

Wędrujące Krople

Seminarium Fizyki Technicznej

Amadeusz Filipek

18.11.2016

Spis treści

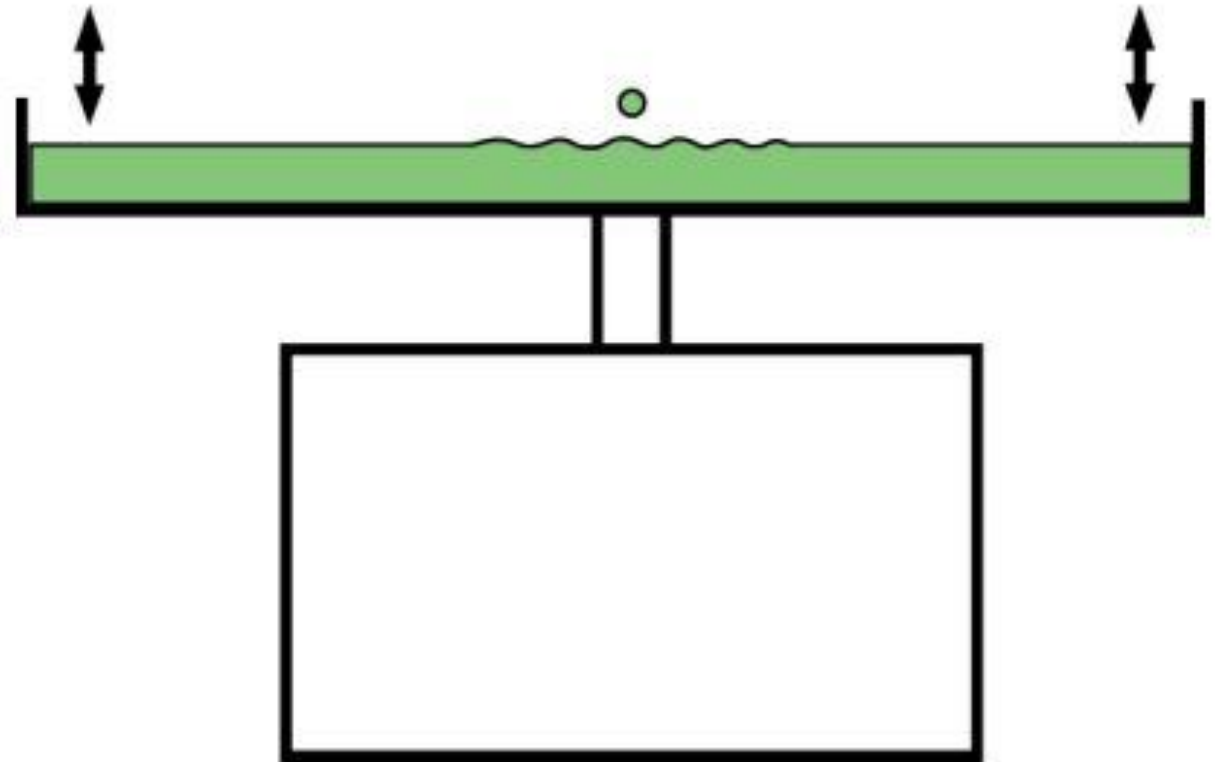
- 1) Układ doświadczalny
- 2) Zakres drgań
- 3) Mechanizm skakania kropli
- 4) Wędrująca kropla
- 5) Doświadczenia z wędrującą kroplą
- 6) Porównanie z mechaniką kwantową
- 7) Bibliografia

Układ doświadczalny

- ▶ Naczynie z cieczą poddane jest pionowym drganiom o przyspieszeniu:

$$\gamma(t) = \gamma \cos \omega t$$

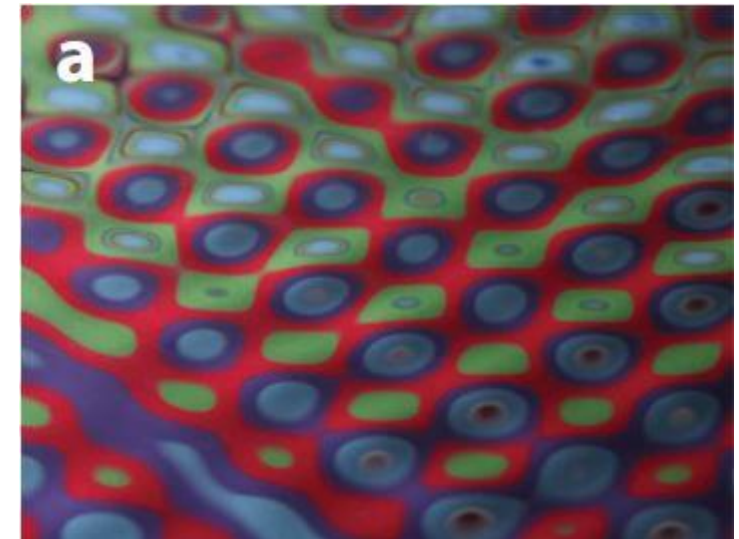
- ▶ Ciecz może stanowić olej silikonowy ($\nu \approx 20 \nu_w \approx 20 \text{ cSt}$)
- ▶ Głębokość naczynia: $4 - 10 \text{ mm}$
- ▶ Częstotliwość drań f : $20 - 150 \text{ Hz}$
- ▶ Średnica kropli D : $0.5 - 1 \text{ mm}$



