

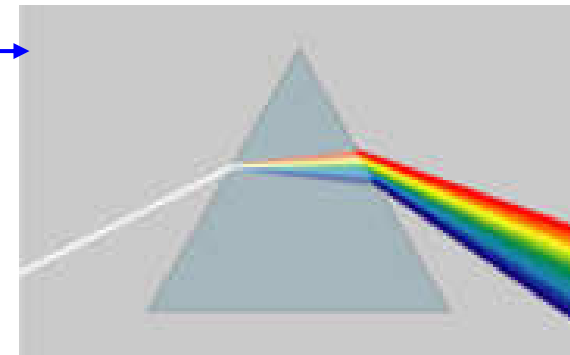
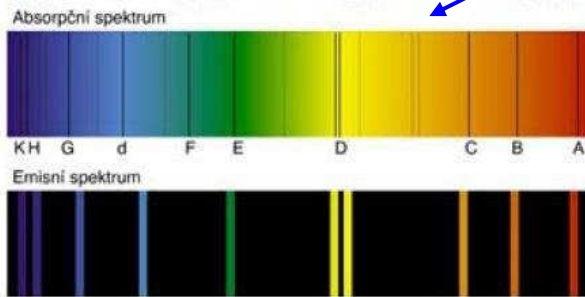
VLNOVÁ OPTIKA

- studium jevů založených na **vlnové povaze světla**:
 - interference (jev podmíněný skládáním vlnění)
 - polarizace
 - difrakce (ohyb)
 - disperze (jev související se závislostí $n = n(\lambda)$)



- studium jevů pozorovaných při **průchodu světla prostředím**:

- absorpce
- rozptyl (difúze)
- rozklad světla



Ryze interferenční jevy:

- nastává interference, aniž se současně projeví odchylky od přímočarého šíření světla

Ohybové jevy:

- dochází-li k interferenci v oblastech, které při přímočarém šíření světla jsou světelným paprskům nepřístupné (tzv. oblasti geometrického stínu)

INTERFERENCE

Nutná podmínka interference:

„Pozorovatelný interferenční jev může nastat pouze **mezi dvěma koherentními vlnami**, které mají stejné frekvence a časově neproměnný fázový rozdíl.“

Zdroje světelných vln (zářiče):

ATOMY

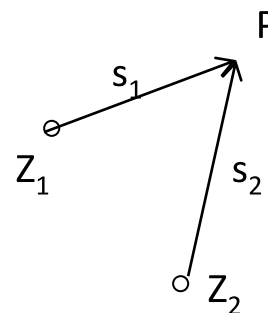
- vysílají veliký počet vln s různou vzájemnou fází

⇒ v optice je k dosažení pozorovatelné interference nutno skládat světelné svazky, které získáme **rozdělením světla z jednoho zdroje**, přičemž nesmí být překročen určitý maximální dráhový rozdíl obou světelných vln

Zdroj koherentního vlnění: laser

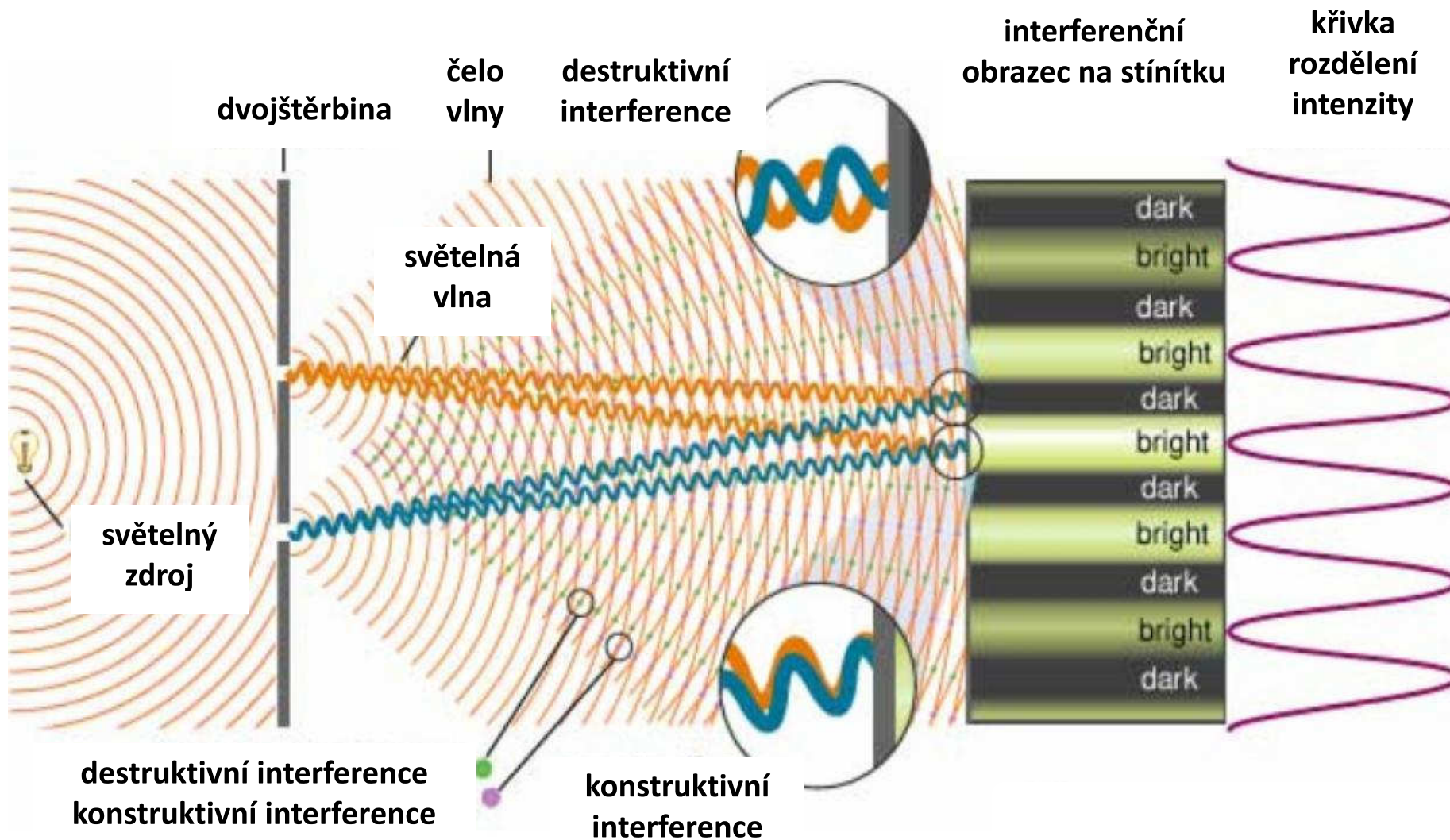
Dva extrémní případy při skládání světelných vlnění:

