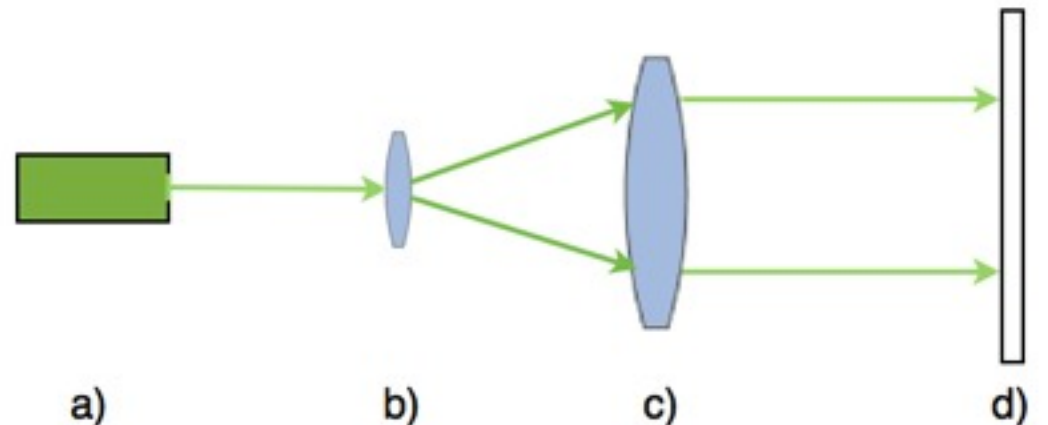


# Lasery a demonstrace interferenčních a difrakčních obrazců koherentního světla

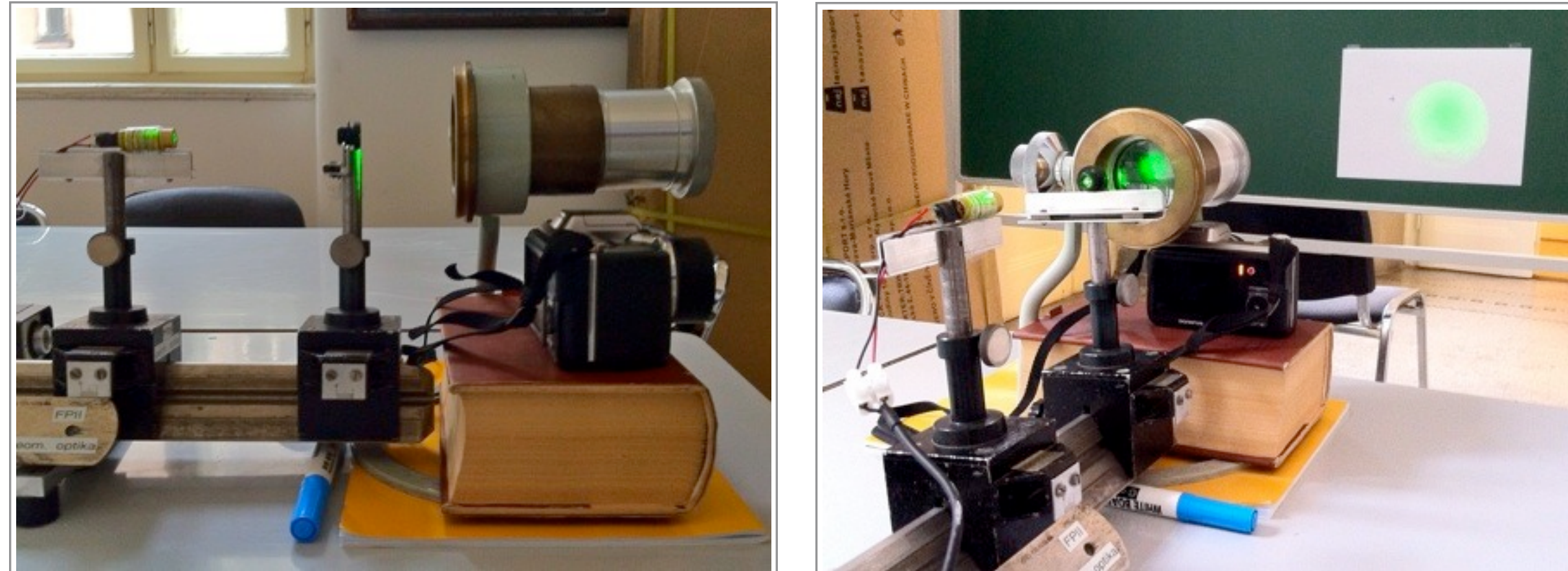
Prezentace různých typů interferenčních a difrakčních obrazců vytvořených za pomoci laseru, základní optické výbavy a různých druhů optických médií.

