

# Čítání fotonů a jeho aplikace

Matyáš Grof  
Gymnázium Christiana Dopplera  
mates.grof@gmail.com

## Úvod

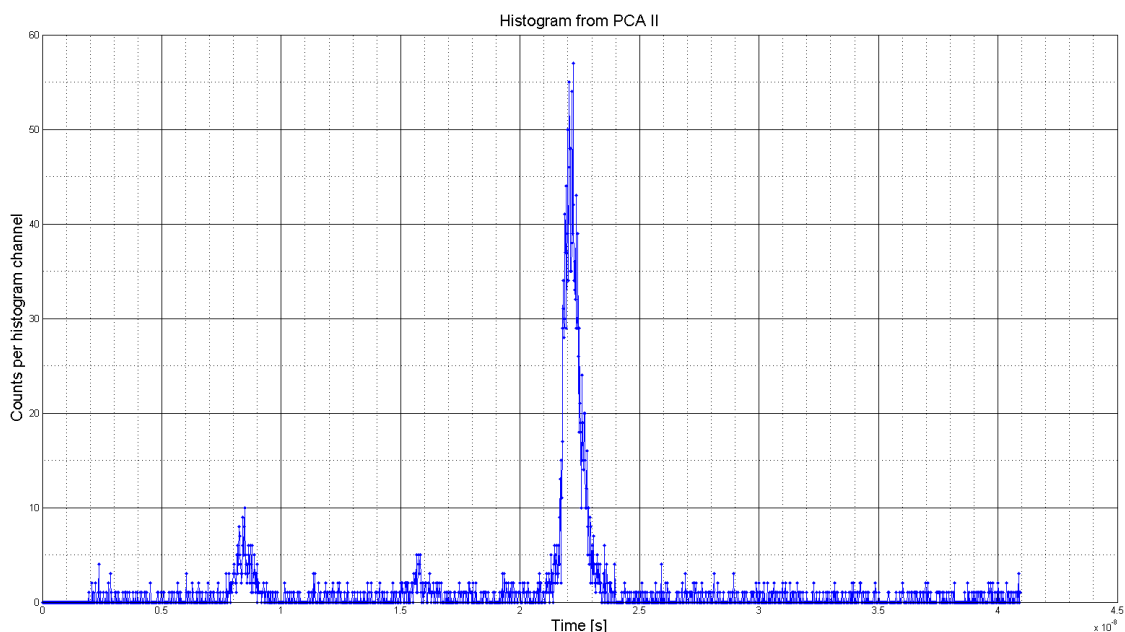
Postupným vývojem v optoelektronice se čítání jednotlivých fotonů stalo výrazně dostupnějším a v mnoha směrech výhodnější než je vícefotonový přístup. Jelikož není třeba příliš výkonných laserů, tak měřicí přístroje jsou velice malé a lze je využít i v kosmických projektech. Kvůli samotnému principu čítání jednotlivých fotonů trvá měření podstatně déle (redukce šumu) a tedy toto nelze využít pro měření rychlých dějů.

Čítání fotonů lze využít třeba k měření vzdáleností, přesnému určování polohy, zkoumání struktury mraků, přesnou synchronizaci času, nebo letecké navigaci.

## Princip

Z laseru vychází krátké světelné impulzy, z kterých detektor jeden foton zachytí. S přesností na pikosekundy se zaznamenává čas obou dějů, čímž lze určit dobu letu a tedy uraženou dráhu fotonů.

