

OD ZAPADKI SMOLUCHOWSKIEGO DO SILNIKÓW BROWNOWSKICH

prowadzący: Bogdan Cichocki i Piotr Szymczak

Krzysztof Kwiatkowski Paweł Balawender

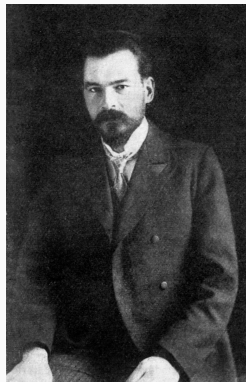
Warsztaty badawcze FUW 2018

RUCHY BROWNA - CZYM SĄ?

- Występują na poziomie mezoskopowym ($10nm - 10\mu m$).
- Obserwujemy je w zawiesinach.
- Są losowe i zygzakowate.
- Powstają na skutek fluktuacji częstości bombardowań cząstki.
- Ilość zderzeń na sekundę jest rzędu 10^{20} , a fluktuacje 10^{10} .
- Czas ruchu prostoliniowego jest rzędu $10^{-8}s$.

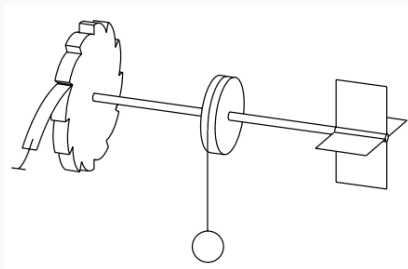
- 1827 - odkrycie przez Roberta Browna
- Jeden z największych problemów fizyki przez ponad 80 lat
- 1905 - publikacja Einsteina
- 1906 - publikacja Mariana Smoluchowskiego

Marian Smoluchowski



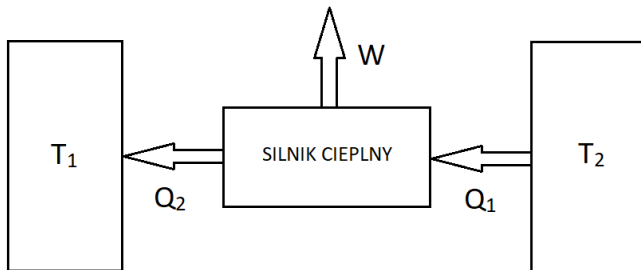
ZAPADKA SMOLUCHOWSKIEGO

Jest to mechanizm składający się z łopatek i mechanizmu zębatkowo-zapadkowego zaproponowany po raz pierwszy przez Smoluchowskiego. Urządzenie ma wykorzystywać fluktuacje bombardowania łopatek cząsteczkami ośrodka do wytworzenia pracy mechanicznej.



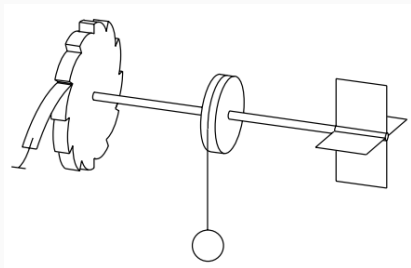
II ZASADA TERMODYNAMIKI

- Sformułowanie Kelvina: "Nie jest możliwy proces, którego jedynym skutkiem byłoby pobranie pewnej ilości ciepła ze zbiornika i zamiana go w równoważną ilość pracy."
- Oznacza to niemożliwość zbudowania perpetuum mobile drugiego rodzaju.



DLACZEGO NIE MOGLĄBY DZIAŁAĆ

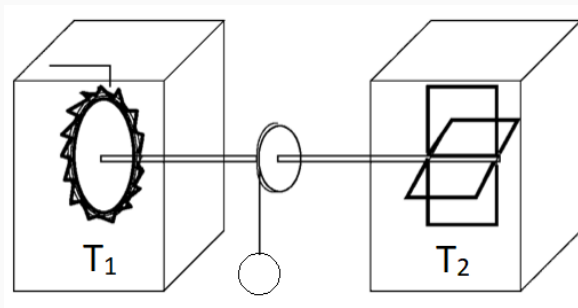
- Łamie II zasadę termodynamiki.
- Zapadka także podlega fluktuacjom.

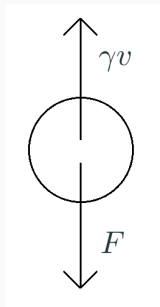


Co gdybyśmy spróbowali ograniczyć fluktuacje zapadki?

