14.2 "Quantum computing"

Vi skal se litt på grunnprinsippene for klassisk og kvantemekanisk beregning.

Analogi mellom 2-bits og 2-"qubits" datamaskin:

⌈Klassisk realisering med el. kretser⌋	0 0	⇔	$\lvert\downarrow\downarrow\rangle$	⌈Kvantemekanisk realisering med $s = \frac{1}{2}$⌋
	0 1		$\lvert\downarrow\uparrow\rangle$	
	1 0		$\lvert\uparrow\downarrow\rangle$	
	1 1		$\lvert\uparrow\uparrow\rangle$	

Dvs. "0" ⇔ ↓ og "1" ⇔ ↑, der "1" og "0" kan representere (elektronisk) "på" og "av" eller "sant" og "usant" (TRUE, FALSE).

En sekvens av n bits har 2^n mulige tilstander (et informasjonsmål). Men bare en om gangen.

Men kvantesystemet kan være en superposisjon:

$$|\psi\rangle = a_1|\downarrow\downarrow\rangle + a_2|\downarrow\uparrow\rangle + a_3|\uparrow\downarrow\rangle + a_4|\uparrow\uparrow\rangle \qquad \boxed{\text{OBS!}}$$

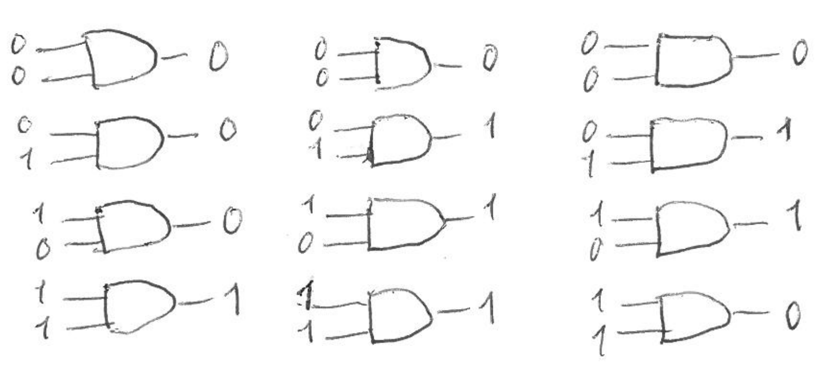
Alle 4 spinntilstandene kan behandles samtidig! Med 10 qubits, i prinsippet mulig å behandle $\sim 10^6$ tilstander samtidig.

Dvs. en (tenkt) operasjon på en lineærkombinasjon ville resultere i en ny lineærkombinasjon.

Logiske operasjoner:

De klassiske portene er (flere kan tenkes..)

AND   OR   XOR



↓ ⇔ "0" ⇔ FALSE

↑ ⇔ "1" ⇔ TRUE

For kvanteanalogier: Innfør søylevektorer

$$|\downarrow\downarrow\rangle \Leftrightarrow \begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\end{pmatrix} \quad |\downarrow\uparrow\rangle \Leftrightarrow \begin{pmatrix}0\\1\\0\\0\end{pmatrix} \quad |\uparrow\downarrow\rangle \Leftrightarrow \begin{pmatrix}0\\0\\1\\0\end{pmatrix} \quad |\uparrow\uparrow\rangle \Leftrightarrow \begin{pmatrix}0\\0\\0\\1\end{pmatrix}$$

og tilsvarende 4x4 matriser, f. eks.

$$U_{XOR} = \begin{pmatrix}1&0&0&0\\0&1&0&0\\0&0&0&1\\0&0&1&0\end{pmatrix}$$

Sjekk lett nok at

$$\left.\begin{aligned} U_{XOR}|\downarrow\downarrow\rangle &= |\downarrow\downarrow\rangle \\ U_{XOR}|\downarrow\uparrow\rangle &= |\downarrow\uparrow\rangle \\ U_{XOR}|\uparrow\downarrow\rangle &= |\uparrow\uparrow\rangle \\ U_{XOR}|\uparrow\uparrow\rangle &= |\uparrow\downarrow\rangle \end{aligned}\right\}$$

spinntilstandene er input; spinn på første partikkel kommer ut uforandret, så logisk output leses av på spinnet til andre partikkel.

Avvik fra klassisk versjon: Det er to output!

Grunn: QM er invariant under tidsreversjon; de kvantemekaniske logiske operasjonene må være reversible.

De klassiske logiske portene reduserer systemets totale informasjon, siden to input blir til en output.

Logiske kvantekretser uten klassisk analogi:

Betrakt enkelt-qubit-systemet

$$|\uparrow\rangle \Leftrightarrow \begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} \rightarrow \text{TRUE}$$
$$|\downarrow\rangle \Leftrightarrow \begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} \rightarrow \text{FALSE}$$

En NOT-port gir output TRUE fra input FALSE, og omvendt, klassisk.

QM versjon følger direkte:

$$U_{NOT} = \begin{pmatrix}0&1\\1&0\end{pmatrix}$$

Men ta

$$U_{\sqrt{NOT}} = \frac{1}{2}\begin{pmatrix}1-i & 1+i\\ 1+i & 1-i\end{pmatrix}$$

der

$$U_{\sqrt{NOT}}\,U_{\sqrt{NOT}} = U_{NOT} \quad \text{(oppgave 14.7)}$$

og denne har ingen klassisk analogi!

Hvordan implementere dette i praksis;
dvs. hvordan lage et system som kan utføre nyttige beregninger?

1994: Peter Shor, Bell Labs, fant algoritme for å faktorisere tall i primtall

2001: IBM Almaden Research Center laget første "implementering": Molekyl med 5 stk fluor-19- og 2 stk. karbon-13-atomer, der kjerne~~spinnene~~ var qubits, og manipuleringer skjedde med magnetisk resonans-teknologi.
Kvantecomputeren klarte faktoriseringen

$$15 = 3 \times 5$$

Framskritt siden 2001:

$$\boxed{\text{Sjekk med "Quantum Computer" i Wikipedia !}}$$