

Nierównowagowa termodynamika statystyczna w „doświadczeniach” numerycznych

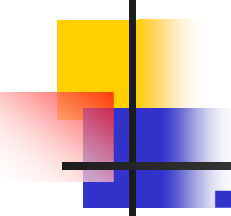
Mikroskopowa analiza zjawiska relaksacji temperaturowej

Monika Gall

*Zakład Dydaktyki Fizyki, Instytut Fizyki Doświadczalnej,
Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski*

Symposium IFD' 2004

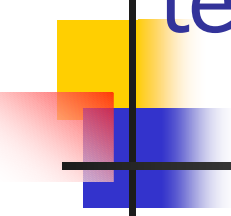
Warszawa, 3-4 grudzień 2004 r.



Bibliografia

- R. Kutner: *Susceptibility and transport coefficients in a transient state on a one-dimensional lattice I. Extended linear response and diffusion*, *Physica A*, 224 (1996) 558-588.
- A. Galant, R. Kutner, A. Majerowski: *Heat Transfer, Newton's Law of Cooling and the Law of Entropy Increase Simulated by the Real-Time Computer Experiment in Java*, *Lecture Notes in Computer Science* 2657 (2003) 45-53.
- M. Gall, R. Kutner, M. Maciejczyk, A. Majerowski, Cykl wieloodcinkowy pt.: *Entropia niejedno ma imię*, *FwSz*: 5 (2003) 23-30; 1 (2004) 15-19; 4 (2004) 86-91; 5 (2004) 17-21.
- A. Galant, M. Gall, R. Kutner, *Prawo wzrostu entropii*, w *Fizyka i astronomia* 3, Nowa Era, w druku (2004/2005).
- M. Gall, R. Kutner: *Molecular mechanisms of heat transfer: Debye relaxation versus power-law*, wysłane do druku (*Physica A*).
- J. Hurkała, M. Gall, R. Kutner, M. Maciejczyk: *Real-Time Numerical Simulation of the Carnot Engine within the Java Applet*, *Lecture Notes in Computer Science*, wysłane do druku.

Temperaturowa relaksacja układów termodynamicznych: modele mikroskopowe



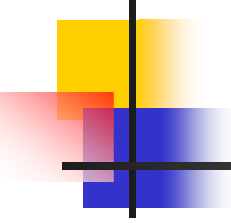
Przewodnictwo cieplne to jeden z najpowszechniej występujących nieodwracalnych procesów termodynamicznych

Relaksacja temperatur:

- debye'owska (wykładnicza)
- spowolniona (potęgowa)

Analizujemy ten proces na poziomie:

- dydaktycznym (np. wizualizacja w czasie rzeczywistym)
- badawczym (np. modele mikroskopowe)



