

Błędy w grach kwantowych

Jarosław Miszczak, Piotr Gawron
Instytut Informatyki Teoretycznej i Stosowanej,
Polska Akademia Nauk

Jan Sładkowski
Instytut Fizyki, Uniwersytet Śląski w Katowicach

Projekt KBN Nr N519 012 31/1957

Plan wystąpienia

- Motywacja
- Gry wykorzystujące splątanie
- Błędy kwantowe
- Wyniki symulacji
 - Znaczenia splątania
 - Porównanie szumów
- Wnioski
- Dalsze prace

Motywacja

- Modelowanie gier kwantowych w układach fizycznych
- Badanie kanałów kwantowych za pomocą gier
- Badanie splątania w przypadku błędów kwantowych

Gry wykorzystujące splątanie

- Splątanie pozwala na uzyskanie efektów które klasycznie wymagają komunikacji
- Gry takie mogą służyć do testowania poprawności mechaniki kwantowej
- Rozkłady prawdopodobieństw mogą służyć do badania typu szumów

Gra magiczne kwadraty

- Zadanie: dla danych liczb $k, l = 1, 2, 3$, podaj wiersz k i kolumnę l aby suma liczb w wierszu była parzysta a w kolumnie nieparzysta.

- Stan początkowy

$$|0011\rangle + |1100\rangle + |1010\rangle + |0101\rangle$$

- Alice i Bob wykonują jedną z lokalnych operacji w zależności od otrzymanych liczby k i l

Błędy kwantowe

- Reprezentacja Kausa dla superoperatorów

$$E(\rho) = \sum_{k=0}^n X_k \rho X_k^*$$

- Przykładowe błędy

- bit-flip: $\{\sqrt{1-p}I, \sqrt{p}X\}$

- phase-flip: $\{\sqrt{1-p}I, \sqrt{p}Z\}$

- depolaryzacja: $E(\rho) = p\rho + (1-p)I$

$$\left\{ \sqrt{1-p}I, \frac{\sqrt{p}}{2}X, \frac{\sqrt{p}}{2}Y, \frac{\sqrt{p}}{2}Z \right\}$$

