

# Provázání ve fyzice

Jan Cabrnoc  
SGaGY Kladno  
[jcabrnoc@seznam.cz](mailto:jcabrnoc@seznam.cz)

Michal Mareček  
Gymnázium Václava Beneše Třebízského Slaný  
[mmarecek@velvary.com](mailto:mmarecek@velvary.com)

Jana Poledniková  
Gymnázium Vídeňská/Táborská Brno  
[janap@casak.cz](mailto:janap@casak.cz)

Martina Štollová  
Gymnázium Mikulov  
[m.stoll@atlas.cz](mailto:m.stoll@atlas.cz)

## **Abstrakt:**

V naší práci jsme se seznámili s poznatky nově se rozvíjejících oborů kvantové fyziky, kvantové informace a kvantového počítání. Nahlédli jsme do neobvyklých vlastností kvantového provázání a demonstrovali jsme je na konkrétních příkladech kvantové teleportace, šifrování, superhustého kódování a vzdálené přípravy stavů. Vyvrátili jsme si mylný názor o kvantových počítačích.

## **1 Úvod**

V současné době je kvantová fyzika nejperspektivnějším a nejdynamičtějším oborem lidského bádání. Zároveň se jedná o jednu z nejověřenějších teorií současné doby. Věnovali jsme se provázání mezi částicemi a jeho využití v kvantové teleportaci, kvantových počítačích a šifrování.

## **2 Provázání ve fyzice**

**Kvantové provázání je kvantová vlastnost kterou nelze vysvětlit pomocí pojmů z klasické fyziky. K pochopení tohoto jevu, se nevyhneme detailnějšímu rozboru odlišných vlastností klasického a kvantového modelu. V klasickém modelu mechaniky**

jsou stavy přesně vymezené, kdežto v kvantové fyzice navíc přibývají další stavy, takzvané superpozice. To znamená, že objekt se nemusí vyskytovat jenom v jednom či druhém stavu, ale může se například vyskytovat se stejnou pravděpodobností v obou stavech. Populární představou, kterou nemají ochránci zvířat rádi, je Schrödingerova kočka.

Představte si kočku v bedně a pušku, která na kočku míří. Její výstřel je spjat s rozpadem radioaktivního jádra. Pravděpodobnost, že se tak stane je 50%. Pokud se jádro rozpadne, puška vystřelí a kočka zemře. Po otevření bedny, tedy provedení měření, je kočka živá nebo mrtvá. Před otevřením bedny je ale kvantový stav kočky směsí stavu mrtvé kočky a stavu živé kočky a kočka je tedy v superpozici těchto stavů. Měřením jsme donutili kočku, aby se nalézala v jednom z konkrétních stavů.

V tomto případě jsme mluvili jen o jedné částici. Když uplatníte princip superpozic na více částic, tím vzniká provázání.

Vezměme si nyní dvě částice (stejný postup můžeme zopakovat pro více částic). Necht' je první částice ve stavu  $|a\rangle$  a druhá ve stavu  $|b\rangle$  potom společný stav mohou popsat jako  $|a\rangle|b\rangle$ . Tento stav nazýváme neprovázaný a znamená to, že tyto částice můžeme oddělit, aniž bychom ztratili informaci. Kvantová mechanika však předpokládá existenci stavů které vzniknou superpozicí těchto neprovázaných stavů. Mezi těmito superpozicemi stavů existují i takové, které nelze rozdělit na stavy jednotlivých částic. Těmto stavům říkáme provázané.

Kvantový bit neboli qubit je kvantová verze bitu, která umožňuje superpozici 2 bazických stavů.

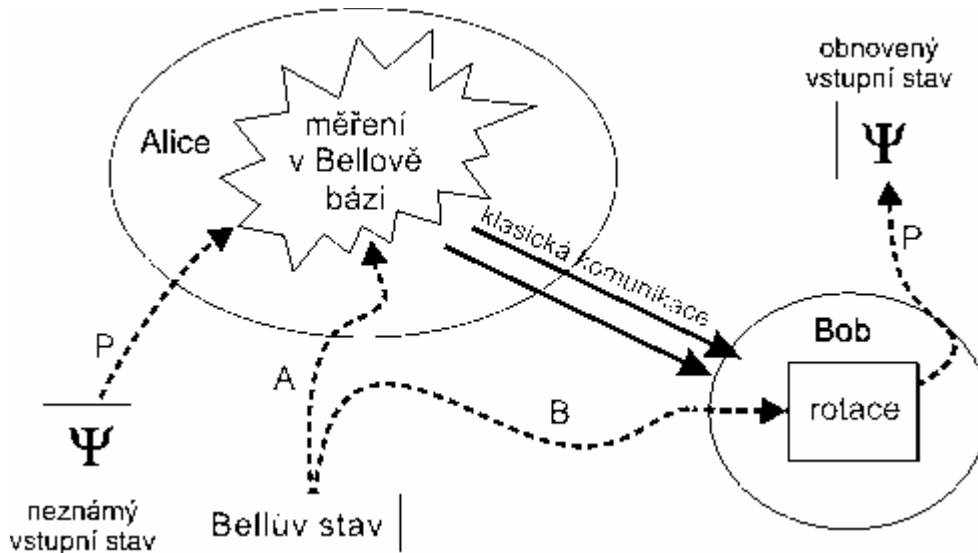
Podívejme se nyní blíže na pozoruhodné vlastnosti těchto provázaných párů. Měření vlastností první částice ovlivňuje výsledek měření vlastností částice druhé. Uved'me následující příklad částic v provázaném stavu:  $|ab\rangle + |xy\rangle$ . Naměříme-li na první částici stav  $|a\rangle$ , pak je na druhé částici nepochybně stav  $|b\rangle$ . Pokud ovšem naměřím na první částici stav  $|x\rangle$ , pak s jistotou vím, že stav druhé částice je  $|y\rangle$ .

