

Problém merania, princípy a informácia (časť 2.)

Fyzikálna teória je v podstate súhrnom pravidiel, ktoré nám hovoria akú informáciu o systéme máme k dispozícii a ako s touto informáciou máme pracovať. Jej úlohou je jednak informáciu predpovedať a jednak ju spracovávať. Je zrejmé, že informácia je fyzikálna, t.j. akékoľvek narábanie s informáciou (prenos informácie, uchovanie informácie, spracovanie informácie, alebo zmena informácie) je priamo spojené s reálnymi fyzikálnymi procesmi, a teda obmedzené platnými fyzikálnymi zákonmi a princípmi.

Kvantová teória informácie sa pokúša tento pohľad obrátiť a chápať fyzikálny popis, resp. fyzikálne princípy ako princípy týkajúce sa spracovania informácie. Inými slovami pýtame sa, akým spôsobom obmedzenia na narábanie s informáciou určujú charakter fyzikálneho objektu, teórie. Niektorí fyzici si myslia, že práve tento pohľad nám umožní zrozumiteľne sformulovať základné princípy kvantovej fyziky.

KOLAPS PRI MERANÍ

Teória informácie nám ponúka zaujímavý pohľad aj na *proces merania* (pozri predchádzajúcu časť v *Quarku 2005/08*). Z abstraktenjšieho pohľadu je meranie spôsob akým kladieme prírode otázky a získavame o nej informácie. Namerané výsledky nám sprostredkujú informáciu (odpovede na otázky), s ktorou fyzikálna teória ďalej pracuje. V jednej z predošlých častí sme sa naučili, že kvantové stavy, resp. kvantovú informáciu, nevieme presne skopírovať. Teraz si ukážeme ako z tohoto faktu vyplýva, že pri meraní sa nevyhnutne musí stav kvantového systému zmeniť.

Predstavme si, že pri meraní získame informáciu o polohe častice, ale samotnú časticu pritom vôbec nezmeníme, t.j. stále je v tom istom stave. V ďalšom meraní určíme aj jej rýchlosť a opäť jej stav zostáva nezmenený. Takto postupne môžeme zistiť úplne celú informáciu o tejto častici, t.j. dokážeme povedať v akom stave sa častica nachádza, vieme všetky jej vlastnosti. Avšak zistenie stavu častice, ak máme iba jej jedinú kópiu, je v rozpore s nemožnosťou kvantového klonovania. Akonáhle totižto zistíme stav častice, tak nám nič nebráni pripraviť si takýchto častíc ľubovoľne veľa a teda uskutočniť kopírovanie. Celý tento postup však bezchybne funguje iba v prípade, ak pracujeme s objektami popísanými klasickou fyzikou. Pre kvantové systémy nielen takéto, ale akékoľvek kopírovanie nie je možné. Výsledkom teo úvahy je, že ak sa pri meraní stav systému nemení, tak potom je možné kopírovať, čo je ale v rozpore s vlastnosťami kvantovej fyziky. Preto sme nútení prijať záver, že meranie kvantového systému nevyhnutne mení jeho stav. Inými slovami: akýkoľvek zisk informácie o kvantovom systéme je podmienený zmenou stavu tohoto systému a táto zmena je okamžitá. Trochu dramatickejšie hovoríme o *kolapse stavu* pri meraní.

Z pohľadu informácie je stav systému ideálne skompresovaná informácia o kvantovom systéme. Stav predstavuje maximum informácie, ktoré o systéme môžeme mať a ktoré v danej situácii aj máme. V prípade kvantových stavov sa preto niekedy používa trochu diskutabilný pojem

kvantová informácia ako synonymum pojmu stavu fyzikálneho systému. Nejde pritom o nejaký nový typ informácie, ale iba o informáciu, ktorá je v kvantovom stave obsiahnutá, resp. ktorú používame pri jeho popise. Z takéhoto pohľadu je kolaps pri meraní iba náhlou zmenou našej vedomosti o systéme. So systémom samotným sa pritom nedeje nič dramatické, iba naša vedomosť o ňom (t.j. jeho stav) sa mení.

CENTRÁLNE POSTAVENIE

Už pred niekoľkými desaťročiami americký fyzik *John Archibald Wheeler* predpokladal, že pojem informácie by mal mať centrálnu a zjednocujúcu postavenie vo fyzikálnych teóriach. To, čo nazývame realitou sa skladá z otázok, ktoré sa pýtame, a z odpovedí, ktoré dostávame, t.j. z informácie. Skutočný význam informácie nielen vo fyzike, ale aj v iných oblastiach dnes postupne odhaľujeme. Jednoduché porovnanie potrebnej a dostupnej informácie mnohokrát vyrieši úlohu, ktorej priame riešenie je inak veľmi komplikované (*pozri rámček*). V predošlom odstavci sme si ukázali, ako sa jednoduchý princíp o neklonovaní kvantovej informácie môže použiť pri argumente, že kvantový stav nevyhnutne pri meraní skolabuje.