- a) maximální **zesílení** dopadajícího vlnění
- b) maximální **zeslabení** dopadajícího vlnění



Pozn.: světla, jejichž fáze se neustále mění dávají vzniknout nesmírně rychle proměnnému a nestálému rozdělení světelné intenzity, což se vymyká pozorování

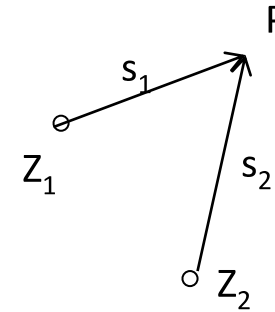
VZNIK INTERFERENCE OBRAZCE



Mějme dvě světelná vlnění z koherentních zdrojů Z_1 a Z_2

➡ setkají-li se vlnění v určitém bodě P:

- se **stejnou** fází $\Rightarrow$ interferenční **maximum**
- s **opačnou** fází $\Rightarrow$ interferenční **minimum**



Fázový rozdíl, se kterým se vlnění setkávají v bodě P závisí na poloze tohoto bodu:

bud' 1. na **dráhovém rozdílu**, který musí obě vlnění urazit:

$$\Delta s = |PZ_2| - |PZ_1| = s_2 - s_1$$

šíří-li se vlnění stejným prostředím (mají stejnou fázovou rychlost)!

nebo 2. na rozdílu **optických drah**

$$\Delta l = l_2 - l_1 = n_2 s_2 - n_1 s_1$$

šíří-li se do bodu P odlišnými prostředími (šíří se různými fázovými rychlostmi a tedy prostředí mají **různé indexy lomu**)

Optická dráha l:

$$l = n s = \frac{c}{v} s = c t$$

n ... **index lomu** prostředí s ... **geometrická** dráha

➡ vzdálenost, jakou by urazilo světlo za stejnou dobu ve vakuu

Světlo projde stejnými optickými drahami v různých prostředích za stejnou dobu.

INTERFERENČNÍ MAXIMUM:

vznik v místech, kde je splněna podmínka:

$$\Delta l = n_2 s_2 - n_1 s_1 = 2k \frac{\lambda}{2} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$



konstruktivní
interference

INTERFERENČNÍ MINIMUM:

$$\Delta l = n_2 s_2 - n_1 s_1 = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad k = 0, 1, 2, 3, \dots$$



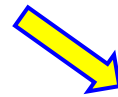
úplně destruktivní
interference

ODRAZ SVĚTELNÉHO VLNĚNÍ NA ROZHRANÍ:



A) odraz na opticky hustším prostředí:

- změna fáze o π
- „fáze se mění na **opačnou**“
- dochází ke změně optické dráhy o $\Delta l = \frac{\lambda}{2}$



B) odraz na opticky řidším prostředí:

- beze změny fáze



částečně destruktivní
interference

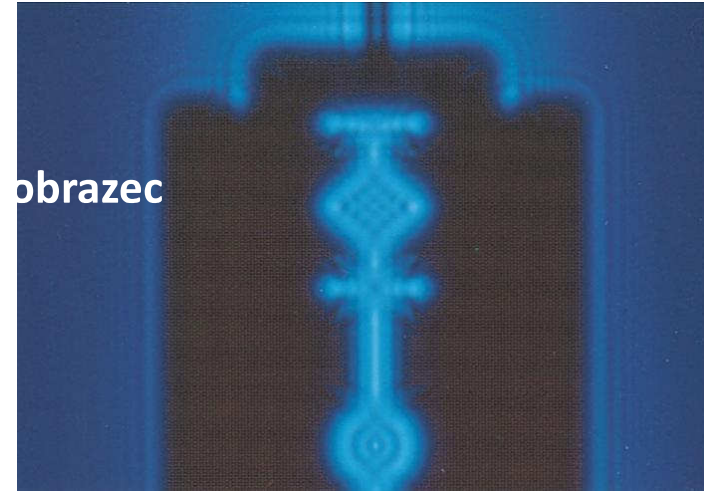
DIFRAKCE (OHYB) SVĚTLA

→ projev **vlnové** povahy světla

- **interferenční jevy**, při nichž neplatí zákon přímočarého šíření světla
- interference kulových vln dle Huygensova principu
- nastává na **okrajích neprůhledných** předmětů
- za překážkou nevzniká ostrá hranice stínu, ale **difrakční obrazec**

Fresnelovy ohybové jevy:

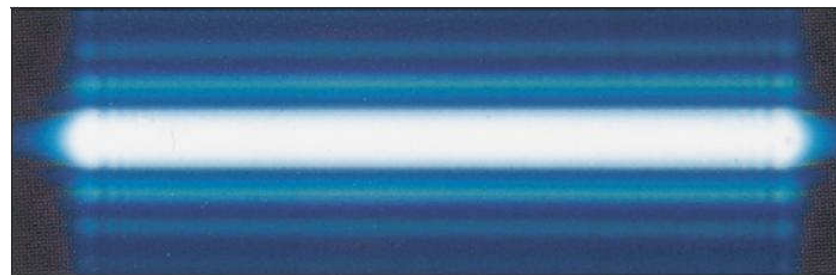
- **rozměry** překážky jsou **srovnatelné** se vzdáleností překážky od zdroje nebo od pozorovacího místa
- vlny dopadající na překážku jsou **kulové**



ohybové jevy jsou nejvýraznější, jsou-li rozměry překážek srovnatelné s vlnovou délkou dopadajícího světla (malé otvory, úzké štěrby, tenká neprůhledná vlákna ...)

Fraunhoferovy ohybové jevy:

- **rozměry překážky velmi malé** oproti vzdálenosti překážky od zdroje nebo od pozorovacího místa
- na překážku dopadají **rovinné vlny**



OHYB SVĚTLA NA ŠTĚRBINĚ

- Podle Huygensova principu lze ke každému paprsku, který opouští štěrbinu nalézt paprsek s ním rovnoběžný a vzdálený od něj o $d/2$, kde d je šířka štěrbinu. Proto je jejich dráhový rozdíl $\delta/2$
- Všechny tyto paprsky se budou interferencí rušit, platí-li ($k = 1, 2, \dots$):

$$\frac{\delta}{2} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$\delta = 2k \frac{\lambda}{2}$$

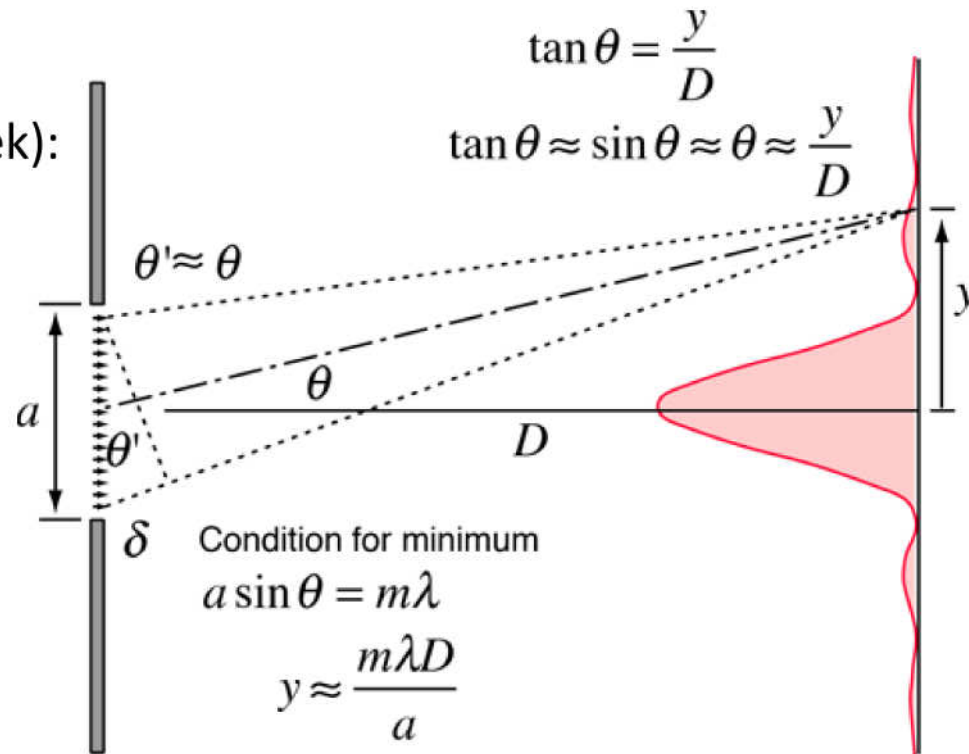
Podmínka pro minimum (tmavý proužek):

$$a \sin \alpha = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

Analogicky podmínka pro maximum ($k = 1, 2, \dots$):

$$a \sin \alpha = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

Pozn.: Existuje maximum nultého řádu, kde $\alpha = 0$



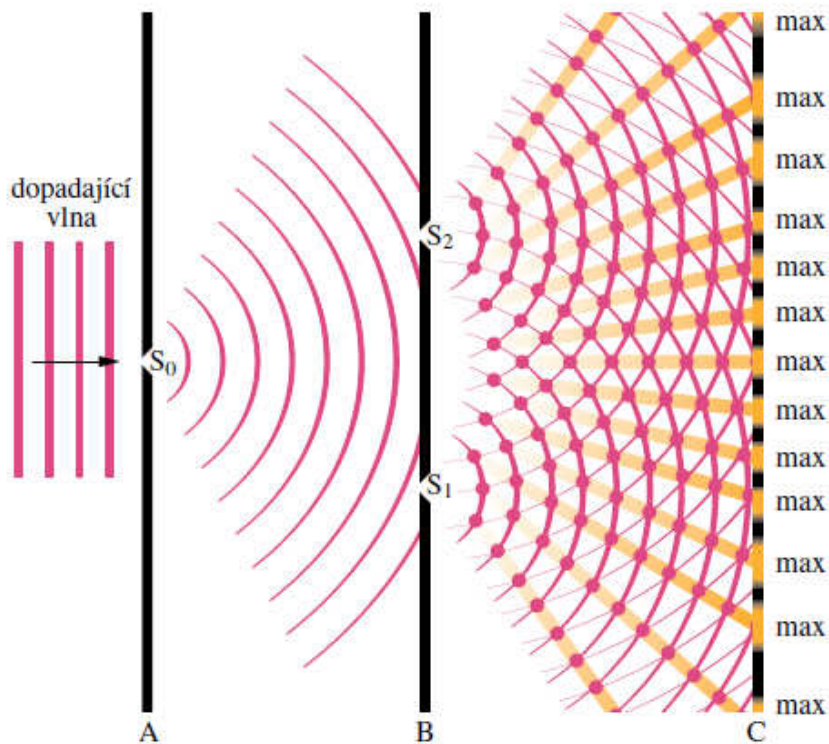
YOUNGŮV POKUS (1801, Thomas Young)

