

# OPTICKÉ METODY

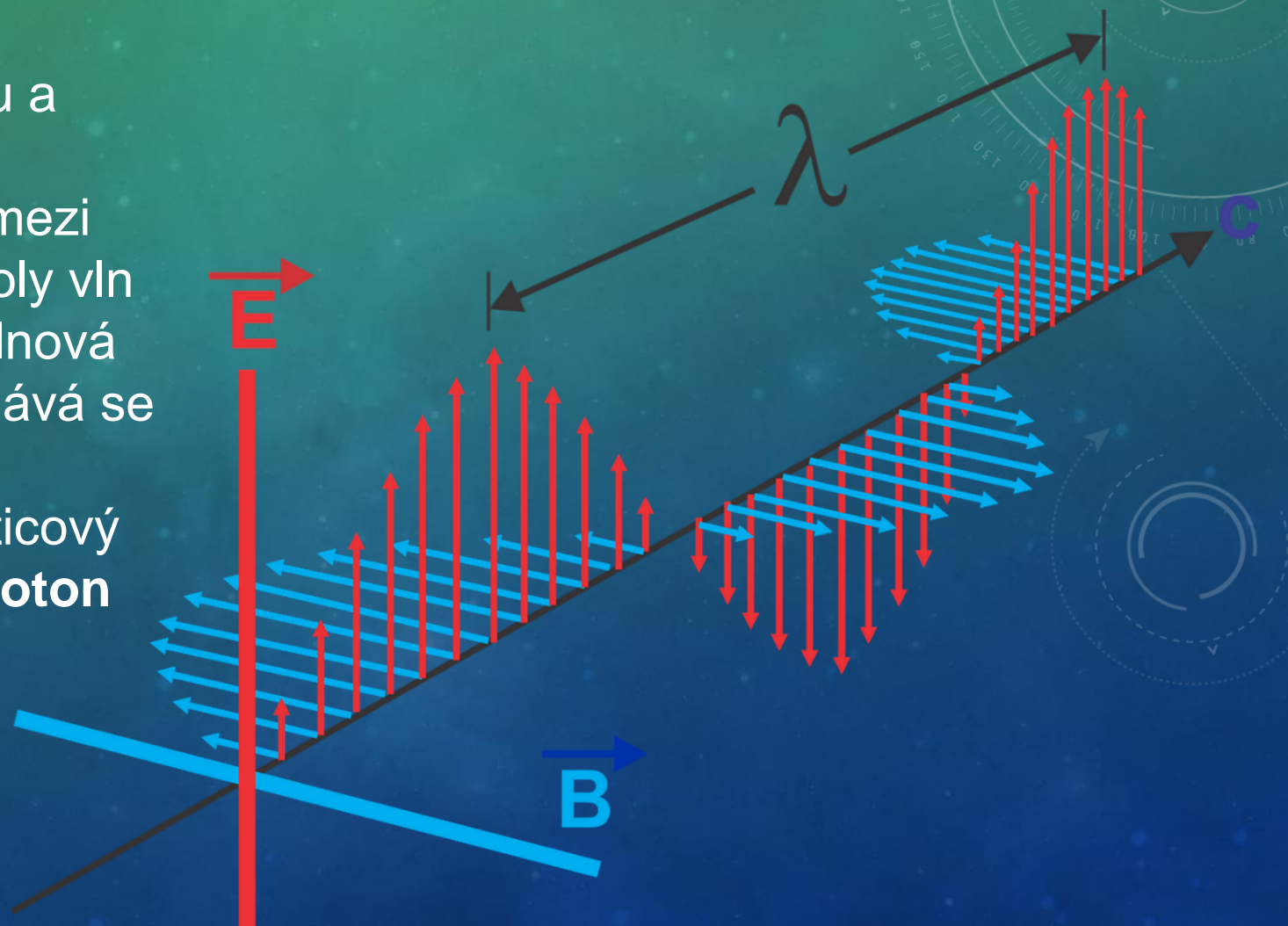
Mgr. Alice Hoffmannová, Ph.D.

# OBSAH

1. **Elektromagnetické záření**
2. **Optické metody - princip, rozdělení**
3. **Základní veličiny a vztahy používané ve spektrofotometrii – transmittance, absorbance, Lambert-Beerův zákon, kalibrační závislost**
4. **Absorpce, emise záření**
5. **Spektrofotometry (uspořádání) - zdroj, monochromátor, optické prostředí, detektor**
6. **Vertikální fotometrie**
7. **Turbidimetrie, nefelometrie**

# ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

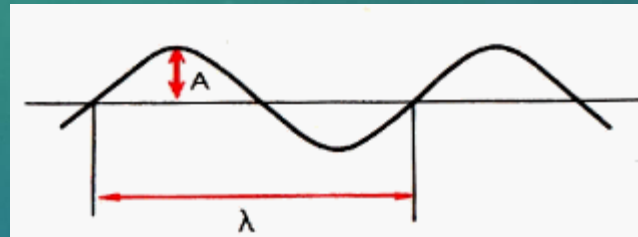
- složku magnetickou a elektrickou
- vzdálenost mezi dvěma vrcholy vln se nazývá vlnová délka -  $\lambda$ , udává se v nm
- vlnový i částicový charakter - **foton**



# VELIČINY POPISUJÍCÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

- rychlost –  $c$  (m/s), ve vakuu  $3 \times 10^8$  m/s

- vlnová délka -  $\lambda$  (nm)



- Frekvence světelných vln, kmitočet (=počet vln za sekundu) -  $\nu$  (Hz,  $s^{-1}$ )

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

Rovnice č. 1

# VELIČINY POPISUJÍCÍ ELEKTROMAGNETICKÉ ZÁŘENÍ

- energie fotonu světelného záření  $\varepsilon$
- Energie fotonu je přímo úměrná jeho kmitočtu,  $h$  je Planckova konstanta ( $6,625 \times 10^{-34}$  J/s)

$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$$

Rovnice č. 2

- Světlo v UV a VIS oblasti má kmitočty (počet vln za s)  $10^{14}$  -  $10^{15}$  Hz
- Vlnočty- počet vln připadající na délkovou jednotku (obvykle 1 cm)

# ELEKTROMAGNETICKÉ SPEKTRUM

prochází  
atmosférou  
Země?



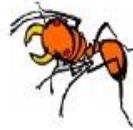
vlnová  
délka  
(m)



typický rozměr ...



slon



mravenec



prvok



bakterie



virus

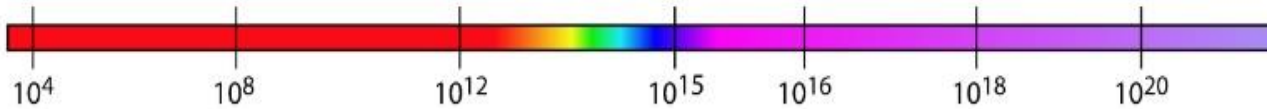


atom

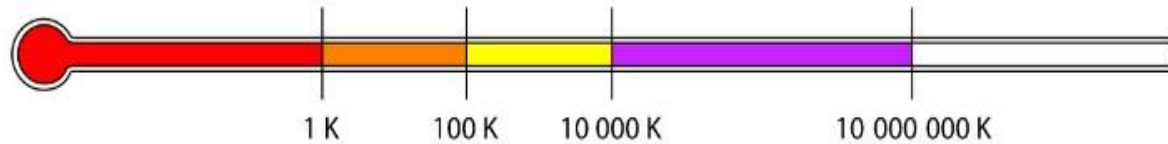


jádro

frekvence  
(Hz)



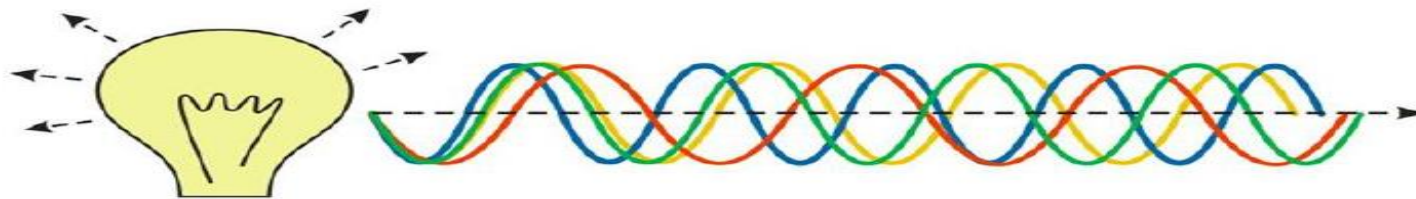
teplota tělesa,  
které vlny  
vyzařuje  
(K)



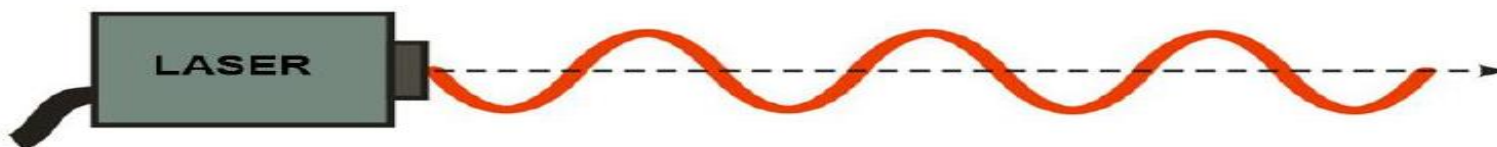


# DRUHY SVĚTLA

- **polychromatické** – skládá se z mnoha vlnových délek (sluneční světlo, světlo wolframové žárovky)
- **monochromatické** - světlo, které se skládá pouze z jedné vlnové délky (lépe velmi blízké vlnové délky); lze je získat z polychromatického světla pomocí různých monochromátorů (např. filtrů, hranolů nebo mřížek).



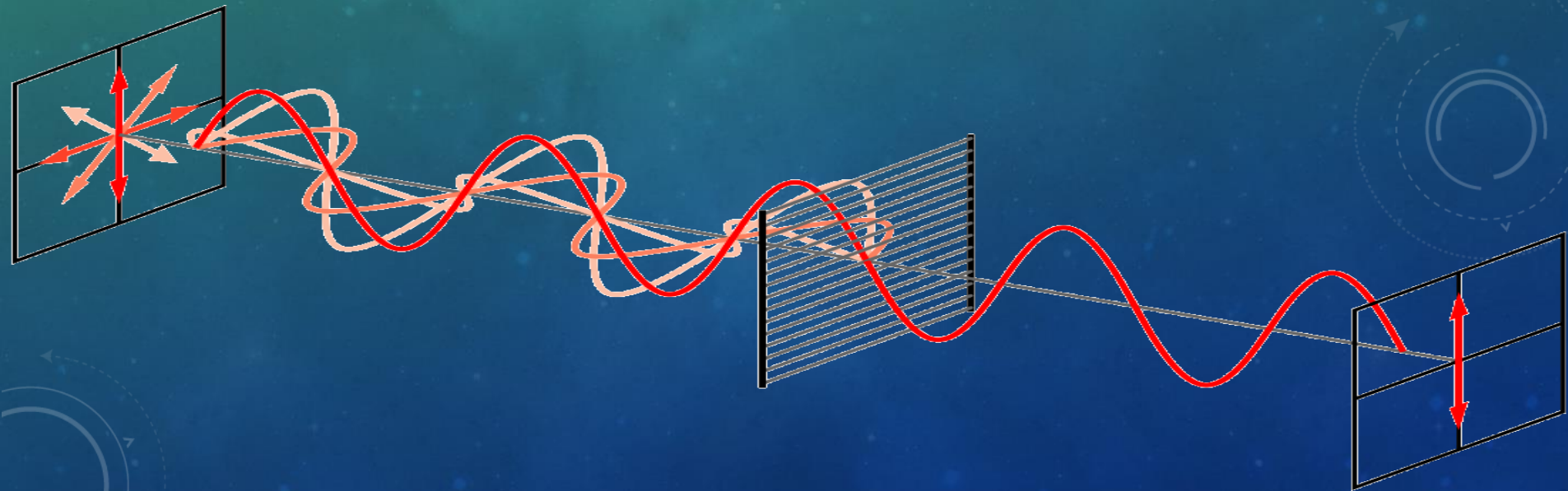
bílé světlo žárovky i slunce obsahuje všechny barvy (vlnové délky)



světlo laseru je monochromatické (jednobarevné) a koherentní (má stejnou fázi)

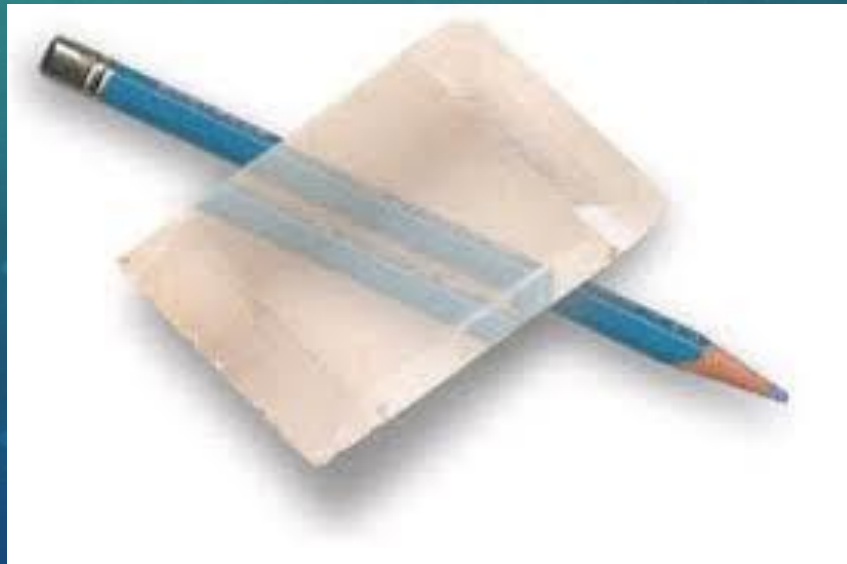
# DRUHY SVĚTLA

- **polarizované světlo** – je záření, jehož kmity jsou pouze v jedné rovině kolmé na směr šíření záření. Lze je získat různými způsoby (lomem, odrazem, dvojlomem). Nejčastěji používáme tzv. Nikolův hranol, který je z islandského vápence.



