

Úloha II.E . . . jedno plnotučné, prosím 12 bodů; průměr 8,98; řešilo 44 studentů

Tučnější mléko by mělo být „bělejší“ – více světla rozptýlí a méně propustí skrz. Proveďte měření tučnosti mléka na základě rozptylu světla, přičemž jako barevnou škálu použijte přiložený papírek (pokud jste neřešili první sérii a chcete obdržet papírek, napište nám na fykos@fykos.cz). Rozdíly nejlépe vyniknou, pokud do různých druhů mléka budete přidávat barvivo tak, aby jev v mléku byla stejná (malá) koncentrace. Jako barvivo můžete použít černou tuš. Samozřejmě je možno použít jakékoliv jiné barvivo, ale pak si budete muset vyrobit vlastní barevnou škálu, kterou přiložíte k řešení. Zrealizujte měření pro různé druhy mléka a směsi mléka a vody. Diskutujte spolehlivost určení obsahu tuku. *Mára byl bleďý jako stěna.*

Nejprve si musíme uvědomit, z čeho se mléko skládá. Jedná se o komplexní směs sacharidů, lipidů a bílkovin. Ze sacharidů se zde vyskytují především mono- a disacharidy, z čehož většinu tvoří laktóza. Tyto sacharidy jsou snadno rozpustné ve vodě, a protože neobsahují násobné chemické vazby, nemají důvod výrazněji interagovat s viditelným světlem. Tuky jsou v mléce ve formě kapének, které mají velikost několika mikrometrů. Ovšem po homogenizaci, kterou prochází většina dostupných mlék, mají již jen stovky nanometrů. Další skupinou jsou bílkoviny. 80 % z nich tvoří kasein, který spolu s fosforečnanem vápenatým tvoří micely o velikosti několika stovek nanometrů. Zbytek bílkovin tvoří různé enzymy, povětšinou rozpustné ve vodě. I ostatní vyskytující se látky jsou rozpuštěny buď ve vodě, nebo tukových kapénkách.

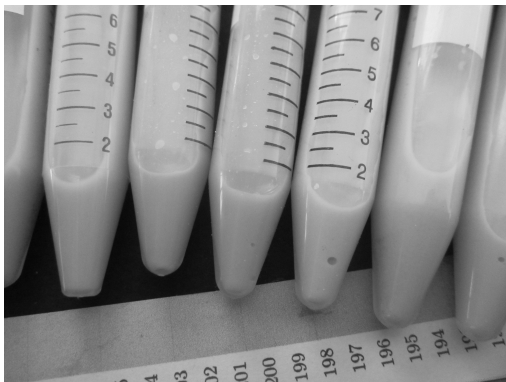
Jak vidíme, jsou v mléce koloidní částice o velikosti několika stovek nanometrů, což je přibližně vlnová délka viditelného záření. Proto bude v této oblasti docházet k významnému rozptylu. Kvůli různým velikostem částic nebude existovat jedna preferovaná vlnová délka a mléko bude odrážet světlo všech barev, čímž se bude zdát bílé. Při zpracovávání mléka se odstraňuje tuk, kdežto obsah ostatních látek zůstává téměř nezměněn, jak lze snadno zjistit z informací na etiketě. Proto i mléko zcela zbavené tuku nebude průhledné, ale bude mít bílou barvu.

Jako měření jsme zvolili metodu, kdy jsme pomocí tuše obarvili mléko, při stejné koncentraci tuše pro různé vzorky, a porovnáním se škálou odečetli hodnotu, která odpovídá barvě se všemi třemi hodnotami RGB rovnými danému číslu na škále. Abychom dosáhli dostatečně nízkých koncentrací, tak jsme tuš ředili nadvakrát. Při prvním ředění jsme do 10 ml vody přidali pomocí automatické pipety 0,2 ml tuše a poté jsme 0,2 ml tohoto roztoku přidali do 10 ml mléka, čímž jsme získali koncentraci tuše okolo 0,038 %, která dávala barvu odpovídající zhruba středu škály.

