

Reanaliza drzewkowa kanałów prawdopodobieństwa Feynmana w turbince Smoluchowskiego

Grzegorz M. Koczan

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

W 1912 roku Smoluchowski opublikował artykuł [1] analizujący mechanizm zapadkowy z wirnikiem, dalej zwany turbinką (Smoluchowskiego), który potencjalnie mógłby pozyskiwać energię mechaniczną bezpośrednio z termicznego ruchu molekuł. W toku analizy Smoluchowski zasugerował, że efektywne działanie turbinki jest wątpliwe, ze względu na to, że ruchy Browna zasilające wirnik turbinki będą również zaburzać pracę zapadki turbinki.

Dokładnie pół wieku później, w roku 1962, Feynman (laureat nagrody Nobla w 1965 roku) w wykładach na Caltechu postanowił rachunkowo dowieść hipotezie Smoluchowskiego. Zgodnie z przyjmowanym większościowo *status quo* zamierzony cel osiągnął, a dowód został opublikowany w jednym z tomów jego słynnych wykładów [2]. Feynman wykazywał, że turbinka Smoluchowskiego bez różnicy temperatur nie może efektywnie działać, zaś przy różnicy temperatur zapadki i gazu nie może osiągać sprawności większej od sprawności silnika Carnota.

Nauka i fizyka muszą być jednak powtarzalne – należy je weryfikować i falsyfikować, nie tylko eksperymentalnie, ale także teoretycznie. Dotychczasowe prace teoretyczne, nawet jeśli krytyczne względem analizy Feynmana [3, 4], zasadniczo prowadzą do zgodnych z rozumowaniem Feynmana wniosków o nieefektywności turbinki w stałej temperaturze. Analogiczne konkluzje wynikają z zastosowania równania Fokkera–Plancka [5, 6]. W pracach eksperymentalnych sytuacja jest nieco inna, gdyż jeśli nawet uzyskuje się jakiś pozytywny wynik, to albo nie odpowiada on warunkom turbinki molekularnej [7], albo wyniki są reinterpretowane w ten sposób, że nie ma żadnych kontrowersji z drugą zasadą termodynamiki.

Na plakacie postanowiono szczegółowo przeanalizować i przeinterpretować dowód Feynmana dla turbinki Smoluchowskiego. Ponieważ dowód opierał się na prawdopodobieństwach, to rozrysowano możliwe warianty drzewek dla tych prawdopodobieństw. Drzewka prawdopodobieństwa w klarowny i wyczerpujący sposób przedstawiają różne scenariusze pracy turbinki Smoluchowskiego – podobnie jak diagramy Feynmana obrazujące amplitudy prawdopodobieństw różnych kanałów kreacji i anihilacji lub oddziaływań w elektrodynamice kwantowej.

Autor plakatu był w pewnym stopniu przygotowany do podjęcia analizy działania turbinki Smoluchowskiego w kontekście drugiej zasady termodynamiki, ze względu na dwie własne publikacje dotyczące podstaw i sformułowań tej zasady [8, 9]. Oprócz tego autor na webinarium Entropy podjął temat możliwości budowy rzeczywistego makroskopowego silnika Carnota [10].

- [1] **Smoluchowski M. (1912)**, “Experimentell nachweisbare, der Ublichen Thermodynamik widersprechende Molekularphenomene (Zjawiska molekularne, które można zweryfikować eksperymentalnie i które przeczą konwencjonalnej termodynamice)”, *Physikalische Zeitschrift* (XIII, str.1069–1080) XXII, str. 226–251
- [2] **Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M. (1968)**, “Feynmana wykłady z fizyki” Tom 1, cz. 2: “Optyka, Termodynamika, Fale”, Rozdział 46: “Mechanizm zapadkowy”, PWN
- [3] **Parrondo J. M. R., Español P. (1996)**, “Criticism of Feynman’s analysis of the ratchet as an engine”, *American Journal of Physics* 64(9), 1125–1130, <https://doi.org/10.1119/1.18393>
- [4] **Abbott D., Davis B. R., Parrondo J. M. R. (2000)**, “The problem of detailed balance for the Feynman–Smoluchowski Engine (FSE) and the Multiple Pawl Paradox”, *American Institute of Physics Conf. Proc.* 511, 213–218 (*Unsolved Problems of Noise and Fluctuations*), <https://doi.org/10.1063/1.59977>
- [5] **Pesz K., Gabryś B. J., Stanisław Bartkiewicz S. J. (2002)**, “Analytical solution for the Feynman ratchet”, *Physical Review E* 66, 061103:1–7, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.66.061103>
- [6] **Vincze G., Szigeti G. P., Andras Szasz A. (2018)**, “On the Feynman Ratchet and the Brownian Motor”, *Open Journal of Biophysics* 8, str. 22–30, <https://doi.org/10.4236/ojbiphy.2018.81003>
- [7] **Eshuis P., Weele K., Lohse D., Meer D. (2010)**, “Experimental Realization of a Rotational Ratchet in a Granular Gas”, *Physical Review Letters* 104, 248001:1–4, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.104.248001>
- [8] **Koczan G. M. (2022)**, “Proof of Equivalence of Carnot Principle to II Law of Thermodynamics and Non-Equivalence to Clausius I and Kelvin Principles”, *Entropy* 24(3), 392, <https://doi.org/10.3390/e24030392>
- [9] **Koczan G. M., Zivieri, R. (2024)**, “Revisions of the Phenomenological and Statistical Statements of the Second Law of Thermodynamics”, *Entropy* 26(12), 1122, <https://doi.org/10.3390/e26121122>
- [10] **Koczan G. M. (2025)**, “Does the Second Principle of Thermodynamics Prohibit an Real Carnot Engine?”, Entropy Webinar on 30 May: Trends in the Second Law of Thermodynamics, DOI: 10.13140/RG.2.2.32096.60163, <https://www.researchgate.net/publication/392231619>
<https://sciforum.net/event/Entropy-4?subscribe§ion>