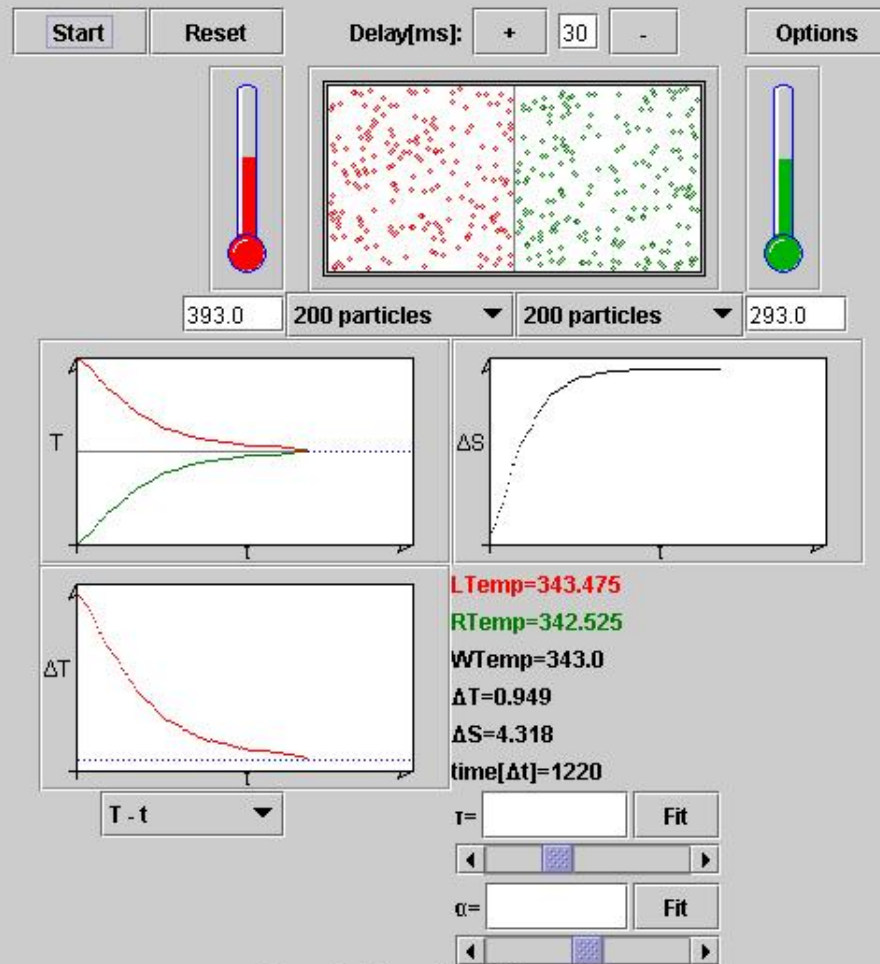
Zasadniczy cel

**Poszukujemy mikroskopowego modelu,
w oparciu o „doświadczenie” numeryczne,
odpowiedzialnego za relaksację temperatur:**

- **wykładniczą**
- **potęgową**

**Badamy rolę chaosu molekularnego
w relaksacji temperaturowej.**

„Doświadczenie” numeryczne (symulacja komputerowa)

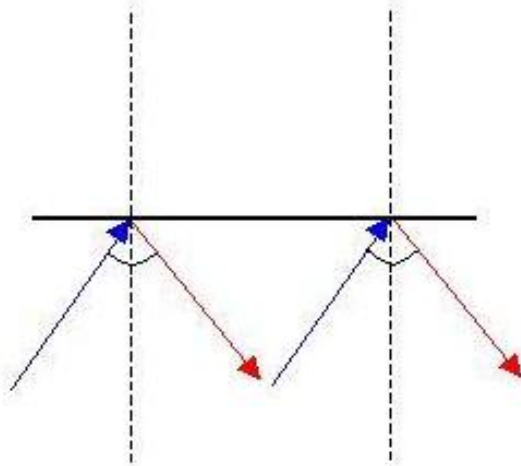


Paused... Press "Start" to continue.

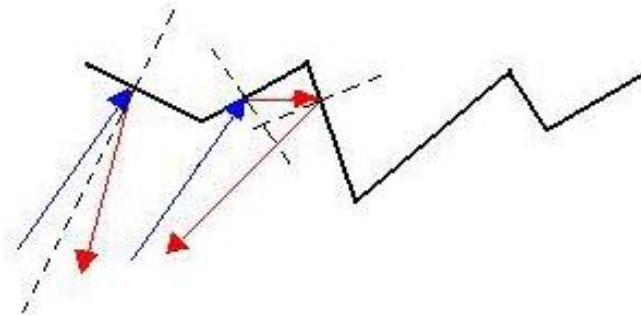
Założenia modelu

- Gaz doskonały (bardzo rozrzedzony)
- Atomy gazu oddziałują ze sobą tylko poprzez przegrodę diatermiczną
- Obowiązuje zasada ekwipartycji energii atomów oddziałujących z przegrodą diatermiczną
- Rozpatrujemy dwa rodzaje ścianek:

ŚCIANKA ZWIERCIADLANA

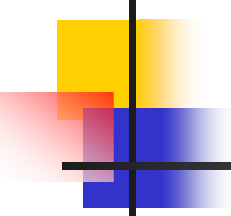


ŚCIANKA CHROPOWATA



- ▶ pęd cząstki przed odbiciem
- ▶ pęd cząstki po odbiciu

Pomiar funkcji relaksacji

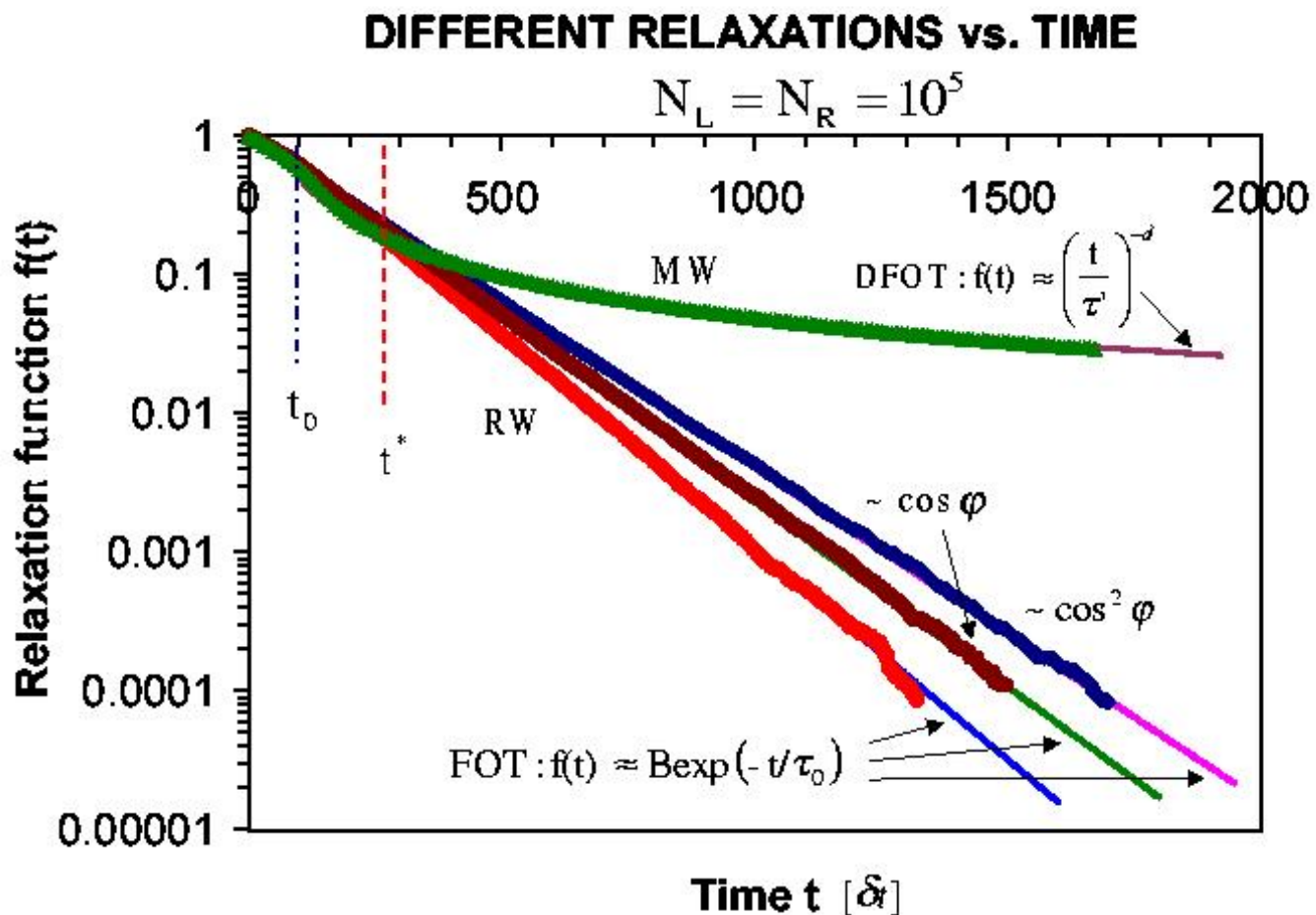

$$T^J(t) = T_{\infty} + (T_0^J - T_{\infty}) f(t), \quad J = L, P$$

$$f(t) = \frac{\Delta T(t)}{\Delta T(0)}$$

Funkcja relaksacji to zależna od czasu względna różnica temperatur

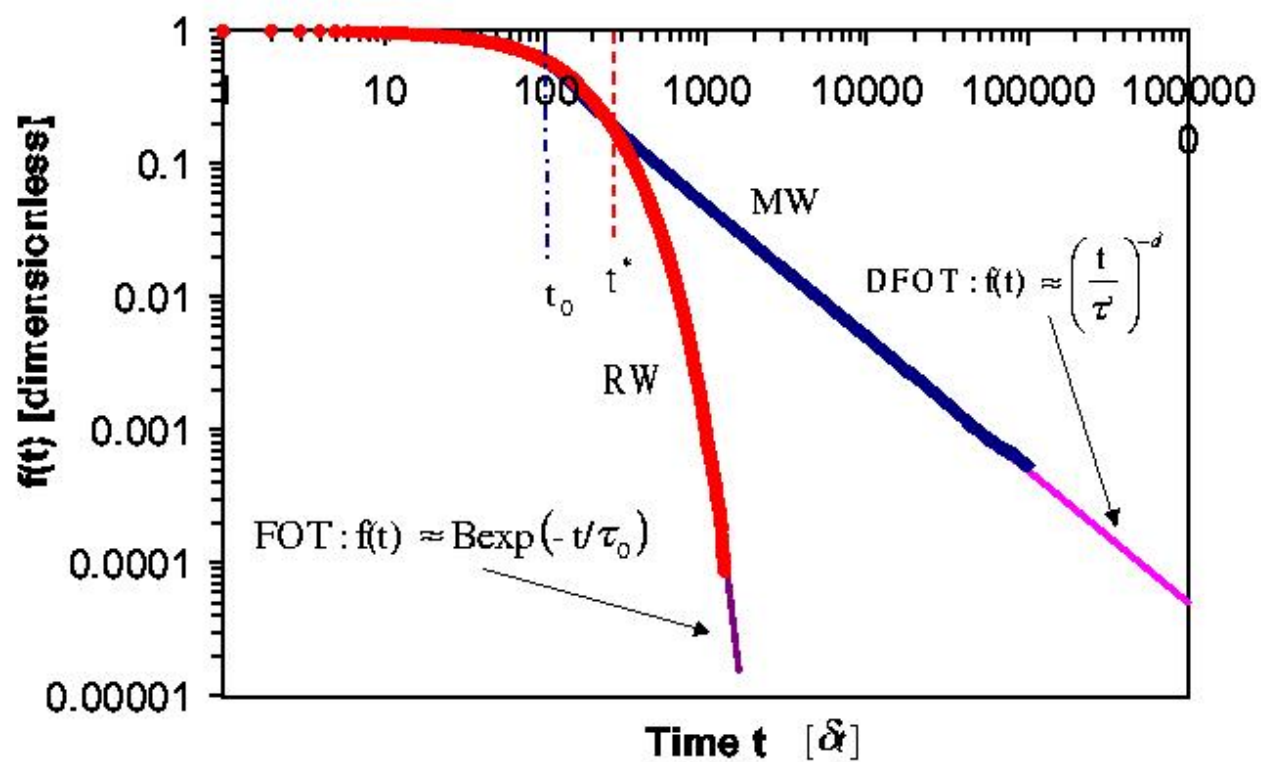
Za pomocą funkcji relaksacji wyznaczamy nie tylko relaksację temperatur, ale np. zależne od czasu entropie (częstkowe i całkowitą)

Porównanie wyników doświadczalnych i teoretycznych



DIFFERENT TYPES OF RELAXATIONS

$$N_L = N_R = 10^5$$



Wniosek z „doświadczenia” numerycznego dla $t > t^*$

- Dla ścianek chropowatych funkcja relaksacji

$$f(t) \sim \exp\left(-\frac{t}{\tau_0}\right)$$

czas relaksacji $\tau_0 = 142 \pm 1[\delta t]$
 $t^* = 270,0 \pm 1,5[\delta t]$

Za pomocą tego modelu mikroskopowego możemy
odtworzyć prawo ostygnięcia ciał Newtona.