Błędy kwantowe – przykład

- Bit-flip – z pewnym prawdopodobieństwem stan zostaje zanegowany

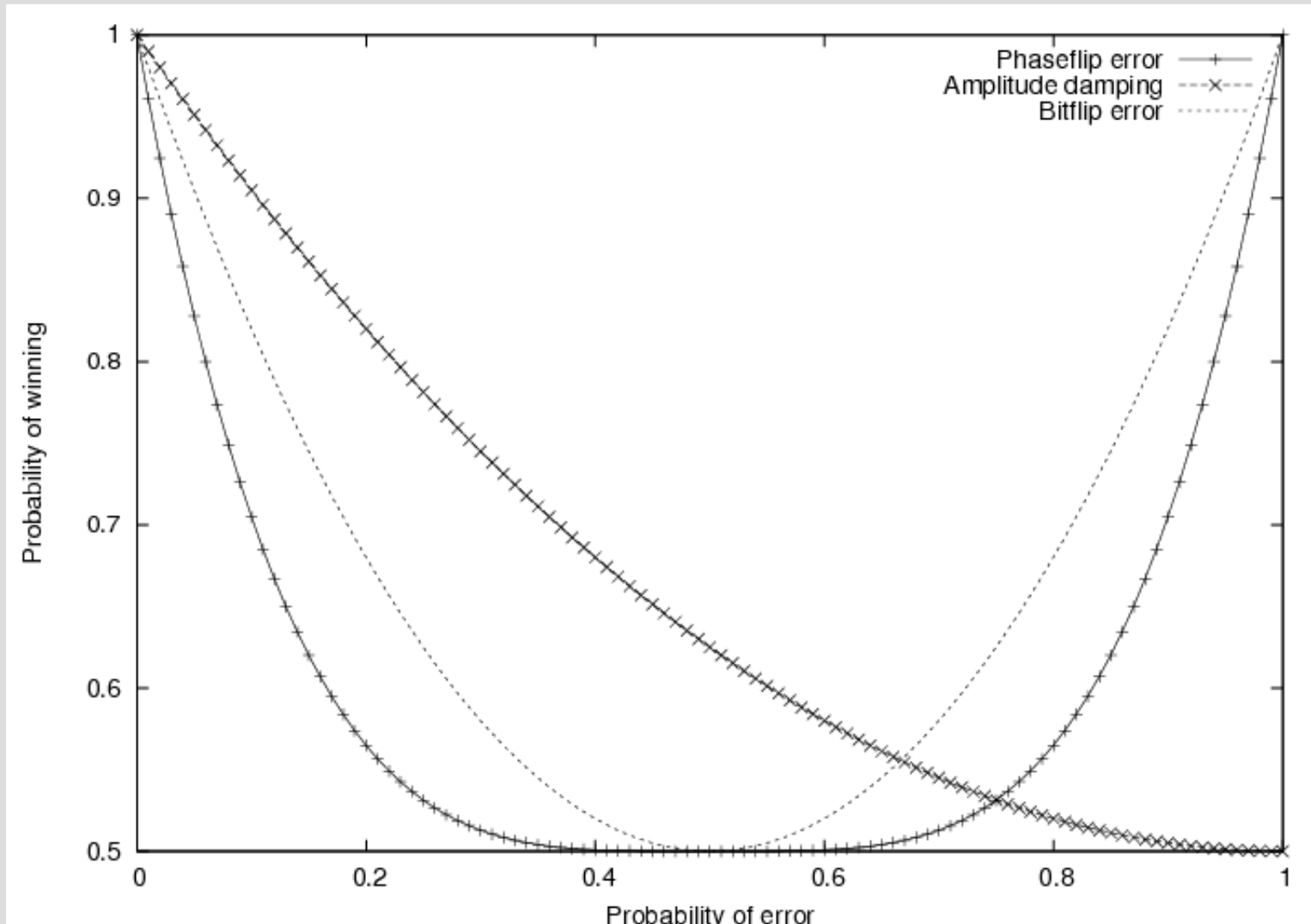
$$E(\rho) = p\rho + (1-p)X\rho X^*$$

- *Amplitude damping* – dochodzi do utraty energii – stany wzbudzone przechodzą do stany podstawowego

