

12. týden

Zajímavé jevy moderní fyziky

V kvantovém světě mikročásteček existuje mnoho neobvyklých a překvapivých jevů. K těm nejzajímavějším (a to jak ze strany vědecké pozornosti, tak ze strany vynakládaných finančních prostředků) patří především

- spontánní narušení symetrie.
- možnost provádět výpočty pomocí kvantových vlastností atomů.

První problematiku demonstrujeme na zjednodušeném modelu mikročástečky o hmotnosti m s vlnovou funkcí ψ .

Energie mikročáshce :

$$E(\psi) = \underbrace{\frac{1}{2}m\psi^2}_{\text{kinetická}} + \underbrace{V\psi^4}_{\text{potenciální}} \quad (1)$$

Tato energie má zjevnou **zrcadlovou symetrii**:

$$E(-\psi) = E(+\psi) \quad (2)$$

Hledejme nyní základní stav mikročáshce,
tj. vlnovou funkci ψ_0 , pro níž je energie $E(\psi_0)$
minimální :

$$\frac{dE}{d\psi}(\psi_0) = m\psi_0 + 4V\psi_0^3 = 0 \quad (3)$$

Existují 2 dráhy řešení rovnice (3) v závislosti
na tom, kde je $V > 0$ (odpudivý potenciál)
nebo $V < 0$ (přitažlivý potenciál):

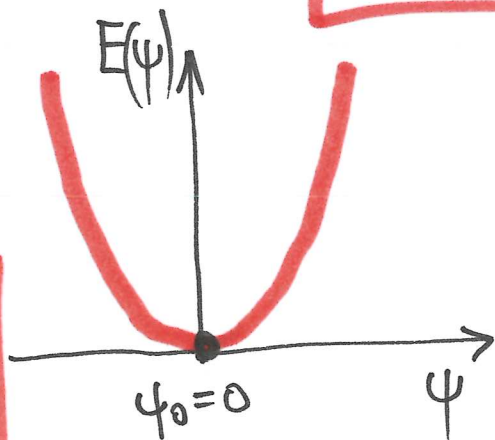
① $V > 0$

Z rovnice (3) pak máme:

$$\psi_0 \{ m + 4V\psi_0^2 \} = 0$$

$\Downarrow$

$$\psi_0 = 0$$



Existuje **jediné** minimum funkce $E(\psi)$,
a tudíž také **jediný základní
stav** mikročástice s energií

$$E(\psi_0=0) = \underline{\underline{0}}. \quad (4)$$

Funkce $E(\psi)$ je **symetrická** vůči ose jdoucí minimum $\psi_0=0$.

$$\textcircled{2} \quad V < 0, \text{ tj. } V = -\underbrace{|V|}_{>0}$$

V tomto případě rovnice (3) dává:

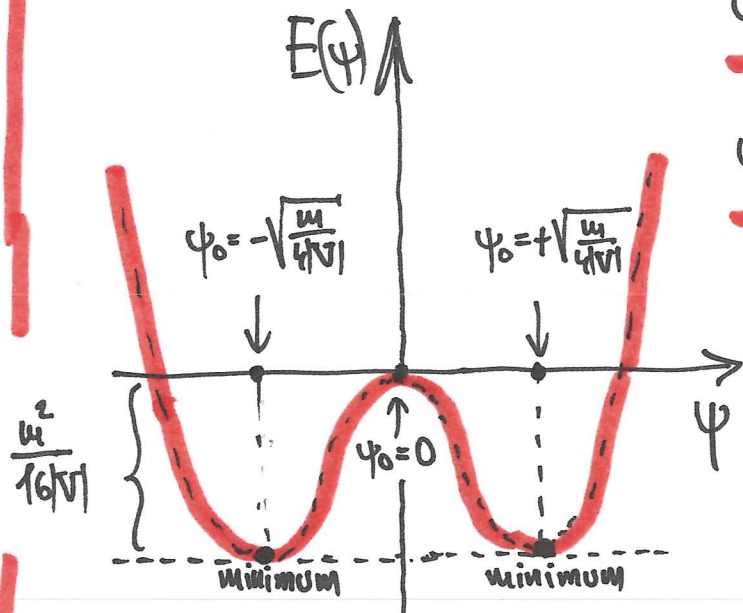
$$\psi_0 \{ m - 4|V|\psi_0^2 \} = 0$$

$$\underline{\psi_0 = 0}$$

$$\{ m - 4|V|\psi_0^2 \} = 0$$

$$\underline{\psi_0 = +\sqrt{\frac{m}{4|V|}}}$$

$$\underline{\psi_0 = -\sqrt{\frac{m}{4|V|}}}$$

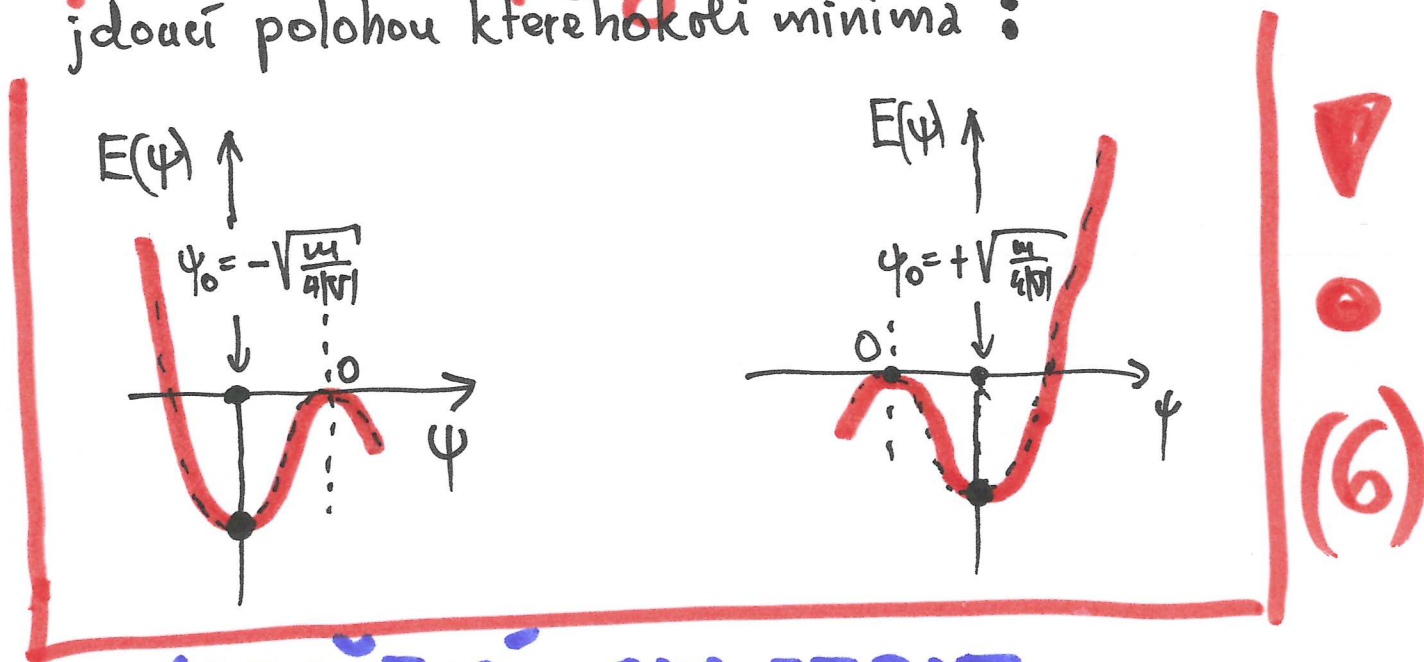


Nyní existují **2 minima**,
takže máme možnost
si vybrat ze **dvou**
zákl. stavů mikročástice s
energií $E_{\min} = -\frac{m^2}{16|V|}$.

(5)



Poznatky (5) ukazují, že funkce $E(\psi)$ přestává být symetrická vůči ose jdoucí polohou kteréhokoli minima :

