

W7. Komputer kwantowy

Komputer klasyczny:

- Informacja zapisana w postaci bitów (*binary digit*) (sygnał jest albo go nie ma)
- W klasycznych komputerach wartość bitu jest określona przez stan pewnego elementu np. przewodzenie/nieprzewodzenie tranzystora, zwrot natężenia pola magnetycznego.
- Wiele praktycznych problemów nie da się policzyć w sensownie krótkim czasie
- W komputerze klasycznym w danej chwili zespół n - bitów może być w jednym z 2^n stanów.
- 4 bity to 1 z 64 stanów układu

Komputer kwantowy:

- Informacja zapisana za pomocą qubitów (quantum bit)
- Qubit jest kwantową superpozycją zera i jedynki.
- Qubit niesie w sobie naraz o wiele więcej informacji niż zero-jedynkowy bit. Dlatego jest w stanie wykonać równolegle wiele obliczeń.
- Teoretycznie komputer kwantowy powinien umożliwić wielokrotnie szybsze przetwarzanie informacji
- W danej chwili każdy z n -qubitów jest w superpozycji ze wszystkimi pozostałymi n -qubitami, co oznacza że jednocześnie są w 2^n stanach.
- 4 qubity są 64 stanach jednocześnie.

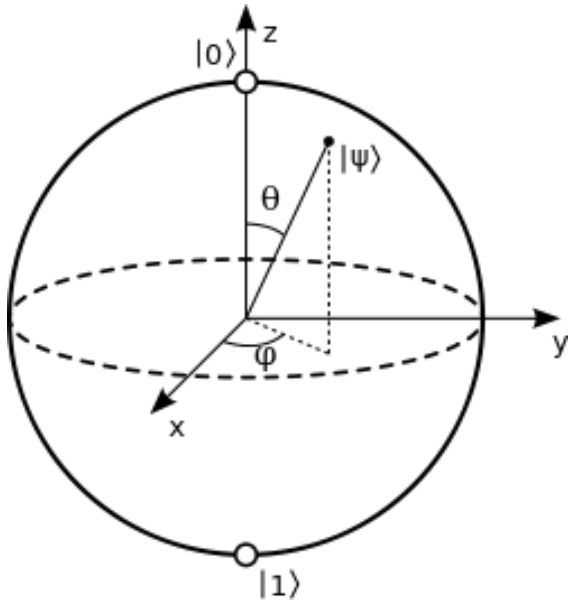
W7. Jak szybko?

Obecnie stosowane są komputery 64-bitowe.
Kwantowy komputer operujący jednocześnie na 64 qubitach byłby
od współcześnie wykorzystywanych komputerów

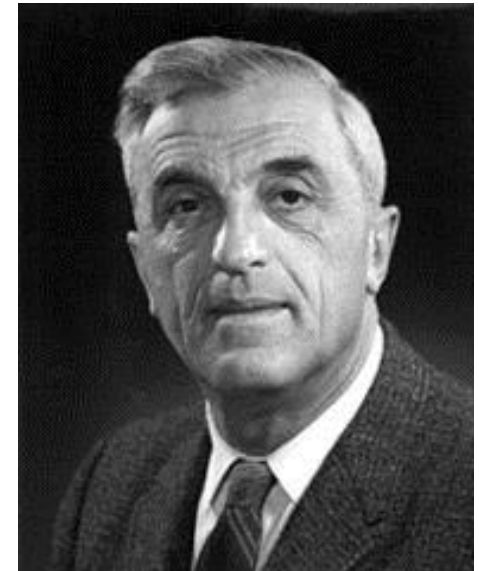
$2^{64}=18446744073709551616$ razy szybszy!

