

Tests et anomalies des théories de la gravité post-newtoniennes

Nicolae Sfetcu

15.12.2019

Sfetcu, Nicolae, « Tests et anomalies des théories de la gravité post-newtoniennes », SetThings (15 décembre 2019), URL = <https://www.setthings.com/fr/tests-et-anomalies-des-theories-de-la-gravite-post-newtoniennes/>

Email: nicolae@sfetcu.com



Cet article est sous licence Creative Commons Attribution-NonDerivatives 4.0 International. Pour voir une copie de cette licence, visitez <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/>

Une traduction partielle de Sfetcu, Nicolae, "Epistemologia gravitației experimentale – Raționalitatea științifică", SetThings (1 august 2019), MultiMedia Publishing (ed.), ISBN: 978-606-033-234-3, DOI: 10.13140/RG.2.2.15421.61925, URL = <https://www.setthings.com/ro/e-books/epistemologia-gravitatiei-experimentale-rationalitatea-stiintifica/>

Sommaire

<u>TESTS DES THÉORIES POST-NEWTONIENNES</u>	<u>3</u>
TESTS PROPOSÉS PAR NEWTON	3
TESTS DES THÉORIES POST-NEWTONIENNES	6
<u>ANOMALIES DE LA GRAVITÉ NEWTONIENNES</u>	<u>8</u>
<u>POINT DE SATURATION DE LA GRAVITÉ NEWTONIENNE</u>	<u>10</u>
<u>BIBLIOGRAPHIE.....</u>	<u>13</u>

Tests des théories post-newtoniennes

Tests proposés par Newton

Dans la première édition du *Principia*, Newton considérait que des expériences avec le pendule lui permettraient de déchiffrer les différents types de force de résistance et leur variation avec la vitesse. Il reconnaît l'échec de ces expériences, dans les deuxième et troisième éditions, puis fait appel à la chute verticale d'objets aux forces de résistance dues à l'inertie de l'environnement. Son intention était d'approcher les autres types en utilisant les différences entre les observations et cette loi.¹ Mais cette approche était également erronée, car il n'y a pas d'espèce distincte de force de résistance, mais seulement le résultat de l'interaction avec l'environnement inertiel et visqueux. Cette interaction étant très complexe, Newton n'a pas pu déduire une loi pour la force de résistance, elle n'a déterminé que des relations empiriques pour des corps de formes différentes.²

Newton soutient dans la loi de la gravité la stricte proportionnalité de la « quantité de matière » avec le poids, mais les expériences avec le pendule indiquent seulement que la masse inertielle est proportionnelle au poids.³ La masse d'un objet en est une caractéristique intrinsèque, tandis que le poids est une caractéristique extrinsèque, en fonction des champs gravitationnels générés par d'autres objets. Les expériences avec le pendule sont décrites en détail dans le Livre III, Proposition 6, où Newton déclare : « Tous les corps gravitent vers chacune des planètes et, à n'importe quelle distance donnée du centre d'une planète, le poids de tout corps, quelle que soit la planète, est proportionnel à la quantité de la matière que contient le corps »⁴, puis décrit ses expériences.⁵

Newton affirme, en contradiction avec la vision cartésienne, que chacune des propriétés universelles et essentielles de la matière - à savoir l'extension, la mobilité, la dureté, l'impénétrabilité et la masse - n'est connue « que par les sens ». Mais de son affirmation selon laquelle les propriétés de la matière ne sont connues que « par des expériences », il s'ensuit que Newton n'accepte pas une vision naïve-empirique, mais plutôt une double conception sophistiquée de l'épistémologie de la matière,⁶ niant la vision cartésienne selon laquelle nous ne pouvons déterminer les propriétés universelles de la matière que *a priori* ou uniquement par la raison, et en faisant valoir que des expériences conceptuellement guidées en théorie physique sont nécessaires pour déterminer les propriétés de la matière: « Cette [masse] peut toujours être connue à partir du poids d'un corps, car - en faisant des expériences très précises avec des

¹ Isaac Newton, « *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, III Ed. », *Science* 177, n° 4046 (1726): 749, <https://doi.org/10.1126/science.177.4046.340>.