Matěj Petráček, 1. ročník BS, FJFI, ČVUT - Fyzikální seminář 24.11.2011

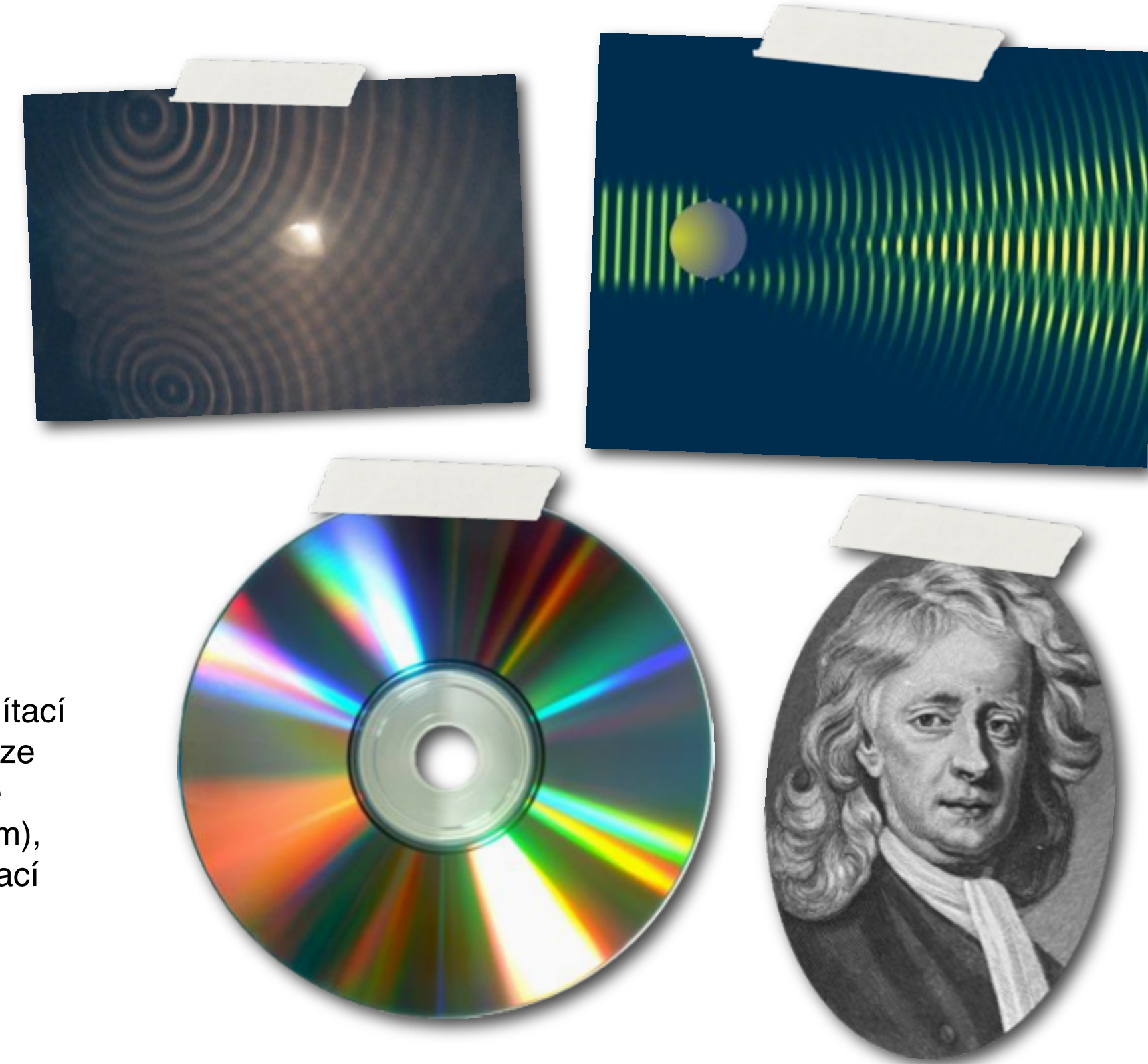
## Uspořádání experimentu



Obr. 1: Schéma promítací aparatury  
a) laser (zelené světlo, 535 nm)  
b) malý objektiv se spojkou (rozšiřující paprsek)  
c) velký objektiv (paralelní paprsek)  
d) promítací plocha



Obr. 2 a 3: Fotodokumentace promítací aparatury, skládající se ze zdroje světla - laseru se zeleným světlem (535nm), dvou objektivů a promítací plochy.

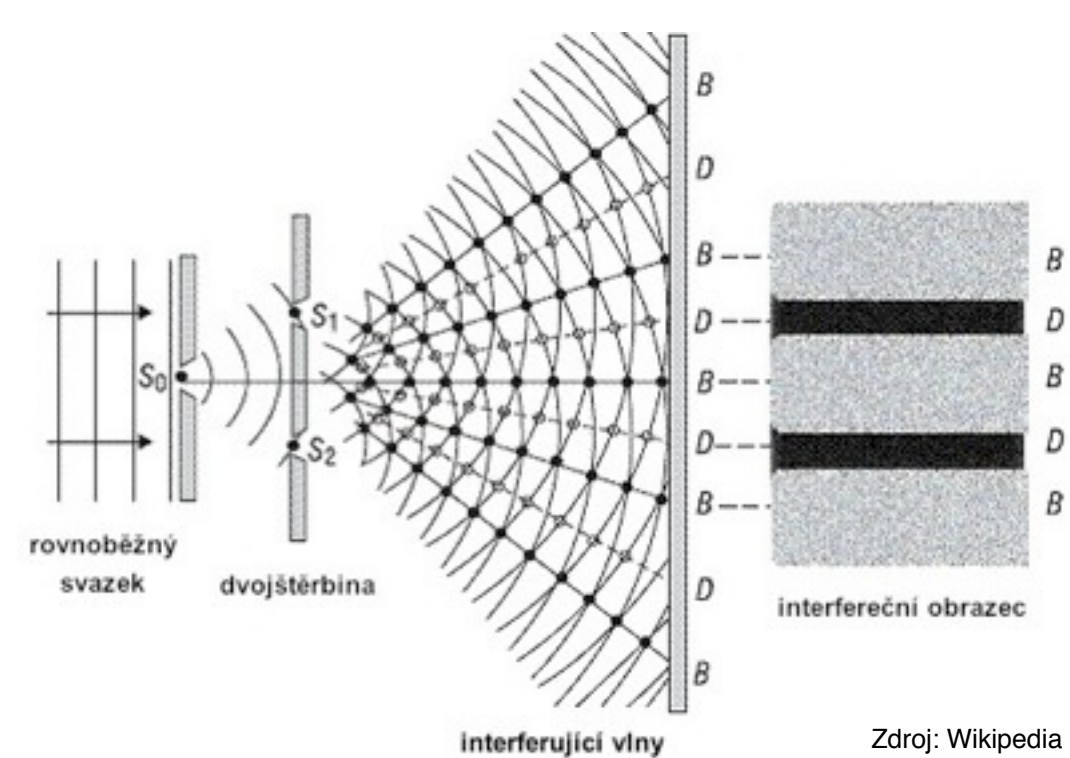


## Youngův (dvojitřbinový) experiment

Tímto pokusem v roce 1807 anglický fyzik Thomas Young experimentálně dokázal, že světlo je vlnění.

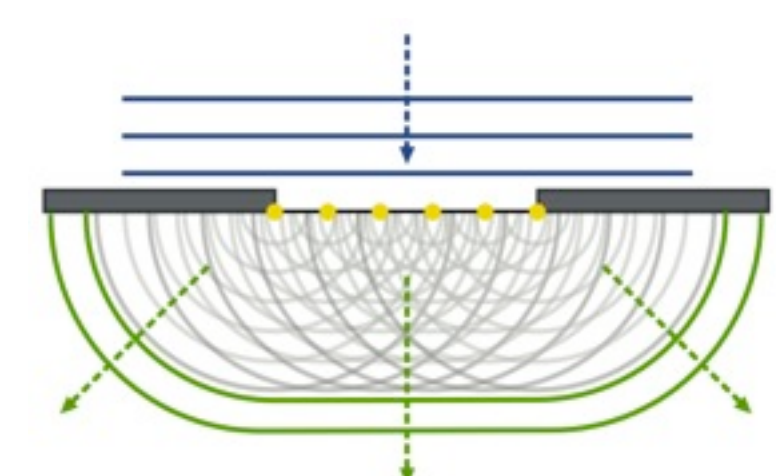
### Popis pokusu:

- Svazek koherentního a monochromatického světla [v našem případě svazek světla z laseru] dopadá na "dvojitřbinu", kterou tvoří dvojice paralelních, úzkých a blízko sebe položených štěrbin. (Viz obr. 4 a 5)
- Vlna, která dopadne na štěrbinu se po průchodu štěrbinami S1 a S2 rozdělí na dvě vlny kmitající ve fázi (tzn. že jejich dráhový rozdíl je násobkem jejich vlnových délek). Štěrbiny S1 a S2 lze tedy podle Huygensova principu (viz níže a obr. 10) považovat za dva středů nových vlnových rozruchů. (Šířka štěrbin nesmí být větší než vlnová délka světla.)
- Obě vlny spolu vzájemně interferují a na promítací ploše umístěné za štěrbinami vytvářejí interferenční obrazec (proužky) (Obr. 7, 8, 9) následujícím způsobem:
  - vlny se vzájemně zesílí a promítnou jako světlo ve všech bodech, kdy jsou stejně vzdálené od bodů S1 a S2 nebo se liší o celý násobek vlnové délky (B na obr. 4)
  - vlny se vruší v bodech, pro které rozdíl mezi oběma vzdálenostmi je lichý počet půlvln (D na obr. 4)

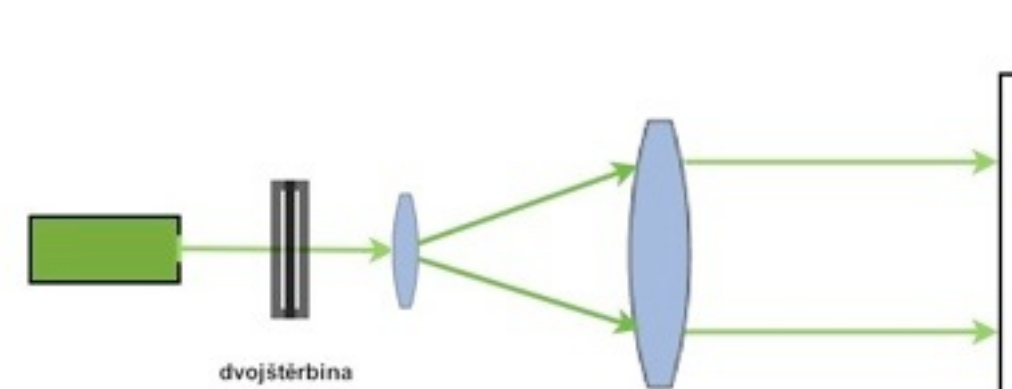


Obr. 4: Schéma Youngova experimentu

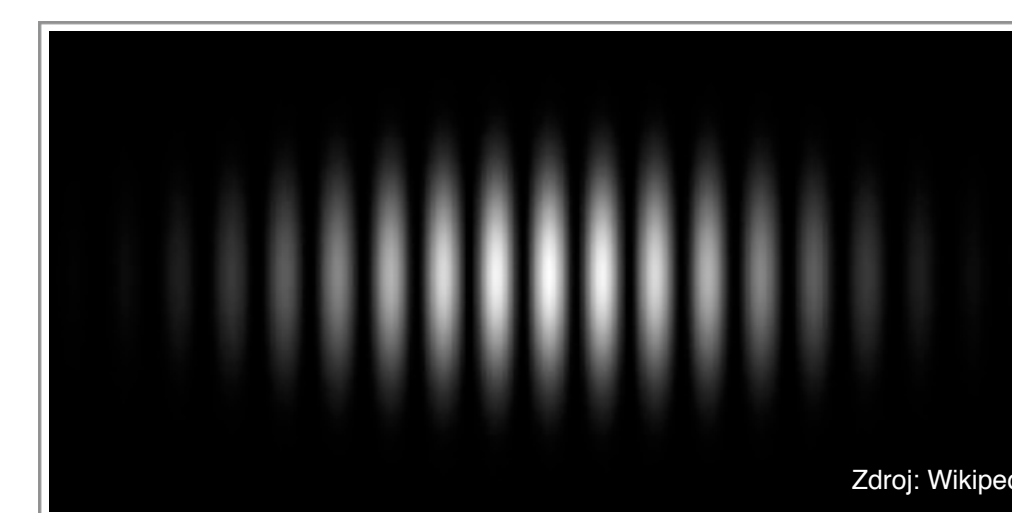
**Huygenův princip** předpokládá, že v každém okamžiku lze každý bod na čele šířící se vlny chápat jako nový zdroj vlnění (sekundárních vln).



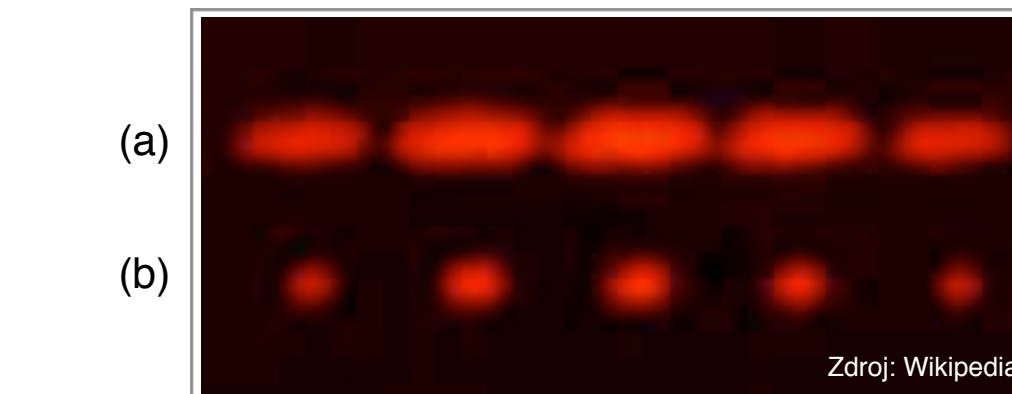
Obr. 10: Huygenův princip; tímto jevem lze vysvětlit chování vln procházejících štěrbinami