W7. Qubit

- Qubit różni się od klasycznego bitu tym, że może znajdować się w dowolnej superpozycji dwóch stanów kwantowych $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$
- Fizyczna implementacja qubitów: fotony, elektrony, jadra atomowe, atomy
- Sfera Blocha



$$|\psi\rangle = \cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + e^{i\phi}\sin\frac{\theta}{2}|1\rangle$$



Felix Bloch (1905-1983) szwajcarski fizyk

W7. Algorytmy kwantowe

Pomimo tego, że praca nad komputerami kwantowymi jest w zarodku powstało już sporo gotowych do użycia algorytmów kwantowych (wykładniczo szybszych niż najszybszy algorytm klasyczny)

Najważniejsze to:

Algorytm Shora (1994) znajdowania liczb pierwszych

Algorytm Kitajewa (1995) szybkiej kwantowej transformacji Fouriera

Algorytm Grovera (1996) przeszukiwania bazy danych

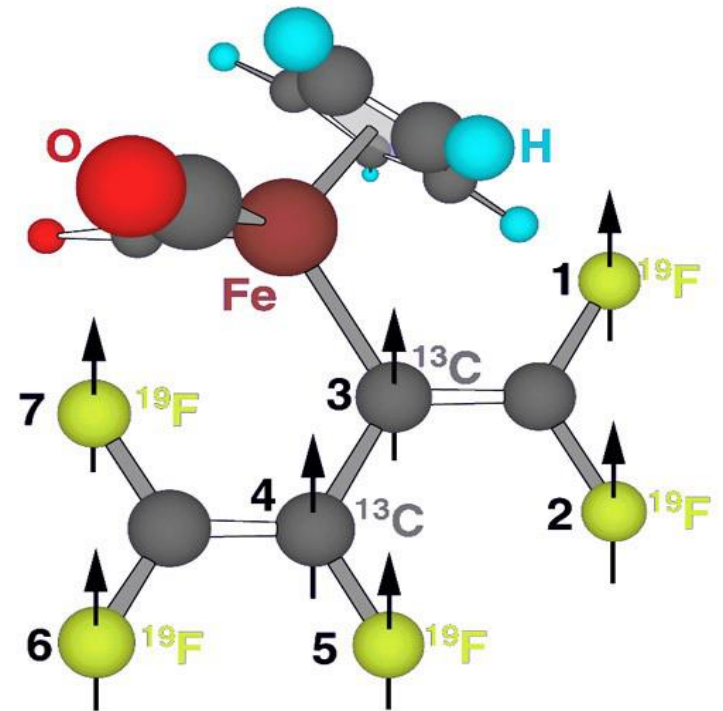
Algorytm Simona (1997) znajdowania maski XOR funkcji 2-na-1

W7. Pierwszy komputer kwantowy

- Pierwsze udane próby fizycznej realizacji kwantowej jednostki obliczeniowej polegały przeważnie na rozwiązaniach molekularnych
- W 1996 r. zaprezentowano 2 kubitowy komputer (N.Gershenfeld, L.Chuang, M. Kubinec) wykorzystujące cząsteczkę chloroformu. Qubitami były spiny jąder atomu wodoru i węgla.
- Procesorem nie była pojedyncza cząsteczka, ale probówka, zawierająca około 10^{20} cząsteczek CHCl_3 umieszczona w polu magnetycznym, które odpowiednio ustawiało spinu jądro w atomach.
- Komputer programowano za pomocą impulsów radiowych.
- Kwantowy komputer działał gdy spin jądra H był „up” zaś C „down” i odwrotnie (odpowiada działaniu bramki typu XOR).
- Program: odnalezienie wybranego elementu w 4-elementowym zbiorze.
- Koszt: 1 milion dolarów

W7. 2010 r. 7 qubitów

- Zawierająca 7 qubitów cząsteczka $C_{11}H_5F_5O_2Fe$
- Po wzbudzeniu impulsem pola elektromagnetycznego rozkładała liczbę 15 na czynniki 3 i 5.
- W cząsteczce tej każdy z pięciu atomów fluoru pełni funkcję qubitów.
- Do wyszukiwania wykorzystano algorytm kwantowy Schora.
- Zmianę spinów qubitów odczytywano spektrometrem rezonansu magnetycznego.
- Procesorem była probówka, zawierająca około 10^{18} cząsteczek tego związku



W7. Problemy komputerów kwantowych

- Komputer kwantowy oblicza jednocześnie wynik dla wielu danych. Wyniki te, wyróżniają się z tła. Odczytuje się je z pewnym prawdopodobieństwem.
- Problem pojawia się gdy te wyniki słabo się wyróżniają z tła, jest tzw. szum.
- Innym problemem są zderzenia cząstek (wskutek kontaktu z otoczeniem), które prowadzą do zapadnięcia się systemu i wygaśnięcia po pewnym czasie do jednego stanu.

