კვანტური კომპიუტერი და კვანტური გამოთვლები

ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი

ლუკა ბურდილაძე

კლასიკურ კომპიუტერთან „სასაუბრო ენა“

- ნებისმიერი სახის ინფორმაცია შეიძლება ჩაიწეროს მხოლოდ ორი განსახვავებული ობიექტით.

- ნებისმიერი სახის ინფორმაცია შეიძლება გამოისახოს ჩვენთვის ცნობილ ათობით რიცხვით სისტემაში, ხოლო ნებისმიერი ათობით სისტემაში ჩაწერილი რიცხვი შეიძლება გადაიწეროს ორობით სისტემაში.

- ასეთ ინფორმაციას ჩვენთვის ცნობილ სიმბოლოებში ექნება 0-ებისა და 1-ებისაგან შედგენილი სტრიქონის სახე

კლასიკური კომპიუტერი

- მაკრო მასშტაბები
- ინფორმაციის ერთეული - „ბიტი“
- ელემენტარული გამოთვლითი ოპერაციები - „ლოგიკური ელემენტები“
- კლასიკური კომპიუტრის ფიზიკური რეალიზაცია - ელემენტარული ელექტრული წრედების გაერთიანება, ელექტრული კომპონენტები: ელექტრული წინაღობა, დიოდი, ტრანზისტორი, კონდენსატორი, ...
- $\{0,1\} \Leftrightarrow \{0\ \text{ვ}, 5\ \text{ვ}\}$

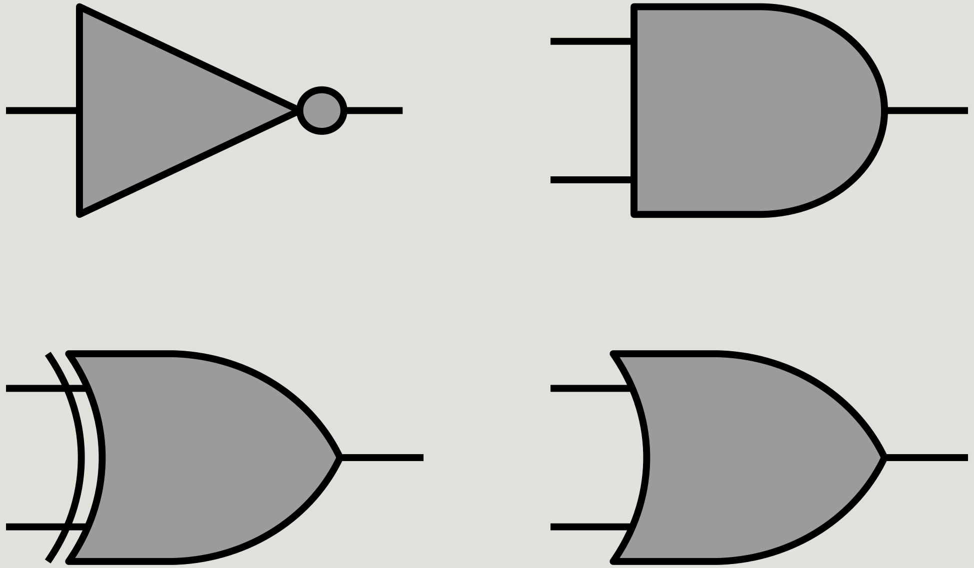
ინფორმაციის ერთეული და ლოგიკური ელემენტები

ორობით სისტემაში ჩაწერილი რიცხვი 45
რაც ASCII კოდირების ცხრილით
შეესაბამება სიმბოლოს „-“

