

# Teste gravitaționale

Nicolae Sfetcu

20.06.2019

Sfetcu, Nicolae, " Epistemologia gravitației experimentale – Raționalitatea științifică ", SetThings (20 iunie 2019), URL = <https://www.setthings.com/ro/teste-gravitationale/>

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



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

Gravitația are un caracter universal, dar puterea sa scade rapid cu distanța, fiind cea mai slabă dintre cele patru forțe fundamentale ale fizicii.<sup>1</sup> În secolul 4 î.e.n., filosoful grec Aristotel considera drept cauză a căderii corpurilor grele tendința de a se deplasa spre locul lor natural.<sup>2</sup> În Cartea VII din *De Architectura*, inginerul roman și arhitect Vitruvius susține că gravitația nu depinde de "greutatea" unei substanțe, ci mai degrabă de "natura" ei.<sup>3</sup> Astronomul și matematicianul indian Brahmagupta a susținut că pământul este sferic și atrage obiectele.<sup>4</sup> În secolul al XVII-lea, Galileo a descoperit că, contrar învățăturilor lui Aristotel, toate obiectele se accelerau în mod egal când cădeau.<sup>5</sup> După descrierea gravitației de către Newton ca forță, relativitatea generală consideră că gravitația este o consecință a curburii spațiu-timpului datorită distribuției masei. Conform teoriei actuale principale, gravitația a apărut odată cu nașterea Universului, în perioada epocii Planck (la  $10^{-43}$  secunde după Big Bang). În prezent, se încearcă dezvoltarea unei teorii cuantice care să unifice gravitația cu celelalte trei forțe fundamentale din natură. Mecanica cuantică cu teoria câmpului cuantic<sup>6</sup> și relativitatea generală, sunt teoriile fundamentale în cadrul cărora este abordată gravitația.

Allan Franklin și Slobodan Perovic , în *Experiment in Physics*,<sup>7</sup> afirmă că teoriile în știință în general, și în fizică în special, sunt confirmate (temporar) prin experimente care verifică afirmațiile și predicțiile teoriilor, punând astfel bazele cunoașterii științifice. Francis Bacon a fost primul care a susținut conceptul de experiment crucial, care poate decide validitatea unei ipoteze sau teorii. Ulterior, Newton a susținut că teoriile științifice sunt induse direct din rezultatele experimentale și observații, excluzând ipotezele netestate. Hobbes a afirmat, dimpotrivă, că rațiunea umană a precedat tehnicile experimentale, criticând optimismul lui Boyle privind rolul metodei experimentale.<sup>8</sup> În secolul 20, pozitivismul logic separă deducțiile observaționale de cele teoretice. Thomas Kuhn și Paul Feyerabend au criticat această viziune, afirmând că toate experimentele au la bază un cadru teoretic și deci nu pot confirma

---

<sup>1</sup> Cele patru forțe "fundamentale" sunt cea electromagnetică, nucleară "slabă" responsabilă de dezintegrarea radioactivă, nucleară "puternică" legând elementele constitutive ale nucleelor, și gravitațională.

<sup>2</sup> Edward Grant, *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages: Their Religious, Institutional and Intellectual Contexts* (Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 1996), 60–61.

<sup>3</sup> Vitruvius Pollio, *De architectura* (Torino: Giulio Einaudi, 1997), 215.

<sup>4</sup> Muḥammad ibn Aḥmad Bīrūnī, „Alberuni’s India”, text, 1910, 272, [http://www.columbia.edu/cu/lweb/digital/collections/cul/texts/ldpd\\_5949073\\_001/index.html](http://www.columbia.edu/cu/lweb/digital/collections/cul/texts/ldpd_5949073_001/index.html).

<sup>5</sup> Stillman Drake, *Galileo at Work: His Scientific Biography* (Courier Corporation, 2003).

<sup>6</sup> Teoria câmpului cuantic este cadrul comun pentru teoria luminii și a electronilor sub formă de câmpuri (electrodinamica cuantică), teoria forțelor nucleare slabe și teoria cuarcilor și gluonilor. Modelul standard al fizicii particulelor reunește aceste abordări și descrie structura internă a atomilor prin câmpuri cuantice.

<sup>7</sup> Allan Franklin și Slobodan Perovic, „Experiment in Physics”, în *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ed. Edward N. Zalta, Winter 2016 (Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2016), <https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/physics-experiment/>.

