

Ontologia virusului: lucru, ființă, proces, sau informație?

Nicolae Sfetcu

06.10.2020

Sfetcu, Nicolae, " *Ontologia virusului: lucru, ființă, proces, sau informație?*", SetThings (6 octombrie 2020), DOI: 10.13140/RG.2.2.31276.49284, URL = <https://www.telework.ro/ro/ontologia-virusului-lucru-fiinta-proces-sau-informatie/>

Email: nicolae@sfetcu.com



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

Abstract

Studiul virușilor ridică întrebări conceptuale și filozofice presante despre natura lor, clasificarea lor, și locul lor în lumea biologică. Un set major de probleme se referă la individualitatea și identitatea diacronică a unui virus: ce anume este virusul, particula virală (virionul) sau întregul ciclu viral? Identificarea corectă a virusului are consecințe ontologice semnificative, legate și de locul și momentul în care încep și se termină entitățile biologice.

Studiul virușilor ridică întrebări conceptuale și filozofice presante despre natura lor, clasificarea lor, (O'Malley 2014, 45–94) (Mayr 1953) și locul lor în lumea biologică.

Un set major de probleme se referă la individualitatea și identitatea diacronică a unui virus: ce anume este virusul, particula virală (virionul) sau întregul ciclu viral? Identificarea corectă a virusului are consecințe ontologice semnificative, legate și de locul și momentul în care încep și se termină entitățile biologice. (Bouchard și Huneman 2013)

Teza metafizică principală consideră că lumea este compusă din lucruri sau substanțe, cu lucrurile identificate prin proprietățile lor. Dar Dupre și Guttinger (J. Dupré și Guttinger 2016) consideră că simbioza larg răspândită amenință claritatea granițelor dintre organisme și chiar unicitatea acestor limite. Natura integrată și limitele difuze dintre organisme a condus la afirmații că "relatările metafizice tradiționale (bazate pe substanțe) ale individualității ar trebui înlocuite cu o ontologie de proces, ca singura „filozofie a organismului” care poate da sens fenomenelor biologice așa cum le cunoaștem acum." (Dupré și Guttinger 2016) (Henning și Scarfe 2013)

Dupre și Guttinger fac o afirmație ontologică, conform căreia sistemele biologice sunt procese. În acest context, ei contestă viziunea că virușii sunt entități distincte care își urmează propria agendă intrinsecă (și patogenă), pe baza a două argumente: sistemele simbiotice pot include viruși, și virușii trebuie priviți ca procese. (Dupré și Guttinger 2016) Ei susțin că virușii sunt elemente vitale și omniprezente ale fluxului mai mare de procese interconectate care alcătuiesc sistemele biologice.

Simbionții microbieni implicați în modularea dezvoltării și joacă un rol central în dezvoltarea și homeostazia sistemului imunitar, (Spasova și Surh 2014) cu conectarea la sistemul nervos central, (Bravo et al. 2012) au contribuit la o reconsiderare filosofică majoră a conceptului de individ biologic. Microbiomul uman ar consta nu din pasageri, ci din părți ale unui individ

integrat, organismul însuși în starea sa stabilă dovedindu-se a fi un produs al unei nenumărate interacțiuni între gazdă și microbi. Astfel, virușii oferă servicii sistemelor biologice, unele chiar vitale. Virușii sunt o parte integrantă a sistemului, mai degrabă decât niște paraziți, ținuti suficient sub control pentru a permite funcționarea sistemului. (Wylie, Weinstock, și Storch 2012) Practic, viromul răspunde treptat și într-un mod sistematic la modificările dietei. (Minot et al. 2011) sugerând un răspuns funcțional pozitiv la schimbările de mediu.

Virușiiucid celulele în care se reproduc și își mențin propriile cicluri de viață, dar se consideră posibil ca această ucidere a celulelor să fie funcțională pentru sistemul mai mare din care face parte și virusul. Rezultă o relație ecologică stabilă între viruși și gazdele lor, benefică pentru sistem ca întreg, inclusiv în reglarea morfologiei și funcției intestinului și în modelarea sistemului imunitar.