0	**0**	**1**	**0**	**1**	**1**	**0**	**1**

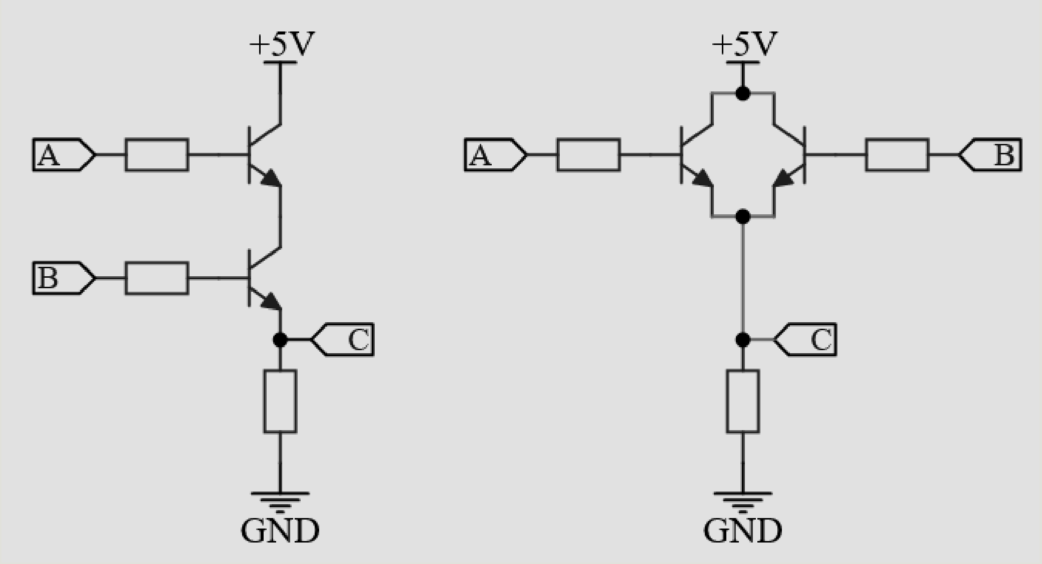
8 ბიტი

ლოგიკური ელემენტები

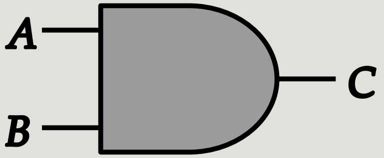


ფიზიკური რეალიზაცია - ელექტრული წრედები

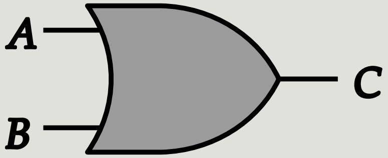
ლოგიკური ელემენტების „და“ და „ანის“ ელექტრული წრედი



ლოგიკური ელემენტების „და“ და „ანის“ ჭეშმარიტების ცხრილი



A	B	C
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

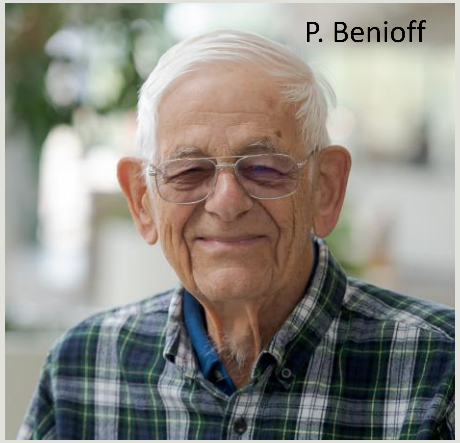
კვანტური კომპიუტერი

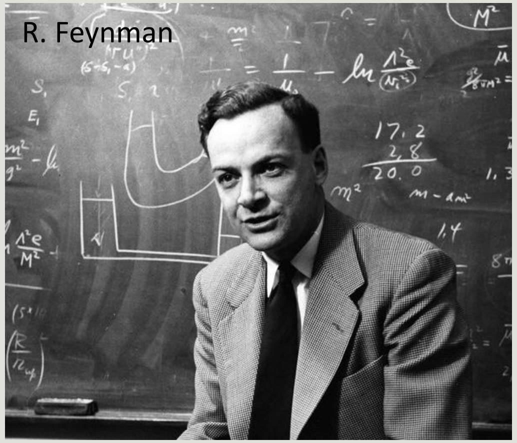
- მიკრო მასშტაბები
- ინფორმაციის ერთეული - „ქუბიტი“
- ელემენტარული გამოთვლითი ოპერაციები - ლოგიკური ელემენტები - უნიტარული გარდაქმნები
- კვანტური კომპიუტერის ფიზიკური რეალიზაცია - სივრცეში ლოკალიზებული მიკრო ნაწილაკები კონტროლირებადი კვანტური მდგომარეობებით
- კვანტური კომპიუტერის ტიპები: კვანტური სქემის მოდელი, კვანტური ტურინგის მანქანა, ადიაბატური კვანტური კომპიუტერი, და სხვა

მოკლე ისტორიული მიმოხილვა

კვანტური გამოთვლების იდეა გაჩნდა 1980 წელს, როდესაც პოლ ბენიოფმა შემოგვთავაზა ტურინგის მანქანის კვანტურ-მექანიკური მოდელი. მოგვიანებით კვლევაში იური მანინი და რიჩარდ ფეინმანიც ჩაერთნენ და გაუჩნდათ აზრი, რომ კვანტურ კომპიუტერს შეუძლია ისეთი გამოთვლების ჩატარება, რომლებსაც ჩვეულებრივი კლასიკური კომპიუტერი ვერ შეძლებს.

