

Większe górą!

Efekt orzecha brazylijskiego

Maciej Lisicki

opiekun: dr Piotr Szymczak

Seminarium Fizyki Teoretycznej
17 marca 2008

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Plan prezentacji

- 1 Przedstawienie problemu.
- 2 Co należy uwzględnić?
- 3 Problem z materiałami sypkimi.
- 4 Mechanizmy segregacji.
 - Mechanizmy geometryczne.
 - Konwekcja granularna.
 - Temperatura granularna.
- 5 Efekt odwrotny - mniejsze górą.
- 6 Podsumowanie.

Przedstawienie problemu

- Układ, będący mieszaniną dwóch rodzajów kulek (o różnych wielkościach i gęstościach) jest poddawany wibracjom.
- W pewnych warunkach następuje samoistna segregacja - większe kulki tworzą wierzchnią warstwę mieszaniny (nawet w przypadku, gdy mają większą gęstość), mniejsze zbierają się przy dnie.
- **Efekt orzecha brazylijskiego, Brazil Nut Effect.**

Jest to przejaw samoorganizacji układów nierównowagowych.

Przedstawienie problemu

- Układ, będący mieszaniną dwóch rodzajów kulek (o różnych wielkościach i gęstościach) jest poddawany wibracjom.
- W pewnych warunkach następuje samoistna segregacja - większe kulki tworzą wierzchnią warstwę mieszaniny (nawet w przypadku, gdy mają większą gęstość), mniejsze zbierają się przy dnie.
- **Efekt orzecha brazylijskiego, Brazil Nut Effect.**

Jest to przejaw samoorganizacji układów nierównowagowych.

Przedstawienie problemu

- Układ, będący mieszaniną dwóch rodzajów kulek (o różnych wielkościach i gęstościach) jest poddawany wibracjom.
- W pewnych warunkach następuje samoistna segregacja - większe kulki tworzą wierzchnią warstwę mieszaniny (nawet w przypadku, gdy mają większą gęstość), mniejsze zbierają się przy dnie.
- **Efekt orzecha brazylijskiego, Brazil Nut Effect.**

Jest to przejaw samoorganizacji układów nierównowagowych.

- Układ, będący mieszaniną dwóch rodzajów kulek (o różnych wielkościach i gęstościach) jest poddawany wibracjom.
- W pewnych warunkach następuje samoistna segregacja - większe kulki tworzą wierzchnią warstwę mieszaniny (nawet w przypadku, gdy mają większą gęstość), mniejsze zbierają się przy dnie.
- **Efekt orzecha brazylijskiego, Brazil Nut Effect.**

Jest to przejaw samoorganizacji układów nierównowagowych.

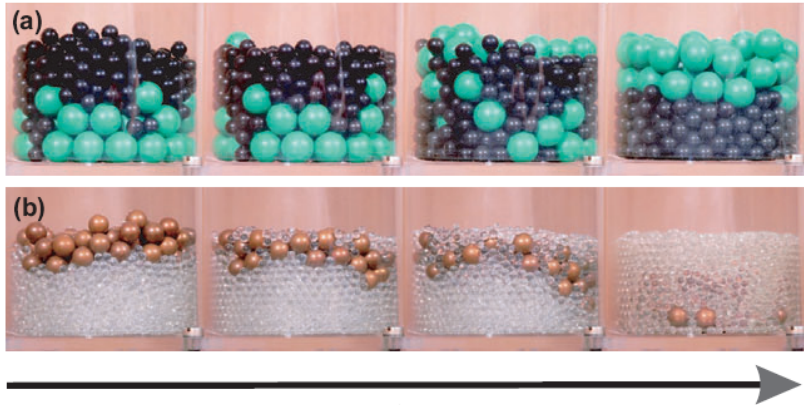
- Układ, będący mieszaniną dwóch rodzajów kulek (o różnych wielkościach i gęstościach) jest poddawany wibracjom.
- W pewnych warunkach następuje samoistna segregacja - większe kulki tworzą wierzchnią warstwę mieszaniny (nawet w przypadku, gdy mają większą gęstość), mniejsze zbierają się przy dnie.
- **Efekt orzecha brazylijskiego, Brazil Nut Effect.**

Jest to przejaw samoorganizacji układów nierównowagowych.

Efekt Orzecha Brazylijskiego



Rysunek: Nazwa efektu pochodzi od orzechów, które po transporcie w skrzyniach na pokładzie statków, płynących do Europy z Brazylii, okazywały się być na wierzchu mieszanin różnych ziaren.



Rysunek: BNE, RBNE za Breu et al., 2003

Co należy uwzględnić?

Czynniki, mające istotny wpływ na efekt:

- 1 Stosunek średnic (*size ratio*) $R = \frac{d_A}{d_B}$.
- 2 Stosunek gęstości $G = \frac{\rho_A}{\rho_B}$.
- 3 Częstotliwość i amplituda wzbudzenia $\Gamma = \frac{\omega^2 A_0}{g}$.
- 4 Rodzaj wzbudzenia.
- 5 Warunki brzegowe (kształt i budowa naczynia).
- 6 Stopień dyssypacji i szorstkość ziaren.
- 7 Ciśnienie, wilgotność powietrza (!).

Co należy uwzględnić?

Czynniki, mające istotny wpływ na efekt:

- 1 Stosunek średnic (*size ratio*) $R = \frac{d_A}{d_B}$.
- 2 Stosunek gęstości $G = \frac{\rho_A}{\rho_B}$.
- 3 Częstotliwość i amplituda wzbudzenia $\Gamma = \frac{\omega^2 A_0}{g}$.
- 4 Rodzaj wzbudzenia.
- 5 Warunki brzegowe (kształt i budowa naczynia).
- 6 Stopień dyssypacji i szorstkość ziaren.
- 7 Ciśnienie, wilgotność powietrza (!).

Co należy uwzględnić?

Czynniki, mające istotny wpływ na efekt:

- 1 Stosunek średnic (*size ratio*) $R = \frac{d_A}{d_B}$.
- 2 Stosunek gęstości $G = \frac{\rho_A}{\rho_B}$.
- 3 Częstotliwość i amplituda wzbudzenia $\Gamma = \frac{\omega^2 A_0}{g}$.
- 4 Rodzaj wzbudzenia.
- 5 Warunki brzegowe (kształt i budowa naczynia).
- 6 Stopień dyssypacji i szorstkość ziaren.
- 7 Ciśnienie, wilgotność powietrza (!).

Co należy uwzględnić?

Czynniki, mające istotny wpływ na efekt:

- 1 Stosunek średnic (*size ratio*) $R = \frac{d_A}{d_B}$.
- 2 Stosunek gęstości $G = \frac{\rho_A}{\rho_B}$.
- 3 Częstotliwość i amplituda wzbudzenia $\Gamma = \frac{\omega^2 A_0}{g}$.
- 4 Rodzaj wzbudzenia.
- 5 Warunki brzegowe (kształt i budowa naczynia).
- 6 Stopień dyssypacji i szorstkość ziaren.
- 7 Ciśnienie, wilgotność powietrza (!).

Co należy uwzględnić?