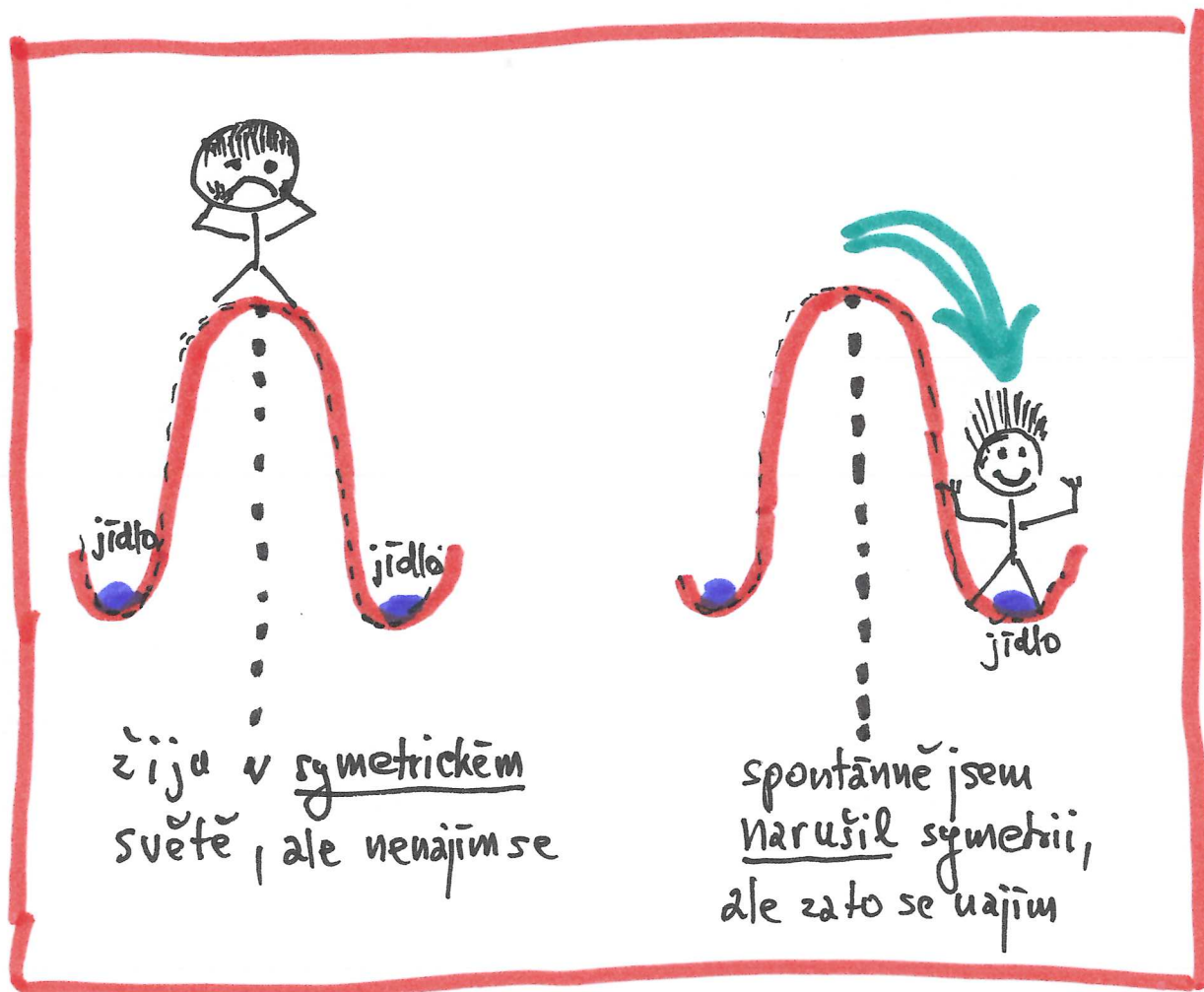


NARUŠENÍ SYMETRIE .

Chceme-li popsat reálný stav mikročástice, musíme se rozhodnout, kterou hodnotu ψ_0 zvolíme.

Protože jde o svobodnou volbu pozorovatele a nikoli o důsledek fyzikálních zákonů, říkáme, že touto volbou došlo ke

spontánnímu narušení symetrie ! (7)



(8)

Spontánní narušení symetrie vždy přivádí nějaký **nový jev** (v uvažované ilustraci např. možnost se najíst).

V obecnějším případě mikročástic je tím novým jevem

Změna jejich hmotnosti
(Higgsův mechanismus) || ! (9)

Higgsov mechanismus matematicky plyne z faktu, že vyjádřením energie $E(\psi)$ vůči některému z minim (tj. změnou souřadného systému) dostaneme:

$$E(\phi) = \frac{1}{2} [m + \mu(|v|, m)] \phi^2 + U(\phi)$$

kde $\phi = \left(\psi - \sqrt{\frac{m}{4|v|}} \right) \dots$ vlnová funkce
mikročásteček
vůči minimu
 $\psi_0 = \sqrt{\frac{m}{4|v|}}$

$\mu(|v|, m) \dots$ přírůstek hmotnosti
(vznik Higgsovy částice)



(10)

Experimentální důkaz existence Higgsovy částice bosonového typu (= Higgsova boson) je v současnosti klíčovým momentem na cestě hledání univerzální interakce, a tím pádem pochopení hmoty v podmínkách velkého děsu.