Retrovirușii au un genom de ARN monocatenar care este transcris invers după infecție în ADN dublu catenar și introdus în genomul gazdă. După inserție, ADN-ul viral este tratat de gazdă ca propriul ADN, ceea ce înseamnă că este transcris și reprodus împreună cu restul genomului gazdei. (Dupré și Guttinger 2016) În unele cazuri, retrovirușii ajung în genomul gazdei și se pot transforma în ceea ce este cunoscut sub numele de retroviruși endogeni. Se estimează că până la 8% din genomul uman constă de fapt din retroviruși endogeni, (Griffiths 2001) rezultând că proporții semnificative de ADN din organismele eucariote au intrat inițial în linia celulară prin intermediul unui virus.

Este posibil ca viromul să funcționeze ca un depozit vast de resurse genetice. (Minot et al. 2011) Astfel, genomul uman în sine poate fi gândit ca o bază de date sau o bibliotecă de resurse care pot fi utilizate în mai multe moduri de către celulă. (Noble 2006) Se poate specula de aici că ”abilitatea microbilor, în special microbiomul nostru simbiotic, de a recruta resurse genetice din

mediul biotic poate fi un mod mult mai eficient de a răspunde contingențelor de mediu decât evoluția prin variație și selecție genetică aleatorie.” (Dupré și Guttinger 2016)

Având în vedere această interconectare strânsă între viruși și gazdele lor, pare plauzibil că virușii din sistemele complexe multi-organice sunt părți funcționale vitale ale întregului, putând juca roluri esențiale în eliminarea celulelor dăunătoare, în medierea transferului de resurse genetice, în dezvoltarea gazdelor lor și supraviețuirea acestora în condiții dificile. (Dupré și Guttinger 2016)

Întrebarea dacă virușii sunt vii a fost pusă în mod repetat de-a lungul istoriei cercetărilor virologice. Răspunsul este dificil, și s-a schimbat în timp. (Smith și Szathmáry 2000) O problemă conexă este în ce măsură virușii ar putea fi considerați ca organisme (în ideea că toate organismele sunt ființe vii, dar nu toate ființele vii sunt organisme). Mulți biologi consideră că virușii nu sunt organisme, care implică un grad foarte ridicat de organizare funcțională și cooperare, cu interacțiuni puternice între părți. (Huneman 2006)

Alți biologi consideră că discriminarea dintre ființe vii și lucruri nu se potrivește cazului specific al virușilor: răspunsul ar depinde de concepțiile preexistente despre „viață”. În plus, întrebarea ce fac virușii este cel puțin la fel de importantă ca întrebarea despre ceea ce sunt (adică starea lor vie sau non-vie). (Pradeu, Kostyrka, și Dupré 2016)

Koonin și Starokadomsky (Koonin și Starokadomskyy 2016) definesc statutul virușilor printre entitățile biologice în paradigma replicatorului. Toți replicatorii biologici formează un continuum de-a lungul axei egoism-cooperativitate, de la formele complet egoiste la cele pe deplin cooperante. În acest context, toate organismele sunt comunități de replicatori care interacționează, co-evoluând, din diferite clase.

Conform lui Lewis și alții, există o a treia stare, caracteristică celulelor latente (cu activitatea metabolică redusă și capabile să reia creșterea și divizarea în funcție de condițiile externe), care nu este nici cu adevărat „vie”, nici inanimată. (Lewis 2010)

În general, un organism mort intră încă în categoria vieții. Cu toate acestea, când vine vorba de viruși, aceste aspecte diferite ale vieții sunt încurcate și sunt de obicei discutate în comun. Într-adevăr, virușii pot fi priviți ca ne aparținând categoriei ființelor vii, deoarece sunt incapabili de reproducere autonomă, iar virionii extracelulari se află într-o stare latentă (inertă).