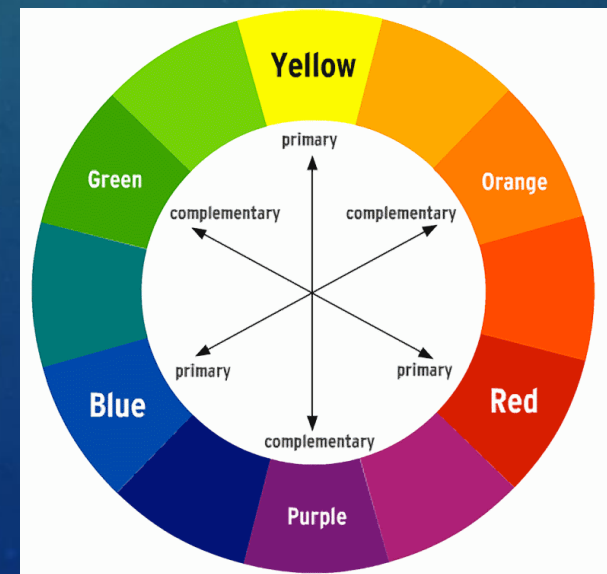


# NIKOL



# BAREVNOST LÁTEK

- pokud absorbované záření má  $\lambda$  ležící v oblasti viditelné části spektra, látka se jeví lidskému oku jako **barevná**
- barvu látky určují vlnové délky odraženého záření jsou to vždy barvy (vlnové délky) doplňkové k barvě absorbovaného světla
- bílá barva – odráží záření všech vlnových délek
- černá barva – absorbuje všechny vlnové délky
- Doplňkové ( komplementární ) barvy – dvojice barev, které se vzájemně doplňují (tj. jejich spojením vznikne bílá barva)



# BAREVNOST LÁTEK

Absorbovaná vlnová délka (nm)	Barva absorbovaného světla	Barva látky
400–435	fialová	žlutozelená
435–480	modrá	žlutá
480–490	zelenomodrá	oranžová
490–500	modrozelená	červená
500–560	zelená	purpurová
560–580	žlutozelená	fialová
580–595	žlutá	modrá
595–605	oranžová	zelenomodrá
605–670	červená	modrozelená

# OPTICKÉ ANALYTICKÉ METODY

- fyzikální metody, které získávají potřebné informace z měření optických vlastností a spekter zkoumaných látek.
- využívají interakce analytu se světlem - výměna energie, změna optických vlastností molekul a atomů měřené soustavy
- může jít o změnu barvy či její intenzity, luminiscenci, fluorescenci, změnu optické otáčivosti nebo o změnu rozptylu světla při průchodu vzorkem



# OPTICKÉ METODY

- jsou založeny na výměně energie mezi látkou a zářením

## A.) Spektrální: výměna energie mezi látkou a zářením

- **absorpční** – sledují absorpci záření vzorkem (UV,VIS, IČ)
- **emisní** – měření záření emitovaného vzorkem
- **luminiscenční metody**: fluorimetrie, fosforescence, chemiluminiscence

## B.) Nespektrální: změna vlastností záření

- **turbidimetrie, nefelometrie** – rozptyl záření
- **refraktometrie** – otáčení roviny polarizovaného světla

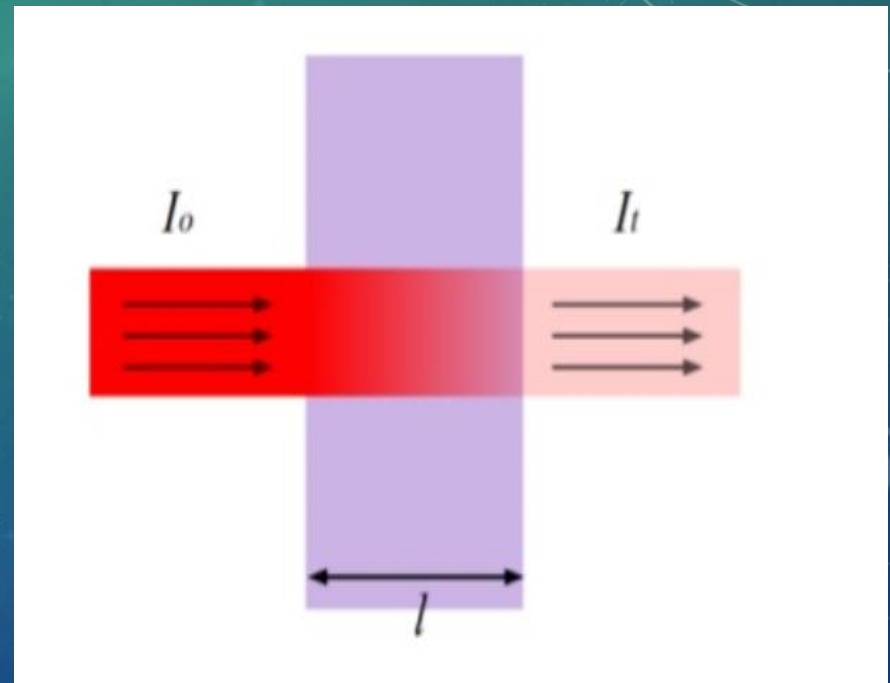


# ZÁKLADNÍ VELIČINY A VZTAHY POUŽÍVANÉ VE SPEKTROFOTOMETRII

**Propustnost (transmittance):**  
Množství světla určité vlnové délky, které prošlo vzorkem

$$T = \frac{I}{I_0}$$

Rovnice č. 3



Kde  $I_0$  je intenzita světla vstupujícího do vzorku a  $I$  je intenzita světla ze vzorku vystupujícího

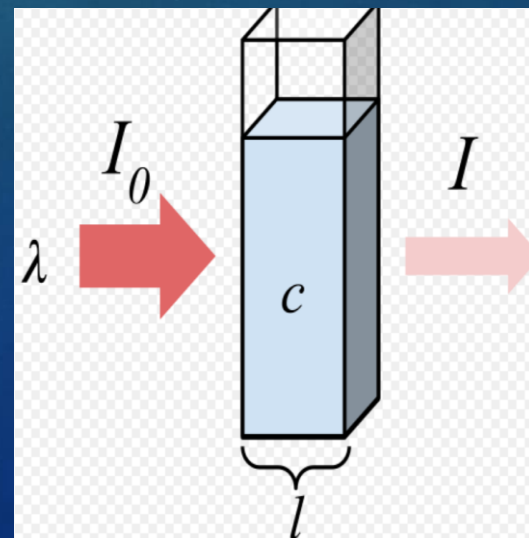
# ZÁKLADNÍ VELIČINY A VZTAHY POUŽÍVANÉ VE SPEKTROFOTOMETRII

- Absorbance:

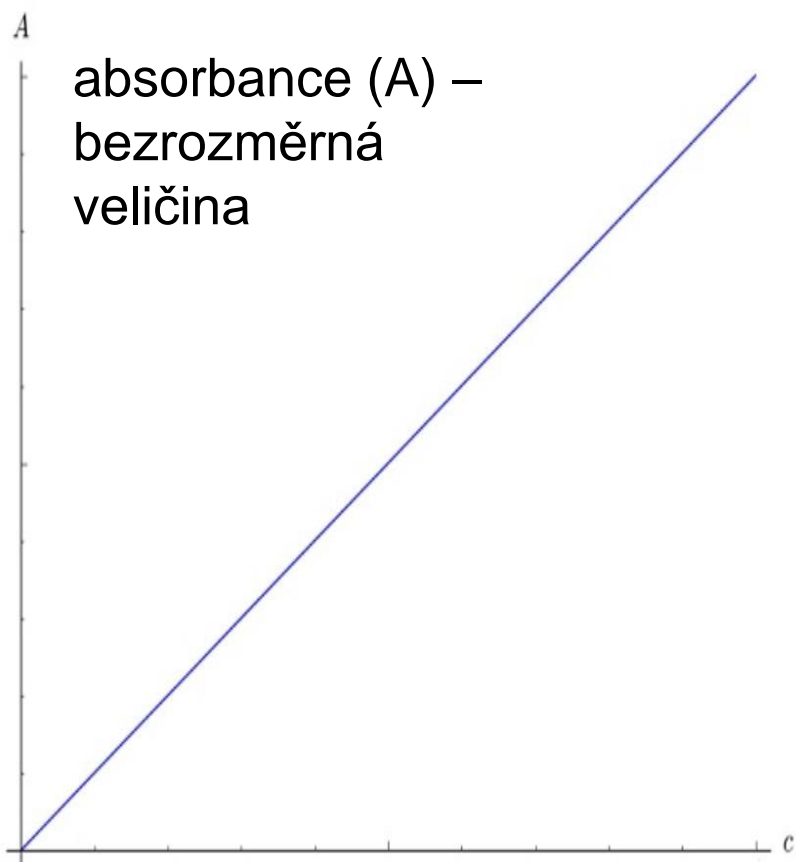
$$A = \log \frac{I_0}{I} = -\log T$$

Rovnice č. 4

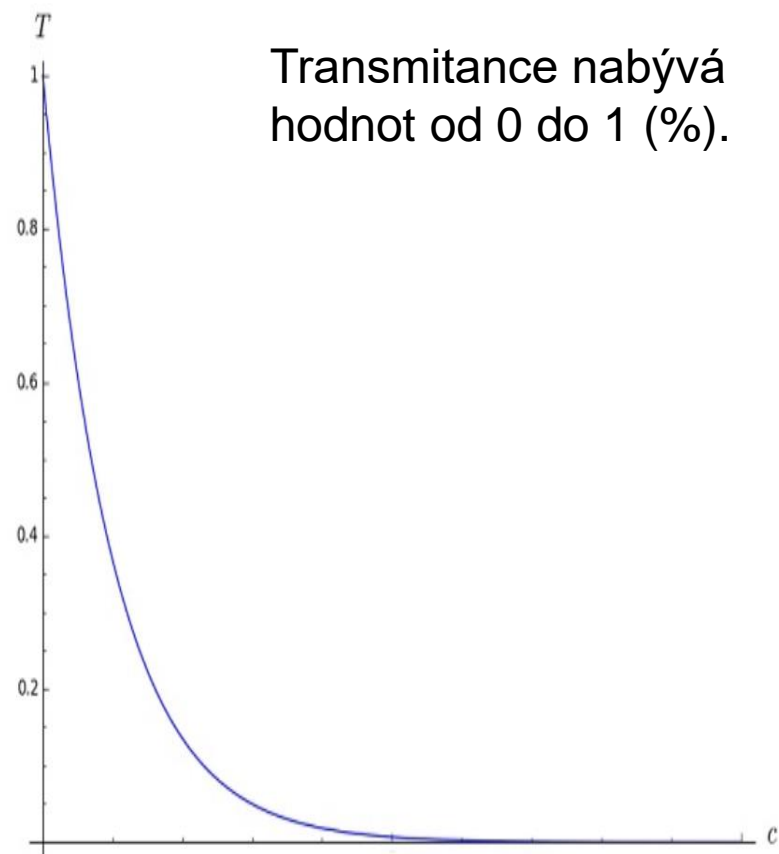
Bezrozměrná veličina, definovaná na základě transmittance, udává jaké množství světla bylo pohlceno vzorkem.



# ABSORBANCE X TRANSMITTANCE



*Absorbance vs. Concentration*



*Transmittance vs. Concentration*

**Udávají o kolik se snížila intenzita původního záření po průchodu zkoumanou látkou**

# ZÁKLADNÍ VELIČINY A VZTAHY POUŽÍVANÉ VE SPEKTROFOTOMETRII

**Zákon Lambert-Beerův:**

$$I = I_0 \cdot 10^{-\epsilon l c}$$

Intenzita světelného záření procházející absorbujícím prostředím klesá exponenciálně v závislosti na délce absorbující vrstvy a koncentraci absorbující látky

Zákon byl nezávisle empiricky odvozen fyziky [Bouguerem \(1729\)](#), [Lambertem \(1760\)](#) a [Beerem \(1852\)](#).

Lambertův-Beerův zákon platí pouze pro absorpci monochromatického záření.

# LAMBERT-BEERŮV ZÁKON

➤ Absorbance při dané  $\lambda$  je přímo úměrná:

$$A_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} l c$$

Rovnice č. 5

- tloušťce absorbující vrstvy  $l$
- koncentraci absorbujících částic ve vrstvě  $c$
- molárnímu absorpčnímu koeficientu  $\varepsilon_{\lambda}$



# ZÁKLADNÍ VELIČINY A VZTAHY POUŽÍVANÉ VE SPEKTROFOTOMETRII

## molární absorpční koeficient $\epsilon_{\lambda}$

fyzikální konstanta, která udává jak daná látka při určité koncentraci absorbuje monochromatické záření určité vlnové délky

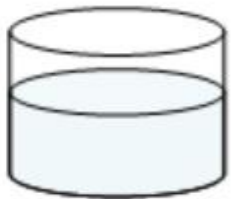
- takto lze zjistit koncentraci látek barevných, nebo látek absorbujících světlo v UV oblasti
- pokud látka v těchto oblastech neabsorbuje, je třeba ji převést na látku, která absorbuje více
- vztah mezi signálem (absorbancí) a koncentrací určuje **kalibrace**

# KALIBRAČNÍ ZÁVISLOST

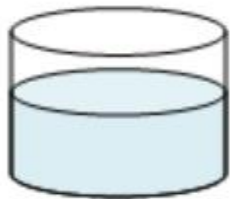
Praktické využití Lambertova-Beerova zákona

Provedení:

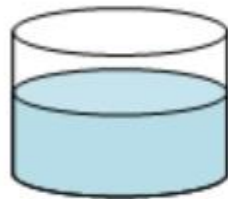
- změříme obvykle 5 standardních roztoků o známé vrůstající koncentraci při určité vlnové délce
- všechny roztoky se měří za stejných experimentálních podmínek (spektrometr, kyveta, pipety, doba inkubace..)
- blank = slepý pokus, obsahuje vše kromě stanovované látky



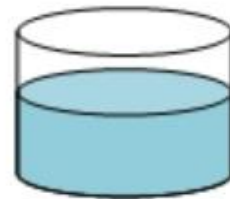
0g/L  
(Blank)



