

# Koloidní zlato: tradiční rekvizita alchymistů v minulosti - sofistikovaný (nano)nástroj budoucnosti?

Vedoucí projektu: Ing. Filip Novotný, Ing. Filip Havel

K. Hes - Gymnázium, Praha 6, Nad Alejí 1952

K. Sedláková - BAG8

V. Miller - Gymnázium Jana Palacha Turnov

[krystof.hes@seznam.cz](mailto:krystof.hes@seznam.cz)

## **Abstrakt:**

Koloidní zlato je látka známá lidstvu již od starověku. Zlaté nanočástice mají dnes stále širší uplatnění, ať už v medicíně, či materiálovém inženýrství. Součástí našeho projektu bylo seznámení se s jejich vlastnostmi a příprava koloidních roztoků s nanočásticemi zlata ve tvaru tyčinek o různých poměrech délek stran. Vzorky byly následně analyzovány pomocí absorpční spektroskopie a rastrovací elektronové mikroskopie. Na závěr byla z naměřených dat diskutována závislost optických vlastností na tvaru částic.

## **1 Úvod**

### **Nanotechnologie**

Nanotechnologie je vědní obor zabývající se přípravou a studiem vlastností nanočástic, tedy objektů o velikosti v řádech nanometrů. Jejich vlastnosti se významně liší jak od vlastností makročástic, tak od vlastností jednotlivých atomů. V poslední době nacházejí nanotechnologie stále širší uplatnění.

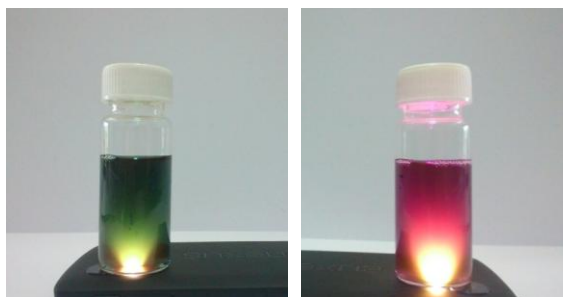
### **Koloidní zlato**

Koloidní zlato jsou částičky zlata suspendované v kapalině. Jsou tak malé, že Brownův pohyb molekul vody je natolik silný, že je dokáže neustále rozvířovat, a proto nesedimentují.

Koloidní roztoky zlata byly známy už ve starověku. Lidé obdivovali různorodost jejich barev a věřili v jejich léčivé účinky (považovali je za „elixír života“). Detailně se přípravou a zkoumáním vlastností těchto roztoků zabýval až Michael Faraday v 19. stol.

## Optické vlastnosti zlatých nanočástic

Tyto roztoky kovových částic nabývají intenzivních zbarvení díky jevu známému jako lokalizovaná povrchová plasmonová rezonance (zkráceně lokalizovaný plasmon). Zjednodušeně lze tento jev vysvětlit interakcí vodivostních elektronů kovu s dopadajícím světelným zářením, které při určité frekvenci způsobí rezonanční transfer své energie na kolektivní kmitání vodivostních elektronů kovové částice. Toto se poté projevuje jako silná absorpce světelné energie, která se dílem spotřebuje na zahřátí částice a jejího okolí a dílem na opětovné vyzáření pružným rozptylem. Výsledkem je pak známé intenzivní zbarvení koloidů kovů [1]. Při prosvícení koloidního roztoku bílým světlem lze pozorovat jeho rozptyl v doplňkové barvě roztoku.



### Cíl projektu

Cílem tohoto projektu bylo zkusit si připravit koloidní roztoky zlatých nanotyčinek a dále prozkoumat vliv jednoho parametru syntézy na výsledné nanočástice pomocí elektronové mikroskopie a absorpční spektroskopie.

Obrázek 1 a 2 - Rozptyl světelného paprsku v koloidním roztoku

## 2 Experimentální uspořádání a metody

### Metoda přerůstání zárodků (do zlatých nanotyčinek)

Pro výrobu zlatých nanočástic se využívá mnoho metod. Obecně se dají rozdělit na bottom-up, kdy se z jednotlivých atomů/molekul vytvářejí větší celky a top-down, kdy se z větších celků odštěpují jejich části. V tomto projektu byla pro tvorbu nanočástic použita metoda první, odborně zvaná „přerůstání zárodků“ (seeded growth method) [2].

