), 1–125.

¹⁷ Ryckman, „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”.

¹⁸ Cassirer, Swabey, și Swabey, *Substance and Function and Einstein's Theory of Relativity*, 412.

¹⁹ Ewald Sellien, *Die erkenntnistheoretische Bedeutung der Relativitätstheorie* (Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 1919).

din observare, insistența asupra limbajului observațional în definirea termenilor teoretici) au fost folosite de Einstein în modelarea celor două teorii ale relativității.²⁰

Reichenbach a dezvoltat teza "relativității geometriei", că se poate dezvolta o geometrie arbitrară pentru spațiu-timp dacă legile fizicii sunt modificate corespunzător prin introducerea "forțelor universale". Dar prima lucrare a lui Reichenbach despre relativitate²¹ a fost scrisă dintr-o perspectivă neo-kantiană. Conform lui Friedman²² și Ryckman²³, Reichenbach, a modificat concepția kantiană a principiilor *a priori* sintetice, respingând sensul "valabil pentru toate timpurile", păstrând în același timp "constitutivul obiectului cunoașterii", rezultând o teorie specifică "*a priori* relativizată". Apare astfel o transformare în metoda cercetării epistemologice a științei prin care "metoda de analiză a științei" este propusă ca "singura modalitate care ne permite să înțelegem contribuția rațiunii noastre la cunoaștere."²⁴ Metodologia raționalizării implică distingerea în mod clar între rolul subiectiv al principiilor și contribuția realității obiective. Teoria relativității este un exemplu strălucitor al acestei metode deoarece a arătat că metrica spațiu-timpului descrie o "proprietate obiectivă" a lumii, odată ce este recunoscută libertatea subiectivă de transformare a coordonatelor (principiul coordonator al covarianței generale).^{25 26}

Einstein, într-o prelegere din ianuarie 1921 intitulată "Geometrie și experiență" a susținut că întrebarea referitoare la natura geometriei spațiu-timp este o problemă empirică numai cu privire la anumite stipulări. Concepția convențională a lui Reichenbach a ajuns la maturitate în 1922. Reichenbach a susținut că problemele referitoare la determinarea empirică a metricii spațiu-timpului trebuie să țină cont de faptul că atât geometria cât și fizica admite testul observațional, acesta fiind cazul și în relativitatea generală a lui Einstein (metoda lui Reichenbach a fost numită "analiza logică a științei.") Astfel, determinarea empirică a metricii spațiu-timp prin măsurare necesită alegerea unor "indicatori metrici" prin stabilirea unei definiții coordinative. Einstein, împreună cu Schlick și Reichenbach, a dezvoltat o nouă formă de empirism, adecvat argumentării relativității generale împotriva criticii neo-kantiene.^{27 28}

²⁰ Ryckman, „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”.

²¹ Hans Reichenbach, *Relativitätstheorie Und Erkenntnis Apriori* (J. Springer, 1920).

²² Michael Friedman, „Geometry, Convention, and the Relativized A Priori: Reichenbach, Schlick, and Carnap”, *Reconsidering Logical Positivism*, iulie 1999, 21–34, <https://doi.org/10.1017/CBO9781139173193.006>.

²³ Thomas Ryckman, *The Reign of Relativity: Philosophy in Physics 1915-1925*, 1 edition (Oxford ; New York: Oxford University Press, 2005).

²⁴ Reichenbach, *Relativitätstheorie Und Erkenntnis Apriori*, 74.

²⁵ Reichenbach, 90.

²⁶ Ryckman, „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”.

²⁷ Moritz Schlick, „Kritizistische Oder Empiristische Deutung der Neuen Physik?”, *Société Française de Philosophie, Bulletin* 26, nr. n/a (1921): 96.

²⁸ Hans Reichenbach, *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*, 1 Plate (De Gruyter, 1928).

Einstein a implementat o concepție relaționistă sau relativistă a mișcării, în conformitate cu atitudinea relaționistă a lui Leibniz față de spațiu și timp și în contrast cu atitudinea absolutistă a lui Newton. Prin aceasta se plasează constrângeri asupra ontologiei teoriilor spațio-temporale, limitând domeniul în care cuantificatorii teoriilor se situează la setul de evenimente fizice, adică în setul de puncte spațio-temporale care sunt de fapt ocupate de obiecte sau procese materiale.²⁹ Relaționismul reichenbachian, pe de altă parte, impune constrângeri asupra ideologiei teoriilor spațio-temporale, limitând vocabularul la un anumit set de predicate preferate, precum predicate definite în termeni de relații "cauzale".