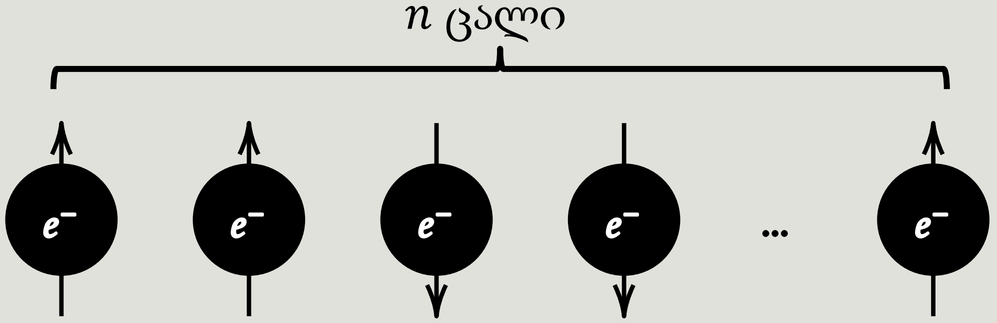
მოგვიანებით 1994 წელს პიტერ შორმა შეიმუშავა ალგორითმი, რომელიც ახდენს ნატურალური რიცხვების ფაქტორიზაციას. ამ ალგორითმითა და კვანტური კომპიუტერით ფაქტორიზაციის პრობლემა გაცილებით სწრაფად წყდება, ვიდრე ეს კლასიკურ კომპიუტერს შეუძლია.





ქუბიტი და მისი წარმოდგენა

ქუბიტად შეიძლება მივიჩნიოთ ელექტრონი, რომლის მდგომარეობაც შეიძლება აღიწეროს $|\psi\rangle$ კეტ-ვექტორით. ამ შემთხვევაში, ქუბიტის სპინი არის $\pm 1/2$. ელექტრონის მდგომარეობას, რომლის დროსაც სპინი არის $+1/2$ შეგვიძლია შევუსაბამოთ ქუბიტის $|1\rangle$ მდგომარეობა, ხოლო სპინ $-1/2$-ს - $|0\rangle$ მდგომარეობა.

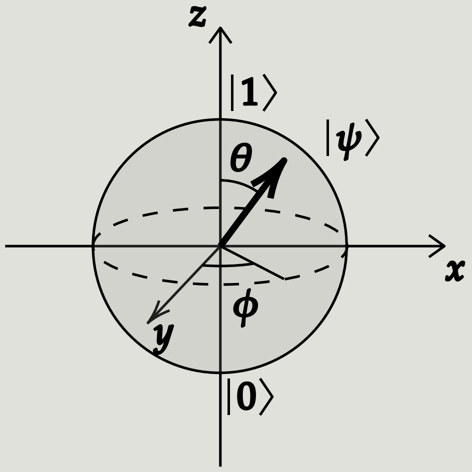


საზოგადოდ ქუბიტის მდგომარეობა გამოისახება, როგორც

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \ , \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C}$$

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

1 ქუბიტიანი სისტემის მდგომარეობის გამოსახვა შესაძლებელია ბლოხის სფეროზე. ამ შემთხვევაში ქუბიტისთვის $\alpha = \alpha(\phi, \theta)$ და $\beta = \beta(\phi, \theta)$.