² L. D. Landau et E. M. Lifshitz, *Fluid Mechanics: Volume 6*, 2 édition (Amsterdam u.a: Butterworth-Heinemann, 1987), 31-36, 168-79.

³ Newton, « *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, III Ed. », 701, 806-9.

⁴ Newton, 806.

⁵ Newton, 806-7.

⁶ Andrew Janiak, *Newton as Philosopher* (Cambridge University Press, 2010).

pendules - nous avons constaté qu'il est proportionnel au poids. »⁷ Le concept de matière de Newton impliquait un rejet fondamental de la philosophie mécaniste. Les expériences avec le pendule sont également décrites dans la Proposition 24 du Livre 2, dans les Corollaires cinq et sept.

Dans les expériences avec le pendule, comparant le nombre d'oscillations des billes du pendule solide et du pendule vide, Newton a essayé de déterminer comment un éther qui agit non seulement à la surface d'un corps mais aussi sur ses parties internes, affecte ces pendules. C'est ainsi que Newton a fini par croire qu'il n'y avait pas d'éther et il a favorisé l'idée, dans la Préface de *Principia*, de l'universalité de la gravité.⁸

Pour discuter des effets qui distinguent le mouvement absolu du mouvement relatif, Newton utilise l'expérience de pensée de « **seau d'eau** » décrite dans un paragraphe sur « les effets qui distinguent le mouvement absolu du mouvement relatif ». Newton déclare ici que « le mouvement circulaire vrai et absolu de l'eau ... peut être mesuré par ce test. »⁹ Accrochez un seau d'eau avec une corde et tournez le seau dans une direction ; puis laissez la corde récupérer. Le seau tourne maintenant et la surface de l'eau sera initialement plate, mais par rapport au seau, il tourne. En frottant avec le seau rotatif, l'eau commence progressivement à tourner également, équilibrant éventuellement la vitesse du seau de sorte que le mouvement vers le seau atteigne progressivement zéro. Mais, à mesure que la rotation relative de l'eau par rapport au seau diminue, « son effort pour se retirer de l'axe de mouvement » augmente en conséquence. Newton observe que l'accélération (par exemple, la rotation) est détectable empiriquement par la présence d'effets inertiels, même en l'absence de changement dans les relations d'objet. Newton soutient également, contrairement à Descartes, que nous ne pouvons pas comprendre le véritable mouvement de l'eau dans le seau comme un changement dans la relation entre l'eau et le corps environnant (dans ce cas, le seau). La relation entre l'eau et le seau reste la même, malgré le fait que l'eau ait un réel mouvement, comme l'indique la présence d'effets inertiels. Le véritable mouvement d'un corps ne peut donc pas être compris en termes de changements dans ses relations avec d'autres objets. L'espace absolu nous permet de capturer ce qui est le vrai mouvement, selon Newton.¹⁰

Pour Newton, il semble que la force centrifuge soit le critère et la mesure de la rotation absolue. Il définit la rotation absolue comme produisant un tel effet, critiquant la définition de Descartes du « mouvement au sens philosophique » comme un mouvement d'un corps par rapport aux corps voisins. L'expérience montre que l'effet dynamique est indépendant du mouvement relatif entre l'eau et le seau.¹¹ Newton démontre enfin que, parce qu'elle dépend de forces physiques

⁷ Newton, « *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, III Ed. », 404.

⁸ Newton, 382-83.

⁹ Isaac Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, II Ed., 1713, 21, <https://www.e-rara.ch/zut/338618>.

¹⁰ Janiak, *Newton as Philosopher*.