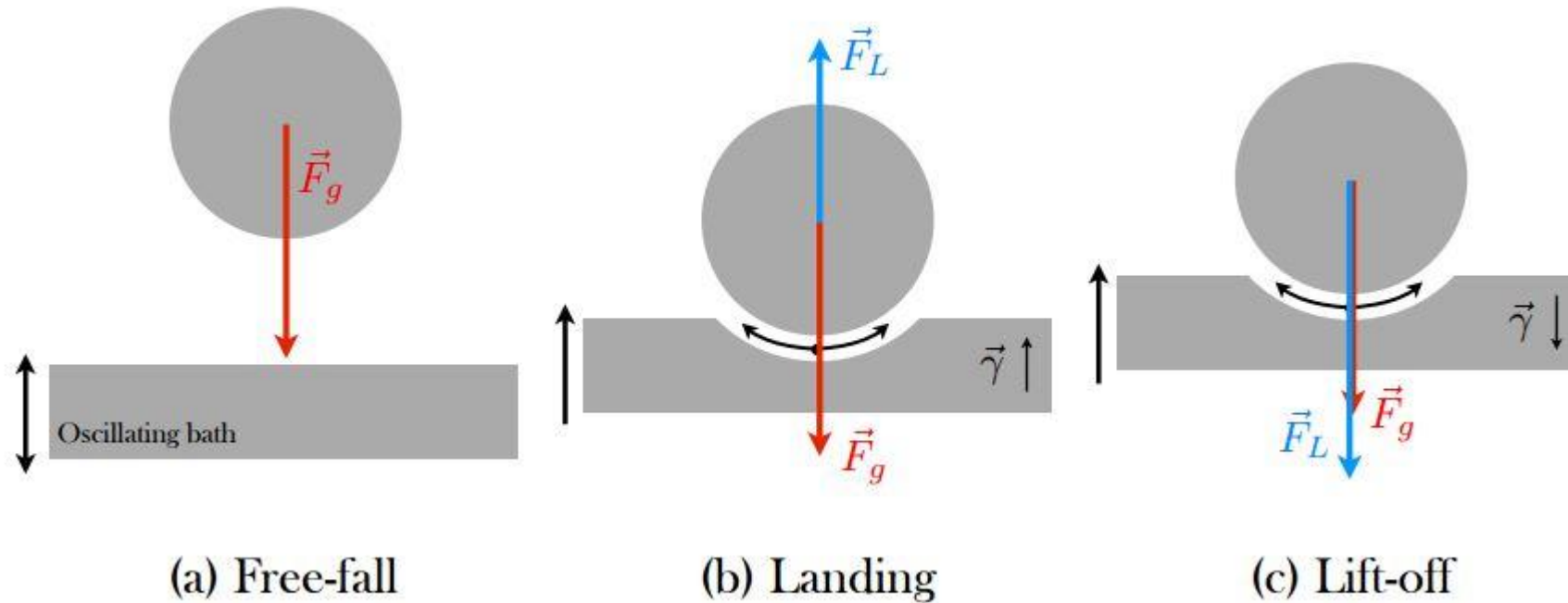
Zakres drgań

Trzy zakresy drgań wymuszonych cieczy:

- ▶ $\gamma < \gamma^B$ ($\gamma^B \cong g$)
 - ▶ Krople łączą się z cieczą
- ▶ $\gamma^B < \gamma < \gamma^F$ ($\gamma^F \cong 4.5 g$)
 - ▶ Krople odbijają się od powierzchni cieczy
- ▶ $\gamma > 4.5 g$
 - ▶ Powierzchnia cieczy tworzy fale stojące o częstotliwościach sub-harmonicznych (niestabilność Faraday'a)

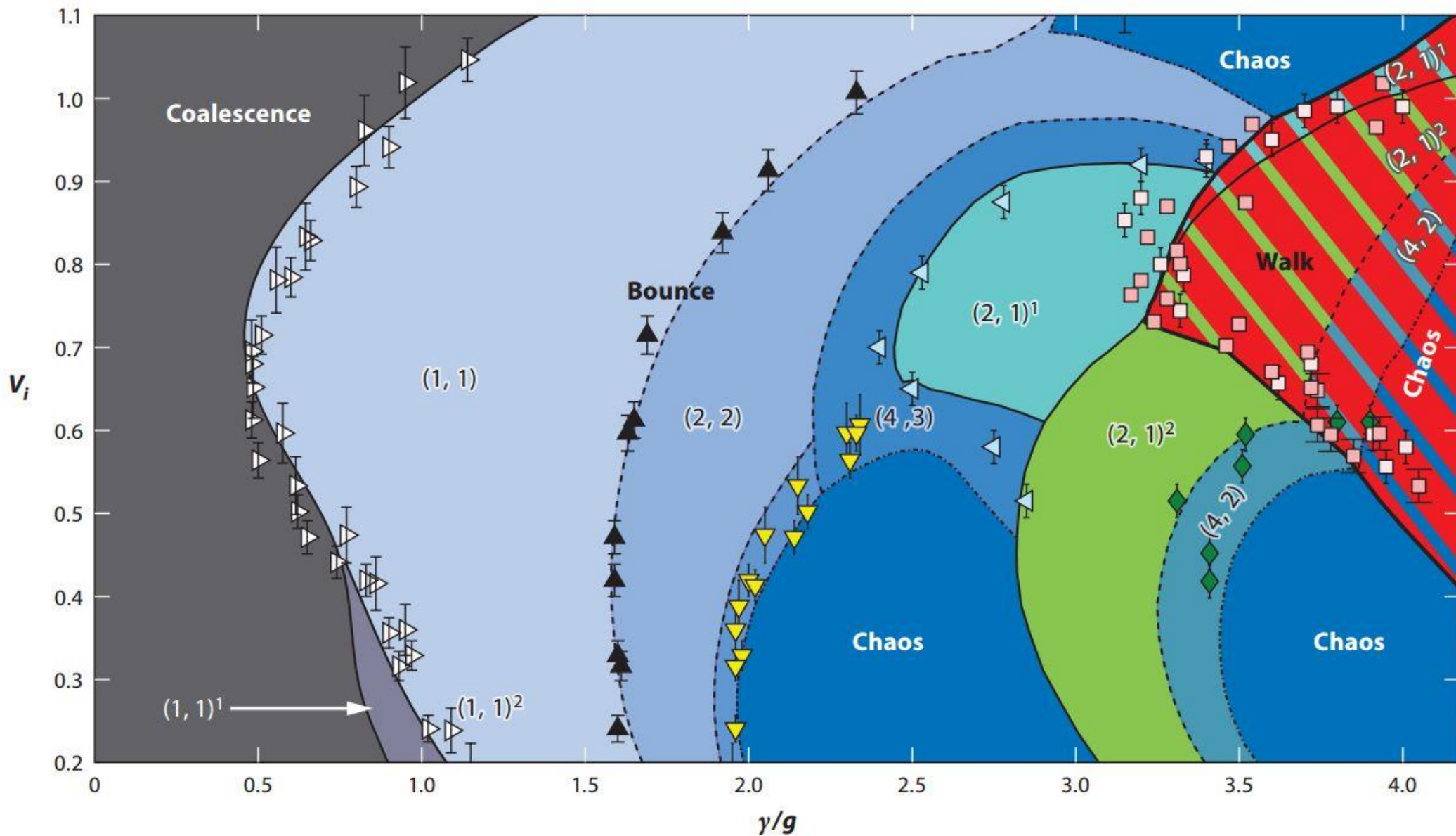


Mechanizm skakania kropli



[1]

- ▶ Wyjaśnienie podał Reynolds w swej teorii (Lubrication theory 1833)
- ▶ Cienka powłoka powietrza powstrzymuje krople przed połączeniem z cieczą (tarcie płynne)