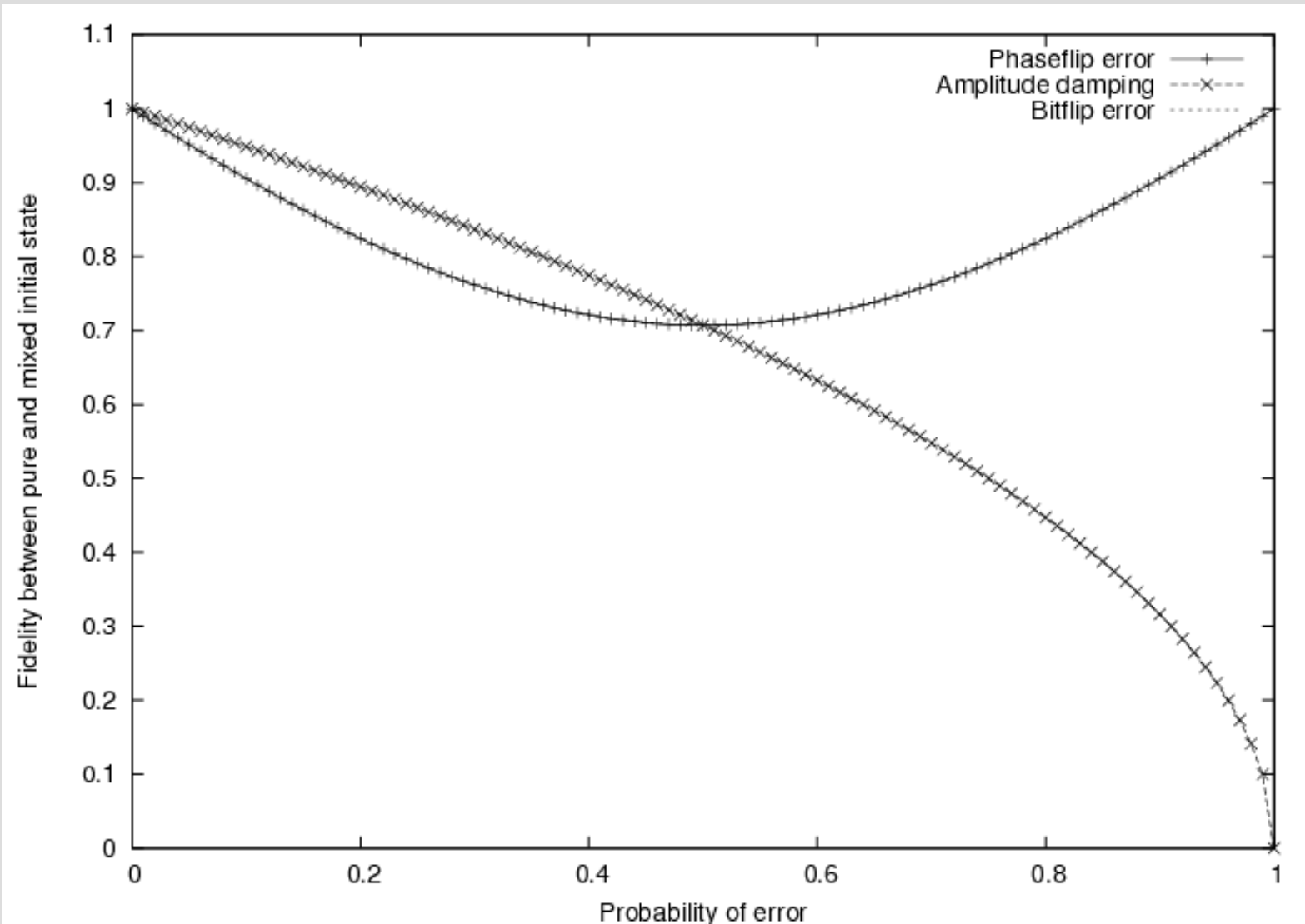
Symulowany układ

- Błąd wprowadzamy przed wykonaniem gry
- Rozpotrywane były tylko podstawowe typy błędów
- Obliczenia wykonane w systemie quantum-octave