Koonin și Starokadomsky susțin că este întotdeauna posibil să spunem dacă o anumită entitate aparține tărâmului biologiei, în cadrul unui concept fundamental denumit ”paradigma replicatorului”. (Koonin și Starokadomsky 2016) Replicatorii formează un continuum de-a lungul axei autonomiei. Singura caracteristică universală împărtășită de toți replicatorii este prezența unui semnal care permite autonomia replicativă. (Kristensen et al. 2013) O dimensiune ortogonală a universului replicator implică strategiile de reproducere (sau stiluri de viață), de la egoism complet (asociat cu parazitism) până la cooperare deplină. (Joh și Weitz 2011)

Tranzițiile de la un tip de replicatori la altul au avut loc în numeroase ocazii în cursul evoluției, dar nu există dovezi ale tranzițiilor evolutive între celule și viruși. (Koonin și Starokadomsky 2016) Nici despre originea elementelor egoiste din „genele evadate” (care devin replicatoare autonome, egoiste) ale formelor de viață celulare. Majoritatea genele virale esențiale (genele marcante virale) nu au omologi apropiați între genele formelor de viață celulare, fiind probabil originare într-un fond de gene primordial, pre-celular. (Koonin și Dolja 2013)

Stabilitatea și inactivitatea virionului oferă sprijin intuitiv afirmației comune că virușii nu sunt ființe vii. Singurul lucru care este constant pe parcursul ciclului viral este genomul viral. Dupre și Guttinger consideră că, prin urmare, virusul ar trebui pur și simplu identificat cu

materialul său genetic Dar identificarea virusului cu ceva mai mic decât un ciclu va duce la eșec. Episomul sau virionul este doar o parte din ceea ce face virusul. ”Ceea ce contează nu este molecula ADN în sine, ci ceea ce face (sau poate face) într-un anumit context”, . (Dupré și Guttinger 2016) precum invadarea celulelor și replicarea, mai degrabă decât a avea o anumită proprietate intrinsecă. Astfel, un retrovirus endogen este un virus doar atât timp cât menține capacitatea de a contribui la un proces viral. Dacă trăiește într-un genom gazdă este imaterial. Iar în cazul latenței virale ca episom, ar trebui să fie considerat viral.

Lopez-Garcia și alții consideră că virușii nu pot fi considerați vii din cauza incapacității lor de a se reproduce fără o gazdă celulară. (Lopez-Garcia 2012)

Percepția comună este că dezinfectanțiiucid majoritatea tipurilor de viruși. Logica de aici este simplă: nu poți ucide ceva care nu este viu. La fel, dacă ceva poate fi îmbolnăvit și în cele din urmă moare, cu siguranță este viu. (Pearson 2008) Raoult și Forterre clasifică virusurile drept una dintre cele două categorii fundamentale. de organisme (care codifică capsidul, spre deosebire de organismele care codifică ribozomii, adică formele de viață celulare), cu implicația evidentă că virușii sunt ființe vii. (Raoult și Forterre 2008)

Sistemele vii sunt constituite de interacțiuni complexe între elementele care formează linii de mai multe tipuri diferite. Aceste elemente includ virușii. Dupré și O'Malley au susținut că motivele standard pentru a nega faptul că virușii sunt în viață sunt greșite: majoritatea criteriilor implicate, precum criteriul autonomiei (faptul că virușii necesită resurse esențiale de la celula gazdă pentru reproducere) i-ar exclude din categoria celor vii. (J. O. Dupré 2009) Dar, mergând pe aceste considerente, noi înșine depindem în mod vital de o multitudine de organisme simbiotice, astfel încât pe acest criteriu nici noi nu am fi în viață. (Dupré și Guttinger 2016)

Mai degrabă decât să se considere un set de caracteristici care califică ceva ca un virus, ar trebui să ținem cont de activitățile care constituie ciclul de viață viral. Deci, ar trebui să vedem virușii mai degrabă ca procese decât ca lucruri. (Dupré și Guttinger 2016) Dar perspectiva procesului implică dificultăți conceptuale.

