

Laboratorní úloha

Měření objemu tuhých těles

1.1 Úkol měření

1. Prostudujte stati 1 až 5 studijního textu *Zpracování fyzikálních měření*¹.
2. Změřte objem hranolu nebo válce.
3. Vypočítejte kombinovanou standardní nejistotu jednotlivých charakteristických rozměrů zkoumaného tělesa.
4. Vypočítejte kombinovanou standardní nejistotu objemu zkoumaného tělesa.

1.2 Obecná část

Cílem této práce je naučit se na jednoduché úloze zpracovávat a vyhodnocovat naměřené fyzikální veličiny na základě poznatků uvedených ve studijním textu [1]. K tomuto účelu se velmi dobře hodí měření objemu pravidelných těles, jejichž charakteristické rozměry jsou nepatrně deformovány. Pro tuto úlohu volíme tělesa ve tvaru válce nebo hranolu. Pro příslušné objemy platí:

$$V = \frac{1}{4}\pi d^2 h = f(d, h) \quad (\text{válec}) \quad \text{a} \quad V = a b c = f(a, b, c) \quad (\text{hranol}), \quad (1.1)$$

kde d a h jsou průměr podstavy a výška válce a a , b , c jsou délky jednotlivých hran hranolu. Pro nejpravděpodobnější hodnoty objemů těchto těles platí

$$\bar{V} = \frac{1}{4}\pi \bar{d}^2 \bar{h} \quad (\text{válec}) \quad \text{a} \quad \bar{V} = \bar{a} \bar{b} \bar{c} \quad (\text{hranol}), \quad (1.2)$$

kde vodorovná čára nad symbolem značí aritmetický průměr z jednotlivých naměřených hodnot.

Pro kombinovanou standardní nejistotu objemu válce můžeme psát

$$u_C(\bar{V}) = \sqrt{\frac{\pi^2 \bar{d}^4}{16} u_C^2(\bar{h}) + \frac{\pi^2 \bar{d}^2 \bar{h}^2}{4} u_C^2(\bar{d})}, \quad (1.3)$$

¹Ke stažení na: <http://herodes.feld.cvut.cz>, anebo <http://fyzika.feld.cvut.cz> → Výuka → Výukové materiály.

kde $u_C(\bar{h})$ a $u_C(\bar{d})$ jsou kombinované standardní nejistoty výšky a průměru válce, podobně dostaneme kombinovanou standardní nejistotu objemu hranolu ve tvaru

$$u_C(\bar{V}) = \sqrt{(\bar{b}\bar{c})^2 u_C^2(\bar{a}) + (\bar{a}\bar{c})^2 u_C^2(\bar{b}) + (\bar{a}\bar{b})^2 u_C^2(\bar{c})}, \quad (1.4)$$

kde $u_C(\bar{a})$, $u_C(\bar{b})$ a $u_C(\bar{c})$ jsou kombinované standardní nejistoty délek jednotlivých hran.

Přímá měření jednotlivých charakteristických rozměrů

Nechť je měření veličiny x (charakteristického rozměru tělesa) opakováno n -krát a nechť $n \gg 1$. Naměřené hodnoty veličiny tvoří soubor $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$.

Podle teorie náhodných chyb se skutečné hodnotě měřené veličiny x blíží aritmetický průměr \bar{x} souboru daný vztahem

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (1.5)$$

Standardní nejistotu aritmetického průměru \bar{x} určenou metodou typu A vypočteme jako odhad jeho směrodatné odchylky

$$u_A(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1.6)$$

standardní nejistotu určenou metodou typu B odhadneme pomocí vztahu

$$u_B = \frac{\Delta}{\sqrt{12}}, \quad (1.7)$$

kde Δ je velikost nejmenšího dílku stupnice použitého měřicího přístroje (posuvky nebo mikrometru). Kombinovanou standardní nejistotu pak vypočteme jako

$$u_C(\bar{x}) = \sqrt{u_A^2(\bar{x}) + u_B^2}. \quad (1.8)$$

1.3 Postup měření

1. Měření každého charakteristického rozměru opakujte alespoň $n = 10 \times$, tím dostanete soubor hodnot x_1, x_2, \dots, x_n . Pro daný charakteristický rozměr provádějte jednotlivá měření pokud možno na různých místech tělesa.
2. Pro každý charakteristický rozměr vypočtete aritmetický průměr a standardní nejistoty u_A , u_B a u_C .
3. Vypočtete objem tělesa a jeho kombinovanou standardní nejistotu.

