

## Úloha I.E ... Vlasatá

7 bodů; (chybí statistiky)

Změřte co nejpřesněji tloušťku lidského vlasu. Postup měření důkladně popište a odhadněte jeho přesnost.

Naše měření je v principu jednoduché, máme změřit tloušťku vlasu, tedy jeden z jeho rozměrů. Při měření délky obvykle postupujeme tak, že použijeme metr, pravítko, nebo jiný druh délkového měřidla. S tloušťkou vlasu však máme problém. Je příliš malá na to, abychom ji mohli změřit například pravítkem, které má i nejmenší dílek výrazně větší než je námi měřená tloušťka. K přesnému měření malých rozměrů existuje zařízení zvané *posuvné měřítko* nebo lidově *šuplera*, které umožňuje měřit s přesností na zlomky milimetru. Přesto jsou i tato posuvná měřítka na vlas příliš hrubá. Můžeme ale použít jednoduchý postup, při němž zvětšíme měřenou vzdálenost na její několiknásobek. Tento konkrétní případ lze realizovat namotáním vlasu hustě na tužku a následným změřením šířky několika „závitů“.

## Výsledky měření

Měření jsme prováděli pro tři různé vlasy, které byly různě dlouhé, proto jsme u každého zvládli udělat rozdílný počet obtočení kolem tužky. Samozřejmě bychom mohli vždy počet omotání zastavit na deseti, ale vyšším počtem obtočení jsme dosahovali vyšší přesnosti měření. Získaná měření jsou uvedena v tabulce 1, kde je pro každý vlas pět měření pro pět nezávislých navinutí, kde je napsán počet závitů  $n$ , naměřená celková tloušťka  $d$  a naměřená tloušťka jednoho závitu  $d_0$ .

Tab. 1: Naměřené hodnoty tloušťky vlasu metodou navíjení vlasu na tužku

vlas 1			vlas 2			vlas 3		
$n$	$\frac{d}{\text{mm}}$	$\frac{d_0}{\text{mm}}$	$n$	$\frac{d}{\text{mm}}$	$\frac{d_0}{\text{mm}}$	$n$	$\frac{d}{\text{mm}}$	$\frac{d_0}{\text{mm}}$
13	1,45	0,112	20	2,30	0,115	15	1,40	0,093
12	1,55	0,129	10	1,40	0,140	15	1,45	0,097
12	1,40	0,117	15	1,60	0,107	15	1,20	0,080
13	1,65	0,127	21	2,60	0,124	15	1,40	0,093
12	1,35	0,113	24	2,85	0,119	15	1,15	0,077

Vidíme, že každé měření nám vyšlo jinak. Zkusíme se tedy zamyslet, jaká je výsledná naměřená hodnota tloušťky jednotlivých vlasů a jaká je její nejistota. Výslednou hodnotu několika měření spočítáme jako aritmetický průměr naměřených hodnot. Tedy tak, že všechny hodnoty sečteme a tento součet vydělíme počtem naměřených hodnot. Nejistotu měření můžeme určit dvěma způsoby, nejlepší je pak použít jejich kombinaci. První ze způsobů je jednodušší, protože bere v úvahu nejistotu použitého měřidla. Je nám jasné, že nemůžeme změřit nic menšího než nejmenší dílek použitého měřítka. Tato nejistota bude tedy polovinou nejmenšího dílku. V našem případě, kdy jsme použili posuvné měřítko s nejmenším dílkem 0,05 mm je tedy tato nejistota 0,025 mm. Tato nejistota je však platná pro měření daného počtu obtočení. Pro nejistotu měření jednoho vlasu ji musíme ještě vydělit počtem obtočení. Druhý způsob se týká náhodných chyb, které jsou způsobeny například různým navinutím vlasu nebo různým

smáčknutím vlasu posuvným měřítkem. Tuto chybu spočítáme z naměřených dat tak, že každou naměřenou tloušťku odečteme od průměru a tento rozdíl umocníme na druhou. Tyto druhé mocniny sečteme, vydělíme  $n(n-1)$ , kde  $n$  je počet měření a na závěr odmocníme. Tento postup je detailněji popsán v textu [https://vyfuk.mff.cuni.cz/rady\\_a\\_tipy/hokus\\_pokus](https://vyfuk.mff.cuni.cz/rady_a_tipy/hokus_pokus). Chyby získané těmito dvěma způsoby sečteme ve druhých mocninách pod odmocninou  $c = \sqrt{a^2 + b^2}$ . Pro jednotlivé vlasy pak dostáváme výsledky

$$d_1 = (0,119 \pm 0,004) \text{ mm},$$

$$d_2 = (0,121 \pm 0,005) \text{ mm},$$

$$d_3 = (0,088 \pm 0,004) \text{ mm}.$$

### Diskuse a závěr

Ačkoliv je vlas příliš tenký na změření průměru jednoho vlasu, můžeme poměrně přesně získat výsledek tak, že těchto průměrů změříme několik a výsledek vydělíme jejich počtem. Relativní nejistota tohoto měření byla pro všechny tři vlasy 3%–5%, což je na podmínky měření dost přesný výsledek. Nejistoty tohoto měření plynou především z různě hustého navinutí vlasu na tužku, různého smáčknutí vlasu posuvným měřítkem nebo i z nerovnoměrné tloušťky podél vlasu. Vidíme, že i různé vlasy jednoho člověka mohou mít různou tloušťku, vlasy různých lidí se mohou lišit ještě více. Některé internetové zdroje uvádí, že se tloušťka lidského vlasu pohybuje mezi  $17 \mu\text{m}$  a  $180 \mu\text{m}$ . Vidíme tedy, že výsledky našeho měření odpovídají skutečné tloušťce vlasu.