Czynniki, mające istotny wpływ na efekt:

- 1 Stosunek średnic (*size ratio*) $R = \frac{d_A}{d_B}$.
- 2 Stosunek gęstości $G = \frac{\rho_A}{\rho_B}$.
- 3 Częstotliwość i amplituda wzbudzenia $\Gamma = \frac{\omega^2 A_0}{g}$.
- 4 Rodzaj wzbudzenia.
- 5 Warunki brzegowe (kształt i budowa naczynia).
- 6 Stopień dyssypacji i szorstkość ziaren.
- 7 Ciśnienie, wilgotność powietrza (!).

Co należy uwzględnić?

Czynniki, mające istotny wpływ na efekt:

- 1 Stosunek średnic (*size ratio*) $R = \frac{d_A}{d_B}$.
- 2 Stosunek gęstości $G = \frac{\rho_A}{\rho_B}$.
- 3 Częstotliwość i amplituda wzbudzenia $\Gamma = \frac{\omega^2 A_0}{g}$.
- 4 Rodzaj wzbudzenia.
- 5 Warunki brzegowe (kształt i budowa naczynia).
- 6 Stopień dyssypacji i szorstkość ziaren.
- 7 Ciśnienie, wilgotność powietrza (!).

Co należy uwzględnić?

Czynniki, mające istotny wpływ na efekt:

- 1 Stosunek średnic (*size ratio*) $R = \frac{d_A}{d_B}$.
- 2 Stosunek gęstości $G = \frac{\rho_A}{\rho_B}$.
- 3 Częstotliwość i amplituda wzbudzenia $\Gamma = \frac{\omega^2 A_0}{g}$.
- 4 Rodzaj wzbudzenia.
- 5 Warunki brzegowe (kształt i budowa naczynia).
- 6 Stopień dyssypacji i szorstkość ziaren.
- 7 Ciśnienie, wilgotność powietrza (!).

Co należy uwzględnić?

Czynniki, mające istotny wpływ na efekt:

- 1 Stosunek średnic (*size ratio*) $R = \frac{d_A}{d_B}$.
- 2 Stosunek gęstości $G = \frac{\rho_A}{\rho_B}$.
- 3 Częstotliwość i amplituda wzbudzenia $\Gamma = \frac{\omega^2 A_0}{g}$.
- 4 Rodzaj wzbudzenia.
- 5 Warunki brzegowe (kształt i budowa naczynia).
- 6 Stopień dyssypacji i szorstkość ziaren.
- 7 Ciśnienie, wilgotność powietrza (!).

Nie istnieje fundamentalna teoria nawet dla układów jednakowych ziaren.

Trzeba czynić wiele założeń (np. warunki brzegowe dla równań różniczkowych). Nie sposób określić wpływu niektórych czynników (a może on być istotny).

Na szczęście:

- W obszarze silnego wzbudzenia, gdy cząstki oddziałują przez zderzenia i są w nieustannym ruchu (ciągły dopływ energii), zaadaptowano pewne metody opisu i zaproponowano możliwe mechanizmy segregacji. Istnieje kilka formalizmów opisujących ten stan.
- Znaczące triumfy święcą symulacje komputerowe - metody Monte Carlo, Molecular Dynamics.

Nie istnieje fundamentalna teoria nawet dla układów jednakowych ziaren.

Trzeba czynić wiele założeń (np. warunki brzegowe dla równań różniczkowych). Nie sposób określić wpływu niektórych czynników (a może on być istotny).

Na szczęście:

- W obszarze silnego wzbudzenia, gdy cząstki oddziałują przez zderzenia i są w nieustannym ruchu (ciągły dopływ energii), zaadaptowano pewne metody opisu i zaproponowano możliwe mechanizmy segregacji. Istnieje kilka formalizmów opisujących ten stan.
- Znaczące triumfy święcą symulacje komputerowe - metody Monte Carlo, Molecular Dynamics.

Nie istnieje fundamentalna teoria nawet dla układów jednakowych ziaren.

Trzeba czynić wiele założeń (np. warunki brzegowe dla równań różniczkowych). Nie sposób określić wpływu niektórych czynników (a może on być istotny).

Na szczęście:

- W obszarze silnego wzbudzenia, gdy cząstki oddziałują przez zderzenia i są w nieustannym ruchu (ciągły dopływ energii), zaadaptowano pewne metody opisu i zaproponowano możliwe mechanizmy segregacji. Istnieje kilka formalizmów opisujących ten stan.
- Znaczące triumfy święcą symulacje komputerowe - metody Monte Carlo, Molecular Dynamics.

Nie istnieje fundamentalna teoria nawet dla układów jednakowych ziaren.

Trzeba czynić wiele założeń (np. warunki brzegowe dla równań różniczkowych). Nie sposób określić wpływu niektórych czynników (a może on być istotny).

Na szczęście:

- W obszarze silnego wzbudzenia, gdy cząstki oddziałują przez zderzenia i są w nieustannym ruchu (ciągły dopływ energii), zaadaptowano pewne metody opisu i zaproponowano możliwe mechanizmy segregacji. Istnieje kilka formalizmów opisujących ten stan.
- Znaczące triumfy święcą symulacje komputerowe - metody Monte Carlo, Molecular Dynamics.

Nie istnieje fundamentalna teoria nawet dla układów jednakowych ziaren.

Trzeba czynić wiele założeń (np. warunki brzegowe dla równań różniczkowych). Nie sposób określić wpływu niektórych czynników (a może on być istotny).

Na szczęście:

- W obszarze silnego wzbudzenia, gdy cząstki oddziałują przez zderzenia i są w nieustannym ruchu (ciągły dopływ energii), zaadaptowano pewne metody opisu i zaproponowano możliwe mechanizmy segregacji. Istnieje kilka formalizmów opisujących ten stan.
- Znaczące triumfy święcą symulacje komputerowe - metody Monte Carlo, Molecular Dynamics.

Nie istnieje fundamentalna teoria nawet dla układów jednakowych ziaren.

Trzeba czynić wiele założeń (np. warunki brzegowe dla równań różniczkowych). Nie sposób określić wpływu niektórych czynników (a może on być istotny).

Na szczęście:

- W obszarze silnego wzbudzenia, gdy cząstki oddziałują przez zderzenia i są w nieustannym ruchu (ciągły dopływ energii), zaadaptowano pewne metody opisu i zaproponowano możliwe mechanizmy segregacji. Istnieje kilka formalizmów opisujących ten stan.
- Znaczące triumfy święcą symulacje komputerowe - metody Monte Carlo, Molecular Dynamics.

Mechanizmy segregacji

- 1 Mechanizm geometryczny - przesiewanie (*sifting, void filling, percolation*).
- 2 Konwekcja „granularna” (*granular convection*).
- 3 Temperatura granularna.

Mechanizmy segregacji

- 1 Mechanizm geometryczny - przesiewanie (*sifting, void filling, percolation*).
- 2 Konwekcja „granularna” (*granular convection*).
- 3 Temperatura granularna.

Mechanizmy segregacji

- 1 Mechanizm geometryczny - przesiewanie (*sifting, void filling, percolation*).
- 2 Konwekcja „granularna” (*granular convection*).
- 3 Temperatura granularna.

- 1 Mechanizm geometryczny - przesiewanie (*sifting, void filling, percolation*).
- 2 Konwekcja „granularna” (*granular convection*).
- 3 Temperatura granularna.