1.4 Literatura

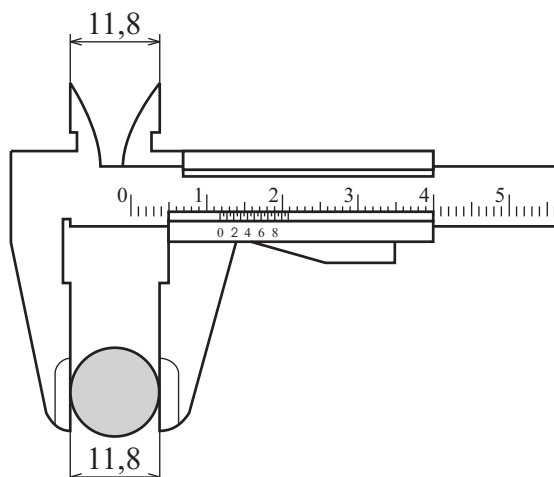
- [1] Milan Červenka: Zpracování fyzikálních měření, online: <http://herodes.feld.cvut.cz>.

1.5 Dodatek: posuvné měřítko a mikrometr

1.5.1 Měření posuvkou

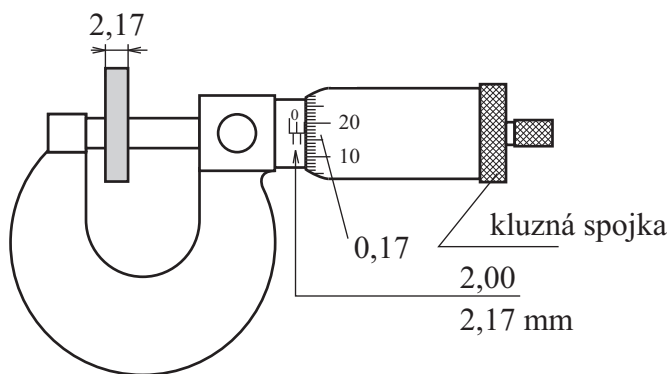
Měříme-li délku pomocí měřítka s milimetrovým dělením, určíme spolehlivě milimetry a zlomky milimetrů musíme pouze odhadovat. Proto je u řady měřicích přístrojů odhad zlomku posledního dělení stupnice nahrazen odečítáním na pomocné stupnici – noniu.

Jedním ze základních měřicích přístrojů vybavených tímto zařízením je posuvné měřítko, neboli posuvka. Nonius je pomocné měřítko volně pohyblivé podél hlavního měřítka, těsně k němu přiléhá a je děleno obvykle na $n = 10$ dílků (desetinový nonius), které odpovídají $n - 1 = 9$ dílkům na stupnici hlavní. Na desetinovém noniu odečítáme desetiny milimetru. U desetinového nonia udává nulová ryska pomocné stupnice počet celých dílků na hlavní stupnici, počet desetin dílku hlavní stupnice udává ta ryska stupnice pomocné, která je co nejbližší některé z rysek stupnice hlavní. U nonia dvacetinového je u posuvky jeden dílek hlavní stupnice (1 mm) rozdělen na $n = 20$ dílků a můžeme odečítat s přesností 0,05 mm.



Obrázek 1.1: Měření posuvkou.

1.5.2 Měření mikrometrem



Obrázek 1.2: Měření mikrometrem.

Pro malé vzdálenosti lze provádět délková měření pomocí mikrometrického šroubu – mikrometru. Mikrometr je sestaven ze dvou dílů. Pohyblivá část je na přesně opracovaném šroubu, který má stoupání 0,5 mm. Otočný bubínek pohyblivé části je dělen na padesát dílků. Pevná část mikrometru je opatřena půlmilimetrovým měřítkem.

Odečítání na mikrometru se provádí tak, že počet rysek na pevném měřítku ukazuje počet milimetrů a polovin milimetrů, dílky na otočném bubínku udávají setiny milimetru.

Měření se provádí tak, že se předmět přiloží k pevné části mikrometrického šroubu a otočným bubínkem pohybujeme tak dlouho, až pohyblivá čelist dosedne na měřený předmět. Aby nedošlo k deformaci měřeného objektu nebo pohyblivé části přílišným utážením čelistí mikrometru, je vroubkovaná část bubínku oddělena od ostatní pohyblivé části třecí spojkou, která začne prokluzovat, jakmile je dosaženo žádoucího tlaku. Tím je zaručeno, že šroub je dotažen vždy stejnou silou, aniž dochází k deformacím měřeného předmětu.