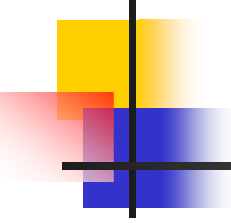
Wniosek z „doświadczenia” numerycznego dla $t > t^*$

- Dla ścianek zwierciadlanych funkcja relaksacji

$$f(t) = \left(\frac{t}{\tau'} \right)^{-d}$$

$$\tau' = 50 \pm 0,5[\delta t], \quad d = 1,0 \pm 0,01$$

$$t^* = 270,0 \pm 1,5[\delta t]$$



Uwaga dotycząca modelu

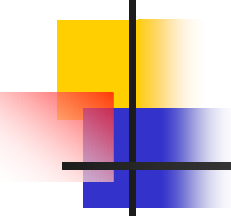
Uogólniliśmy teorię przewodnictwa cieplnego Fouriera-Onsagera tak, aby uwzględnić oba typy relaksacji.

Było to możliwe dzięki wprowadzeniu zależnego od czasu współczynnika przewodnictwa cieplnego.

Uwaga:

W przypadku relaksacji wykładniczej współczynnik przewodnictwa cieplnego jest stały.

W przypadku relaksacji potęgowej jest zależny od czasu.



Wniosek ogólny

- Zaproponowaliśmy model pozwalający badać własności tradycyjnej i egzotycznej termodynamiki statystycznej na poziomie dydaktycznym i profesjonalnym.
- Przedstawione podejście może być elementem wspomagającym tzw. zdalne nauczanie (distance learning).