- historicky první pokus **prokazující vlnovou povahu světla**
- interference dvou světelných vlnění vznikajících po **ohybu na dvojštěrbině**
- **monofrekvenční** vlnění ze štěrbin S_1 , S_2 z jednoho vzdáleného zdroje (tj. mají stejnou frekvenci, konstantní fázový rozdíl)

⇒ vzniklá vlnění jsou koherentní

Huygensův princip:

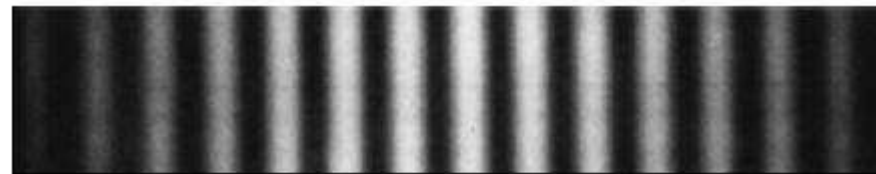
⇒ každý bod štěrbin je **zdrojem kulových vln**



- vzdálenost štěrbin a stínítka určuje **dráhový rozdíl**

- v poloprostoru za stínítkem se štěrbinami **nedochází k odrazu** (mohlo by jinak dojít ke změně fáze)

- obě vlnění se šíří **stejným prostředím**



interferenční proužky

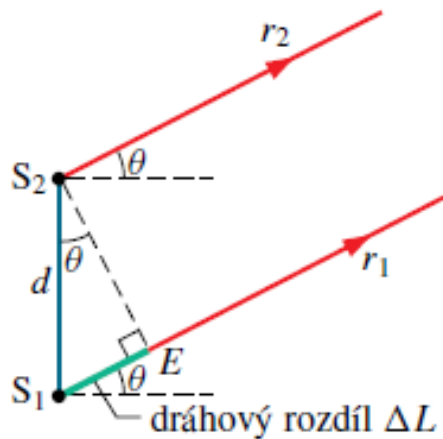
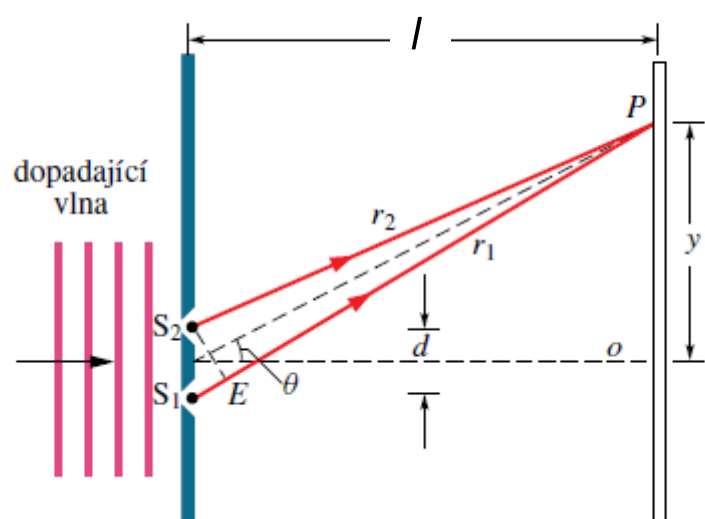
- Podle Huygensova principu lze ke každému paprsku, který opouští dvojštěrbinu nalézt paprsek s ním rovnoběžný a vzdálený od něj o d , kde d je vzdálenost štěrbin. Proto je jejich dráhový rozdíl δ .
- Všechny tyto paprsky se budou interferencí rušit, platí-li ($k = 1, 2, \dots$):

$$\delta = 2(k-1)\frac{\lambda}{2}$$

$$d\sin\alpha = 2(k-1)\frac{\lambda}{2}$$

- Analogicky podmínka pro maximum ($k = 0, 1, 2, \dots$):

$$d\sin\alpha = 2k\frac{\lambda}{2}$$



Dráhový rozdíl (za předpokladu $l \gg d$)

$$\Delta l = r_2 - r_1 = d \sin \alpha$$

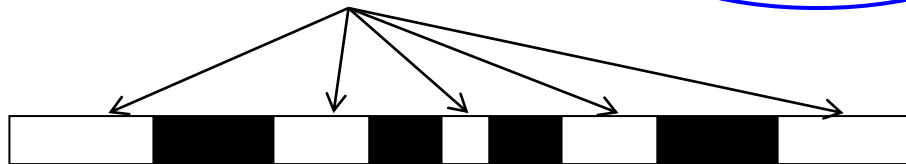
d ... vzdálenost středů obou štěrbin

INTERFERENČNÍ OBRAZEC:

pravidelné střídání **světých** a **tmavých** proužků
(monochromatické světlo)

interferenční
maxima

interferenční
minima



Interferenční maximum (předp. dopadající rovinnou vlnu):

