KAPITOLA 17

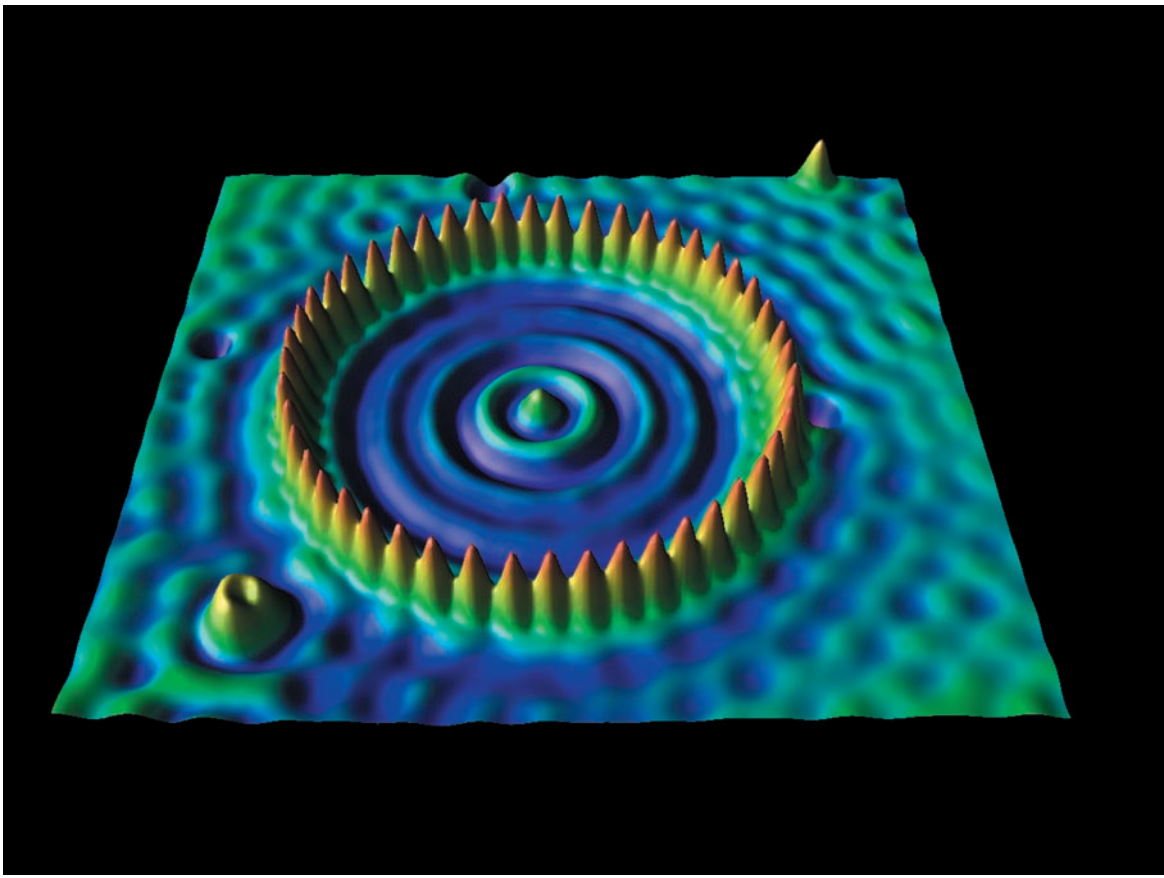
KOMNATA NA DNĚ
KVANTOVÁ OHRADA

Viděl jsem budoucnost a ta je malá.
Larry Smarr[103]

Prubířským kamenem technického pokroku bývala naše schopnost ovládat velké: největší most, nejvyšší budovu, nejdelší letadlo. Ale to se postupně obrátilo. Dnes je to umění ovládat malé, které posouvá pokrok na nejdůležitější frontě výzkumu. Začalo to už dávno vytvořením stále menších tranzistorových rádií, poté přenosných počítačů, mobilních telefonů a CD přehrávačů. Malé je krásné. Mezitím se fyzici pohybovali ve stejném směru, ale v říši, jež je příliš malá, než aby byla viditelná neozbrojeným okem. Nanotechnologie je vzkvétající inženýrská věda v měřítku individuálních atomů, která jimi pohybuje tak, aby vytvářela struktury a „stroje" ne o mnoho větší než několik atomů vedle sebe. Jednoho dne budou naše těla udržována malými nanostroji, které vyčistí naše cévy a budou v reálném čase monitorovat vnitřní stav našeho zdraví.