W7 D-wave

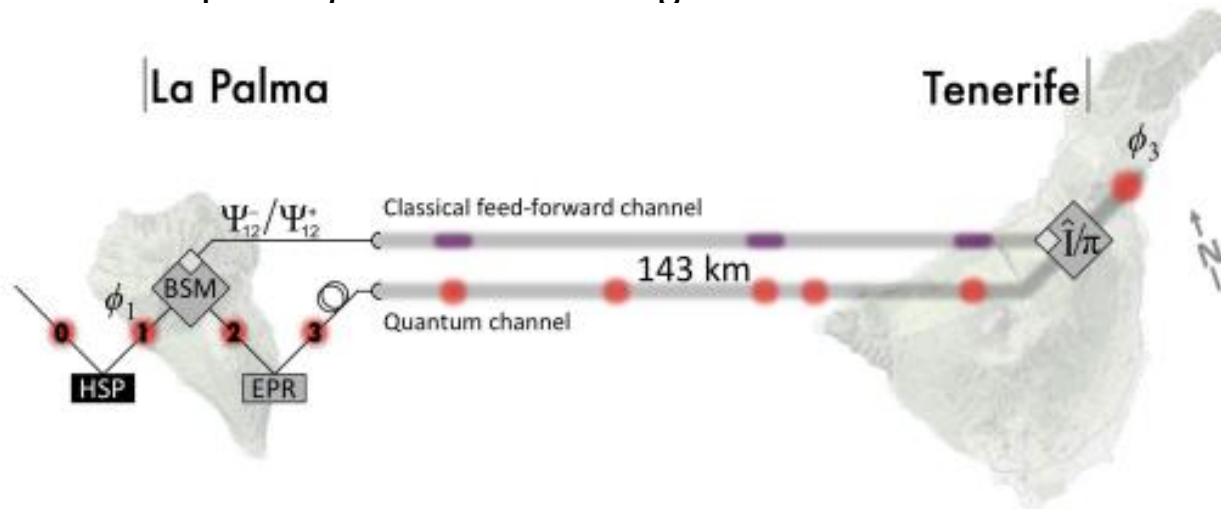
- 13 lutego 2007 firma D-Wave Systems zaprezentowała 16-qubitowy układ, nazywany pierwszym na świecie komputerem kwantowym.
- W 2009 roku D-Wave Systems stworzyło dla Google komputer kwantowy wyszukujący grafiki.
- W styczniu 2012 roku badacze z D-Wave Systems 84-kubitowym komputerem kwantowym obliczyli kilka liczb Ramseya
- W sierpniu przy pomocy 5 nadprzewodzących rezonatorów i 4 qubitów pokazano, że algorytm Shora jest poprawny w 50% przypadków, co zgadza się z teorią.
- Firma D-Wave System przyznaje, że Orion nie jest prawdziwym komputerem kwantowym, ale maszyną do specjalnych zastosowań, wykorzystującą zjawiska kwantowe.



W7. Kwantowa teleportacja

Krótką historia kwantowej teleportacji:

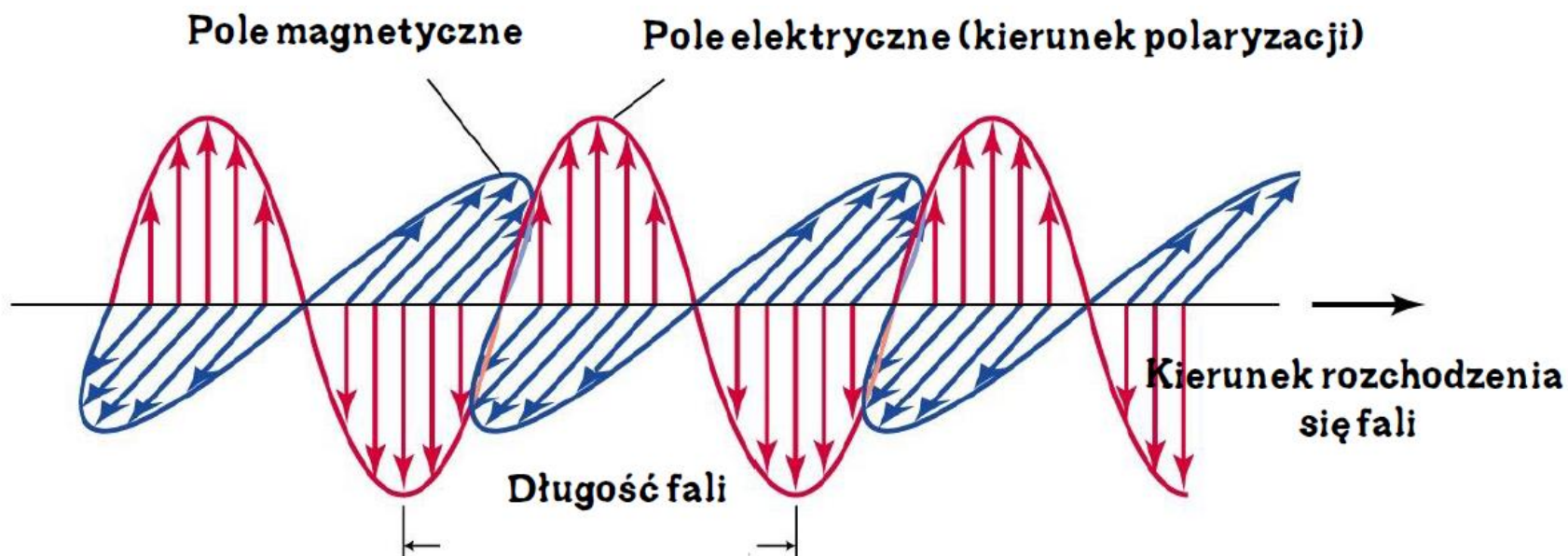
- 1993 r. – pierwsza praca teoretyczna Bennett i inni
- 1997 r. – pierwszy eksperyment z fotonami A. Zeillinger i inni
- 2003 r. – eksperyment z fotonami 55 m
- 2004 r. – pierwszy eksperyment z atomami (teleportacja spinu) R. Blatt i inni
- 2012 r. - teleportacja fotonu na odległość 143 km