Protože zdánlivá světlost silně závisela na osvětlení, snažili jsme se měřit ve stínu a zachovat co nejkonzistentnější osvětlení. Nejprve jsme od každého druhu mléka vzali jeden vzorek, ten zařadili a poté seřadili vzorky podle naměřené barevnosti. Získali jsme pořadí vzorků na obrázku 1. Jak jistě vidíte, absolutní přesnost je naprosto neuspokojivá. Proto jsme se od tohoto okamžiku snažili vždy měřit tak, aby pro nás byly důležité spíše relativní výsledky, a snažili jsme se srovnávat i vzorky mezi sebou. Proto jsme vzorky seřadili ve správném pořadí podle tmavosti, naftovali na hodnoty na škále a další měření jsme prováděli porovnáváním s těmito vzorky, zároveň s kontrolou na škále. Pro každý druh mléka jsme použili 5 vzorků, z nichž jsme určili střední hodnotu a směrodatnou odchylku a získali jsme výsledky v tabulce 1.

Tyto výsledky jsme vynesli do grafu 2 a 3. Je zde vidět lehká korelace mezi obsahem tuku a bělostí, ale výsledky pro různé druhy mléka se stejným obsahem tuku se dost podstatně liší, takže nelze dělat spolehlivé závěry. Abychom dokázali odhadnout typ závislosti, potřebovali jsme použít vzorky s vyšším obsahem tuku, a proto jsme přidali mezi měřené vzorky dva druhy smetany, čímž jsme dostali graf 3.

Poté jsme zkusili prozkoumat závislost barvy na koncentraci tuše. Použili jsme smetanu s vyšším obsahem tuku kvůli vyššímu rozsahu měřených hodnot barevnosti, postupně jsme po



Obr. 1: Tento obrázek demonstruje vysokou nespolehlivost použité metody, neboť zkumavky jsou seřazeny tak, jak jsme je určili „naslepo“, tedy bez porovnávání s ostatními vzorky.

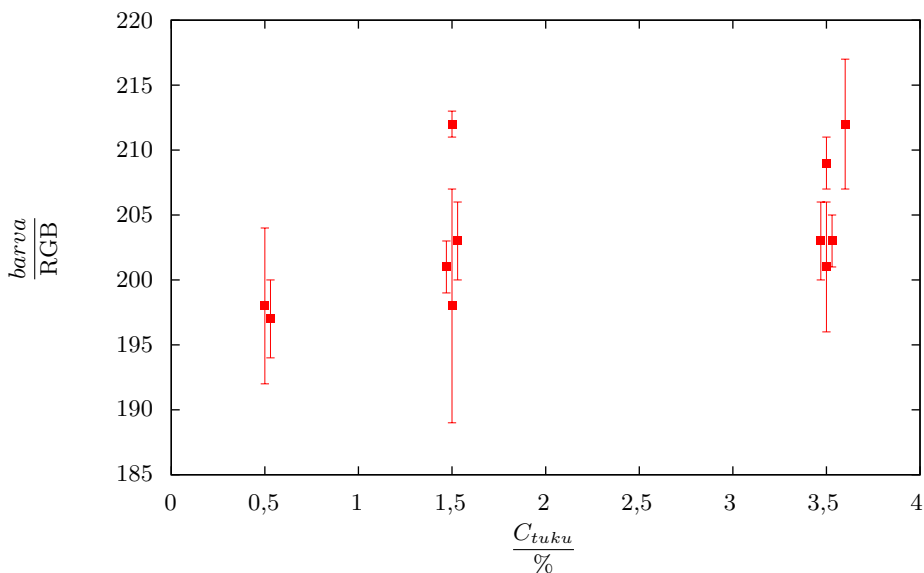
Zároveň demonstruje, jak neznatelné rozdíly byly mezi většinou vzorků.

Tab. 1: Naměřená data pro dané druhy mléka a smetany

Druh mléka		$\frac{\text{barva}}{\text{RGB}}$	$\frac{\sigma_{\text{barva}}}{\text{RGB}}$	
Ah Basic mléko plnotučné	trvanlivé	3.5%	201	5
Tesco mléko polotučné	čerstvé	1.5%	198	9
Madeta Jihočeské mléko odtučněné	trvanlivé	0.5%	197	3
Madeta Jihočeské mléko polotučné	trvanlivé	1.5%	203	3
Madeta Jihočeské mléko plnotučné	trvanlivé	3.5%	203	3
Madeta Jihočeské mléko polotučné	čerstvé	1.5%	201	2
Madeta Jihočeské mléko plnotučné	čerstvé	3.5%	203	2
Tesco mléko plnotučné	trvanlivé	3.5%	209	2
Pragolactos mléko polotučné	trvanlivé	1.5%	212	1
Tesco value mléko odtučněné	trvanlivé	0.5%	198	6
Selské mléko plnotučné	čerstvé	3.6%	212	5
Smetana na vaření		11%	226	2
Smetana ke šlehání		31%	232	3

0,2 ml přidávali pipetou 2% roztok tuše a získali jsme hodnoty v grafu 4, kde jsme museli provádět korekci na objem přikapané tuše, který již není zanedbatelný a získali jsme tím přibližně lineární závislost.