Dacă adoptăm perspectiva unei ontologii de proces, putem înțelege fuziunea și separarea constantă, deoarece procesele se pot uni într-un singur proces și chiar își pot menține identitatea.

Colaborarea între virus și gazdă nu este o simplă interacțiune, ci o interacțiune de colaborare între procese. Virusul în sine nu poate fi înțeles decât dacă este descris ca un ciclu.

Această perspectivă centrată pe proces oferă o înțelegere foarte diferită a activității și funcției în sistemele biologice față de doar interacțiunea lucrurilor individuale discrete, evolutivă. Dupré și Guttinger este că, cel puțin virionii, nu sunt cu siguranță viețuitoare, ci sunt etape ale proceselor vii. (Dupré și Guttinger 2016)

Nicholas Rescher introduce o viziune a proceselor ca fiind definite de o unitate funcțională; există o „structură programatică” care caracterizează și unifică un proces. (Rescher 1996) Activitățile interconectate care formează o unitate funcțională sunt cheia înțelegerii proceselor: „Un proces este transformat în element, nu prin proprietățile sale continue („esențiale”), ca și în cazul unei substanțe concepute clasic, ci prin istoria sa, prin structura temporală a desfășurării sale descriptive în timp. Identitatea unui proces se constituie printr-un model secvențial de acțiune [...]”. (Rescher 1996, 41)

Cine reprezintă o trăsătură fundamentală a lumii, devenirea sau ființa? Într-o perspectivă substanțială, ființa este de obicei privită ca fundamentală, activitatea decurgând din ființă. Pentru un ontolog de proces, devenirea este văzută ca trăsătura fundamentală a lumii, conform căreia un

„lucru” stabil este de fapt un proces (lent). (Guttinger 2020b, 3) Conform lui Dan Nicholson și John Dupré în introducerea colecției de eseuri *Everything Flows*:

”Ca procese, spre deosebire de lucruri sau substanțe, organismele trebuie să fie supuse unei schimbări constante pentru a continua să fie entitățile care sunt.” (Nicholson și Dupré 2018)

Ceea ce ar contrazice o viziune de proces este că stabilitatea reprezintă o trăsătură fundamentală a lumii. Astfel, o ontologie a proceselor ar trebui să explice cum apar aceste tipare stabile. (Guttinger 2020, 3)

Stephan Guttinger consideră populația virală din cadrul unui organism reprezintă un sistem extrem de divers și, important, dinamic, formând ceea ce cercetătorii numesc „nor mutant” sau „roi”. Prin interacțiunile dintre membrii norului și între nor și contextul său mai larg, virusul obține noi caracteristici comportamental, răspunzând rapid la schimbările de mediu, inclusiv evitarea medicamentelor antivirale sau a mecanismelor de apărare celulară. Astfel, diversitatea virusului este, cel puțin parțial, definită de sistemele mai mari în care se dezvoltă și se mișcă norul. (Guttinger 2020a, 1)

Acest concept îi determină pe cercetători spre noi abordări în tratamentele antivirale, căutând modalități de a interfera cu dinamica norului mutant. Rezultă necesitatea trecerii de la o viziune de lucruri la o înțelegere bazată pe proces a virusurilor, cu o viziune mai relațională și mai dinamică

