

Cena SAV v roku 2007 za vedecko-výskumnú činnosť

Získal ju fyzik **RNDr. Ladislav Šamaj, DrSc.** z Fyzikálneho ústavu SAV za súbor 49 teoretických prác: „*Štatistická mechanika makroskopických systémov: Presné výsledky. Ocenené práce obsahujú rad originálnych výsledkov, o čom svedčí vysoký citačný ohlas po celom svete.*“



Foto: V. Šmihula

Štatistická mechanika odhaľuje presné výsledky

Experimentálni fyzici merajú makroskopické charakteristiky tuhých látok, kvapalín a plynov, ako sú napríklad merné teplo a vodivosť. Tieto systémy sa skladajú z obrovského počtu častíc, ktoré na seba vzájomne pôsobia silami (interakciami) a ktoré majú rovnakú teplotu ako ich okolie. Pri vysokých teplotách je stav systému jednoznačne určený vonkajšími podmienkami. Pri takzvanej kritickej teplote sa vnútorná symetria systému častíc spontánne naruší a systém vykazuje odlišné fázy, ktoré môžu spolu existovať. Typickým príkladom takýchto javov je vznik magnetizmu v kovoch pri Curieho kritickej teplote alebo premena vody na ľad pri nulovej teplote.

Ale čo sa vlastne vo vnútri týchto systémov pri tom deje? Čo napríklad prebieha pri vzniku magnetizmu v kovoch na úrovni častíc obsiahnutých v jeho atómoch? O tom nedajú kompletný obraz ani tie najpresnejšie merania experimentátorov. Úlohou štatistickej mechaniky a teoretických fyzikov je matematicky zdôvodniť experimentálne dáta a vys-

vetliť podstatu fyzikálnych javov na základe znalosti mikroskopického zloženia systémov. Matematický aparát štatistickej mechaniky je založený na predpoklade, že každý mikroskopický stav systému je možný, pričom pravdepodobnosť realizácie daného stavu je tým väčšia, čím je menšia jeho energia (t.j. suma všetkých interakcií medzi časticami). Keďže tento aparát je veľmi komplikovaný, teoretickí fyzici sú odkázaní na približné metódy, založené na rozumných ad-hoc predpokladoch o správaní sa jednotlivých systémov. Žiadny reálny systém nie je možné vyriešiť presne. Existujú však zjednodušené modely reálnych látok, ktoré zachovávajú fyzikálnu podstatu problému a zároveň sú dostatočne jednoduché na to, aby boli presne riešiteľné. Takéto presné riešenia sú mimoriadne dôležité pre overenie približných metód. Presné výsledky modelových problémov boli aj cieľom 49 teoretických prác, týkajúcich sa štatistickej mechaniky, za ktoré mi bola udelená Cena SAV 2007.

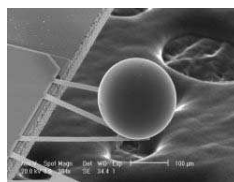
Uvediem aspoň tri príklady. Prvým je taký jav ako magnetizmus. Spôsobuje ho interakcia obrovského množstva magnetických momentov atómov v kryštalickej mriežke. Vezmime si napríklad železo. Za určitých podmienok sa železo stáva magnetickým. Inými slovami, v jeho atómovej mriežke sa všetky magnetické momenty usporiadajú jedným smerom a z obyčajného železa sa stane magnet. A práve tento proces sa študuje na mriežkových modeloch magnetizmu. Tu sa mi podarilo využiť ich vnútornú, takzvanú kalibračnú symetriu na určenie kritických teplôt a všeobecných podmienok, za ktorých dochádza k fázovým prechodom. Ukázal som, že správanie sa látok v okolí kritického bodu môže byť neuniverzálne, čiže môže byť závislé od konkrétneho zloženia systému, čo je v rozpore so všeobecne doteraz uznávanou koncepciou univerzality.