CZY JEDNAK DA SIĘ COŚ ZROBIĆ?

- Założmy dwa układy o temperaturach $T_1 < T_2$.
- Siła fluktuacji zależy od temperatury.
- Umieścmy zapadkę w T_1 , a łopatki w T_2 .
- Fluktuacje działające na zapadkę są słabsze niż na łopatki.



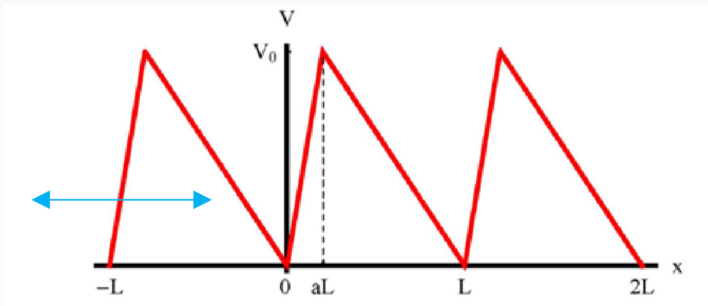


- W tym ruchu siła działająca na cząstkę $F = -\frac{dV}{dx}$ jest równoważona przez siłę oporu $-\gamma v$.
- Mamy więc związek $v = \frac{dx}{dt} = \frac{F}{\gamma}$.
- Prędkość cząstki jest zależna od siły, która na nią działa.

$$\Delta x = \frac{F}{\gamma} \Delta t + \alpha W(\Delta t)$$

- F - stała siła działająca na cząstkę
- $\alpha = \sqrt{\frac{2k_B T}{\gamma}}$ - natężenie szumu
- W - składowa losowa ($\langle W \rangle = 0$, ale $\langle W^2 \rangle = \Delta t$)

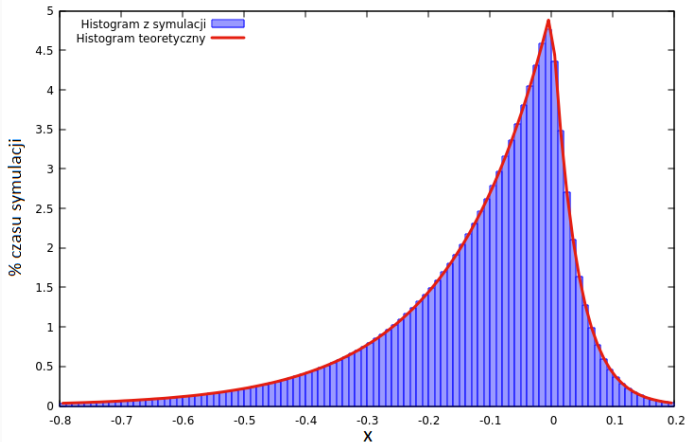
NASZE SYMULACJE - DEFINICJA UKŁADU



- a - parametr kontrolujący asymetrię potencjału
- V_0 - głębokość studni potencjału
- L - długość komórki periodycznej

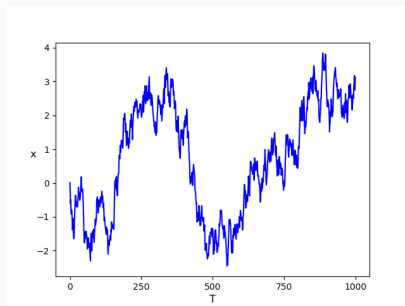
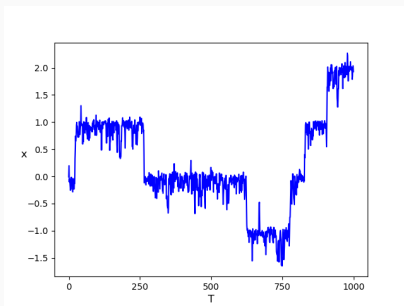
ROZKŁAD BOLTZMANN