Obr. 5: Konkrétní instalace Youngova experimentu na promítacím zařízení

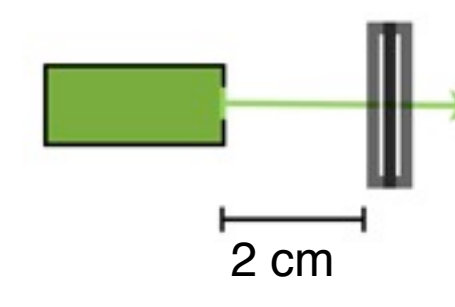


Obr. 7: Simulace interferenčních proužků

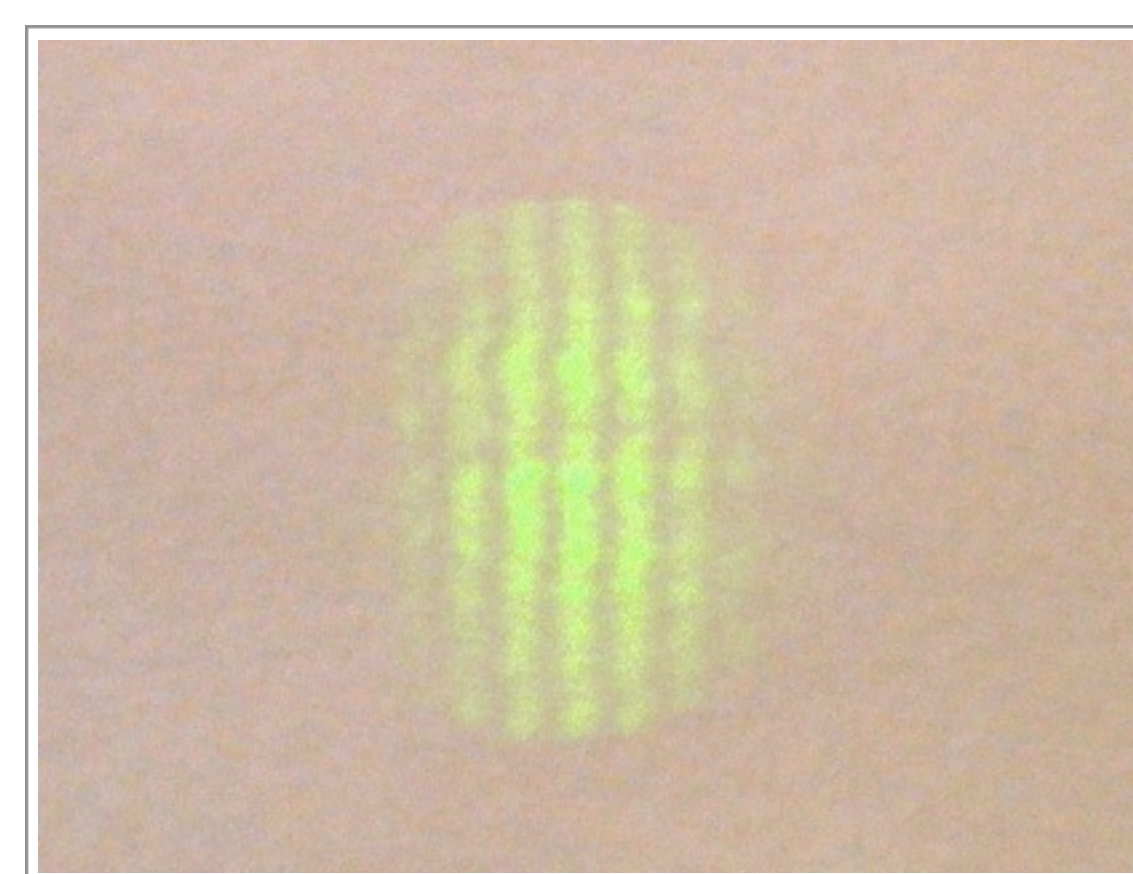


### Vlastní snímky interferenčních obrazců z experimentu

Obr. 8: Interferenční proužky promítané skrz štěrbinu umístěné ve vzdálenosti 2 cm od zdroje světla.



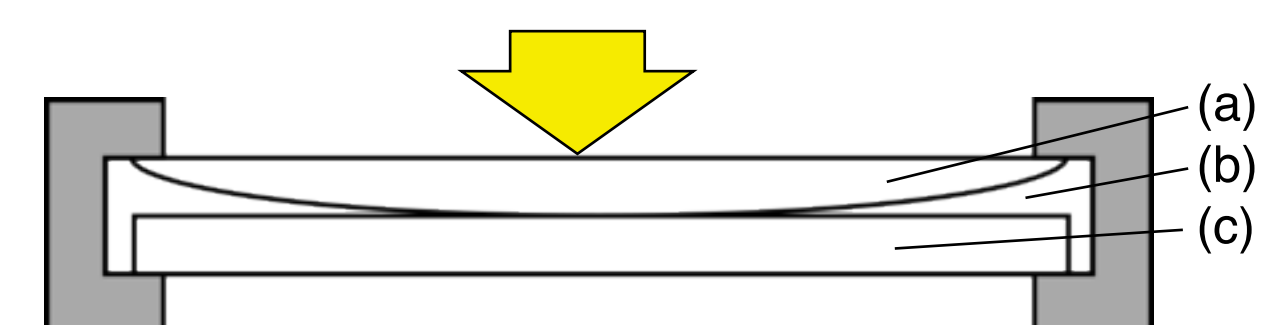
Obr. 9: Přiblížení interferenčních proužků



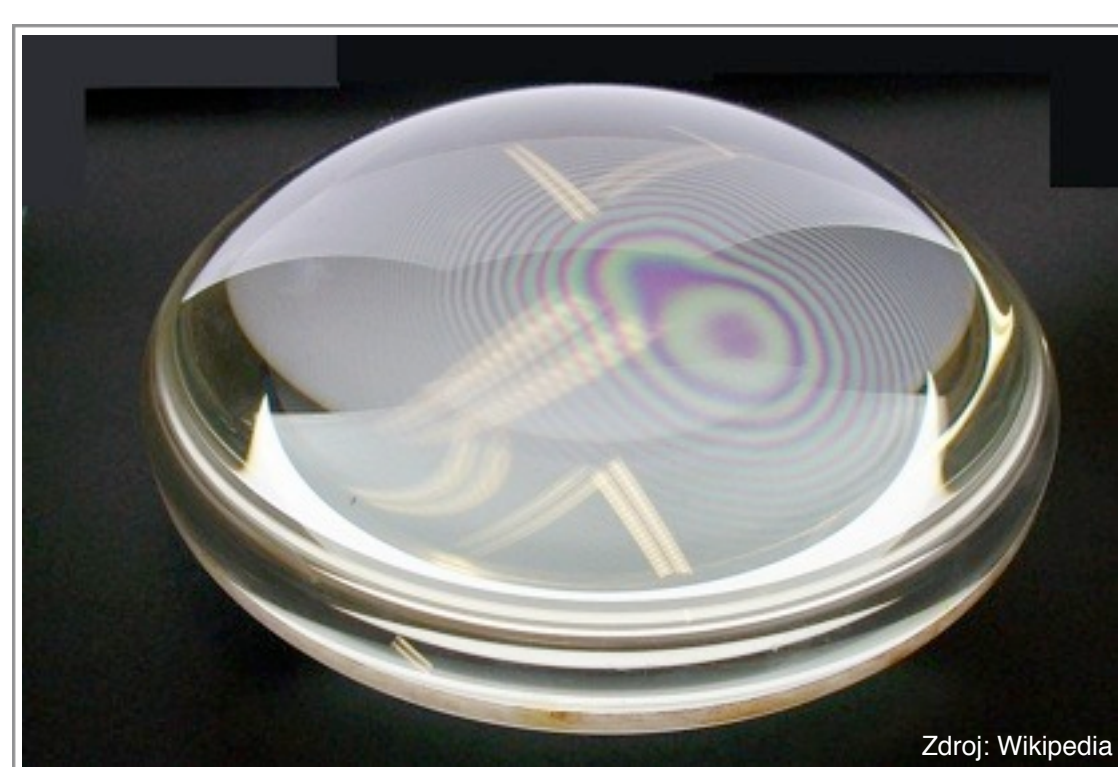
Obr. 11: Porovnání interferenčních proužků z experimentů s (a) 2 a (b) 5 štěrbinami