Provázení má nelokální charakter. Představme si, že výše uvedená měření jsme provedli ve vzdálenosti a čase, kdy se navzájem nemohla ovlivnit fyzikální interakcí (šířící se maximálně rychlostí světla). Vždy první měření na první částici nám dává dva možné výsledky každý s pravděpodobností 0,5 (ideální generátor náhodných čísel). Přesto v momentě, kdy změříme jednu z částic okamžitě víme, jaký je stav na druhé částici. Máme-li vyloučit nadsvětelnou interakci, pak musíme připustit nelokální charakter výše zmíněné korelace mezi měřeními. Nepozornému čtenáři by se mohlo zdát, že tento jev se dá využít k nadsvětelné komunikaci, ale to není pravda. Protože ale první měření je zcela náhodné a my nejsme schopni jej ovlivnit. A tudíž nedokáže přenést informaci.

Další vlastnost demonstrujeme na soustavě více částic (tři a více). Existují provázané stavy, jejichž provázání je v určitém smyslu nejsilnější. Takové stavy už nemohou být provázány s dalším fyzikálním systémem. Obecně lze říci, že čím silnější je provázání mezi vybranými částmi, tím slabší musí být s ostatními. Tato vlastnost nápadně připomíná partnerské vztahy, a proto se jí někdy říká monogamnost.

Výše zmíněné vlastnosti jsou klíčovou ingrediencí nových kvantových protokolů a algoritmů, které vzbudily v posledních letech pozornost fyziků. A my jsme se zabývali kvantovou teleportací, superhustým kódováním a kvantovým počítáním.

## Kvantová teleportace



Opusťme klasickou „StarTrekovskou“ představu teleportace. V kvantové teleportaci je tato úloha je definována následovně: Alice s Bobem se před léty potkali, ale dnes žijí daleko od sebe. Po dobu co se setkali, spolu vyrobili maximálně provázaný pár fotonů a každý si vzal po jednom z nich. Za mnoho let je Aliciným úkolem vybrat neznámý stav qubitu a poslat jej Bobovi, s tím že má povolenou jen klasickou komunikaci. Zdá se, že tohle je pro Alici neřešitelný úkol. Řešení spočívá v použití stále sdíleného maximálně provázaného páru. Alice na svojí složku páru naváže přenášený qubit provede na této dvojici speciální měření (čímž ovlivní Bobovu částici). S pravděpodobností 25% dostane jeden ze čtyř možných výsledků, který v podobě dvou klasických bitů odešle Bobovi. Ten na základě Aliciných výsledků provede na své částici jednu ze čtyř známých operací a tím získá qubit ve stavu identickém s původním se kterým mohla manipulovat jenom Alice. A teleportace se povedla.

**Možnosti dalšího využití:**

- Kvantové počítače – zpracování obrovských kvant informací během krátké doby
- Superhusté kódování – komprimace dat
- šifrování – umožňuje naprosto spolehlivou (nenapadnutelnou třetí osobou) komunikaci

## 3 Shrnutí

Zjistili jsme spoustu nových informací, o oboru který má bezpochyby obrovský potenciál. Poopravili jsme si názor na princip kvantových počítačů.

## **Poděkování**

Poděkování: FJFI, celé ČVUT, našim supervisorům překypujícím trpělivostí

## **Reference:**

- [1] [HTTP://MOZEK.CZ/INFO/SCHRODINGER](http://MOZEK.CZ/INFO/SCHRODINGER)
- [2] [HTTP://ALDEBARAN.CZ/BULLETIN/2004\\_31\\_TEL.HTML](http://ALDEBARAN.CZ/BULLETIN/2004_31_TEL.HTML)
- [3] QUANTUM COMPUTATION AND QUANTUM INFORMATION  
vydavatel: Cambridge University  
2000
- [4] KONCEPČNÍ OTÁZKY Kvantové teorie  
vydavatel: Univerzita Palackého v Olomouci  
2002