$$V_i = \omega \sqrt{\rho D^3 / 8 \sigma}$$

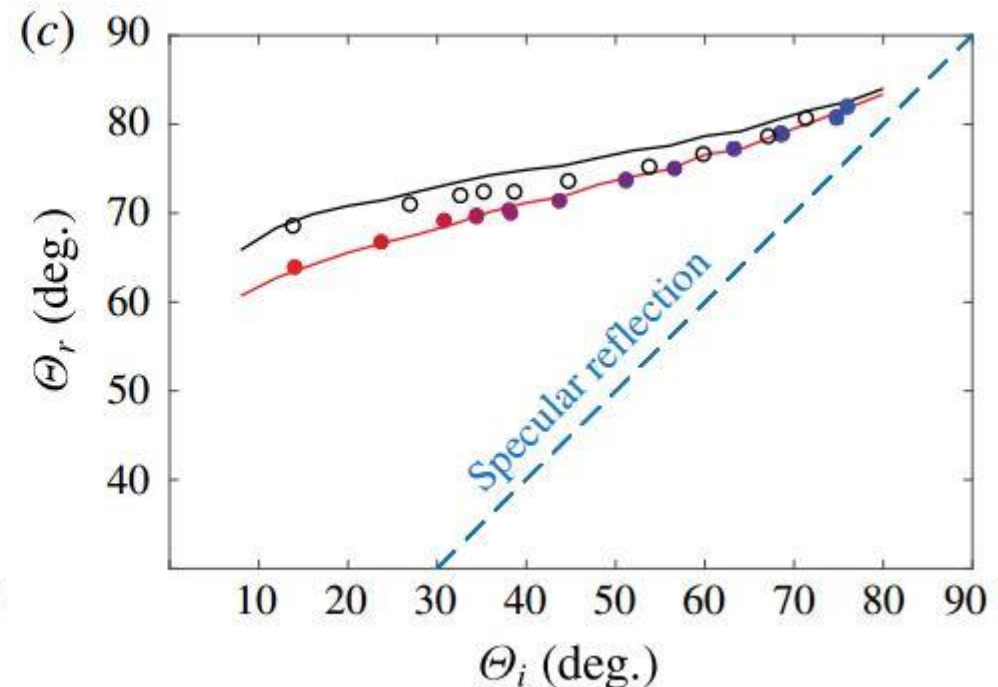
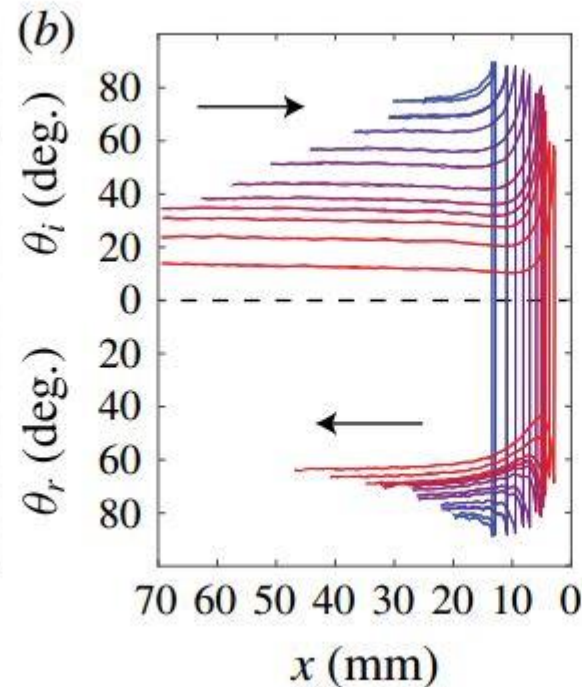
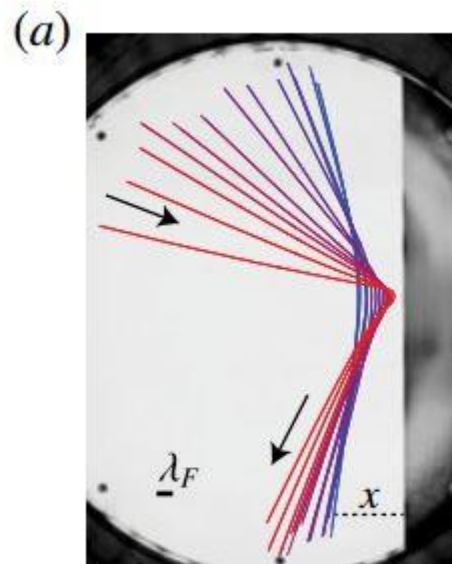
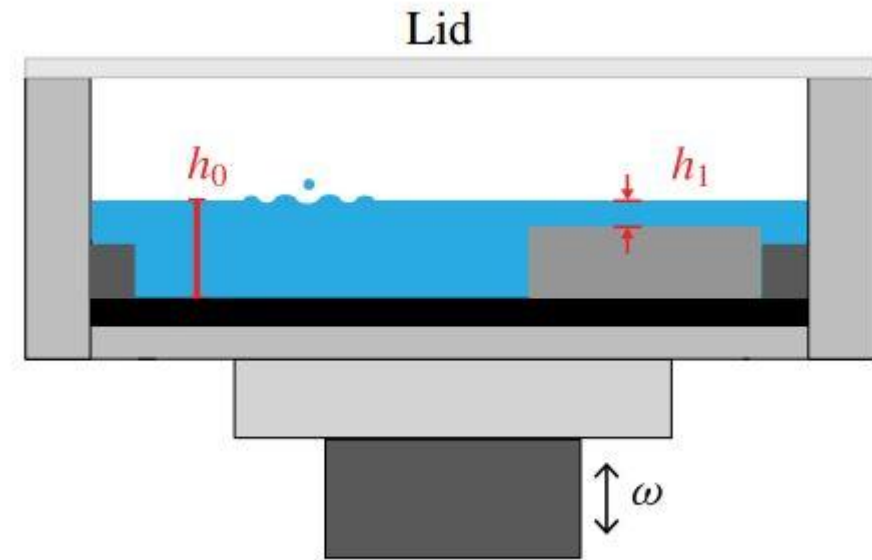
Kropla w fazie $(m, n)^i$ podskakuje n razy w czasie m okresów drgań wymuszających, indeks i numeruje stany względem całkowitej energii mechanicznej. [2]

Wędrująca kropla

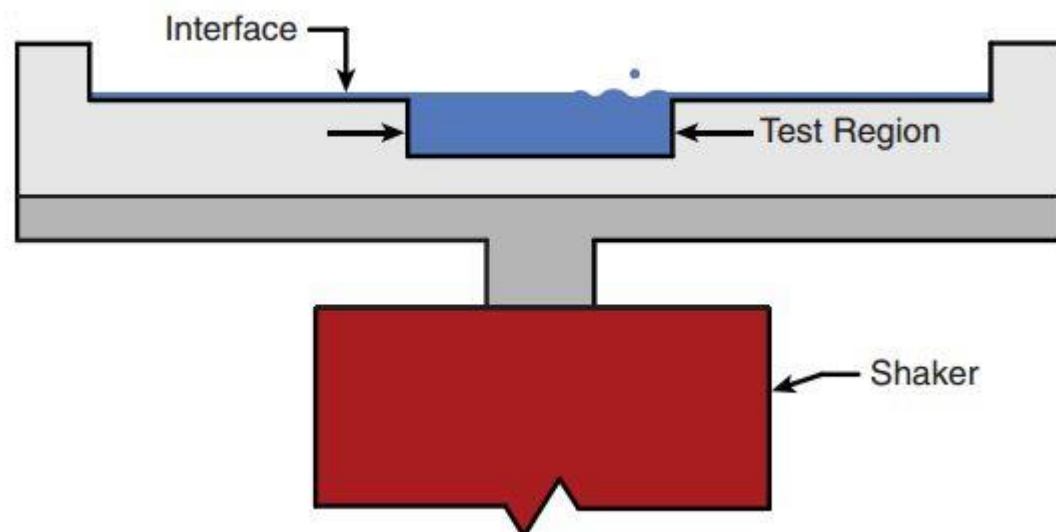
- ▶ W pobliżu zakresu γ^F kropla podskakuje jednocześnie przemieszczając się w określonym kierunku
- ▶ Kropla podczas każdego zderzenia z taflą emituje falę
- ▶ Kropla odbija się od taflి zniekształconej przez poprzednie odbicia
- ▶ Za wypadkowy poziomy ruch kropli odpowiedzialne są zderzenia kropli z falą
- ▶ Wędrująca kropla jest sprzężona z emitowanymi przez siebie falami na powierzchni cieczy
- ▶ Układ ten posiada pamięć
- ▶ Kropla wykazuje oddziaływania dalekiego zasięgu