Lokalny mechanizm geometryczny.

Redukcja energii potencjalnej

Dla odpowiednio dużego R małe kulki wpadają pomiędzy większe, więc podczas wstrząsania zmniejsza się sumaryczna energia potencjalna układu.

Jakościowe wyjaśnienie

Podczas wstrząsania następuje względne przemieszczenie cząstek. Pod większymi cząstkami powstają luki, które są wypełniane przez mniejsze ziarna. Małe cząstki mają większe prawdopodobieństwo wypełnienia luki. Aby utworzyć lukę dla dużej kulki, należałoby przemieścić kilka małych kulek. Powstanie takiej luki jest stosunkowo mało prawdopodobne.

Lokalny mechanizm geometryczny.

Redukcja energii potencjalnej

Dla odpowiednio dużego R małe kulki wpadają pomiędzy większe, więc podczas wstrząsania zmniejsza się sumaryczna energia potencjalna układu.

Jakościowe wyjaśnienie

Podczas wstrząsania następuje względne przemieszczenie cząstek. Pod większymi cząstkami powstają luki, które są wypełniane przez mniejsze ziarna. Małe cząstki mają większe prawdopodobieństwo wypełnienia luki. Aby utworzyć lukę dla dużej kulki, należałoby przemieścić kilka małych kulek. Powstanie takiej luki jest stosunkowo mało prawdopodobne.

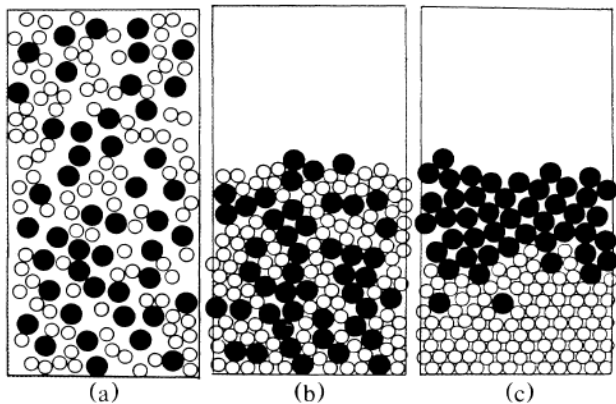
Lokalny mechanizm geometryczny.

Redukcja energii potencjalnej

Dla odpowiednio dużego R małe kulki wpadają pomiędzy większe, więc podczas wstrząsania zmniejsza się sumaryczna energia potencjalna układu.

Jakościowe wyjaśnienie

Podczas wstrząsania następuje względne przemieszczenie cząstek. Pod większymi cząstkami powstają luki, które są wypełniane przez mniejsze ziarna. Małe cząstki mają większe prawdopodobieństwo wypełnienia luki. Aby utworzyć lukę dla dużej kulki, należałoby przemieścić kilka małych kulek. Powstanie takiej luki jest stosunkowo mało prawdopodobne.



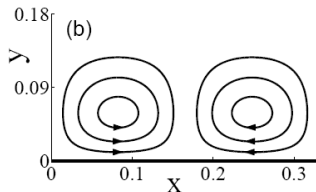
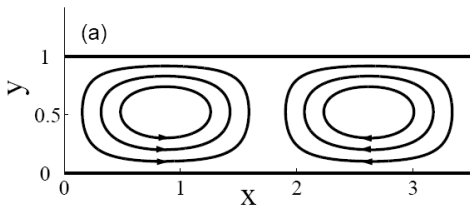
Rysunek: Symulacja oparta na mechanizmie przesiewania dla mieszaniny 50/50 dla $R = 1.5$: a) początkowe rozlokowanie kulek, b) stan po „opadnięciu”, c) stan po 300 wstrząsach. [5]

Konwekcja granularna

Globalny mechanizm ruchu materiału sypkiego.

Globalny ruch ziaren

Konwekcja może prowadzić zarówno do mieszania, jak i segregacji ziaren. Jest ona związana z obecnością tarcia o ścianki naczynia. Warunki brzegowe określają kierunek prądów konwekcyjnych, tworzą się komórki konwekcyjne.

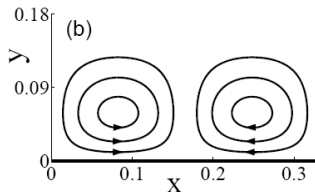
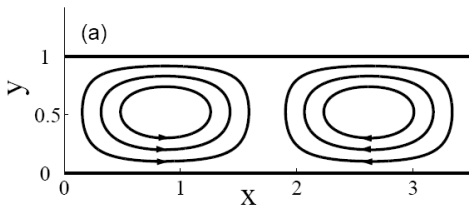


Konwekcja granularna

Globalny mechanizm ruchu materiału sypkiego.

Globalny ruch ziaren

Konwekcja może prowadzić zarówno do mieszania, jak i segregacji ziaren. Jest ona związana z obecnością tarcia o ścianki naczynia. Warunki brzegowe określają kierunek prądów konwekcyjnych, tworzą się komórki konwekcyjne.



Konwekcja granularna

Segregacja pod wpływem konwekcji

Większe kulki wędrują w środkowej części naczynia z prądem wznoszącym, ale są za duże, by dostać się do strugi zstępującej wzdłuż ścianki. Mieszanie następuje, gdy rozmiary warstwy prądu zstępującego są porównywalne z rozmiarami większych kulek.



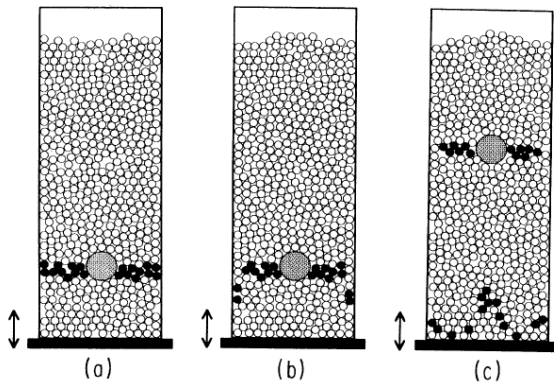
Konwekcja granularna

Segregacja pod wpływem konwekcji

Większe kulki wędrują w środkowej części naczynia z prądem wznoszącym, ale są za duże, by dostać się do strugi zstępującej wzdłuż ścianki. Mieszanie następuje, gdy rozmiary warstwy prądu zstępującego są porównywalne z rozmiarami większych kulek.

