

K měření teploty nanočástic využívá elektronový mikroskop. V doktorské práci chce oceněný student zmapovat, jak teplo zhoršuje rozlišení

7.7.2025 - | Vysoké učení technické v Brně

Snad každý majitel telefonu si už všiml, že se mu mobil například při nabíjení zahřívá. Když chtějí ale výzkumníci zahřívání nanostruktur a malých součástek blíže zkoumat, naráží na technologické limity. „Rádi bychom zahřívání, přenos i šíření tepla v těchto malých škálách zkoumali. Ale je to problematické. Klasické rtuťové teploměry jsou moc velké. Kdybychom chtěli použít například infračervené teploměry, tak narazíme na difrakční limit světla a nejsme schopni se dostat až na nanoškálu,” popisuje Jiří Kabát z CEITEC VUT. Ten se proto rozhodl, že zkusí šíření tepla zkoumat nikoliv pomocí teploměrů, ale prostřednictvím elektronového mikroskopu. „Myšlenka je využít interakce elektronového svazku se zahřátými vzorky na nanoškále k měření teploty nebo abychom odhalili konstanty, je například tepelná vodivost,” přibližuje.

Interakce mezi zahřátými objekty a elektronovým svazkem má ale i stinnou stránku. Není možné zkoumat zahřívání pomocí elektronového mikroskopu bez toho, aby se nezapočítal i vliv samotného mikroskopu. „Když máme zahřáté struktury, tak tu naši sondu, což může být právě například elektronový svazek, ovlivňují. Magnetické čočky v elektronovém mikroskopu jsou v podstatě takové obrovské cívky, které nám fokusují elektrony tak, abychom mohli s jejich pomocí zkoumat nanostruktury. Elektronový svazek navíc prochází dalšími kovovými komponenty. A všechny tyto komponenty, když dosáhnou nějaké teploty, tak mohou ovlivňovat elektronový svazek a kazit rozlišení,” vysvětluje Jiří Kabát.

Ilustrační foto - elektronový mikroskop v čistých prostorách na CEITEC VUT. | Autor: Jan Prokopius
V první části výzkumu se proto soustředí na využití tepelných jevů k měření teploty a v druhé pak na zkoumání toho, jak velký vliv mají tepelné jevy na rušení prostorového i spektrálního rozlišení v případě využití elektronového mikroskopu. „Zjednodušeně se dá říct, že se snažím zkoumat, jak pozitivní, tak negativní efekty toho, jak elektrony interagují na hodně malé škále. Pozitivní je, že můžeme měřit teplotu s dosud nevídaným rozlišením. Negativní, že tam vzniká takzvaný teplotní šum, který elektrony ovlivňuje. A mě zajímá, jak teoreticky popsat tuto interakci mezi elektromagnetickým polem, například od teplotního šumu či nanočástice, a elektrony,” dodává Kabát.

Celý výzkum je teprve na počátku. „Nějaké experimenty už sice proběhly. Ty ale měly spíše ukázat, že je vůbec možné pomocí elektronového mikroskopu teplotu měřit. Naším prvním úkolem teď je najít nějaký vhodný systém ke zkoumání. Podívat se například na části čipů nebo mikrotranzistory a to, jaké problémy mají výzkumníci s jejich zahříváním a při měření jejich teploty. Oni vidí, že se to zahřívá, ale už neví, na jakém místě se to přesně zahřívá, jestli je to nějaký spoj mezi dvěma materiály, zda to souvisí s těmi konkrétními materiály a podobně,” říká Jiří Kabát s tím, že by rád navázal na vedoucí své doktorské práce. „Docentka Konečná už udělala nějaké modely, ale zatím nejsme schopni přesně popsat to, co v experimentu vidíme. Proto bychom teď chtěli v jejich vývoji pokračovat a zabývat se více teplotním šumem a dalšími efekty, které mohou hrát roli,” dodává.

K teoretické fyzice i mikroskopům má blízko už od bakalářského studia. „První dva roky jsem nevěděl, co bych chtěl v budoucnu dělat. Jestli se zaměřit na experimenty, které jsou na špičkové úrovni jak na Ústavu fyzikálního inženýrství FSI VUT, tak na CEITECU, nebo se věnovat teorii. Od dětství mě zajímala fyzika, bavila matematika, mám rád sci-fi. Říkal jsem si proto, že teorie by mohla být fajn. A ve druhém ročníku jsme měli kurz teoretické fyziky, díky kterému jsem se rozhodl jít tímto směrem,” popisuje svou cestu Jiří Kabát. Ve třetím ročníku se pod vedením Andrey Konečné zaměřil na spektroskopii v elektronovém mikroskopu a zkoumání materiálů s fázovou přeměnou. „Pak jsem vyjel na Erasmus, kde jsem udělal trochu úkrok a zkoumal nano-optiku. Po návratu jsem optickou a elektronovou mikroskopii zkombinoval a v magisterské práci se snažil ukázat, že jsou si docela podobné a z hlediska teorie můžeme použít stejný formalismus k jejich popisu,” dodává Kabát s tím, že tepelné efekty jsou tak v podstatě přímým navázáním na dosavadní studium.

Jiří Dukát přebírá ocenění Brno Ph.D. Talent od brněnské zastupitelky Anny Putnové. V pozadí Miloš Šifalda, ředitel organizace JCMM, která stipendijní soutěž pořádá. | Autor: Václav Koníček
Jeho doktorský výzkum zaujal i porotu Brno Ph.D. Talent, od které nakonec dostal ocenění. „Šel jsem tam s tím, že je to ambiciózní projekt, ale úplně jsem nevěděl, co od toho čekat. Jestli budou v porotě fyzici, odborníci na elektronovou mikroskopii nebo lidé z firem. Netušil jsem, jestli je moje práce zaujme. Navíc byla velká konkurence a řada projektů se věnuje žhavým tématům, jako je využití AI nebo léčba nemocí. Můj výzkum je sice základní, ale zase má lepší porozumění elektronovým mikroskopům dopad i do mnoha dalších odvětví,” říká Jiří Kabát, který by rád v akademické sféře zůstal i výhledově. „To, co dělám, mě velmi naplňuje. Navíc se pohybuju ve velmi inspirativním prostředí plném špičkových výzkumníků,” uzavírá.

<https://www.zvut.cz/napady-objevy/-f38103/k-mereni-teploty-nanocastic-vyuziva-elektronovy-mikroskop-v-doktorske-praci-chce-oceneny-student-zmapovat-jak-teplo-zhorsuje-rozliseni-d295342>