¹¹ Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, II Ed., 21.

identifiables, sa définition peut être appliquée de manière cohérente même en l'absence des corps de référence observables, car si deux corps reliés par un cordon sont seuls dans un univers par ailleurs vide, la tension sur câble offre toujours un critère et une mesure de la quantité de véritable mouvement circulaire.¹²

Une autre expérience de pensée newtonienne a impliqué **deux corps reliés par une corde**,¹³ qui tournent autour de leur centre de poids commun, en l'absence d'autres corps pouvant influencer leurs mouvements. « L'effort de retrait de l'axe de mouvement pourrait être connu à partir de la tension du cordon, et donc la quantité de mouvement circulaire pourrait être calculée. » Respectivement, la rotation absolue d'un corps est non seulement indépendante de sa rotation par rapport aux corps contigus, mais est indépendante de toute rotation relative.

Selon Ernst Mach, deux cents ans après Newton, si Newton négligeait les corps voisins, il référerait tous les mouvements à des « étoiles fixes ». Mais si nous pouvons déduire des lois de Newton comment les corps se comporteront en l'absence d'étoiles fixes, nous ne pouvons pas déduire si, dans ces circonstances, ils resteront de toute façon valables. Pour Einstein, sous l'influence de Mach, l'argument de Newton illustre le « défaut épistémologique » inhérent à la physique newtonienne.¹⁴

Dans les Propositions 26-29, Livre 3, du *Principia* de 1687,¹⁵ Newton a développé un traitement spécial de l'influence de la force gravitationnelle du Soleil sur le **mouvement de la Lune** autour de la Terre. Tycho Brahe avait découvert une variation bimestrielle de la vitesse lunaire après la disparition d'une éclipse lunaire attendue. Remarquablement, Newton n'a pas pris en compte le mouvement réel de la Lune, qui est connu pour être approximé par le modèle d'Horrocks d'une ellipse de précession avec la Terre dans une seule foyer. Il a considéré un modèle idéalisé dans lequel la Lune tourne en orbite circulaire autour de la Terre en l'absence de perturbation solaire. Il a calculé le changement d'orbite dû à cette perturbation et a obtenu des résultats qui étaient conformes à l'observation de Brahe. Ce fut l'un des grands triomphes de la théorie gravitationnelle de Newton, développée par Euler¹⁶ et G. Hill¹⁷.

La théorie de Newton a eu le plus grand succès lorsqu'elle a été utilisée pour prédire l'existence de **Neptune** basée sur les mouvements d'Uranus, ce qui ne pouvait pas être expliqué par les

¹² Newton, 22.

¹³ I. Bernard Cohen et George E. Smith, *The Cambridge Companion to Newton* (Cambridge University Press, 2006), 44.

¹⁴ Cohen et Smith, *The Cambridge Companion to Newton*.

¹⁵ Isaac Newton, « *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, I Ed. », The British Library, 1687, <https://www.bl.uk/collection-items/newtons-principia-mathematica>.

¹⁶ Leonhard Euler, *Sol et Luna I: Opera Mechanica Et Astronomica Vol 23*, éd. par Otto Fleckenstein, 1956 edition (Basileae: Birkhäuser, 1956), 286–289.

¹⁷ G. W. Hill, « The Collected Mathematical Works of G. W. Hill », *Nature* 75, n° 1936 (décembre 1906): 284–335, <https://doi.org/10.1038/075123a0>.

actions d'autres planètes. Les calculs de John Couch Adams et Urbain Le Verrier ont prédit la position générale de la planète, et les calculs de Le Verrier ont conduit Johann Gottfried Galle à la découverte de Neptune.¹⁸

La théorie de la gravité de Newton est meilleure que la théorie de Descartes parce que la théorie de Descartes a été réfutée (avérée fausse) pour expliquer le mouvement des planètes. La théorie de Newton a été à son tour réfutée par le périhélie anormal de Mercure. Même si les ellipses képlériennes rejetaient la théorie cartésienne du tourbillonnement, seule la théorie de Newton nous obligeait à la rejeter ; et même si le périhélie de Mercure a rejeté la gravité newtonienne, seule la théorie d'Einstein nous a fait la rejeter. Un refus indique simplement l'urgence de réviser la théorie actuelle, mais ce n'est pas une raison suffisante pour éliminer la théorie.

