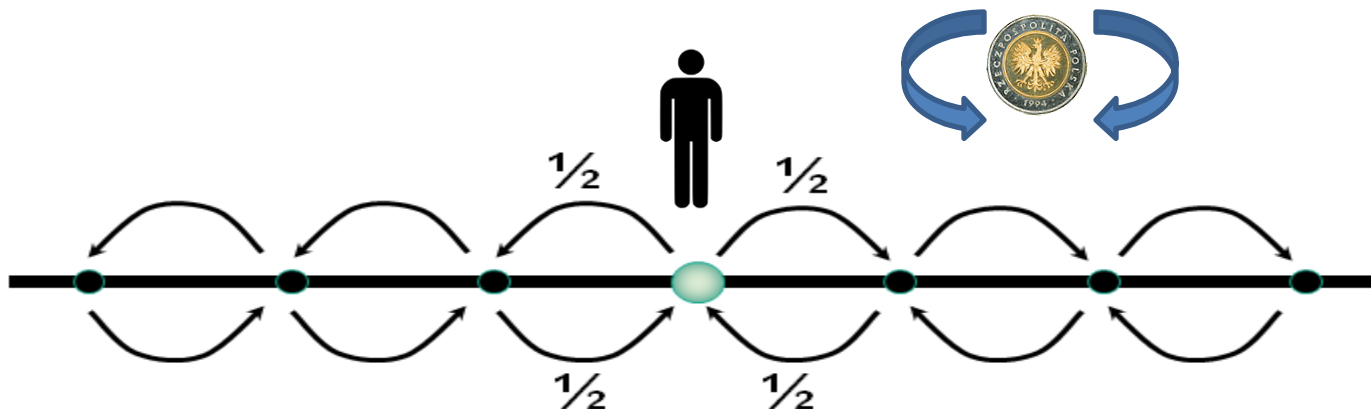


Błądzenie losowe

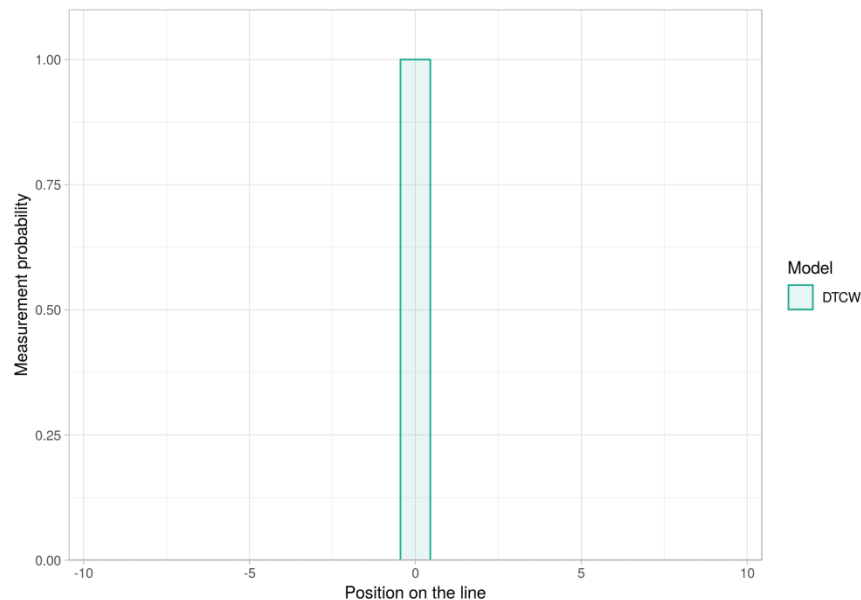
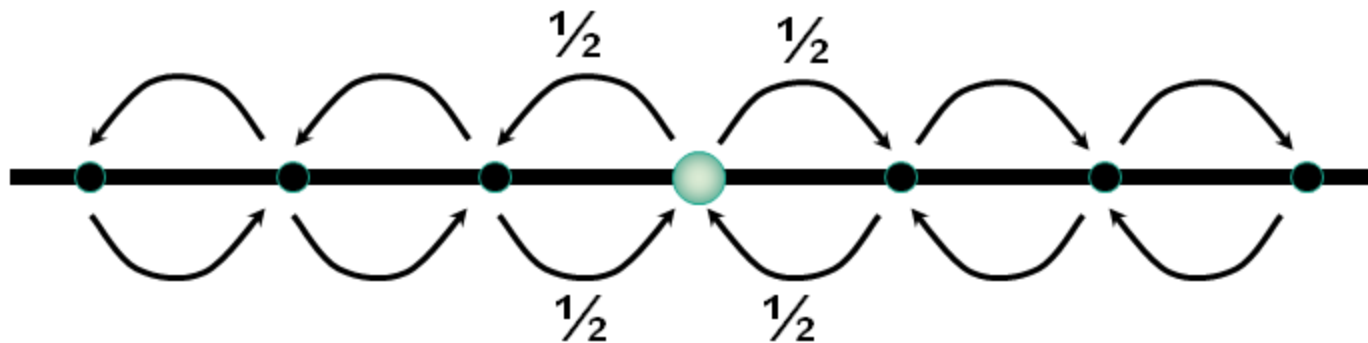
- Matematyczny model ruchu cząstki poruszającej się w danym środowisku w sposób przypadkowy
- Zastosowanie w wielu dziedzinach:
 - fizyka (teorii ruchów Browna, dyfuzja)
 - ekonomia (kursy akcji)
 - matematyka (np. rozwiązywanie równań)
 - informatyka (np. szacowanie rozmiaru Internetu)
 - logistyka (np. obsługa kolejek)
 - hydrologia (np. fluktuacje poziomu wody przy tamach rzecznych)