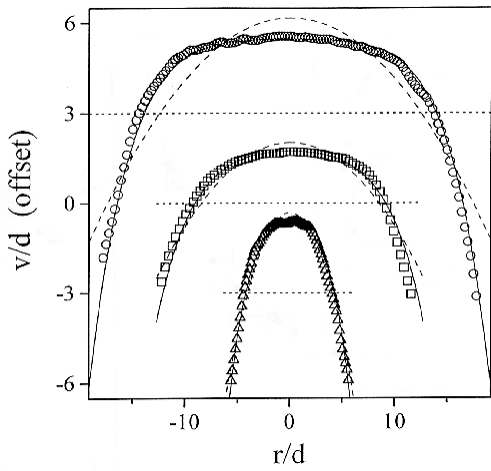


Konwekcja granularna



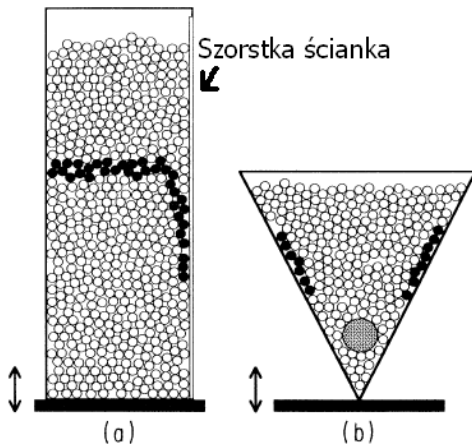
Rysunek: Wynik eksperymentu: a) Sytuacja początkowa, b) c) w miarę wstrząsania cząstki w środkowej części naczynia wznoszą się, jednocześnie przy ściankach tworzy się strumień cząstek „płynących” w dół, które z czasem wznoszą się w środkowej części naczynia. [4]

Konwekcja granularna



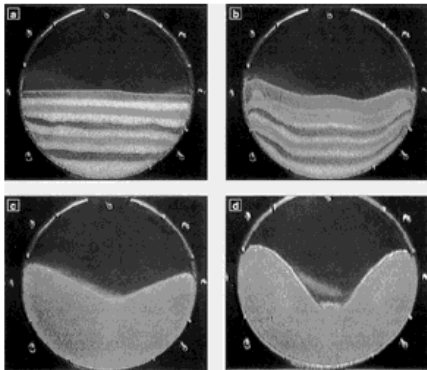
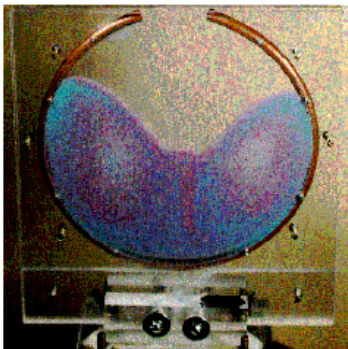
Rysunek: Profil prędkości w ruchu konwekcyjnym dla trzech różnych szerokości naczyń.

Konwekcja granularna



Rysunek: W zależności od kształtu naczynia, konwekcja może mieć różny kierunek. Za [4].

Konwekcja granularna - odwrócone komórki



Rysunek: Odwrócony kierunek konwekcji w naczyniu o zakrzywionych ściankach.

Temperatura granularna

Pomysł opiera się na wprowadzeniu temperatury, będącej wyrazem średniej energii kinetycznej cząstek:

$$T_{x,y} = \frac{1}{2} \langle v_{x,y}^2 \rangle$$

- Opis dla układów „upłynnionych” (*fluidized*). Niekiedy mówi się o „ziarnistym gazie” (*granular gas*).
- Temperatura materii ziarnistej nie ma sensu termodynamicznego, nie jest parametrem rozkładu prędkości ziaren.

Pomysł opiera się na wprowadzeniu temperatury, będącej wyrazem średniej energii kinetycznej cząstek:

$$T_{x,y} = \frac{1}{2} \langle v_{x,y}^2 \rangle$$

- Opis dla układów „upłynnionych” (*fluidized*). Niekiedy mówi się o „ziarnistym gazie” (*granular gas*).
- Temperatura materii ziarnistej nie ma sensu termodynamicznego, nie jest parametrem rozkładu prędkości ziaren.

Pomysł opiera się na wprowadzeniu temperatury, będącej wyrazem średniej energii kinetycznej cząstek:

$$T_{x,y} = \frac{1}{2} \langle v_{x,y}^2 \rangle$$

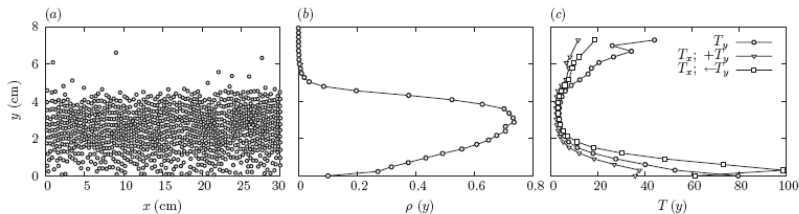
- Opis dla układów „upłynnionych” (*fluidized*). Niekiedy mówi się o „ziarnistym gazie” (*granular gas*).
- Temperatura materii ziarnistej nie ma sensu termodynamicznego, nie jest parametrem rozkładu prędkości ziaren.

Pomysł opiera się na wprowadzeniu temperatury, będącej wyrazem średniej energii kinetycznej cząstek:

$$T_{x,y} = \frac{1}{2} \langle v_{x,y}^2 \rangle$$

- Opis dla układów „upłynnionych” (*fluidized*). Niekiedy mówi się o „ziarnistym gazie” (*granular gas*).
- Temperatura materii ziarnistej nie ma sensu termodynamicznego, nie jest parametrem rozkładu prędkości ziaren.

Temperatura granularna – anizotropia



Rysunek: Wyniki eksperymentu: b) profil gęstości (number density) c) profil temperatury.

Rozumowanie z artykułu Honga, Ludinga, Quinna (2001) [2].
Rozpatrzmy układ **jednakowych twardych kul** o masach m i średnicach d w pojemniku. Początkowa głębokość (mierzona w jednostkach d) wynosi μ .

Założenia

- 1 W mieszaninie kul dwóch rodzajów (A i B) kule oddziałują tylko z kulami swojego rodzaju (tj. nie ma oddziaływań $A - B$).
- 2 Występuje ekwipartycja energii.
- 3 Istnieje temperatura krytyczna T_c , poniżej której układ jednakowych twardych kul podlega „kondensacji” pod wpływem grawitacji. Na wartość tej temperatury nie wpływa obecność innych składników mieszaniny.
- 4 Zakładamy przestrzennie jednorodny rozkład temperatury!

Rozumowanie z artykułu Honga, Ludinga, Quinna (2001) [2].
Rozpatrzmy układ **jednakowych twardych kul** o masach m i średnicach d w pojemniku. Początkowa głębokość (mierzona w jednostkach d) wynosi μ .

Założenia

- 1 W mieszaninie kul dwóch rodzajów (A i B) kule oddziałują tylko z kulami swojego rodzaju (tj. nie ma oddziaływań $A - B$).
- 2 Występuje ekwipartycja energii.
- 3 Istnieje temperatura krytyczna T_c , poniżej której układ jednakowych twardych kul podlega „kondensacji” pod wpływem grawitacji. Na wartość tej temperatury nie wpływa obecność innych składników mieszaniny.
- 4 Zakładamy przestrzennie jednorodny rozkład temperatury!

Rozumowanie z artykułu Honga, Ludinga, Quinna (2001) [2].
Rozpatrzmy układ **jednakowych twardych kul** o masach m i średnicach d w pojemniku. Początkowa głębokość (mierzona w jednostkach d) wynosi μ .

Założenia

- 1 W mieszaninie kul dwóch rodzajów (A i B) kule oddziałują tylko z kulami swojego rodzaju (tj. nie ma oddziaływań $A - B$).
- 2 Występuje ekwipartycja energii.
- 3 Istnieje temperatura krytyczna T_c , poniżej której układ jednakowych twardych kul podlega „kondensacji” pod wpływem grawitacji. Na wartość tej temperatury nie wpływa obecność innych składników mieszaniny.
- 4 Zakładamy przestrzennie jednorodny rozkład temperatury!