Zderzenie ze ścianą

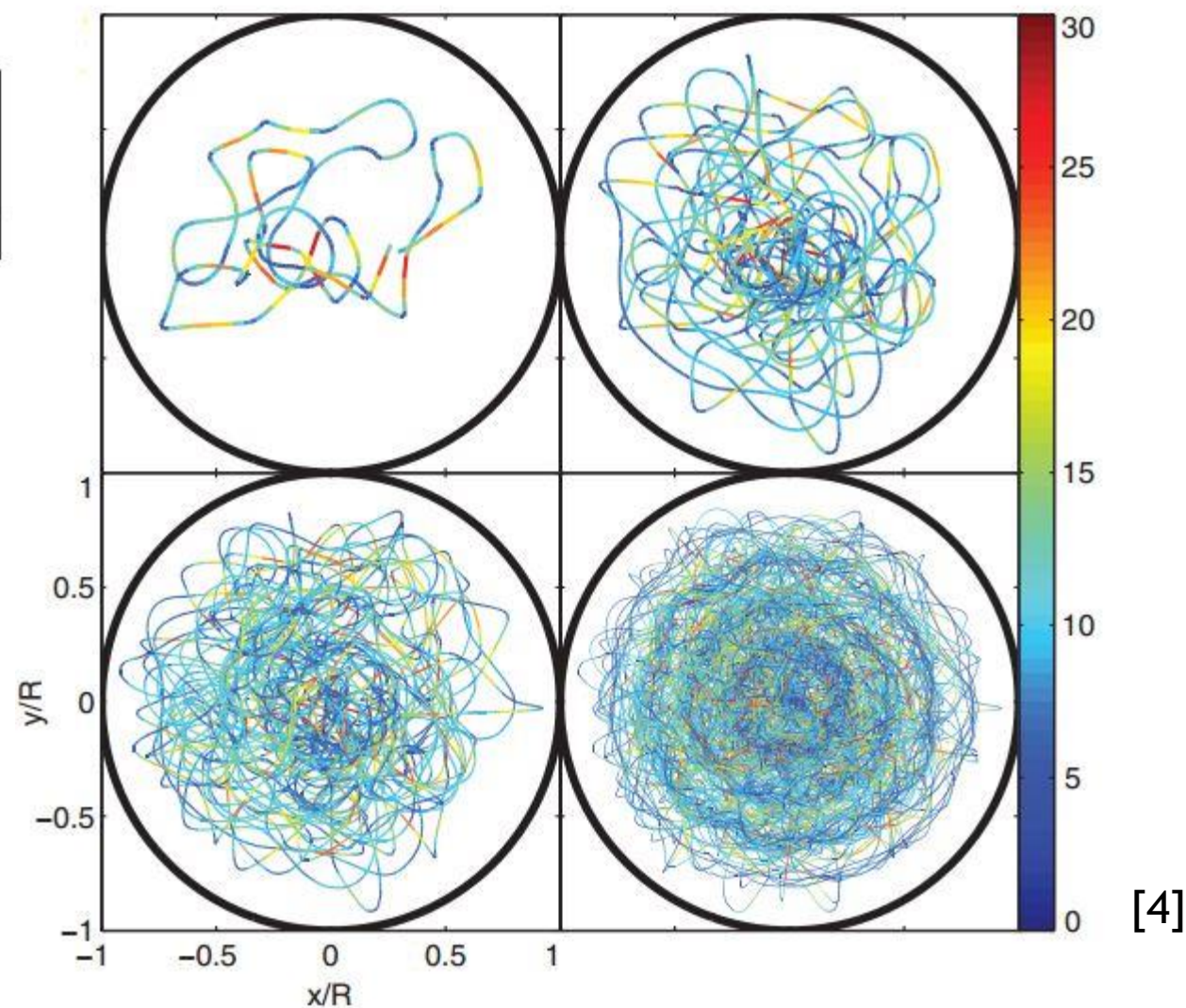
- ▶ Kropla zderza się z ścianą zachowując od niej odległość
- ▶ Tor ruchu jest gładko zakrzywiony
- ▶ Kropla wykazuje echolokację