Proto jsme s očekáváním lineární závislosti postupně připravovali vzorky se stále více ředěnou smetanou. Ředili jsme zároveň vodou, kde se tím pádem snižovala koncentrace tuku i bílkovin, a zároveň paralelně s tím jsme ředili odtučněným mlékem, kde se víceméně zachovávala koncentrace bílkovin. Získali jsme tím graf 5. Zajímavé na něm je, že barva smetany ředěné vodou a mlékem se příliš neliší, až pro čistou vodu graf najednou prudce spadne, a rozdíl



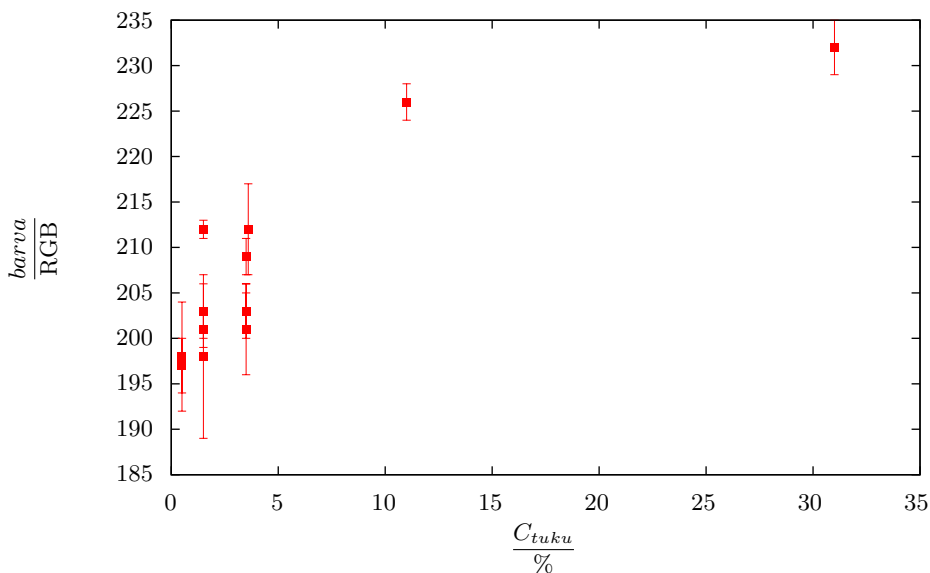
Obr. 2: Naměřená data, měřeno bylo pro 5 vzorků od každého druhu mléka. Data byla vytřížena podle obsahu tuku a částečně rozdělena kvůli přehlednosti – všechny body blízko sebe mají mít stejné množství tuku.

je dramatický. Měření pro čistou vodu bylo nemožné kvůli průhlednosti vody s tuší, proto jsme do něj museli přidat pár kapek mléka, abychom vůbec vzorek mohli přiřadit na škálu.

Právě kvůli skoku při nulové koncentraci jsme se rozhodli proměřit nízké koncentrace smetany a zjistit průběh. Smetanu jsme nejprve naředili na 10% roztok, a ten jsme pak ředili na požadovanou koncentraci. Tím jsme získali graf 6, kde jsme do horní osy přidali koncentraci tuku, vypočtenou z původního obsahu ve smetaně, a pro srovnání naměřená data pro různé druhy mléka. Při měření jsme postupovali vzestupně a pro koncentraci 5% jsme získali podobnou hodnotu, jako jsme naměřili předtím pro vysoké koncentrace smetany, kdežto pro 10% jsme získali hodnotu řádově vyšší, což zase ukazuje na nespolehlivost měření. Zároveň vidíme, že pro nízké koncentrace, které nás zajímají nejvíc, je závislost nelineární, a proto není možné výsledky extrapolovat na nulový obsah tuku, protože neznáme typ závislosti.