Szczególny przypadek

- Dyskretny czas
- Długość kroku wędrownika w kolejnych chwilach czasu jest stała
- Wędrownik porusza się w jednym wymiarze po nieskończonej linii
- Wędrownik zaczyna w środku linii i rzuca monetą
- W zależności od wyniku wędrownik porusza się w lewo (gdy wypadła reszka) lub w prawo (gdy wypadł orzeł)



Rozkład prawdopodobieństwa pozycji „wędrownika”

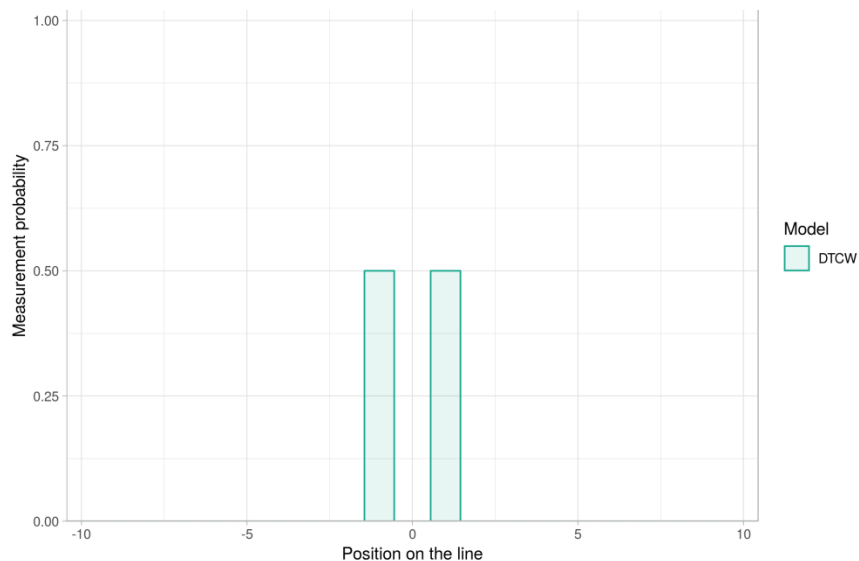
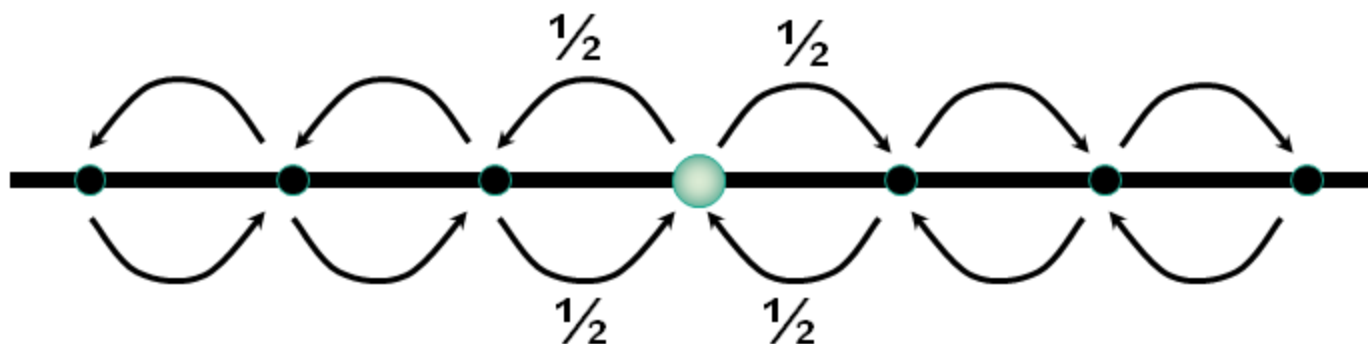


Krok 0

Źródło: seminarium nr 2 (autor M. Krok)

<https://www.informatyka.agh.edu.pl/pl/blog/seminarium-krakow-quantum-informatics/>

Rozkład prawdopodobieństwa pozycji „wędrownika”

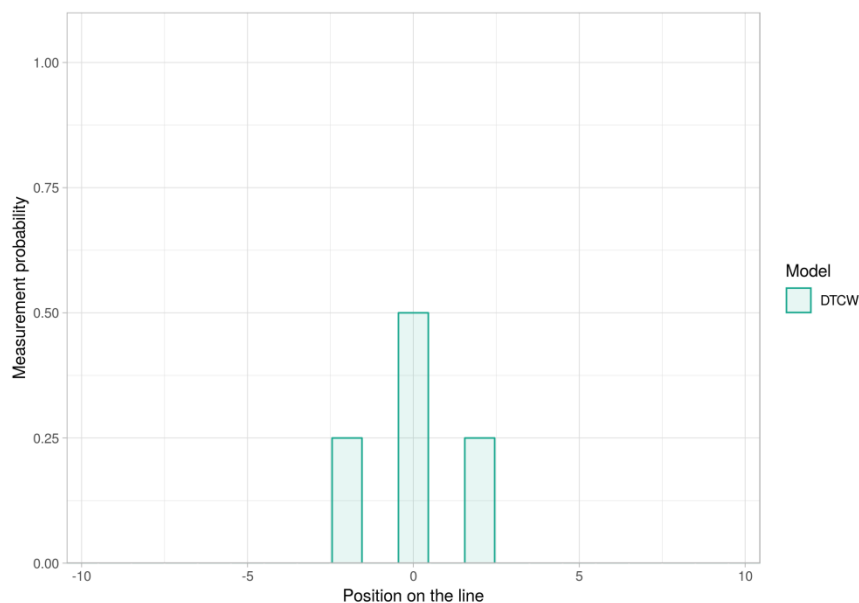
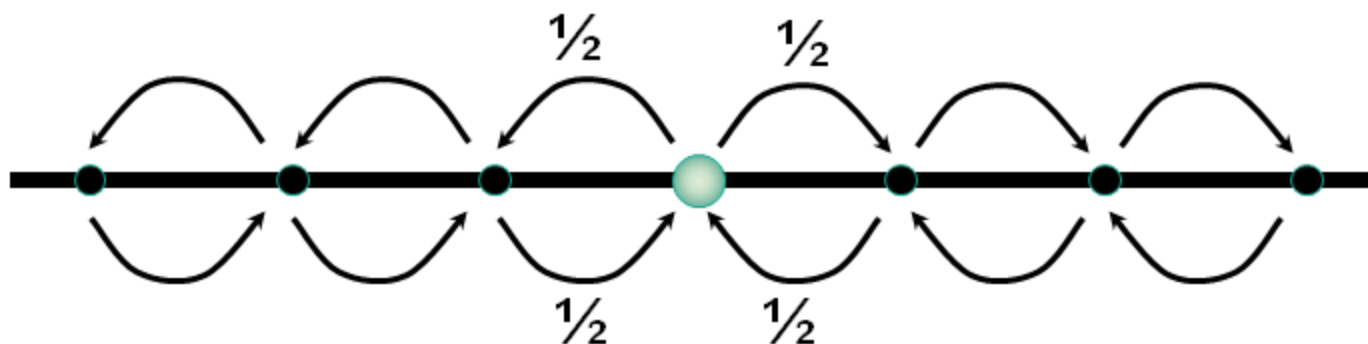