Conventionalismul, ca și relaționalismul, este sceptic față de structurile postulate de teoriile spațio-temporale. El pune problema proprietăților și relațiilor geometrice (metrice) definite în acest domeniu. Friedman afirmă că convenționalismul este strâns legat de relaționalismul ideologic. Convenționalismul de bază susține că anumite sisteme de descriere incompatibile la prima vedere, precum geometriile euclidiană și non-euclidiană, sunt în realitate "descrieri echivalente" ale acelorași fapte, ambele putând fi adevărate în raport cu diferitele "definiții coordinative" alese în mod arbitrar. Aceasta reprezintă o problemă epistemologică în alegerea dintre teorii concurente, rezultând o problemă a subdeterminării teoretice. Astfel, Friedman afirmă că teoria relativității pare să se bazeze pe o concepție a "descrierilor echivalente" derivată direct din strategia convenționalistă.³⁰ Dezvoltarea teoriei relativității se bazează pe o metodologie din perspectiva procesului de unificare teoretică.

La un deceniu după apariția teoriei generale a relativității, se vorbea despre o reducere a fizicii la geometrie,³¹ ducând la probleme filosofice distincte, de metodologie dar și de epistemologie și metafizică, împreună cu chestiunile tehnice. Această reducere implicită a fizicii la geometrie a fost obținută crucial în cadrul epistemologic a ceea ce Hilbert numea "metoda axiomatică."³²

După finalizarea relativității generale, Einstein a încercat să dezvolte o teorie care unifică gravitația și electromagnetismul, prin generalizarea geometriei riemanniene sau adăugând dimensiuni suplimentare, dar excluzând reducerea fizicii la geometrie.³³ Până în 1925

²⁹ Michael Friedman, *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science* (Princeton University Press, 1983).

³⁰ Friedman.

³¹ Oliver Lodge, „The Geometrisation of Physics, and Its Supposed Basis on the Michelson-Morley Experiment”, *News, Nature*, 1921, 795–802, <https://doi.org/10.1038/106795a0>.

³² K. A. Brading și T. A. Ryckman, „Hilbert’s ‘Foundations of Physics’: Gravitation and electromagnetism within the axiomatic method”, *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39, nr. 1 (1 ianuarie 2008): 102–153, <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2007.08.002>.

³³ Marco Giovanelli, „The Forgotten Tradition: How the Logical Empiricists Missed the Philosophical Significance of the Work of Riemann, Christoffel and Ricci”, *Erkenntnis* 78, nr. 6 (1 decembrie 2013): 1219–1257, <https://doi.org/10.1007/s10670-012-9407-2>.

a inventat primele "teorii ale câmpului unificat" geometric.³⁴ Niciunul dintre aceste eforturi nu a avut succes. În programul său de cercetare pentru unificarea geometrică, metodologia de cercetare a lui Einstein a suferit o schimbare dramatică,³⁵ bazându-se din ce în ce mai mult pe "considerente de estetică matematică, simplitate logică, și inevitabilitatea anumitor structuri matematice sub diverse constrângeri, adoptate în mod esențial din motive filosofice."³⁶

Matematicianul Hermann Weyl, în 1918, a încercat reconstituirea teoriei lui Einstein pe baza epistemologiei unei "geometrii infinitezimale pure."³⁷

În decembrie 1921, Academia de la Berlin a publicat noua propunere a lui Theodore Kaluza privind unificarea gravitației și electromagnetismului pe baza unei geometrii riemanniene cinci-dimensionale.

Toate încercările de geometrizare a fizicii în programul de unificate acceptau abilitatea matematicii de a înțelege structura fundamentală a lumii exterioare. Astfel, programul câmpului unificat geometric pare a fi astfel încadrat într-o formă de realism științific denumit "realism structural", cu o nuanță platonistă. O formă a "realismului structural" presupune că indiferent de caracterul sau natura intrinsecă a lumii fizice, poate fi cunoscută doar structura sa. Această versiune a fost susținută de Russell, care a inclus teoria generală a relativității în acest cadru.³⁸

În forma sa contemporană, realismul structural are atât o formă epistemică, cât și una "ontică" conform căreia trăsăturile structurale ale lumii fizice sunt fundamentale ontologic.³⁹ Thomas A. Ryckman afirmă că teoriile de unificare geometrică se potrivesc acestui tip de realism. Pentru Weyl și Eddington, "unificarea geometrică a fost o încercare de a armoniza teoria gravitației Einstein într-o nouă lumină epistemologică și explicativă, prin afișarea legilor câmpului de gravitație și electromagnetism în cadrul comun al unui observator reprezentat geometric - realitatea independentă."⁴⁰

Referitor la geometrizarea fizicii, a existat o controversă permanentă asupra convențiilor în știință,⁴¹ și dacă alegerea unei geometrii este empirică, convențională sau a

³⁴ Tilman Sauer, „Einstein's Unified Field Theory Program”, *The Cambridge Companion to Einstein*, mai 2014, 281–305, <https://doi.org/10.1017/CCO9781139024525.011>.