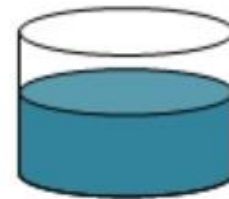
1g/L  
Std 1



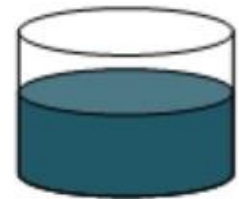
1g/L  
Std 2



1g/L  
Std 3



1g/L  
Std 4



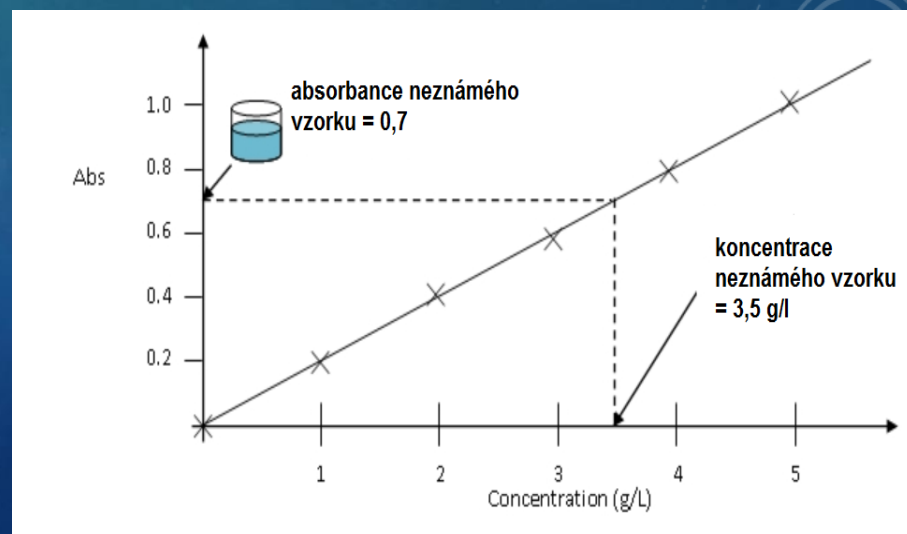
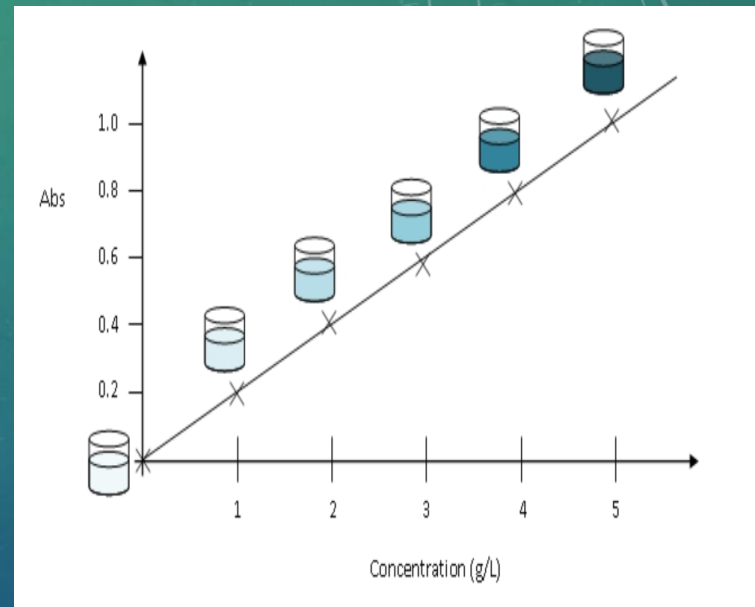
1g/L  
Std 5

# KALIBRAČNÍ ZÁVISLOST

## Sestrojení kalibrační křivky

- naměřené hodnoty absorbance standardů na ose y
- hodnoty koncentrace na ose x

Pokud je závislost lineární, je možné změřit absorbanci a vypočítat koncentraci neznámého vzorku



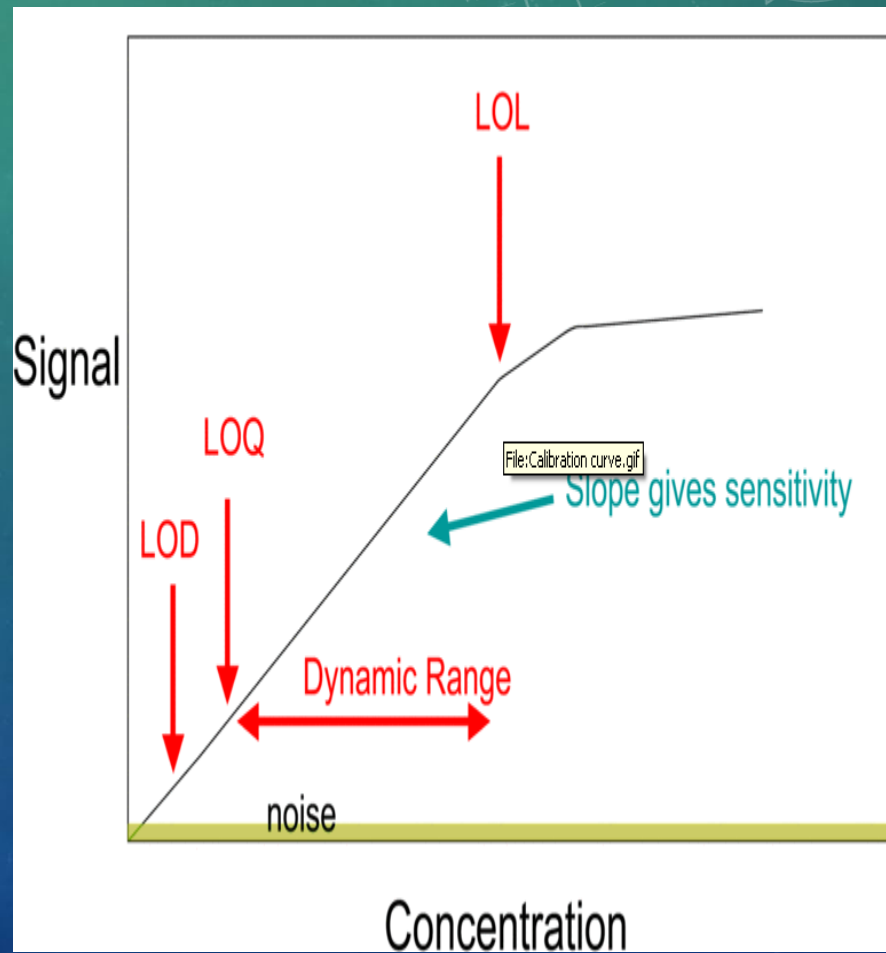
# KALIBRAČNÍ ZÁVISLOST

Vzhledem k tomu, že poměr  $c_{st}/A_{st}$  je pro měřenou sérii konstantní používáme ho pro změřenou sérii jako **kalibrační faktor**, kterým vynásobíme naměřené hodnoty absorbance vzorků o neznáme koncentraci

LOD-dolní mez detekce

LOL- horní mez detekce

LOQ-mez stanovitelnosti



# LIMITACE LAMBERT-BEEROVA ZÁKONA

- Odchylka  $\epsilon_{\lambda}$  při vysokých koncentracích ( $>0,01$  mol/l) vlivem elektrostatických interakcí
- Částečný rozptyl světla na částicích přítomných ve vzorku
- Fluorescence nebo fosforescence vzorku
- Nedokonale monochromatické záření
- Nekoherentní světelné záření

Nejpřesnější výsledky jsou získávány v rozsahu absorbancí 0,2- 2,0 . Od hodnot absorbance  $>$ výrazně narůstá chyba měření



# OPTICKÉ METODY-ROZDĚLENÍ

A.) Spektrální: výměna energie mezi látkou a zářením

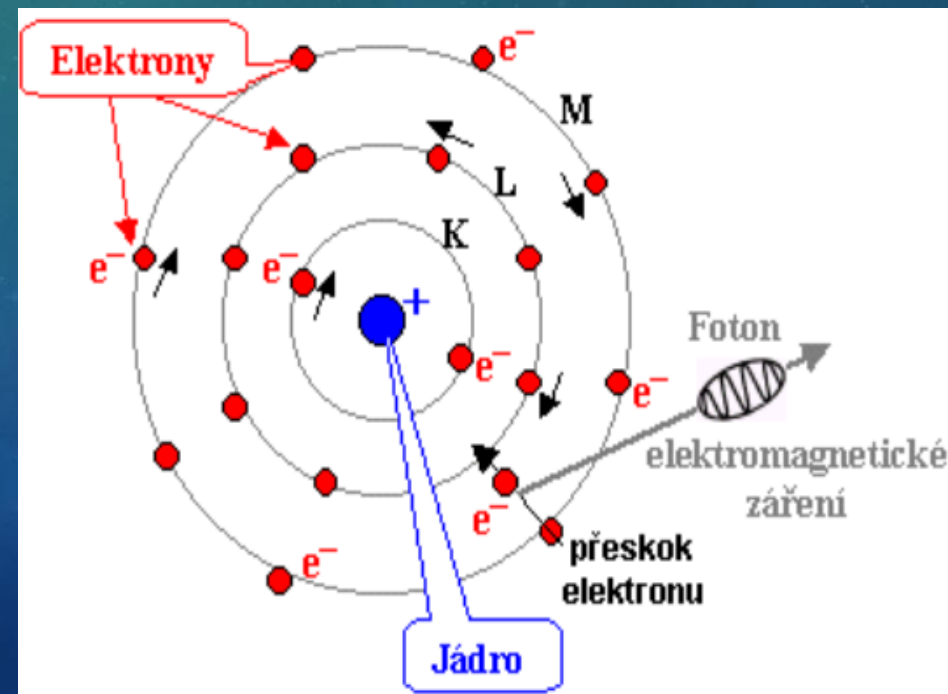
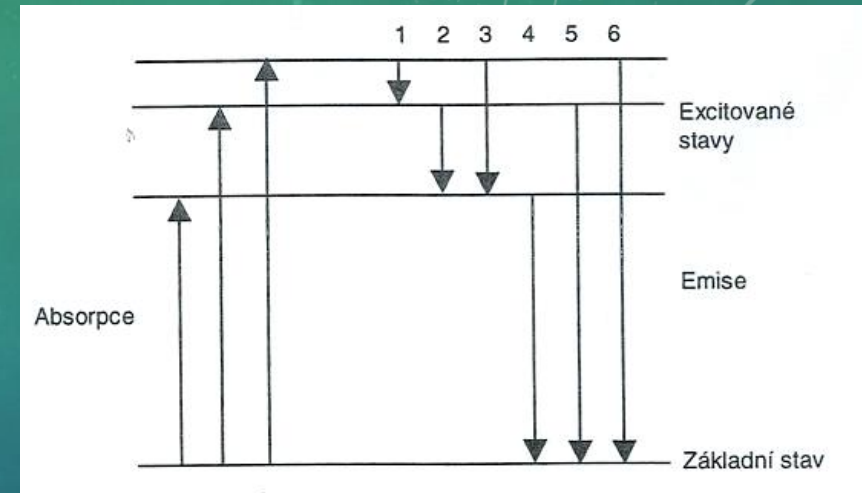
- **absorpční** – sledují absorpci záření vzorkem (UV,VIS, IČ)
- **emisní** – měření záření emitovaného vzorkem
- **luminiscenční metody**: fluorimetrie, fosforescence, chemiluminiscence

B.) Nespektrální: změna vlastností záření

- **turbidimetrii, nefelometrii** – rozptyl záření
- **refraktometrie** – otáčení roviny polarizovaného světla

# ABSORPCE VS. EMISE ZÁŘENÍ

- Emise záření: přechod z vyššího energetického stavu do stavu s nižší energií, provázen vyzářením fotonu, atomová emisní spektrofotometrie
- Absorpce záření: atom (resp. molekula) přejde do vyššího energetického stavu, foton je pohlcen, atomová absorpční spektrofotometrie



# SPEKTROFOTOMETRY

- Přístroje, které se používají k měření intenzity záření v ultrafialové (UV) nebo viditelné (VIS) oblasti spektra
- Slouží pro měření absorpce světla vzorkem
- Absorbance je měřena při různých vlnových délkách

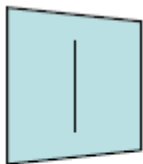


# USPOŘÁDÁNÍ SPEKTROFOTOMETRU

1. **Zdroj světla**
2. **Monochromátor nebo filtr:** k výběru určité vlnové délky
3. **Optický systém:** štěrby, zrcadla, čočky
4. **Absorpční prostředí:** kyveta s měřeným vzorkem
5. **Detekční systém:** zařízení k měření světelného záření, které prošlo vzorkem



zdroj



štěrbina



výběr vlnové délky



vzorek



detektor



# 1) ZDROJE ZÁŘENÍ A JEJICH POUŽITÍ

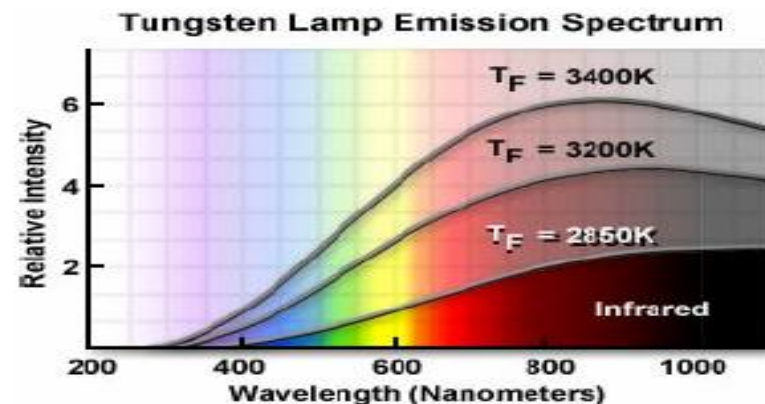
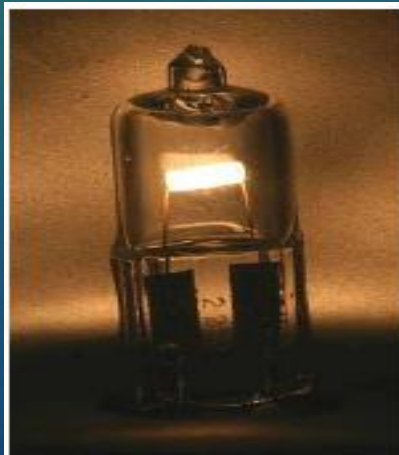
- **Halogen - wolframová žárovka** – měření absorpce ve viditelném spektru
- **Deuteriová (vodíková) výbojka** - měření absorpce v UV spektru
- **Xenonová výbojka**- měření absorpce v oblasti VIS UV spektru
- **Rtuťová výbojka** – měření v oblasti spektra 200-400 nm





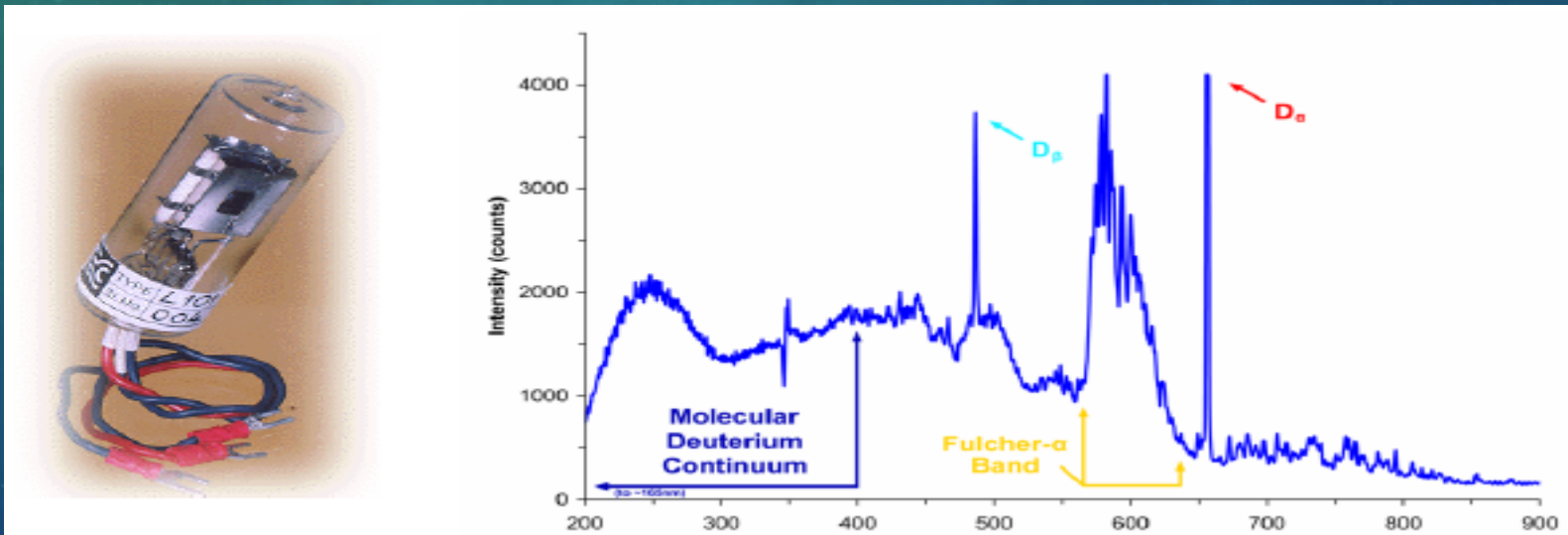
# HALOGEN - WOLFRAMOVÁ ŽÁROVKA – VIS OBLAST SPEKTRA