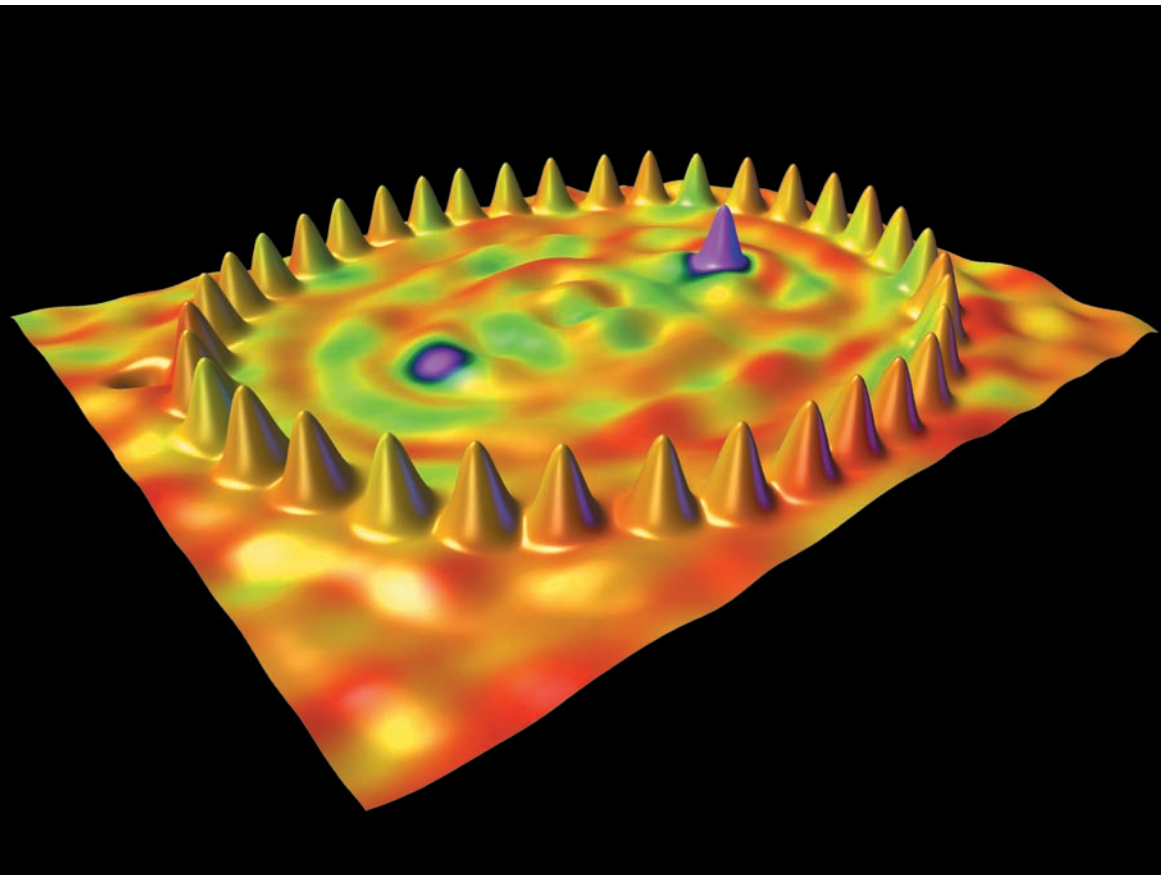
Dramatické pokroky v manipulaci jednotlivými atomy umožnil vynález skenovacího tunelového mikroskopu. Don Eigler, Michael Crommie a Chris Lutz se zasloužili o dva typy obrazu, které se staly ikonou fyziky a také jejího prolínání s uměním. Roku 1993 vytvořili[104] obraz, který vešel ve známost pod jménem „kvantová ohrada", když užili hrotu skenovacího mikroskopu, aby posunuli a upevnili individuální atomy. Postavením bariér, jakýchsi „plotů", pro něž užili atomů železa, dokázali bariéry uzavřít a uvěznit atomy kobaltu. Na obrázku zde můžeme vidět téměř kruhovou ohradu čtyřiceti osmi atomů železa. Nejpozoruhodnější věcí na této struktuře je její velikost. Délky budeme vyjadřovat v nanometrech: nanometr je miliardtina metru. Typická kvantová ohrada má průměr 10 až 20 nanometrů. Průměr lidského vlasu je asi 200 000 nanometrů a rozměr jednotlivého atomu křemíku je asi půl nanometru. Byla zhotovena kytara z jednoho krystalu křemíku, která je pouze 10 000 nanometrů dlouhá a má šest strun, z nichž každá má šířku asi 50 nanometrů. Na struny je dokonce možné „hrát", i když produkované tóny mají velmi vysoké frekvence a jsou pro lidské ucho neslyšitelné.

