

# Informatyka Kwantowa

## Sekcja Informatyki Kwantowej - prezentacja

Robert Nowotniak

Wydział Fizyki Technicznej, Informatyki i Matematyki Stosowanej  
Politechnika Łódzka

XV Konferencja SIS, 26 października 2007

# Informatyka kwantowa

- **Informatyka kwantowa** - dziedzina zajmująca się wykorzystaniem możliwości obliczeniowych układów, podlegających prawom **mechaniki kwantowej**.

# Informatyka kwantowa

- Informatyka kwantowa - dziedzina zajmująca się wykorzystaniem możliwości obliczeniowych układów, podlegających prawom mechaniki kwantowej.
- Podstawowymi obiektami w informatyce kwantowej są **kubity** (ang. *qubits*) i **rejstry kwantowe** (ang. *quantum registers*).

# Informatyka kwantowa

- Informatyka kwantowa - dziedzina zajmująca się wykorzystaniem możliwości obliczeniowych układów, podlegających prawom mechaniki kwantowej.
- Podstawowymi obiektami w informatyce kwantowej są **kubity** (ang. *qubits*) i **rejstry kwantowe** (ang. *quantum registers*).

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$$

$$\text{gdzie } \alpha, \beta \in \mathbb{C}, |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

# Zainteresowania Sekcji Informatyki Kwantowej

Zainteresowania naukowe Sekcji:

- 1 Algorytmika kwantowa
- 2 Symulacja obliczeń kwantowych
- 3 Informatyka kwantowa + sztuczna inteligencja

# Zainteresowania Sekcji Informatyki Kwantowej

Zainteresowania naukowe Sekcji:

- 1 Algorytmika kwantowa
- 2 Symulacja obliczeń kwantowych
- 3 Informatyka kwantowa + sztuczna inteligencja
  - 1 Metody sztucznej inteligencji w projektowaniu elementów algorytmów kwantowych

# Zainteresowania Sekcji Informatyki Kwantowej

Zainteresowania naukowe Sekcji:

- 1 Algorytmika kwantowa
- 2 Symulacja obliczeń kwantowych
- 3 Informatyka kwantowa + sztuczna inteligencja
  - 1 Metody sztucznej inteligencji w projektowaniu elementów algorytmów kwantowych
  - 2 Metody sztucznej inteligencji czerpiące z możliwości informatyki kwantowej

# Zainteresowania Sekcji Informatyki Kwantowej

Zainteresowania naukowe Sekcji:

- 1 Algorytmika kwantowa
- 2 Symulacja obliczeń kwantowych
- 3 Informatyka kwantowa + sztuczna inteligencja
  - 1 **Metody sztucznej inteligencji w projektowaniu elementów algorytmów kwantowych**
  - 2 Metody sztucznej inteligencji czerpiące z możliwości informatyki kwantowej



# Algorytmy kwantowe

## Jak dotąd odkryto jedynie kilka przydatnych algorytmów kwantowych:

- 1 Algorytm Grovera
- 2 Algorytm Shora
- 3 Algorytm Deutsch-Jozsy
- 4 Algorytm Simona
- 5 Algorytm Bernsteina-Vaziraniego

# Algorytmy kwantowe

Jak dotąd odkryto jedynie kilka przydatnych algorytmów kwantowych:

- 1 Algorytm Grovera  $O(\sqrt{N})$
- 2 Algorytm Shora
- 3 Algorytm Deutsch-Jozsy
- 4 Algorytm Simona
- 5 Algorytm Bernsteina-Vaziraniego

# Algorytmy kwantowe

Jak dotąd odkryto jedynie kilka przydatnych algorytmów kwantowych:

- 1 Algorytm Grovera
- 2 Algorytm **Shora**  $O(\log^3 N)$
- 3 Algorytm Deutsch-Jozsy
- 4 Algorytm Simona
- 5 Algorytm Bernsteina-Vaziraniego

# Algorytmy kwantowe

Jak dotąd odkryto jedynie kilka przydatnych algorytmów kwantowych:

- 1 Algorytm Grovera
- 2 Algorytm Shora
- 3 Algorytm **Deutsch-Jozsy**
- 4 Algorytm Simona
- 5 Algorytm Bernsteina-Vaziraniego

# Algorytmy kwantowe

Jak dotąd odkryto jedynie kilka przydatnych algorytmów kwantowych:

- 1 Algorytm Grovera
- 2 Algorytm Shora
- 3 Algorytm Deutsch-Jozsy
- 4 Algorytm **Simona**
- 5 Algorytm Bernsteina-Vaziraniego

# Algorytmy kwantowe

Jak dotąd odkryto jedynie kilka przydatnych algorytmów kwantowych:

- 1 Algorytm Grovera
- 2 Algorytm Shora
- 3 Algorytm Deutsch-Jozsy
- 4 Algorytm Simona
- 5 Algorytm **Bernsteina-Vaziraniego**

# Symulacja obliczeń kwantowych

Możliwość symulacji obliczeń kwantowych:

- 1 Środowiska numeryczne ogólnego przeznaczenia:  
Matlab, Scilab, Octave, Mathematica, NumPy
- 2 Języki i biblioteki specjalizowane:  
QCL, libquantum, qGCL, Q, ...

# Symulacja obliczeń kwantowych

Możliwość symulacji obliczeń kwantowych:

- 1 Środowiska numeryczne ogólnego przeznaczenia:  
Matlab, Scilab, Octave, Mathematica, **NumPy**
- 2 Języki i biblioteki specjalizowane:  
QCL, libquantum, qGCL, Q, ...



# Symulacja obliczeń kwantowych

Możliwość symulacji obliczeń kwantowych:

- 1 Środowiska numeryczne ogólnego przeznaczenia:  
Matlab, Scilab, Octave, Mathematica, **NumPy**
- 2 Języki i biblioteki specjalizowane:  
**QCL**, libquantum, qGCL, Q, ...

# Algorytmika kwantowa

## Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Słaba analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy probabilistyczne
- 3 Wykorzystują nieintuicyjne własności mechaniki kwantowej:  
superpozycja, interferencja amplitud prawdopodobieństwa, splątanie, kwantowy paralelizm

# Algorytmika kwantowa

## Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Słaba analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy **probabilistyczne**
- 3 Wykorzystują nieintuicyjne własności mechaniki kwantowej:  
superpozycja, interferencja amplitud prawdopodobieństwa, splątanie, kwantowy paralelizm

# Algorytmika kwantowa

## Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Słaba analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy probabilistyczne
- 3 Wykorzystują nieintuicyjne własności mechaniki kwantowej:  
superpozycja, interferencja amplitud prawdopodobieństwa, splątanie, kwantowy paralelizm

# Algorytmika kwantowa

## Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Słaba analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy probabilistyczne
- 3 Wykorzystują nieintuicyjne własności mechaniki kwantowej:  
**superpozycja**, interferencja amplitud prawdopodobieństwa, splątanie, kwantowy paralelizm

# Algorytmika kwantowa

## Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Słaba analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy probabilistyczne
- 3 Wykorzystują nieintuicyjne własności mechaniki kwantowej:  
superpozycja, **interferencja amplitud prawdopodobieństwa**, splątanie, kwantowy paralelizm

# Algorytmika kwantowa

## Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Słaba analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy probabilistyczne
- 3 Wykorzystują nieintuicyjne własności mechaniki kwantowej:  
superpozycja, interferencja amplitud prawdopodobieństwa,  
**splątanie**, kwantowy paralelizm

# Algorytmika kwantowa

## Trudności w tworzeniu algorytmów kwantowych

- 1 Słaba analogia do algorytmów klasycznych
- 2 Są to algorytmy probabilistyczne
- 3 Wykorzystują nieintuicyjne własności mechaniki kwantowej:  
superpozycja, interferencja amplitud prawdopodobieństwa, splątanie, **kwantowy paralelizm**