³⁵ Ryckman, *Einstein*, cap. 9, 10.

³⁶ Ryckman, „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”.

³⁷ Hermann Weyl, Axel Hildebrand, și Dieter Schmalstieg, *Raum. Zeit. Materie: Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie*, 7. (Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo: Springer, 1988), 115–16.

³⁸ Bertrand Russell, *The Analysis of Matter*, First Paperback Edition edition (Nottingham: Spokesman Books, 2007), 395.

³⁹ Pierre Maurice Marie Duhem, Jules Vuillemin, și Louis de Broglie, *The Aim and Structure of Physical Theory*, trad. Philip P. Wiener, 9932nd edition (Princeton: Princeton University Press, 1991).

⁴⁰ Ryckman, „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”.

⁴¹ Paul Arthur Schilpp, ed., *Albert Einstein, Philosopher-Scientist: The Library of Living Philosophers Volume VII*, 3rd edition (La Salle, Ill.: Open Court, 1998).

priori. Duhem⁴² afirmă că ipotezele nu pot fi testate izolat, ci doar ca parte a teoriei ca un întreg (holismul teoretic și subdeterminarea alegerii teoriei prin dovezi empirice). Într-o adresă din 1918 către Max Planck, Einstein a afirmat despre subdeterminare:

”Sarcina supremă a fizicianului este ... căutarea celor mai generale legi elementare din care imaginea lumii trebuie obținută prin deducție pură. Nicio cale logică nu duce la aceste legi elementare; este doar intuiția care se bazează pe o înțelegere empatică a experienței. În această stare de incertitudine metodologică, se poate crede că sunt posibile în mod arbitrar multe, în sine, sisteme echivalente de principii teoretice; iar această opinie este, în principiu, cu siguranță corectă. Dar dezvoltarea fizicii a arătat că, din toate construcțiile teoretice imaginabile, una singură, în orice moment, s-a dovedit superioară necondiționat față de toate celelalte. Nimeni din cei care au aprofundat acest subiect nu va nega faptul că, în practică, lumea percepțiilor determină fără echivoc sistemul teoretic, chiar dacă nicio cale logică nu conduce din percepții la principiile de bază ale teoriei.”⁴³

Einstein considera că realul fizic implică exclusiv ceea ce se poate construi pe baza coincidențelor spațio-temporale, punctele spațiu-timp fiind considerate ca intersecții ale liniilor de univers ("argumentul punct-coincidență").⁴⁴ Coincidențele au astfel un rol ontic privilegiat deoarece sunt invariabile și deci determinate în mod univoc.⁴⁵ Forța, în TGR, este de asemenea "geometrizată".⁴⁶ Metrica spațiu-timpului în TGR este reductibilă la comportamentul entităților materiale (ceasuri, raze luminoase, geodezice, etc.).⁴⁷ Rezultă că măsurarea depinde de instrumentele de măsurare alese ca standarde, iar relațiile metrice implică standardele alese.

Paul Feyerabend, îl consideră pe Einstein un metodolog "oportunist sau cinic" respectiv un metodolog anarhist.⁴⁸ Arthur Fine afirmă că Einstein adoptă o viziune apropiată de atitudinea ontologică naturală.⁴⁹ van Frassen l-a considerat pe Einstein un empirist constructiv.⁵⁰ Nicholas Maxwell afirmă că empirismul orientat spre scop, ca o nouă metodă descoperirii, este viziunea matură a științei lui Einstein⁵¹ pentru a depăși o criză științifică

⁴² Duhem, Vuillemin, și Broglie, *The Aim and Structure of Physical Theory*.

⁴³ Albert (Author) Einstein, „Motive des Forschens.”, 1918, 31, <http://alberteinstein.info/vufind1/Record/EAR000079148>.