- 2013 r. - teleportacja atomu na odległość 21 m

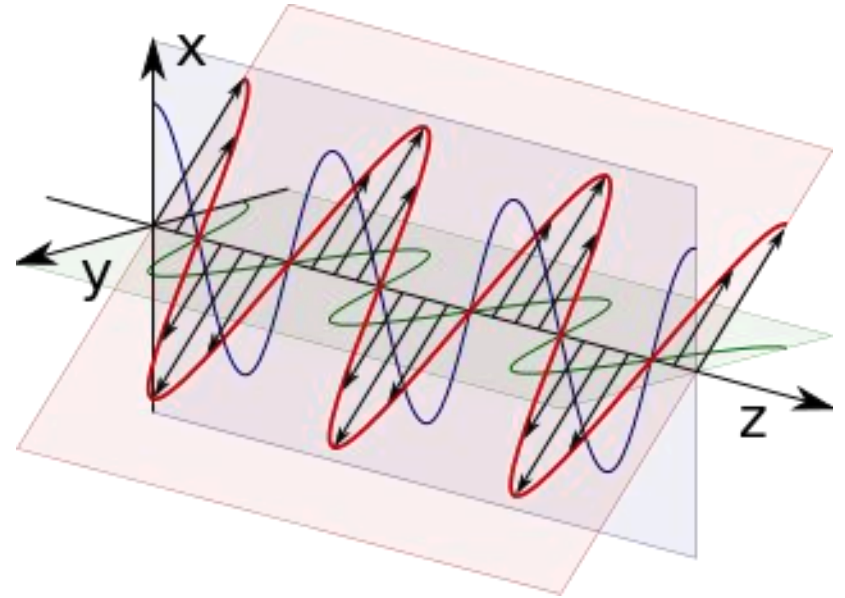
W7. Polaryzacja fotonu

Foton jest falą elektromagnetyczną o określonej długości fali

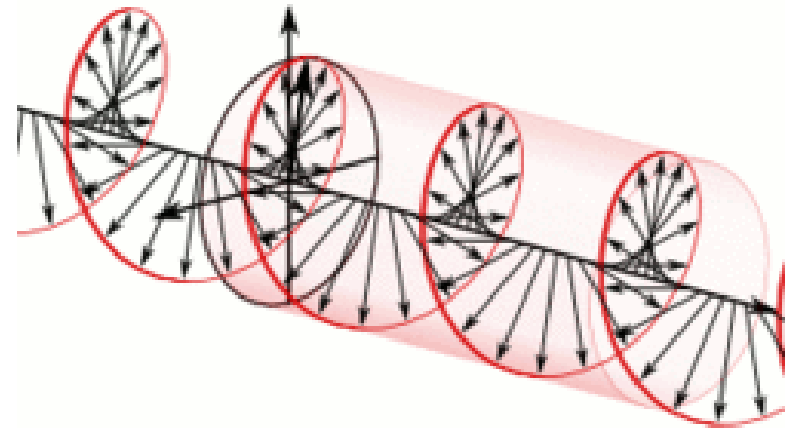


W7. Polaryzacja fotonu

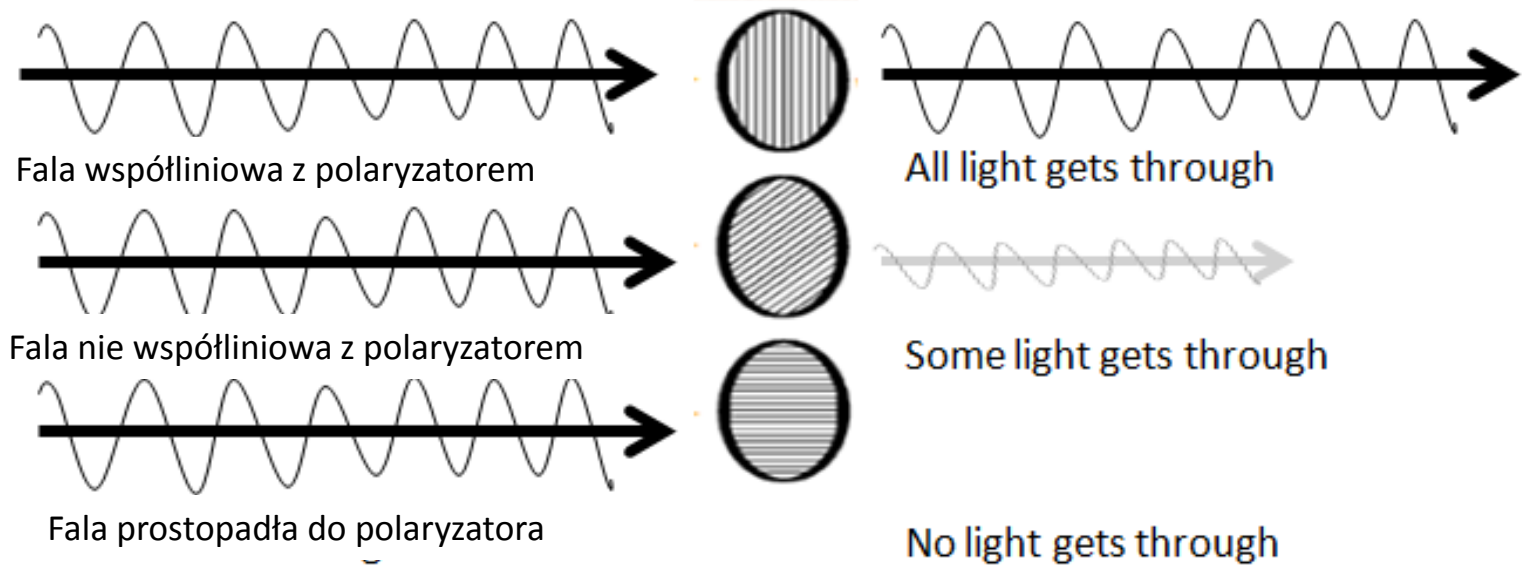
Fala spolaryzowana liniowo – oscylacje pola odbywają się w jednej płaszczyźnie



Fala spolaryzowana kołowo - rozchodzące się zaburzenie określane wzdłuż kierunku ruchu fali ma zawsze taką samą wartość, ale jego kierunek się zmienia.