ბლოხის სფერო

ორ და მეტ ქუბიტიანი სისტემა

თუ ავიღებთ ორ-ქუბიტიან სისტემას, მაშინ გვექნება ოთხი მდგომარეობა:

1) $S^{\downarrow}S^{\downarrow} \equiv |00\rangle$

2) $S^{\downarrow}S^{\uparrow} \equiv |01\rangle$

3) $S^{\uparrow}S^{\downarrow} \equiv |10\rangle$

4) $S^{\uparrow}S^{\uparrow} \equiv |11\rangle$

$$|\psi\rangle = \alpha|00\rangle + \beta|01\rangle + \gamma|10\rangle + \delta|11\rangle$$

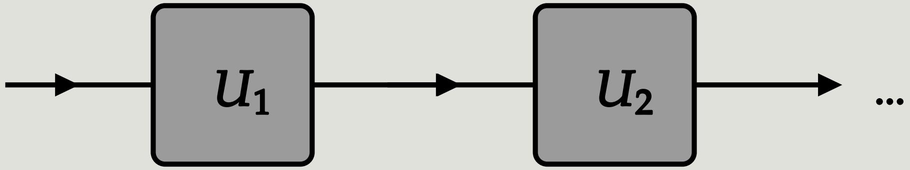
თუ გვექნება n-ქუბიტიანი სისტემა, მაშინ გვექნება 2^n ცალი მდგომარეობა

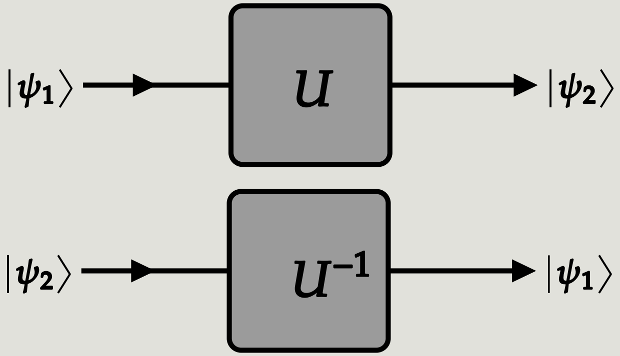
ლოგიკური ელემენტები

კვანტური კომპიუტერის ერთ-ერთ რეალიზაციას წარმოადგენს კვანტური სქემის მოდელი, რომლის მუშაობის პრინციპიც ძალიან ჰგავს კლასიკური კომპიუტერის მუშაობის პრინციპს. კვანტური კომპიუტერი აგებულია სხვადასხვა ლოგიკური ელემენტებით, რომლებითაც საბოლოო ჯამში იქმნება ერთი მთლიანი კომპლექსური გამომთვლელი სისტემა.

კლასიკურ კომპიუტერში არსებული ლოგიკური ელემენტებისგან განსხვავებით, კვანტური ლოგიკური ელემენტები გვაძლევენ შექცევად გარდაქმნებს.

მაგალითად, კლასიკური „და“ ელემენტი არ გვაქვს კვანტურ ლოგიკურ ელემენტებში, რადგან ბიტების ასახვა არაა ბიექციური ასახვა.

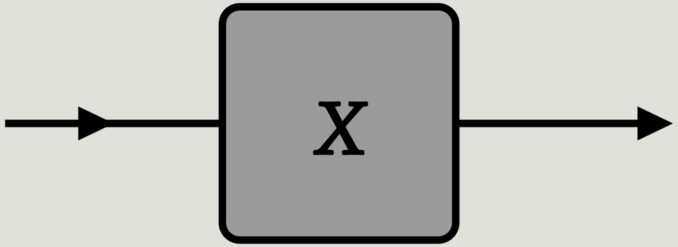




ლოგიკური ელემენტები - უნიტარული გარდაქმნები

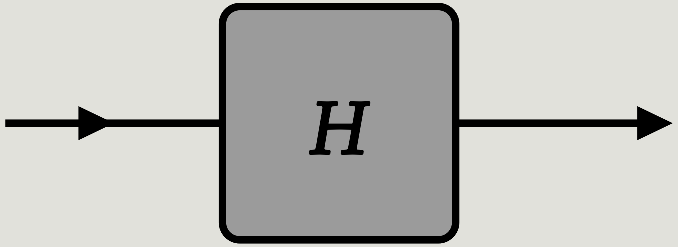
თუ ქუბიტებს წარმოვადგენთ, როგორც სვეტმატრიცებს კომპლექსური ვექტორული სივრციდან

$$|00 \dots 1 \dots 0\rangle \equiv \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$



მაშინ ლოგიკური ელემენტები იქნებიან უნიტარული გარდაქმნის ექვივალენტური ობიექტები.

$$U \equiv \begin{pmatrix} U_{11} & U_{12} & \cdots & U_{1n} \\ U_{21} & U_{22} & \cdots & U_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ U_{n1} & U_{n2} & \cdots & U_{nn} \end{pmatrix}$$