Krok 1

Źródło: seminarium nr 2 (autor M. Krok)

<https://www.informatyka.agh.edu.pl/pl/blog/seminarium-krakow-quantum-informatics/>

Rozkład prawdopodobieństwa pozycji „wędrownika”

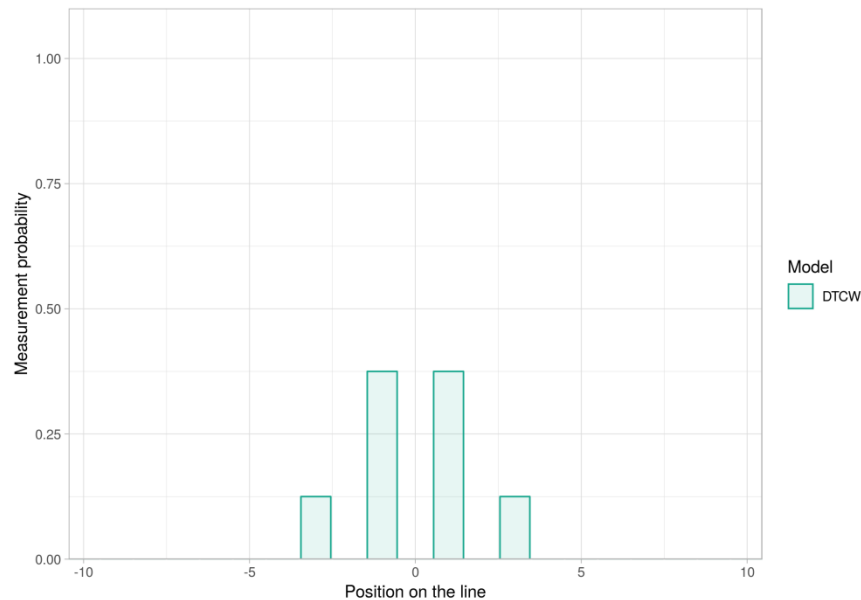
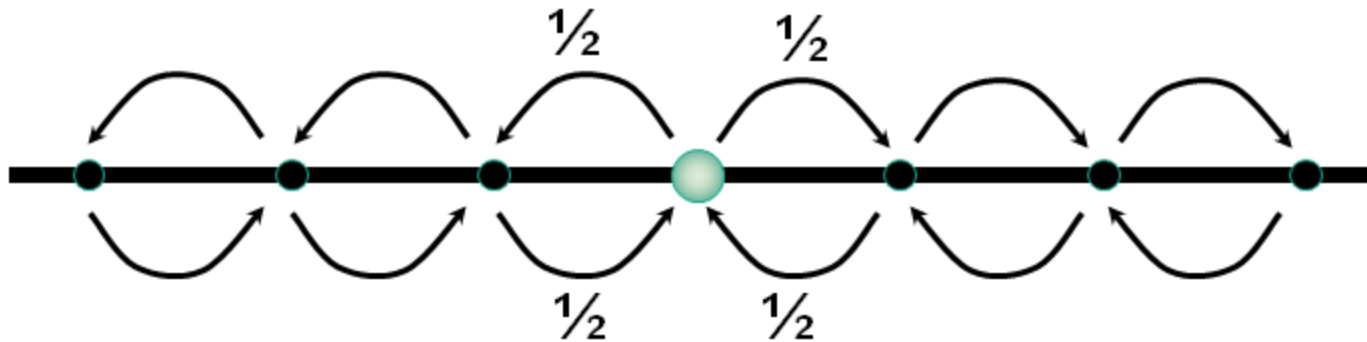


Krok 2

Źródło: seminarium nr 2 (autor M. Krok)