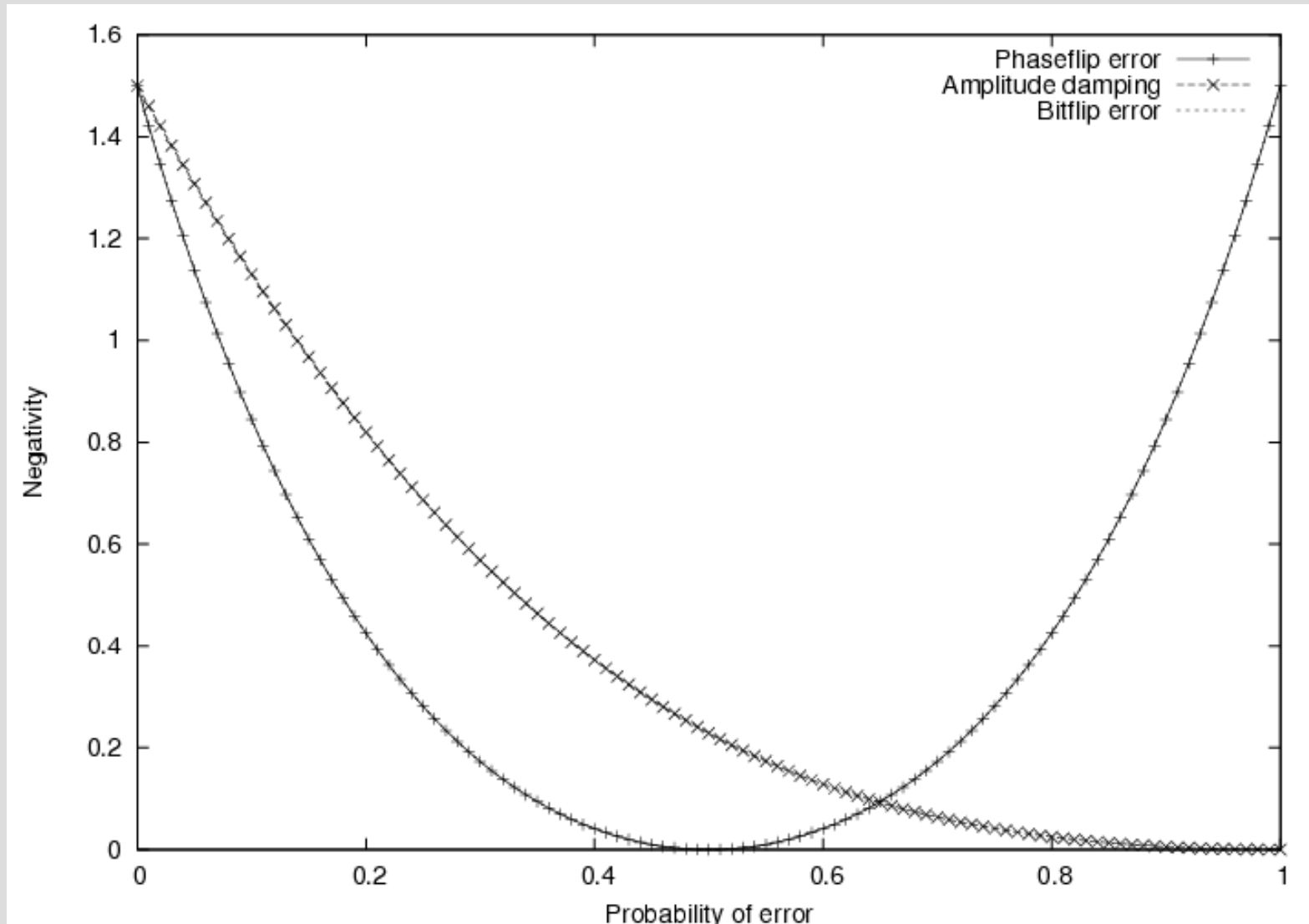
Prawdopodobieństwo wygrania a typ błędu



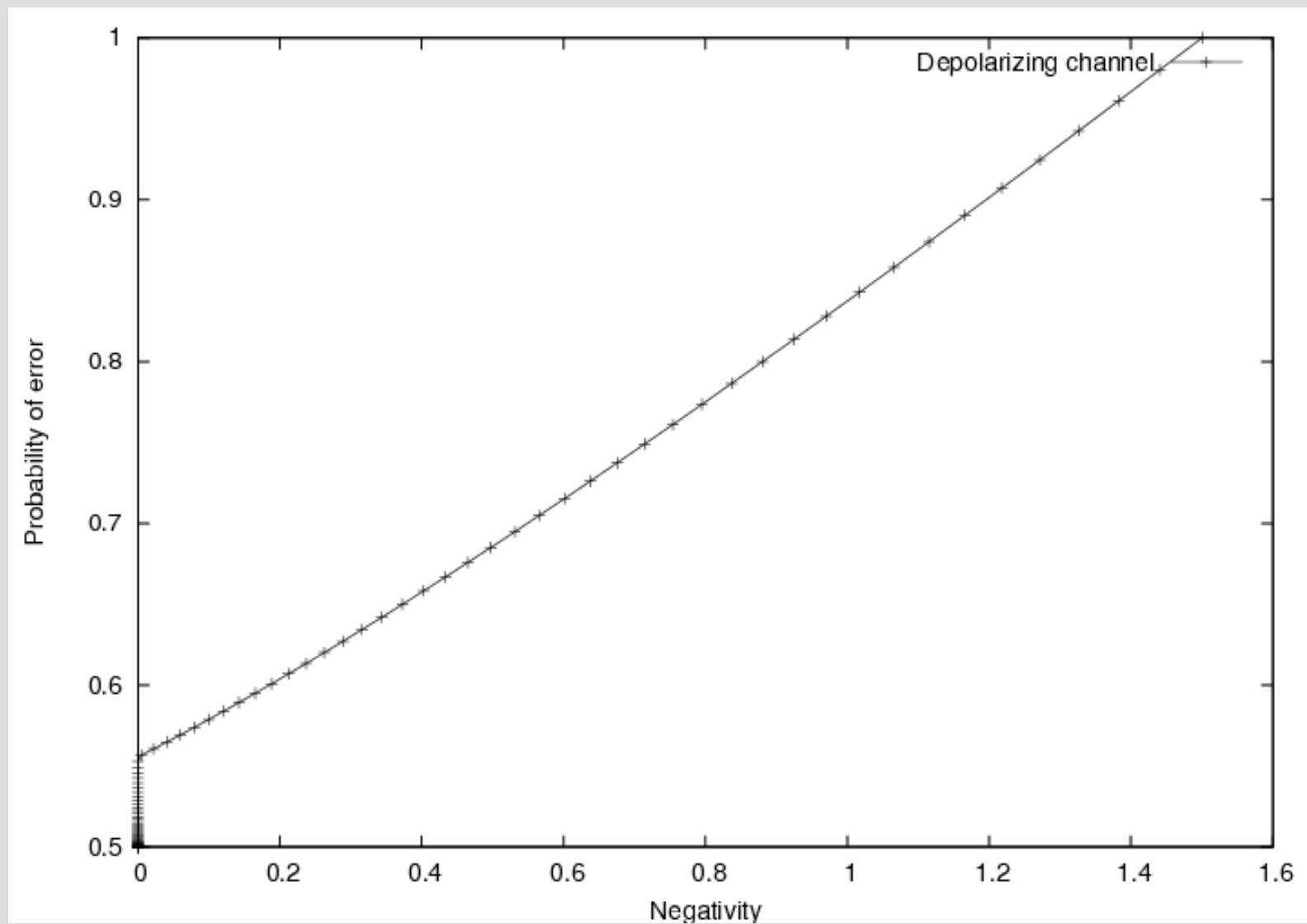
Odległość między stanami



Zależność splątania od typu błędu



Wpływ splątania



Wnioski

- Przebieg funkcji prawdopodobieństwa wygrania jest zależne od typu błędu – można to wykorzystać dla oceny eksperymentów
- Miary splątania (takie jak *negativity*) zeują się dla przypadków nieklasycznych

Dalsze prace

- Implementacja innych gier kwantowych opartych na splątaniu (np. *parity game*)
- Opis błędów dla ewolucji czasowej w kanale z błędami
- Wystąpienie na konferencję *Noise Information & Complexity @ Quantum Scale* (30 czerwiec)

Proszę o pytania