Rozumowanie z artykułu Honga, Ludinga, Quinna (2001) [2].
Rozpatrzmy układ **jednakowych twardych kul** o masach m i średnicach d w pojemniku. Początkowa głębokość (mierzona w jednostkach d) wynosi μ .

Założenia

- 1 W mieszaninie kul dwóch rodzajów (A i B) kule oddziałują tylko z kulami swojego rodzaju (tj. nie ma oddziaływań $A - B$).
- 2 Występuje ekwipartycja energii.
- 3 Istnieje temperatura krytyczna T_c , poniżej której układ jednakowych twardych kul podlega „kondensacji” pod wpływem grawitacji. Na wartość tej temperatury nie wpływa obecność innych składników mieszaniny.
- 4 Zakładamy przestrzennie jednorodny rozkład temperatury!

Rozumowanie z artykułu Honga, Ludinga, Quinna (2001) [2].
Rozpatrzmy układ **jednakowych twardych kul** o masach m i średnicach d w pojemniku. Początkowa głębokość (mierzona w jednostkach d) wynosi μ .

Założenia

- 1 W mieszaninie kul dwóch rodzajów (A i B) kule oddziałują tylko z kulami swojego rodzaju (tj. nie ma oddziaływań $A - B$).
- 2 Występuje ekwipartycja energii.
- 3 Istnieje temperatura krytyczna T_c , poniżej której układ jednakowych twardych kul podlega „kondensacji” pod wpływem grawitacji. Na wartość tej temperatury nie wpływa obecność innych składników mieszaniny.
- 4 Zakładamy przestrzennie jednorodny rozkład temperatury!

Rozumowanie z artykułu Honga, Ludinga, Quinna (2001) [2].
Rozpatrzmy układ **jednakowych twardych kul** o masach m i średnicach d w pojemniku. Początkowa głębokość (mierzona w jednostkach d) wynosi μ .

Założenia

- 1 W mieszaninie kul dwóch rodzajów (A i B) kule oddziałują tylko z kulami swojego rodzaju (tj. nie ma oddziaływań $A - B$).
- 2 Występuje ekwipartycja energii.
- 3 Istnieje temperatura krytyczna T_c , poniżej której układ jednakowych twardych kul podlega „kondensacji” pod wpływem grawitacji. Na wartość tej temperatury nie wpływa obecność innych składników mieszaniny.
- 4 Zakładamy przestrzennie jednorodny rozkład temperatury!

Rozumowanie z artykułu Honga, Ludinga, Quinna (2001) [2].
Rozpatrzmy układ **jednakowych twardych kul** o masach m i średnicach d w pojemniku. Początkowa głębokość (mierzona w jednostkach d) wynosi μ .

Założenia

- 1 W mieszaninie kul dwóch rodzajów (A i B) kule oddziałują tylko z kulami swojego rodzaju (tj. nie ma oddziaływań $A - B$).
- 2 Występuje ekwipartycja energii.
- 3 Istnieje temperatura krytyczna T_c , poniżej której układ jednakowych twardych kul podlega „kondensacji” pod wpływem grawitacji. Na wartość tej temperatury nie wpływa obecność innych składników mieszaniny.
- 4 Zakładamy przestrzennie jednorodny rozkład temperatury!

Niech układ będzie w kontakcie z „termostatem” o temperaturze T .

- Nie wypowiadamy się o parametrze Γ ! Nie mówimy nic o częstotliwości i amplitudzie, ani nawet o rodzaju pobudzenia.
- Nie mówimy o strumieniu energii przekazywanym przez wibrującą podstawę.

Niech układ będzie w kontakcie z „termostatem” o temperaturze T .

- Nie wypowiadamy się o parametrze Γ ! Nie mówimy nic o częstotliwości i amplitudzie, ani nawet o rodzaju pobudzenia.
- Nie mówimy o strumieniu energii przekazywanym przez wibrującą podstawę.

Niech układ będzie w kontakcie z „termostatem” o temperaturze T .

- Nie wypowiadamy się o parametrze Γ ! Nie mówimy nic o częstotliwości i amplitudzie, ani nawet o rodzaju pobudzenia.
- Nie mówimy o strumieniu energii przekazywanym przez wibrującą podstawę.

Niech układ będzie w kontakcie z „termostatem” o temperaturze T .

- Nie wypowiadamy się o parametrze Γ ! Nie mówimy nic o częstotliwości i amplitudzie, ani nawet o rodzaju pobudzenia.
- Nie mówimy o strumieniu energii przekazywanym przez wibrującą podstawę.

Jednakowe kule

Możemy w przypadku 3-wymiarowym ustalić grubość warstwy upłynnionej (*fluidized*) jako Δh przez znalezienie energii potencjalnej odpowiadającej określonej energii kinetycznej:

$$\frac{m\langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2}T \approx mgd\Delta h$$

Możemy zapytać, kiedy układ jest całkowicie upłynniony, tj. $\Delta h = \mu$, otrzymując:

$$T_c = mgd \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1)$$

μ_0 - pewna stała, zależna od wymiaru przestrzeni i struktury upakowania. [3]

Dla $T > T_c$, układ jest „płynny” i nie ma cząstek „stałych”.

Dla $T < T_c$ pewien ułamek cząstek „kondensuje” i zbiera się przy dnie. Faza „stała” oznacza, że każda cząstka fluktuuje wokół pewnego ustalonego punktu i nie może zamienić położenia swojego środka masy z sąsiednimi cząstkami.

Jednakowe kule

Możemy w przypadku 3-wymiarowym ustalić grubość warstwy upłynnionej (*fluidized*) jako Δh przez znalezienie energii potencjalnej odpowiadającej określonej energii kinetycznej:

$$\frac{m\langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2}T \approx mgd\Delta h$$

Możemy zapytać, kiedy układ jest całkowicie upłynniony, tj. $\Delta h = \mu$, otrzymując:

$$T_c = mgd \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1)$$

μ_0 - pewna stała, zależna od wymiaru przestrzeni i struktury upakowania. [3]

Dla $T > T_c$, układ jest „płynny” i nie ma cząstek „stałych”.

Dla $T < T_c$ pewien ułamek cząstek „kondensuje” i zbiera się przy dnie. Faza „stała” oznacza, że każda cząstka fluktuuje wokół pewnego ustalonego punktu i nie może zamienić położenia swojego środka masy z sąsiednimi cząstkami.

Jednakowe kule

Możemy w przypadku 3-wymiarowym ustalić grubość warstwy upłynnionej (*fluidized*) jako Δh przez znalezienie energii potencjalnej odpowiadającej określonej energii kinetycznej:

$$\frac{m\langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2}T \approx mgd\Delta h$$

Możemy zapytać, kiedy układ jest całkowicie upłynniony, tj. $\Delta h = \mu$, otrzymując:

$$T_c = mgd \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1)$$

μ_0 - pewna stała, zależna od wymiaru przestrzeni i struktury upakowania. [3]

Dla $T > T_c$, układ jest „płynny” i nie ma cząstek „stałych”.