Tests des théories post-newtoniennes

Habituellement, le « laboratoire » des tests gravitationnels était les corps célestes, les systèmes astrophysiques. Mais ces tests sont perturbés par des effets non gravitationnels. Le « laboratoire » le plus utilisé était le système solaire. Récemment, les scientifiques se sont concentrés sur l'observation des pulsars binaires pour la vérification des théories gravitationnelles, en observant les variations de la période orbitale, fournissant ainsi des preuves indirectes de l'émission de rayonnement gravitationnel.

Mais l'expérimentateur ne peut pas « organiser le laboratoire » selon ses besoins, ni déclencher certains événements quand il en a besoin. Mais le développement technologique actuel commence à permettre de pures expériences de laboratoire. Ainsi, des détecteurs résonants (oscillateurs harmoniques) avec des niveaux de dissipation très faibles ont été atteints. Dans ces tests de laboratoire, un type d'expériences est celui pour vérifier les effets gravitationnels post-newtoniens. A cet effet, une masse de dimensions de laboratoire est déplacée (par rotation ou vibration) de manière à produire à son voisinage un « champ gravitationnel post-newtonien » (champs gravitationnels de type newtonien produits par l'énergie cinétique ou de pression). Le mouvement de la masse est modulé de sorte que le signal post-newtonien souhaité entraîne de manière résonnante les oscillations du détecteur et l'expérimentateur surveille les changements entraînant le mouvement du détecteur.¹⁹

Grâce à ces expériences, seuls certains types d'effets post-newtoniens peuvent être examinés. Certains effets post-newtoniens (tels que les effets gravitationnels non linéaires) sont complètement négligeables. Mais il est possible de vérifier les influences gravitationnelles de la vitesse et de la pression. Dans ces expériences post-newtoniennes, on tente d'éliminer le «

¹⁸ John Couch Adams, « On the Perturbations of Uranus (1841-1846). | StJohns », 1846, 265, <https://www.joh.cam.ac.uk/w16-manuscripts-john-couch-adams-perturbations-uranus-1841-1846>.

¹⁹ Carlton Morris Caves, « Theoretical investigations of experimental gravitation » (phd, California Institute of Technology, 1979), <http://resolver.caltech.edu/CaltechTHESIS:03152016-161054898>.

bruit newtonien », les effets de champ gravitationnel newtonien de la source de laboratoire qui sont beaucoup plus importants que les effets post-newtoniens les plus importants.

Anomalies de la gravité newtoniennes

La loi de gravité de Newton est suffisamment précise pour des raisons pratiques. Les écarts sont faibles lorsque les grandeurs dimensionnelles $\varphi/c^2 \ll 1$ et $(v/c)^2 \ll 1$, où φ est le potentiel gravitationnel, v est la vitesse des objets étudiés et c est la vitesse de la lumière.²⁰ Sinon, la relativité générale doit être utilisée pour décrire le système. La loi de gravité de Newton est la limite gravitationnelle de la relativité générale dans les conditions spécifiées ci-dessus.

En ce qui concerne la loi de Newton, il existe toujours des préoccupations théoriques actuelles : il n'y a toujours pas de consensus concernant la médiation de l'interaction gravitationnelle (qu'il y ait ou non action à distance). De plus, la théorie de Newton implique une propagation instantanée de l'interaction gravitationnelle, sinon une instabilité des orbites planétaires apparaîtrait.

La théorie de Newton ne pouvait pas expliquer la précession exacte de l'orbite des planètes, en particulier pour Mercure, qui a été détectée longtemps après la mort de Newton.²¹ La différence de 43 secondes d'arc par siècle ressort des observations des autres planètes et de la précession observée avec les télescopes avancés au XIXe siècle.