Každopádně se můžeme pokusit odhadnout, jaký je příspěvek tuku na celkové bělosti mléka. Když se podíváme na graf 6, vidíme, že odtučněnému mléku odpovídá hodnota přibližně 197, kdežto smetaně naředěné s ohledem na stejný obsah tuku, která ovšem obsahuje jen asi 1,5% bílkovin proti mléku, odpovídá hodnota 170. Hodnota odpovídající téměř čisté vodě je pak 145, což nám dává odhad, že tuk v mléce je zodpovědný za maximálně polovinu bílé barvy mléka. Jistotu nemůžeme mít kvůli tomu, že závislost barvy na koncentraci pro bílkoviny pravděpodobně bude mít podobně nelineární průběh pro nízké koncentrace, a proto i 1,5% procenta bílkovin může být nezanedbatelné množství. Navíc srovnáváme měření, které jsme prováděli nezávisle na sobě, a tudíž nemůžeme vyloučit částečně jiné osvětlení. (viz obrázek 1)

Je vidět, že se jedná o velice nepřesnou metodu, nejen kvůli vysokým odchylkám při měření



Obr. 3: Data z grafu 2, doplněná o dva druhy smetany.

více stejných vzorků, ale i kvůli podstatné systematické chybě způsobené měřeními, kterou nelze odstranit, protože je při každé sérii měření jiná. Navíc je toto měření vysoce subjektivní, a dokonce experimentátor může ovlivnit měření tím, že má představu, jaký by mu měl přibližně vyjít výsledek. Kvůli tomu je toto měření téměř nereprodukovatelné, a pokud bychom chtěli získat nějaké věrohodné výsledky, museli bychom především upravit experimentální uspořádání, především tak, aby detektorem nebylo lidské oko.

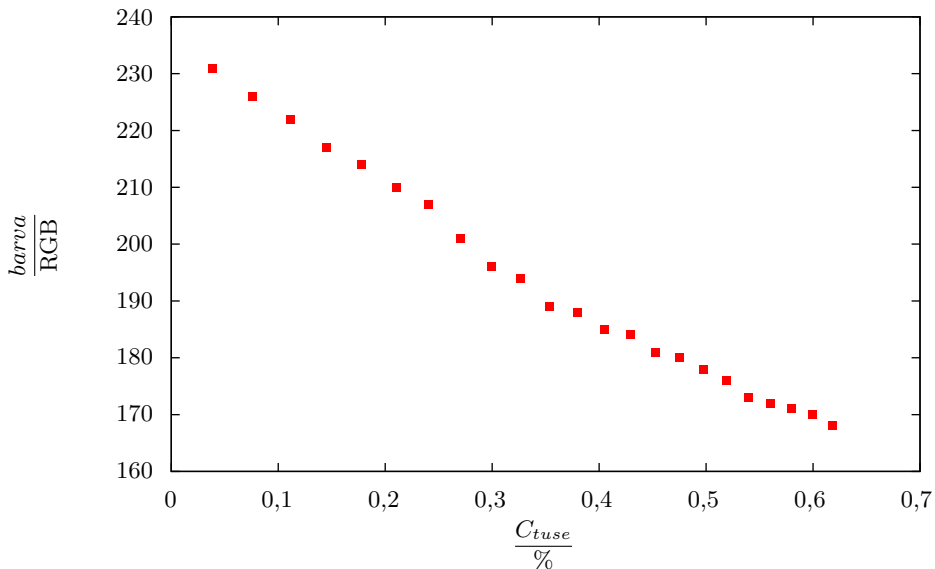
Nicméně v praxi se k tomuto účelu používá měření, které je založené na rozptylu světla procházejícího ředěným mlékem, kde se zkoumá množství prošlého světla.

Prostudovali jsme tedy tuto metodu, našli jsme určitou korelaci mezi množstvím tuku a barevností, ale kvůli vysokým odchylkám a malému množství bodů na škále jsme nedokázali určit, zda jde o lineární závislost. K určení obsahu tuku je ovšem přesnost nedostatečná. Na základě měření s ředěnou smetanou jsme došli k závěru, že tukové kapénky jsou složkou, která se na bílé barvě podílí nanejvýš polovinou, zbytek je pravděpodobně způsoben bílkovinami.