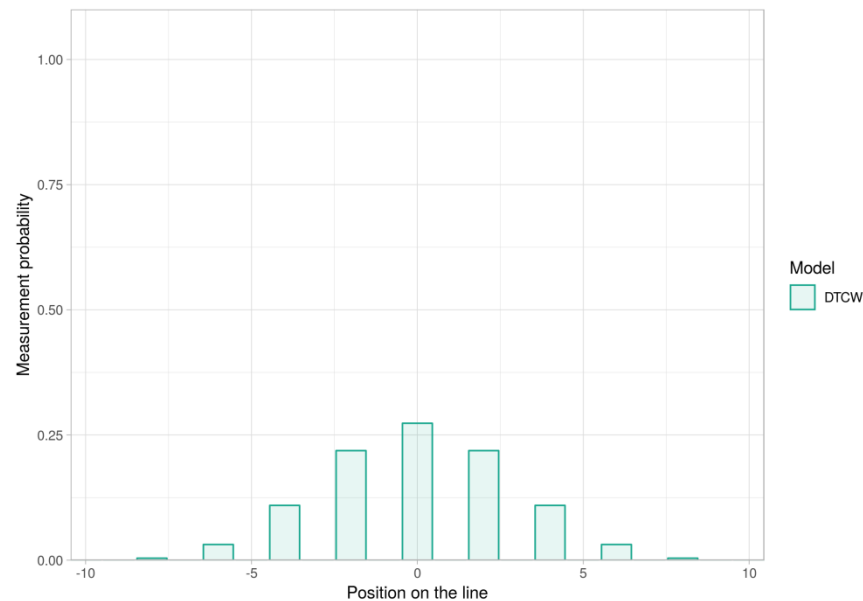
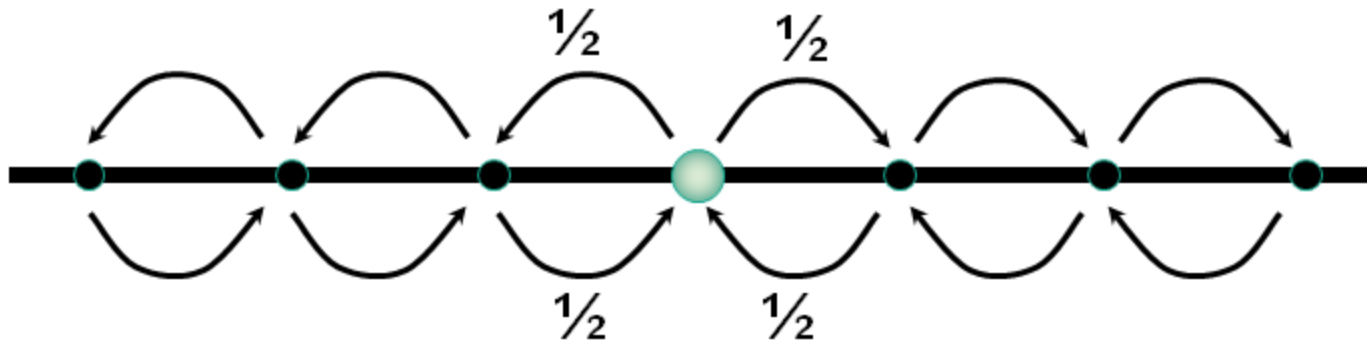
<https://www.informatyka.agh.edu.pl/pl/blog/seminarium-krakow-quantum-informatics/>

Rozkład prawdopodobieństwa pozycji „wędrownika”



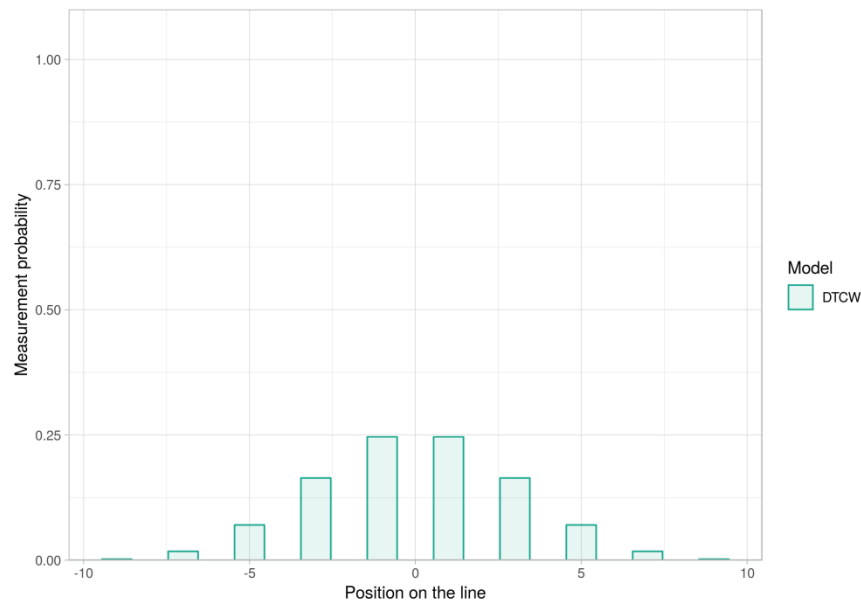
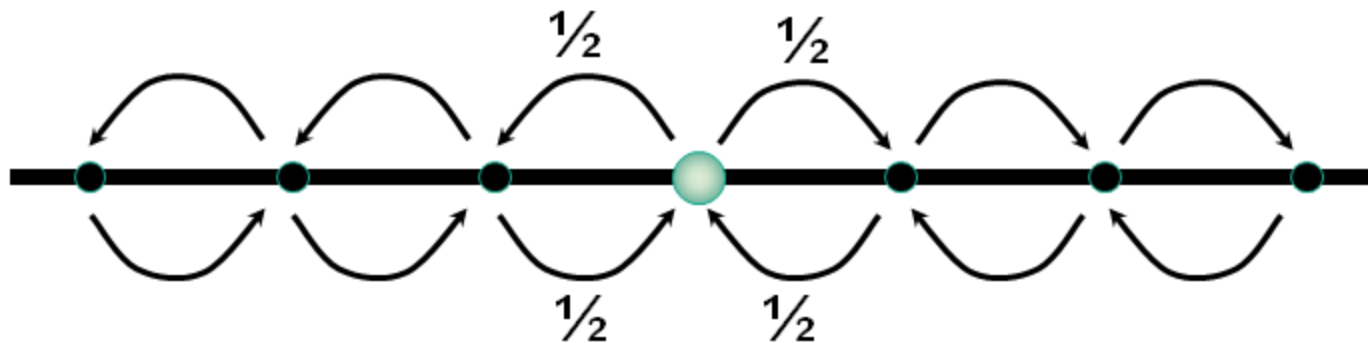
Krok 3