## Newtonovy kroužky - interference na vrstvě

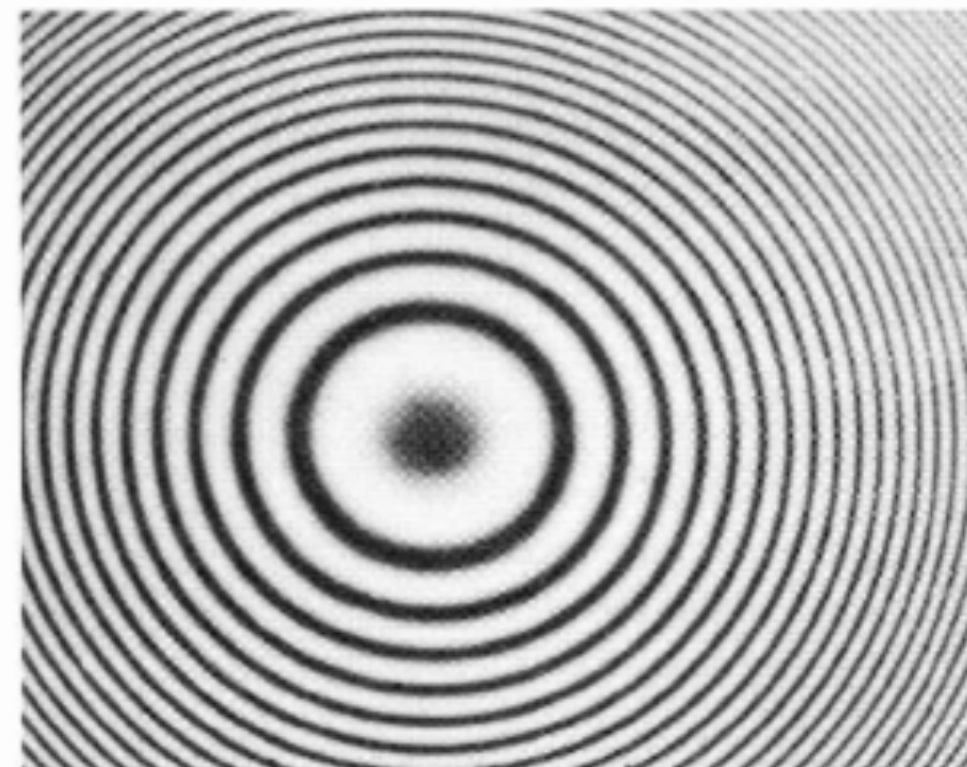
Newtonovy kroužky jsou soustředné, střídavě světlé a tmavé kroužky, vznikající interferencí na vzduchové vrstvě mezi rovinnou skleněnou plochou a plankonvexní čočkou o dostatečně velkém poloměru při dopadu monochromatického světla.



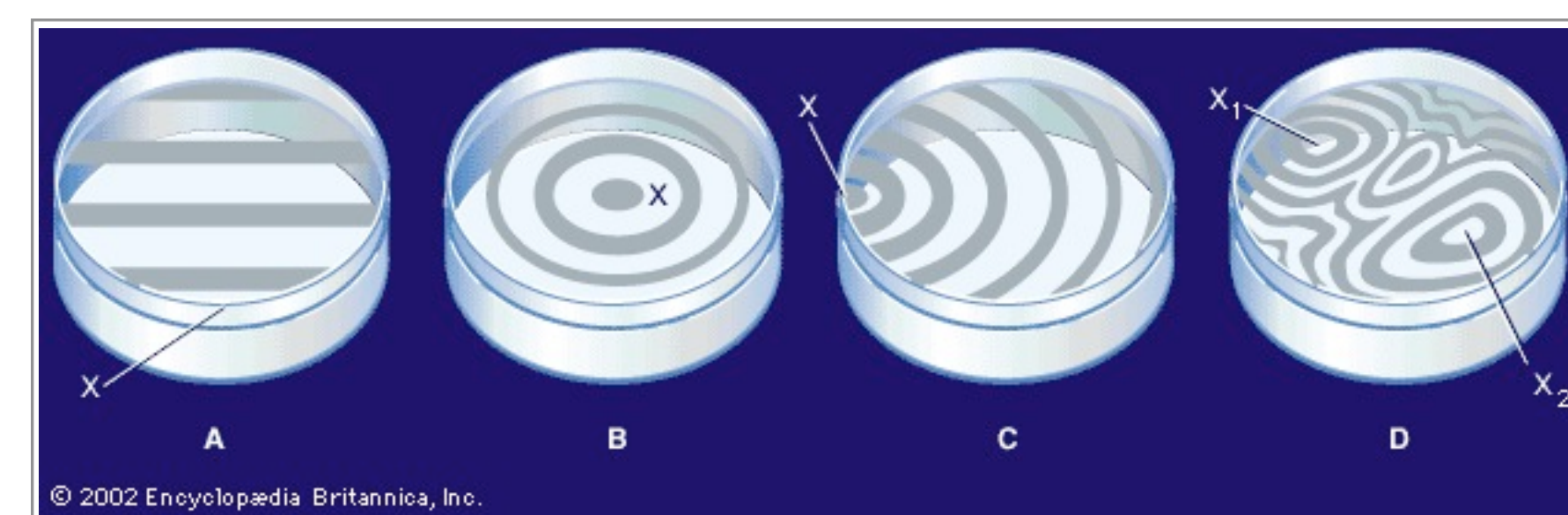
Obr. 11: Schéma Newtonových skel, na kterých vznikají kroužky; (a) plankonvexní čočka, (b) vzduchová vrstva, (c) rovinná skleněná plocha



