

Splątanie kwantowe i jego zastosowania

Wojciech Bruzda, Remigiusz Augusiak



wykład dla studentów Politechniki Warszawskiej
semestr zimowy 2026/2027

<https://wojtek.cft.edu.pl/teaching>

w.bruzda@cft.edu.pl

augusiak@cft.edu.pl

plan

część pierwsza

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

plan c.d.

część druga

- kryptografia kwantowa: dystrybucja klucza kwantowego (protokół BB84, gęste kodowanie)
- nielokalność kwantowa, nierówności Bella, zbiory korelacji $\mathcal{L} \subset \mathcal{Q} \subset \mathcal{NS} \dots$
- ... łamanie nierówności Bella (CHSH) ...
- ... dekompozycja SOS (sum of squares)
- certyfikacja kwantowej losowości
- samotestowanie jako metoda certyfikacji splątanych stanów kwantowych
- odporność na szumy 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 10¹⁵ – 12⁰⁰, sala #309 GF

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).

$$|\psi\rangle$$