⁴⁴ Don A. Howard, „Einstein’s Philosophy of Science”, în *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. Edward N. Zalta, Fall 2017 (Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2017), <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/einstein-philsience/>.

⁴⁵ Nicolae Sfetcu, *Singularitățile ca limite ontologice ale relativității generale* (MultiMedia Publishing, 2018), <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.17470.18242>.

⁴⁶ Adolf Grünbaum, *Philosophical Problems of Space and Time: Second, Enlarged Edition* (Springer Science & Business Media, 2012).

⁴⁷ Paul Feyerabend, *Against Method* (London: New Left Books, 1975).

⁴⁸ Michael Esfeld și Vincent Lam, „Moderate Structural Realism About Space-Time”, *Synthese* 160, nr. 1 (2008): 18, 56–57, 213n.

⁴⁹ Arthur Fine, *The Shaky Game: Einstein, Realism, and the Quantum Theory* (University of Chicago Press, 1986), 9.

⁵⁰ Fine, 108.

⁵¹ Nicholas Maxwell, *Karl Popper, Science and Enlightenment* (London: UCL Press, 2017).

severă: dispariția fizicii clasice ca urmare a teoriei cuantice a lui Planck din 1900. Empirismul orientat spre scop susține că știința face ipoteze permanente cu privire la natura universului, independent de considerentele empirice.

Atât Popper,⁵² cât și Kuhn⁵³ și Lakatos⁵⁴ apără versiuni ale empirismului standard în cazul lui Einstein.

Vincent Lam și Michael Esfeld susțin concepul unui realism structural ontic (RSO), în care ”spațiu-timpul este o structură fizică formată din rețele de relații fizice între obiectele fizice care nu posedă o identitate intrinsecă independent de relațiile în care se află,”⁵⁵ care poate lua în considerare caracteristicile TGR fundamentale ale invarianței difeomorfismului⁵⁶ și independenței de fond.⁵⁷ Localizarea în cadrul RSO este dinamică și independentă de fundal, fiind difeomorfist invariantă, codificând astfel bine caracteristica TGR a independenței de fond.

Conform lui Don A. Howard, ”Filosofia lui Einstein este o sinteză originală a elementelor extrase din surse diverse, cum ar fi neo-kantianismul, convenționalismul și empirismul logic, caracteristica sa distinctivă fiind amestecul său românesc a realismului cu o formă holistică subdeterminată a convenționalismului.”⁵⁸

Există câteva idei centrale pentru filosofia lui Einstein:

- Subdeterminarea opțiunii teoretice prin dovezi.
- Simplitatea și alegerea teoriei.
- Univocitate în reprezentarea teoretică a naturii.
- Realismul și separabilitatea.
- Distincția între teoriile principiilor și teoriile constructive.

Pentru Einstein, *simplitatea* este principalul criteriu în alegerea teoretică atunci când experimentele și observațiile nu dau indicii suficient de clare.⁵⁹ *Univocitatea* în reprezentarea

⁵² Karl Popper, *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*, 2nd edition (London ; New York: Routledge, 2002).

⁵³ Thomas S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 3rd edition (Chicago, IL: University of Chicago Press, 1996).

⁵⁴ Imre Lakatos, *The Methodology of Scientific Research Programmes: Volume 1: Philosophical Papers* (Cambridge University Press, 1980).

⁵⁵ Vincent Lam și Michael Esfeld, „The Structural Metaphysics of Quantum Theory and General Relativity”, *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie* 43, nr. 2 (2012): 243–258.

⁵⁶ Difeomorfismul este o mapare bijectivă și netedă între varietăți diferențiate a căror inversare este de asemenea netedă.

⁵⁷ Esfeld și Lam, „Moderate Structural Realism About Space-Time”.

⁵⁸ Howard, „Einstein’s Philosophy of Science”.

⁵⁹ John Norton, *How Einstein Found His Field Equations: 1912-1915*, 1984, 21, 23.

teoretică a naturii nu trebuie să fie confundată cu o negare a tezei de *subdeterminare*. Principiul univocalității a jucat un rol central în formularea de către Einstein a relativității generale, inclusiv în elaborarea ”argumentului găurii” considerat eronat de unii fizicieni.⁶⁰

