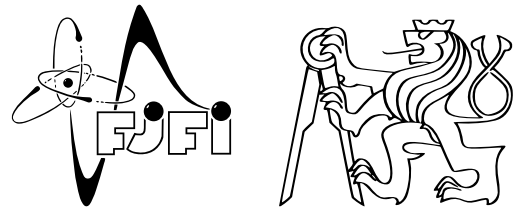


Měření vzdálenosti a doby letu pomocí LIDARu.

Jméno: **Krapivin Denis** Kolega: **Roman Jnovčík**Datum měření: **3.04.2025** Klasifikace:

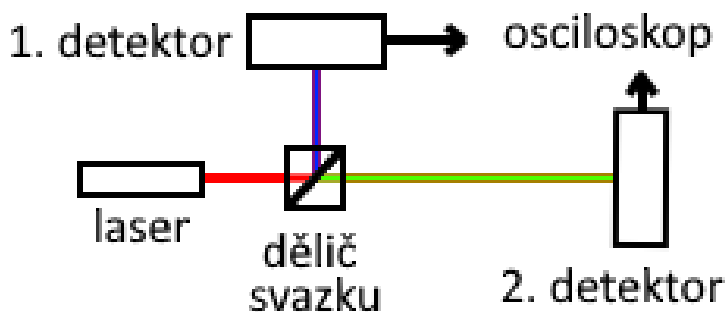
1 Pracovní úkoly

- Sestavte a zprovozněte LIDAR podle návodu.
- Naměřte minimálně pět hodnot vzdáleností a k nim časový rozdíl mezi přicházejícími signály.
- Vyneste data do grafu, proložte je lineární funkcí a z parametru k určete rychlost světla.

2 Pomůcky

Optická kolejnice, pulzní nanosekundový laser a pětiosý držák pro přesné zarovnání optické dráhy svazku, zdroj napájení laseru PLPS 1000, dělič svazku, zobrazovací optika pro přichozí pulz, InGaAs fotodetektor, stínítko, digitální osciloskop se dvěma vstupními kanály, svinovací metr.

3 Teoretický úvod



Obr. 1: Schéma měření doby letu (ToF) pomocí LIDARu

tor (1. detektor) a na 2. detektor, jehož vzdálenost je nám známa. Oba detektory jsou připojeny k osciloskopu. Časový rozdíl mezi pulsy přicházejícími na osciloskop představuje ToF paprsku.

4 Postup měření

Před měřením ToF jsme na optickou kolejničku umístili laser, dělič svazku, nastavili 1. detektor ze strany děliče svazku a přímo za děličem jsme umístili 2. detektor těsně k děliči svazku, od kterého jsme měřili vzdálenost. Po připojení detektorů k osciloskopu a nastavení škál na osciloskopu tak, aby byl signál přicházející z detektoru

LIDAR (Light Detection and Ranging) — je optická metoda dálkového průzkumu založená na vysílání laserových impulzů a měření doby jejich odrazu od objektů. Ze zpoždění vráceného signálu se určuje vzdálenost a skenování v různých směrech umožňuje získat trojrozměrnou mapu terénu nebo objektu.

Budeme měřit doby letu (ToF) laserového paprsku a při znalosti dráhy, kterou paprsek urazil, budeme schopni vypočítat jeho rychlost. Na Obr. 1 je znázorněno schéma experimentu, kde laserový paprsek po průchodu děličem svazku dopadá na referenční detek-

pozorovatelný, jsme zaznamenali časový rozdíl mezi signály z obou detektorů. Poté jsme provedli 6 měření ToF pro různé vzdálenosti. Před každým měřením jsme pomocí irisky kontrolovali, aby byl paprsek vodorovný po celé délce optické kolejničky; v opačném případě jsme polohu a sklon laseru upravili pomocí kinematického držáku. Při vzdálenostech větších než délka optické kolejničky jsme pro odraz paprsku použili zrcadla.