# Układ kwantowych bramek logicznych

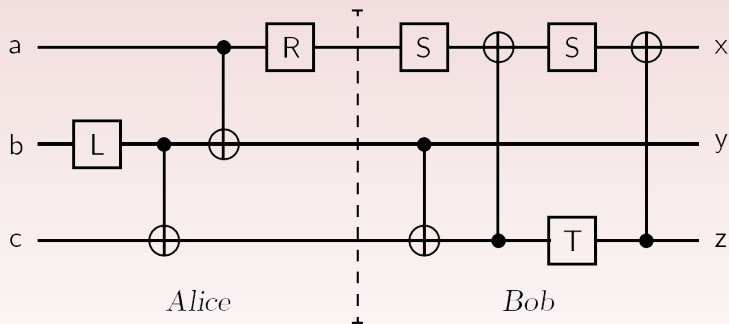
Jednym z formalnych modeli obliczeń kwantowych są kwantowe bramki logiczne.

# Układ kwantowych bramek logicznych

Jednym z formalnych modeli obliczeń kwantowych są  
kwantowe bramki logiczne.

# Układ kwantowych bramek logicznych

Jednym z formalnych modeli obliczeń kwantowych są **kwantowe bramki logiczne**.



# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego.

# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie **skalowalnego** komputera kwantowego.

# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego. Niezbędne są układy pozwalające utrzymywać „delikatny” stan *koherencji kwantowej*.

# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego. Niezbędne są układy pozwalające utrzymywać „delikatny” stan *koherencji kwantowej*.

- Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR)

# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego. Niezbędne są układy pozwalające utrzymywać „delikatny” stan *koherencji kwantowej*.

- Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR)
- Stany energetyczne elektronów na powłokach elektronowych



# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego. Niezbędne są układy pozwalające utrzymywać „delikatny” stan *koherencji kwantowej*.

- Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR)
- Stany energetyczne elektronów na powłokach elektronowych
- Polaryzacja światła

# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego. Niezbędne są układy pozwalające utrzymywać „delikatny” stan *koherencji kwantowej*.

- Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR)
- Stany energetyczne elektronów na powłokach elektronowych
- Polaryzacja światła
- Kropki kwantowe

# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego. Niezbędne są układy pozwalające utrzymywać „delikatny” stan *koherencji kwantowej*.

- Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR)
- Stany energetyczne elektronów na powłokach elektronowych
- Polaryzacja światła
- Kropki kwantowe
- Pułapki jonowe

# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego. Niezbędne są układy pozwalające utrzymywać „delikatny” stan *koherencji kwantowej*.

- Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR)
- Stany energetyczne elektronów na powłokach elektronowych
- Polaryzacja światła
- Kropki kwantowe
- Pułapki jonowe
- ...

# Komputer kwantowy

Istnieje obecnie wiele *ścieżek*, dających nadzieję na zbudowanie skalowalnego komputera kwantowego. Niezbędne są układy pozwalające utrzymywać „delikatny” stan *koherencji kwantowej*.

- **Magnetyczny rezonans jądrowy (NMR)**
- Stany energetyczne elektronów na powłokach elektronowych
- Polaryzacja światła
- Kropki kwantowe
- Pułapki jonowe
- ...

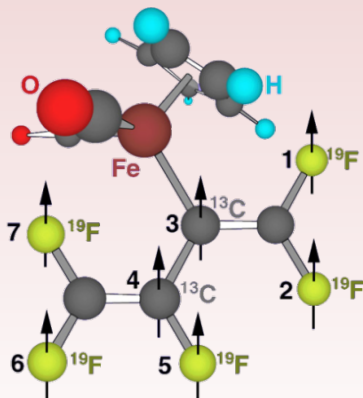
# Magnetyczny rezonans jądrowy

Spektrometr NMR Brüker 600MHz:



# Magnetyczny rezonans jądrowy

Spektrometr NMR Brüker 600MHz:



# Magnetyczny rezonans jądrowy



IBM's Almaden Research Center, 2001  
NMR, algorytm Shora: 7-kubitowy rejestr kwantowy



# Koniec

Dziękuję.