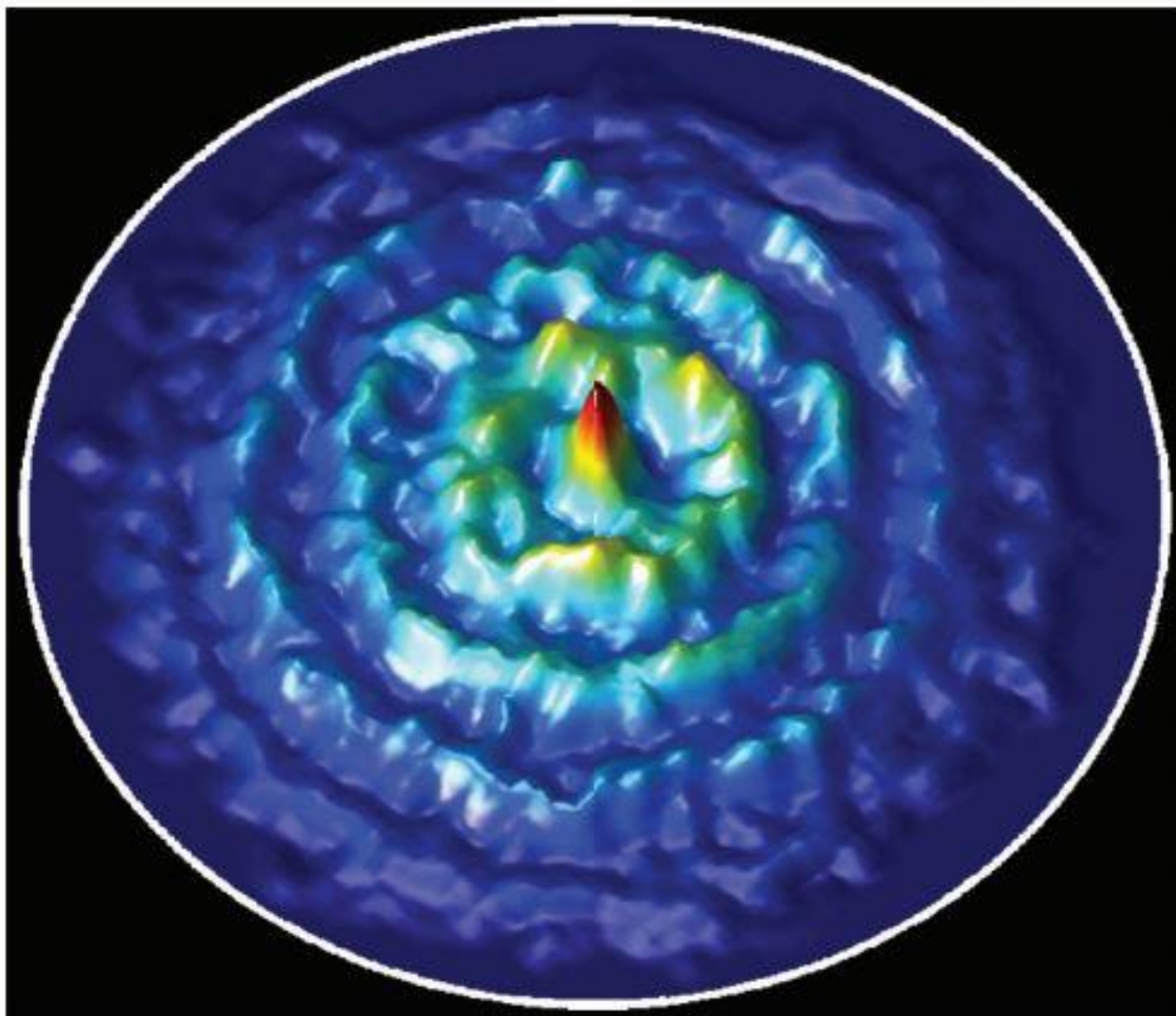


Kropla w okrągłej studni

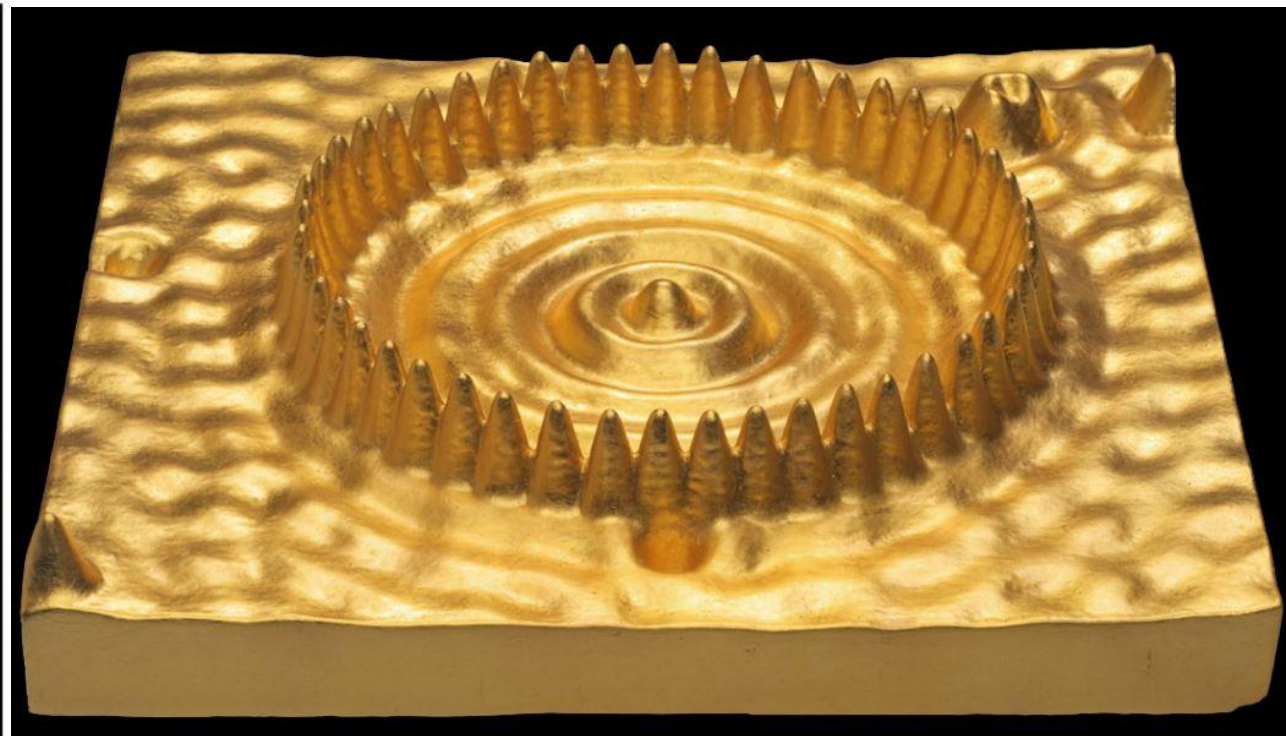


- ▶ Kropla błądzi losowo po obszarze naczynia
- ▶ Po dłuższym czasie obserwacji toru ruchu obraz zaczyna przypominać falę stojącą