$$P(x) \sim e^{\frac{-V(x)}{k_B T}}$$

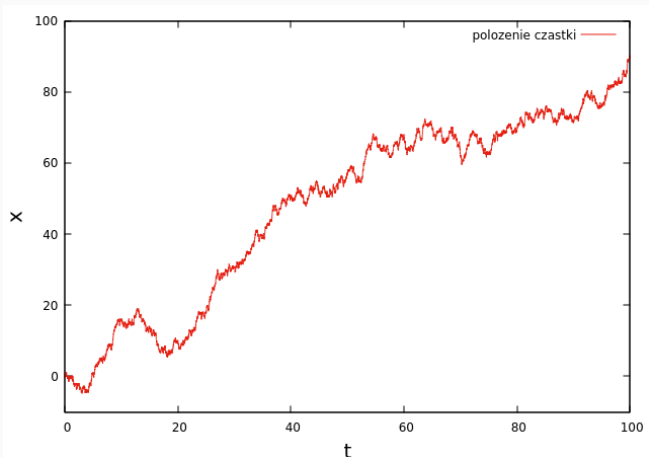


RUCH CZĄSTECZKI

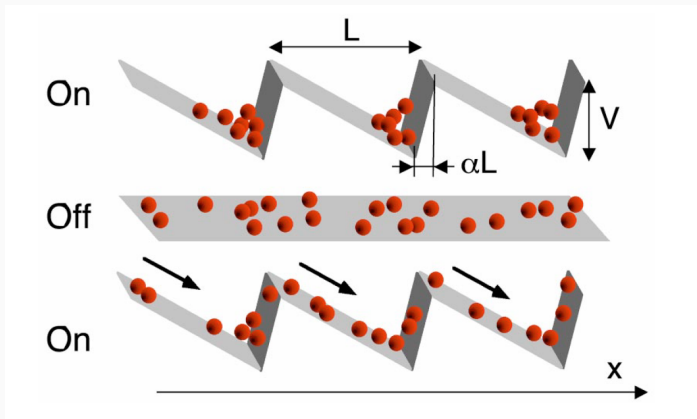
Z symulacji ruchu cząstki w układzie z asymetrycznym potencjałem i w zwykłym układzie bez potencjału uzyskamy kolejno dwa wykresy jej położenia:



PRZEŁĄCZANIE POTENCJAŁU



DŁACZEGO TAK SIĘ DZIEJE?

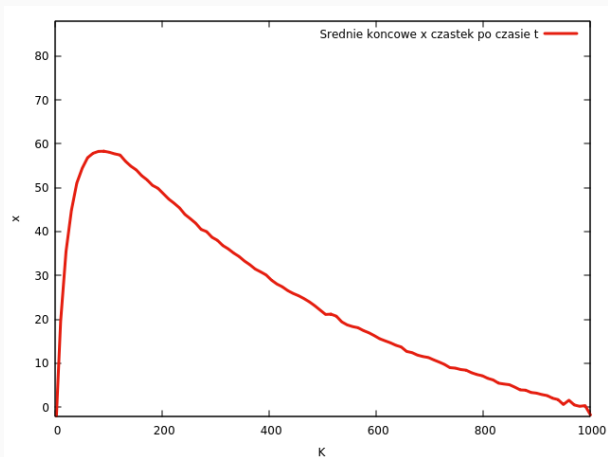


źródło: H Linke, M T Downto, M J Zuckermann 2005, Performance characteristics of Brownian motors, dostęp 7 czerwca 2018, <<https://www.researchgate.net/publication/7709238>>

ZALEŻNOŚĆ OD CZĘSTOŚCI

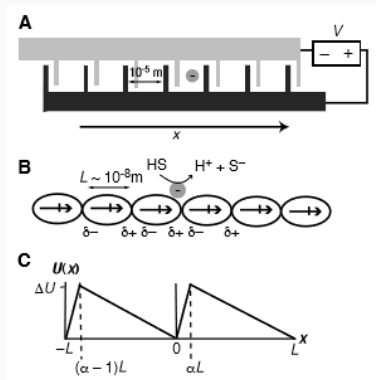
$$\frac{2k_B T}{x_1^2} < K < \frac{2k_B T}{x_2^2}$$

$$6,25 < K < 100$$



SILNIKI BROWNOWSKIE

To, co właśnie stworzyliśmy nazywamy silnikami brownowskimi. Podobne działają wewnątrz komórek w każdym z nas.



źródło: R. Dean Astumian, Thermodynamics and Kinetics of a Brownian Motor, Science Vol. 276, 1997, dostęp 7 czerwca 2018, <<http://science.sciencemag.org/content/276/5314/917>>