Obr. 12: Demonstrace Newtonových kroužků

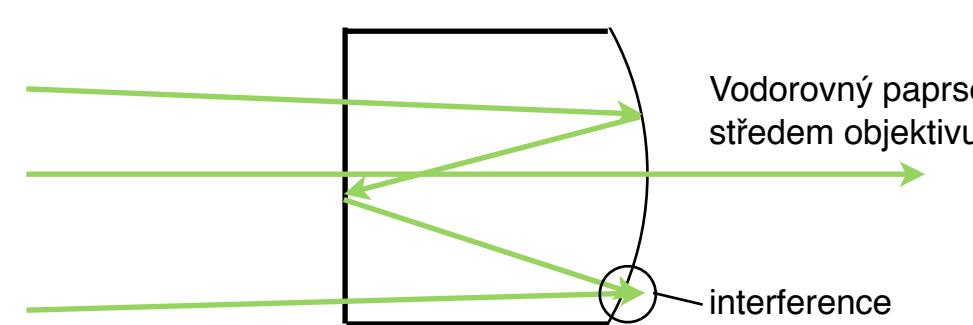


Obr. 13: Newtonovy kroužky



Obr. 14: Ukázka různých druhů interferenčních obrazců tvořených stejným principem na odlišném povrchu. A: interference vznikající mezi dvěma rovinnými plochami dotýkajícími se v bodě X. B a C: dva mírně konvexní povrchy s dotykem vždy v bodě X.

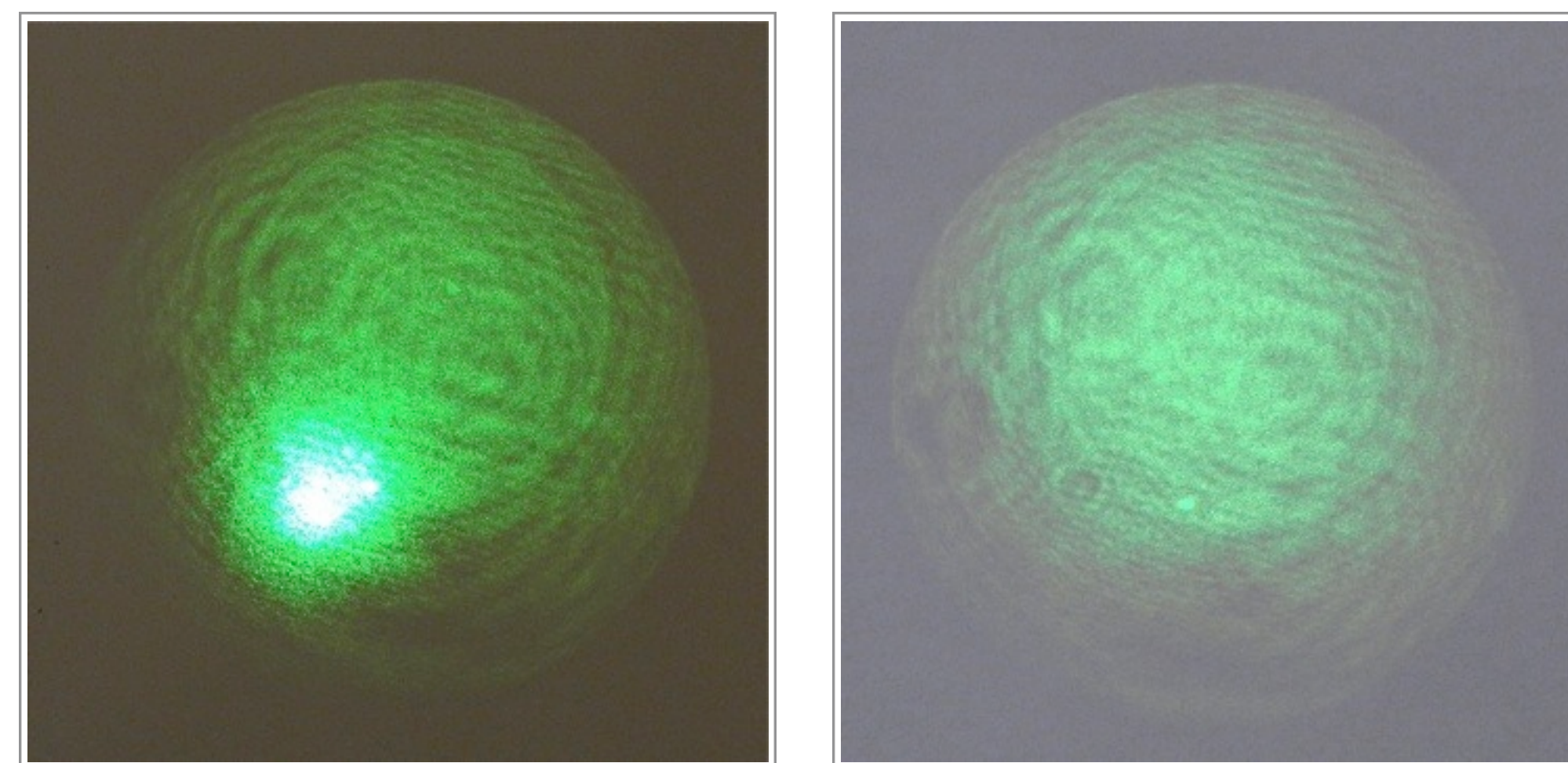
Při promítání laserem skrz objektiv se mi podařilo zachytit Newtonovy kroužky vznikající netradičním způsobem, a sice jako interference uvnitř objektivu, skrz který procházelo světlo (objektiv (b) na schématu zapojení obr. 1, viz obr. 15). Část procházejícího světla se odrazí zpět a interferuje s dalšími paprsky na povrchu objektivu.



Obr. 15: Interference uvnitř objektivu

- Interferenční kroužky v tomto případě vznikají odrazem na výstupním skle objektivu.
- V ose objektivu světlo prochází.
- Paprsek dopadající na objektiv mimo osu se odrazí dvakrát, než se objektiv vrátí.
- Pokud přitom získá fázový rozdíl  $\Delta\varphi = \pi$  dojde k destruktivní interferenci (v daném místě je minimální amplituda)

Obr. 16 a 17: Snímky promítaných interferenčních kroužků vznikajících uvnitř objektivu



## Světelná difrakce na mřížce

Světelná difrakce na CD  
Difrakci světla můžeme asi nejčastěji pozorovat na kompaktním disku. CD nebo DVD zde působí jako ohybová mřížka, ve které dochází k difrakci.

Za pomoci laseru jsem ověřoval, jaký vliv má hustota bitové struktury na jednotlivých médiích vliv na úhel odraženého světelného paprsku. (viz obr. 21-24). Stejný postup jsem opakoval na CD, DVD a Blu-Ray.