- ve směrech: $d \sin \alpha = 2k \frac{\lambda}{2}$ pro $k = 0, 1, 2, 3 \dots$

a) **nulté maximum** pro $k = 0 \Rightarrow \alpha = 0$

- leží v ose obou štěrbin

b) **první maxima** pro $k = 1 \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$

- leží na obou stranách od nultého maxima

Interferenční minimum:

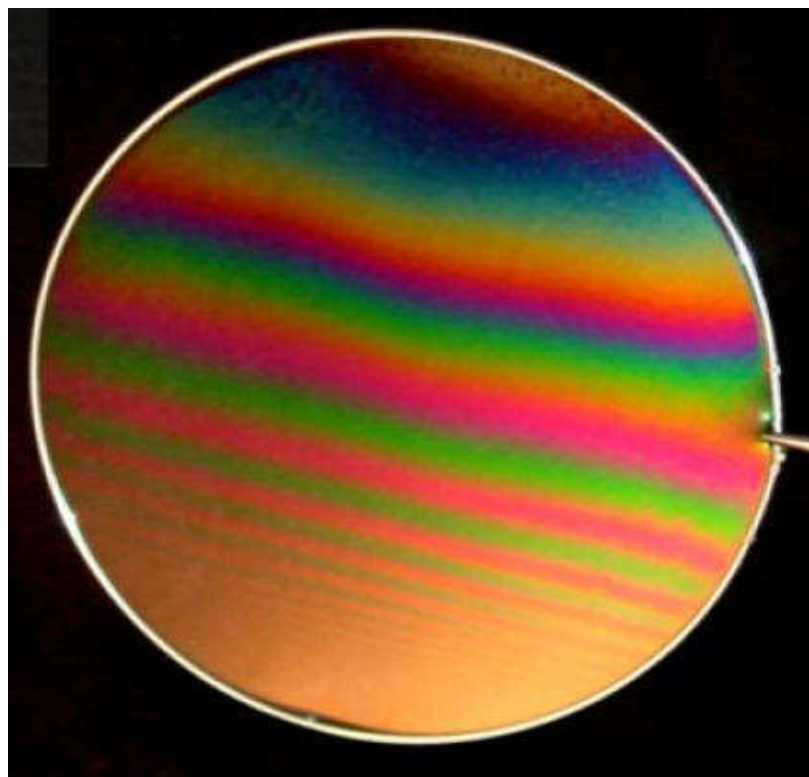
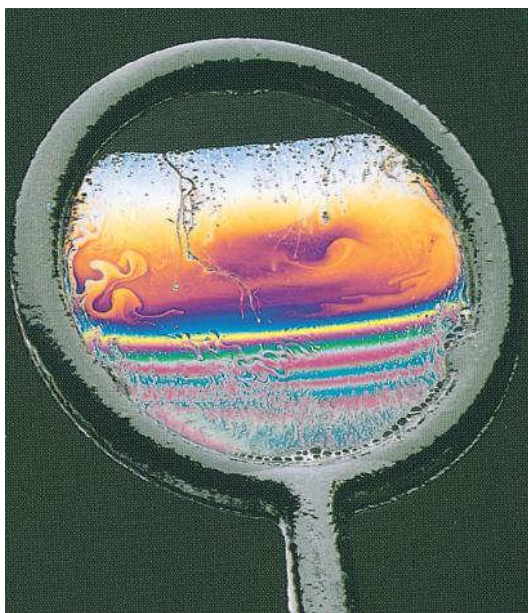
- ve směrech: $d \sin \alpha = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$ pro $k = 1, 2, 3 \dots$

Ohyb na mřížce

- stejné vztahy pro interferenční maximum a minimum jako u dvojštěrbiny, vzdálenost sousedních štěrbin d se nazývá **mřížková konstanta**

Pozn.: Dopadá-li na štěrbinu, dvojštěrbinu nebo mřížku složené světlo, pozorujeme ohybové spektrum, v němž je od původního směru nejvíce odchýleno červené světlo a nejméně světlo fialové. Čím vyšší je řád maxima, tím šitší je spektrum.