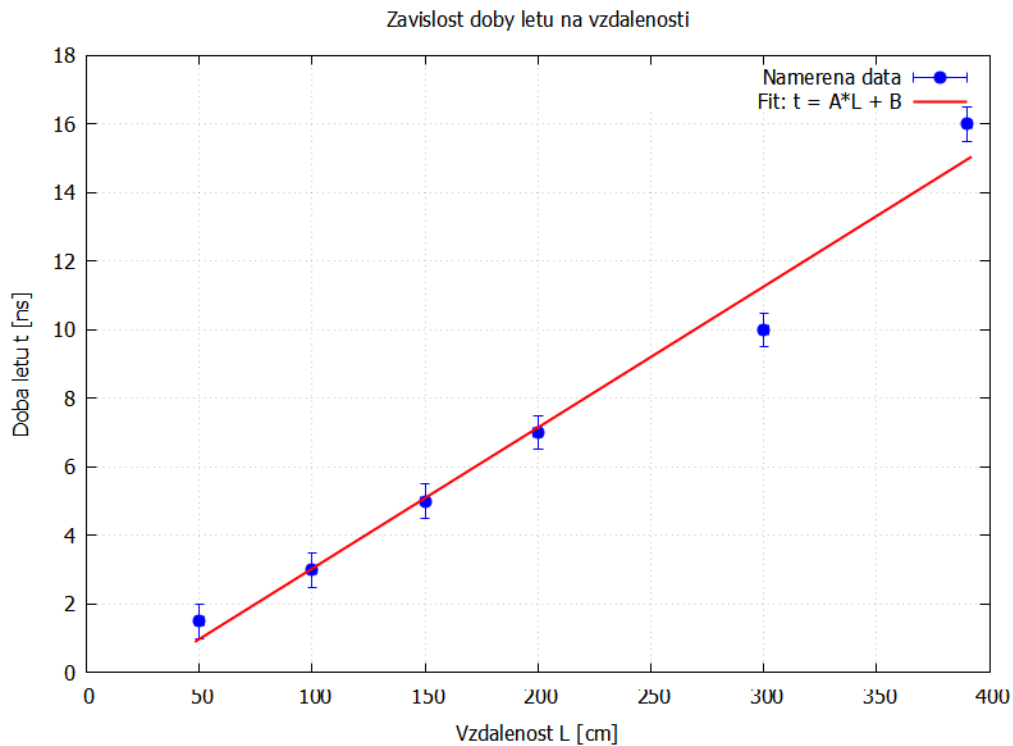
5 Výsledky měření

Velikost offsetu mezi signály je $t_{\text{off}} = 40$ ns. Naměřené hodnoty doby letu laserového paprsku t_{ToF} v závislosti na dráze urazené paprskem L a vypočtené hodnoty ToF s ohledem na offset t_{tot} jsou uvedeny v Tab. 1. Chybu měření vzdálenosti jsme stanovili na $\sigma_L = 2$ cm, protože kvůli konstrukci detektoru nebylo přesně jasné, od které části detektoru měřit. Chybu měření ToF jsme stanovili na $\sigma_t = 0,5$ ns.

L [cm]	t_{ToF} [ns]	t_{tot} [ns]
50	41,5	1,5
100	43,0	3,0
150	45,0	5,0
200	47,0	7,0
300	50,0	10,0
390	56,0	16,0

Tab. 1: Naměřené hodnoty ToF t_{ToF} s chybou $\sigma_t = 0,5$ ns v závislosti na dráze urazené paprskem L s chybou $\sigma_L = 2$ cm a vypočtené hodnoty ToF s ohledem na offset t_{tot} s chybou $\sigma_t = 0,5$ ns.

Pomocí programu GNUplot jsme proložili závislost ToF t na dráze L lineární funkcí ve tvaru $t = a \cdot L + b$. Výsledky jsme vynesli do grafu na Obr. 2.



Obr. 2: Závislost doby letu laserového paprsku t na dráze urazené paprskem L a její proložení funkcí ve tvaru $t = a \cdot L + b$ s koeficienty $a = 0,041 \pm 0,003$ a $b = -1 \pm 1$.

Proložení dat jsme dostali hodnotu konstanty a s příslušnou chybou $a = (0,041 \pm 0,003) \frac{\text{ns}}{\text{cm}}$, co po výpočtu podle vzorce $c = \frac{1}{a}$ nám dalo rychlost světla $c = (24 \pm 2) \frac{\text{cm}}{\text{ns}} = (2,4 \pm 0,2) \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Chyba byla vypočtena podle vzorce pro chybu nepřímého měření.

6 Diskuze

Vypočtená hodnota rychlosti světla $c = (2,4 \pm 0,2) \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ má relativní chybu cca 8% a shoduje se v rámci $\sigma \leq 3\sigma$ s tabulkovou hodnotou $c = 2,988 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ [2], tím pádem hodnoty můžeme považovat za shodné.

Samozřejmě lze přesnost experimentu zvýšit, pokud provést větší počet měření, a také by bylo zajímavé použít LIDAR pro 3D mapování povrchu.

7 Závěr

V průběhu experimentu jsme se seznámili s principem fungování, sestavili a zprovoznili LIDAR. Celkem jsme naměřili 6 hodnot vzdáleností a k nim časový rozdíl mezi přicházejícími signály (Tab. 1). Data jsme vykreslili do grafu (Obr. 2), proložili je lineární funkcí a z parametrů jsme určili rychlost světla $c = (2,4 \pm 0,2) \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. To odpovídá tabulkové hodnotě v rámci 3σ .

Reference

- [1] Webová dokumentace k úloze Laser Range Finder: <https://www.e-las.com/products/laser-metrology/ca-1340-laser-range-finder-lidar/>, cit. 7. 8. 2025.
- [2] WolframAlpha: Light speed [online]: <https://www.wolframalpha.com/input?i=light+speed>, cit. 7. 8. 2025.