Vysvětlení rozdílnosti difrakčních obrazců na různých typech optických médií

- Při dopadu světla na optické médium jako třeba CD dochází k difrakci světla na bitové struktuře záznamu - tedy difrakci na mřížce.
- Při difrakci na mřížce je fázový rozdíl paprsků procházejících sousední štěrbinou určen vzorcem

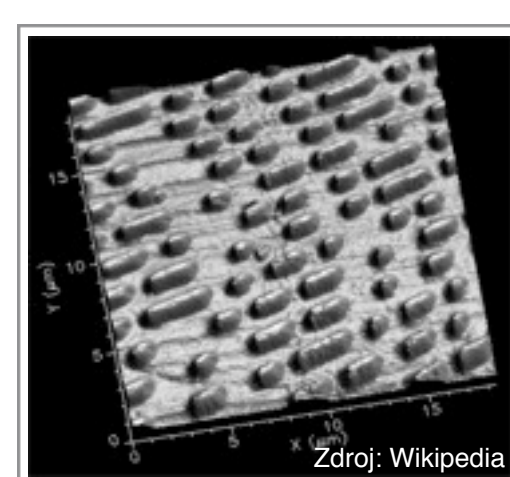
$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} a \sin\alpha$$

a: rozestup odražejících plošek mřížky  
 $\alpha$ : je úhel odklonu vlny od mřížky

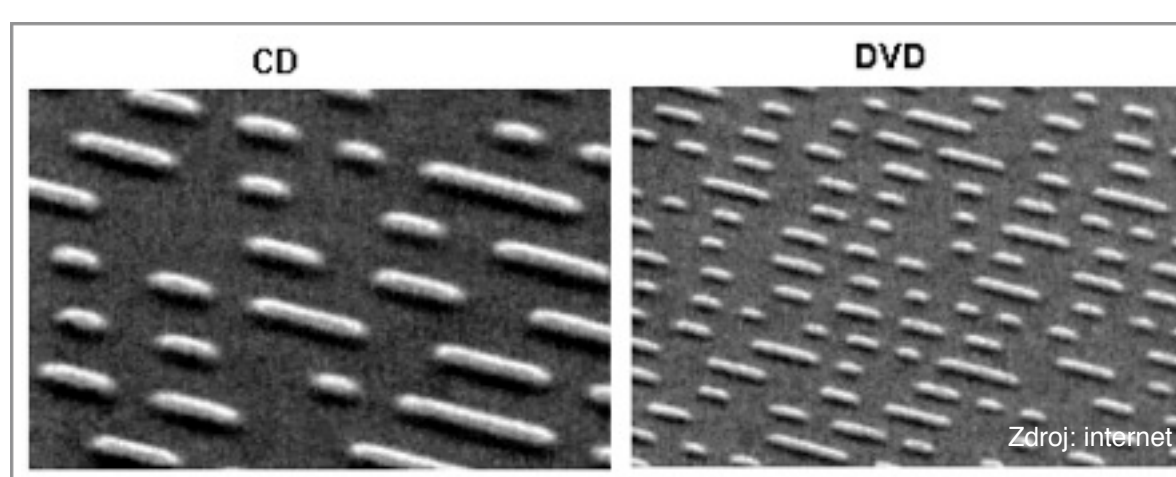
- Aby byla výsledná interference konstruktivní (tzn. aby se amplitudy vln sečetly a vytvořily obrazec) musí  $\Delta\varphi = k \cdot 2\pi$
- Složením obou vzorců získáme vztah

$$\sin\alpha = \frac{k\lambda}{a}$$

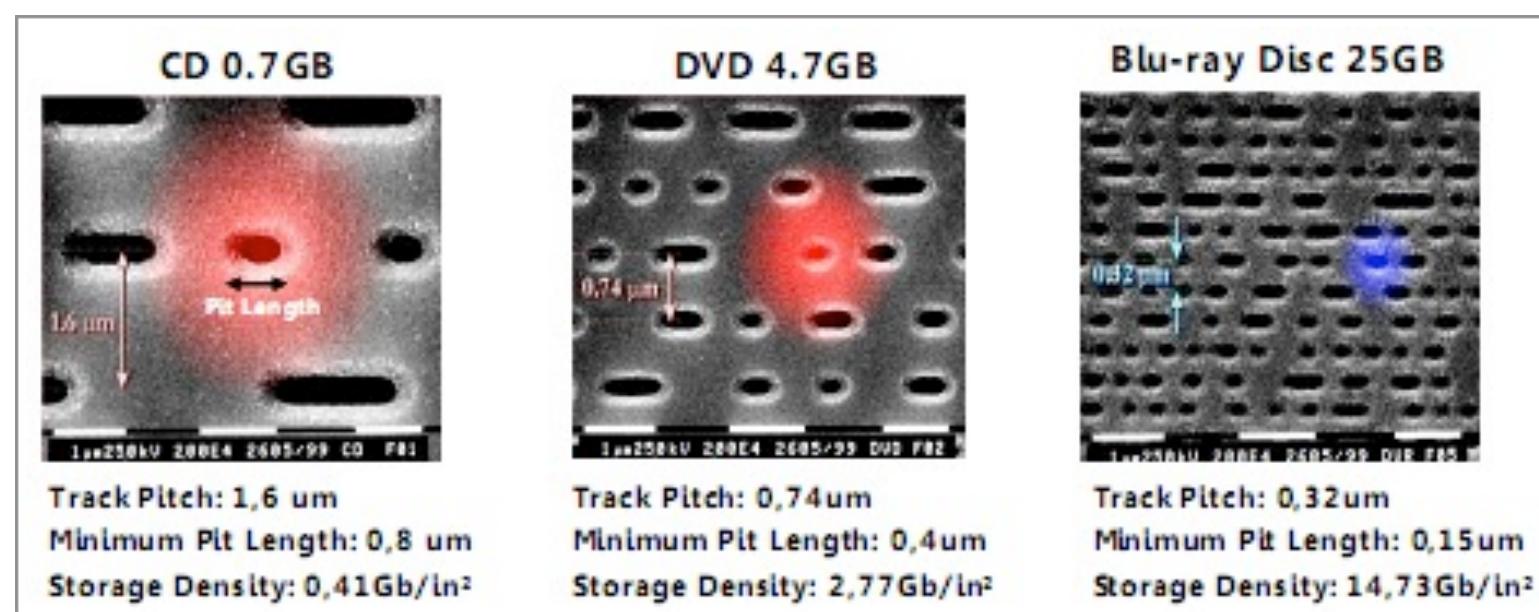
ze kterého plyne, že čím menší a (rozestup mřížky), tím je větší  $\alpha$  (úhel odraženého paprsku)!



