

Zrozumienie bimodalnej oscylacji generowania kropli w złączach mikroprzepływowych

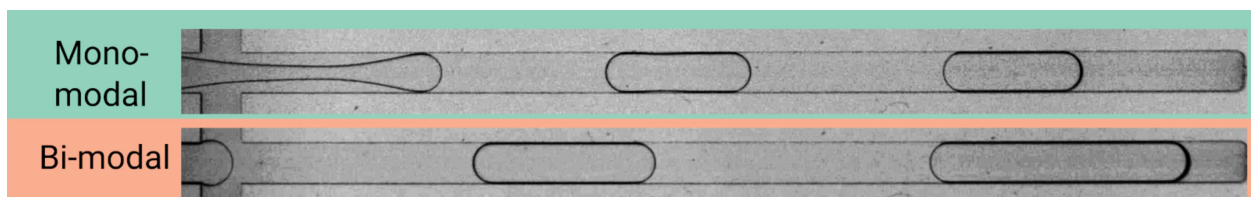
Silnie zwężone systemy wytwarzają uporządkowane przepływy: samochody na uporządkowanych ulicach miast, pociągi w systemie kolejowym i ludzie poruszający się w dobrze zaprojektowanych gminach miejskich. Rozważmy płyn przepływający przez przewód, który jest około dziesięć razy mniejszy niż zwykła słomka. Do wydmuchania płynu potrzebne jest wyższe ciśnienie (miniaturyzacja korka ulicznego), ale przepływy są regularne i przewidywalne ze względu na dominujący efekt ściany i lepkość, miarę oporu płynu. W bardziej złożonych systemach, takich jak przepływ dwóch lub więcej niemieszających się płynów przez połączenie wielu mikrokanalów (złącza mikroprzepływowe), wzorce przepływu wynikające z połączenia mogą się różnić. Niemniej jednak ogólnie przyjmuje się, że wydajność takiego systemu jest stała, o ile dane wejściowe są stałe, np. wytwarzanie monodispersyjnych kropelek ze stałego wkładu dwóch niemieszających się przepływów. Jednak wysoce zwężone systemy mogą również dawać nieoczekiwane wyniki, np. dwa rozmiary kropelek wytwarzane ze stałego wkładu, jak opisano poniżej.

Zaobserwowano, że niewielka modyfikacja złącza mikroprzepływowego była w stanie przełamać przewidywalność lepkiego wzorca przepływu, tak że możliwe jest tworzenie się kropelek z bimodalnymi oscylacjami, wytwarzając dwie różne wielkości kropelek ze stałego wkładu. Odkrycie to zaprzecza powszechnemu paradygmatowi i sprawia, że autor zastanawia się: Jakie warunki są wymagane do takiej oscylacji? Czy dalsza modyfikacja geometrii może wywołać oscylację z więcej niż dwoma trybami (tryb n)? Interakcja między dwoma niemieszającymi się interfejsami cieczy i geometrycznym zwężeniem generuje nieoczekiwane bimodalne tworzenie się kropli, które nie jest w pełni zrozumiałe. Odpowiedzi na powyższe pytania wymagają dalszych badań.

Inne powiązane wstępne odkrycie pokazuje wzrost zakresu natężenia przepływu, w którym generowane są krople, dzięki dodaniu szerszego kanału za złączem. Co ciekawe, dodanie szerszego kanału za złączem przypomina powszechnie stosowane złącze "skupiające przepływ", ale z nieco dłuższym zwężeniem. Jednak wzrost zakresu produkcji kropelek spowodowany dłuższym zwężeniem nie został jeszcze opisany i pozostaje pytaniem, w jaki sposób inny kształt i położenie kanału za złączem może zmienić wynikowy wzór przepływu. Bardziej ogólnym pytaniem jest to, jakie czynniki geometryczne są ważne w promowaniu generowania kropli i jak te geometrie różnią się od powszechnie stosowanych złączy mikroprzepływowych. Dlatego celem tego badania jest zrozumienie bimodalnej oscylacji tworzenia kropli w złączach mikroprzepływowych oraz wpływu różnych ograniczeń geometrycznych na generowane wzorce przepływu.

Odpowiedzi na te pytania zostaną udzielone poprzez obserwacje eksperymentalne i prace teoretyczne. Eksperymenty zostaną przeprowadzone na zróżnicowanym zestawie złączy mikroprzepływowych, o różnej geometrii i szerokim zakresie rozmiarów kanałów - od milimetrów do mikrometrów. Różne pary cieczy i szeroki zakres warunków przepływu cieczy zostaną wykorzystane do wyjaśnienia wpływu lepkości, napięcia powierzchniowego i zwężenia geometrycznego na tworzenie się kropli. Różne parametry, np. rozmiar kropli, położenie końcówki kropli itp. będą mierzone za pomocą analizy obrazu. Prace teoretyczne mają na celu ustalenie zależności między zmierzonymi parametrami, warunkami przepływu i aspektami geometrycznymi złącza mikroprzepływowego. Uzyskane wyniki teoretyczne zostaną zweryfikowane za pomocą pomiarów eksperymentalnych.

Zrozumienie uzyskane w wyniku tego badania ma duże znaczenie, ponieważ może pomóc użytkownikom w określeniu optymalnego złącza mikroprzepływowego dla ich wymagań i potencjalnie otworzyć drzwi do nowych zastosowań. Na przykład, bimodalny generator kropelek umożliwi przestrzenno-czasową kontrolę generowania kropelek o dwóch rozmiarach bez dodatkowych aktywnych elementów sterujących. Wytwarzanie kropelek o podwójnej wielkości może natychmiast przynieść korzyści w badaniach nad analizą pojedynczych komórek, tj. umożliwi analizę pojedynczych komórek w dwóch rozmiarach kropli jednocześnie.



Obrazy eksperymentalne pokazujące tworzenie kropli w złączu mikroprzepływowym typu "cross-junction". Góra: formowanie kropli w trybie monomodalnym, który wytwarza krople o jednym rozmiarze. Dół: bimodalne formowanie kropli, z wynikowymi dwoma różnymi rozmiarami kropli. Powszechnie uważa się, że w tak prostych układach może występować tylko oscylacja w jednym trybie generowania kropli. Jednak wstępne wyniki pokazują, że może występować oscylacja w wielu trybach, która pozwala na wytwarzanie kropelek o różnych rozmiarach.