Gravitația newtoniană și relativistă

Nicolae Sfetcu

2februarie2019

Sfetcu, Nicolae, "Gravitația newtoniană și relativistă ", SetThings (2februarie 2019), MultiMedia Publishing (ed.), DOI: 10.13140/RG.2.2.36460.41606, URL = https://www.telework.ro/ro/gravitatia-newtoniana-si-relativista/

Email: nicolae@sfetcu.com

Extras din:
Sfetcu, Nicolae, "*Singularitățile ca limite ontologice ale relativității generale*", SetThings (1 iunie 2018), MultiMedia (ed.), ISBN: 978-606-033-197-1, DOI: 10.13140/RG.2.2.17470.18242, URL = https://www.telework.ro/ro/e-books/singularitatile-ca-limite-ontologice-ale-relativitatii-generale/

Gravitațiaclasicănewtonianăadmite o descrieregeometrică. Împreună cu relativitateaspecială, aceastapermite o descriereeuristică a teorieirelativitățiigenerale (RG). Mișcareainerțială din mecanicaclasicăestelegată de geometriaspațiuluișitimpului, practic de-a lungulunorgeodeziceîn care liniile de univers sunt liniidrepteînspațiu-timpul relativist. (Ehlers 1973)Datorităprincipiuluiechivalențeiîntremaseleinerțialășigravitațională, când se iaînconsiderareșigravitația nu esteobservată o distincțieîntremișcareainerțialășicea sub influențagravitației. Aceastapermitedefinireauneinoiclase, a corpurilorîncădereliberă, definind o geometrie a spațiuluișitimpuluiprin o mișcaregeodezică care depinde de gradientulpotețialuluigravitațional. De aici s-a dedusteoria Newton-Cartan, o formula geometrică a gravitațieinewtonieneînspațiu-timpcurbatfolosindnumaiconceptecovariante. (Ehlers 1973)(Havas 1964)

Gravitațiageometricănewtonianăeste un cazlimită a mecaniciirelativistespeciale. Acoloundegravitațiapoate fi neglijată, fizicaestelorentzianinvariantă ca înrelativitateaspecială, maidegrabădecâtgalileianinvariantă ca înmecanicaclasică. (Giulini 2006)

Simetrialui Lorentz implicăstructurisuplimentareprinconuriluminoase care definesc o structurăcauzală.[1]Împreună cu liniile de universpentrucorpurileîncădereliberă, conurile de lumină pot fi folositepentru a reconstruimetrica semi-riemanniană a spațiu-timpului, celpuținpână la un factor scalar pozitiv, rezultând o structură (sau o geometrie) conformă.

Dacă se iaînconsideraregravitația, liniiletemporaledrepte care definesc un cadruinerțialfărăgravitație sunt curbate, rezultând o schimbareîngeometriaspațiu-timp. (Schutz and Schutz 1985)

[1]Pentrufiecareeveniment A, există un set de evenimenteindependente de observatori. care pot, înprincipiu, săinfluențezesausă fie influențate de A prinintermediulunorsemnalesauinteracțiuni care nu trebuiesăcălătoreascămairepededecât lumina și un set de evenimentepentru care o astfel de influențăesteimposibilă.

Timpulpropriumăsurat cu ceasuriîntr-un câmpgravitațional nu respectăregulilerelativitățiispeciale (nu se măsoarăprinmetricaMinkowski), fiindnecesară o geometriemaigenerală, curbă, a spațiului, cu o metrică pseudo-riemannianăasociatăîn mod firesc cu un anumit tip de conexiune, conexiunea Levi-Civita, care satisfaceprincipiulechivalențeiși face spațiul local minkowskian. (Ehlers 1973)

Înnoiembrie 1915, la Academia de Științe din Prusia, Einstein a prezentatecuațiile de câmp[2] care includgravitația, care specificămodulîn care geometriaspațiuluiși a timpuluiesteinfluențată de materieșiradiație.