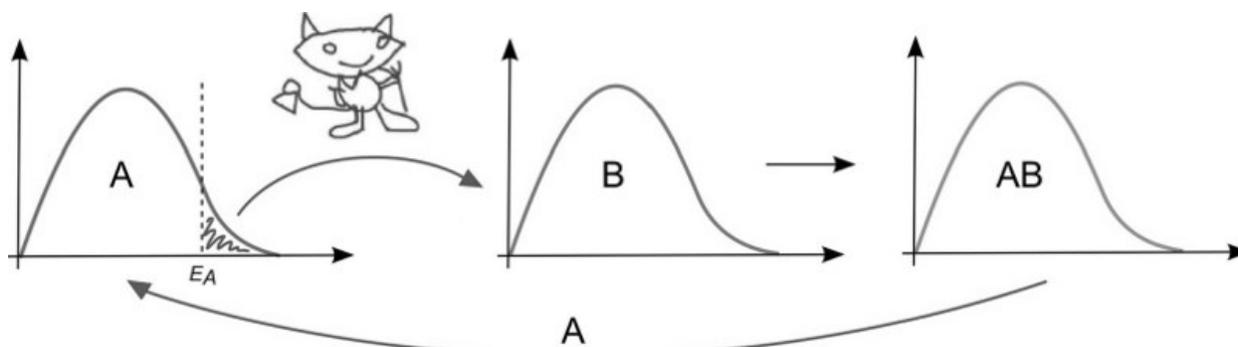
În timpul unui ciclu viral, virusul original este complet distrus și doar informațiile asociate sunt transmise generației următoare. Acest lucru este diferit pentru organismele celulare, care trebuie să transmită o parte fizică a lor din generație în generație. Ipoteza informațiilor virale afirmă că informațiile genetice se reproduc în detrimentul eficienței energetice a sistemului. Conform acestei ipoteze, virusii sunt singurele entități biologice care se reproduc pur și simplu ca informație. Când un virus intră în gazda sa, virionul se dezassemblează complet și acidul nucleic este copiat în

noi genomi, care sunt apoi ambalați și eliberați ca noi virioni. Fizic, nu mai există nimic din forma originală a virionului. ”Nicio singură moleculă, atom sau cuarc nu trebuie transferat între vechi și nou. Singurul lucru care trebuie mutat între generațiile virale este informația pentru a construi următorul set de viruși”. (Rohwer și Barott 2013)

Conform lui Forest Rohwer și Katie Barott, în *Viral information*, ipoteza informațiilor virale susține că:

1. Informațiile fizice se referă la poziția în Univers.
2. Biologia creează informații fizice prin schimbarea poziției materiei, funcționând efectiv ca Demon al lui Maxwell.
3. Informațiile virale convertesc diferite tipuri de informații fizice în sine în detrimentul eficienței energetice generale.
4. Distrugerea informațiilor fizice are un cost termodinamic, care este cuantificat prin principiul lui Landauer. Populațiile extrem de mari, cum ar fi virușii, experimentează selecția la limita Landauer și acest lucru este observabil. (Rohwer și Barott 2013)

Dinamica virușilor este incredibilă. (Weinbauer 2004) În fiecare săptămână 10^{31} de viruși se destramă și apar 10^{31} viruși noi. Practic $1,7 \times 10^{25}$ de viruși noi sunt produși în fiecare secundă, și pentru fiecare virus nou trebuie sintetizate aproximativ 50.000 de perechi de baze de ADN (Steward, Montiel, și Azam 2000) Rezultă că în fiecare secundă mai mult de 10^{30} de perechi de baze de ADN viral sunt realizate, implicând moartea a aproximativ 10^{24} celule microbiene în fiecare secundă.



Ilustrația Demonului lui Maxwell și principiul lui Landauer. Demonul / enzima alege selectiv molecule „A” cu suficientă energie pentru a reacționa cu reactantul „B”, ceea ce duce la produsul „AB”. Acest proces răcește ușor populația „A”. Această pierdere de căldură este readusă în sistem de Universul înconjurător. În timpul degradării / ștergerii „AB”, „A” revine în populația sa și această căldură poate fi măsurată folosind metode precum calorimetria izotermă. Sursa: (Rohwer și Barott 2013)

În sensul comunicării, informația este o măsură a „puterii de surprindere”. (Tribus 1961)

Cu cât este mai mare surpriza, cu atât aflăm mai multe informații. Consecința termodinamică a informațiilor fizice a fost definită matematic de Rolf Landauer. (Landauer 1996) Căldura eliberată prin ștergerea informațiilor fizice poate fi imaginată cel mai bine invocând Demonul lui Maxwell. Demonul este o creatură ipotetică care poate culege moleculele „fierbinți” dintr-un recipient și le poate muta în altul. Acest lucru creează o diferență de temperatură care ar putea fi transformată în lucru mecanic. Demonul câștigă de fapt informații despre poziția relativă a moleculelor. (Szilard 1929)