### Použité přístroje

Pro zobrazení nanočástic zlata byl použit rastrovací (nebo také řádkovací) elektronový mikroskop. Absorpční spektrum bylo analyzováno pomocí spektrofotometru za použití deuteriové lampy jako zdroje.

Tabulka 1: Seznam použitých přístrojů

Přístroj	Výrobce	Modelové označení
Rastrovací elektronový mikroskop	JEOL	JSM-7500F
spektrofotometr	Ocean Optics	QE65000
deuteriová lampa	Ocean Optics	DT – Mini

## 3 Výsledky

### Popis přípravy koloidních roztoků

Pro přípravu koloidního roztoku zlata je potřeba nejprve vytvořit zárodky zlatých nanočástic. Zárodky byly vytvořeny rychlou redukcí roztoku trojmocného zlata v CTABu (hexadecyltrimetylammonium bromide) pomocí borhydridu sodného. Tím jsme dosáhli vytvoření zlatých zárodečných částic o velikosti ~2-3 nm.

Tabulka 2: Látky pro přípravu zárodků zlatých částic

Látka	Množství [ml]	Koncentrace [mM]
CTAB	4,55	110
Milli-Q voda	0,1378	-
HAuCl <sub>4</sub>	0,01216	102,8
NaBH <sub>4</sub>	0,3	10

Po přípravu zárodků je potřeba vytvořit růstový roztok, do kterého se přidají:

Tabulka 3: Látky pro přípravu růstového roztoku

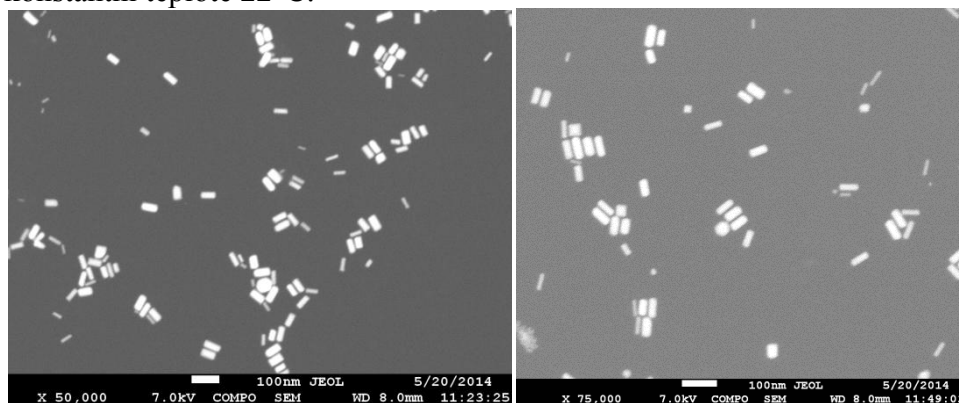
Látka	Množství [ml]	Koncentrace [mM]
CTAB	18,2	110
Milli-Q voda	*	-
HAuCl <sub>4</sub>	0,09728	102,8
Ag	**	10
Kyselina askorbová	0,130	100

Množství přidané vody a stříbra ovlivňuje výsledné rozměry tyčinek (poměry jejich stran).

Tabulka 4: Složení jednotlivých roztoků

Číslo roztoku	Množství vody* [ml]	Množství stříbra** [ml]
1	1,53	0,02
2	1,51	0,04
3	1,49	0,06
4	1,47	0,08
5	1,45	0,10

Do takto vytvořeného růstového roztoku se přidá 0,024 ml zárodků zlata. Částice rostly při konstantní teplotě 22°C.



Obrázek 3 a 4: Fotografie nanočástic pořízené elektronovým řádkovacím mikroskopem