Conform RG, forţa de gravitaţieeste o manifestare a geometriei locale spaţiu-timp. RG este o teoriemetrică a gravitației. La bazaei sunt ecuațiilelui Einstein (b2), care descriurelațiadintregeometriauneivarietățipatrudimensionale, pseudo-Riemanniene, reprezentândspațiu-timpulșienergia-impulsulconținutînacelspațiu-timp. Gravitațiacorespundeschimbărilorînproprietățilespațiuluișitimpului, care, la rândul lor, modificătraseeleobiectelor. Curburaestecauzată de energia-impulsulmateriei. Conform lui John Archibald Wheeler, spațiu-timpulspunemateriei cum să se mișteiarmateriaspunespațiu-timpului cum să se curbeze. (Wheeler 1990)Pentrucâmpurigravitaționaleslabeșivitezemiciînraport cu vitezaluminii, previziunileteorieiconvergsprecele ale legiigravitațieiuniversale a lui Newton.

RG prezintăcovarianțăgenerală (legile au aceeașiformăîntoatesistemele de coordonate) și nu conținestructurigeometriceinvariabile (esteindependentă de diferitelecâmpuri din spațiu-timp).

[2]Ecuațiile de câmp Einstein:

$$G_{\mu\nu} \equiv R_{\mu\nu} - (1/2)Rg_{\mu\nu} = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}$$

unde$G_{\mu\nu}$estetensorul Einstein, o combinațiespecificăfărădivergențe a tensorului Ricci $R_{\mu\nu}$și a metricii, iar$T_{\mu\nu}$estetensorulenergie-impuls. Constanta de proporționalitatepoate fi fixatădrept$k = 8\pi G/c^4$, cu *G*constantagravitaționalăși*c*vitezaluminii. În vid, $R_{\mu\nu} = 0$.

Practic, în plan local estevalabilprincipiulechivalenței, spațiu-timpulesteMinkowskian, iarlegilefiziciimanifestăinvarianțalocală Lorentz. (Weinberg 1972)

În RG, materiașigeometriatrebuiesăsatisfacăecuațiilelui Einstein. O soluțieaacestorecuațiieste un model de univers cu eventualelegisuplimentare care reglementeazămateria. Cele maicunoscutesoluțiiexacte sunt cele care corespundunuianumit tip de gaurăneagră (GN) într-un universaltfelgol(Chandrasekhar 1998)(soluția Schwarzschild, soluțiaReissner-Nordströmșimetrica Kerr), cele care descriu un universînexpansiune (universurile Friedmann-Lemaître-Robertson-Walker și de Sitter), universul Gödel (cu posibilitatea de a călătoriîntimp), soluția Taub-NUT (un model de universomogendaranizotrop) șispațiul anti-de Sitter (evidențiat recent încontextulconjecturii Maldacena). (Hawking and Ellis 2008)

Îngravitațianewtonianăsursagravitațieieste masa, iarînrelativitateaspecială masa face partedintr-o cantitatemaigeneralănumită tensor energie-impuls care include atâtdensitateaenergieicâtșiaimpulsuluișistresul (presiuneașiforfecarea). În RG, ecuațiacâmpului de gravitație se referă la acest tensor și la tensorul Ricci care descrie o anumităclasă de efecte de maree.

Existăteorii alternative la RG construite pe aceleași premise, cu reguli și/sauconstrângerisuplimentare, care conduc la ecuații de câmpdiferite (teorialui Whitehead, teoria Brans-Dicke, teleparalalelismul, gravitația f(R), teoria Einstein-Cartan, etc.).(Brans and Dicke 1961)

Bibliografie

Brans, C., and R. H. Dicke. 1961. “Mach’s Principle and a Relativistic Theory of Gravitation.” *Physical Review* 124 (3): 925–35. https://doi.org/10.1103/PhysRev.124.925.

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

Ehlers, Jürgen. 1973. "Survey of General Relativity Theory." 1973. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-2639-0_1.
Giulini, D. 2006. "Algebraic and Geometric Structures in Special Relativity." In *Special Relativity*, 45–111. Lecture Notes in Physics. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-34523-X_4.
Havas, Peter. 1964. "Four-Dimensional Formulations of Newtonian Mechanics and Their Relation to the Special and the General Theory of Relativity." *Reviews of Modern Physics* 36 (4): 938–65. https://doi.org/10.1103/RevModPhys.36.938.
Hawking, S. W., and G. F. R. Ellis. 2008. *The Large Scale Structure of Space-Time*. 21. printing. Cambridge Monographs on Mathematical Physics. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
Schutz, Bernard F., and Director Bernard F. Schutz. 1985. *A First Course in General Relativity*. Cambridge University Press.
Weinberg, Steven. 1972. *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*. Wiley.
Wheeler, John Archibald. 1990. *A Journey Into Gravity and Spacetime*. Scientific American Library.