<sup>8</sup> Steven Shapin și Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life* (Princeton University Press, 1989).

independent o teorie. Ian Hacking a fost de acord cu această idee, dar afirmă că observațiile rămân de încredere prin confirmări independente.<sup>9</sup> În cazul unui singur sistem experimental viabil, Allan Franklin și Slobodan Perovic propun strategii specifice pentru validarea observației, care, împreună cu strategia lui Hacking, constituie o epistemologie a experimentului:

1. Verificarea și calibrarea experimentală, cu ajutorul fenomenelor cunoscute.
2. Reproducerea artefactelor cunoscute în prealabil.
1. Eliminarea surselor plauzibile de eroare și explicațiile alternative ale rezultatului ("strategia Sherlock Holmes").
2. Folosirea rezultatelor pentru a argumenta validitatea lor.
3. Folosirea unei teorii independente bine-coroborată a fenomenelor pentru a explica rezultatele.
4. Folosirea unui aparat bazat pe o teorie bine coroborată.
5. Utilizarea argumentelor statistice.<sup>10</sup>

Dar aplicarea acestor strategii nu garantează corectitudinea rezultatelor. Din această cauză, fizicienii folosesc mai multe strategii, în funcție de experiment.

Peter Galison, în *How Experiments End* (1987), afirmă că experimentele se încheie într-un mod subiectiv, atunci când experții cred că au ajuns la un rezultat valid.<sup>11</sup> Cele mai multe experimente se bazează pe tradițiile în domeniu și experiența personală a cercetătorului (inclusiv presupuzițiile sale teoretice), atât în proiectarea experimentului cât și în acceptarea unei teorii "care permite" desfășurarea experimentelor. Presupuzițiile teoretice ale experimentatorilor sunt acceptate.

Harry Collins a dezvoltat un argument numit "regresul experimentatorilor",<sup>12</sup> conform căruia nu există criterii formale pe care să le poți aplica pentru a decide dacă un aparat experimental funcționează corect sau nu. Ce contează în fapt este negocierea în cadrul comunității științifice, care depinde de "factori precum interesele carierei, sociale și cognitive ale oamenilor de știință și utilitatea percepută pentru munca viitoare, dar care nu este decisă prin ceea ce putem numi criterii epistemologice sau judecată raționalizată."<sup>13</sup>

---

<sup>9</sup> Ian Hacking, „Do We See Through a Microscope?”, *Pacific Philosophical Quarterly* 62, nr. 4 (1981): 63: 305–322.

<sup>10</sup> Franklin și Perovic, „Experiment in Physics”.

<sup>11</sup> Peter Galison, „How Experiments End”, *Journal of Philosophy* 87, nr. 2 (1990): 235.

<sup>12</sup> Harry M. Collins, *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, Reprint edition (Chicago: University of Chicago Press, 1992), 79–111.

<sup>13</sup> Franklin și Perovic, „Experiment in Physics”.

Pickering susține, de asemenea, că motivele pentru acceptarea rezultatelor sunt utilitatea ulterioară a lor în practica științifică, și acordul lor cu angajamentele comunitare existente.<sup>14</sup> El afirmă că un sistem experimental produce rareori rezultate experimentale valide dacă nu este ajustat în acest sens, și că teoria aparatului, cât și teoria fenomenelor, determină producerea unui rezultat experimental valid.<sup>15</sup> Ulterior, concluzionează că "rezultatele depind de modul în care este lumea":<sup>16</sup> "Astfel, felul în care este lumea materială se infiltrează în și infectează reprezentările noastre despre ea într-un mod netrivial și consecvent. Analiza mea arată astfel un angajament intim și reactiv între cunoașterea științifică și lumea materială, care este integrantă practicii științifice".<sup>17</sup>

Hacking susține că, în ciuda aparențelor, constructiviștii, precum Collins, Pickering sau Latour, nu cred că faptele nu există sau că nu există realitate. El citează pe Latour și Woolgar că rezultatul este o consecință a muncii științifice mai degrabă decât cauza ei,<sup>18 19</sup> într-un relativ consens cu comunitatea științifică.

Acumularea unei cantități mari de date în cadrul unui experiment poate impune o selecție, prin tehnica reducerii utilizată de fizicieni, a datelor care vor fi folosite. Aceasta poate fi o preocupare epistemologică importantă privind modul de selecție a datelor considerate utile, minimizând probabilitatea unor rezultate neexplorate.<sup>20</sup> În astfel de cazuri, fizicienii aplică o analiză de robustețe în testarea ipotezelor, prin verificarea aparatului utilizate, și stabilirea unor algoritmi de lucru.