Mulți filosofi și oameni de știință consideră că cea mai importantă contribuție a lui Einstein la filosofia științei a fost distincția pe care a făcut-o între teoriile principiilor și teoriile constructive. Conform lui Einstein, o *teorie constructivă* oferă un model constructiv pentru fenomenele de interes. O *teorie a principiilor* constă într-un set de generalizări empirice la nivel înalt individual bine confirmate. Einstein afirmă că înțelegerea finală necesită o teorie constructivă, dar progresul în teorie poate fi ”împiedicat de încercările premature de a dezvolta teorii constructive în absența unor constrângeri suficiente prin care să se îngusteze o gamă de posibilități constructive.” Rolul teoriilor principiilor este de a oferi constrângeri, iar progresul este realizat pe baza unor astfel de principii. *Einstein afirmă că aceasta a fost metodologia sa în descoperirea teoriei relativității ca teorie principală, celelalte două principii fiind principiul relativității și principiul luminii.*

De remarcat similitudinea dintre ideea ”teoriilor principiilor” ca niște constrângeri ale lui Einstein, și ”nucleul dur” al lui Lakatos (euristica negativă) care ar fi constituit din suma ”teoriilor principiilor” ale lui Einstein.

Distincția dintre teoriile principiilor și teoriile constructive a jucat un rol explicit în gândirea lui Einstein. Harman a observat că versiuni primitive ale acestei distincții au fost folosite încă din secolul 19, de James Clerk Maxwell.⁶¹

Ecuțiile lui Einstein sunt dificil de rezolvat exact, dar există în prezent mai multe soluții exacte, precum soluția Schwarzschild, soluția Reissner-Nordström și metrica Kerr, fiecare corespunzând unui anumit tip de gaură neagră într-un univers altfel gol,⁶² și universurile Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker și de Sitter, fiecare descriind un cosmos în expansiune.⁶³ Alte soluții exacte includ universul Gödel (cu posibilitatea de a călători în spațiu-timp), soluția Taub-NUT (un univers omogen dar anizotrop) și spațiul anti-de Sitter (cu conjectura Maldacena).⁶⁴ Datorită dificultății acestor ecuații, în prezent se caută soluții prin integrarea numerică pe un calculator sau prin examinarea perturbărilor mici ale soluțiilor exacte. Din soluțiile aproximative găsite prin teoriile perturbării face parte și extinderea post-

⁶⁰ P. M. Harman și Peter Michael Harman, *The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell* (Cambridge University Press, 2001).

⁶¹ Subrahmanyan Chandrasekhar, *The Mathematical Theory of Black Holes* (Clarendon Press, 1998).

⁶² Jayant Vishnu Narlikar, *Introduction to Cosmology* (Jones and Bartlett, 1983).

⁶³ Albert Einstein, *The Principle of Relativity* (S.I.: BN Publishing, 2008), 78.

⁶⁴ Stephen W. Hawking et al., *The Large Scale Structure of Space-Time*, New Ed edition (Cambridge: Cambridge University Press, 1975).

newtoniană, dezvoltată de Einstein, cu o distribuție a materiei care se mișcă lent în comparație cu viteza luminii. O particularizare a acestei extinderi este *formalismul post-newtonian parametrizat*, care permite comparații cantitative între predicțiile relativității generale și teoriile alternative.

Prin impunerea covarianței generale, toate verificările în spațiu-timp resupun o determinare a coincidențelor spațiu-timp.⁶⁵ Schlick afirmă că pasajul din lucrarea lui Einstein din 1916 care se referă la acest aspect reprezintă nașterea distincției moderne observație/teorie, și începutul interpretărilor empirice și veridice ale pozitivismului de mai târziu.⁶⁶

Einstein a sperat ca relativitatea generală să extindă relativitatea mișcării de la echivalența galileeană la echivalența tuturor stărilor de mișcare, inclusiv rotația, bazându-se pe presupunerea că covarianța generală sau echivalența descrierilor coordonatelor garantează echivalența dorită. Dar prin ea însăși, covarianța generală nu este un astfel de argument, neputând rezolva problema originală a relației dintre mișcare a lui Einstein. Această problemă este, în esență, una de structură geometrică.⁶⁷ Conform lui Disalle, Einstein a făcut o confuzie epistemologică acceptând ideea că mișcărilor relative pot fi cunoscute independent de orice teorie spațială, pentru a permite mișcărilor relative să aibă o poziție privilegiată epistemologică. Disalle ajunge la concluzia că relaționalismul clasic, considerat a fi o critică epistemologică a teoriei spațiu-timp, este el însuși o teorie spațială.