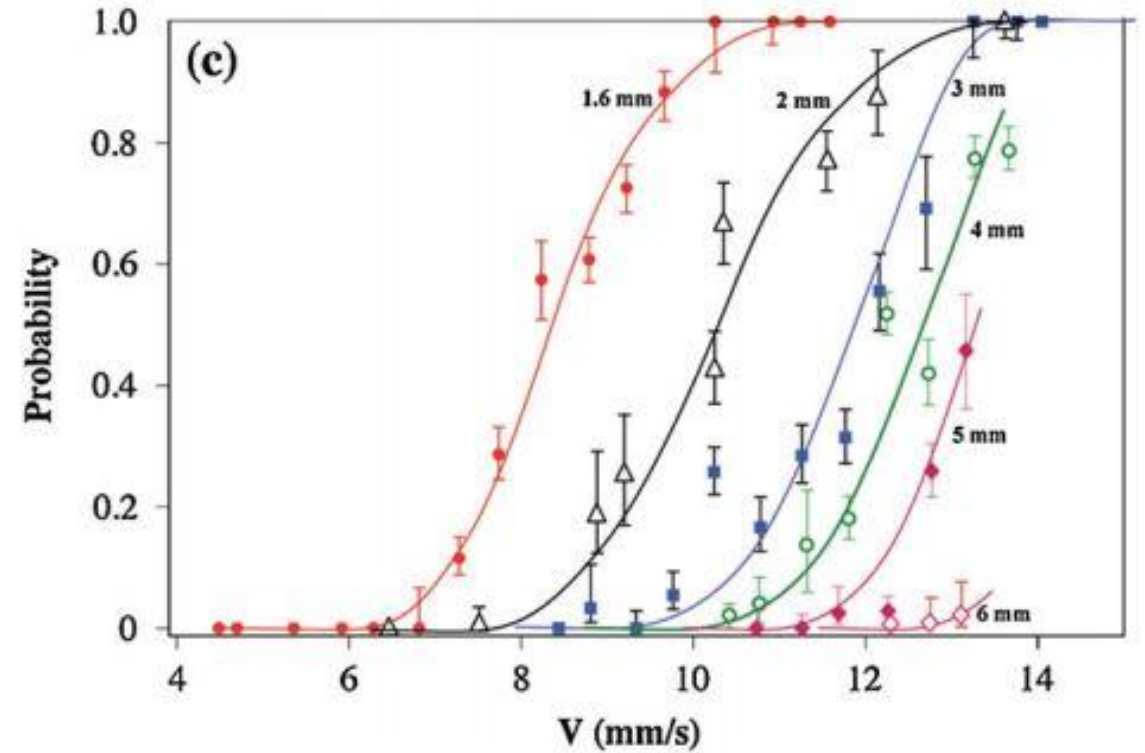
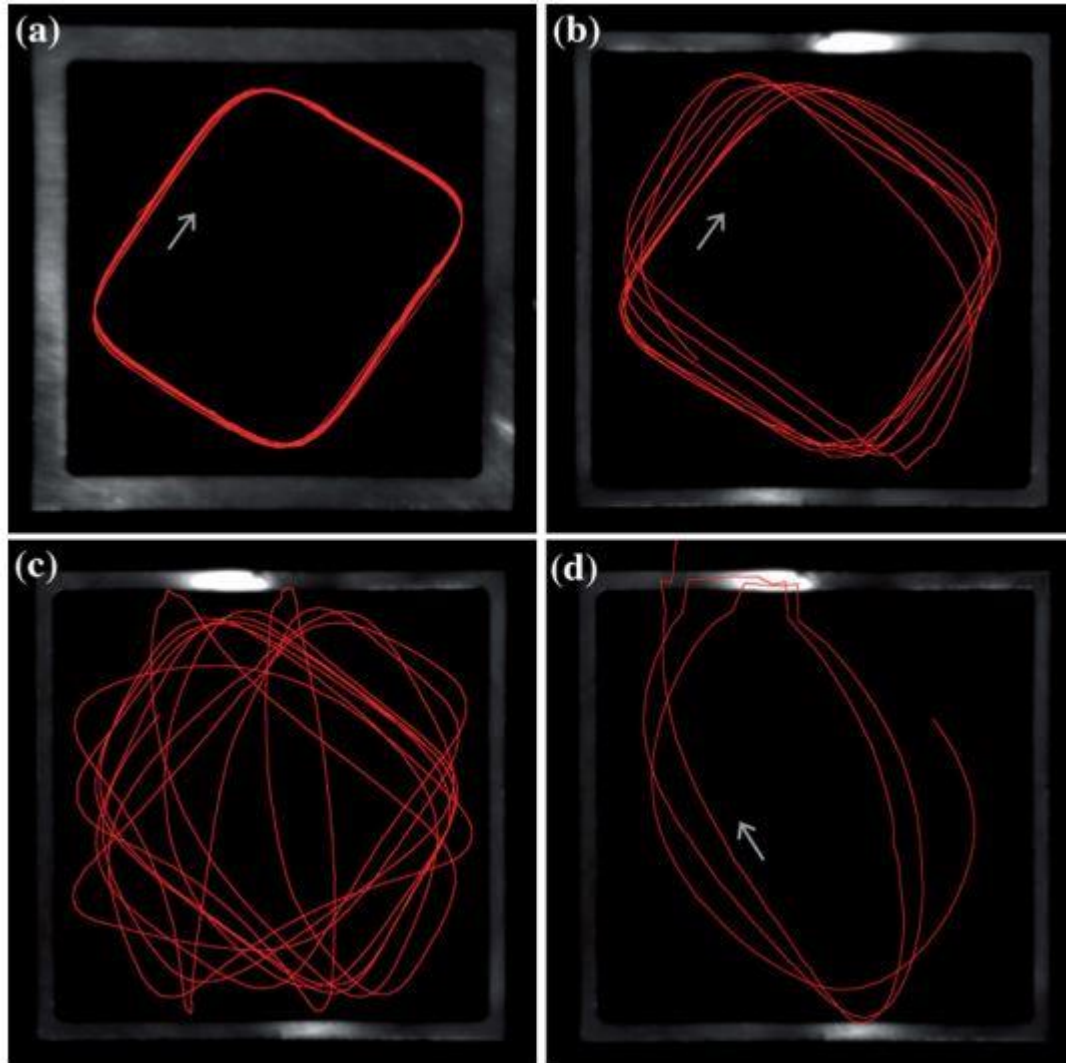


[4]



Rzeźba na podstawie danych doświadczalnych
okrągłej studni kwantowej złożonej z atomów
żelaza na podłożu miedzi. Dane uzyskane za
pomocą skaningowego mikroskopu tunelowego.

