

# Počítačové součástky jako neurony v mozku

Jana Žďárská

Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 21 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Rychlost a výkonnost současných počítačů při řešení řady komplexních úloh ještě zatím ani zdaleka nedosahuje rychlosti myšlenkových procesů probíhajících v lidském mozku. Přesto nyní dochází k důležitému pokroku v oblasti počítačové elektroniky. Zasloužil se o to i významný český fyzik Tomáš Jungwirth spolu se svým týmem z Fyzikálního ústavu Akademie věd ČR, který říká: „V současnosti máme v počítačích oddělenou paměťovou část a procesor. To je však zároveň hlavní problém dnešních počítačů. V lidském mozku totiž paměť a zpracování informace oddělené nejsou. A součástky, které nyní zkoumáme, se už více chovají jako neurony v mozku. Paměť a zpracování informace jsou a budou tedy na stejném místě.“

Klasické polovodičové součástky využívají pro svoji činnost náboj elektronů. Každý elektron je ovšem zároveň i elementárním magnetem a této jeho vlastnosti říkáme ve fyzice spin. Spintronika<sup>1</sup> je moderní vědní a technický obor, který využívá k uchování, přenosu a zpracování informací kromě náboje i spin elektronů. V dnešních široce rozšířených spintronických pamětech, jako jsou magnetické pevné disky a operační paměti, se využívají tradiční magnetické materiály, tzv. feromagnety. Informace se do nich zapisuje na časových škálách od nanosekund do mikrosekund, což jsou i typické škály, na kterých fungují dnešní počítače. Velkým pokrokem ve výzkumu spintroniky je skutečnost, že je možné do jiné třídy magnetů, tzv. antiferomagnetů, zapisovat informace i pomocí ultrakrátkých světelných záblesků z femtosekundového laseru. Kromě toho mohou tyto antiferomagnetické součástky fungovat zároveň jako paměť i jako procesor. Antiferomagnetická spintronika by tak mohla v budoucnos-

1 J. Žďárská: Cena Siemense pro L. Šmejkalu a T. Jungwirtha. Čs. čas. fyz. 71, 245–246 (2021).



**Obr. 1** Velkým pokrokem ve výzkumu spintroniky je skutečnost, že je možno do jiné třídy magnetů, tzv. antiferomagnetů, zapisovat informace i pomocí ultrakrátkých světelných záblesků z femtosekundového laseru.



**Obr. 2** „Přišli jsme na to, že jsme schopni informaci do antiferomagnetů zapsat mnohonásobně rychleji než do feromagnetů. A nakonec jsme zjistili, že se antiferomagnetny chovají spíše jako součástky, které máme v mozku – neurony a synapse – než jako klasické digitální součástky“, podotýká Tomáš Jungwirth.

ti umožnit výrazné zrychlení a zefektivnění počítačů, zejména v oblasti umělé inteligence.

Antiferomagnetny jsou na první pohled kuriozita, protože mají krystalovou mřížku uspořádanou tak, že šipka směřující od severního k jižnímu pólu magnetu se pravidelně otáčí o 180° od jednoho atomu k sousednímu atomu v mřížce. Navenek je tak jejich magnetismus neviditelný (na ledniče by tedy na rozdíl od tradičních feromagnetů nedržel). Magnetické látky se ale překvapivě uspořádávají takto antiferomagneticky mnohem častěji než feromagneticky.

Tomáš Jungwirth se se svým týmem vydal odvážným směrem výzkumu antiferomagnetické spintroniky poté, co před více než deseti lety získal na toto téma svůj první ERC Advanced grant. „Byl to krok do neznáma. Vědci se do té doby antiferomagnetny nezabývali, protože si nedokázali představit, že by bylo možné do nich informaci zapsat a následně přečíst. My jsme nejdříve teoreticky spočítali, jak by to možné bylo. A nakonec jsme se dotáhli ze stavu sci-fi až k tomu, že jsme naši experimentální antiferomagnetickou součástku dali na USB, připo-