Riemann (1867) și Helmholtz (1870) au afirmat că toate măsurătorile geometrice depind de ipotezele fizice care stau la baza metodei de măsurare, pentru că o geometrie empirică trebuie să postuleze nu numai o structură geometrică, ci și o reprezentare a unui proces fizic idealizat.⁶⁸ Pentru Riemann, legătura dintre geometrie și fizică va trebui să se bazeze pe obiecte fizice și procese mai complicate. O astfel de legătură implică un principiu fizic, idee preluată și de Einstein pentru curbura spațiu-timp.⁶⁹

Poincare afirma că orice măsurătoare poate fi de acord cu orice geometrie, dacă eliminăm discrepanțele prin ipoteza unei forțe distorsionante care afectează instrumentele de

⁶⁵ 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, 117, <http://adsabs.harvard.edu/abs/1952prel.book..109E>.

⁶⁶ Moritz Schlick, *Space and Time in Contemporary Physics: An Introduction to the Theory of Relativity and Gravitation* (Mineola, N.Y: Dover Publications, 2005).

⁶⁷ Robert Disalle, „Spacetime Theory as Physical Geometry”, *Erkenntnis* 42, nr. 3 (1995): 317–337.

⁶⁸ Bernhard Riemann și Hermann Weyl, *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen* (Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1919), 133–52, <https://www.springer.com/gp/book/9783662423165>.

⁶⁹ Albert Einstein, *Geometrie und Erfahrung: Erweiterte Fassung des Festvortrages Gehalten an der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921* (Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1921), 123–30, <https://www.springer.com/de/book/9783642499036>.

măsurare.⁷⁰ Reichenbach și Schlick au sistematizat acest concept prin noțiunea de "definiție coordonatorie", direcționând empirismul spre convenționalism, cu o geometrie cu definiții care corelează concepte fundamentale cu un obiect dat empiric.⁷¹ ⁷² Astfel, Reichenbach a afirmat că: "semnificația filosofică a teoriei relativității constă... în faptul că a demonstrat necesitatea unor definiții coordonatorii metrice în mai multe locuri unde anterior s-au asumat relații empirice."⁷³

Un exemplu în acest sens este simultaneitatea. Fizica newtoniană a considerat simultaneitatea evenimentelor ca fapt empiric, pe când Einstein a impus simultaneitatea ca un principiu fizic. Întrucât viteza luminii a fost considerată invariantă, a rezultat că simultaneitatea este relativă. Disalle afirmă că definiția lui Einstein pentru simultaneitate este circulară, întrucât presupune deja un principiu de măsurare a timpului. Einstein a negat, afirmând că definiția nu presupune nimic despre lumină, invarianța vitezei luminii nefiind o ipoteză, ci "o prevedere pe care o pot face în mod liber, pentru a obține o definiție a simultaneității."⁷⁴ Disalle concludă că problema naturii spațiu-timpului nu este dacă o entitate teoretică oferă o explicație cauzală pentru aparențe, ci despre dacă procesele fizice de măsurare sunt conforme cu legile geometrice. În concluzie, Reichenbach neagă rolul geometriei în explicarea cauzei fundamentale a relațiilor spațiale.⁷⁵

Dar Einstein leagă spațiu-timpul nu doar de o anumită procedură, ci de un sistem de legi naturale, legile electrodinamicii, pe care le consideră ca fiind invariante fundamentale. Astfel definirea coordonată a stărilor de mișcare este un proces mai subtil decât a propus Reichenbach, implicând nu alegerea unui cadru de repaus ci stabilirea legilor mișcării. Practic, legile mișcării au devenit astfel, prin definiții coordinative, postulate ale geometriei spațiu-timp.⁷⁶

Conform lui Lakatos, teoria lui Einstein nu este mai bună decât cea a lui Newton din cauza refutării teoriei lui Newton: există "anomalii" și ale teoriei lui Einstein. Dar aceasta reprezintă un progres în comparație cu teoria lui Newton, pentru că a explicat tot ceea ce a

⁷⁰ Henri Poincaré, *The Foundations of Science; Science and Hypothesis, the Value of Science, Science and Method* (Place of publication not identified: TheClassics.us, 2013), 81–84.

⁷¹ Hans Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, 1st edition (New York, NY: Dover Publications, 1957).

⁷² Moritz Schlick, *Allgemeine Erkenntnislehre: Abteilung I / Band 1*, ed. Hans Jürgen Wendel și Fynn Ole Engler, Abteilung I: Veröffentlichte Schriften (Wien: Springer-Verlag, 2009), <https://www.springer.com/gp/book/9783211327685>.

⁷³ Reichenbach, *The Philosophy of Space and Time*, 15.

⁷⁴ Einstein, *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, 15.