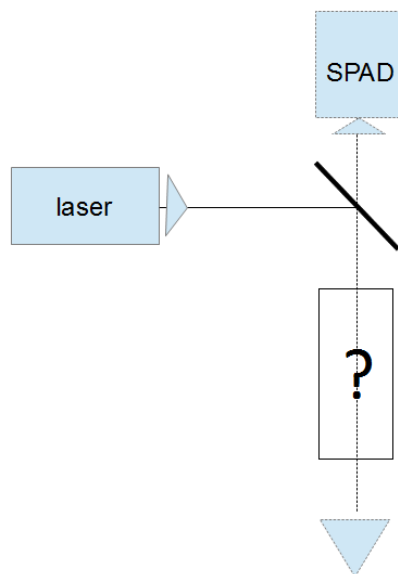
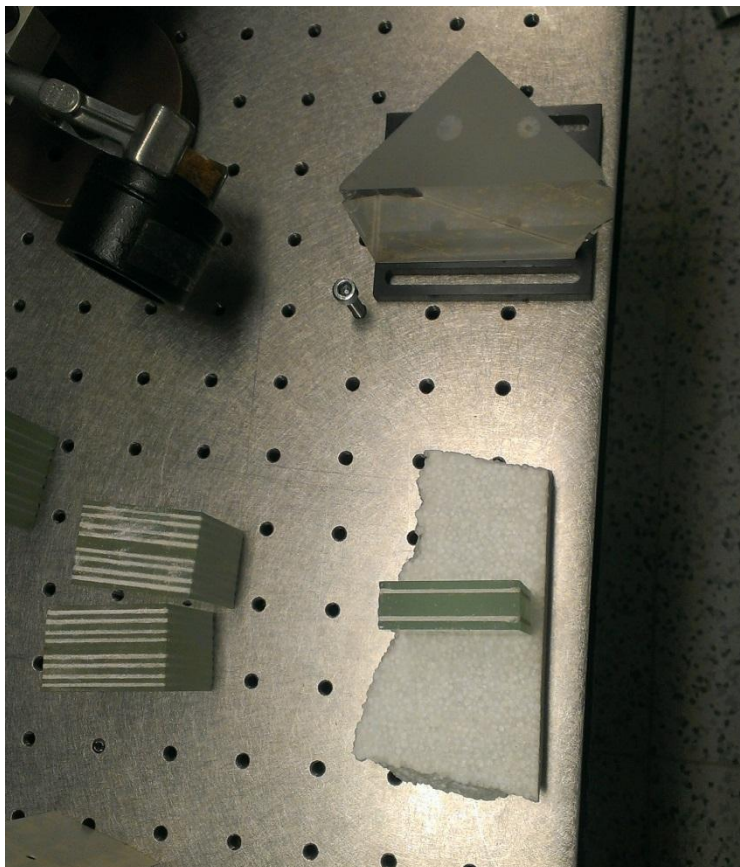
Detektor nedetekuje pouze námi vyslané fotony, ale i okolní šum a šum detektoru. Poměr signál-šum se zlepšuje nejrůznějšími způsoby. Jedna z nejefektivnějších metod jsou filtry vlnových délek. Známe vlnovou délku vyslanou laserem, a tedy můžeme všechny ostatní odfiltrovat. Dále se využívá statistická analýza, tedy vyslání mnoha impulzů v rámci jednoho měření, které převládnu nad šumem a na histogramu je viditelné zvýšení detekcí (viz graf níže – závislost množství impulzů na čase).



## Index lomu

Za úkol bylo určit index lomu skla. Z laseru vycházely impulzy přes odrazové sklíčko, které rozdělilo impulz na dva (viz schéma níže). Jeden, který šel rovnou do detektoru a sloužil pro kalibraci, a druhý, který musel urazit podstatně větší dráhu a tedy vyrazil opačným směrem, kde se odrazil směrem k detektoru.

Druhý paprsek procházel přes skleněnou desku (viz obrázek níže), kde světlo putuje pomaleji než ve vzduchu, tedy výsledná naměřená vzdálenost se nám bude jevit větší.



Dráha, kterou paprsek urazil lze spočítat snadno, přes rovnici rychlosti a rozdílu naměřených časů. Index lomu lze vyjádřit jako:

$$n = \frac{c}{v'}$$

kde  $c$  je rychlost světla ve vakuu a  $v'$  je rychlost v daném prostředí. Tedy v našem experimentu lze index lomu spočítat jako:

$$n = \frac{s + \Delta l}{s},$$

kde  $s$  je tloušťka skla a  $\Delta l$  je rozdíl naměřených délek.