Rozkład prawdopodobieństwa pozycji „wędrownika”



Krok 8

Rozkład prawdopodobieństwa pozycji „wędrownika”

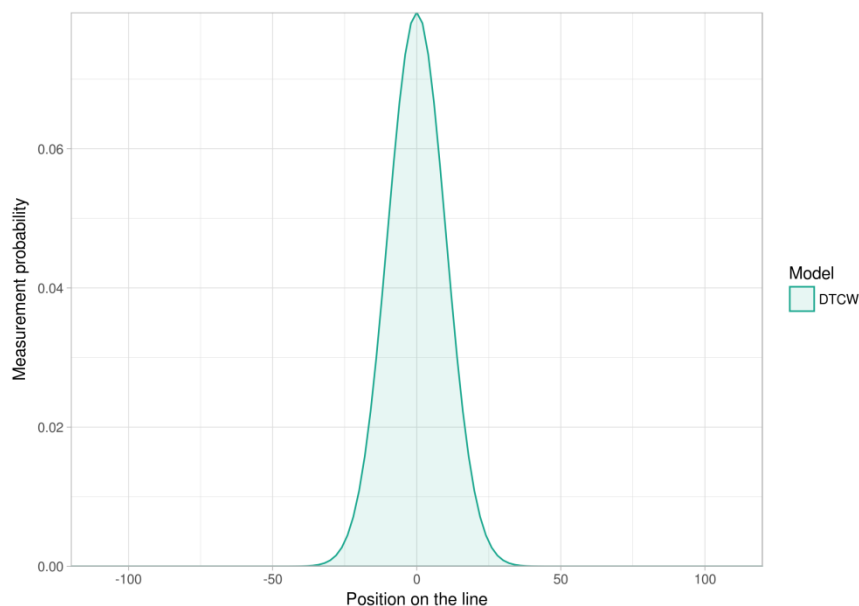
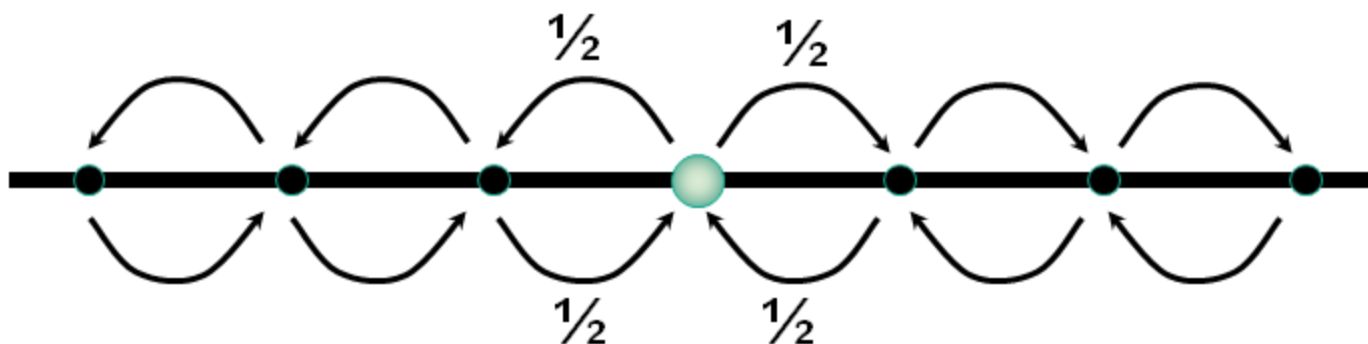


Krok 9

Źródło: seminarium nr 2 (autor M. Krok)

<https://www.informatyka.agh.edu.pl/pl/blog/seminarium-krakow-quantum-informatics/>

Rozkład prawdopodobieństwa pozycji „wędrownika”



Krok 100

Źródło: seminarium nr 2 (autor M. Krok)

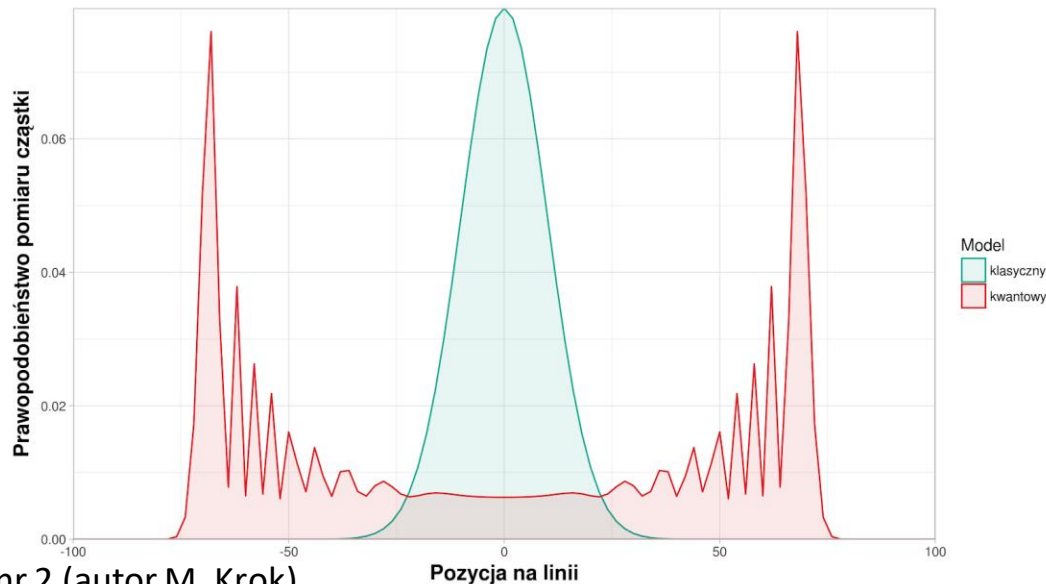
<https://www.informatyka.agh.edu.pl/pl/blog/seminarium-krakow-quantum-informatics/>