⁷⁵ Disalle, „Spacetime Theory as Physical Geometry”.

⁷⁶ Disalle.

explicat cu succes teoria lui Newton, și a explicat și anomaliile acelei teorii. În plus, a prezis cu succes evenimente despre care teoria lui Newton nu a spus nimic.

Bibliografie

- Bollert, Karl. *Einstein's Relativitätstheorie und ihre Stellung im System der Gesamterfahrung*. T. Steinkopf, 1921.
- Brading, K. A., și T. A. Ryckman. „Hilbert's 'Foundations of Physics': Gravitation and electromagnetism within the axiomatic method”. *Studies in History and Philosophy of Science Part B: Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39, nr. 1 (1 ianuarie 2008): 102–53. <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2007.08.002>.
- Cassirer, Ernst. *Zur Einstein'schen relativitätstheorie: Erkenntnistheoretische betrachtungen*. B. Cassirer, 1921.
- Cassirer, Ernst, W. C. Swabey, și M. C. Swabey. *Substance and Function and Einstein's Theory of Relativity*. Courier Corporation, 2003.
- Chandrasekhar, Subrahmanyan. *The Mathematical Theory of Black Holes*. Clarendon Press, 1998.
- Disalle, Robert. „Spacetime Theory as Physical Geometry”. *Erkenntnis* 42, nr. 3 (1995): 317–337.
- Duhem, Pierre Maurice Marie, Jules Vuillemin, și Louis de Broglie. *The Aim and Structure of Physical Theory*. Traducere de Philip P. Wiener. 9932nd edition. Princeton: Princeton University Press, 1991.
- 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>.
- Einstein, Albert. „Autobiographische Skizze”. În *Helle Zeit — Dunkle Zeit: In memoriam Albert Einstein*, ediție de Carl Seelig, 9–17. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 1956. https://doi.org/10.1007/978-3-322-84225-1_2.
- . *Geometrie und Erfahrung: Erweiterte Fassung des Festvortrages Gehalten an der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin am 27. Januar 1921*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1921. <https://www.springer.com/de/book/9783642499036>.
- . *The Principle of Relativity*. S.l.: BN Publishing, 2008.
- . *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*. 23. Aufl. 2001. Nachdruck. Berlin: Springer, 2002.
- Einstein, Albert (Author). „Motive des Forschens.”, 1918. <http://alberteinstein.info/vufind1/Record/EAR000079148>.
- Esfeld, Michael, și Vincent Lam. „Moderate Structural Realism About Space-Time”. *Synthese* 160, nr. 1 (2008): 27–46.
- Feyerabend, Paul. *Against Method*. London: New Left Books, 1975.
- Fine, Arthur. *The Shaky Game: Einstein, Realism, and the Quantum Theory*. University of Chicago Press, 1986.
- Friedman, Michael. *Foundations of Space-Time Theories: Relativistic Physics and Philosophy of Science*. Princeton University Press, 1983.
- . „Geometry, Convention, and the Relativized A Priori: Reichenbach, Schlick, and Carnap”. *Reconsidering Logical Positivism*, iulie 1999. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139173193.006>.
- Giovanelli, Marco. „The Forgotten Tradition: How the Logical Empiricists Missed the Philosophical Significance of the Work of Riemann, Christoffel and Ricci”. *Erkenntnis* 78, nr. 6 (1 decembrie 2013): 1219–57. <https://doi.org/10.1007/s10670-012-9407-2>.
- Grünbaum, Adolf. *Philosophical Problems of Space and Time: Second, Enlarged Edition*. Springer Science & Business Media, 2012.

