

OPIS POPULARNONAUKOWY

Turbulencja jest powszechnie spotykanym zjawiskiem, zarówno w środowisku naturalnym jak i w zastosowaniach technicznych. Dotyczy to zarówno przepływów geofizycznych (w atmosferze, oceanach, korytach rzek) jak i przepływu wokół skrzydła samolotu czy w instalacjach przemysłowych. Laureat nagrody Nobla w dziedzinie fizyki, Richard Feynman określił turbulencję jako "najważniejszy nierozwiązany problem w klasycznej fizyce". Opis turbulencji jest również uważany za jeden z sześciu najważniejszych i nierozwiązanych problemów w matematyce. Fundamentalnym pytaniem dotyczącym turbulencji jest jej źródło: kiedy i dlaczego turbulencja się pojawia oraz jakie są mechanizmy podtrzymujące ruch turbulentny. Problem przejścia do turbulencji został sformułowany przez Osborna Reynoldsa w XIX wieku [1]. Pomimo ponad stulecia prac badawczych problem ten ciągle pozostaje nierozwiązany.

W porównaniu do uporządkowanego przepływu laminarnego, przepływ turbulentny jest burzliwy, co generuje dodatkowe straty energii w przepływie. Z praktycznego punktu widzenia, światowy sektor transportu jest odpowiedzialny za zużycie około jednej trzeciej całkowitej produkowanej energii, która w zdecydowanej większości pochodzi z paliw kopalnych. Ma to duży wpływ na klimat, bezpieczeństwo energetyczne oraz kwestie związane z ekologią. Z tego powodu problem scharakteryzowania, możliwości przewidzenia czy wreszcie kontroli przejścia do turbulencji jest problemem o najwyższej wadze.

Badanie przejścia do turbulencji jest bardzo trudnym zadaniem. Z eksperymentalnego punktu widzenia, turbulencja unoszona jest ze średnią prędkością przepływu, który wymywa ją z przestrzeni pomiarowej. W rezultacie czas trwania pomiaru jest silnie ograniczony. Dostępne zakresy pomiarowe są zazwyczaj przynajmniej stokrotnie mniejsze od typowego czasu charakteryzującego dynamikę przejścia do turbulencji. Z tego powodu, śledzenie dynamiki turbulencji przez odpowiednio długi czas wymagałoby niespotykanie długiej przestrzeni pomiarowej. Innym możliwym rozwiązaniem jest wygenerowanie przepływu, którego prędkość uśredniona w poprzek przestrzeni pomiarowej jest równa zeru. Przepływ taki pozwala na wygenerowanie struktur turbulentnych, które pozostają stacjonarne w układzie odniesienia laboratorium. W efekcie umożliwia to śledzenie ich dynamiki przez dowolnie długi czas, znacznie dłuższy niż w dotychczas dostępnych instalacjach eksperymentalnych. W ramach projektu planowane jest skonstruowanie nowatorskiej instalacji eksperymentalnej w celu wygenerowania uogólnionego przepływu ścinającego z zerową prędkością średnią. Ponadto, obecne zrozumienie procesu przejścia do turbulencji w ogromnej mierze opiera się na analizie statystycznej [np. 2, 3, 4, 5]. Przyjmując ten punkt widzenia, badania eksperymentalne są najbardziej efektywnym sposobem pozyskania wiarygodnych danych statystycznych dotyczących dynamiki przejścia do turbulencji.

W trakcie projektu przeprowadzone będą wizualizacje przepływów, które umożliwią zlokalizowanie regionów turbulentnych i odróżnienie ich od otaczającego przepływu laminarnego. Umożliwi to statystyczną charakterystykę typowych struktur turbulentnych występujących w procesie przejścia do turbulencji. Zbadana zostanie ich stabilność, co będzie mieć znaczący wpływ na teoretyczne podstawy dotyczące przejścia do turbulencji [6]. Dodatkowo wykorzystana zostanie technika pomiaru pól prędkości (PIV) w celu uzyskania dodatkowych informacji o dynamice struktur turbulentnych. Dotychczas zaobserwowano przepływy o dużych skalach przestrzennych wygenerowanych wokół struktur turbulentnych [7]. W ramach projektu zaplanowano szczegółowe scharakteryzowanie roli przepływu wieloskalowego w przejściu do turbulencji, to jest jego dynamiki oraz przestrzennej struktury oraz wpływu na struktury turbulentne. Ponadto, w zaproponowanej instalacji eksperymentalnej możliwa będzie bezpośrednia regulacja różnicy ciśnienia, co pozwoli scharakteryzować jej wpływ na przejście do turbulencji.

Literatura

- [1] O. Reynolds. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels. *Philos. Trans. R. Soc.*, 174:935–982, 1883.
- [2] S. Bottin, F. Daviaud, P. Manneville, and O. Dauchot. Discontinuous transition to spatiotemporal intermittency in plane Couette flow. *Eur. Phys. Lett.*, 43(2):171, 1998.
- [3] G. Lemoult, L. Shi, K. Avila, S. V. Jalikop, M. Avila, and B. Hof. Directed percolation phase transition to sustained turbulence in Couette flow. *Nature Physics*, 12(3):254–258, 2016.
- [4] C. S. Paranjape. *Onset of turbulence in plane Poiseuille flow*. PhD thesis, IST Austria, 2019.
- [5] S. Gomé, L. S. Tuckerman, and D. Barkley. Statistical transition to turbulence in plane channel flow. *Phys. Rev. Fluids*, 5(8):083905, 2020.
- [6] Y. Pomeau. The long and winding road. *Nature Physics*, 12(3):198–199, 2016.
- [7] Y. Duguet and P. Schlatter. Oblique laminar-turbulent interfaces in plane shear flows. *Phys. Rev. Lett.*, 110(3):034502, 2013.