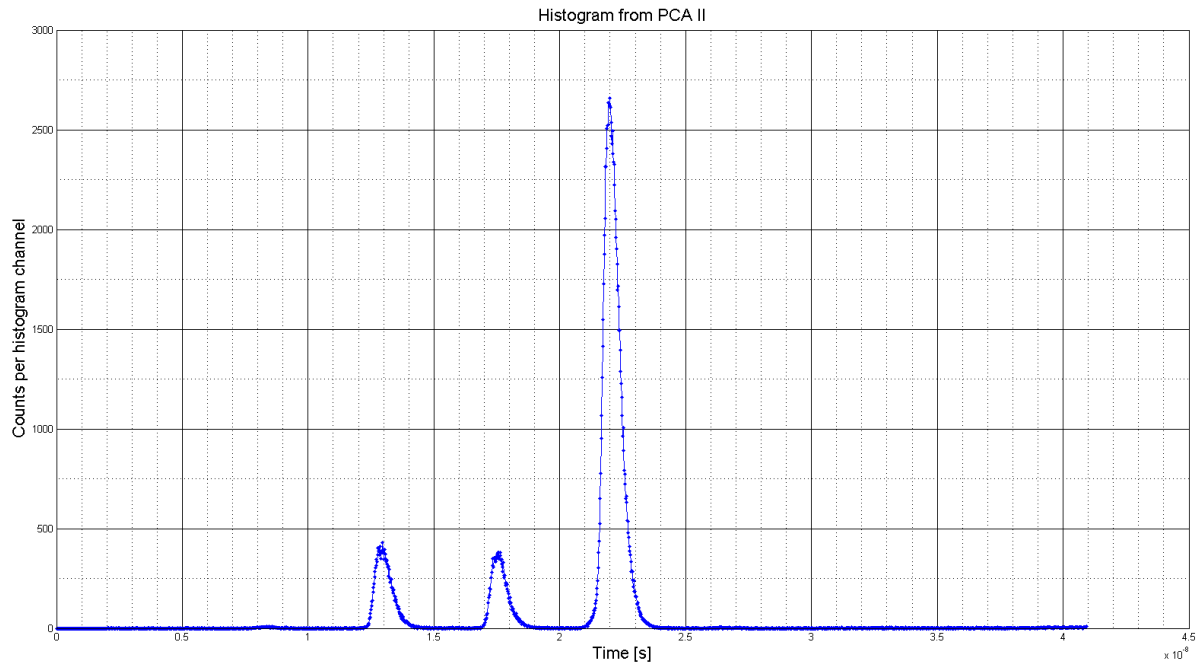
Graf výše jsou výsledné naměřené hodnoty, kde nejvyšší pík jsou fotony z druhého paprsku, a první pík je první paprsek. Nejmenší pík mezi nimi je paprsek odražený od skla.

Index lomu byl spočten  $n = 1,5225$ .

## Měření mraků

Toto měření je podobné měření mraků v atmosféře, kde se paprsek odráží od jednotlivých vrstev a po částech se vrací zpět. Tímto lze studovat strukturu a rozložení jednotlivých mraků.

Do druhého paprsku jsem umístil několik odrazivých destiček, které vraceli část paprsku zpět, a tedy můžeme dopočítat jejich polohu z časů jednotlivých píků na histogramu (viz graf níže).



## Shrnutí

Metoda čítání jednotlivých fotonů je perspektivní v telekomunikaci, navádění i v určování poloh družic. Má velké využití v budoucnu, i když na první pohled se může jevit jako nepraktický obor.

## Poděkování

Nejvíce děkuji svému supervizorovi Vojtěchu Michálkovi za ochotu s čímkoliv pomoci, za snahu a za vysvětlení celého projektu. Dále samozřejmě celému organizačnímu týmu Týdne Vědy.

## Reference:

- [1] Vacek, M.; Michalek, V.; Peca, M.; Prochazka, I.; Blazej, J.; Kodet, J.: [Photoncountingaltimeter and lidar for air and spaceborneapplications](#), PhotonCountingApplications, QuantumOptics, and QuantumInformation Transfer and Processing III, SPIE, 2011, 80720B, [doi:10.1117/12.886454](https://doi.org/10.1117/12.886454)

[2] Michalek V.; Vacek M.; Peca M.; Prochazka I.; Blazej J.: [Photoncounting Lidar fordeepspaceapplications: demonstrator design](#), Proc. SPIE 8773, PhotonCountingApplications IV; and QuantumOptics and QuantumInformation Transfer and Processing, 87730M (May 6, 2013);[doi:10.1117/12.2017403](#)