- Harman, P. M., și Peter Michael Harman. *The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell*. Cambridge University Press, 2001.
- Hawking, Stephen W., G. F. R. Ellis, P. V. Landshoff, D. R. Nelson, D. W. Sciama, și S. Weinberg. *The Large Scale Structure of Space-Time*. New Ed edition. Cambridge: Cambridge University Press, 1975.
- Howard, Don A. „Einstein’s Philosophy of Science”. În *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ediție de Edward N. Zalta, Fall 2017. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2017. <https://plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/einstein-philsience/>.
- Kuhn, Thomas S. *The Structure of Scientific Revolutions*. 3rd edition. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1996.
- Lakatos, Imre. *The Methodology of Scientific Research Programmes: Volume 1: Philosophical Papers*. Cambridge University Press, 1980.
- Lam, Vincent, și Michael Esfeld. „The Structural Metaphysics of Quantum Theory and General Relativity”. *Journal for General Philosophy of Science / Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie* 43, nr. 2 (2012): 243–258.
- Lodge, Oliver. „The Geometrisation of Physics, and Its Supposed Basis on the Michelson-Morley Experiment”. *News. Nature*, 1921. <https://doi.org/10.1038/106795a0>.
- Maxwell, Nicholas. *Karl Popper, Science and Enlightenment*. London: UCL Press, 2017.
- Narlikar, Jayant Vishnu. *Introduction to Cosmology*. Jones and Bartlett, 1983.
- Natorp, Paul. *Die logischen Grundlagen der exakten Wissenschaften*. Sändig Reprint, H. R. Wohlwend, 1910.
- Norton, John. *How Einstein Found His Field Equations: 1912-1915*, 1984.
- Norton, John D. „General Covariance and the Foundations of General Relativity: Eight Decades of Dispute”. *Reports of Progress in Physics* 56 (1993): 791–861.
- Petzoldt, Joseph, Giora Hon, și Ernst Mach. *Der Verhältnis der Machschen Gedankenwelt zur Relativitätstheorie, an appendix to Die Mechanik in ihrer Entwicklung: Historisch-kritisch dargestellt*. Xenomoi Verlag, 1921.
- Poincare, Henri. *The Foundations of Science; Science and Hypothesis, the Value of Science, Science and Method*. Place of publication not identified: TheClassics.us, 2013.
- Popper, Karl. *Conjectures and Refutations: The Growth of Scientific Knowledge*. 2nd edition. London ; New York: Routledge, 2002.
- Reichenbach, Hans. *Philosophie der Raum-Zeit-Lehre*. 1 Plate. De Gruyter, 1928.
- . *Relativitätstheorie Und Erkenntnis Apriori*. J. Springer, 1920.
- . *The Philosophy of Space and Time*. 1st edition. New York, NY: Dover Publications, 1957.
- Riemann, Bernhard, și Hermann Weyl. *Über die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1919. <https://www.springer.com/gp/book/9783662423165>.
- Russell, Bertrand. *Relativity: Philosophical Consequences, in Encyclopaedia Britannica: Thirteenth Edition Volume 31*. ENCYCLOPAEDIA BRITANNICA PRESS, 1926.
- . *The Analysis of Matter*. First Paperback Edition edition. Nottingham: Spokesman Books, 2007.
- Ryckman, Thomas. „A Believing Rationalist”. *The Cambridge Companion to Einstein*, mai 2014. <https://doi.org/10.1017/CCO9781139024525.014>.
- . *Einstein*. 1 edition. London ; New York: Routledge, 2011.
- . *The Reign of Relativity: Philosophy in Physics 1915-1925*. 1 edition. Oxford ; New York: Oxford University Press, 2005.
- Ryckman, Thomas A. „Early Philosophical Interpretations of General Relativity”. În *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ediție de Edward N. Zalta, Spring 2018.

- Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2018.
<https://plato.stanford.edu/archives/spr2018/entries/genrel-early/>.
- Sauer, Tilman. „Einstein’s Unified Field Theory Program”. *The Cambridge Companion to Einstein*, mai 2014. <https://doi.org/10.1017/CCO9781139024525.011>.
- Schilpp, Paul Arthur, ed. *Albert Einstein, Philosopher-Scientist: The Library of Living Philosophers Volume VII*. 3rd edition. La Salle, Ill.: Open Court, 1998.
- Schlick, Moritz. *Allgemeine Erkenntnislehre: Abteilung I / Band 1*. Ediție de Hans Jürgen Wendel și Fynn Ole Engler. Abteilung I: Veröffentlichte Schriften. Wien: Springer-Verlag, 2009. <https://www.springer.com/gp/book/9783211327685>.
- . „Kritizistische Oder Empiristische Deutung der Neuen Physik?” *Société Française de Philosophie, Bulletin* 26, nr. n/a (1921): 96.
- . *Space and Time in Contemporary Physics: An Introduction to the Theory of Relativity and Gravitation*. Mineola, N.Y: Dover Publications, 2005.
- Sellien, Ewald. *Die erkenntnistheoretische Bedeutung der Relativitätstheorie*. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 1919.
- Weyl, Hermann, Axel Hildebrand, și Dieter Schmalstieg. *Raum. Zeit. Materie: Vorlesungen über allgemeine Relativitätstheorie*. 7. Berlin Heidelberg New York London Paris Tokyo: Springer, 1988.