În cazul soluțiilor ecuațiilor lui Einstein din relativitatea generală și a modelării teoriilor gravitației cuantice, datorită complexității acestor abordări se încearcă simulări ale experimentelor pe calculator. În prezent, există o dispută în curs în ce măsură aceste simulări sunt experimente, teorii sau un fel de metode hibride de a face știință.<sup>21</sup>

În perioada 1965 - 1990 au fost elaborate foarte multe experimente pentru testarea teoriilor gravitaționale, inclusiv<sup>22</sup>

---

<sup>14</sup> Andrew Pickering, „The Hunting of the Quark”, *Isis* 72, nr. 2 (1981): 216–36.

<sup>15</sup> Pickering, „The Hunting of the Quark”.

<sup>16</sup> Andrew Pickering, *The Mangle of Practice: Time, Agency, and Science*, 1 edition (Chicago: University of Chicago Press, 1995), 182.

<sup>17</sup> Pickering, 183.

<sup>18</sup> Bruno Latour, Steve Woolgar, și Jonas Salk, *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*, 2nd Edition, 2nd edition (Princeton, N.J: Princeton University Press, 1986), 180.

<sup>19</sup> Ian Hacking, *The Social Construction of What?*, Revised edition (Cambridge, Mass: Harvard University Press, 2000), 80–81.

<sup>20</sup> Allan Franklin, *Shifting Standards: Experiments in Particle Physics in the Twentieth Century*, 1 edition (Pittsburgh, Pa: University of Pittsburgh Press, 2013), 224–25.

<sup>21</sup> Eric Winsberg, *Science in the Age of Computer Simulation* (Chicago: University of Chicago Press, 2010), 136.

<sup>22</sup> Vladimir B. Braginsky, „Experimental Gravitation (What Is Possible and What Is Interesting to Measure)”, *Classical and Quantum Gravity* 11, nr. 6A (iunie 1994): A1–A7, <https://doi.org/10.1088/0264-9381/11/6A/001>.

- Măsurători de înaltă precizie ale efectelor radiației electromagnetice în câmp gravitațional, confirmând TGR pentru câmpul gravitațional slab.
- Detectarea interacțiunii gravitaționale neliniare a maselor la un pulsar în câmpul gravitațional al unei stele neutronice.
- Confirmarea indirectă a radiației gravitaționale prin observarea a două stele neutronice apropiate, confirmând TGR.
- Încercări, eșuate deocamdată, de a constata încălcarea principiului echivalenței sau existența unei a cincea forțe.

În această perioadă cele mai multe experimente au confirmat relativitatea generală cu ajutorul tehnologiilor nou dezvoltate. S-a creat o bază tehnologică pentru astronomia undelor gravitaționale. S-au construit antene barogene criogenice și antene interferometrice laser performante, asociate cu analiza teoretică a experimentelor cu masele de testare, rezultând că sensibilitatea experimentelor depinde de izolarea termică, dacă dispozitivul înregistrează continuu coordonatele sensibilitatea antenei este limitată, și se poate crește sensibilitatea dacă se folosesc proceduri cuantice.<sup>23</sup> Antenele pot ajuta în observarea radiației gravitaționale de fond și testarea relativității generale în cazul ultra-nelinar.

Referitor la sensibilitatea dispozitivelor de măsurare gravitaționale, Vladimir B Braginsky afirmă că nivelul actual al cunoștințelor ne permite să sperăm că sensibilitatea antenelor poate crește, și nu s-a prevăzut nicio limită a sensibilității în experimentele gravitaționale, ea depinde de priceperea oamenilor de știință.<sup>24</sup>

În prezent, gravitația experimentală este un domeniu emergent, caracterizat prin eforturi continue de a testa previziunile teoriilor gravitației.

*Limita clasică sau limita de corespondență* este capacitatea unei teorii fizice de a aproxima versiunea clasică atunci când este luată în considerare prin valorile speciale ale parametrilor săi.<sup>25</sup> *Principiul corespondenței* formulat de Niels Bohr în 1920<sup>26</sup> afirmă că comportamentul sistemelor descrise de mecanica cuantică reproduce fizica clasică în limita numerelor cuantice mari.<sup>27</sup> Acest principiu are două cerințe de bază: reproducerea parantezelor Poisson, și specificarea unui set complet de observabile clasice a căror operatori, când

---

<sup>23</sup> Braginsky.

