

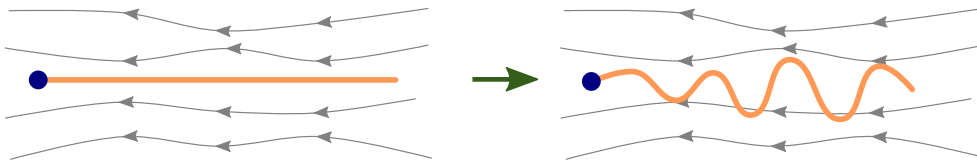
Dynamiczne deformacje sprężystych włókien w lepkich cieczach

Popularnonaukowy opis projektu

Projekt dotyczy ruchu długich i sprężystych włókien w lepkim płynie. Motywacją to tego typu badań są mikroskopowe przykłady tzw. materii miękkiej, w których wydłużone włókniste struktury poruszają się w płynnym środowisku. Przykładami takich układów są helikalne wici bakterii, wici i rzęski eukariotycznych mikroorganizmów, pałeczki wirusów fd, włókna polimerowe, struktury drugorzędowe białek i ich ewolucja oraz zachowanie nici DNA. Wszystkie te struktury wykazują własności elastyczne, co oznacza, że mogą zostać odkształcone (zgięte lub skręcone), oraz że owo odkształcenie powoduje powstanie sprężystych naprężeń, które przeciwstawiają się deformacji i ruchowi. Z drugiej strony, podczas ruchu w lepkiej cieczy ciała te doznają również działania naprężeń hydrodynamicznych ze względu na siły oporu w płynie.

Przepływy cieczy w mikroskali znacznie różnią się od naszego codziennego doświadczenia. Dla danego przepływu, względną wagę efektów inercjalnych do sił lepkościowych określa liczba Reynoldsa. Liczba ta jest bardzo mała kiedy poruszające się w płynie obiekty są bardzo małe i poruszają się powoli. Jednocześnie może ona być mała również dla większych i szybszych obiektów pod warunkiem, że poruszają się one w bardzo lepkim płynie. Dzięki matematycznej analogii wiemy, że przepływy z podobną liczbą Reynoldsa mają podobny charakter. Zatem mikroskopowe obiekty w płynach takich jak woda poruszają się w sposób podobny do tego, jaki w makroskali obserwowalibyśmy w miodzie, glicerynie albo innym bardzo lepkim płynie.

Celem tego projektu jest zrozumienie, w jaki sposób efekty sprężyste i obecność lepkiego płynu kształtują ruch włókna. Kiedy smukłe włókna nie są dość sztywne by wytrzymać duże naprężenia wytworzone przez otaczający je płyn, na przykład poprzez obecność zewnętrznego przepływu, następuje odkształcenie, widoczne na schemacie poniżej. Zgięty kształt jest bardziej korzystny energetycznie, jednak sposób, w jaki ten kształt jest przyjmowany i odkształcenie rośnie, pozostaje mało zrozumiany. Zjawisko to, zwane wyboczeniem, będzie kluczowym przedmiotem zainteresowania w projekcie.



Dynamiczne wyboczenie pojawia się, kiedy włókna są wystawione na działanie zewnętrznego przepływu albo poruszają się w lepkim płynie, a naprężeniom hydrodynamicznym nie mogą przeciwstawić się sprężyste naprężenia ściskające we włóknie, co prowadzi do zależnej od czasu deformacji wyboczeniowej (jak na szkicu). Poprzez połączenie elementów analizy teoretycznej, rozwinięcie i zastosowanie predykcyjnych narzędzi numerycznych oraz weryfikację eksperymentalną, mamy nadzieję odkryć i zbadać ilościowo mechanizmy i efekty dynamicznej niestabilności wyboczeniowej oraz zidentyfikować kluczowe własności układu, które wyznaczają jego ruch. By wypełnić tę lukę, wprowadzimy opis teoretyczny włókien w przepływie, a następnie na ich podstawie stworzymy wszechstronne kody numeryczne do symulacji cienkich włókien w płynie, w obecności dowolnego przepływu zewnętrznego. Narzędzie to zostanie wykorzystane w dwóch układach eksperymentalnych. Pierwszym z nich będzie makroskopowy model długiego włókna, które będzie wprowadzane do pojemnika wypełnionego bardzo lepka cieczą wzdłuż własnej osi. Odkształcenie początkowo prostego włókna będzie nagrane i porównane z wynikami przeprowadzonych symulacji komputerowych. W ten sposób uzyskamy wgląd w dynamikę procesu wyboczenia w przypadku, kiedy precyzyjnie możemy kontrolować ruch włókna. Drugi eksperyment przeprowadzimy w kanale mikrofluidycznym, a zatem w warunkach jak najbardziej zbliżonych do rzeczywistych mikroskalowych włókien. Włókna w kanale mikrofluidycznym będą zawieszane w precyzyjnie kontrolowanym przepływie dzięki wykorzystaniu technik mikroprzepływowych. W ten sposób zbadamy deformacje włókien wywołane przepływem.

Wyniki badań w ramach tego projektu będą miały wkład w zrozumienie mikroskalowych oddziaływań przepływu ze strukturami mechanicznymi. W przeciwieństwie do klasycznych eksperymentów wyboczeniowych (spotykanych na przykład w konstrukcjach budowlanych), mechanizmy wzrostu niestabilności wyboczeniowej w płynie nie były jak dotąd dostatecznie zrozumiane. Spodziewamy się, że wyniki projektu będą pomocne przy projektowaniu układów mikroprzepływowych zawierających mikroskopowe włókna i ułatwią interpretację biofizycznych eksperymentów, których elementami są komórki i mikroorganizmy posiadające ruchome wici i rzęski, które są popularnym i wszechobecnym mechanizmem ruchu w mikroświecie. Ich dynamika jest w dużym stopniu pochodną współzawodniczących efektów sprężystych i hydrodynamicznych, zaś predykcyjne narzędzia wytworzone w tym projekcie będą mogły w przyszłości zostać zastosowane do badania ich złożonego ruchu.