### Bonus: Měření pomocí difrakce

**Teorie** Pro měření tloušťky vlasu je běžně používaná ještě další metoda: difrakce laserového paprsku na vlasu. Ta spočívá v tom, že tloušťka vlasu je řádově srovnatelná s vlnovou délkou světla. Tedy mezi částmi vlny, které procházely z různých stran vlasu je nezanedbatelný fázový rozdíl. Na stínítku za vlasem pak vzniká difrakční obrazec, který je systémem maxim a minim, kde maximum je v místech, kde se paprsky sejdou ve stejné fázi, a minimum naopak tam, kde se sejdou v opačné fázi. Ze vzdálenosti maxim (nebo minim)  $x$  pak můžeme vypočítat tloušťku vlasu  $d$  jako

$$d = \frac{L\lambda}{x},$$

přičemž  $L$  je vzdálenost vlasu od stínítka a  $\lambda$  je vlnová délka laseru. Přesné odvození si zájemci mohou přečíst na stránkách FYKOSu.<sup>1</sup>

**Výsledky měření** V našem měření touto metodou jsme použili stejné tři vlasy jako pro předchozí metodu, které jsme pomocí kolíčku na prádlo naplnili a svítili na ně laserem o vlnové délce  $\lambda = (640 \pm 10) \text{ nm}$ . Za vlasem ve vzdálenosti  $L = (50,0 \pm 0,5) \text{ cm}$  máme umístěné stínítko pokryté milimetrovým papírem. Na tomto papíře měříme vzdálenost minim (jsou lépe identifikovatelná než maxima).

Pro zvýšení přesnosti postupujeme tak, že na papír vyznačíme polohy všech minim a pak počítáme vzdálenost sousedních dvou jako více těchto vzdáleností vydělených jejich počtem. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2.

<sup>1</sup>[https://fykos.cz/\\_media/rocnik12/ulohy/pdf/uloha12\\_3\\_e.pdf?cache=](https://fykos.cz/_media/rocnik12/ulohy/pdf/uloha12_3_e.pdf?cache=)



Obr. 1: Fotografie aparatury

Nejistoty měření vzdálenosti mezi minimy  $x$  byly vypočteny, jak je popsáno v předchozí části. Nejistoty určení tloušťky vlasu  $d$  pak byly určeny tak, že relativní nejistota tloušťky vlasu je součtem relativních nejistot vzdálenosti minim, vlnové délky a vzdálenosti stínítka.

**Diskuse a závěr** Hodnoty naměřené touto metodou jsou řádově podobné předchozí metodě, ale jsou menší. Relativní přesnost tohoto měření je mezi 7 % a 10 %, což je menší přesnost než u jednoduchého měření předchozí metodou. To je dáno tím, že minima jsou hůře identifikovatelná, a tedy jejich polohu nemůžeme měřit s dostatečnou přesností posuvným měřítkem. Vyšší přesnosti experimentu bychom mohli dosáhnout například zvolením delší vzdálenost  $L$ , která by zajistila i větší vzdálenosti  $x$ , které by umožnily jejich měření s vyšší relativní přesností.

*Kateřina Rosická*  
kackar@vyfuk.mff.cuni.cz

---

Korespondenční seminář Výfuk je organizován studenty a přáteli MFF UK. Je zastřešen Oddělením propagace a mediální komunikace MFF UK a podporován Katedrou didaktiky fyziky MFF UK, jejími zaměstnanci a Jednotou českých matematiků a fyziků. Realizace projektu byla podpořena Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

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

Tab. 2: Naměřené hodnoty tloušťky vlasu metodou difrakce laseru

	Vlas 1	Vlas 2	Vlas 3
$\frac{x_1}{\text{mm}}$	4,2	3,3	4,0
$\frac{x_2}{\text{mm}}$	4,5	3,2	5,0
$\frac{x_3}{\text{mm}}$	4,0	3,7	4,5
$\frac{x_4}{\text{mm}}$	4,0	4,0	5,5
$\frac{x_5}{\text{mm}}$	3,8	5,0	5,5
$\frac{x}{\text{mm}}$	4,1	3,8	4,9
$\frac{\sigma(x)}{\text{mm}}$	0,3	0,4	0,4
$\frac{d}{\text{mm}}$	0,078	0,083	0,065
$\frac{\sigma(d)}{\text{mm}}$	0,006	0,009	0,005