

# Najprv teleportácia informácie a potom...?

**Spomínate si na vesmírnu loď Star Trek a „transportér“, ktorý dokázal teleportovať ľudí aj materiál na neznámu planétu a späť? Teleportovanie ľudí je a ešte dlho bude sci-fi, ale teleportovanie častíc sa už dnes vedcom podarilo. Preto hovoríme o kvantovej teleportácii. Čo je to vlastne?**

Zoberme ako príklad jednoduchú časticu svetla, fotón (v celom ďalšom článku budeme rozprávať o časticiach, pretože v súčasnosti dokážeme skúmať princípy kvantovej mechaniky len na systémoch skladajúcich sa z veľmi malého počtu častíc, takže myšlienky o teleportovaní, napríklad človeka, zostávajú v ríši fantázie). Fotón môže mať dve rôzne polarizácie, nazvime si ich vodorovnú a zvislú. Takisto môže mať, pochopiteľne, aj akúkoľvek kombináciu týchto dvoch polarizácií, napríklad šikmú. V tomto sú zatiaľ obe teórie, klasická i kvantová, rovnaké. Rozdiel prichádza v momente, keď chceme zistiť polarizáciu fotónu.

## MERANIE

V klasickej fyzike sa meraniu nevenuje špeciálna pozornosť. Predpokladá sa totiž, že meraný objekt má isté vlastnosti, ktoré môžeme zistiť meraním (veľkosť, rýchlosť, farba...), no pri meraní sa nezmenia. V kvantovej mechanike však pritom môžeme stav objektu – častice zmeniť, dokonca ho meníme prakticky vždy. Teória hovorí, že výsledok merania musí byť iba z istej obmedzenej množiny všetkých možných výsledkov (v prípade merania polarizácie fotónu môže byť výsledok, pri fixovanej orientácii meracieho prístroja, iba zvislá alebo vodorovná polarizácia). Stav a vlastnosti objektu sa v priebehu merania upravia tak, aby výsledok zodpovedal niektorému z povolených výsledkov. Šikmo polarizovaný fotón sa pri meraní zmení na zvislo alebo vodorovne polarizovaný (s pravdepodobnosťou závisiacou od uhla polarizácie). Meraním získame spoľahlivú informáciu o tom, v akom stave sa nachádza fotón po meraní, ale vieme len málo povedať o tom, v akom stave bol pred ním. Preto sa vynárajú problémy, ktoré sme doteraz v klasickej fyzike nemali, a jedným z nich je klonovanie častíc.

## KLONOVANIE

Pod klonovaním, podobne ako v biotechnológii, rozumieme vytvorenie niekoľkých úplne identických objektov podľa jedného, ktorý máme ako vzor k dispozícii.

Rovnako, ako keby sme mali vyrábať množstvo výrobkov pre niekoho, kto nám dodal hotový prototyp, ale už nie postup, ako výrobok vyrobiť. V bežnom živote si pomôžeme tak, že zistíme všetky potrebné údaje z prototypu príslušnými meraniami. Ako sme spomínali, v kvantovej mechanike to nie je možné. Máme teda vážny problém: Ako produkovať viacero identických častíc? Odpoveď je možno trochu prekvapujúca – ide to len v prípade, že sa dohodneme na spoločnom výrobnom postupe. Dokážeme vyrábať identické častice na základe plánov, postupov ich výroby, ale nie na základe jediného prototypu. Inak povedané, kvantová mechanika neumožňuje klonovať častice.

## TELEPORTÁCIA

Skúsme si teda postaviť jednoduchšiu úlohu. Máme k dispozícii jeden prototyp častice, fotón. Chceme všetku informáciu o tomto fotóne pretransportovať na nejaké iné miesto bez toho, aby sme transportovali sám fotón. Ak použijeme „hantíru“ kvantových fyzikov, potrebujeme stav fotónu, ktorý vlastní Alica, presunúť k Bobovi len pomocou posielania klasickej

informácie (teda núl a jednotiek, ale nie kvantových častíc). V klasickej príprave sa táto úloha rieši triviálne: Alica zmeria všetko potrebné na svojom fotóne, informáciu pošle Bobovi a ten na základe nej vyrobí u seba identickú časticu. Tento postup však odporuje dokázanému faktu, že častice sa nedajú klonovať (z jednej počiatočnej častice u Alici by sme získali dve identické, u Alici aj u Boba). Preto vyvstáva otázka, či podobne ako klonovanie, aj teleportovanie odporuje teórii, alebo je možné nájsť spôsob, ako pri teleportovaní obísť klonovanie.

Ukazuje sa, že pri istých podmienkach je teleportácia možná. Aby sme však mohli tieto podmienky vysvetliť, musíme zaviesť nový, rýdzo kvantový pojem.