La déviation angulaire des rayons lumineux due à la gravité, calculée selon la théorie de Newton, est la moitié de la déviation observée par les astronomes. La relativité générale prédit des valeurs beaucoup plus proches des valeurs d'observation.

Dans les galaxies spirales, l'orbite des étoiles autour de leur centre ne semble pas exactement respecter la loi de gravité universelle de Newton. Les astrophysiciens ont introduit quelques hypothèses *ad hoc* pour concilier ce phénomène avec les lois de Newton, en supposant l'existence de grandes quantités de matière noire.

Newton lui-même n'était pas à l'aise avec le concept d'« action à distance » que ses équations impliquaient. En 1692, dans sa troisième lettre à Bentley, il écrivait : « Un corps qui peut agir sur un autre à distance, dans le vide, sans médiation, par et à travers lequel leur action et leur force peuvent être transmises les unes après les autres, c'est une telle absurdité pour moi que, je

²⁰ Charles W. Misner, Kip S. Thorne, et John Archibald Wheeler, *Gravitation* (W. H. Freeman, 1973), 1049.

²¹ Max Born, *Einstein's Theory of Relativity*, Revised edition edition (New York: Dover Publications Inc., 1962), 348.

pense, aucun homme doté d'une capacité philosophique de pensée compétente ne pourrait y croire. »^{22 23}

Newton n'a pas réussi à émettre une théorie phénoménologique, à confirmer expérimentalement, sur la façon dont agit la gravité, bien qu'il ait suggéré deux hypothèses mécaniques en 1675 et 1717. Dans le Scholium général de la deuxième édition du *Principia* de 1713, il a dit : « Je n'ai pas encore pu découvrir la cause des phénomènes de ces propriétés de gravité et je ne devine pas d'hypothèses ... Il suffit que la gravité existe vraiment et qu'elle agisse selon les lois que j'ai expliquées et qu'elle contribue pleinement à expliquer tous les mouvements des corps céleste ». ²⁴

²² I. Bernard Cohen, « Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents », *Philosophy of Science* 27, n° 2 (1960): 209–211.

²³ Nicolae Sfetcu, *Isaac Newton despre acțiunea la distanță în gravitație - Cu sau fără Dumnezeu?* (MultiMedia Publishing, 2018), <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.24577.97122>.

²⁴ Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica, II Ed.*

Point de saturation de la gravité newtonienne

À la fin du 20^e siècle et au début du 21^e siècle, les contradictions entre la mécanique newtonienne et l'électrodynamique de Maxwell (entre l'invariance galiléenne et l'idée de la vitesse constante de la lumière) sont devenues évidentes. Une solution initialement proposée était le concept de l'éther. Einstein a rejeté cette solution, interprétant les théories de Newton et Maxwell comme si fondamentales, chacune avec son modèle rival, que la seule solution était le développement d'une nouvelle théorie unificatrice, avec un autre noyau dur et une heuristique positive spécifique : la relativité restreinte.

Nicholas Maxwell²⁵ discute six écarts dans la mécanique newtonienne mis en évidence par Einstein²⁶ (qui pourraient être appelés anomalies dans le programme de Lakatos), à savoir :

1. L'arbitraire des référentiels inertiels et le concept d'espace absolu
2. Deux lois fondamentales distinctes, (a) la loi du mouvement ($F = ma$) et (b) l'expression de la force gravitationnelle ($F = Gm_1m_2/d^2$)
3. L'arbitraire de (b) étant donné (a), il existe un nombre infini de possibilités aussi bonnes pour (b)
4. La possibilité que la loi de la force soit déterminée par la structure de l'espace et l'incapacité d'exploiter cette possibilité
5. Le caractère ad hoc de l'égalité de la masse inertielle avec celle gravitationnelle ; et
6. La nature non naturelle de l'énergie divisée en deux formes, cinétique et potentielle.