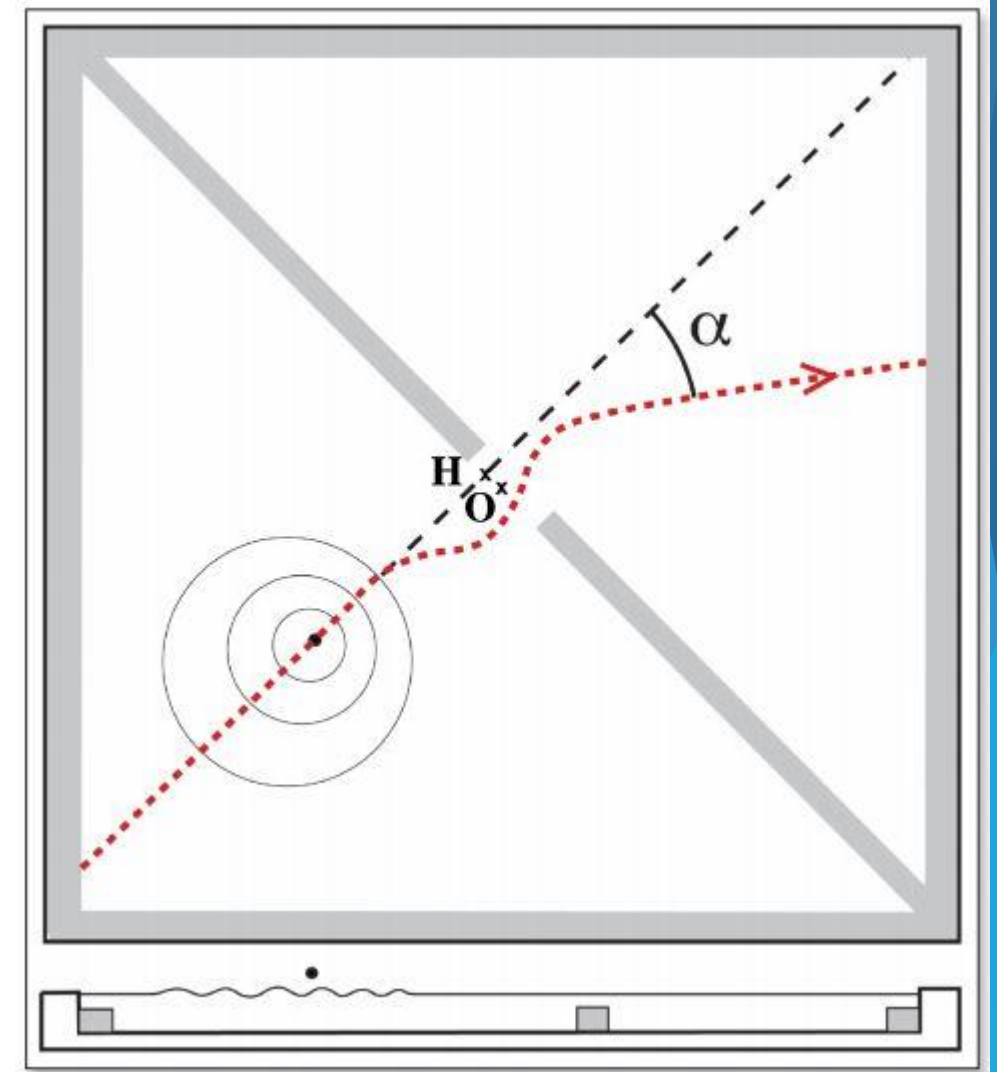
Tunelowanie przez barierę

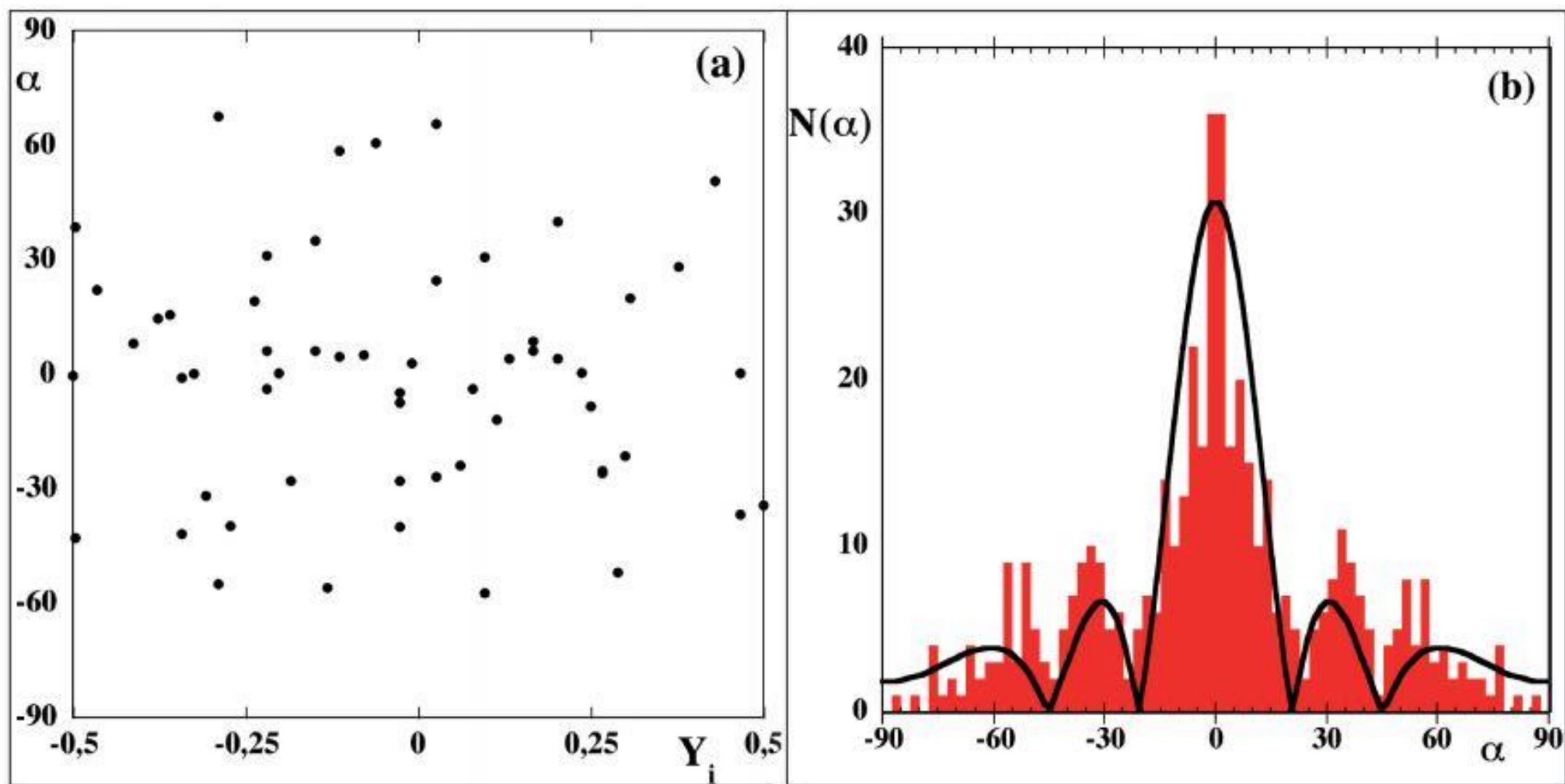


- ▶ Kropla ma szansę przejść przez barierę
- ▶ Zjawisko ma charakter statystyczny
- ▶ Im ścianka jest cieńsza tym zjawisko zachodzi częściej

Dyfrakcja na pojedynczej szczelinie

- ▶ Kropla podczas przejścia wykazuje losowy charakter trajektorii
- ▶ Fala sprzężona z kroplą podlega dyfrakcji na szczelinie
- ▶ Zjawisko nie wykazuje zależności od parametru zderzenia $Y = (H - O)/L$
- ▶ Dyfrakcja kropli wykazuje falowy charakter