Vedle spontánního narušení symetrie a Higgsova mechanismu existují ve fyzice mikročástic další pozoruhodné jevy :

• Kvantová superpozice

Může-li se mikročástice nacházet v různých stavech popsaných vlnovými funkcemi Φ_i ($i=1,2,3,\dots$), pak obecný stav mikročástice je popsán vlnovou funkcí

$\psi = \sum_i c_i \Phi_i$, kde $\underline{c_i}$ jsou komplexní čísla a $|c_i|^2$ udávají pravděpodobnosti výskytu mikročástice v jednotlivých stavech $\underline{\Phi_i}$

▽
●
(11)

o Kvantové propletení:

Máme-li jednu mikročástici ve stavu ψ_1
a jinou mikročástici ve stavu ψ_2 , pak pro
společný stav obou mikročástic Φ_{12} platí
důležitá nerovnost

$$\Phi_{12} \neq \psi_1 \cdot \psi_2$$

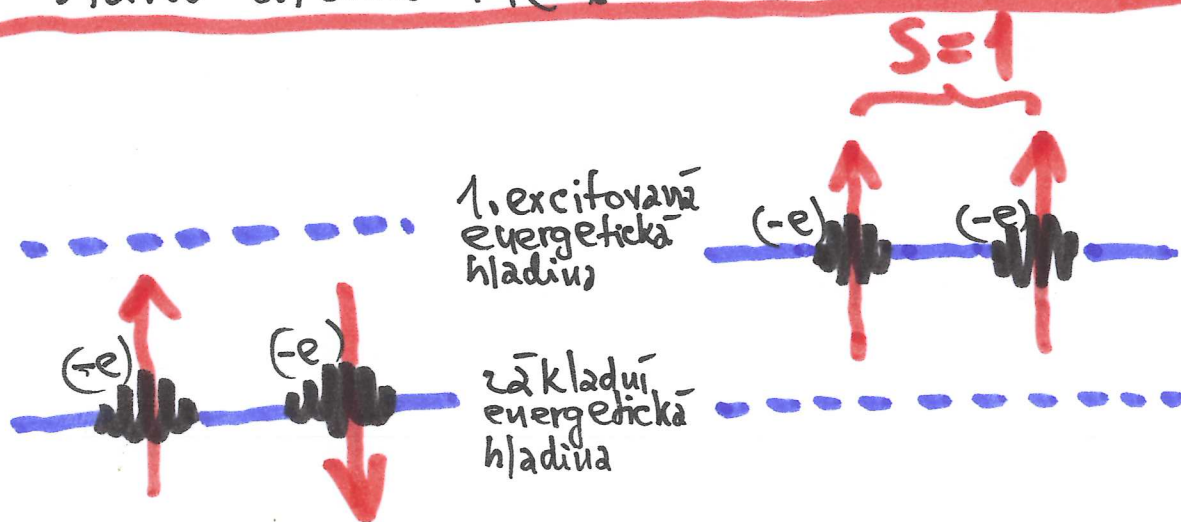
Fyzikální význam tohoto matematického
tvrzení spočívá v tom, že mikročástice
jsou na sobě závislé, jinými slovy
propletené, tj. jakákoli změna
jedné z nich automaticky vyvolá změnu druhé.



(12)

Fascinující kombinací kvantové superpozice
a kvantového propletení je
KVANTOVÝ POČÍTAČ:

Vychází ze základního a 1. excitovaného
stavu atomu He:



$S=0$

ZÁKLADNÍ STAV
ATOMU He

Označme

0

$S=1$

PRVNÍ EXCITOVANÝ
STAV ATOMU He

Označme

1

(13)