განვიხილოთ მაგალითი - ერთ-ქუბიტიანი სისტემა, X ლოგიკური ელემენტი

$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \equiv \alpha\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} + \beta\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\alpha\\\beta\end{pmatrix}$

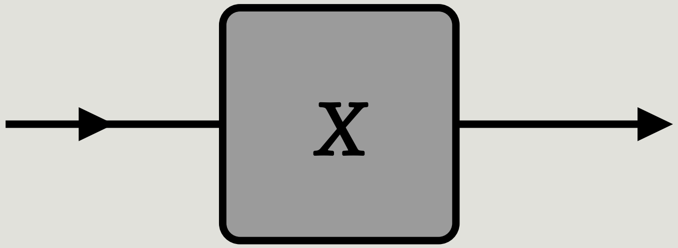
$X \equiv \begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\end{pmatrix}$

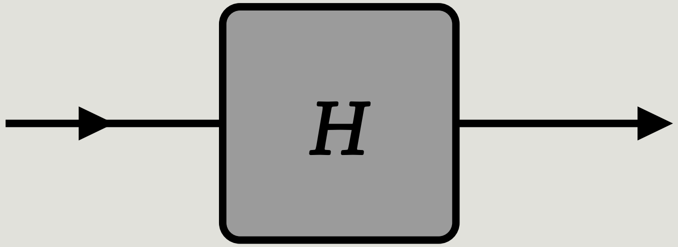
ქუბიტზე X ლოგიკური ელემენტის მოქმედების შემდეგ მივიღებთ

$X|\psi\rangle \equiv \begin{pmatrix}0 & 1\\1 & 0\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\alpha\\\beta\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\beta\\\alpha\end{pmatrix} \equiv \beta|0\rangle + \alpha|1\rangle$

როგორც ჩანს, X ლოგიკურმა ელემენტმა გაუცვალა კოეფიციენტები $|0\rangle$ და $|1\rangle$ მდგომარეობებს.

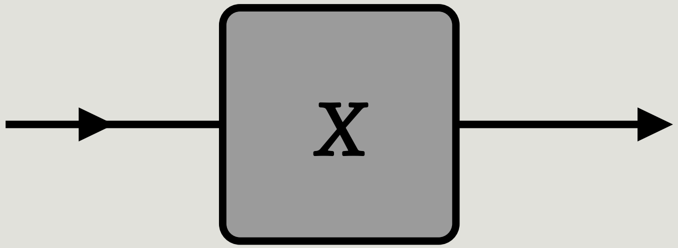
X ლოგიკური ელემენტი აღწერს ბლოხის სფეროზე $|\psi\rangle$ ვექტორის მობრუნებას x ღერძის მიმართ. ასევე არსებობს ლოგიკური ელემენტები Y და Z, რომლებიც აღწერენ y და z გერძების მიმართ მობრუნებებს ბლოხის სფეროზე. X, Y და Z მატრიცებს სხვაგვარად პაულის მატრიცებს უწოდებენ.





განვიხილოთ კიდევ ერთი მაგალითი - ერთ-ქუბიტიანი სისტემა, H ლოგიკური ელემენტი - ჰადამარდის ლოგიკური ელემენტი

$$|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle \equiv \alpha\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} + \beta\begin{pmatrix}0\\1\end{pmatrix} = \begin{pmatrix}\alpha\\\beta\end{pmatrix}$$

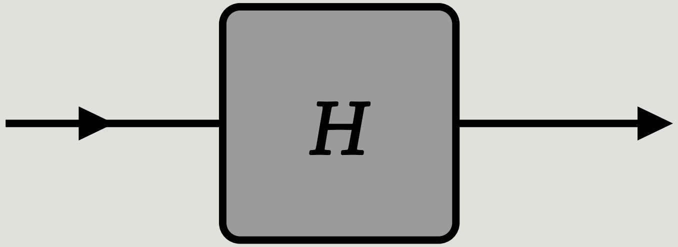


$$H \equiv \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1 & 1\\1 & -1\end{pmatrix}$$