Błądzenie kwantowe

- Zamiast monety stosujemy bramkę unitarną (np. H)
- Wędrownik po rzuceniu taką monetą znajduje się w superpozycji miejsc

Błądzenie klasyczne i kwantowe

- Błądzenie klasyczne oscyluje wokół punktu startowego.
- Błądzenie kwantowe wykazuje większe prawdopodobieństwo znalezienia cząstki na granicy zasięgu.
- Błądzenie kwantowe na linii rozchodzi się kwadratowo szybciej.

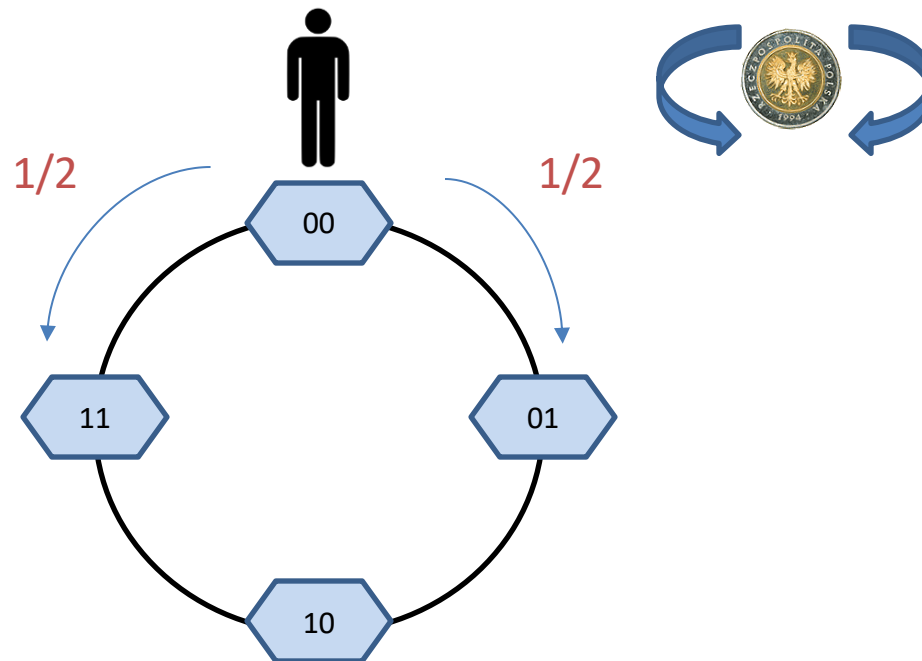


Źródło: seminarium nr 2 (autor M. Krok)

<https://www.informatyka.agh.edu.pl/pl/blog/seminarium-krakow-quantum-informatics/>

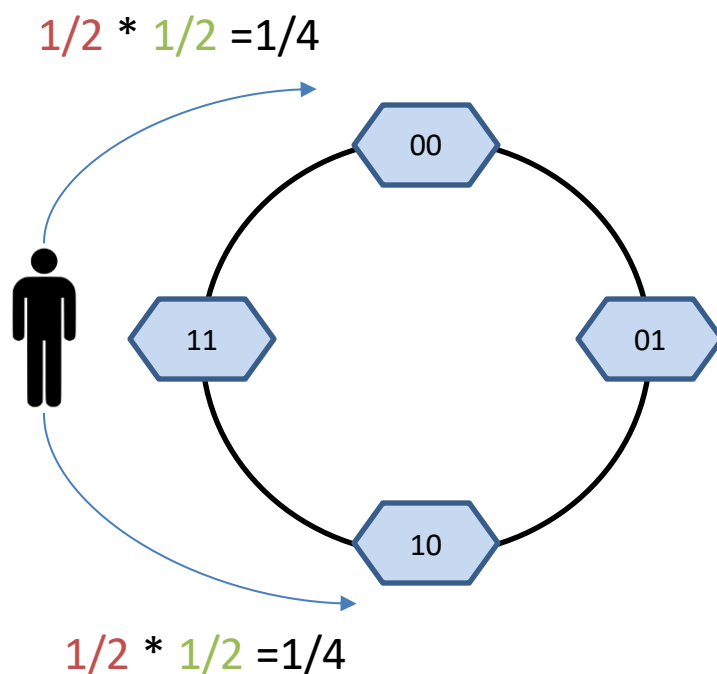
Błądzenie klasyczne po okręgu

- Ze względu na skończoną liczbę qbitów kodujących pozycję rozważamy błądzenie po okręgu
- Kodujemy pozycje na 2 qbitach (możliwe pozycje 00,01,10,11)