Dla $T < T_c$ pewien ułamek cząstek „kondensuje” i zbiera się przy dnie. Faza „stała” oznacza, że każda cząstka fluktuuje wokół pewnego ustalonego punktu i nie może zamienić położenia swojego środka masy z sąsiednimi cząstkami.

Jednakowe kule

Możemy w przypadku 3-wymiarowym ustalić grubość warstwy upłynnionej (*fluidized*) jako Δh przez znalezienie energii potencjalnej odpowiadającej określonej energii kinetycznej:

$$\frac{m\langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2}T \approx mgd\Delta h$$

Możemy zapytać, kiedy układ jest całkowicie upłynniony, tj. $\Delta h = \mu$, otrzymując:

$$T_c = mgd \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1)$$

μ_0 - pewna stała, zależna od wymiaru przestrzeni i struktury upakowania. [3]

Dla $T > T_c$, układ jest „płynny” i nie ma cząstek „stałych”.

Dla $T < T_c$ pewien ułamek cząstek „kondensuje” i zbiera się przy dnie. Faza „stała” oznacza, że każda cząstka fluktuuje wokół pewnego ustalonego punktu i nie może zamienić położenia swojego środka masy z sąsiednimi cząstkami.

Możemy w przypadku 3-wymiarowym ustalić grubość warstwy upłynnionej (*fluidized*) jako Δh przez znalezienie energii potencjalnej odpowiadającej określonej energii kinetycznej:

$$\frac{m\langle v^2 \rangle}{2} = \frac{3}{2}T \approx mgd\Delta h$$

Możemy zapytać, kiedy układ jest całkowicie upłynniony, tj. $\Delta h = \mu$, otrzymując:

$$T_c = mgd \frac{\mu}{\mu_0} \quad (1)$$

μ_0 - pewna stała, zależna od wymiaru przestrzeni i struktury upakowania. [3]

Dla $T > T_c$, układ jest „płynny” i nie ma cząstek „stałych”.

Dla $T < T_c$ pewien ułamek cząstek „kondensuje” i zbiera się przy dnie. Faza „stała” oznacza, że każda cząstka fluktuuje wokół pewnego ustalonego punktu i nie może zamienić położenia swojego środka masy z sąsiednimi cząstkami.

Mieszanina dwuskładnikowa

Rozpatrzmy teraz mieszaninę dwuskładnikową kul A i B o masach m_A i m_B i średnicach d_A i d_B . Niech początkowe głębokości warstw cząstek wynoszą μ_A i μ_B . Większe cząstki oznaczmy przez A .

Zakładając, że cząstki typu A nie oddziałują z cząstkami B i obecność innych cząstek nie wpływa na wartość $(T_c)_i$, znajdujemy stosunek temperatur krytycznych z równania (1):

$$\epsilon_{kond} = \frac{T_c(A)}{T_c(B)} = \frac{m_A d_A \mu_A}{m_B d_B \mu_B} \quad (2)$$

Jest to parametr kontrolujący intensywność kondensacji.

Przypadek 1 $\epsilon_{kond} < 1$ - mniejsze cząstki kondensują na dno. BNE.

Przypadek 2 $\epsilon_{kond} > 1$ - większe cząstki kondensują na dno. RBNE.

Mieszanina dwuskładnikowa

Rozpatrzmy teraz mieszaninę dwuskładnikową kul A i B o masach m_A i m_B i średnicach d_A i d_B . Niech początkowe głębokości warstw cząstek wynoszą μ_A i μ_B . Większe cząstki oznaczmy przez A .

Zakładając, że cząstki typu A nie oddziałują z cząstkami B i obecność innych cząstek nie wpływa na wartość $(T_c)_i$, znajdujemy stosunek temperatur krytycznych z równania (1):

$$\epsilon_{kond} = \frac{T_c(A)}{T_c(B)} = \frac{m_A d_A \mu_A}{m_B d_B \mu_B} \quad (2)$$

Jest to parametr kontrolujący intensywność kondensacji.

Przypadek 1 $\epsilon_{kond} < 1$ - mniejsze cząstki kondensują na dno.
BNE.

Przypadek 2 $\epsilon_{kond} > 1$ - większe cząstki kondensują na dno.
RBNE.

Mieszanina dwuskładnikowa

Rozpatrzmy teraz mieszaninę dwuskładnikową kul A i B o masach m_A i m_B i średnicach d_A i d_B . Niech początkowe głębokości warstw cząstek wynoszą μ_A i μ_B . Większe cząstki oznaczmy przez A .

Zakładając, że cząstki typu A nie oddziałują z cząstkami B i obecność innych cząstek nie wpływa na wartość $(T_c)_i$, znajdujemy stosunek temperatur krytycznych z równania (1):

$$\epsilon_{kond} = \frac{T_c(A)}{T_c(B)} = \frac{m_A d_A \mu_A}{m_B d_B \mu_B} \quad (2)$$

Jest to parametr kontrolujący intensywność kondensacji.

Przypadek 1 $\epsilon_{kond} < 1$ - mniejsze cząstki kondensują na dno. BNE.

Przypadek 2 $\epsilon_{kond} > 1$ - większe cząstki kondensują na dno. RBNE.

Rozpatrzmy teraz mieszaninę dwuskładnikową kul A i B o masach m_A i m_B i średnicach d_A i d_B . Niech początkowe głębokości warstw cząstek wynoszą μ_A i μ_B . Większe cząstki oznaczmy przez A .

Zakładając, że cząstki typu A nie oddziałują z cząstkami B i obecność innych cząstek nie wpływa na wartość $(T_c)_i$, znajdujemy stosunek temperatur krytycznych z równania (1):

$$\epsilon_{kond} = \frac{T_c(A)}{T_c(B)} = \frac{m_A d_A \mu_A}{m_B d_B \mu_B} \quad (2)$$

Jest to parametr kontrolujący intensywność kondensacji.

Przypadek 1 $\epsilon_{kond} < 1$ - mniejsze cząstki kondensują na dno.
BNE.

Przypadek 2 $\epsilon_{kond} > 1$ - większe cząstki kondensują na dno.
RBNE.

Rozpatrzmy teraz mieszaninę dwuskładnikową kul A i B o masach m_A i m_B i średnicach d_A i d_B . Niech początkowe głębokości warstw cząstek wynoszą μ_A i μ_B . Większe cząstki oznaczmy przez A .

Zakładając, że cząstki typu A nie oddziałują z cząstkami B i obecność innych cząstek nie wpływa na wartość $(T_c)_i$, znajdujemy stosunek temperatur krytycznych z równania (1):

$$\epsilon_{kond} = \frac{T_c(A)}{T_c(B)} = \frac{m_A d_A \mu_A}{m_B d_B \mu_B} \quad (2)$$

Jest to parametr kontrolujący intensywność kondensacji.

Przypadek 1 $\epsilon_{kond} < 1$ - mniejsze cząstki kondensują na dno.
BNE.

Przypadek 2 $\epsilon_{kond} > 1$ - większe cząstki kondensują na dno.
RBNE.