<sup>24</sup> Braginsky.

<sup>25</sup> David Bohm, *Quantum Theory*, Revised ed. edition (New York: Dover Publications, 1989).

<sup>26</sup> N. Bohr, „Über die Serienspektra der Elemente”, *Zeitschrift für Physik* 2, nr. 5 (1 octombrie 1920): 423–478, <https://doi.org/10.1007/BF01329978>.

<sup>27</sup> Paul A. Tipler și Ralph Llewellyn, *Modern Physics*, Sixth edition (New York: W. H. Freeman, 2012), 160–61.

acționează prin stări semiclassical corespunzătoare, reproduc aceleași variabile clasice cu mici corecții cuantice.<sup>28</sup>

---

<sup>28</sup> Abhay Ashtekar, Luca Bombelli, și Alejandro Corichi, „Semiclassical States for Constrained Systems”, *Physical Review D*, 2005, [https://www.academia.edu/587754/Semiclassical\\_states\\_for\\_constrained\\_systems](https://www.academia.edu/587754/Semiclassical_states_for_constrained_systems).

## Bibliografie

- Ashtekar, Abhay, Luca Bombelli, și Alejandro Corichi. „Semiclassical States for Constrained Systems”. *Physical Review D*, 2005.  
[https://www.academia.edu/587754/Semiclassical\\_states\\_for\\_constrained\\_systems](https://www.academia.edu/587754/Semiclassical_states_for_constrained_systems).
- Bīrūnī, Muḥammad ibn Aḥmad. „Alberuni’s India”. Text, 1910.  
[http://www.columbia.edu/cu/lweb/digital/collections/cul/texts/ldpd\\_5949073\\_001/index.html](http://www.columbia.edu/cu/lweb/digital/collections/cul/texts/ldpd_5949073_001/index.html).
- Bohm, David. *Quantum Theory*. Revised ed. edition. New York: Dover Publications, 1989.
- Bohr, N. „Über die Serienspektren der Elemente”. *Zeitschrift für Physik* 2, nr. 5 (1 octombrie 1920): 423–69. <https://doi.org/10.1007/BF01329978>.
- Braginsky, Vladimir B. „Experimental Gravitation (What Is Possible and What Is Interesting to Measure)”. *Classical and Quantum Gravity* 11, nr. 6A (iunie 1994): A1–A7.  
<https://doi.org/10.1088/0264-9381/11/6A/001>.
- Collins, Harry M. *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*. Reprint edition. Chicago: University of Chicago Press, 1992.
- Drake, Stillman. *Galileo at Work: His Scientific Biography*. Courier Corporation, 2003.
- Franklin, Allan. *Shifting Standards: Experiments in Particle Physics in the Twentieth Century*. 1 edition. Pittsburgh, Pa: University of Pittsburgh Press, 2013.
- Franklin, Allan, și Slobodan Perovic. „Experiment in Physics”. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, ediție de Edward N. Zalta, Winter 2016. Metaphysics Research Lab, Stanford University, 2016.  
<https://plato.stanford.edu/archives/win2016/entries/physics-experiment/>.
- Galison, Peter. „How Experiments End”. *Journal of Philosophy* 87, nr. 2 (1990): 103–106.
- Grant, Edward. *The Foundations of Modern Science in the Middle Ages: Their Religious, Institutional and Intellectual Contexts*. Cambridge ; New York: Cambridge University Press, 1996.
- Hacking, Ian. „Do We See Through a Microscope?” *Pacific Philosophical Quarterly* 62, nr. 4 (1981): 305–322.
- . *The Social Construction of What?* Revised edition. Cambridge, Mass: Harvard University Press, 2000.
- Latour, Bruno, Steve Woolgar, și Jonas Salk. *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts, 2nd Edition*. 2nd edition. Princeton, N.J: Princeton University Press, 1986.
- Pickering, Andrew. „The Hunting of the Quark”. *Isis* 72, nr. 2 (1981): 216–236.
- . *The Mangle of Practice: Time, Agency, and Science*. 1 edition. Chicago: University of Chicago Press, 1995.
- Pollio, Vitruvius. *De architectura*. Torino: Giulio Einaudi, 1997.
- Shapin, Steven, și Simon Schaffer. *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*. Princeton University Press, 1989.
- Tipler, Paul A., și Ralph Llewellyn. *Modern Physics*. Sixth edition. New York: W. H. Freeman, 2012.
- Winsberg, Eric. *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago: University of Chicago Press, 2010.