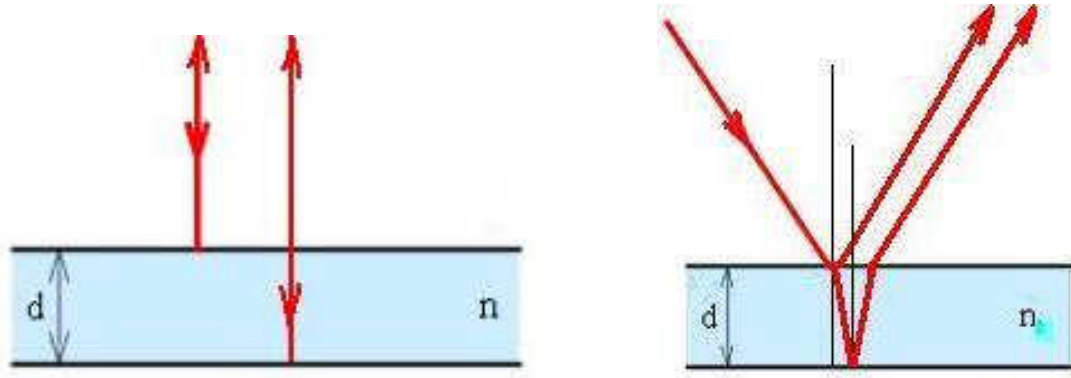
PŘÍKLADY INTERFERENCEČNÍCH OBRAZCŮ



mýdlové bubliny

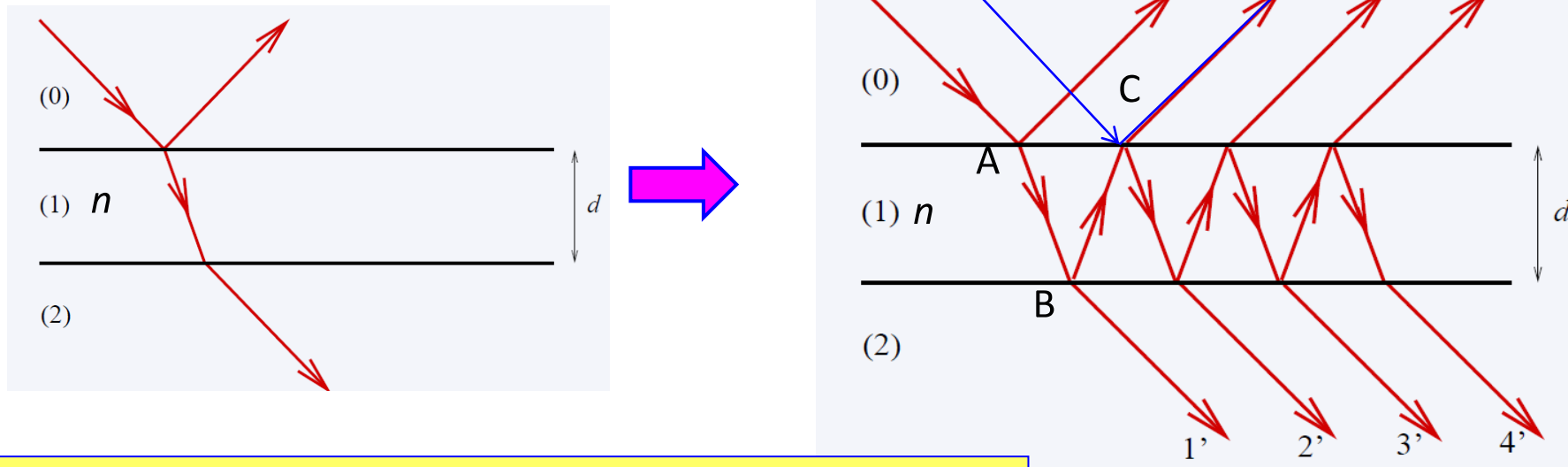
INTERFERENCE NA TENKÉ VRSTVĚ

- tenké vrstvy **proměnné tloušťky** průsvitných látek osvětlené **bílým světlem** vykazují duhové zabarvení, např.: mýdlová bublina, olejová skvrna, okenní námraza
- tenká **planparalelní vrstva** prostředí (**dvě rovnoběžná rozhraní**) s indexem lomu n (tloušťka vrstvy je všude stejná)



- v případě osvětlení **planparalelní vrstvy monofrekvenčním** světlem může dojít k **zesílení** nebo **zeslabení** dopadajícího světla
- pozorovatelný **interferenční obrazec** závisí na tom, zda tenkou vrstvou pozorujeme v **odraženém**, resp. **prošlém** světle
- **dopadající** rovinná vlna se **odráží i láme**
- **lomený** paprsek se dále **odráží i láme** na dolním rozhraní

Uvažujme tenkou vrstvu (1) s indexem lomu n ve vzduchu (0) a (2)



Pozorujeme interferenci v odraženém světle v bodě C:

paprsek 1:

- v bodě A se zčásti odráží a zčásti lomí
- lomený paprsek dopadá do bodu B rozhraní, kde se opět zčásti odráží i láme
- odražený paprsek (nedošlo ke změně fáze – odraz na opticky řidším prostředí) dospěje do bodu C, kde se setkává s paprskem 2 po odrazu

paprsek 2:

- odráží se v bodě C se změnou fáze (odraz na opticky hustším prostředí)
- odráží se s **opačnou fází** (tomu odpovídá změna optické dráhy o $\frac{\lambda}{2}$)

v bodě C:

celkový rozdíl

optických drah mezi
oběma paprsky:

$$\Delta l + \frac{\lambda}{2}$$

Interferenční maximum
(zesílení paprsků):

$$\Delta l + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2}$$

$$2nd + \frac{\lambda}{2} = 2k \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 2nd = (2k - 1) \frac{\lambda}{2} \quad \text{pro } k = 1, 2, 3, \dots$$

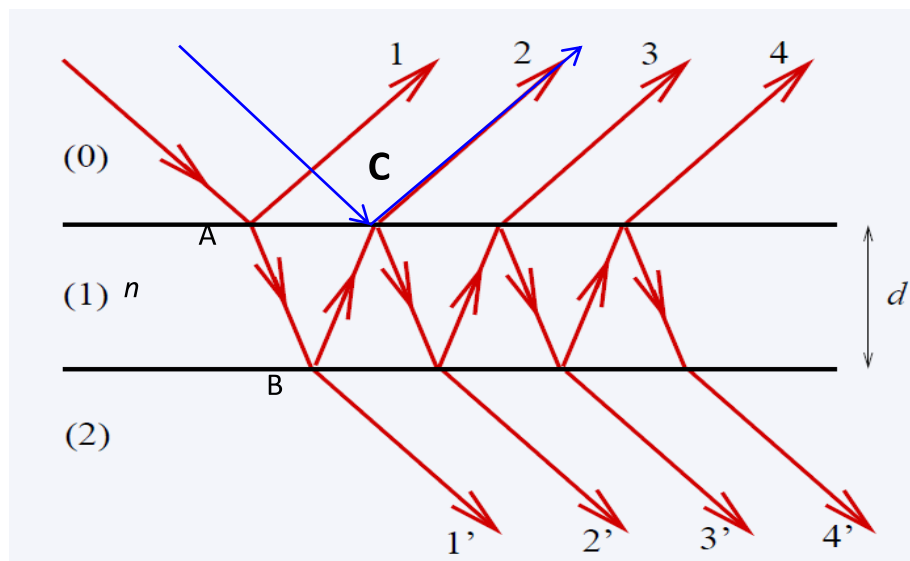
Interferenční minimum
(zeslabení paprsků)