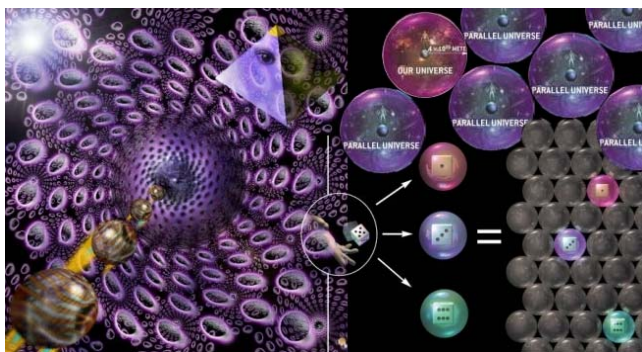
Práve táto vlastnosť, t.j. *nemožnosť kvantového klonovania*, je jedným z horúcich kandidátov na jeden zo základných princípov kvantovej fyziky. Ďalšou typickou vlastnosťou kvantovej fyziky je kvantové previazanie, ktoré v spojení s kolapsom pri procese merania tvorí základ tzv. Einstein-Podolski-Rosen paradoxu (*Quark 2005/01*) a otvára možnosť komunikácie nadsvetelnou rýchlosťou iba s pomocou vykonávania meraní. Kvantová teória nám nehovorí nič o tom, aký čas taký kolaps trvá a považujeme ho za okamžitý. Ako sme si povedali, tak zmeraním jednej častice z previazaného páru častíc, vieme okamžite povedať stav druhého systému, do ktorého táto častica skolabuje. Aj pri meraní na jedinej častici kolabujú obidve. Hlavne kvôli tejto vlastnosti hovoríme o “previazaní” medzi týmito časticami. Výberom merania na jednej častici dokážeme takto pripravovať rôzne stavy druhej častice, ktorá je ľubovoľne vzdialená. Práve okamžité ovplyvňovanie druhého systému pri meraní je zdrojom špekulácií o okamžitom prenose informácie na ľubovoľné vzdialenosti. Napriek tomu nevieme tento jav využiť na prenos informácie nadsvetelnou rýchlosťou.

Výsledky našich meraní sú náhodné a preto, ak zvolíme meranie X , tak druhá častica z previazaného páru je v jednom z náhodných stavov x_1 , x_2 a nevieme dopredu, že v akom. Preto výberom merania X druhá častica skolabuje do akejsi zmesi stavov x_1 a x_2 . Každý so stavov tvorí istú časť v tejto zmesi. Voľbou iného merania Y sme na tom podobne a častica sa premeria v zmesi stavov y_1 a y_2 v nejakom inom pomere. Kvantová fyzika však zaručuje, že tieto dve zmesi nevieme rozlíšiť a predstavujú pre nás ten istý kvantový stav. Vďaka tejto vlastnosti hovoríme o princípe *nemožnosti signalizácie pomocou meraní*, ktorý je jedným z ďalších kandidátov na základný princíp kvantovej fyziky motivovaných teóriou informácie.

PRINCÍPY A INTERPRETÁCIE

Princípy teórie relativity sa dajú tiež chápať ako obmedzenia na narábanie s informáciou: 1) *informácia je relatívna* a 2) *informácia sa šíri maximálne rýchlosťou svetla*. Prvý z týchto

princípov treba v tomto informačnom balení ešte trochu upresniť, ale nebudeme sa tomu teraz venovať. V kvantovej fyzike sme sa zatiaľ stretli tiež s dvoma princípmi: *nemožnosť klonovania* a *nemožnosť signalizácie pomocou meraní*. Tieto princípy ešte nepostačujú na úplné charakterizovanie kvantovej fyziky a je otázkou, aké ďalšie princípy a koľko, je ešte treba pridať. Niektorí fyzici navrhujú princípy založené na kryptografii, t.j. na zabezpečení obsahu informácie. Otázka je však ešte stále otvorená. Chýbajúce princípy otvárajú množstvo filozofických otázok ohľadne interpretácie kvantovej fyziky, t.j. snáh o vysvetlenie, čo vlastne kvantová fyzika je, resp. čo popisuje. Najhorúcejšou témou pri diskusiách je práve problém merania, resp. kolapsu. Vo fyzike nie sme zvyknutí na takéto vsutku okamžité zmeny. Ako sme si už povedali, tento proces je v príkrom rozpore s postupným vývojom popísaným Schrodingerovou rovnicou. Preto nie je divu, že rôzne interpretácie sa venujú práve vysvetleniu, resp. pochopeniu procesu kvantového merania. Spolu máme dnes asi osem rôznych interpretácií kvantovej teórie. My si však spomenieme iba dve.



Obr.1. Jeden alebo mnoho svetov? Ak hodíme kvantovú kocku, tak podľa mnohosvetovej interpretácie nastanú všetky možné výsledky, ale každý v inom z paralelných vesmírov.