- Skleněná baňka naplněná inertním plynem obsahující páry jódu
- Uvnitř je wolframové vlákno, které je zahříváno stejnosměrným proudem
- Oblast spektra: 330-900 nm



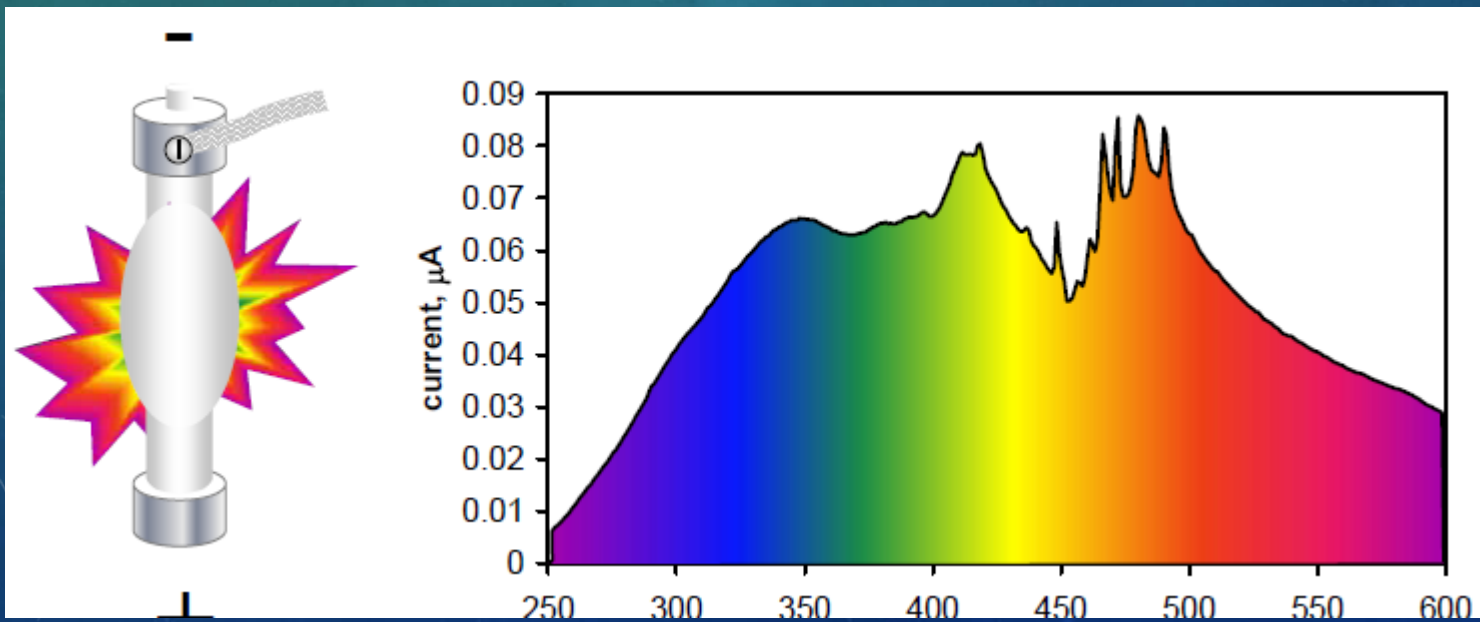
# DEUTERIOVÁ VÝBOJKA – UV OBLAST SPEKTRA

- Nízkotlaké, produkují světlo o vlnové délce 160-375 nm
- Wolframová cívka upevněna na tenkostěnnou křemennou výbojku, naplněna deuteriem , elektrický výboj disociuje  $D_2$  a následně dochází k emisi záření



# XENONOVÁ VÝBOJKA – BLÍZKÁ UV OBLAST NEBO IČ OBLAST SPEKTRA

- Vysokotlaká (pevnější plášť), výboj vzniká mezi dvěma wolframovými vlákny, vysoký výkon záření
- Produkují světlo: 180-2500 nm
- Použití ve fluorescenční a luminiscenční spektrofotometrii



## 2) FOTOMETRICKÉ FILTRY

- Slouží k vymezení určitého (co nejužšího) pásu monochromatického světla ze spojitého záření.
- Charakteristikou filtru je tzv. **spektrální pološířka filtru ( $h$ , nm)** - odpovídá intervalu vlnových délek záření v polovině maximální propustnosti filtru (je odvozena z křivky propustnosti). Čím je rozsah pološířky filtru užší, tím je filtr lepší.
- Fotometrické filtry dělíme na dvě základní skupiny: **barevné absorpční a interferenční**

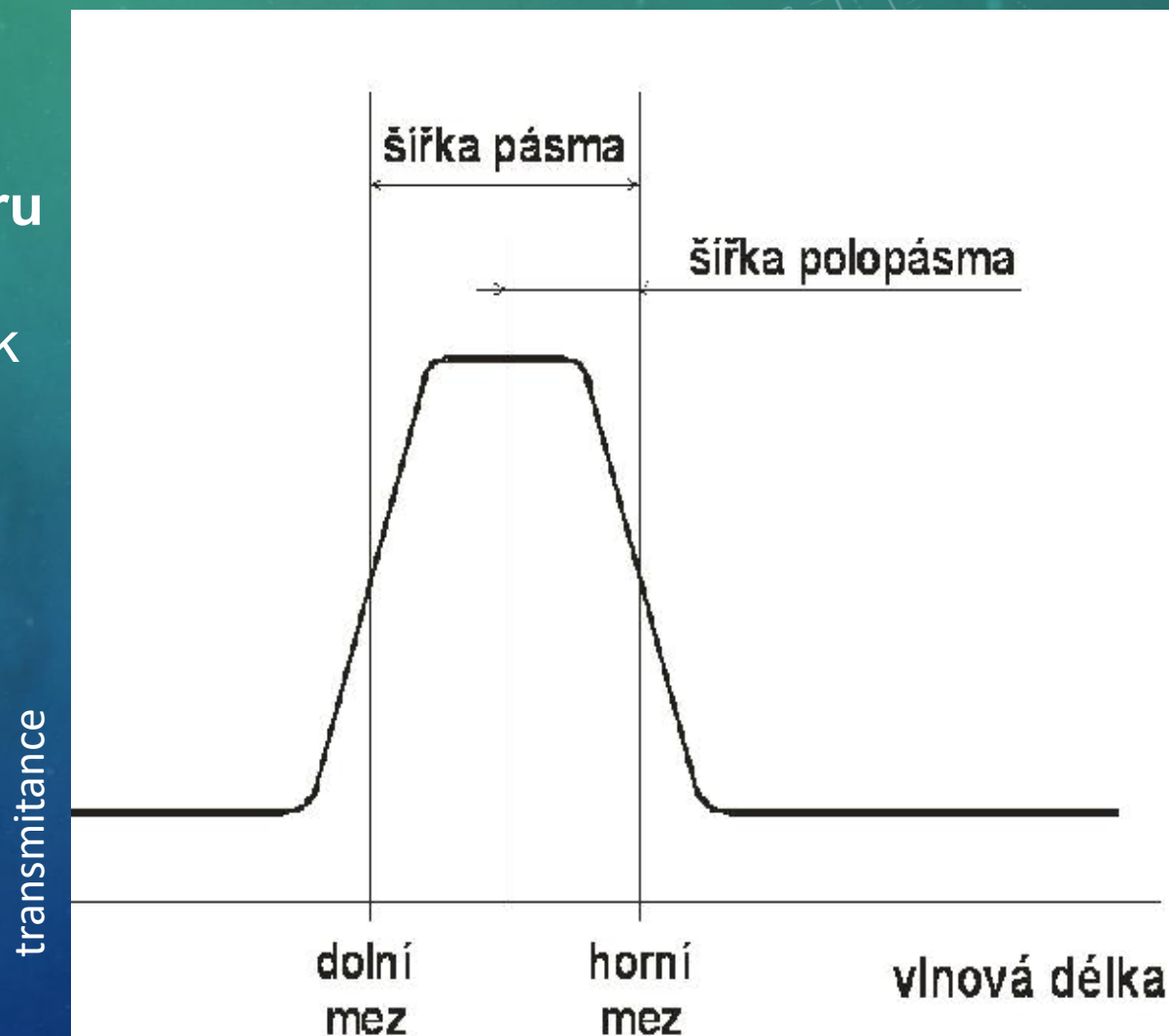




## 2) FOTOMETRICKÉ FILTRY

Křivka propustnosti

**Spektrální pološířka filtru ( $h$ , nm)** - odpovídá intervalu vlnových délek záření v polovině maximální propustnosti filtru – transmittance je odvozena z křivky propustnosti.

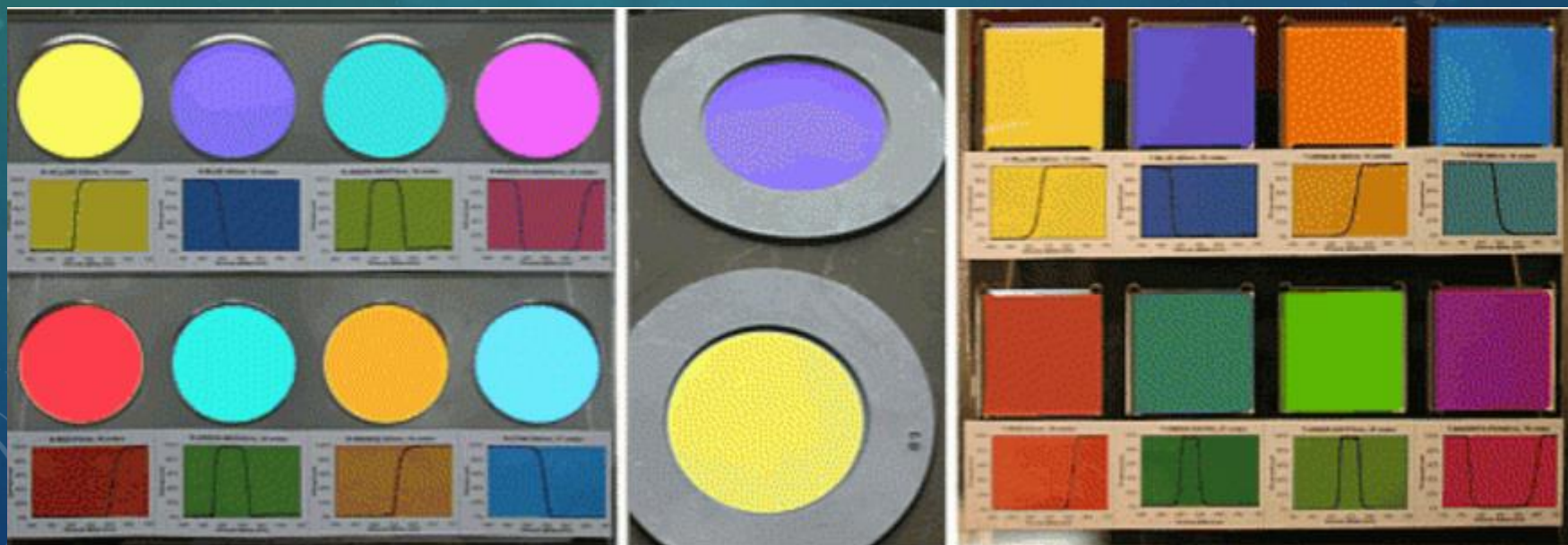




## 2) FOTOMETRICKÉ FILTRY

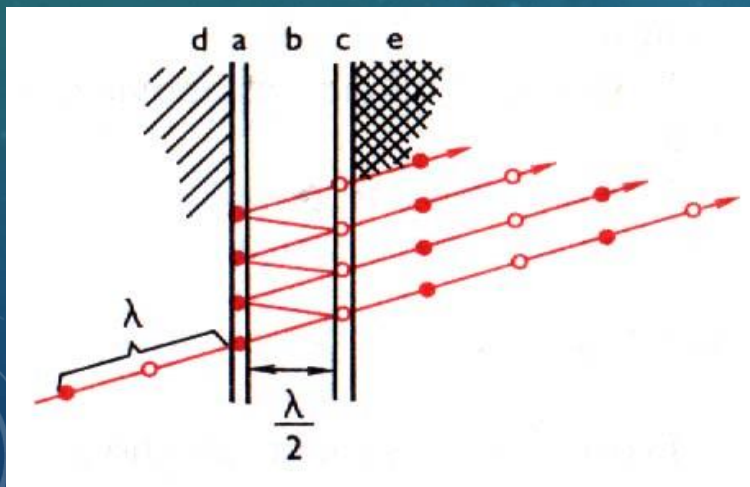
**Barevné absorpční filtry** - mají nižší spektrální čistotu filtrovaného záření, jejich pološířka je 30-80 nm

- **Pevné** - skla vyrobená z oxidy kovů, nebo pokrytá vrstvou želatiny s organickým barvivem
- **Kapalné** – obvykle kyvety s roztoky anorganických solí



## 2) FOTOMETRICKÉ FILTRY - INTERFERENČNÍ FILTRY

- **Interferenční filtry** využívají mnohonásobnou interferenci záření mezi hraničními plochami s výbornými odrazovými vlastnostmi, mají užší šířku pásma a vyšší pík transmittance (lepší propustnost) než barevné absorpční filtry. Nejvíce rozšířený je kovový Fabry-Perotův filtr.