W7. Przechodzenie fali elektromagnetycznej przez polaryzator



itor

W7. Stany Bella

$$|\Phi^+\rangle = \frac{|00\rangle + |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

$$|\Phi^-\rangle = \frac{|00\rangle - |11\rangle}{\sqrt{2}}$$

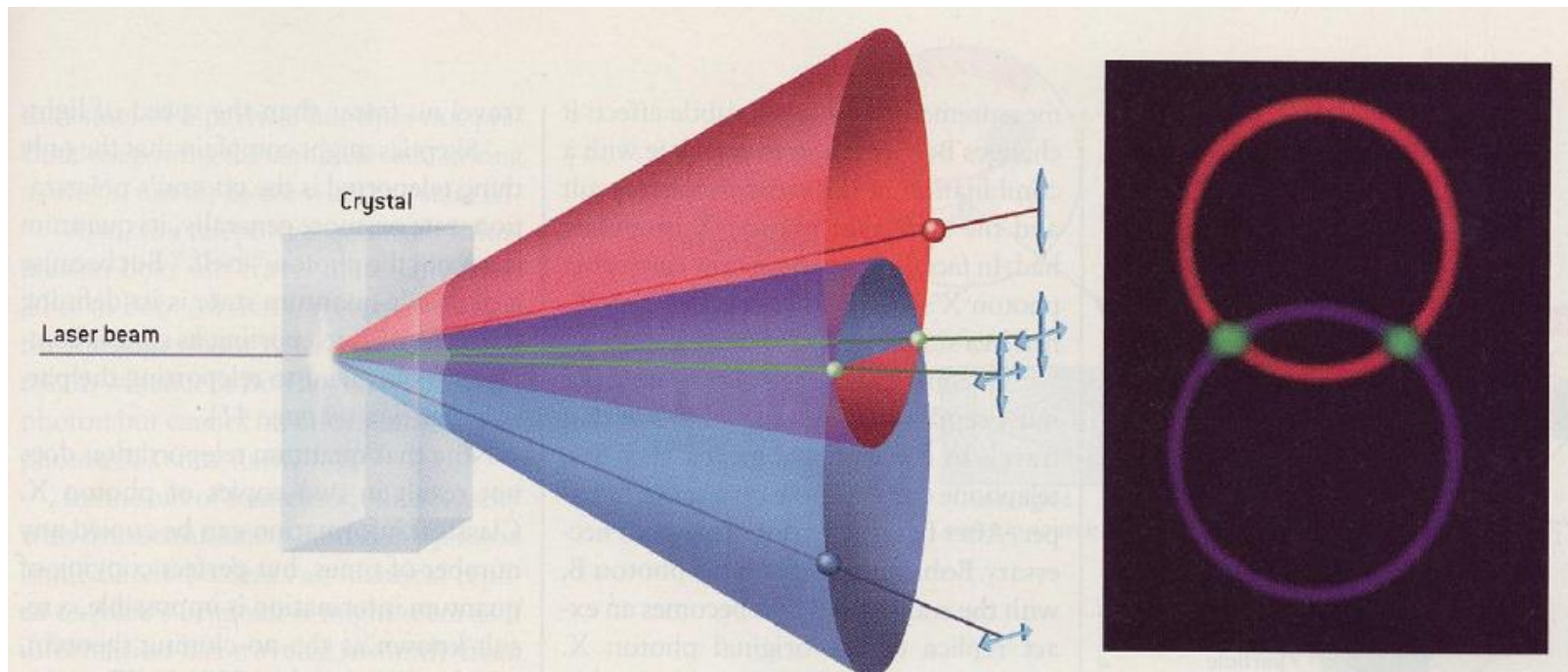
$$|\Psi^+\rangle = \frac{|01\rangle + |10\rangle}{\sqrt{2}}$$