Einstein explique pourquoi les tentatives de résolution d'anomalies par des hypothèses *ad-hoc* échouent, et conclut : « En conséquence, la révolution amorcée par l'introduction du champ n'a pas été achevée. Puis, au début du siècle, une deuxième crise fondamentale s'est produite... », la crise générée par les débuts de la théorie quantique, la première étant le dualisme particules/champs en physique classique.²⁷

De plus, le programme classique de Lorentz était progressif jusqu'en 1905 - l'année où Einstein publia sa théorie de la relativité restreinte.

²⁵ Nicholas Maxwell, « The Need for a Revolution in the Philosophy of Science », *Journal for General Philosophy of Science* 33, n° 2 (1 décembre 2002): 381-408, <https://doi.org/10.1023/A:1022480009733>.

²⁶ Albert Einstein, « Autobiographische Skizze », in *Helle Zeit — Dunkle Zeit: In memoriam Albert Einstein*, éd. par Carl Seelig (Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 1956), 27-31, https://doi.org/10.1007/978-3-322-84225-1_2.

²⁷ Einstein, 27-31.

Nugayev affirme que le programme de recherche soutenu par Einstein était beaucoup plus large, comprenant la relativité, la théorie quantique et la mécanique statistique, pour l'unification de la mécanique et de l'électrodynamique.²⁸

La plupart des explications de la victoire d'Einstein sur les recherches de Lorentz se réfèrent à l'expérience de Michelson-Morley.²⁹ Elie Zahar³⁰, basé sur la méthodologie de Lakatos³¹, déclare que les théories d'éther de Lorentz et les théories spéciales et générales d'Einstein de la relativité ont été développées dans différents programmes concurrents. Selon Zahar, le programme de Lorentz n'a été remplacé par le programme de relativité d'Einstein qu'en 1915 en expliquant la précession du périhélie de Mercure. Ce n'est qu'avec le développement de la relativité générale le programme d'Einstein a prédit des observations qui ne pouvaient pas être dérivées de celles de Lorentz.³²

Nugayev, argumentant contre l'extension par Zahar de la méthodologie de Lakatos, a eu l'intention d'expliquer le succès du programme de recherche d'Einstein sur Lorentz par une extension différente de la méthodologie de Lakatos, y compris les différentes proposées par moi. Ainsi, pour deux théories différentes essayant d'expliquer les mêmes données expérimentales, le processus d'application conjointe des deux théories pour résoudre un problème sera appelé « croix », tandis qu'elles seront appelées « théories croisées ». L'ensemble des énoncés décrivant les relations entre les croisements sera appelé « théorie croisée ». ³³ Nugayev aborde également l'idée d'une théorie que j'ai appelée « unificatrice » lorsque les théories traversent des « contradictions croisées ». Nugayev appelle la nouvelle théorie « globale ». Selon lui, il y aurait deux façons logiques d'élaborer la théorie globale : « réductionniste » et « synthétique ».

Nugayev déclare que les noyaux durs de Lakatos sont obtenus par convention. Je ne suis pas d'accord avec lui ici. Le noyau dur est établi par l'initiateur du programme de recherche qui établit également la stratégie de développement du programme en fonction de l'heuristique négative. Le noyau dur est ce qu'il veut rester inébranlable, étant absolument convaincu qu'il a

²⁸ R. M. Nugayev, « The History of Quantum Mechanics as a Decisive Argument Favoring Einstein Over Lorentz », *Philosophy of Science* 52, n° 1 (1985): 44–63.

²⁹ Gerald Holton, « Einstein, Michelson, and the “Crucial” Experiment », *Isis: A Journal of the History of Science* 60 (1969): 132-97.

³⁰ Elie Zahar, « Why Did Einstein's Programme Supersede Lorentz's? (II) », *British Journal for the Philosophy of Science* 24, n° 3 (1973): 223–262.