ქუბიტზე H ლოგიკური ელემენტის მოქმედების შემდეგ მივიღებთ

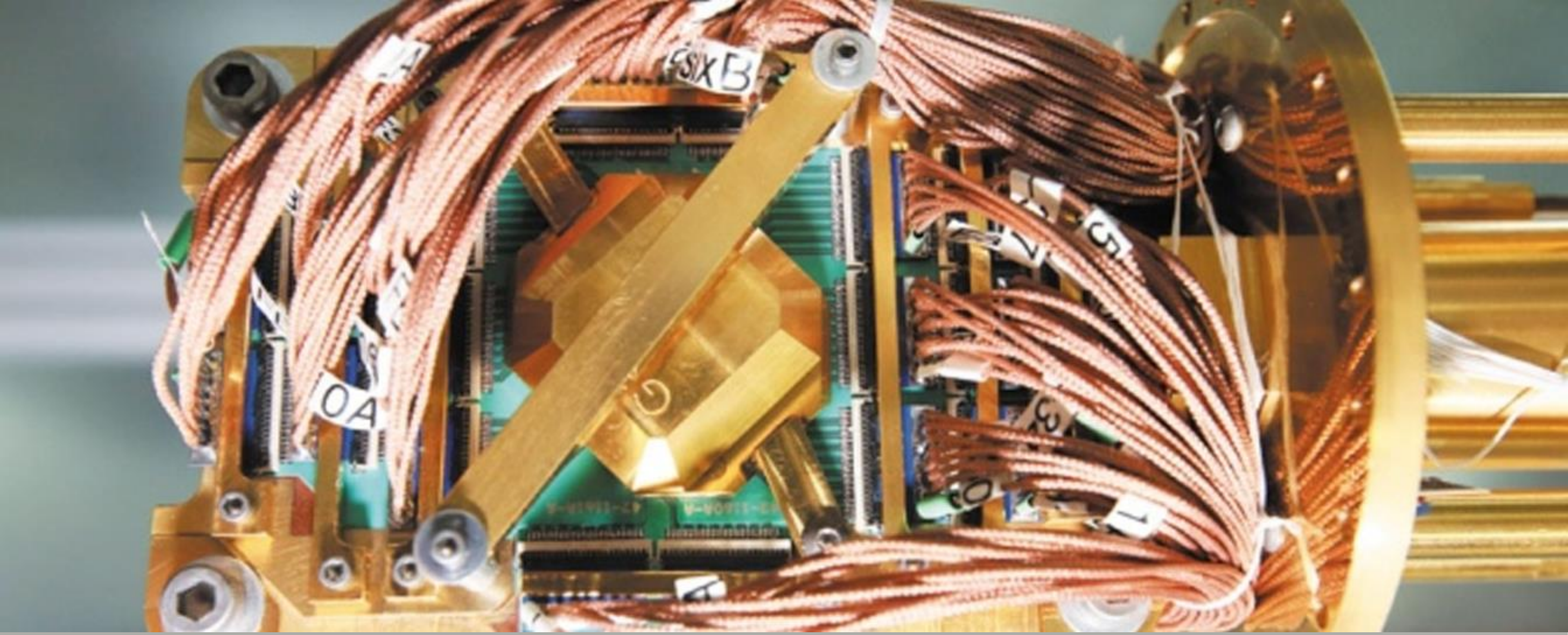
$$H|\psi\rangle \equiv \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}1 & 1\\1 & -1\end{pmatrix}\begin{pmatrix}\alpha\\\beta\end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}}\begin{pmatrix}\alpha+\beta\\\alpha-\beta\end{pmatrix} \equiv$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha+\beta)|0\rangle + \frac{1}{\sqrt{2}}(\alpha-\beta)|1\rangle$$



შეფასება

- კვანტური კომპიუტერი
  - უპირატესობა
    - ზომით პატარაა
    - ძალიან სწრაფია
  - ნაკლი
    - საბოლოო შედეგი არაა ზუსტი - არის ალბათური
    - დღესდღეისობით სტაბილური კვანტური კომპიუტერის შექმნა ტექნიკურად ძალიან რთული ამოცანაა
- კლასიკური კომპიუტერი
  - უპირატესობა
    - საბოლოო შედეგი ზუსტია
    - შექმნა შედარებით მარტივია
  - ნაკლი
    - ზომაში შედარებით დიდია
    - შედარებით ნელა მიდის გამოთვლითი პროცესები



Google-ის კვანტური კომპიუტერი

53 ქუბიტი

მადლობა ყურადღებისთვის