$$|\Psi^-\rangle = \frac{|01\rangle - |10\rangle}{\sqrt{2}}$$



John Stewart Bell 1928-1990
Północnoirlandzki fizyk teoretyk

W7. Kwantowa teleportacja

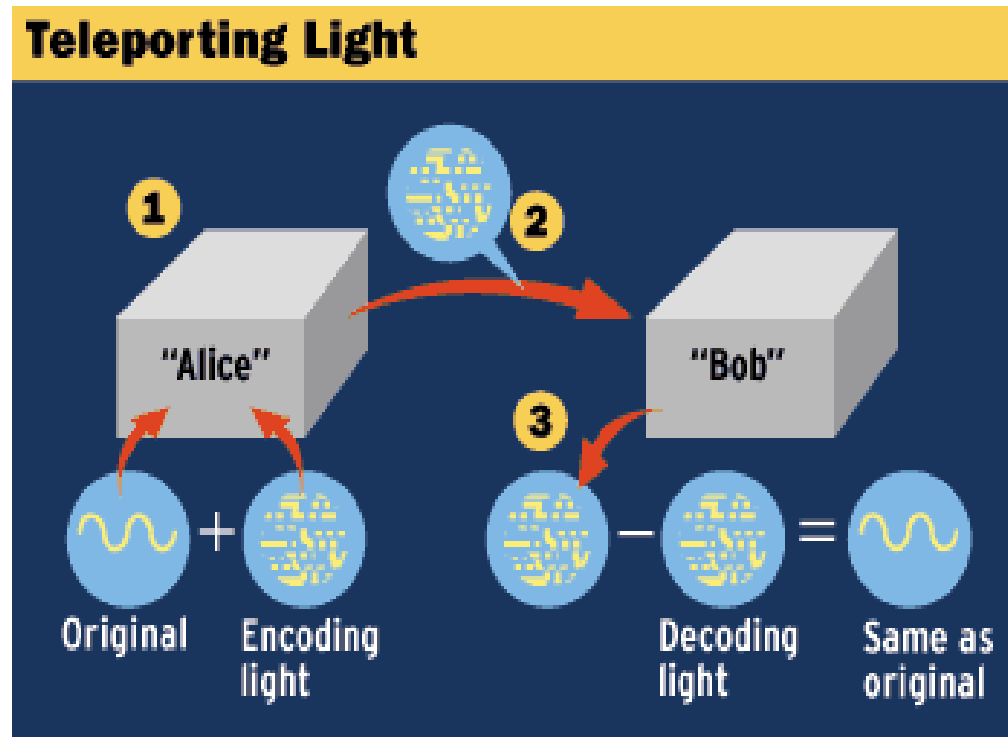


Powyżej para splątanych fotonów powstałych w wyniku przejścia wiązki lasera przez kryształ

W7. Kwantowa teleportacja

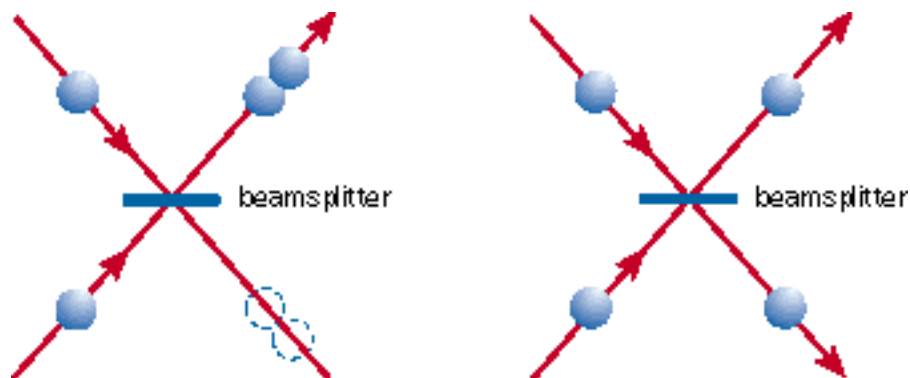
Trzy etapy kwantowej teleportacji

1. Alicja dokonuje pomiaru Bella na swoim fotonie i jednym z fotonów pary splątanej
2. Wysyła informacje o swoim pomiarze Bobowi
3. Bob musi odkodować informację



W7. Pomiar Bella

- Pomiar Bella to jedna z podstawowych operacji informacyjno-kwantowych, polegająca na łącznym pomiarze dwóch qubitów, co powoduje ich zrzutowanie na stan Bella, czyli ich kwantowe splątanie.



W7. Kwantowa teleportacja

