

# Splątanie kwantowe i jego zastosowania

Wojciech Bruzda, Remigiusz Augusiak



wykład dla studentów Politechniki Warszawskiej  
semestr zimowy 2025/2026

<https://chaos.if.uj.edu.pl/~wojtek/teaching>

w.bruzda@cft.edu.pl

augusiak@cft.edu.pl

# plan

## część pierwsza

- 2025-10-06 formalizm kwantowy,  $\otimes$ , operacje częściowe, puryfikacja, dekompozycja Schmidta ...
- 2025-10-13 ... sfera Blocha, ewolucja unitarna (bramki kwantowe)
- 2025-10-20 pomiar kwantowy: rzutowy, uogólniony  $\rightarrow$  **splątanie kwantowe**
- 2025-10-27 kwantowy obwód, LOCC, No-Cloning Theorem, protokół kwantowej “teleportacji”
- 2025-11-03 kwantowe splątanie wielociałowe, kanał kwantowy, miary splątania ...
- 2025-11-13 ... monogamia splątania, stany  $|W\rangle$ ,  $|GHZ\rangle$
- 2025-11-17 stany absolutnie maksymalnie splątane (AME)
- 2025-11-24 stany grafowe (stany stabilizowane)

# plan

## część druga

- 2025-12-01 kryptografia kwantowa: dystrybucja klucza kwantowego (protokół BB84, gęste kodowanie)
- 2025-12-08 nielokalność kwantowa, nierówności Bella, zbiory korelacji  $\mathcal{L} \subset \mathcal{Q} \subset \mathcal{NS} \dots$
- 2026-12-15 ... łamanie nierówności Bella (CHSH) ...
- 2025-12-22 ... dekompozycja SOS (sum of squares)
- 2026-01-12 certyfikacja kwantowej losowości
- 2026-01-19 samotestowanie jako metoda certyfikacji splątanych stanów kwantowych
- 2026-01-26 odporność na szумы w fizycznej realizacji certyfikacji urządzeń kwantowych

## zasady zaliczenia wykładu

- ▶ uczestnictwo w wykładach: 15 punktów
- ▶ praca domowa: 15 punktów
  - ▶ 3 prace domowe, każda za maks. 5 punktów  
(dopuszczalna punktacja częściowa, np. 0.5 punktu za zadanie częściowo rozwiązane)

minimum **16** punktów  $\implies$  zaliczenie!

skala ocen znajduje się w systemie USOS

wykład: poniedziałki 8<sup>30</sup> – 10<sup>00</sup>, sala #110

## literatura

1. John Watrous, [\(online\) Lecture Notes](#) (2024).
2. Michael Nielsen, Isaac Chuang, [Quantum Computation and Quantum Information](#), Cambridge University Press (2010).
3. Valerio Scarani, [Bell Nonlocality](#), Cambridge University Press (2019).
4. Teiko Heinosaari, Mário Ziman, [The Mathematical Language of Quantum Theory, From Uncertainty to Entanglement](#), Cambridge University Press (2011).

$|\psi\rangle$