Tyto struktury dávají také vzniknout jevu kvantového „přízraku", který vidíte na další straně. Elektrony a další zúčastněné subatomární částice mají



Kvantového tunelového mikroskopu použili Crommie, Lutz a Eigler, aby umístili 48 atomů železa do tvaru ohrady.

vlnové vlastnosti, které mohou rezonovat tak, že vrcholy vln se skládají s vrcholy vln a vytvářejí silnou fokusaci energie ve speciálních postaveních. To poprvé demonstrovali Hari Manoharan, Christopher Lutz a Don Eigler roku 2000 pomocí eliptické ohrady atomů kobaltu na měděné podložce. Atomy kobaltu odrážejí elektrony na ploše kolem atomů mědi a vytvářejí vlnění předvídané rovnicemi kvantové mechaniky. Dá-li se ohradě tvar elipsy, je možné umístit jeden magnetický atom kobaltu do jednoho ze dvou ohnisek elipsy a vytvořit tak obraz druhého kobaltového atomu ve druhém ohnisku – kvantový přízrak. Kolem obou ohnisek elipsy byly detekovány tytéž fyzikální a elektronické vlastnosti, ačkoliv fyzikální atom byl umístěn pouze v jednom ohnisku!



Jeden atom kobaltu (purpurový hrot) umístěný v ohnisku uzavřené eliptické ohrady z 36 kobaltových atomů vytváří kvantový přízrak druhého atomu v druhém ohnisku elipsy (purpurová skvrna).

Jejich obrázek vyšel na obálce časopisu *Nature*[105] v únoru 2000 a připoutal velkou pozornost médií svou údernou vizuální podobou: poprvé se nám zdá, že atomy a stádečko elektronů „vidíme".

Jediný atom kobaltu je umístěn v ohnisku, kde vyrůstá purpurový hrot uvnitř žlutooranžového eliptického okruhu třiceti šesti kobaltových atomů. Nižší purpurový hřeben v druhém ohnisku elipsy je zrcadlový obraz – žádný další atom tam fyzicky umístěn není.

Experiment využívá neobvyklé vlastnosti elipsy, která nezávisí na kvantové mechanice. Máme-li eliptický kulečníkový stůl a umístíme do jednoho ohniska kouli, do které chceme strčit tágem, zatímco kouli, kterou chceme zasáhnout,

umístíme do druhého ohniska, pak nezáleží na tom, jak do koule strčíme – vždycky zasáhne druhou kouli, pokud ji dříve nezastaví tření (nebo nepropadne-li do některého z otvorů). Je to vlastnost elipsy, se kterou se můžeme setkat také v „šeptacích galeriích". Na Virginské univerzitě v Charlottesville je slavný oválný přijímací pokoj, který původně navrhl Thomas Jefferson. Ačkoliv má velkou rozlohu, postavíte-li se do jednoho z ohniskových bodů, uslyšíte rozhovor lidí z hodně vzdáleného druhého ohniska, jako by stáli těsně vedle vás. Něco podobného se děje v oválné ohradě s kvantovými vlnami, které jsou spojeny s atomy a s elektrony. Jejich kvantové „ozvěny" se sbíhají a oscilují s velkou intenzitou v druhém ohnisku.

V běžném elektronickém inženýrství by tyto jevy mohly dělat problémy. Snažme se udělat drát, který by přenášel elektrony a byl přitom velmi malý. Pak vlnové vlastnosti elektronů zasáhnou mimo drát a promíchají se s jinými částmi obvodu – to může mít potenciálně nepříjemné následky. Vyjdeme-li však z těchto neobvyklých kvantových vlastností, můžeme zhotovit zařízení, která využijí kvantových jevů pozitivním způsobem. To je základem nové oblasti fotoniky. Fotonika se snaží vyvinout výpočetní zařízení v nanoměřítku, které užívá hradících atomů, aby chránilo kousky informace a zacházelo s nimi. Právě tak jako se atomy váží dohromady, aby utvořily nové molekuly a sloučeniny, stává se možným spojovat nanozařízení jako prvky stavebnice Lego a vytvářet složité atomární stroje. Kvantová ohrada není jen krásnou ukázkou kvantové mechaniky: je to také předzvěst věcí, které přijdou.