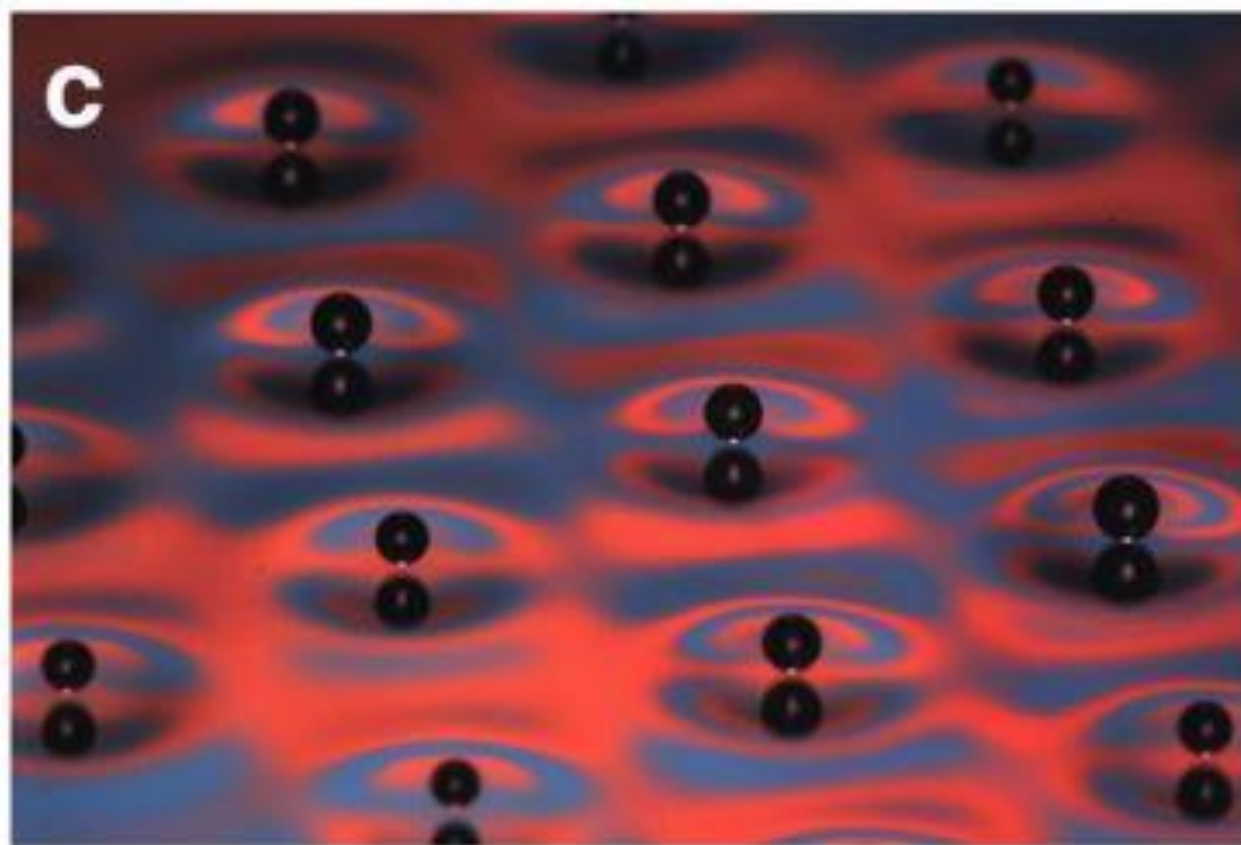
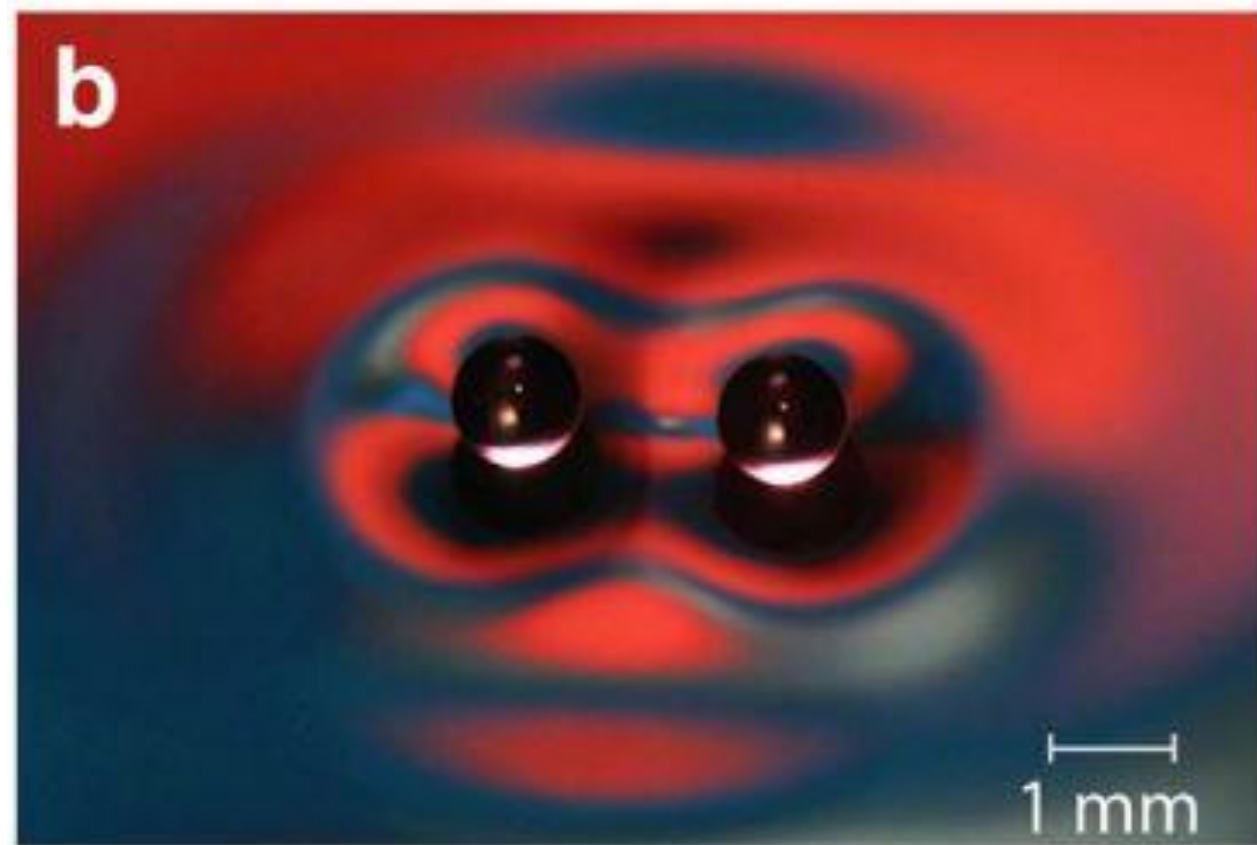


Układ dwóch kropli

- ▶ Krople wykazują oddziaływania dalekiego zasięgu
- ▶ W zależności od parametru kolizji d oddziaływania mają charakter przyciągający lub odpychający
- ▶ Trajektorie odpychające mają kształt hiperboliczny
- ▶ Stany związane kropeł wykazują kwantyzację:
 - ▶
$$\begin{cases} d_n^{orb} = (n - 0.2)\lambda_F & n = 1, 2, 3 \dots & \text{krople w fazie} \\ d_n^{orb} = (n - 0.2)\lambda_F & n = \frac{1}{2}, \frac{3}{2}, \frac{5}{2} \dots & \text{krople w przeciwfazie} \end{cases}$$
- ▶ Oddziaływania są efektem nakładania się fal obu kropli

b

1 mm

c

Różnice

Wysoka dysypatywność układu.

Fala jest emitowana przez kroplę.

Układ jest dwówymiarowy.

Pomiar nie zakłóca zachowania układu.

Podobieństwa

Falowy charakter oddziaływań.

Oddziaływania falowe indukują kwantyzację stanów orbitalnych.

Układ wykazuje determinizm w sensie statystycznym.

Cząstka ma szansę przetunelować przez barierę.

Dziękuję za uwagę !

Bibliografia:

1. D. Terwagne, „*Bouncing droplets, the role of deformations*”, Universite de Liege, 2012
2. J.W.M. Bush, „*Pilot-Wave Hydrodynamics*”, Annual Rev., Fluid Mech., 2015
3. G. Pucci, P. J. Saenz, L. M. Faria, J. W. M. Bush, „*Non-specular reflection of walking droplets*”, J. Fluid Mech., vol. 804, 2016
4. D. M. Harris, J. Moukhtar, E. Fort, Y. Couder, J. W. M. Bush, „*Wavelike statistics from pilot-wave dynamics in a circular corral*”, Phys. Rev., 2013
5. A. Eddi, E. Fort, F. Moisy, Y. Couder, „*Unpredictable Tunneling of a Classical Wave-Particle Association*”, Phys. Rev. Lett., 2009
6. Y. Couder, A. Boudaoud, S. Protiere, E. Fort, „*Walking droplets*”, Reflets de la Physique 5, 2007