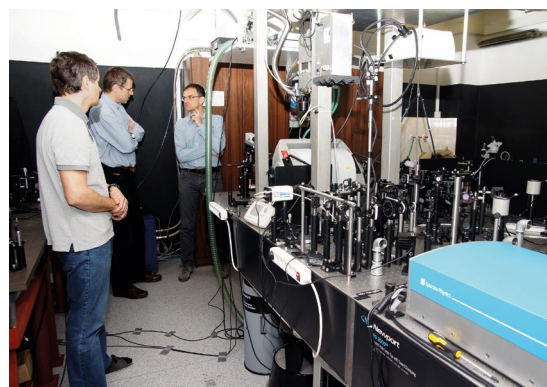


**Prof. Tomáš Jungwirth, Ph.D.**, (\*1967) vystudoval fyziku na Matematicko-fyzikální fakultě Univerzity Karlovy v Praze. Na doktorátu pracoval ve Fyzikálním ústavu Akademie věd a na Univerzitě v Indianě v USA a následně působil několik let na Univerzitě v Texasu. Dnes je vedoucím Oddělení spintroniky a nanoelektroniky Fyzikálního ústavu Akademie věd a zároveň působí jako profesor na Univerzitě v Nottinghamu ve Velké Británii. Je členem Učené společnosti ČR a Evropské akademie. Působil také ve vládní Radě pro výzkum, vývoj a inovace a v Evropské výzkumné radě.

*jili k počítači a ukázali, že jsme schopni tam ty digitální jedničky a nuly zapisovat a číst pomocí běžné elektroniky,*“ doplňuje Tomáš Jungwirth a dodává: „Navíc díky antiferomagnetům se dostáváme k tisíckrát rychlejšímu a bezpečnějšímu zápisu paměti, než je běžné. Jedním z problémů klasických feromagnetických součástek totiž je, že jsou citlivé na rušivé magnetické pole. I proto jsme se začali zabývat antiferomagnetem. Ty jsou na magnetické pole necitlivé, protože jeho působení na jednu polovinu atomů antiferomagnetů se vyruší opačným působením na druhou polovinu jejich atomů. Pak jsme přišli na to, že jsme schopni informaci do antiferomagnetů zapsat mnohonásobně rychleji než do feromagnetů. A nakonec jsme zjistili, že se antiferomagnet chová spíše jako součástka, které máme v mozku – neurony a synapse –, než jako klasické digitální součástky. Větší rychlosti můžete dosáhnout dvěma způsoby. První možnost spočívá právě v tom, že nebudete mít oddělenou paměť od zpracování informace. Tím odpadá úzké hrdlo mezi pamětí a procesorem – takzvaný von Neumannův bottleneck v současné počítačové architektuře. Druhou možností je, že vyvinete součástku, která bude mít kratší reakční dobu – ať už jde o paměťovou součástku, nebo procesor. My kombinujeme oba přístupy – zkoumáme integrované paměťovo-procesorové součástky, které jsou schopné reagovat nejen na elektrické, ale i na ultrakrátké optické pulzy. Rychlost elektrických pulzů v současné elektronice se měří v nanosekundách – tedy 10 na minus devátou sekundy. Naše součástky reagují i na optické pulzy o délce sto femtosekund. Oproti současné elektronice jsme tak o další čtyři řády rychlejší. Jsou to těžko představitelné škály. Pro

*představu – femtosekundu dělí od sekundy patnáct řádů a podobný počet řádů je mezi sekundou a stářím vesmíru,*“ vysvětluje Tomáš Jungwirth.

Jeden z hlavních problémů současných počítačů spočívá právě v tom, že mají oddělenou paměť a tu část, kde se zpracovává informace. Pokud bychom ke srovnání použili mozek – tak tam je vše propojeno dohromady. „*My chceme i v antiferomagnetech obě funkce propojit a ve světě se pracuje i na dalších typech počítačových součástek, které by to uměly. Žádné však zatím nejsou tak rychlé jako antiferomagnetické logicko-paměťové součástky,*“ připomíná Tomáš Jungwirth.



**Obr. 3** Společná opto-spintronická laboratoř FZU a MFF UK, ve které se femtosekundové experimenty provádí. Zde Tomáš Jungwirth s klíčovými experimentálními kolegy – vlevo Prof. Petr Němec z MFF UK a uprostřed Dr. Vít Novák z FZU.

Informace se v takové součástce nejenom zapíše, ale také bude například jasné, kolik pulzů tam přišlo. Ty se sečtou a výsledná hodnota se ve stejné součástce zároveň uloží. Navíc podobně jako v mozku nebude záležet pouze na tom, kolik tam přišlo pulzů, ale také např. na tom, jaká mezi nimi byla časová vzdálenost. U současných digitálních součástek na časové vzdálenosti nezáleží. Pokud by se podařilo z takových součástek zkonstruovat čipy s velmi rozsáhlými integrovanými obvody, bylo by možné jednou v budoucnu vytvořit i ultrarychlý umělý mozek.



**Obr. 4** Dr. Kamil Olejník, který se specializuje na přípravu a měření našich experimentálních neuromorfních antiferomagnetických nanosoučástek v čistých prostorách laboratoře litografie FZU.