

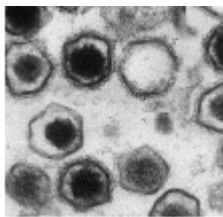
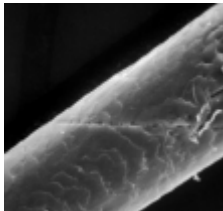
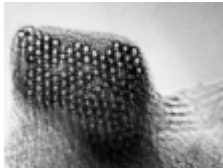


**EXKURZE DO NANOSVĚTA**  
**aneb Výlet za EM a SPM**

**Pracovní listy – teoretická příprava**

## Úloha 1: První nahlédnutí do nanosvětla

Novou část dějin mikroskopie otevřel německý elektroinženýr, laureát Nobelovy ceny za fyziku **Ernst ..... (1906 – 1988)**, který roku 1931 spolu s Maxem Knollem zkonstruoval první elektronový mikroskop, přesněji řečeno **první transmisní elektronový mikroskop (TEM)**. O dva roky později pak ..... sám zkonstruoval elektronový mikroskop, který umožnil poprvé v lidské historii zobrazit objekty menší než 200 nm, tedy objekty takové, které není možné pozorovat pomocí světelného mikroskopu.

**Úkol:** Převed' rozměry daných mikroskopických objektů na nanometry. Poté objekty seřaď od největšího po nejmenší. Přečtením písmen ve správném pořadí odhalíš příjmení konstruktéra prvního elektronového mikroskopu.

Mikroskopický objekt	Rozměr objektu	Převod na nm	Pořadí	Tajenka
	ikosahedrální virové částice <b>150 nm</b> <b>K</b>		1.	
	lidský vlas <b>80 μm</b> <b>U</b>		2.	
	svazek jednovrstvých uhlíkových nanotrubic šířka asi <b>14 Å</b> <b>A</b>		3.	
	červené krvinky <b><math>7 \cdot 10^{-3}</math> mm</b> <b>S</b>		4.	
	blecha psí <b><math>10^{-3}</math> m</b> <b>R</b>		5.	

Poznámka: Elektronová mikroskopie (EM) je mikroskopická technika, která v principu funguje obdobně jako světelná mikroskopie, pouze s tím rozdílem, že elektronové mikroskopy k zobrazení vzorku využívají místo světla urychlený svazek elektronů. V současnosti existuje několik typů elektronových mikroskopů. Základními typy jsou transmisní (prozařovací) elektronový mikroskop (TEM) a skenovací (rastrovací) elektronový mikroskop (SEM, příp. REM). Mikroskopy TEM ve vakuu zobrazují velmi tenké vzorky a dosahují rozlišení okolo 0,2 nm. Mikroskopy SEM se používají především k zobrazení povrchu předmětů a mají rozlišení „pouze“ kolem 1 nm. V tabulce jsou použity obrázky získané z TEMu i SEMu (<http://www.nanotec.org.uk>).

## **Úloha 2: Průlomové události v mikroskopii 2. poloviny 20. století**

**Úkol:** Do následujícího textu doplň (ve správném pádu) jména a pojmy uvedené v rámečku.

atomární síly, biologie, Gerd Binnig, Christoph Gerber, mikroskopie atomárních sil, mikroskopie skenující sondou, metrologie, Calvin Quate, Heinrich Röhrer, skenovací tunelový mikroskop, tunelový proud, 1986

Během druhé poloviny 20. století byly objeveny přístroje a metody, které způsobily velký rozvoj nanotechnologie. Sestrojena byla zařízení, která umožnila studovat jednotlivé atomy, molekuly a jejich shluky a cílenými zásahy ovlivňovat jejich tvar, velikost a uspořádání. Průlomovou událostí byl **rok 1981**, kdy **G .....** **B .....** a **H .....** **R .....** v laboratoři IBM v Curychu vynalezli **STM** (Scanning Tunneling Microscope), tj. .... (někdy překládáno jako rastrovací nebo řádkovací) ..... Tento přístroj umožňuje pozorovat jednotlivé atomy a molekuly a dokonce s nimi manipulovat. Jeho vynálezci za něj **roku .....** obdrželi **Nobelovu cenu**.

Postupem času byly vytvořeny a zdokonalovány další podobné přístroje a metody. Dnes se soubor experimentálních metod určených k 3D studiu struktury povrchů s atomárním rozlišením označuje jako **SPM** (Scanning Probe Microscopy), tj. ....