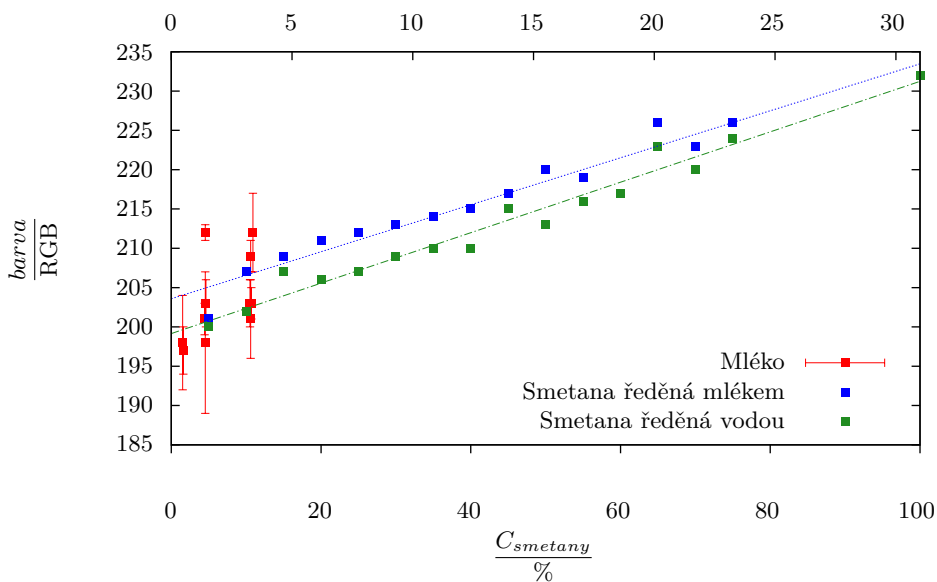
Mikuláš Matoušek
mikulas@fykos.cz

Fyzikální korespondenční seminář je organizován studenty MFF UK. Je zastřešen Oddělením pro vnější vztahy a propagaci MFF UK a podporován Ústavem teoretické fyziky MFF UK, jeho zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků.

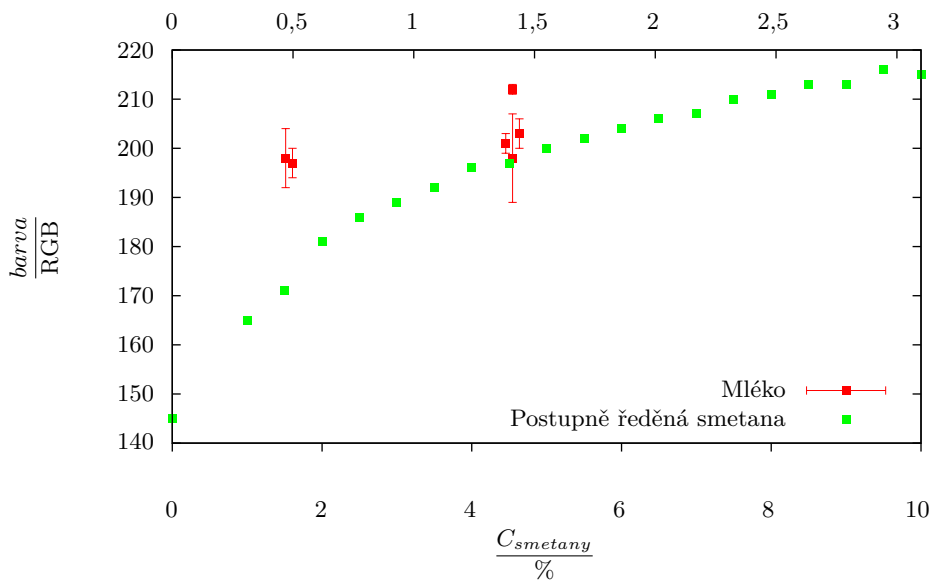
Toto dílo je šířeno pod licencí Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported. Pro zobrazení kopie této licence navštivte <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>.



Obr. 4: Závislost barvy na koncentraci tuše.



Obr. 5: Závislost barvy na koncentraci smetany. V horní ose pak přepočít na obsah tuku.



Obr. 6: Naměřená data pro nízké koncentrace smetany s vodou. V horní ose pak přepočet na obsah tuku.