Podle **principu superpozice** se atom He může také nacházet ve stavu

$$\boxed{0:1}_{\alpha_0\alpha_1} = \alpha_0 \boxed{0} + \alpha_1 \boxed{1}$$

$\alpha_0, \alpha_1 \dots$ libovolná komplexní čísla

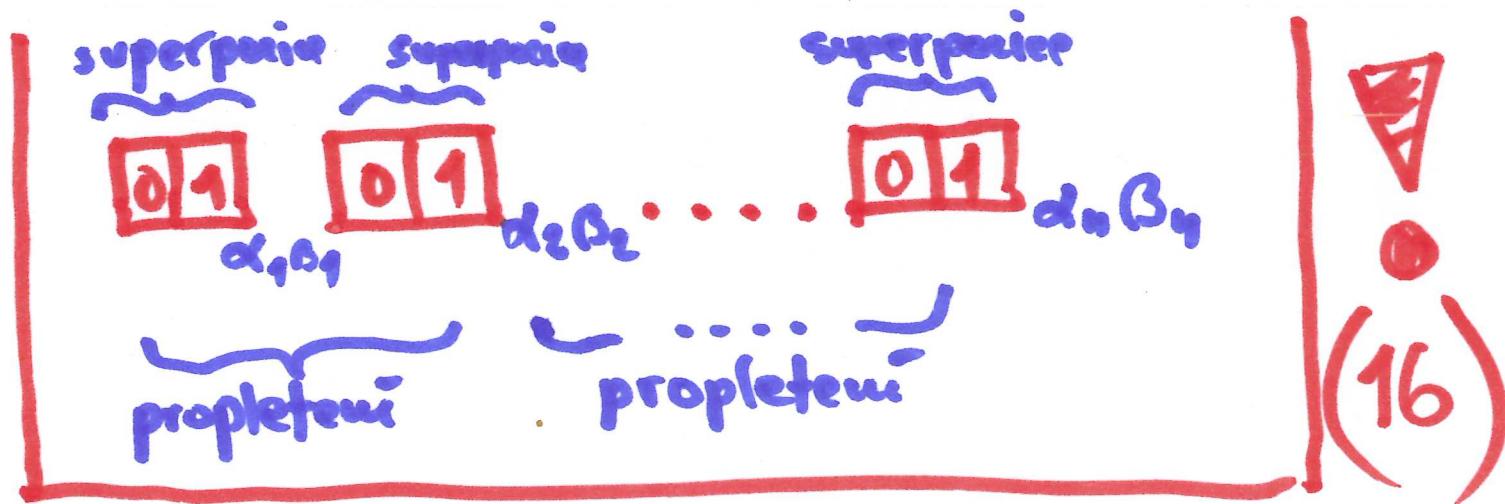
(14)

Tento kvantový stav atomu He posloužil jako podklad pro zavedení **zobecněného informačního elementu - Kvantového bitu (q-bitu)**:

$$\boxed{0:1}_{\alpha_0\alpha_1} = \text{q-bit}$$

(15)

Kvantový počítač je soubor kvantových operací, které dokáží **manipulovat** s posloupností **propletených q-bitů**, tj. s kvantovým informačním kódem (KIK):



Počet q-bitů n odpovídá počtu atomů ve standardní jednotce množství látky, tj. **1 molu**:

$$n \approx 10^{23} \text{ (Avogadrova konstanta) .}$$

Síla kvantové superpozice a kooperace (propletení)

Spočívá v tom, že každý KIK
se dá rozložit na kombinaci

2^n klasických binárních kódů

dle následujícího schématu:

$$\begin{aligned} & \boxed{01} \alpha_1 \beta_1 \boxed{01} \alpha_2 \beta_2 \dots = \\ & = (\alpha_1 \boxed{0} + \beta_1 \boxed{1}) (\alpha_2 \boxed{0} + \beta_2 \boxed{1}) \dots = \\ & = \left. \begin{aligned} & \alpha_1 \alpha_2 \boxed{00} \dots \\ & + \alpha_1 \beta_2 \boxed{01} \dots \\ & + \beta_1 \alpha_2 \boxed{10} \dots \\ & + \beta_1 \beta_2 \boxed{11} \dots \\ & \vdots \end{aligned} \right\} \begin{aligned} & 2^n \text{ klasických} \\ & \text{binárních kódů} \\ & n \sim 10^{23} \end{aligned} \end{aligned}$$

↓
V jednom KIKu je současně přítomno
 $2^{10^{23}}$ klasických binárních kódů.