a, c – polopropustné vrstvičky

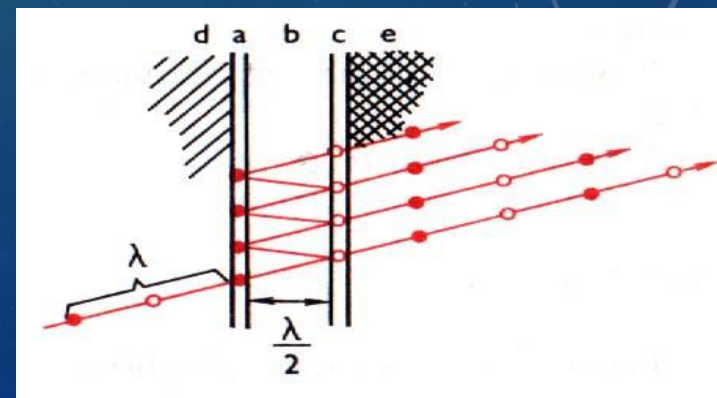
b – vrstva dielektrika o tloušťce  $\lambda/2$

d, e – krycí vrstvy

## 2) FOTOMETRICKÉ FILTRY - INTERFERENČNÍ FILTRY

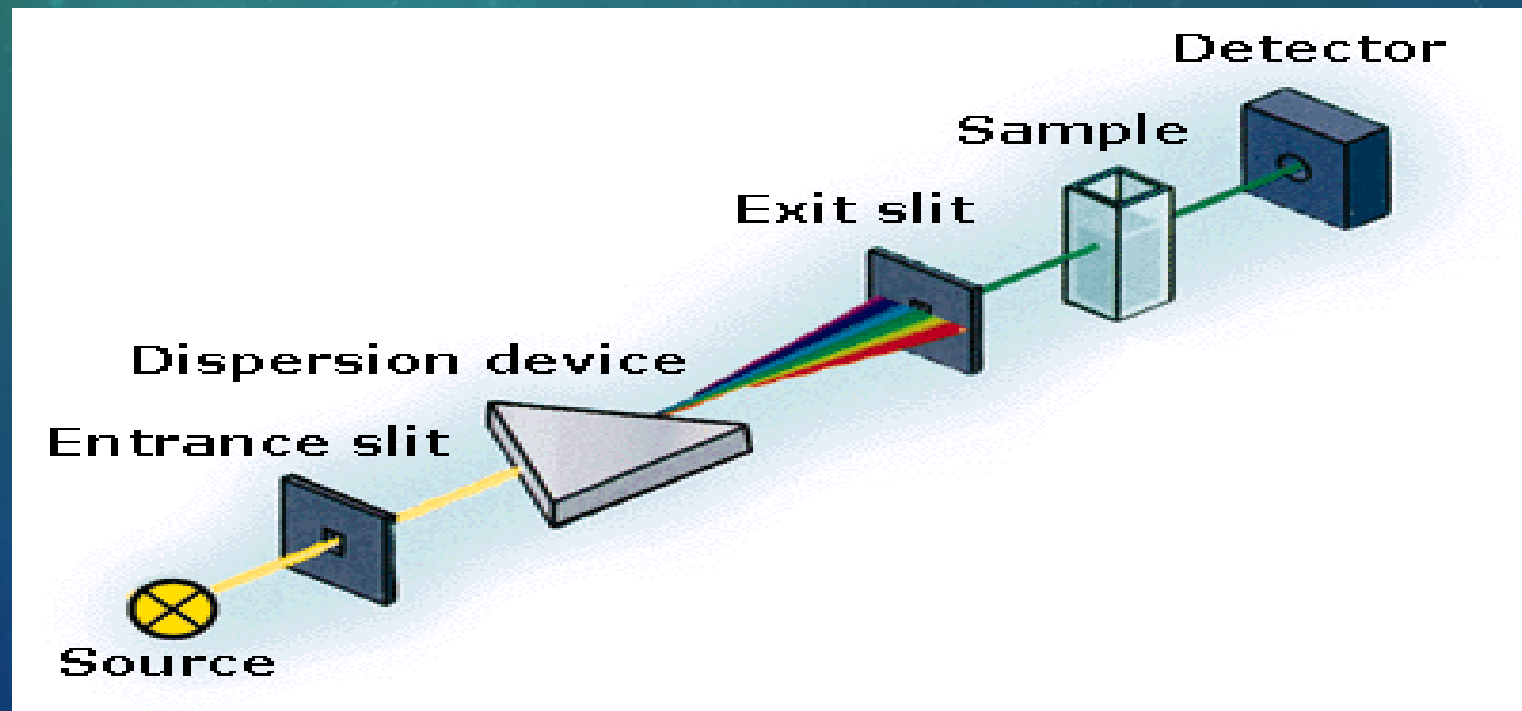
Na základní desce je mezi dvěma stříbrnými polopropustnými vrstvičkami vrstva průhledného dielektrika o tloušťce  $\lambda/2$ , přičemž  $\lambda$  odpovídá požadované vlnové délce.

Mnohonásobnými odrazy od zrcadlových ploch filtru a po vícenásobné interferenci dopadajících paprsků různé vlnové délky, vznikají velmi úzká maxima s pološířkou 8 – 10 nm.



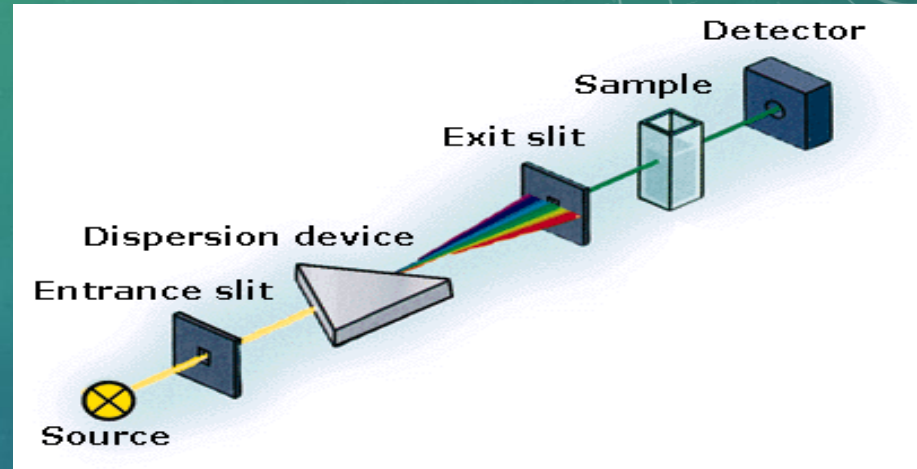
## 2) MONOCHROMÁTORY

- Optická zařízení pomocí kterých se ze spektra polychromatického světla mechanicky vymezí pouze jeho určitá část.
- Slouží pro kontinuální výběr různých vlnových délek.





## 2) MONOCHROMÁTOR



Monochromátor se skládá:

- vstupní štěrbiny
- pomocné optiky (zrcadla, čočky)
- disperzního prvku - mřížka, hranol
- výstupní štěrbiny



## 2+3) MONOCHROMÁTOR - VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ ŠTĚRBINA

**Vstupní** – vymezuje malou část světelného toku ze zdroje záření

**Výstupní štěrbin** – slouží k výběru záření určité vlnové délky, čím je užší tím užší je šířka pásma (bandpass) a větší **monochromaticnost záření**.

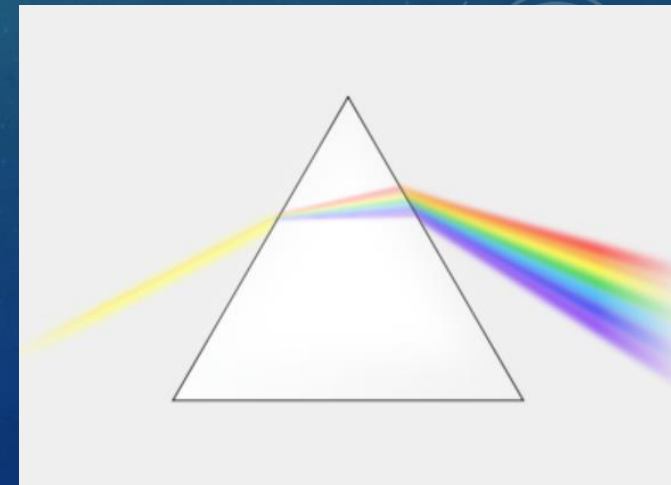
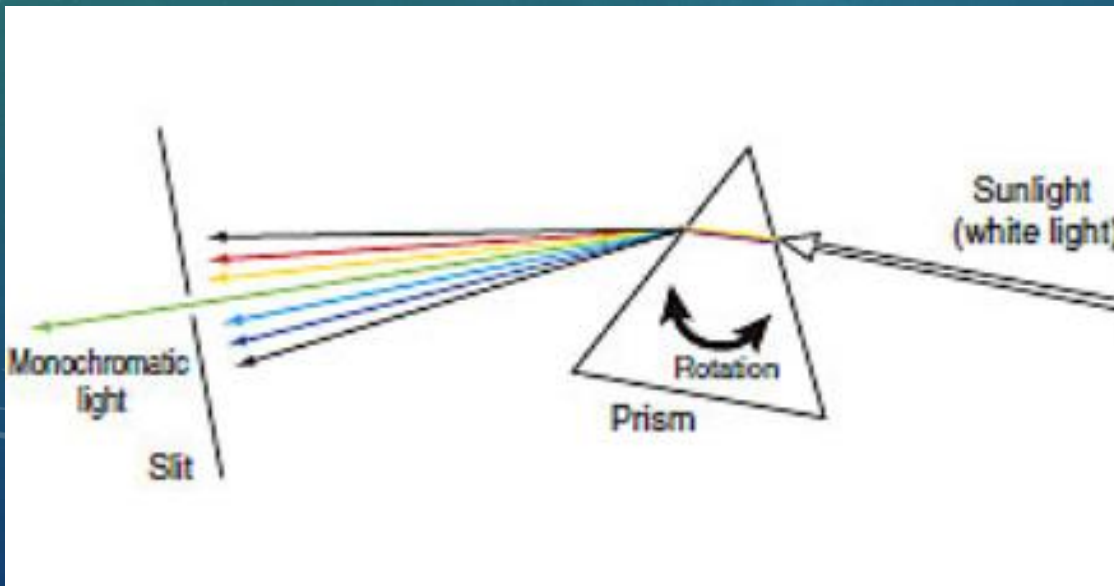
Poloha štěrbin je neměnitelná, požadovaná vlnová délka se nastavuje přímým otáčením disperzního prvku.

# 2+3) MONOCHROMÁTOR - POMOCNÁ OPTIKA

- **Zrcadla** - jsou to plochy odrážející záření, jsou potažena obvykle vrstvou hliníku
  - Rovinná – nejvíce používaná
  - Dutá, kulová , parabolická
- **Čočky** – optický zaostřovací systém
- **Optická vlákna** – skleněná, křemenná usměrňují transport světla ve stísněných prostorech (vertikální fotometry k měření mikrotitračních destiček), mají větší světelné ztráty než zrcadla
- **Clony** – používají se k omezení průřezu svazku paprsků, k odstínění okrajové oblasti čoček a zrcadel

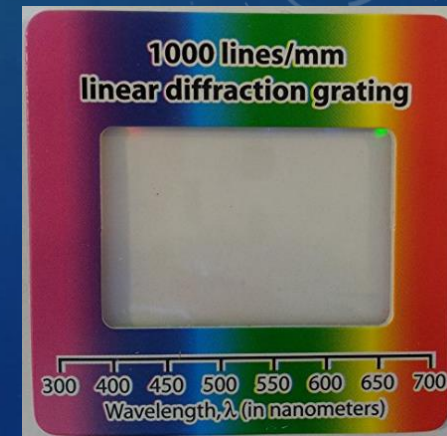
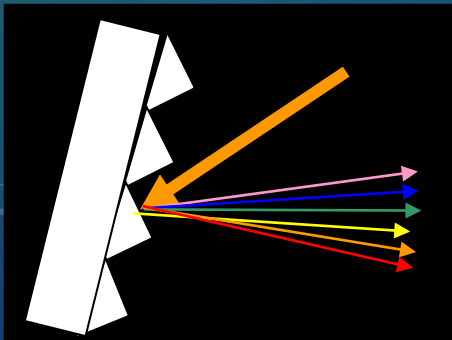
## 2+3) DISPERZNÍ PRVEK - OPTICKÝ HRANOL

- rozkládá polychromatické světlo na principu **lomu světla**
- světelné paprsky o kratší vlnové délce (modré světlo) se lámou více než paprsky s delší vlnovou délkou
- Skleněný hranol - pro rozklad světla ve VIS oblasti spektra (400-800 nm)
- Křemenný hranol – pro UV oblast (do 200 nm)



## 2+3) DISPERZNÍ PRVEK – DIFRAKČNÍ REFLEXNÍ MŘÍŽKA

- pracuje na principu odrazu světla
- Je tvořena soustavou jemných rovnoběžných vrypů na skleněné destičce (nejkvalitnější až 1700 /1 mm)
- Na vybroušených ploškách mřížky dochází k složitým optickým procesům-odraz, interference světla, které vedou k tomu, že z mřížky vychází jednotlivé vlnové délky pod rozdílným úhlem, který závisí na vlnové délce záření
- Rozklad záření je lineární u všech vlnových délek
- Má lepší rozlišovací schopnost než hranol

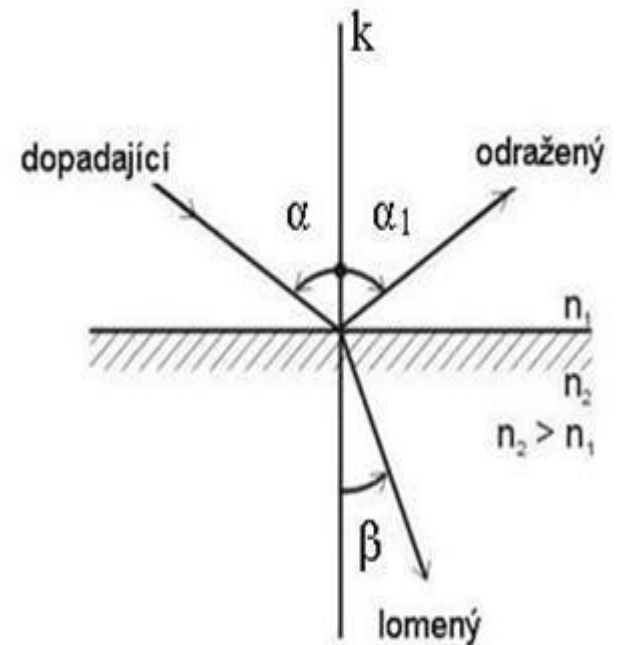
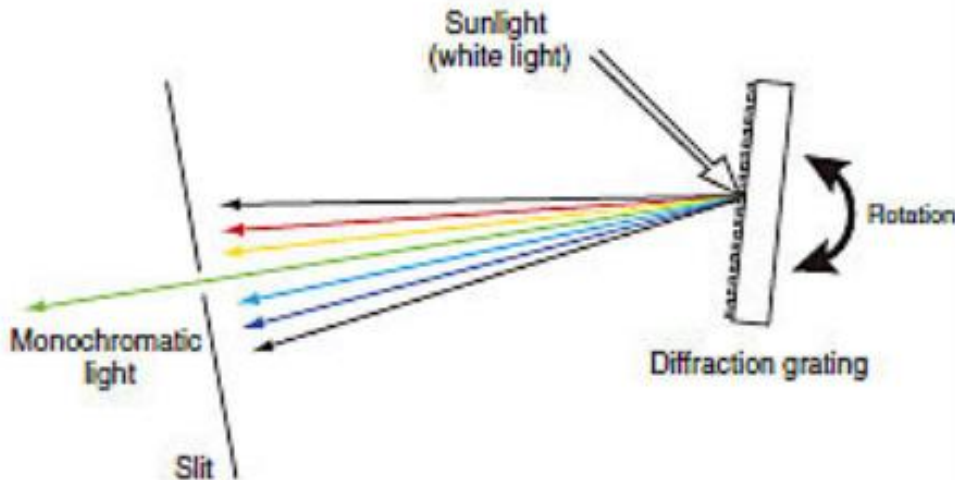