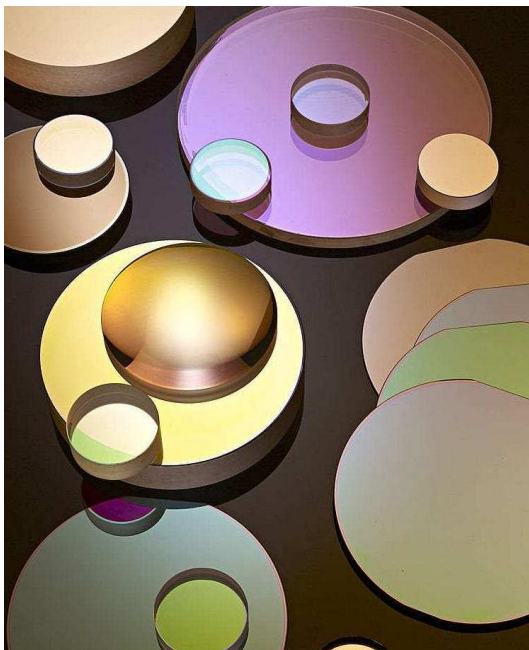
$$\Delta l + \frac{\lambda}{2} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}$$

$$2nd + \frac{\lambda}{2} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2} \Rightarrow 2nd = 2k \frac{\lambda}{2} \quad \text{pro } k = 1, 2, 3, \dots$$

Kolmý dopad paprsků:

$$\Delta l = d \sin \alpha \Rightarrow \alpha = 0 \Rightarrow \sin \alpha = \sin 0 = 0$$





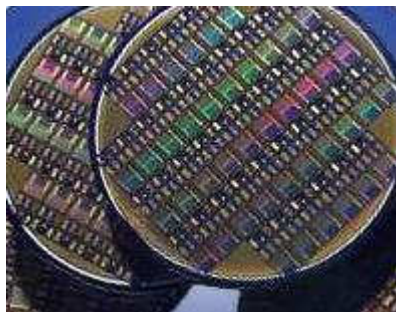
optické filtry



**tenkovrstvé
fotočlánky**



displeje



**integrované
obvody**



**povrchové
úpravy**

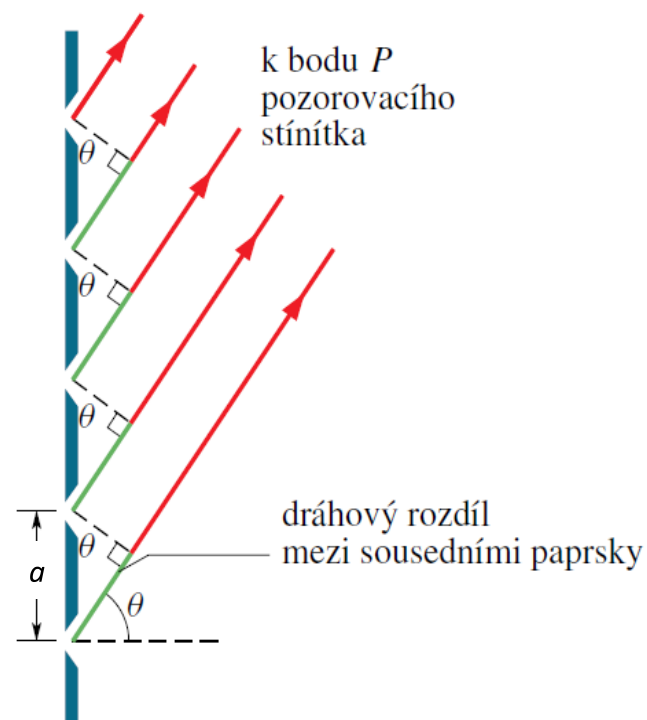
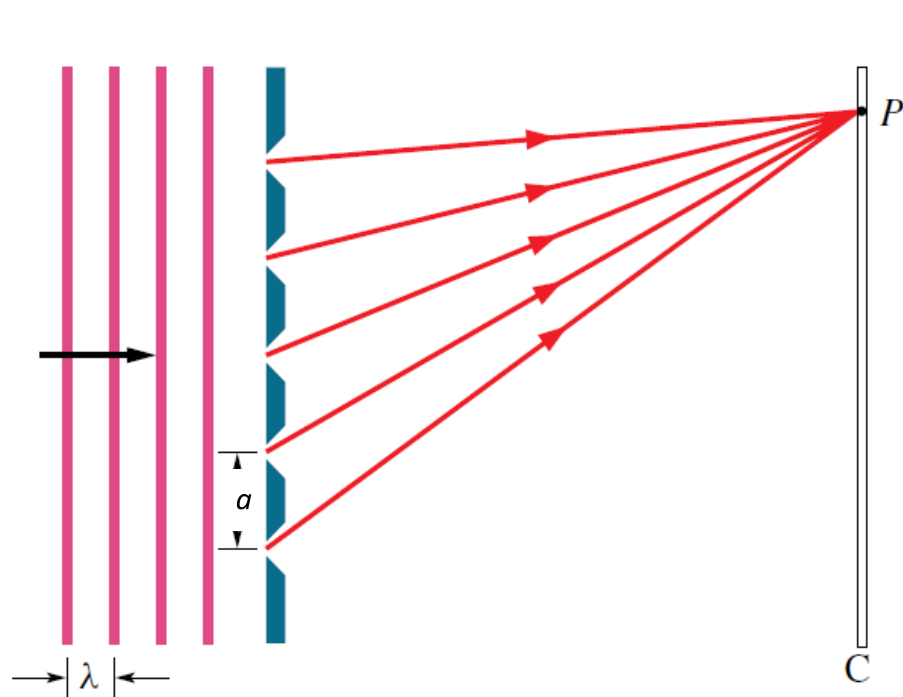