Obr. 18: Bitová struktura na (lisovaném) CD

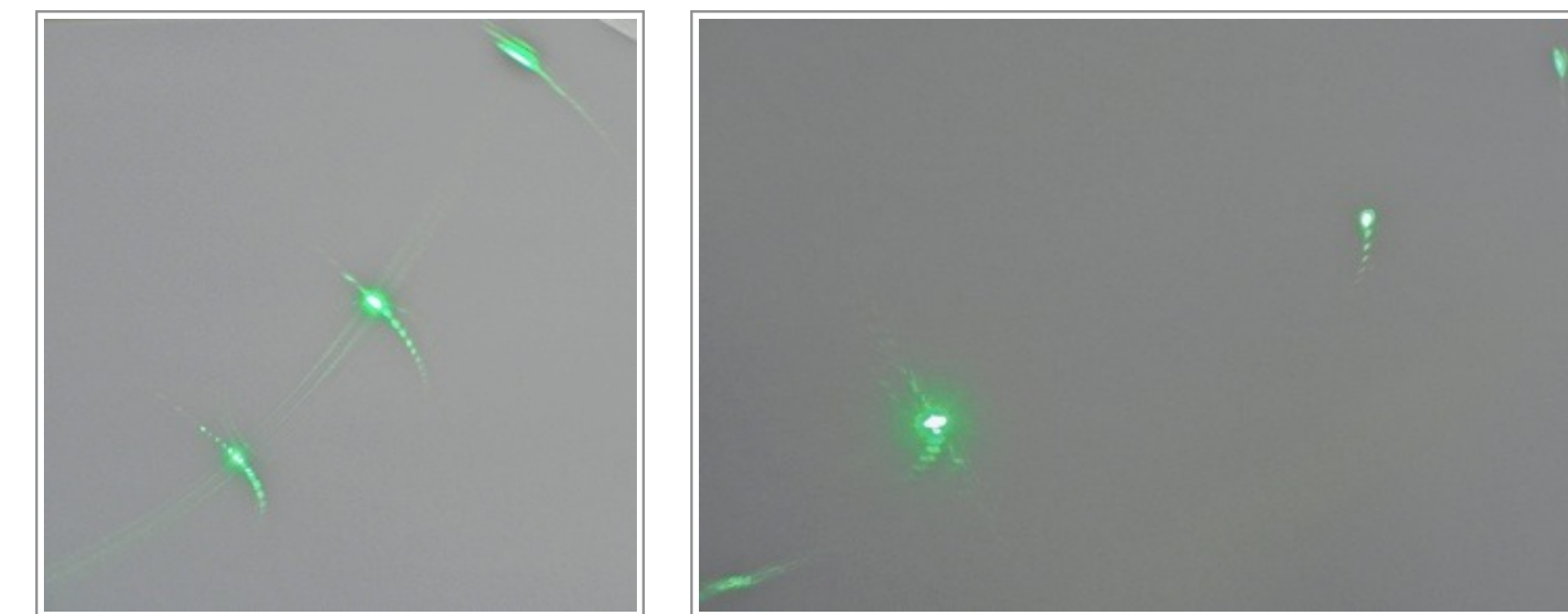


Obr. 19: Porovnání hustoty bitové struktury na (lisovaných) CD a DVD



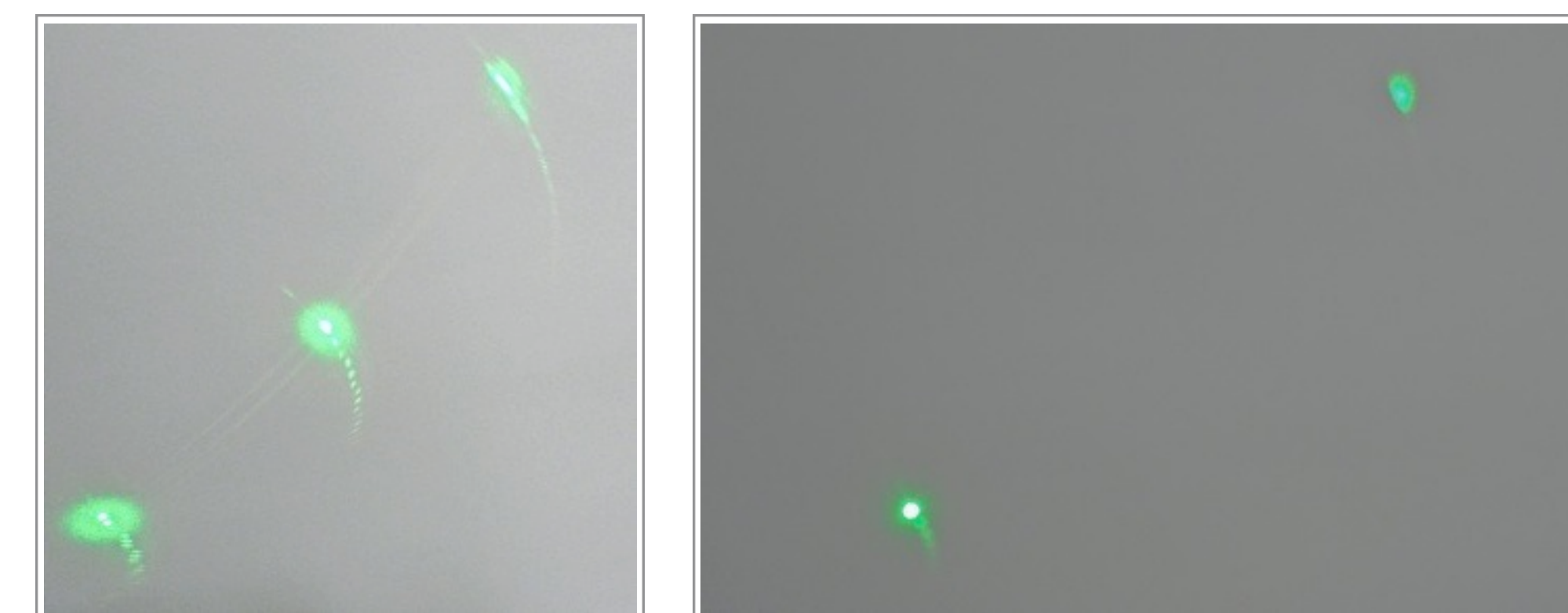
Obr. 20: Porovnání hustoty bitové struktury na CD, DVD a BD

Z tohoto závěru plyne, že média s větší kapacitou, a tedy i s hustší mřížkou, odráží dopadající světelný paprsek pod větším úhlem, než média s menší kapacitou. (viz obrázky)



Obr. 21: Odraz světla od prázdného CD-R. "Trojitý odraz" (3 řady maxim) má malé rozestupy.

Obr. 23: Odraz světla od DVD. "Trojitý odraz" (3 řady maxim) má daleko větší rozestupy, než u CD.



Obr. 22: Odraz světla od vypáleného CD-R. Můžeme si všimnout nepravdivosti v odrazu, za které mohou zaznamenaná data.

Obr. 24: Odraz světla od BD. Rozestupy jednotlivých maxim byly ještě o mnoho větší než u DVD a třetí už se nepodařilo na promítací plochu zachytit.