# 2+3) DISPERZNÍ PRVEK – DIFRAKČNÍ REFLEXNÍ MŘÍŽKA

## mřížka

- hustota vrypů dle požadovaných vlnových délek
- IČ oblast . . . 30 – 300 vrypů/mm
- VIS a UV . . . 600 – 2 400 vrypů/mm
- rentgenová . 10 000 – 100 000 vrypů/mm

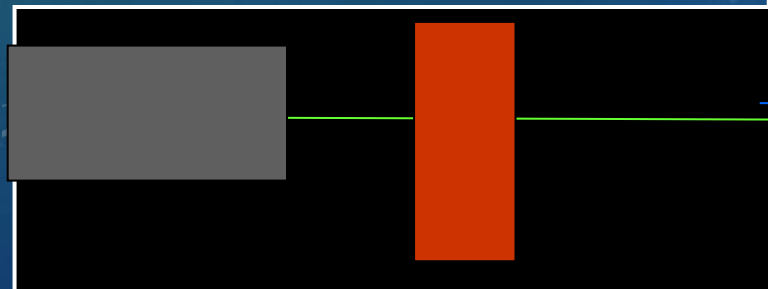
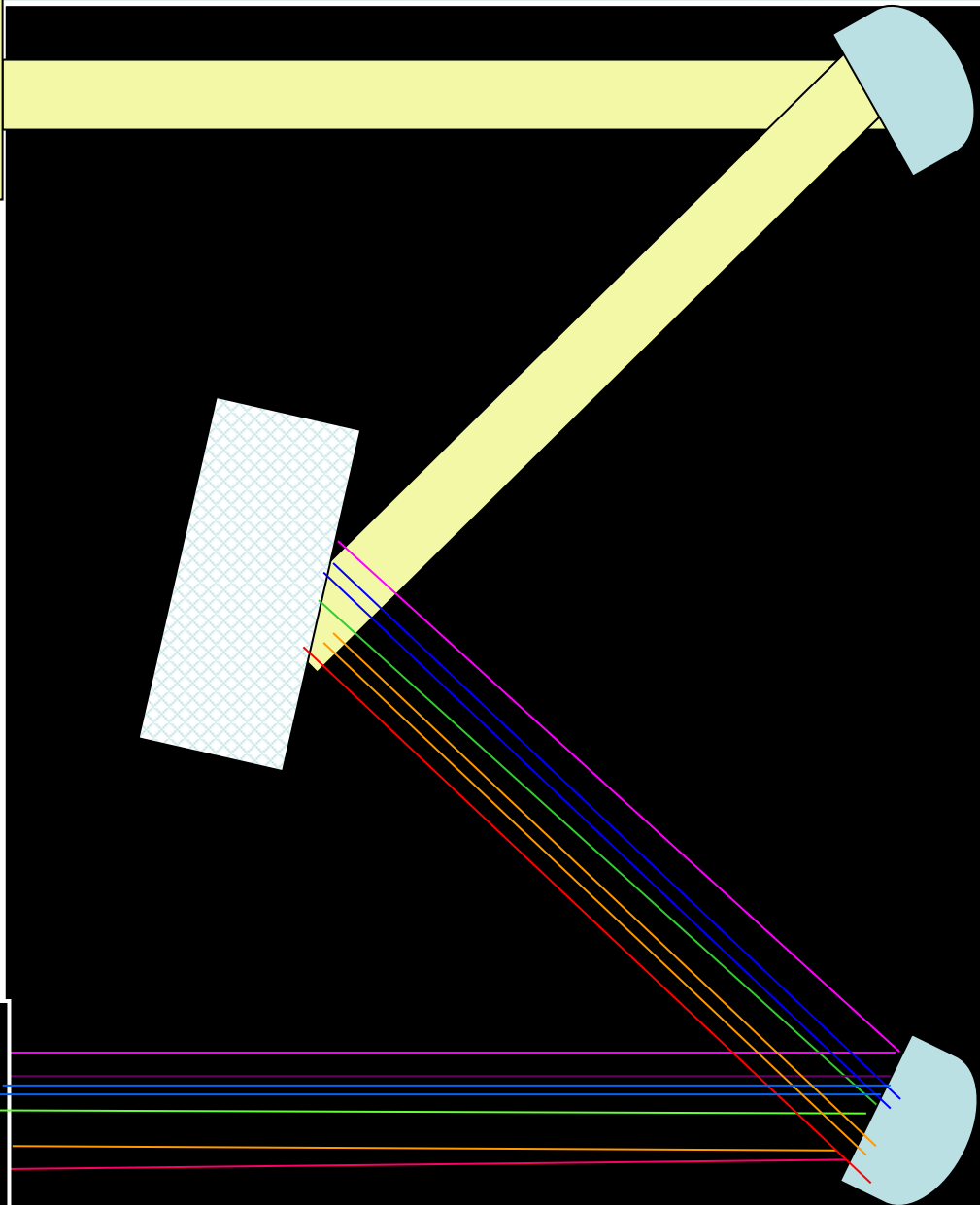


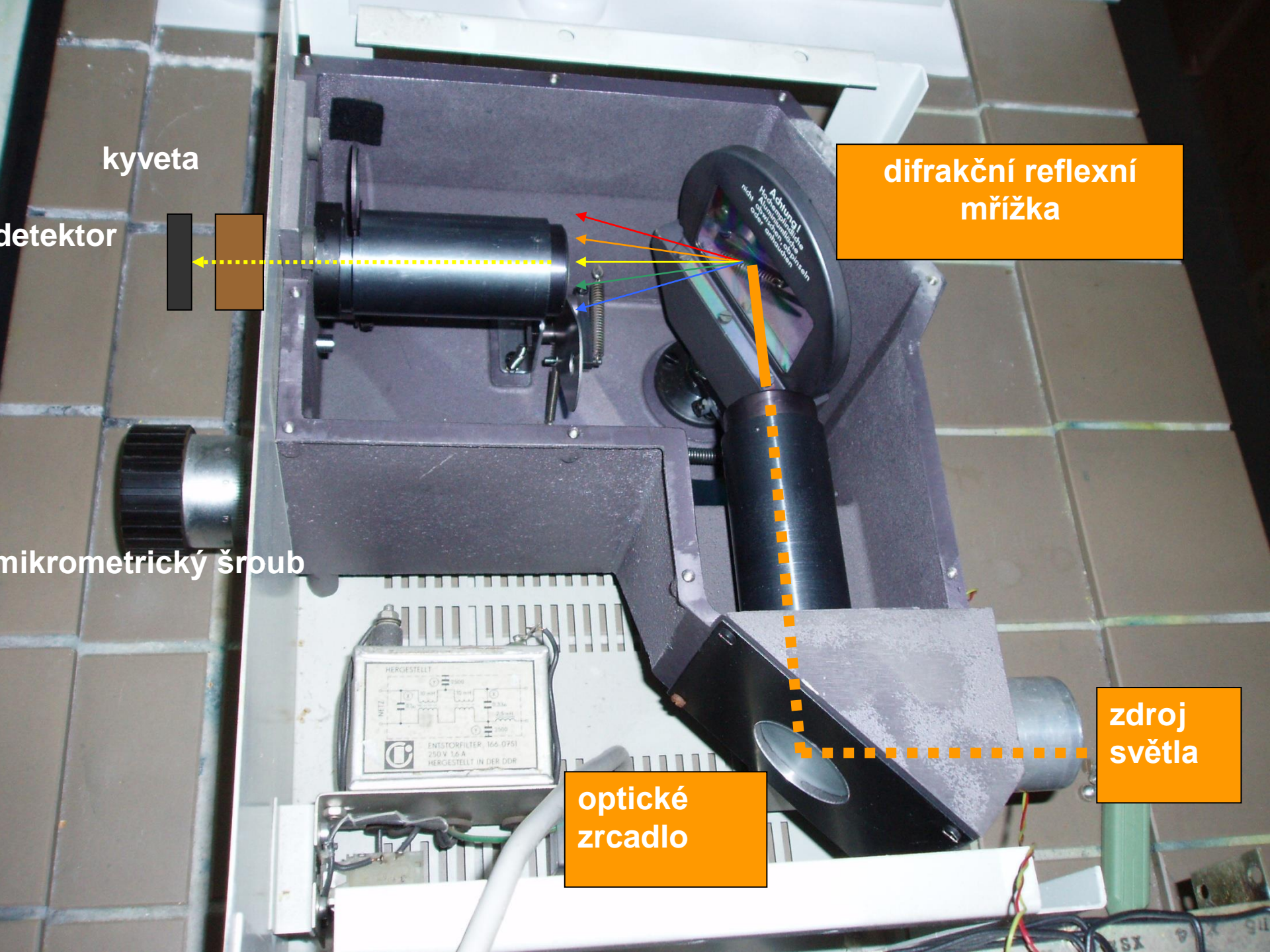


# VÝBĚR POŽADOVANÉ VLNOVÉ DÉLKY



Přesným pohybem disperzního prvku monochromátoru je vzniklé světelné spektrum nasměrováno na výstupní štěrbinu tak, aby jím prošlo záření požadované vlnové délky





kyveta

detektor

difrakční reflexní mřížka

mikrometrický šroub

zdroj světla

optické zrcadlo

# 4) ABSORPČNÍ PROSTŘEDÍ

## Kyveta s měřeným vzorkem

Rozdělení:

- dle velikosti: Makro- (1-2 ml), semimikro- (<0,5 ml), mikro-(<100  $\mu$ l)
- dle typu: nalévací, průtokové
- dle materiálu: skleněné, plastové (akrylátové, polystyrenové), křemenné (UV oblast)
- automatických bioch. analyzátoch:
- kyvety na jedno použití
- trvalé – po změření se promyjí mycí stanicí



# 4) ABSORPČNÍ PROSTŘEDÍ SPEKTROFOTOMETRU



zatavené kyvety z plastické fólie

400  $\mu$ l

150  $\mu$ l



80  $\mu$ l

postup miniaturizace kyvet

## 5) DETEKČNÍ SYSTÉM

Je složen z detektoru záření a elektronického zařízení pro zpracování jeho odezvy

### Detektory

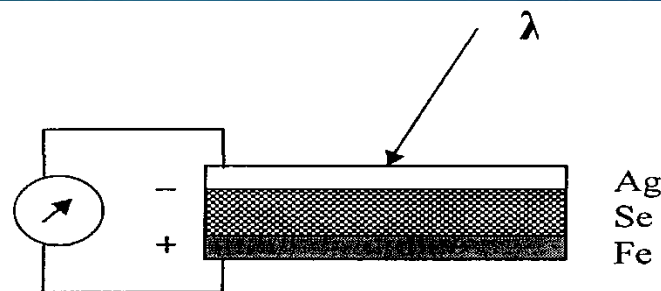
Zařízení, které zprostředkovávají přeměnu energie záření na jinou formu – obvykle fotochemickou, elektrickou

- a) Hradlový selenový fotočlánek
- b) Fotodioda
- c) Fotonásobič
- d) Detektor diodového pole



## 5a) HRADLOVÝ SELENOVÝ FOTOČLÁNEK

- Skládá se z polopropustné vrstvy stříbra nanesené na vrstvě selenu (polovodič) na kovovém podkladě
- Světelné záření o vlnové délce  $\lambda$  dopadající na polovodič působí uvolnění elektronů, které přecházejí do vrstvičky stříbra
- Tím vzniká elektrický proud, který je proporcionální intenzitě světelného záření

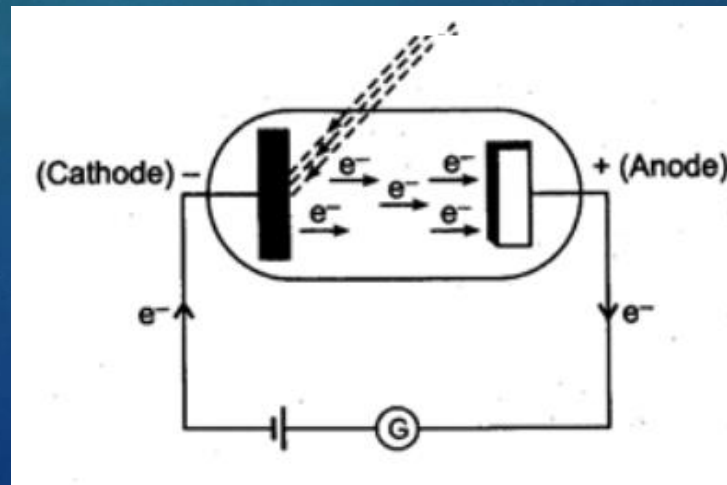


Hradlový selenový fotočlánek.