Mezi metody SPM patří kromě STM například také **AFM** (Atomic Force Microscopy), tj. .... Mikroskop AFM vynalezli **roku 1986 G .....** **B .....**, **C .....** **Q .....** a **Ch .....** **G .....**

**SPM metody fungují na základě měření interakcí mezi povrchem vzorku a hrotem sondy mikroskopu.** V případě **STM** je měřenou veličinou ....., u **AFM** je to měření přitažlivých a odpuzivých ..... krátkého a středního dosahu. Z povahy měřené veličiny je jasné, že u AFM nemusí být vodivý vzorek ani hrot sondy, což je velkou výhodou této metody oproti STM. Na druhou stranu má ale AFM nižší rozlišení a není tedy možné získat tak detailní snímky povrchu jako v případě STM.

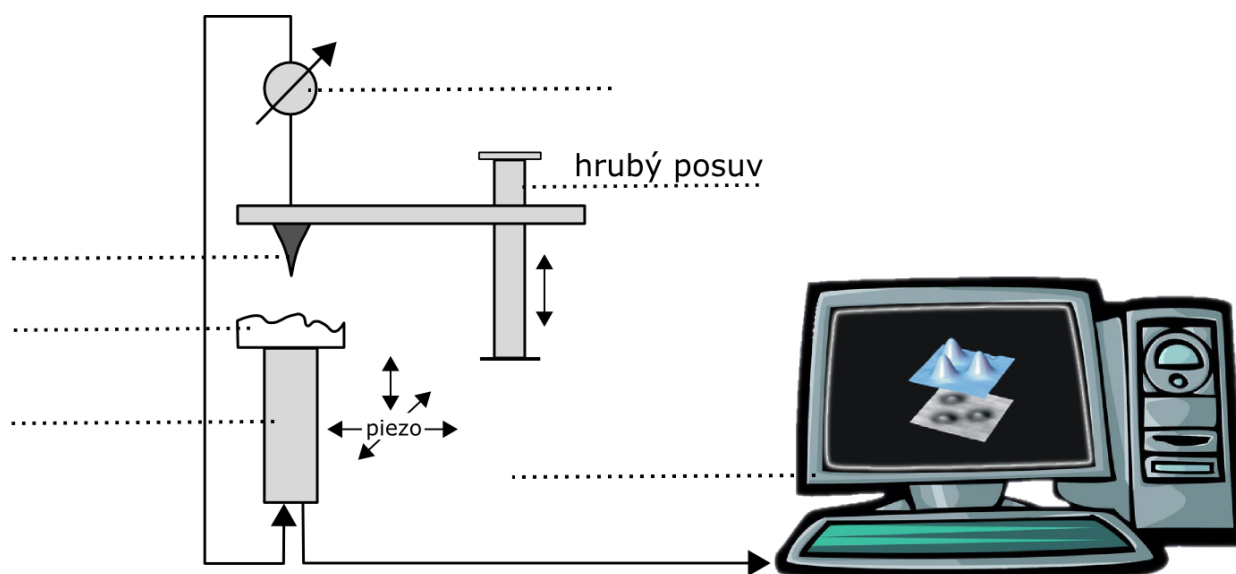
**Metody SPM nachází uplatnění v celé řadě fyzikálních i nefyzikálních oborů a technických aplikací.** Jsou využívány především ke studiu topografie a vlastností nejrůznějších povrchů a povrchových procesů (chemických reakcí, difúzí, adsorpcí, katalýz apod.). Přístroje SPM se používají v ..... pro přesná rozměrová měření, určování drsnosti povrchu aj. Lze je využít také k úpravě povrchů na atomové úrovni a tvorbě nanočipů. Metody SPM jsou použitelné i v dalších oborech, například v ....., kde umožňují zobrazovat proteiny, lipidy, nukleové kyseliny i viry a živé buňky.