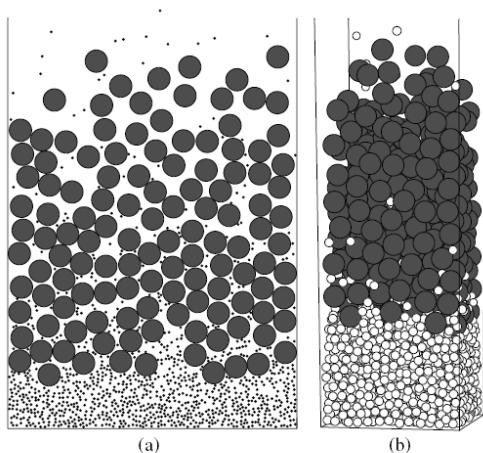


FIG. 1. Brazil nut problem in 2D (a) and 3D (b). Particles with the larger diameter rise to the top. Note that $T_c(B) < T < T_c(A)$ and percolation overrides the condensation effect.

Rysunek: Wynik symulacji [2] w przypadku 1.

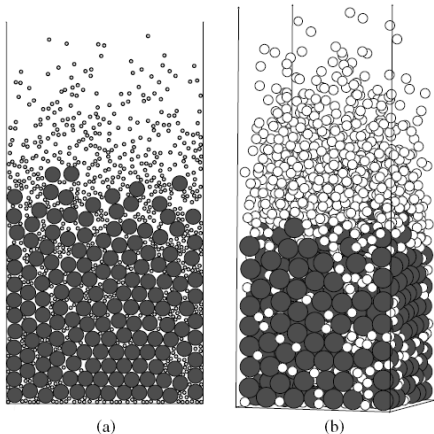


FIG. 3. (a) RBNP along path 1 in 2D. Particles with the larger diameter sink to the bottom. The mass ratio is the same as in Fig. 1a, but the diameter ratio decreased to $d_A/d_B = 2$. (b) RBNP along path 2 in 3D. The diameter ratio is the same as in Fig. 1b, but the mass ratio is increased to $m_A/m_B = 6$.

Rysunek: Wynik symulacji [2] w przypadku 2.

Kiedy efekt odwrotny? Kryterium.

Perkolacja, mechanizm przesiewania. Wpływ tego czynnika określa stosunek objętości kul, zatem:

$$\epsilon_{vf} = \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^3 \quad (3)$$

Hipoteza

Przejęcie pomiędzy BNE a efektem odwrotnym (Reversed BNE, RBNE) opiera się na rywalizacji dwóch czynników: przesiewania (percolation) i kondensacji.

Kiedy efekt odwrotny? Kryterium.

Perkolacja, mechanizm przesiewania. Wpływ tego czynnika określa stosunek objętości kul, zatem:

$$\epsilon_{vf} = \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^3 \quad (3)$$

Hipoteza

Przejęcie pomiędzy BNE a efektem odwrotnym (Reversed BNE, RBNE) opiera się na rywalizacji dwóch czynników: przesiewania (percolation) i kondensacji.

Kiedy efekt odwrotny? Kryterium.

Perkolacja, mechanizm przesiewania. Wpływ tego czynnika określa stosunek objętości kul, zatem:

$$\epsilon_{vf} = \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^3 \quad (3)$$

Hipoteza

Przejście pomiędzy BNE a efektem odwrotnym (Reversed BNE, RBNE) opiera się na rywalizacji dwóch czynników: przesiewania (percolation) i kondensacji.

Autorzy pracy badają szczególny przypadek $\mu_A = \mu_B$. Wówczas:

Kryterium

W pracy [5] pokazano, że parametrem opisującym intensywność przesiewania jest $\epsilon_{vf} = \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^3$. Przyrównanie parametrów opisujących intensywność przesiewania i kondensacji ($\epsilon_{kond} = \epsilon_{vf}$) daje kryterium:

$$\left(\frac{d_A}{d_B}\right)^2 \approx \frac{m_A}{m_B} \quad (4)$$

Autorzy pracy badają szczególny przypadek $\mu_A = \mu_B$. Wówczas:

Kryterium

W pracy [5] pokazano, że parametrem opisującym intensywność przesiewania jest $\epsilon_{vf} = \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^3$. Przyrównanie parametrów opisujących intensywność przesiewania i kondensacji ($\epsilon_{kond} = \epsilon_{vf}$) daje kryterium:

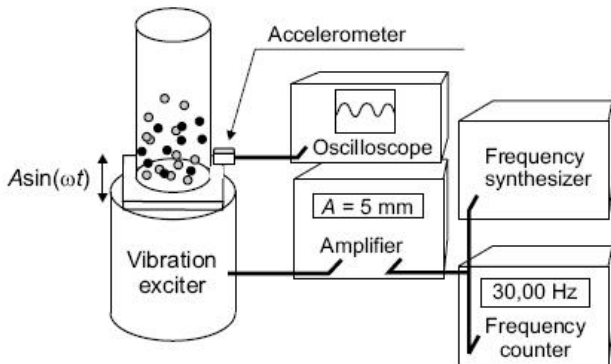
$$\left(\frac{d_A}{d_B}\right)^2 \approx \frac{m_A}{m_B} \quad (4)$$

Autorzy pracy badają szczególny przypadek $\mu_A = \mu_B$. Wówczas:

Kryterium

W pracy [5] pokazano, że parametrem opisującym intensywność przesiewania jest $\epsilon_{vf} = \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^3$. Przyrównanie parametrów opisujących intensywność przesiewania i kondensacji ($\epsilon_{kond} = \epsilon_{vf}$) daje kryterium:

$$\left(\frac{d_A}{d_B}\right)^2 \approx \frac{m_A}{m_B} \quad (4)$$



Rysunek: Wyniki doświadczeń [6] i kryterium Honga [2].

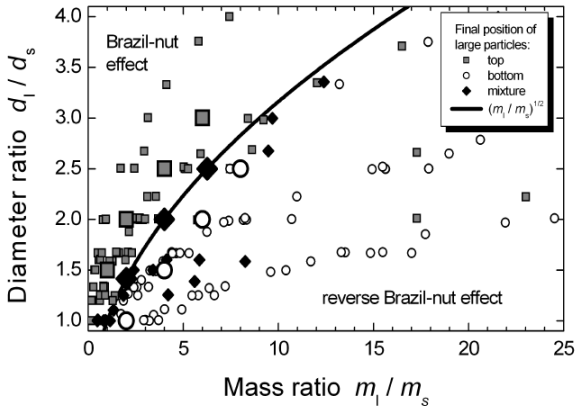


Fig. 8. Phase space for particle properties. The plot shows the regimes where reversed and classical Brazil-nut effects occur depending on the particle properties. Each small symbol represents one of 178 experiments (data taken from [25]). The solid line separating both areas is given by expression (2). The large symbols indicate the prediction of 3D molecular-dynamics simulations performed by Hong *et al.* [21] with up to 3600 particles.

Rysunek: Wyniki doświadczeń [6] i kryterium Honga [2]. *1% eksperymentów potwierdziło przewidywania. W innych przypadkach autorzy twierdzili, że nie było spełnione założenie sprężystości kul.