Najdôležitejšie výsledky sa mi však podarilo dosiahnuť pri štúdiu systémov nabitých

častíc, ako sú elektróny a protóny vo vnútri atómov, alebo elektrolyty, pozostávajúce napr. z aniónov a katiónov kuchynskej soli, rozpustenej vo vode. Častice s nábojom na seba navzájom pôsobia príťažlivou alebo odpudivou elektromagnetickou silou, ktorá je jednou zo základných síl v prírode. Správanie takéhoto systému, ktorý obsahuje miliardy častíc, sa dá len ťažko popísať. Mal som však asi šťastie, pretože mne sa to podarilo. Ako vôbec prvý som ukázal, že určité triedy systémov nabitých častíc sú presne riešiteľné. A ešte viac ma teší, že sa mi podarilo nájsť aj ich presné riešenia.

Presné výsledky, ktoré som pri tom získal, potvrdili v systémoch nabitých častíc existenciu anomálnych javov. Napríklad, ak vložíme do elektrolytu makromolekulu s veľkým nábojom, častice elektrolytu s opačným nábojom sú pritiažené k makromolekule a na jej povrchu vytvoria mriežkovú štruktúru. Takýmto tienením sa môže efektívne zmeniť znamienko náboja makromolekuly, vďaka čomu táto vstupuje do chemických reakcií alebo aj biologických procesov v bunkách s nábojom, ktorý je podstatne odlišný od pôvodného náboja. Odlišný náboj v konečnom dôsledku znamená aj iné chemické vlastnosti, čo môže, samozrejme, hrať dôležitú úlohu pre pochopenie napríklad chemických procesov v bunkách.

Medzi ocenenými prácami je aj môj prínos k objasneniu sporných aspektov vzájomného pôsobenia elektromagnetického poľa (napr. viditeľného svetla) a hmoty pri vysokých teplotách, ktorý je tiež originál-



Príťahovanie častice guľového tvaru k doske v Casimirovom experimente, zobrazenom elektrónovým mikroskopom.

Zdroj: physics/9805038

ny. Základným problémom v tejto oblasti kvantovej elektrodynamiky je vysvetlenie Casimirovho javu.

O čo vlastne ide? Predstavme si dvojicu rovnobežných vodivých kovových platní, ktoré sa nachádzajú v elektromagnetickom poli. Hoci je každá z platní elektricky neutrálna, čiže nie je elektricky nabitá, elektromagnetické pole spôsobuje medzi platňami makroskopickú príťažlivú silu, ktorá sa dá odmerať. V roku 1948 fyzik Casimir vypočítal, že táto sila je pri teplote absolútnej nuly (-273 °C) univerzálna, teda nezávisí od vlastností spomínaných platní, ale závisí len od Planckovej konštanty (kvantové efekty), rýchlosti svetla a vzdialenosti medzi platňami. Zovšeobecnenie Casimirovho výpočtu na ľubovoľnú nenulovú teplotu prinieslo množstvo kontroverzií, ktoré sa najvýraznejšie prejavujú v oblasti vysokých teplôt. Moje práce ukazujú, že vo vysokoteplotnej oblasti nemá svetlo žiaden účinok na vodivé platne, ktoré sú preň priehľadné. Inými slovami, pri vysokej teplote je príťažlivá sila medzi platňami daná len platňami samotnými. Tie sú síce ako celok elektricky neutrálne, ale pri vyššej teplote sa môže stať, že na niektorom mieste je viac záporných, na inom zase viac kladných nábojov. A tieto lokálne zmeny – fluktuácie – náboja častíc vo vodičoch sú jediným zdrojom príťažlivej Casimirovej sily medzi platňami. Casimirov jav môže byť zovšeobecnený na ľubovoľnú geometriu vzoriek, ako je napríklad platňa a guľa. Casimirova sila má veľký význam aj v nanoštruktúrach, kde spôsobuje príťahovanie neutrálnych častíc k povrchom materiálov, čo sa využíva v nanotechnológiách.

Spomínané výsledky som získal na Fyzikálnom ústave SAV a na viacerých popredných pracoviskách v zahraničí, ako je Courantov inštitút na univerzite v New Yorku a Parížska univerzita v Orsay, kde som dlhodobo pôsobil.

**Ladislav Šamaj,
Fyzikálny ústav SAV**