Najznámejšia a najpoužívanejšia je tzv. *kodaňská interpretácia*, ktorá vyjadruje názor tvorcov kvantovej mechaniky z dvadsiatych rokov 20.storočia. Akýmsi mottom tejto interpretácie je, že *vieme odpovedať iba na experimentálne položené otázky*. Vďaka tomu vyradíme množstvo filozofických otázok o zmysle a fungovaní kvantového sveta, o rozdieloch medzi klasickým a kvantovým svetom, atď. Z pohľadu kodaňskej interpretácie je proces merania výsledkom interakcie kvantového mikrosvetu a klasického makrosvetu. Podobne ako sme si to popísali v minulom čísle. Alternatívou je tzv. *mnohosvetová interpretácia*, ktorá hovorí, že pri meraní nastanú všetky možné výsledky, ale každý v inom vesmíre. My pozorujeme kolaps v závislosti od toho, v ktorom z týchto svetov sa nachádzame. Táto interpretácia môže znieť trochu bizardne, ale nemáme možnosť ju ani vyvrátiť, ani potvrdiť a je dnes veľmi populárna. Najmä pre ľudí, ktorí sa snažia aplikovať princípy kvantovej fyziky na vesmír ako celok. Takže možno niekde existuje akási vaša kópia, ktorá sa však pri čítaní nedostala až sem.

Situácia je taká, že kvantovú fyziku vieme používať a dostávame zaujímavé výsledky, aj bez prijatia nejakej konkrétnej interpretácie. Snaha o jej nájdenie je však veľmi dôležitá z pohľadu uspokojenia našej túžby rozumieť, prípadne dostať sa k širšej triede teórii, ktoré potenciálne

môžu kvantovú teóriu rozšíriť. Práve informačno-teoretický pohľad na kvantovú fyziku a fyziku celkovo môže priniesť mnoho zaujímavých poznatkov a priblížiť kvantovú teóriu širšiemu publiku. Momentálne hrá informácia vo fyzike stále iba okrajovú úlohu, ale v budúcnosti sa jej postavenie môže zmeniť.

MARIO ZIMAN

Váženie guľčiek a informácia.

Všetci sme sa asi už stretli s úlohami typu: *Majme 16 úplne rovnakých guľčiek, z ktorých jedna má inú hmotnosť. Na tri váženia určite, ktorá to je. Vieme povedať, či je ťažšia, alebo ľahšia?* Teória informácie nám pomôže zistiť, či sa nám vôbec opláti nejaké riešenie hľadať, t.j. či riešenie vôbec existuje. Začnime prvou časťou úlohy, t.j. otázkou, ktorá z guľčiek má inú hmotnosť? Očíslujme si guľčičky číslami od 1 po 16. Označme si situáciu, keď guľčička číslo 1 má inú hmotnosť ako ostatné, ako stav g_1 . Podobne označme stavy g_1, \dots, g_{16} , t.j. spolu máme 16 rôznych stavov a našou úlohou je zistiť, o ktorý z týchto stavov konkrétne ide. Aby sme toho boli schopní, tak z meraní musíme získať aspoň $\log_2 16 = 4$ bity informácie (logaritmus transformuje počet možností na počet bitov informácie). Váženie má tri možné výsledky: *je to ťažšie (T), je to ľahšie (L), rovnaká hmotnosť (R)*. Pri jednom vážení teda dostávame jednu z troch možných odpovedí ($\log_2 3$ bitov informácie), čo samozrejme nepostačuje na určenie, ktorá zo 16 guľčiek má inú hmotnosť. Pri dvoch váženiach sú možné výsledky $TT, TL, TR, LT, LL, LR, RT, RL, RR$, t.j. spolu $3 \times 3 = 9$ možností. Pri troch váženiach je už počet možných výsledkov $3 \times 3 \times 3 = 27$, čo úplne postačuje na určenie, o ktorú zo 16 guľčiek ide, pretože $\log_2 16 < \log_2 27$, čo znamená, že tri váženia poskytujú v princípe dostatok informácie na určenie guľčičky. Súčasne vidíme, že guľčiek môže byť najviac 27. Ak sa však navyše spýtame aj na to, či je táto guľčička ľahšia, alebo ťažšia ako ostatné, tak potom guľčiek môže byť maximálne $27/2 = 13$, pretože počet možností potenciálnych riešení je dvojnásobkom počtu guľčiek. Takýto informačný pohľad na problém nám ešte nezaručuje, že riešenie určite existuje a stále musíme nájsť konkrétny spôsob váženia. Informácia nám iba pomáha vylúčiť situácie, kedy určité riešenie existovať nemôže. Podobná úvaha, t.j. jednoduché porovnanie potrebnej informácie s informáciou, ktorú máme k dispozícii, sa dá použiť aj pri iných úlohách podobného typu.