Komentarz i podsumowanie analizy

- 1 Model uwzględnia dwa mechanizmy przy bardzo radykalnych założeniach.
- 2 Niektóre eksperymenty potwierdzają przewidywania dot. przejścia fazowego (BNE→RBNE).
- 3 Przewidywania tylko dla bardzo specyficznych warunków.
- 4 Nieznany wpływ konwekcji (kiedy się pojawia, kiedy ma znaczenie). Czy odpowiednio duży gradient temperatury materii ziarnistej może wywoływać konwekcję analogicznie do konwekcji Rayleigha-Bénarda w cieczy?
- 5 Zakładamy elastyczność kul. Zatem kule mają tylko translacyjne stopnie swobody. W rzeczywistości: szorstkość i niesprężystość dodają rotacyjne stopnie swobody i wiele nieoczekiwanych efektów (np. arching). Efekt jest dużo bardziej skomplikowany.

Komentarz i podsumowanie analizy

- 1 Model uwzględnia dwa mechanizmy przy bardzo radykalnych założeniach.
- 2 Niektóre eksperymenty potwierdzają przewidywania dot. przejścia fazowego (BNE \rightarrow RBNE).
- 3 Przewidywania tylko dla bardzo specyficznych warunków.
- 4 Nieznany wpływ konwekcji (kiedy się pojawia, kiedy ma znaczenie). Czy odpowiednio duży gradient temperatury materii ziarnistej może wywoływać konwekcję analogicznie do konwekcji Rayleigha-Bénarda w cieczy?
- 5 Zakładamy elastyczność kul. Zatem kule mają tylko translacyjne stopnie swobody. W rzeczywistości: szorstkość i niesprężystość dodają rotacyjne stopnie swobody i wiele nieoczekiwanych efektów (np. arching). Efekt jest dużo bardziej skomplikowany.

Komentarz i podsumowanie analizy

- 1 Model uwzględnia dwa mechanizmy przy bardzo radykalnych założeniach.
- 2 Niektóre eksperymenty potwierdzają przewidywania dot. przejścia fazowego (BNE→RBNE).
- 3 Przewidywania tylko dla bardzo specyficznych warunków.
- 4 Nieznany wpływ konwekcji (kiedy się pojawia, kiedy ma znaczenie). Czy odpowiednio duży gradient temperatury materii ziarnistej może wywoływać konwekcję analogicznie do konwekcji Rayleigha-Bénarda w cieczy?
- 5 Zakładamy elastyczność kul. Zatem kule mają tylko translacyjne stopnie swobody. W rzeczywistości: szorstkość i niesprężystość dodają rotacyjne stopnie swobody i wiele nieoczekiwanych efektów (np. arching). Efekt jest dużo bardziej skomplikowany.

Komentarz i podsumowanie analizy

- 1 Model uwzględnia dwa mechanizmy przy bardzo radykalnych założeniach.
- 2 Niektóre eksperymenty potwierdzają przewidywania dot. przejścia fazowego (BNE \rightarrow RBNE).
- 3 Przewidywania tylko dla bardzo specyficznych warunków.
- 4 Nieznany wpływ konwekcji (kiedy się pojawia, kiedy ma znaczenie). Czy odpowiednio duży gradient temperatury materii ziarnistej może wywoływać konwekcję analogicznie do konwekcji Rayleigha-Bénarda w cieczy?
- 5 Zakładamy elastyczność kul. Zatem kule mają tylko translacyjne stopnie swobody. W rzeczywistości: szorstkość i niesprężystość dodają rotacyjne stopnie swobody i wiele nieoczekiwanych efektów (np. arching). Efekt jest dużo bardziej skomplikowany.

Komentarz i podsumowanie analizy

- 1 Model uwzględnia dwa mechanizmy przy bardzo radykalnych założeniach.
- 2 Niektóre eksperymenty potwierdzają przewidywania dot. przejścia fazowego (BNE \rightarrow RBNE).
- 3 Przewidywania tylko dla bardzo specyficznych warunków.
- 4 Nieznany wpływ konwekcji (kiedy się pojawia, kiedy ma znaczenie). Czy odpowiednio duży gradient temperatury materii ziarnistej może wywoływać konwekcję analogicznie do konwekcji Rayleigha-Bénarda w cieczy?
- 5 Zakładamy elastyczność kul. Zatem kule mają tylko translacyjne stopnie swobody. W rzeczywistości: szorstkość i niesprężystość dodają rotacyjne stopnie swobody i wiele nieoczekiwanych efektów (np. arching). Efekt jest dużo bardziej skomplikowany.

- 1 Model uwzględnia dwa mechanizmy przy bardzo radykalnych założeniach.
- 2 Niektóre eksperymenty potwierdzają przewidywania dot. przejścia fazowego (BNE→RBNE).
- 3 Przewidywania tylko dla bardzo specyficznych warunków.
- 4 Nieznany wpływ konwekcji (kiedy się pojawia, kiedy ma znaczenie). Czy odpowiednio duży gradient temperatury materii ziarnistej może wywoływać konwekcję analogicznie do konwekcji Rayleigha-Bénarda w cieczy?
- 5 Zakładamy elastyczność kul. Zatem kule mają tylko translacyjne stopnie swobody. W rzeczywistości: szorstkość i niesprężystość dodają rotacyjne stopnie swobody i wiele nieoczekiwanych efektów (np. arching). Efekt jest dużo bardziej skomplikowany.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Uplynniony” materiał granularny (Vibro-fluidization).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Uptyniony” materiał granularny (Vibro-fluidization).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Uptyniony” materiał granularny (Vibro-fluidization).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (**lokalny** efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (**globalny** mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.







- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

Bardzo dziękuję dr Szymczakowi i prof. Piaseckiemu za cenne dyskusje.

- 1 Przedstawiony został problem segregacji mieszanin granularnych podczas wstrząsania.
- 2 Mnogość czynników wpływających na efekt!
- 3 Główne mechanizmy i podejścia:
 - Przesiewanie (lokalny efekt geometryczny).
 - Konwekcja granularna (globalny mechanizm ruchu)
 - „Upłynniony” materiał granularny (**Vibro-fluidization**).
 - Temperatura granularna.
- 4 Efekt odwrotny - prosty model i kryterium.
 - Rywalizacja między przesiewaniem a kondensacją.
 - Dość szczególny przypadek, mocne założenia.
- 5 Problem wciąż jest otwarty.

Bardzo dziękuję dr Szymczakowi i prof. Piaseckiemu za cenne dyskusje.

DZIĘKUJĘ ZA UWAGĘ!

-  [1] Kudrolli, *Size separation in vibrated granular matter*, Rep. Prog. Phys. **67**, 209–247 (2004).
-  [2] Hong, Luding, Quinn, *Reverse Brazil Nut Problem: Competition between Percolation and Condensation*, Phys. Rev. Lett. **86**, 15 (2001).
-  [3] Quinn, Hong, *Liquid-solid transition of hard spheres under gravity*, Phys. Rev. E **62**, 6 (2000).
-  [4] Knight, Jaeger, Nagel, *Vibration-Induced Size Separation in Granular Media: The Convection Connection*, Phys. Rev. Lett **70**, 3731 (1993).
-  [5] Rosato et al., *Why the Brazil Nuts Are on Top: Size Segregation of Particulate Matter by Shaking*, Phys. Rev. Lett **58**, 1038 (1987).
-  [6] Kruelle et al., *Phase transitions and segregation phenomena in vibrated granular systems*, Advances in Solid State Physics, **44** , 401 (2004).