Rohwer și Barott propun ca biologia să se comporte ca Demonul lui Maxwell. Informațiile genetice sunt setul de instrucțiuni pentru construirea Demonului lui Maxwell. Aceste noi informații au un cost termodinamic atunci când sunt șterse, și cantitatea de căldură degajată prin distrugerea informațiilor este descrisă și de Principiul Landauer. (Toyabe et al. 2010) Ar trebui astfel să fie posibil să se observe legătura dintre informațiile fizice și termodinamică și să se folosească pentru a înțelege mai bine biologia și, în special, succesul virușilor. (Rohwer și Barott 2013)

Pentru a dovedi că informațiile virale sunt reale, Djamali și colegii săi au folosit calorimetrie izotermă pentru a studia căldura eliberată de comunitățile microbiene și virale marine.

(Djamali et al. 2012) Scăderea numărului de celule, împreună cu creșterea diversității, seamănă foarte mult cu informațiile virale. (Rohwer și Barott 2013)

Costurile energetice suplimentare ale informațiilor fizice asociate cu o mutație ar putea explica de ce se observă secvențe virale identice la scară globală. Rohwer și Barott concluzionează că imaginarea biosferei ca un sistem masiv care alimentează în cele din urmă virușii, explicând astfel de ce diversitatea biologică este dominată de viruși. Ipoteza informațiilor virale are potențialul de a sintetiza ecologia și teoria evoluției prin încorporarea virușilor cu restul biologiei într-un cadru termodinamic.)

Granițele dintre viruși și entitățile conexe nu sunt ușor de definit. O clasă foarte importantă de entitate înrudită, plasmidele, sunt în general considerate a fi diferențiate de viruși prin lipsa lor de capsidă, constând din ADN gol. Dar, după virușii nu au capsidă în toate etapele ciclurilor lor de viață, putându-se atașa la un genom eucariot gazdă sub forma unui episo, diferența dintre un episomul viral și plasmidă fiind destul de neclară. Dupre și Guttinger concluzionează de aici că acestea sunt părți ale proceselor care diferă la diferite etape ale ciclurilor lor de viață.

Pentru a afla ce este de fapt un virus, o ontologie a substanței are puțin de oferit. Punctul de vedere al substanței își asumă esențialismul și/sau individualismul, dar niciunul dintre ele nu se potrivește bine cu imaginea interconectată a lumii biologice pe care științele naturale o creionează. (Dupré și Guttinger 2016)

Koonin și Starokadomsky concluzionează că statutul virușilor în domeniul biologiei este definit în mod natural în cadrul paradigmei replicatorului. (Koonin și Starokadomsky 2016) Întreaga istorie a vieții este o poveste a coevoluției parazit-gazdă care include atât lupta între ei cât și diverse forme de cooperare. Astfel, paradigma replicatorului oferă cadrul conceptual pentru studiul teoretic și experimental al interacțiunilor din comunitatea replicatorilor.

Complementaritatea replicării și a metabolismului (definită pe larg pentru a include producția de energie) este manifestarea biologică a dualismului informației (entropie) și energiei, după cum explică Schroedinger. (Schrodinger, Schrödinger, și Dinger 1992) Dar și aici apare o dilemă: replicarea sau metabolismul mai întâi? Sunt posibile abordări diferite. În concluzie, paradigma replicatorului este considerată centrală în biologie, ajutând la stabilirea statutului virușilor din lumea biologică.