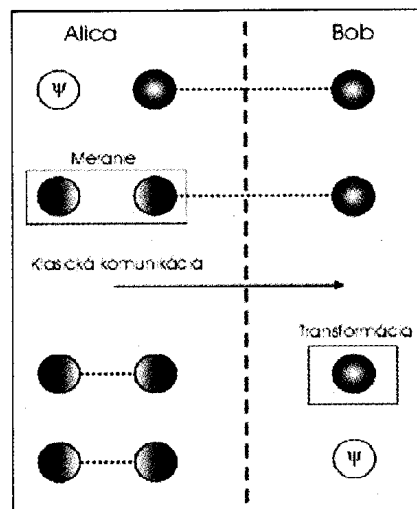
## ENTANGLEMENT

Čo vlastne znamená tento ťažko vysloviteľný pojem, ktorý navyše ani nemá ekvivalent v klasickej fyzike? Do slovenčiny by sa dal preložiť ako previazanosť, prepletenosť. Vyjadruje mieru kvantovej korelácie, vzájomnosti dvoch objektov.

Zatiaľ sme sa vždy zaoberali len stavom jednej častice, veľmi jednoduchého systému. Pozrime sa teraz na čosi o málo zložitejšie, systém dvoch častíc. V klasickej príprave nám táto situácia neprináša nič podstatne nové: každá z dvoch častíc má svoje vlastnosti, ktoré vieme odmerať, a vlastnosť systému je plne daná vlastnosťami dvoch častíc, z ktorých sa skladá. V kvantovej mechanike je situácia, ako obvyčajne, zložitejšia. Systém dvoch častíc môže byť v stave, ktorý sa nedá rozložiť na stav jednotlivých častíc, odborné povedané, nedá sa faktorizovať.

Vráťme sa späť k našim fotónom. Dva fotóny môžu byť napríklad v stave zvislej polarizácie. Takýto stav sa jednoducho opíše pomocou jednotlivých fotónov: Prvý fotón je v stave so zvislou polarizáciou a druhý fotón je tiež v stave so zvislou polarizáciou. Predstavme si však iný stav, ktorý je v kvantovej mechanike rovnako prípustný. A to taký, že fotóny sa nachádzajú v stave, keď sú buď oba vodorovne alebo oba zvislo polarizované, sú v lineárnej kombinácii zvislo a vodorovne polarizovaného stavu. V tomto prípade už nemôžeme stav opísať ako stav dvoch nezávislých fotónov. Polarizácia jedného z nich totiž závisí od polarizácie druhého.

A práve pomocou takýchto stavov dokážeme teleportovať častice.



## POSTUP TELEPORTÁCIE

Predstavme si teraz, že máme dvoch pozorovateľov, Alicu a Boba, pričom Alica sedí v Moskve a Bob vo Washingtone. Aby mohla teleportácia prebiehať, museli sa obaja kedysi stretnúť a pripraviť si entanglované páry častíc rovnakého typu, tak ako sme opisovali.

Situácia pred teleportáciou zodpovedá prvému riadku na obrázku. Alica zdieľa s Bobom entanglovaný pár častíc a okrem toho vlastní časticu v stave  $y$ . Alica teraz špeciálnym spôsobom odmeria dvojicu častíc, ktorú momentálne vlastní (jednu z entanglovaného páru a druhú v neznámom stave  $y$ ) a dostane jeden zo štyroch možných výsledkov. Môžeme si to predstaviť ako meranie polarizácie dvoch fotónov, pričom možné výsledky sú oba zvislo, oba vodorovne alebo kombinácia. Musíme však pripomenúť, že pri teleportácii treba použiť iné meranie, ktorého výsledky sú komplikovanejšie, ale rovnako sú možné len štyri rôzne.

Ako vidieť na obrázku, pri meraní sa entanglement presunul z dvojice častíc, ktoré Alica a Bob zdieľali, na Alicinu dvojicu častíc, pričom Bobova častica zostala osamotená. Stále to však nie je častica v žiadanom stave  $y$ . Alica musí výsledok svojho merania (číslo od 1 do 4) najskôr zaslať Bobovi pomocou klasickej informácie, napríklad dvoch bitov. Bob až na základe tejto informácie dokáže urobiť na svojej častici vhodné transformácie tak, aby získal žiadaný stav.

Zhrňme si teraz, čo sa vlastne stalo v priebehu teleportácie. Alica na začiatku vlastnila dve častice, jednu zo spoločného páru s Bobom a druhú v neznámom stave  $y$ . Pomocou vhodného merania (tzv. Bellovho), klasickej komunikácie a transformácie na Bobovej strane dokázala dosiahnuť to, že jej zostali dve entanglované častice, pričom Bobova častica sa pretransformovala do stavu  $y$ . Pripomíname, že sme neporušili „zákaz“ klonovania, pretože Alica stratila všetku informáciu o pôvodnej častici. Informácia sa nám teda nerozmnožila, len sa presunula na iné miesto bez toho, aby sa musela presunúť sama častica.

Možno sa to zdá zvláštne a možno je to pre mnohých aj trochu sklamaním, ale práve to je teleportácia v kontexte kvantovej mechaniky. Nikdy nemôžeme premiestniť hmotu, energiu z jedného miesta na druhé bez toho, aby sme ju tam fyzicky presunuli. Dokážeme to urobiť však aspoň s informáciou, čo je však rovnako zaujímavé. Veď ak by sme sa sami chceli niekam teleportovať, stačilo by nám, keby sme presunuli na dané miesto všetku informáciu o tom, ako sme postavení. Niekoľko alebo niečo by sa tam už postaralo o naše znovuzrodenie.