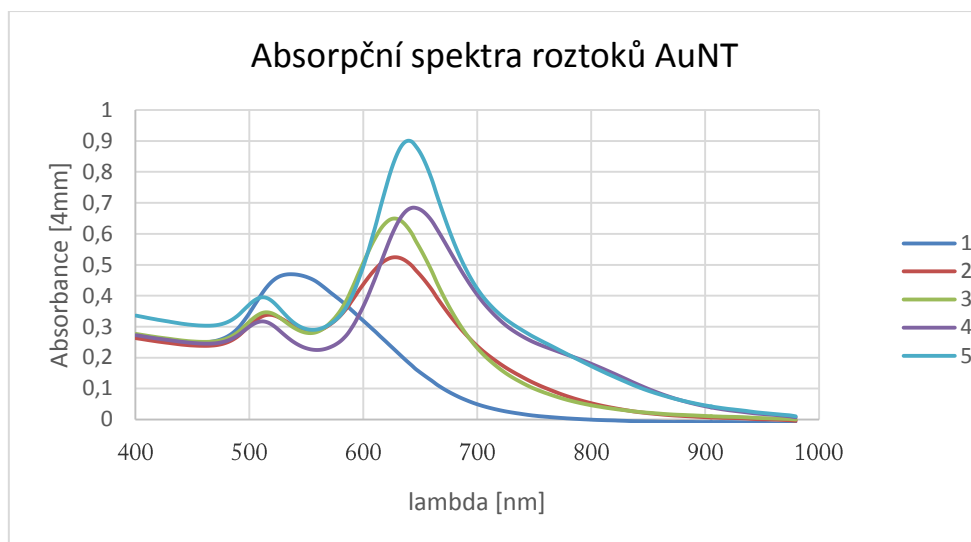
Obrázek 5 - Vzorky koloidních roztoků seřazené zleva doprava od nejmenšího podílu stříbra po největší

## Charakterizace

Složení růstového roztoku ovlivňuje tvar vznikajících nanočástic. V závislosti na použitých látkách mohou vznikat ve tvaru tyčinek, kuliček, krychliček či bipyramid. Právě tvar nanočástic přímo ovlivňuje optické vlastnosti roztoku, například jeho absorpční spektrum.

Tabulka 5: Charakterizace vzorků

Vzorek	Délka [nm]	Směrodatná odchylka délka [nm]	Šířka [nm]	Směrodatná odchylka šířka [nm]	Poměr stran	Směrodatná odchylka poměr stran	Pozice maxima LSPR $\lambda$ [nm]
1	47,40	8,80	27,10	7,20	1,83	0,45	545,00
2	50,30	6,80	23,10	6,00	2,30	0,61	634,00
3	52,20	11,50	25,00	6,70	2,17	0,46	630,00
4	57,00	14,10	22,90	11,10	2,53	0,64	647,00
5	49,70	9,40	20,20	6,40	2,61	0,57	634,00



Obrázek 6: Absorpční spektra připravených roztoků AuNT.

## 4 Diskuze

Výsledný graf absorpčního spektra odpovídá předpokládané závislosti jen částečně. Množství stříbra v jednotlivých roztocích popořadě stoupá. Absorpční peak by se tedy teoreticky měl posunovat k větším vlnovým délkám. Z grafu vyplývá, že od určitého okamžiku se již tyčinky neprodlužují, ale narůstají pouze do šířky. To může být způsobeno neoptimálním nastavením množství zlata v roztoku a množství zárodků. Dále je vidět dlouhovlnný lalok ve spektrech vzorků 4 a 5. To je způsobeno vykrystalizováním CTABu ve vzorku a zastavením růstu určitého množství tyčinek.

## 5 Závěr

Podařilo se vytvořit celkem pět koloidních roztoků zlata s rozdílnými poměry stran zlatých nanočástic, zobrazit je na elektronovém řádkovacím mikroskopu a provést absorpční spektroskopii. Ověřili jsme, že množství stříbra v roztoku má zásadní vliv na tvar nanočástic a jejich výsledné vlastnosti. Práce na projektu nám umožnila pohled do světa nanočástic a získání znalostí o jejich přípravě a optických vlastnostech.

Závěrem bychom rádi poděkovali vedoucímu našeho projektu Ing. Filipovi Novotnému a Ing. Filipovi Havlovi za nám věnovaný čas a podporu při práci na projektu. Dále bychom rádi poděkovali Richardovi Schusterovi, který byl pro nás rovněž vítanou pomocí.

## 6 Reference

1. Koloidní zlato: sofistikovaný (nano)nástroj budoucnosti?, <http://www.tecnical.cz/clanek/2012-01-zlato/>, 20.5.2014
2. Nikoobakht, B. and M.A. El-Sayed, Preparation and Growth Mechanism of Gold Nanorods (NRs) Using Seed-Mediated Growth Method. *Chemistry of Materials*, 2003. 15(10): p. 1957-1962.