

Einstein 1905:

Hydrodynamiczne metoda wyznaczania
liczby Avogadra

Bogdan Cichocki
IFT UW

IPPT 30.11.05

Atomy !

Demokryt,... Dalton,... Maxwell,... Boltzmann

1900 r - Planck korzysta ze wzoru

$$**S = k \ln W.**$$

Później nazwie to „aktem desperacji”

Doktorat Einsteina

- 30 kwietnia 1905 r – A.E. kończy rozprawę doktorską
- 20 lipca – składa rozprawę na Uniwersytecie w Zurychu
- 24 lipca – pozytywna opinia recenzentów (A. Kleiner i H. Burkhardt)
„podejście do zagadnienia dowodzi pełnego opanowania odpowiednich metod matematycznych”
- 27 lipca – formalne przyjęcie rozprawy
- 19 sierpnia – praca dociera do Ann. D. Phys.
- styczeń 1906 r – A.E. przesyła „Dodatek”
- 8 lutego – praca ukazuje się w Ann. d. Phys.

EINE NEUE BESTIMMUNG DER MOLEKÜLDIMENSIONEN

[1] INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR
ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOKTORWÜRDE
DER
HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
(MATHEMATISCH-NATURWISSENSCHAFTLICHE SEKTION)
DER
UNIVERSITÄT ZÜRICH

[2] VORGELEGT
VON
ALBERT EINSTEIN
AUS ZÜRICH

[3] Begutachtet von den Herren Prof. Dr. A. KLEINER
und
Prof. Dr. H. BURKHARDT

BERN
BUCHDRUCKEREI K. J. WYSS
1905

Doktorat Einsteina:

„Nowa metoda wyznaczania rozmiarów molekuł”

$$N_A a^\alpha, \quad \text{np. } \alpha = 1, 2, 3$$

liczba Avogadra *rozmiar molekuły*

Loschmidt (1866) - $N_A \sim 0.5 \times 10^{23}$

A.E. zaproponował metodę, którą nazwał „hydrodynamiczną”

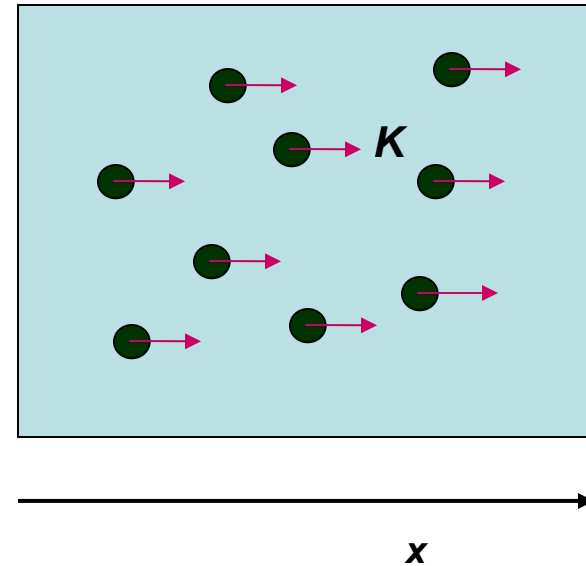
Równowagowy rozkład molekuł roztworu w polu stałej siły K :

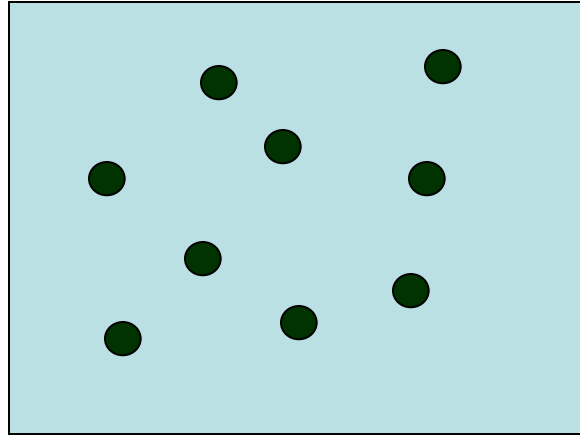
- wzór barometryczny dla koncentracji $n(x)$

$$Kn - \frac{RT}{N_A} \frac{dn}{dx} = 0$$

- przepływ molekuł na skutek działania siły K (prawo Stokesa!) jest zrównoważony przez strumień związany z procesem dyfuzji

$$\frac{K}{6\pi\eta a} n - D \frac{dn}{dx} = 0$$





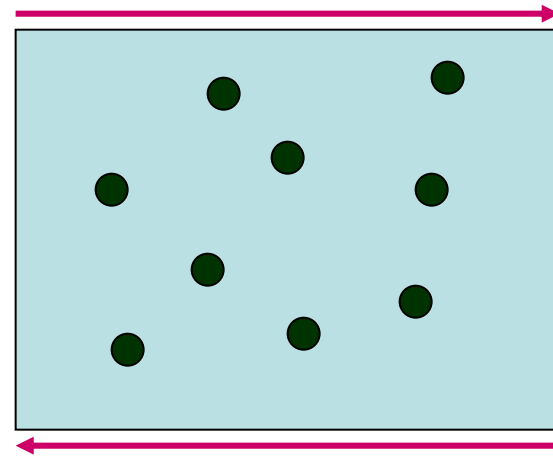
współczynnik dyfuzji $\rightarrow D = \frac{R}{N_A} \frac{T}{6\pi\eta a}$