## 5b) FOTODIODA (FOTONKA)

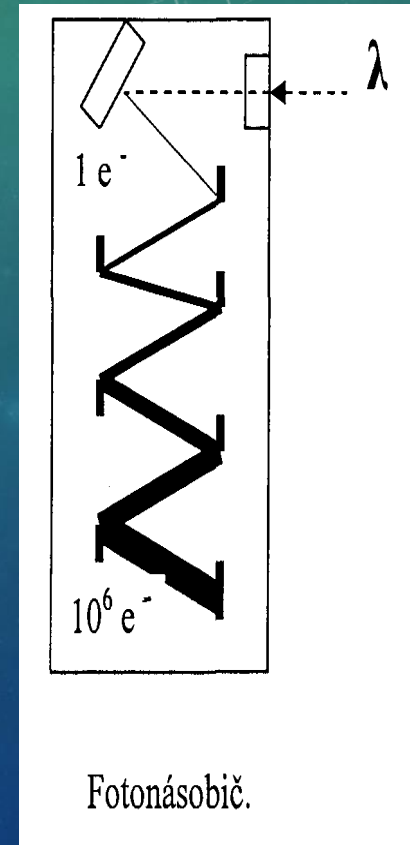
Pracuje na principu fotoelektrického efektu:

- Skládá se z fotosenzitivní katody (obsahuje Ag a různé alkalické kovy a jejich oxidy) a anody umístěné ve vakuu (nebo plynu) ve skleněné baňce
- Fotokatoda uvolňuje při ozáření světlem elektrony, které jsou přitahovány anodou čímž vzniká el. proud, který je proporcionální intenzitě světelného záření

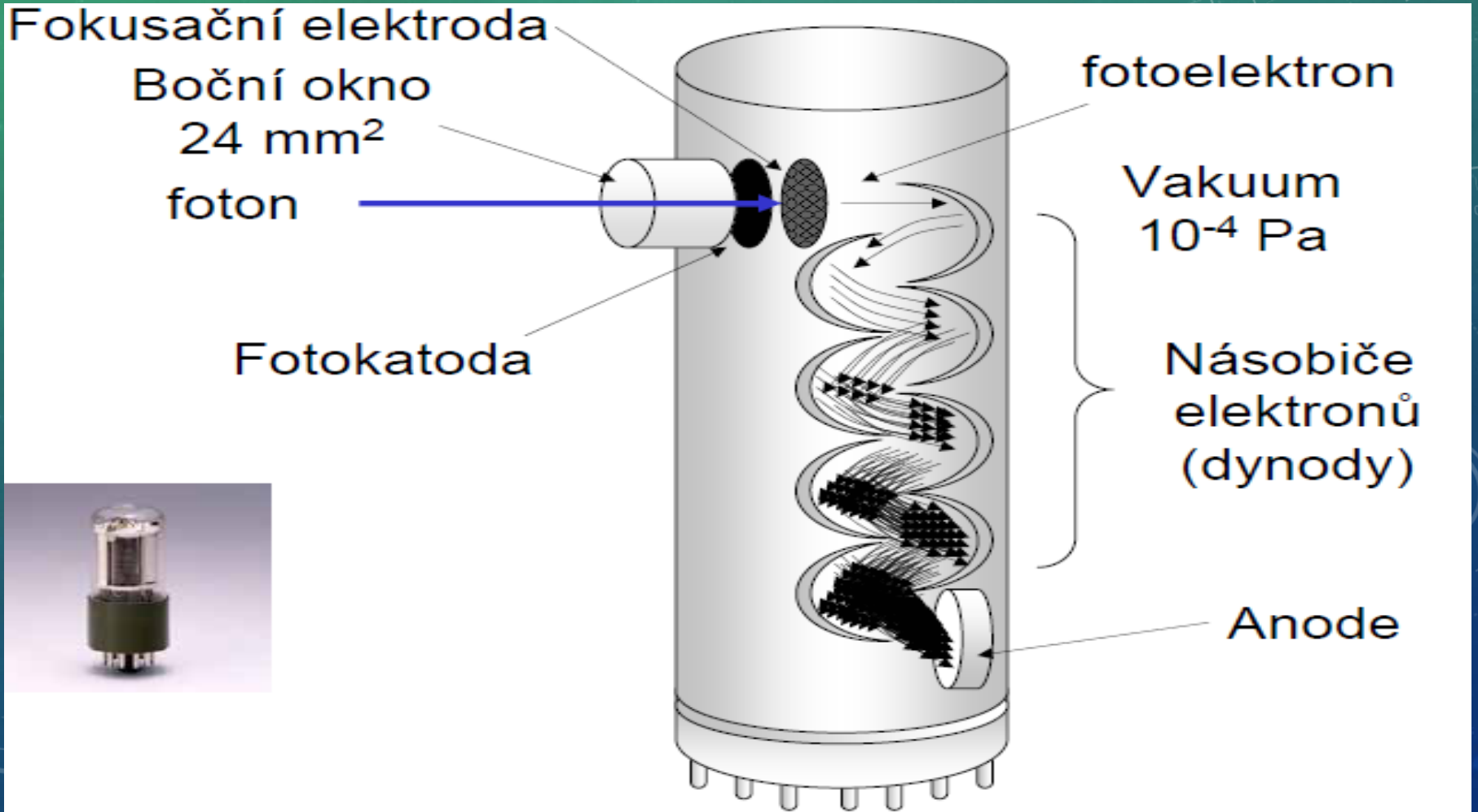


## 5c) FOTONÁSOCIČ

- Elektrony z fotokatody jsou postupně přitahovány k sérii dynod, na které je vloženo postupně se zvyšující napětí
- Když elektron narazí na dynodu uvolní z ní mnohem více elektronů, které jsou přitahovány k další dynodě
- Obsahuje až 10 dynod, z nichž každá následující má až o 50 V vyšší napětí
- Toto vnitřní zesílení signálu umožňuje převést i velmi slabé světelné záření na měřitelné hodnoty elektrického proudu

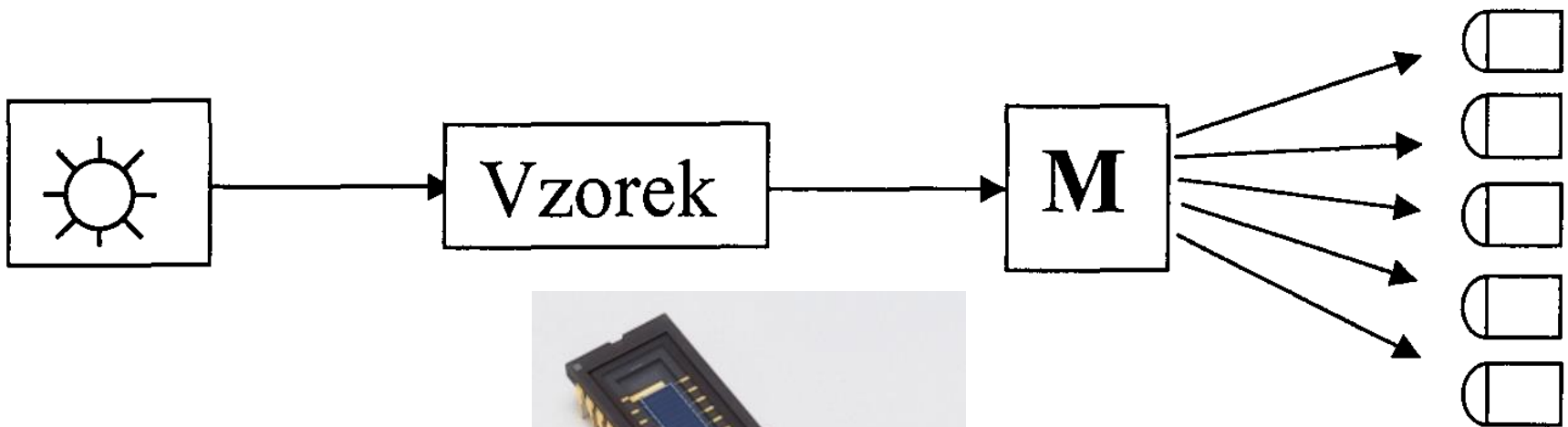


# 5c) FOTONÁSOCIČ



## 5d) DETEKTOR S DIODOVÝM POLEM

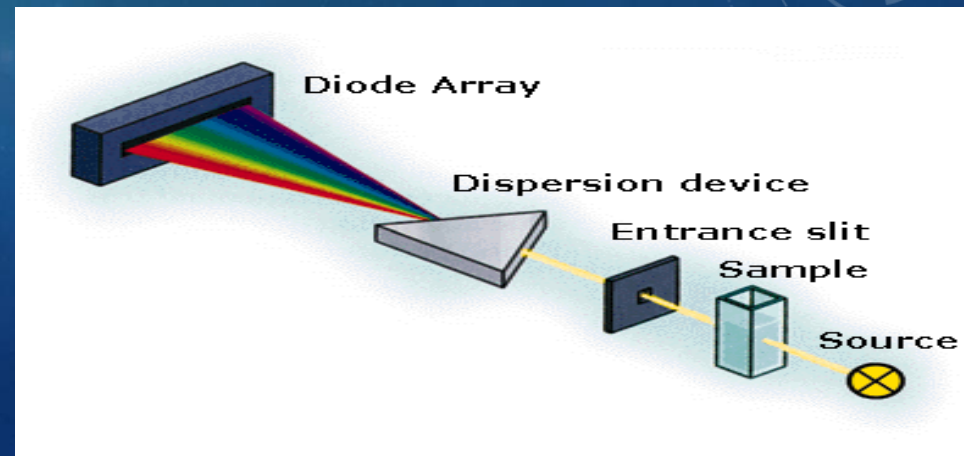
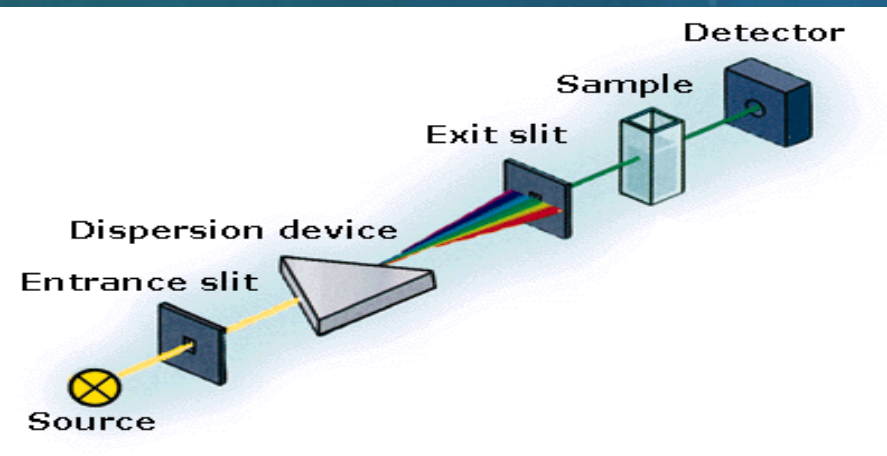
- Je tvořen velkým množstvím miniaturních fotodiod na malé ploše destičky, na kterou dopadá světelné záření po průchodu absorpčním prostředím a následně je rozložené monochromátorem na jednotlivé vlnové délky



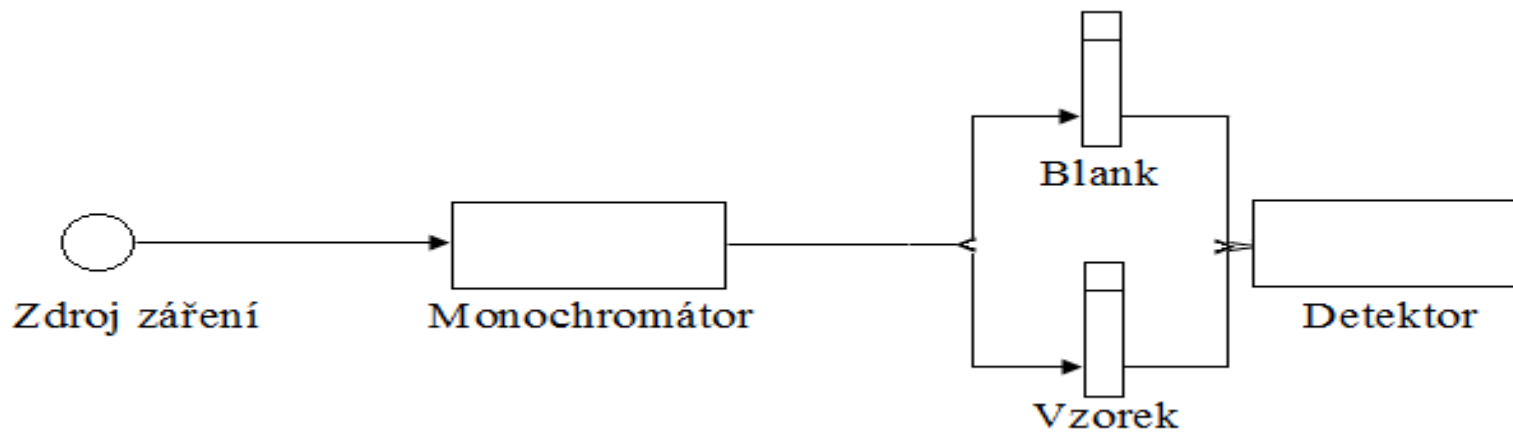
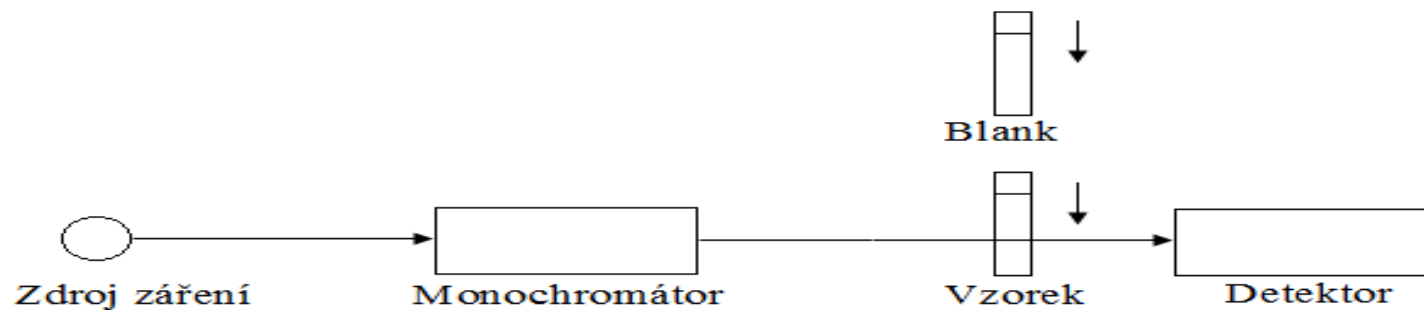


## 5d) DETEKTOR S DIODOVÝM POLEM

- Rozdíl oproti klasickému spektrofotometru – monochromátor je umístěn až za kyvetou se vzorkem
- Použití : v HPLC (UV/VIS detektor), automatické biochemické analyzátoary
- Usnadňuje tzv. bichromatické měření absorbance



# jednopaprkový (A) x dvouprvrkový spektrofotometr (B)



# KONTROLA KVALITY SPEKTROFOTOMETRU

## A) Linearita spektrofotometru – schopnost vykazovat lineární odezvu

- měření postupně řaděného roztoku o známé koncentraci
- Výsledkem je přímkový graf závislosti  $A$  (osa  $y$ ) na  $c$  (osa  $x$ )
- Měření se provádí při  $\lambda$  - 257, 341, a 630 nm

# KONTROLA KVALITY SPEKTROFOTOMETRU

## B) Rozptýlené světlo

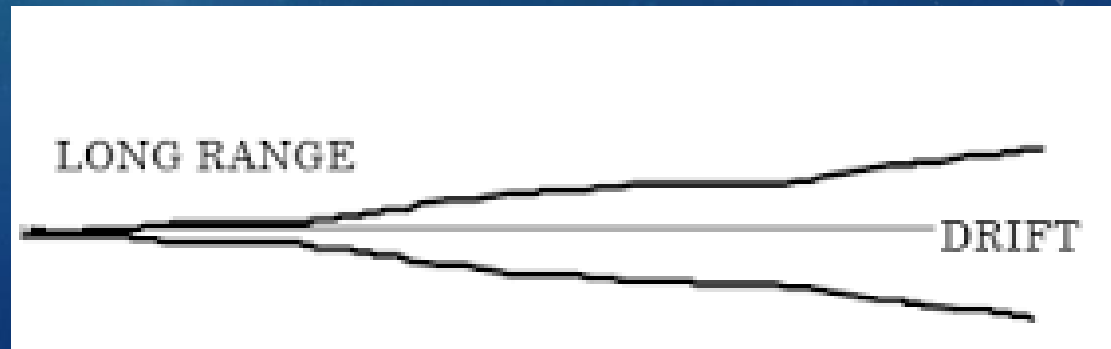
Světlo, které může dopadnout na detektor aniž by prošlo měřeným vzorkem (př. nedokonalé odstínění optického systému spektrofotometru)

- Ověřuje se vložení neprůsvitného bloku do nosiče kyvety a sledováním odezvy detektoru

## C) Drift signálu

Schopnost detektoru udržovat konstantní hodnotu

- Sledování nulové linie



# VERTIKÁLNÍ FOTOMETRIE

Spektrofotometrická metoda, s uspořádáním kdy světelný paprsek prochází optickým prostředím ve vertikálním směru

Využití : proměření absorbance v jamkách mikrotitračních destiček, které se používají hlavně pro imunochemická stanovení na principu ELISA (analýzy s navázaným enzymem za využití imunosorbce)



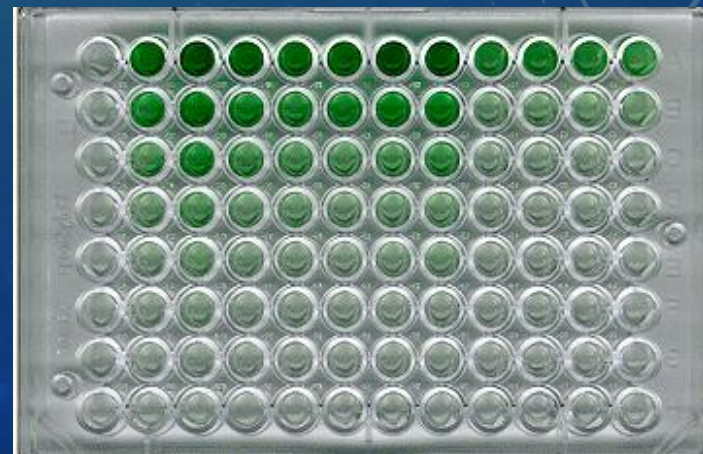


# VERTIKÁLNÍ FOTOMETRIE

Provádí se ve speciálních nádobkách uspořádaných do tzv. **mikrotitračních destiček**.