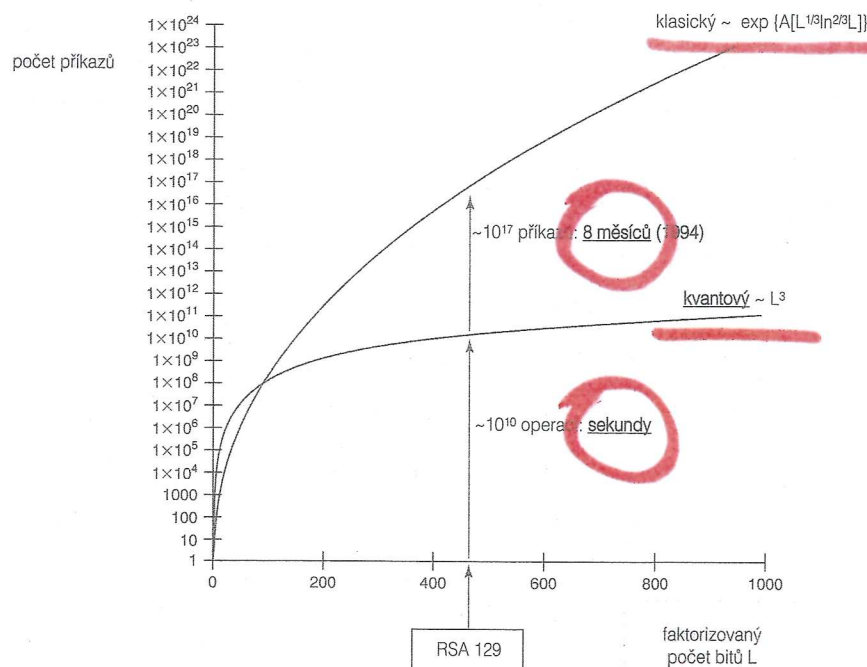
V tomto výsledku je
podstata kvantového
počítače :

V jediné manipulaci dokáže
současně provést
 $2^{10^{23}}$ manipulací klasického
počítače.



kvantově paralelní
zpracování informace
(kvantový výpočet)

Jako užitečně srovnání uvádím nárůst výpočetní
náročnosti, měřené počtem příkazů, nutných
k faktorizaci (rozkladu) stále větších čísel na
prvočísla :



3490529510	3276913299	1143816257578886766
8476509491	3266709549	92357799761488120102
4784961880	9619881908	18290721242352562551
3898133417	3448141317	84293570693524573389
7646384933	7642967992	78305971235639587050
8784399082	9425397982	58989075147599280026
0577	88533	879543541

K fungování kvantového počítače je podstatná
jak **superpozice stavů**, tak **kooperace**
těchto superpozic.

A tady je velký problém:

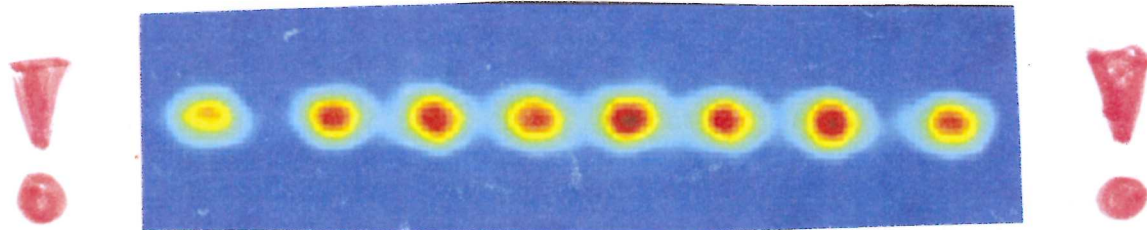
Okolní prostředí ničí nebo vážně poškozuje
obě tyto vlastnosti. Stačí jediný foton, který se
od nějaké částice v q-bitu odrazí, a všechny
paralelní výpočty jsou k ničemu.



Dekoherence

Dekoherence ukazuje **meze kvant. počítačů**,
takže udržet počítač **v izolaci od okolí**
je pro vědce hlavní překážka, které musí při
konstrukci takového zařízení čelit.

Existující kvantový počítač :



Levitující řetězec 8 iontů Ca
ve vakuové komoře laserem ochlazený
do absolutního klidu

První kvantový počítač v běžném prodeji

11. května 2011 byl představen světově první komerční kvantový počítač D-Wave One, který obsahuje 128qubitový procesor. Rainier, jak se tento kvantový procesor nazývá, pracuje tedy se 128 stavy současně a je vyroben ze supravodivých kovů chlazených až k hranici absolutní nuly, k čemuž slouží integrované chlazení pomocí tekutého hélia. Procesor se programuje pomocí zvláštního programovacího jazyka. Zvládá zatím pouze jedinou matematickou operaci z oblasti diskretní optimalizace. Vzhledem k tomu, že se jedná o první komerčně prodáváný kvantový počítač, stojí kompletní systém, který je určen především k dalšímu vědeckému zkoumání, deset milionů dolarů. V přepočtu tedy přes 200 milionů korun.