\uparrow
współczynnik lepkości

Współczynnik lepkości



η_0

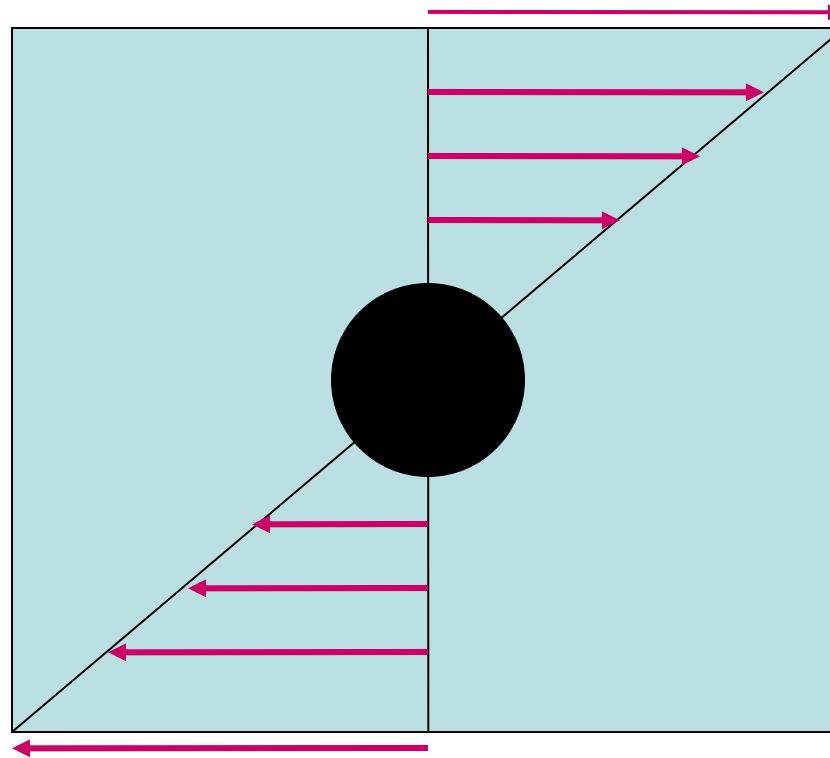


$\eta = ?$

Re=0,
płyn
nieściśliwy

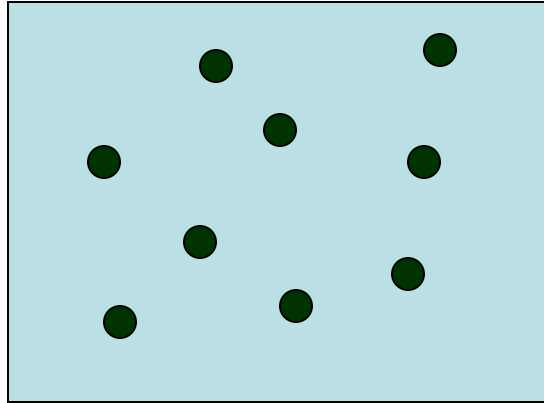


równania
Stokesa



dyssypacja energii \rightarrow $W = 2 \eta \delta^2 V$ \leftarrow objętość układu

\uparrow
kwadrat gradientu pola prędkości



$$\eta = \eta_0 (1 + \varphi)$$

$\varphi = \text{objętość molekuł} / \text{objętość układu}$
tzw. ułamek objętościowy

$$N_A a^3 !!$$

A.E. korzysta z danych dla wodnego roztworu cukru:

Rozprawa (1905, dane Graham):

$$N_A = 2.1 \times 10^{23},$$

Dodatek (1906, dane Landolt i Boernstein):

$$N_A = 4.15 \times 10^{23},$$

W roku 1911 po wyłapaniu przez L. Hopfa błędów A.E. publikuje „Erratę”:

$$\eta = \eta_0 (1 + 2.5 \varphi)$$

(dane Landolt i Boernstein)

$$N_A = 6.56 \times 10^{23},$$

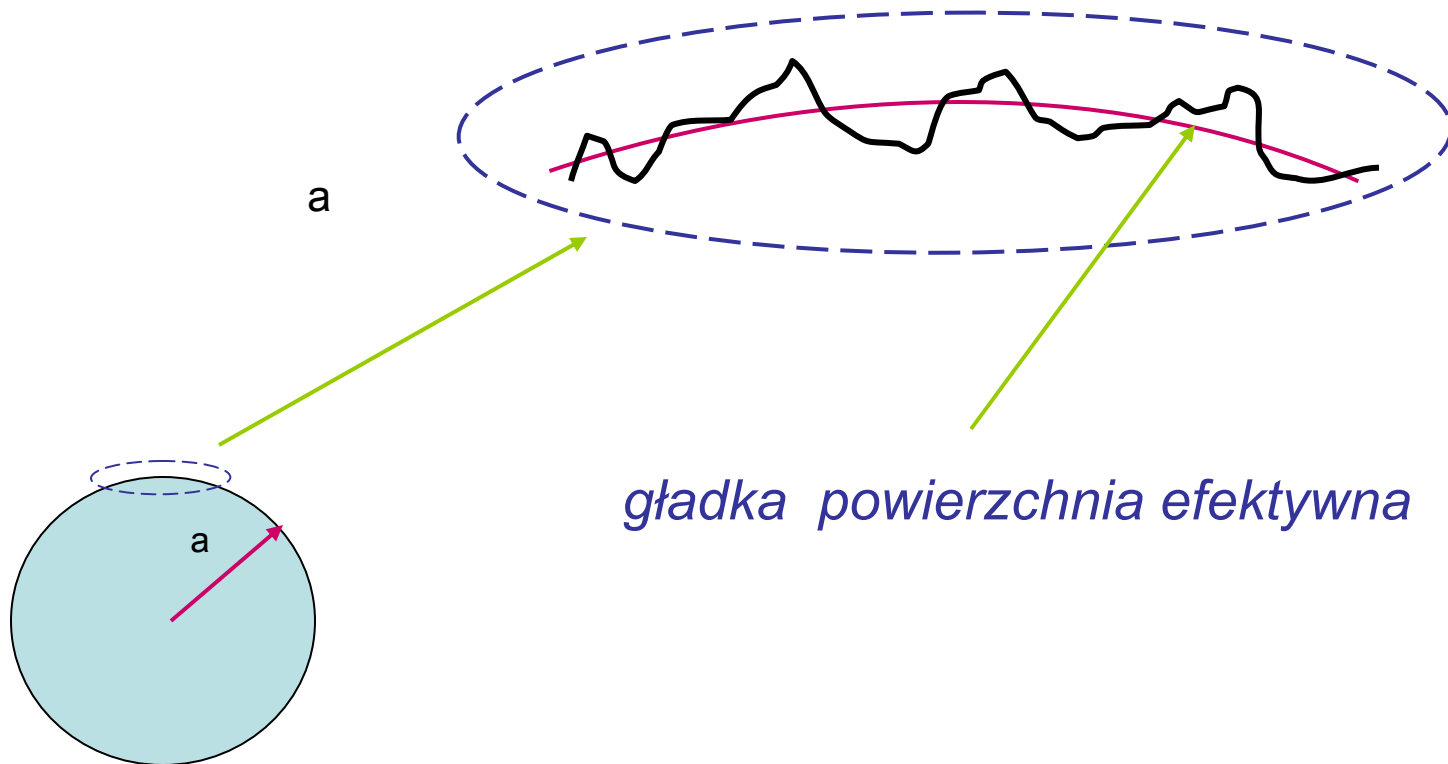
- W 1922 roku zostaje wydany przedruk prac A.E. dotyczących jego badań nad ruchami Browna, wersja w jęz. angielskim pojawia się cztery lata później.
- W zbiorze tym znajduje się rozprawa doktorska A.E. (!)
- Nie jest to wersja oryginalna, naniesiono bowiem poprawki z „Erraty”. Ślady zostały zatarte.
- Liczba cytowań „Erraty” jest o połowę mniejsza od liczby cytowań rozprawy!

Perpetuum mobile II rodzaju:

$$W = 2 \eta_0 \delta^2 V (1 - \varphi)$$

...obecność każdej kulki powoduje zmniejszenie produkcji ciepła o $2\eta_0\delta^2V_{kul}$ na jednostkę czasu,...

Albert Einstein, 1905



gładka powierzchnia efektywna

$$\eta = \eta_0 (1 + 2.5 \varphi + 5.00 \varphi^2 + 9.09 \varphi^3 + \dots)$$



*G.K. Batchelor
(1972)*



*B.C.
M. Ekiel-Jeżewska
E. Wajnryb
(2003)*