Bibliografie

- Bouchard, F, și P Huneman. 2013. „From Groups to Individuals | The MIT Press”. The MIT Press. 2013. <https://mitpress.mit.edu/books/groups-individuals>.
- Bravo, Javier A., Marcela Julio-Pieper, Paul Forsythe, Wolfgang Kunze, Timothy G. Dinan, John Bienenstock, și John F. Cryan. 2012. „Communication between Gastrointestinal Bacteria and the Nervous System”. *Current Opinion in Pharmacology* 12 (6): 667–72. <https://doi.org/10.1016/j.coph.2012.09.010>.
- Djamali, Essmail, James Nulton, Peter Turner, Forest Rohwer, și Peter Salamon. 2012. „Heat output by marine microbial and viral communities”. *Journal of Non Equilibrium Thermodynamics* 37 (septembrie): 291–313. <https://doi.org/10.1515/jnetdy-2011-0235>.
- Dupré, John, și S. Guttinger. 2016. „Viruses as Living Processes”, martie. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2016.02.010>.
- Dupré, John; O'Malley. 2009. „Varieties of Living Things: Life at the Intersection of Lineage and Metabolism”. *Philosophy & Theory in Biology* 1 (decembrie). <http://dx.doi.org/10.3998/ptb.6959004.0001.003>.
- Griffiths, David J. 2001. „Endogenous retroviruses in the human genome sequence”. *Genome Biology* 2 (6): reviews1017.1. <https://doi.org/10.1186/gb-2001-2-6-reviews1017>.
- Guttinger, Stephan. 2020a. „A Virus Is Not a Thing, Part 1: The Case for a Process View of Viruses”. *Philosophy, Logic and Scientific Method* (blog). 6 iulie 2020. <https://www.lse.ac.uk/philosophy/blog/2020/07/06/a-virus-is-not-a-thing-1/>.
- . 2020b. „A Virus Is Not a Thing, Part 3: What Virology Can Tell Us about Philosophy”. *Philosophy, Logic and Scientific Method* (blog). 25 august 2020. <https://www.lse.ac.uk/philosophy/blog/2020/08/25/a-virus-is-not-a-thing-3/>.
- Henning, Brian G., și Adam Scarfe. 2013. *Beyond Mechanism: Putting Life Back Into Biology*. Lexington Books.
- Huneman, Philippe. 2006. „Naturalising Purpose: From Comparative Anatomy to the ‘Adventure of Reason’”. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 37 (4): 649–674. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2006.09.004>.
- Joh, Richard I., și Joshua S. Weitz. 2011. „To Lyse or Not to Lyse: Transient-Mediated Stochastic Fate Determination in Cells Infected by Bacteriophages”. *PLOS Computational Biology* 7 (3): e1002006. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1002006>.
- Koonin, Eugene V., și Valerian V. Dolja. 2013. „A Virocentric Perspective on the Evolution of Life”. *Current Opinion in Virology* 3 (5): 546. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2013.06.008>.
- Koonin, Eugene V., și Petro Starokadomskyy. 2016. „Are Viruses Alive? The Replicator Paradigm Sheds Decisive Light on an Old but Misguided Question”. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 59 (octombrie): 125–34. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2016.02.016>.
- Kristensen, David M., Alison S. Waller, Takuji Yamada, Peer Bork, Arcady R. Mushegian, și Eugene V. Koonin. 2013. „Orthologous Gene Clusters and Taxon Signature Genes for Viruses of Prokaryotes”. *Journal of Bacteriology* 195 (5): 941–50. <https://doi.org/10.1128/JB.01801-12>.
- Landauer, Rolf. 1996. „The Physical Nature of Information”. *Physics Letters A* 217 (4): 188–93. [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(96\)00453-7](https://doi.org/10.1016/0375-9601(96)00453-7).