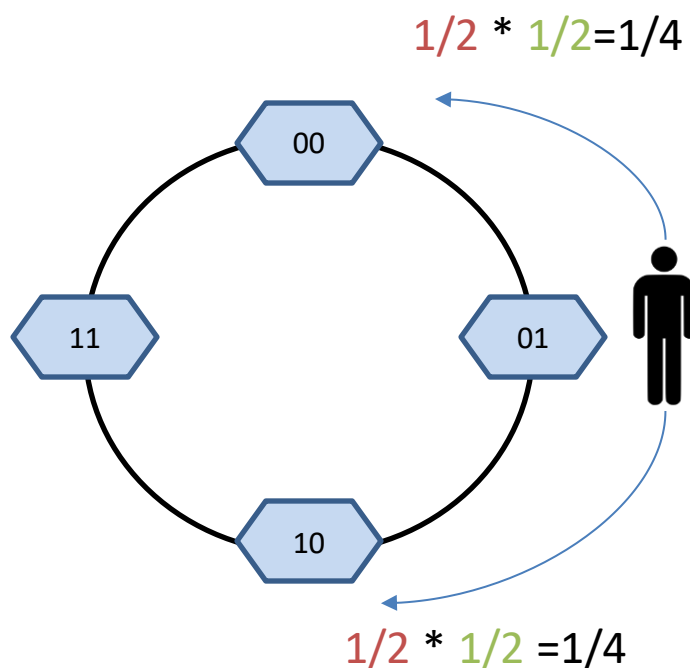
Błądzenie klasyczne po okręgu

Po kroku 1, pierwszy przypadek



Błądzenie klasyczne po okręgu

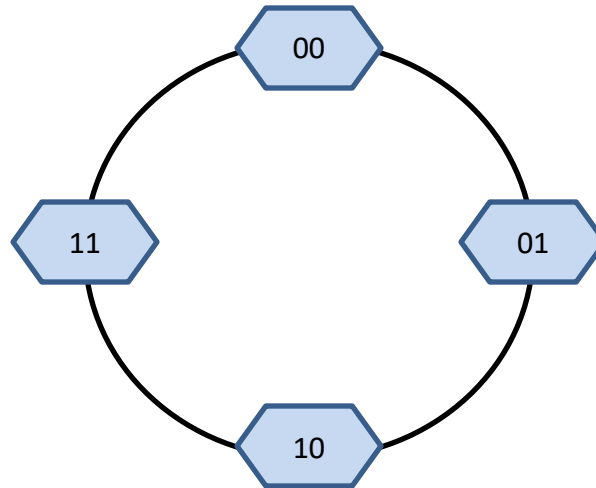
Po kroku 1, drugi przypadek



Błądzenie klasyczne po okręgu

Po kroku 2

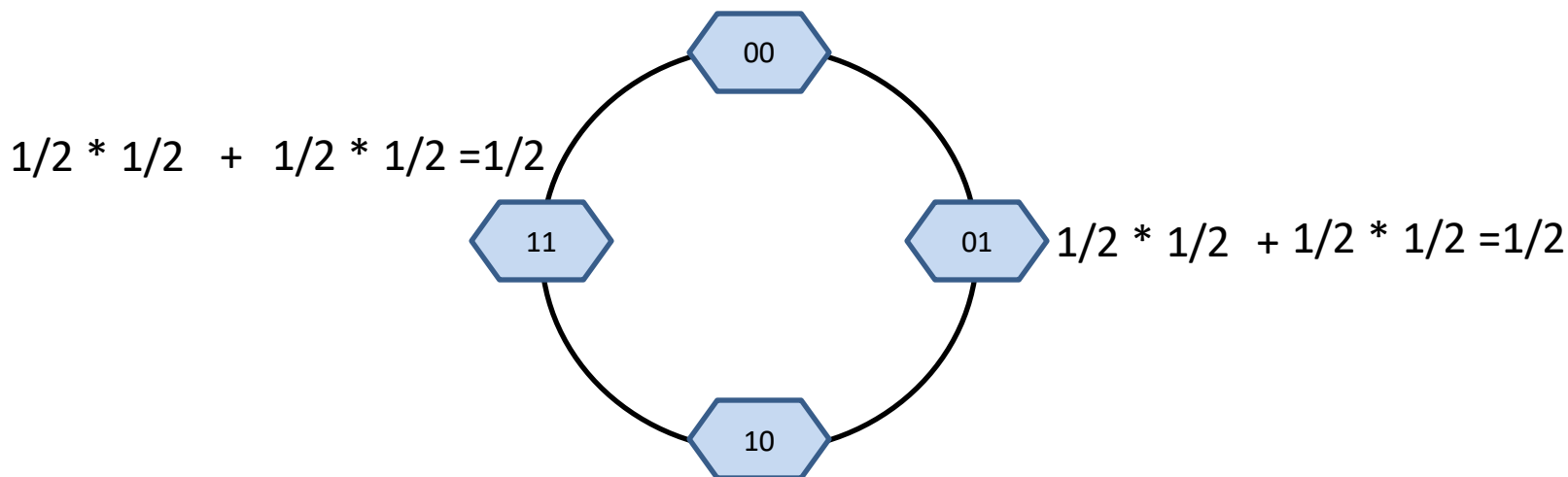
$$\frac{1}{2} * \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$



$$\frac{1}{2} * \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * \frac{1}{2} = \frac{1}{2}$$