DIFRAKCE NA MŘÍŽCE

- optická mřížka tvořená soustavou **velkého počtu rovnoběžných štěrbin** v malé vzájemné vzdálenosti
- běžné **optické mřížky**: až 100 vrypů (štěrbín) na 1 mm
- kvalitní **spektrální mřížky**: až několik tisíc vrypů na 1 mm

Mřížková konstanta (perioda mřížky)

- vzdálenost sousedních štěrbin: $a = \frac{1}{N}$ N ... počet štěrbin na 1 mm



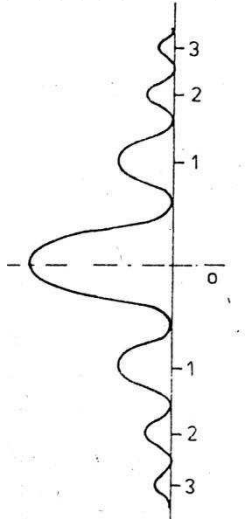
předpokládejme **kolmý dopad bílého světla** na mřížku

Ohybová maxima :

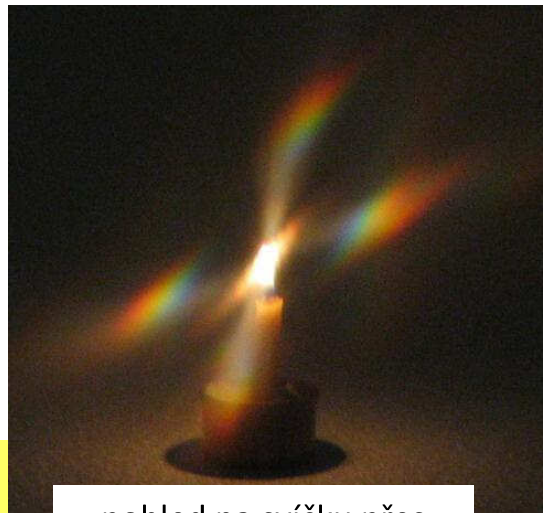
- ve směrech určených úhly α splňujícími podmínku: $a \sin \alpha = k\lambda$ pro $k = 0, 1, 2, \dots$
- poloha maxim závisí na vlnové délce λ

Ohybové maximum nultého řádu: pro $k = 0$

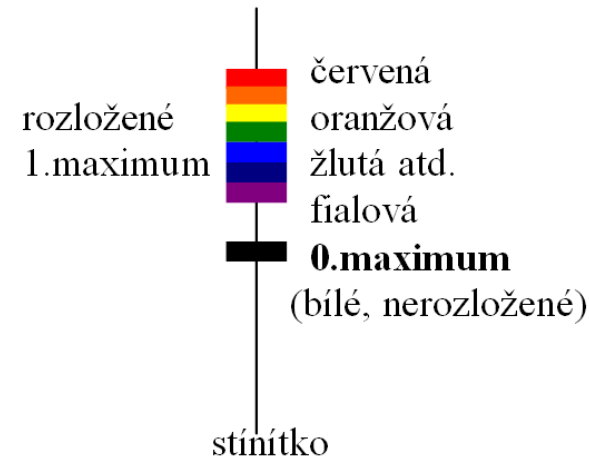
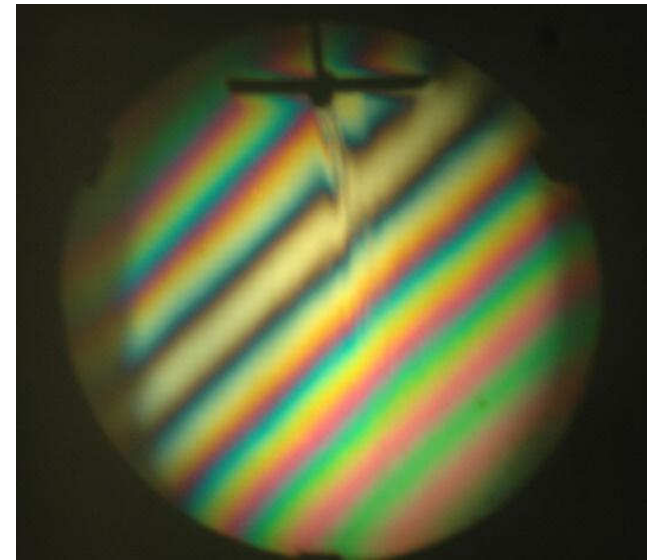
Pozn.: S rostoucím počtem štěrbin klesá šířka maxim, maxima jsou ostřejší. Současně se zvyšuje amplituda výsledného světelného vlnění v oblastech maxim.



**závislost intenzity světla v
difrakčním obrazci**



pohled na svíčku přes
ptačí pírko



... rozklad (disperze) světla ohybem