Diagrammatic reanalysis of Feynman probability channels in the Smoluchowski ratchet

Grzegorz M. Koczan
Warsaw University of Life Sciences

In 1912, Smoluchowski published a paper [1] analysing a pawl mechanism with a rotor, here called the (Smoluchowski) ratchet, which could potentially extract mechanical energy directly from the thermal motion of molecules. During the analysis, Smoluchowski suggested that the ratchet's effective operation was questionable, due to the fact that the Brownian motion powering the ratchet's rotor would also disturb the pawl's operation.

Exactly half a century later, in 1962, Feynman (the 1965 Nobel laureate) set out to prove Smoluchowski's conjecture computationally in lectures at Caltech. In line with the generally rather accepted *status quo*, he achieved his goal, and his proof was published in one of the volumes of his famous lectures [2]. Feynman demonstrated that the Smoluchowski ratchet cannot operate efficiently without a temperature difference, and that with a temperature difference between the pawl and the gas, it cannot achieve an efficiency greater than that of the Carnot engine.

Science and physics, however, must be repeatable – they must be verified and falsified, not only experimentally but also theoretically. Theoretical work to date, even if critical of Feynman's analysis [3, 4], generally leads to conclusions consistent with Feynman's reasoning about the ineffectiveness of the ratchet at constant temperature. Analogous conclusions follow from the application of the Fokker–Planck equation [5, 6]. In experimental work, the situation is somewhat different, because even if a positive result is obtained, it either does not meet the conditions of the molecular ratchet [7], or the results are reinterpreted in such a way that there is no controversy with the second principle of thermodynamics.

The poster presented a detailed analysis and reinterpretation of Feynman's proof for the Smoluchowski ratchet. Since the proof relied on probabilities, possible variants of probability trees were drawn for these probabilities. These probability trees clearly and comprehensively represent various scenarios for the Smoluchowski ratchet's operation, similar to Feynman diagrams, which illustrate the probability amplitudes of various creation and annihilation channels or interactions in quantum electrodynamics.

The poster author was somewhat prepared to analyze the operation of the Smoluchowski ratchet in the context of the second principle of thermodynamics, due to two of own publications on the foundations and formulations of this rule [8, 9]. Furthermore, the author discussed the possibility of building a real macroscopic Carnot engine at the Entropy webinar [10].

- [1] **Smoluchowski M. (1912)**, “Experimentell nachweisbare, der Ublichen Thermodynamik widersprechende Molekularphenomene (Experimentally verifiable molecular phenomena that contradict conventional thermodynamics)”, *Physikalische Zeitschrift* (XIII, pp.1069–1080) XXII, pp. 226–251
- [2] **Feynman R. P., Leighton R. B., Sands M. (1963)**, “The Feynman Lectures on Physics” Vol. 1, Chapter 46: “Ratchet and pawl”, Addison-Wesley, Boston
- [3] **Parrondo J. M. R., Español P. (1996)**, “Criticism of Feynman’s analysis of the ratchet as an engine”, *American Journal of Physics* 64(9), 1125–1130, <https://doi.org/10.1119/1.18393>
- [4] **Abbott D., Davis B. R., Parrondo J. M. R. (2000)**, “The problem of detailed balance for the Feynman–Smoluchowski Engine (FSE) and the Multiple Pawl Paradox”, *American Institute of Physics Conf. Proc.* 511, 213–218 (*Unsolved Problems of Noise and Fluctuations*), <https://doi.org/10.1063/1.59977>
- [5] **Pesz K., Gabryś B. J., Stanisław Bartkiewicz S. J. (2002)**, “Analytical solution for the Feynman ratchet”, *Physical Review E* 66, 061103:1–7, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.66.061103>
- [6] **Vincze G., Szigeti G. P., Andras Szasz A. (2018)**, “On the Feynman Ratchet and the Brownian Motor”, *Open Journal of Biophysics* 8, str. 22–30, <https://doi.org/10.4236/ojbiphy.2018.81003>
- [7] **Eshuis P., Weele K., Lohse D., Meer D. (2010)**, “Experimental Realization of a Rotational Ratchet in a Granular Gas”, *Physical Review Letters* 104, 248001:1–4, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.104.248001>
- [8] **Koczan G. M. (2022)**, “Proof of Equivalence of Carnot Principle to II Law of Thermodynamics and Non-Equivalence to Clausius I and Kelvin Principles”, *Entropy* 24(3), 392, <https://doi.org/10.3390/e24030392>
- [9] **Koczan G. M., Zivieri, R. (2024)**, “Revisions of the Phenomenological and Statistical Statements of the Second Law of Thermodynamics”, *Entropy* 26(12), 1122, <https://doi.org/10.3390/e26121122>
- [10] **Koczan G. M. (2025)**, “Does the Second Principle of Thermodynamics Prohibit an Real Carnot Engine?”, Entropy Webinar on 30 May: Trends in the Second Law of Thermodynamics, DOI: 10.13140/RG.2.2.32096.60163, <https://www.researchgate.net/publication/392231619>
<https://sciforum.net/event/Entropy-4?subscribe§ion>