- Lewis, Kim. 2010. „Persister Cells”. *Annual Review of Microbiology* 64 (1): 357–72. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.112408.134306>.
- Lopez-Garcia, Purificacion. 2012. „The Place of Viruses in Biology in Light of the Metabolism-versus-replication-first Debate”. *History and philosophy of the life sciences* 34 (ianuarie): 391–406.
- Mayr, E. 1953. „Concepts of Classification and Nomenclature in Higher Organisms and Microorganisms”. *Annals of the New York Academy of Sciences* 56 (3): 391–97. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1953.tb30229.x>.
- Minot, Samuel, Rohini Sinha, Jun Chen, Hongzhe Li, Sue A. Keilbaugh, Gary D. Wu, James D. Lewis, și Frederic D. Bushman. 2011. „The Human Gut Virome: Inter-Individual Variation and Dynamic Response to Diet”. *Genome Research* 21 (10): 1616–25. <https://doi.org/10.1101/gr.122705.111>.
- Nicholson, Daniel J., și John Dupré, ed. 2018. *Everything Flows: Towards a Processual Philosophy of Biology*. OUP Oxford.
- Noble, Denis. 2006. *The Music of Life: Biology beyond the Genome*. Illustrated Edition. Oxford ; New York: OUP Oxford.
- O'Malley, Maureen. 2014. *Philosophy of Microbiology*. Cambridge University Press.
- Pearson, Helen. 2008. „«Virophage» Suggests Viruses Are Alive”. *Nature* 454 (7205): 677–677. <https://doi.org/10.1038/454677a>.
- Pradeu, Thomas, Gladys Kostyrka, și John Dupré. 2016. „Understanding Viruses: Philosophical Investigations”. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 59 (octombrie): 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2016.02.008>.
- Raoult, Didier, și Patrick Forterre. 2008. „Redefining Viruses: Lessons from Mimivirus”. *Nature Reviews. Microbiology* 6 (4): 315–19. <https://doi.org/10.1038/nrmicro1858>.
- Rescher, Nicholas. 1996. *Process Metaphysics: An Introduction to Process Philosophy*. F Second Printing Used Edition. Albany: State University of New York Press.
- Rohwer, Forest, și Katie Barott. 2013. „Viral information”. *Biology & Philosophy* 28 (2): 283–97. <https://doi.org/10.1007/s10539-012-9344-0>.
- Schrodinger, Roger, Erwin Schrödinger, și Erwin Schr Dinger. 1992. *What Is Life?: With Mind and Matter and Autobiographical Sketches*. Cambridge University Press.
- Smith, John Maynard, și Eörs Szathmáry. 2000. *The Origins of Life: From the Birth of Life to the Origin of Language*. Oxford: Oxford University Press.
- Spasova, Darina S., și Charles D. Surh. 2014. „Blowing on Embers: Commensal Microbiota and Our Immune System”. *Frontiers in Immunology* 5 (iulie). <https://doi.org/10.3389/fimmu.2014.00318>.
- Steward, Grieg F., Janine L. Montiel, și Farooq Azam. 2000. „Genome Size Distributions Indicate Variability and Similarities among Marine Viral Assemblages from Diverse Environments”. *Limnology and Oceanography* 45 (8): 1697–1706. <https://doi.org/10.4319/lo.2000.45.8.1697>.
- Szilard, L. 1929. „über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen”. *Zeitschrift für Physik* 53 (11): 840–56. <https://doi.org/10.1007/BF01341281>.
- Toyabe, Shoichi, Takahiro Sagawa, Masahito Ueda, Eiro Muneyuki, și Masaki Sano. 2010. „Experimental Demonstration of Information-to-Energy Conversion and Validation of the

- Generalized Jarzynski Equality”. *Nature Physics* 6 (12): 988–92. <https://doi.org/10.1038/nphys1821>.
- Tribus, Myron. 1961. *Thermostatistics and Thermodynamics*. 1st Edition. Van Nostrand Reinhold.
- Weinbauer, Markus G. 2004. „Ecology of Prokaryotic Viruses”. *FEMS Microbiology Reviews* 28 (2): 127–81. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2003.08.001>.
- Wylie, Kristine M., George M. Weinstock, și Gregory A. Storch. 2012. „Emerging View of the Human Virome”. *Translational Research: The Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 160 (4): 283–90. <https://doi.org/10.1016/j.trsl.2012.03.006>.