### Úloha 3: Popis SPM

**Úkol:** Pozorně si přečti následující text a poté vypracuj úkoly a) a b).

Jak už samotný název napovídá, jednou ze základních částí mikroskopu SPM je sonda (tvořená zpravidla ostrým **hrotem** a raménkem), která postupně bod po bodu snímá povrch zkoumaného předmětu (**vzorku**). Sonda (hrot) interakcí se vzorkem mění svůj stav (je vychylována nebo se mění nějaká fyzikální veličina související s interakcí se vzorkem, např. proud). To je snímáno **senzorem**, pracujícím např. na principu výchylky laserového paprsku. Přes obvod zpětné vazby je ovlivňována poloha **skeneru**, který umožňuje pohyb vzorku, a zpravidla pomocí změny napětí na skeneru je výsledný signál přenášén do **počítače**. Ten data vyhodnotí a složením obrazů jednotlivých bodů povrchu vytvoří trojrozměrný obraz povrchu vzorku. Další uspořádání mikroskopu a vlastnosti jeho jednotlivých součástí se mění podle druhu metody SPM, kterou tento přístroj využívá.

a) S pomocí podtržených slov popiš schéma uspořádání SPM mikroskopu.



b) Spoj každou část mikroskopu SPM s příslušnou charakteristikou.

hrot	přivádí hrot do okolí vzorku
hrubý posuv	snímá změnu stavu hrotu
senzor	slouží k měření dat a vytváření obrazu
skener	část sondy, která je v interakci se vzorkem
počítač	piezoelektricky umožňuje pohyb vzorku

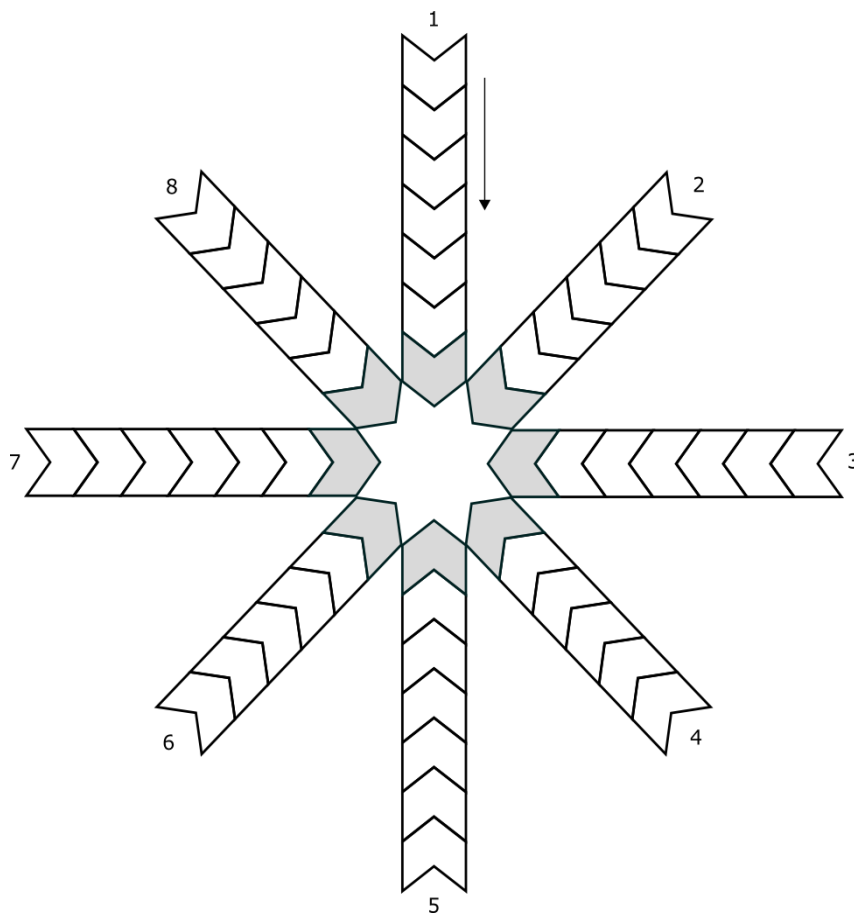
#### Úloha 4: Záhadný jev

*Z naší životní zkušenosti vzniklo pořekadlo „hlavou zed' neprorazíš“.  
V kvantové fyzice platí jiná filozofie, budeš-li se o to pokoušet například  $10^{20}$ krát,  
můžeš proniknout na druhou stranu zdi... (Štoll, 1993)*

V mikro- a nanosvětě se uplatňují jiné zákony, jiná „pravidla hry“, než jaká známe z makrosvěta. V klasické fyzice platí, že částice může překonat určitou bariéru pouze tehdy, pokud k tomu má dostatečnou energii. V mikrosvětě je však podle zákonů kvantové fyziky všechno otázkou pravděpodobnosti. Proto se zde odehrávají jevy, které z hlediska klasické fyziky nemohou nastat. Jedním z nich je i náš „záhadný“ jev, kdy mikročástice mohou s nenulovou pravděpodobností proniknout bariérou, aniž by k tomu měly dostatečnou energii. Pravděpodobnost, s jakou k průniku může dojít, je (jak je patrné už z výše uvedeného citátu) velmi malá a s narůstající šířkou bariéry prudce (exponenciálně) klesá.