³¹ Imre Lakatos, *The Methodology of Scientific Research Programmes: Volume 1: Philosophical Papers* (Cambridge University Press, 1980).

³² Nugayev, « The History of Quantum Mechanics as a Decisive Argument Favoring Einstein Over Lorentz ».

³³ Nugayev.

raison. Quand il changera le noyau dur, il abandonnera pratiquement ce programme de recherche et commencera un autre programme.

Bibliographie

- Adams, John Couch. « On the Perturbations of Uranus (1841-1846). | StJohns », 1846. <https://www.joh.cam.ac.uk/w16-manuscripts-john-couch-adams-perturbations-uranus-1841-1846>.
- Born, Max. *Einstein's Theory of Relativity*. Revised edition edition. New York: Dover Publications Inc., 1962.
- Caves, Carlton Morris. « Theoretical investigations of experimental gravitation ». Phd, California Institute of Technology, 1979. <http://resolver.caltech.edu/CaltechTHESIS:03152016-161054898>.
- Cohen, I. Bernard. « Isaac Newton's Papers & Letters on Natural Philosophy and Related Documents ». *Philosophy of Science* 27, n° 2 (1960): 209–211.
- Cohen, I. Bernard, et George E. Smith. *The Cambridge Companion to Newton*. Cambridge University Press, 2006.
- Einstein, Albert. « Autobiographische Skizze ». In *Helle Zeit — Dunkle Zeit: In memoriam Albert Einstein*, édité par Carl Seelig, 9-17. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 1956. https://doi.org/10.1007/978-3-322-84225-1_2.
- Euler, Leonhard. *Sol et Luna I: Opera Mechanica Et Astronomica Vol 23*. Édité par Otto Fleckenstein. 1956 edition. Basileae: Birkhäuser, 1956.
- Hill, G. W. « The Collected Mathematical Works of G. W. Hill ». *Nature* 75, n° 1936 (décembre 1906): 123. <https://doi.org/10.1038/075123a0>.
- Holton, Gerald. « Einstein, Michelson, and the “Crucial” Experiment ». *Isis: A Journal of the History of Science* 60 (1969): 132–197.
- Janiak, Andrew. *Newton as Philosopher*. Cambridge University Press, 2010.
- Lakatos, Imre. *The Methodology of Scientific Research Programmes: Volume 1: Philosophical Papers*. Cambridge University Press, 1980.
- Landau, L. D., et E. M. Lifshitz. *Fluid Mechanics: Volume 6*. 2 edition. Amsterdam u.a: Butterworth-Heinemann, 1987.
- Maxwell, Nicholas. « The Need for a Revolution in the Philosophy of Science ». *Journal for General Philosophy of Science* 33, n° 2 (1 décembre 2002): 381-408. <https://doi.org/10.1023/A:1022480009733>.
- Misner, Charles W., Kip S. Thorne, et John Archibald Wheeler. *Gravitation*. W. H. Freeman, 1973.
- Newton, Isaac. « Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica, I Ed. » The British Library, 1687. <https://www.bl.uk/collection-items/newtons-principia-mathematica>.
- . *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica, II Ed.*, 1713. <https://www.e-rara.ch/zut/338618>.
- . « Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica, III Ed. » *Science* 177, n° 4046 (1726): 340-42. <https://doi.org/10.1126/science.177.4046.340>.
- Nugayev, R. M. « The History of Quantum Mechanics as a Decisive Argument Favoring Einstein Over Lorentz ». *Philosophy of Science* 52, n° 1 (1985): 44–63.
- Sfetcu, Nicolae. *Isaac Newton despre acțiunea la distanță în gravitație - Cu sau fără Dumnezeu?* MultiMedia Publishing, 2018. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.24577.97122>.
- Zahar, Elie. « Why Did Einstein's Programme Supersede Lorentz's? (II) ». *British Journal for the Philosophy of Science* 24, n° 3 (1973): 223–262.