Błądzenie klasyczne po okręgu

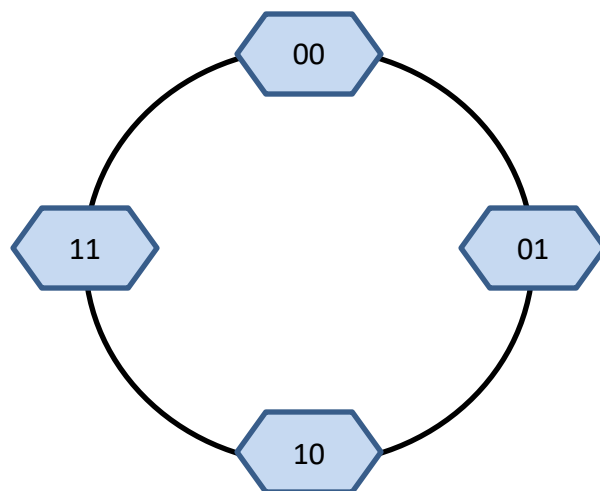
Po kroku 3



Błądzenie klasyczne po okręgu

Po kroku 4

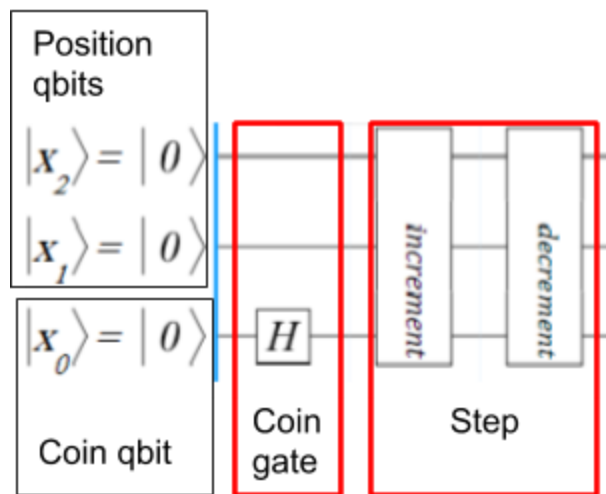
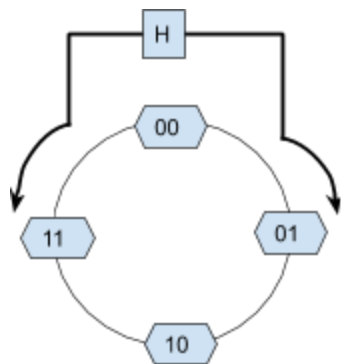
$$1/2 * 1/2 + 1/2 * 1/2 = 1/2$$



$$1/2 * 1/2 + 1/2 * 1/2 = 1/2$$

Błądzenie kwantowe po okręgu

- Kodujemy pozycje na 2 qbitach (możliwe pozycje 00,01,10,11)
- Monetą jest bramka H na osobnym qbicie wpływająca na pozycje poprzez mechanizm qbitów kontrolnych
- Wędrownik może znajdować się w superpozycji
- Stany w superpozycji mogą różnić się fazą (1, -1)



Zmiana stanu w danym kroku

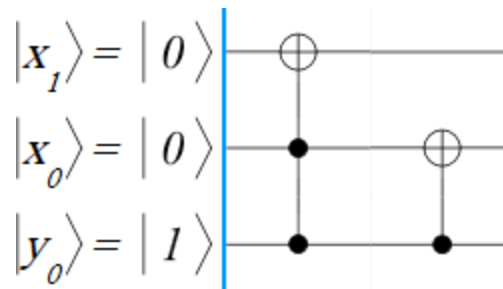
Po zaaplikowaniu bramki H i bramek
krokowych (inkrementacji i dekrementacji),
stan wędrownika zmienia się wg następujących reguł:

$|position\rangle \otimes |0\rangle$ zamieniamy na $\frac{1}{\sqrt{2}} (|position-1\rangle \otimes |0\rangle + |position+1\rangle \otimes |1\rangle)$

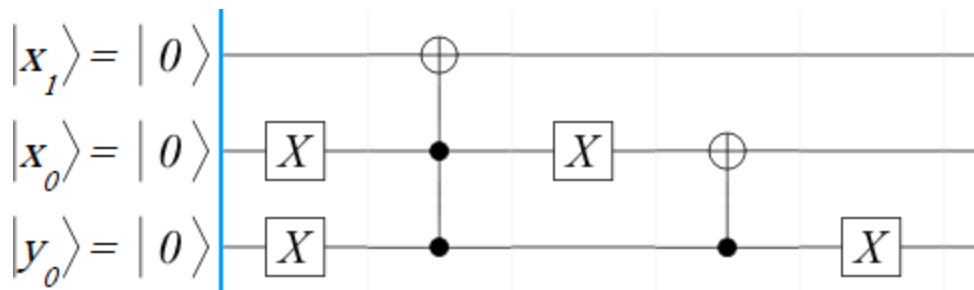
$|position\rangle \otimes |1\rangle$ zamieniamy na $\frac{1}{\sqrt{2}} (|position-1\rangle \otimes |0\rangle - |position+1\rangle \otimes |1\rangle)$

Bramki kroku

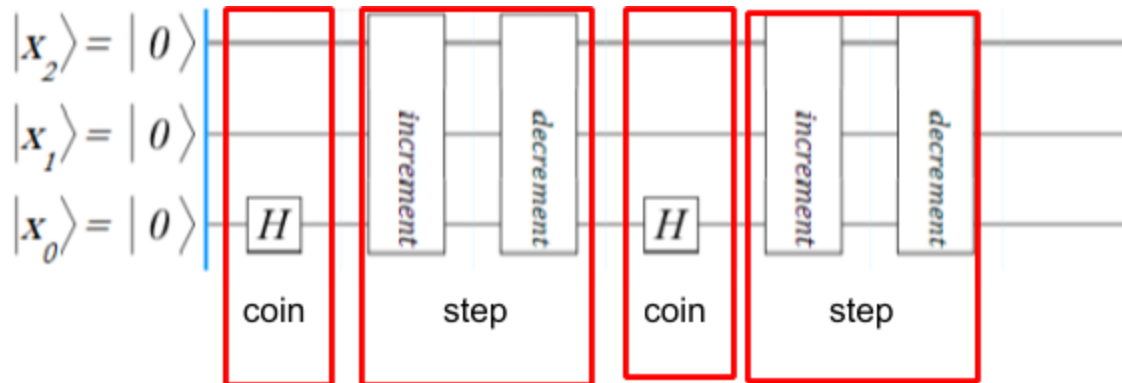
- Inkrementacja:



- Dekrementacja:



Dwa kroki



Probability of finding walker at position				
Number of steps	$ 00\rangle$	$ 01\rangle$	$ 10\rangle$	$ 11\rangle$
0	1			
1				
2				
3				