**Činnost STM je založena na tzv. .... jevu**, ke kterému dochází mezi dvěma vodivými tělesy – hrotem sondy mikroskopu a povrchem vzorku, vzdálenými od sebe max. 1 nm. Je-li mezi ostrý vodivý hrot a vodivý (nebo alespoň polovodivý) vzorek přivedeno napětí, elektrony se v jednom směru „protunelovávají“ mezerou a obvodem protéká tzv. .... proud. Jeho velikost je exponenciálně závislá na vzdálenosti mezi hrotem sondy a povrchem vzorku.

**Úkol:** Vylušti křížovku a zjisti, jaký jev je onou záhadnou vlastností, jež byla využita pro konstrukci mikroskopu STM. Termín z tajenky pak doplň (ve správném pádu) do vynechaných míst předcházejícího textu.

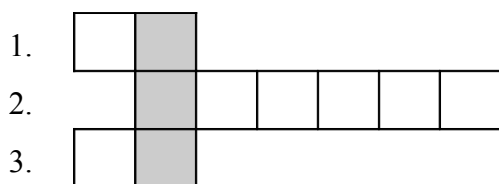


1. Pro funkci STM je nutné, aby vzorek i hrot sondy byly vodivé. Je vyloučeno, aby zkoumaným vzorkem byl elektrický ....., tedy látka která nevede elektrický proud.
2. Velikost atomů se pohybuje v řádu angströmů, tedy desetin nanometru. Do jednoho nanometru se „vejde“ např. asi 10 atomů nejjednoduššího prvku, tj. .... .
3. Příjmení anglického fyzika, objevitele elektronu, tvůrce „puddingového“ modelu atomu, nositele Nobelovy ceny za fyziku za rok 1906. (Nápověda: Jeho iniciály jsou J. J. T.)
4. Hodnota  $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$  je velikost elementárního (tj. nejmenšího možného, dále nedělitelného) elektrického ..... . V atomu jsou jeho nosiči protony (+ e) a elektrony (- e).
5. Část prostoru atomu, kde se elektron vyskytuje s největší pravděpodobností.
6. Elektromagnetické vlnění, které se ve vakuu šíří rychlostí asi  $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Charakterizuje ho rozmezí vlnových délek 390 – 760 nm.
7. Kvantování energie atomu potvrdil Franckův – ..... experiment. Při tomto pokusu elektrony urychlované anodovým napětím procházejí zředěnými parami rtuti a při nepružných srážkách předávají atomům rtuti svou energii. Pravidelné poklesy anodového proudu ukazují, že tato energie může být předávána pouze v kvantech odpovídajících rozdílům energetických hladin atomu.
8. Elektron je objekt mikrosvěta, který se chová zároveň jako částice i jako vlna. Říkáme proto, že má duální, tzv. korpuskulárně-..... charakter.

## Úloha 5: První „psaní“ s atomy

Přístroje SPM umožňují nejen atomy a molekuly zobrazovat, ale také s nimi přesně manipulovat. Donald Eigler a Erhard Schweizer publikovali roku 1990 v časopise Nature pokus, ve kterém poprvé cíleně přemístili 35 atomů xenonu a „napsali“ jimi na krystal niklu třípísmenné logo společnosti, pro niž pracovali: **(tajenka)**. S atomy bylo manipulováno pomocí mikroskopu STM ve velmi vysokém vakuu za teploty blízké absolutní nule (4 K). Od té doby bylo vytvořeno mnoho podobných nápisů.

**Úkol:** Dopln křížovku a odhal tím slavné logo.



1. Chemická značka prvku, který tvořil podložku, na kterou bylo poprvé „psáno“ jednotlivými atomy.
2. Příjmení jednoho z konstruktérů přístroje, který Eigler s Schweizerem použili k prvnímu „psaní“ s atomy. (Nápověda: Tento muž se podílel také na konstrukci AFM.)
3. Výška každého písmene slavného loga byla asi 50 Å, tj. 5 .....