Každá destička obsahuje 96 jamek uspořádaných ve 12 řadách po 8 jamkách.

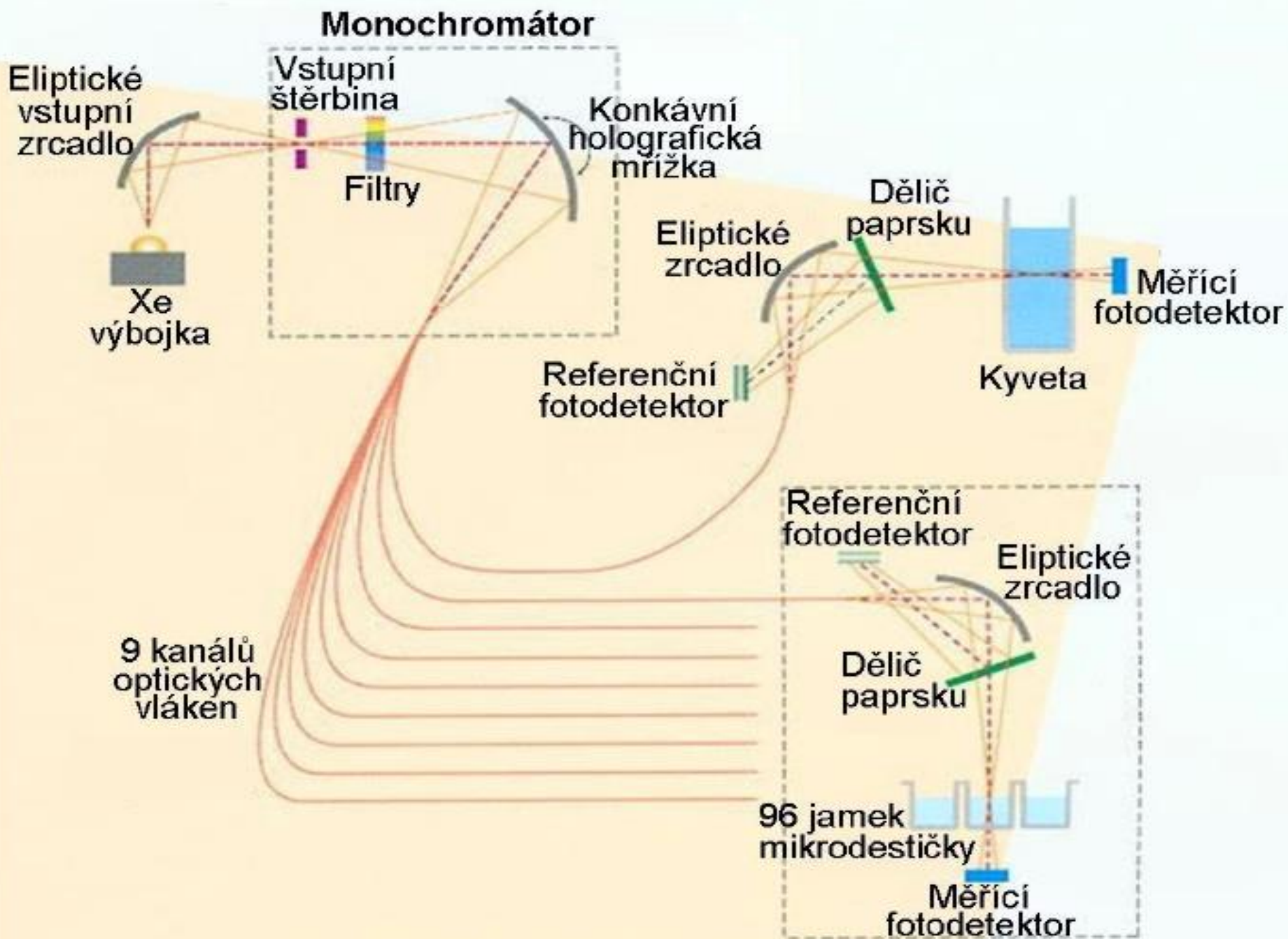
Pro měření výsledného produktu detekční reakce se používají **speciální vertikální spektrofotometry - ELISA readry mikrotitračních destiček**: je uspořádán tak, že světelný paprsek prochází optickým prostředím ve vertikálním směru.



# VERTIKÁLNÍ FOTOMETRIE

**Princip:** světelný paprsek ze zdroje prochází přes zvolený interferenční filtr (podle požadované vlnové délky) do optických kabelů,

- které zabezpečují distribuci do 9 oddělených kanálů: 8 z nich vedou přes jamky mikrotitrační destičky a dopadají na pole fotodiod, které detekují intenzitu světla.
- Devátý optický kabel je použit na kontrolu intenzity záření vycházejícího ze zdroje.
- Ve zlomku vteřiny se změří celá řada jamek (8), mikrotitrační destička se posune a může se měřit řada následující.





# VERTIKÁLNÍ FOTOMETRIE

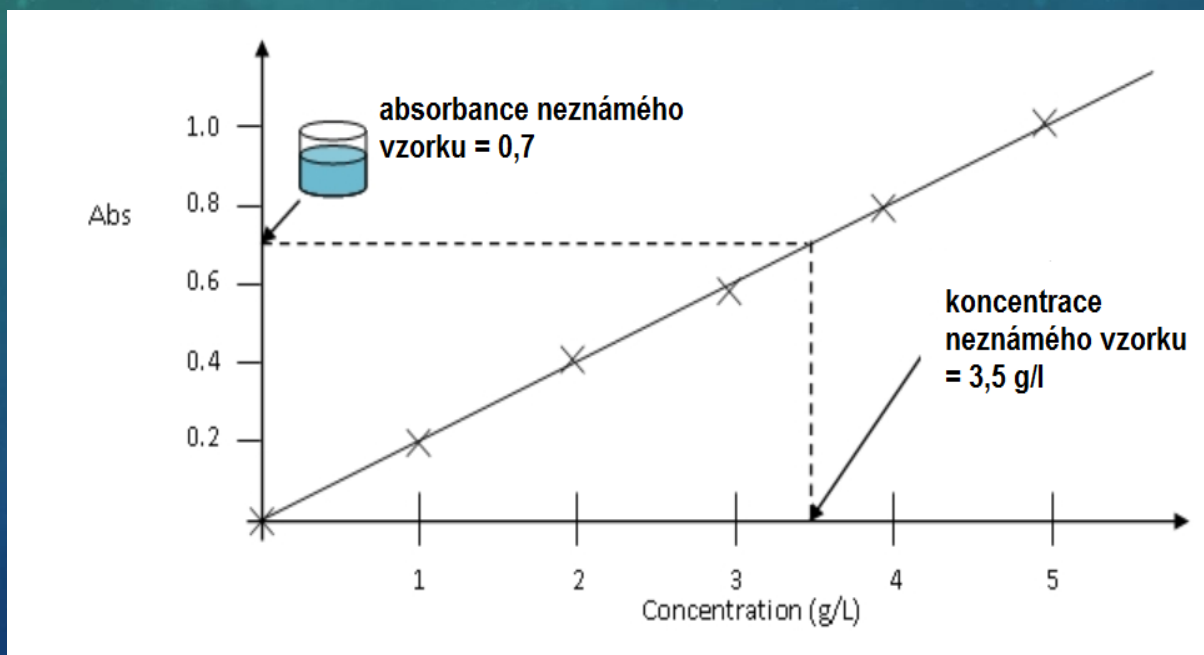
## Součásti vertikálního fotometru:

- zdroj záření: nejčastěji používá halogenová žárovka nebo xenonová výbojka.
- Interferenční filtry: jsou umístěny v posuvném držáku filtrů, obvykle se používá 6 filtrů (pro  $\lambda$  400-800 nm).
- Optický systém: se skládá 9 optických kabelů (světlovodiče), štěrbin a zrcadel pro vedení světelného paprsku ze zdroje do optického prostředí (jamka mikrotitrační destičky).
- Detektor: používají se fotodiody.

Rychlost měření je 5s (celá mikrotitrační destička - 96 jamek).

# VERTIKÁLNÍ FOTOMETRIE

- Vztah mezi změřeným signálem (absorpcí) a koncentrací se určuje **kalibrací**. Obvykle se změří absorbance **6-ti standardních roztoků** o známé vzrůstající koncentraci a blank (slepý pokus, obsahuje vše kromě stanovované látky) při určité vlnové délce.





# VERTIKÁLNÍ FOTOMETRIE

- Při ELISA metodě se vyžaduje měření všech vzorků v duplikátech.
- Poté software přístroje sestrojí kalibrační křivku (naměřené hodnoty absorbance standardů na ose y, hodnoty koncentrace na ose x), ze které odečte hodnoty koncentrací neznámých vzorků
- Při vertikální fotometrii závisí dosažené výsledky měření pouze na přesnosti pipetování kalibrátorů, kontrolních materiálů a vzorků.

The background features a green-to-blue gradient with technical diagrams. On the left, a large circular scale is visible with numerical markings from 150 to 260. Several circular diagrams with arrows and dashed lines are scattered across the background, suggesting a scientific or technical context.

# **TURBIDIMETRIE, NEFELOMETRIE**

# TURBIDIMETRIE A NEFELOMETRIE

Patří mezi běžné analytické optické metody

- v klinické biochemii se používají k stanovení velké skupiny bílkovin – tzv. „specifických proteinů“
- využívají rozptylu světla na heterogenních částicích v koloidních roztocích a mikrosuspenzích

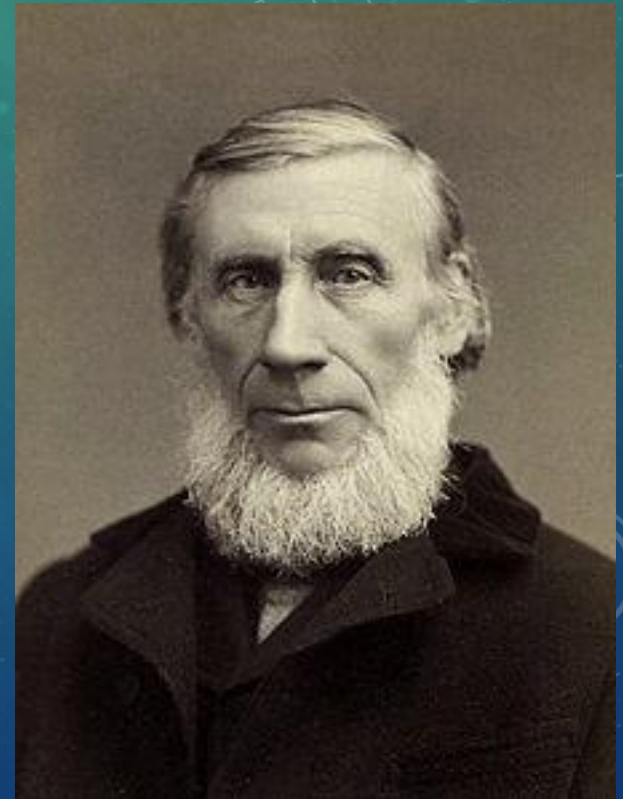
# TURBIDIMETRIE A NEFELOMETRIE

## Princip

### Tyndallův jev:

*„Rozptýlené záření na částicích má stejnou vlnovou délku jako záření dopadající na koloidní částice“.*

Rozptýlené světlo vychází z roztoku všemi směry.



John Tyndall, fyzik, 19 st.



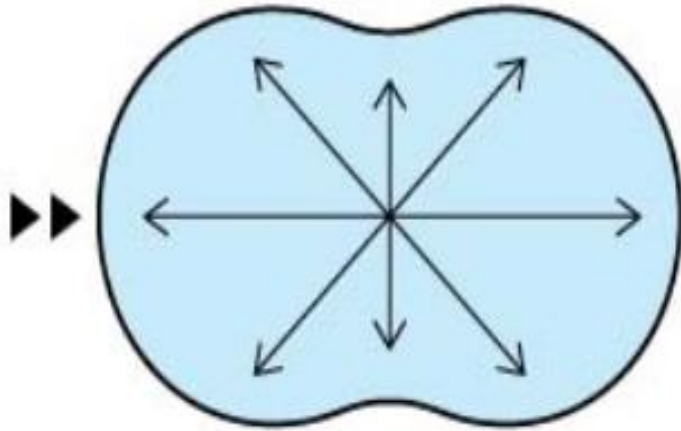
# TURBIDIMETRIE A NEFELOMETRIE

## Tyndallův jev - dokonalý difúzní rozptyl

- platí pro částice které mají velikost menší než  $1/10$  (př. IgG-20nm) vlnové délky dopadajícího záření
- U částice o velikosti větší  $1/10 - 1$  (400-1400nm) násobek vlnové délky dopadajícího světelného záření je maximum rozptýleného světla směřováno dopředu a málo dozadu vzhledem k dopadajícímu záření – *eliptický rozptyl*

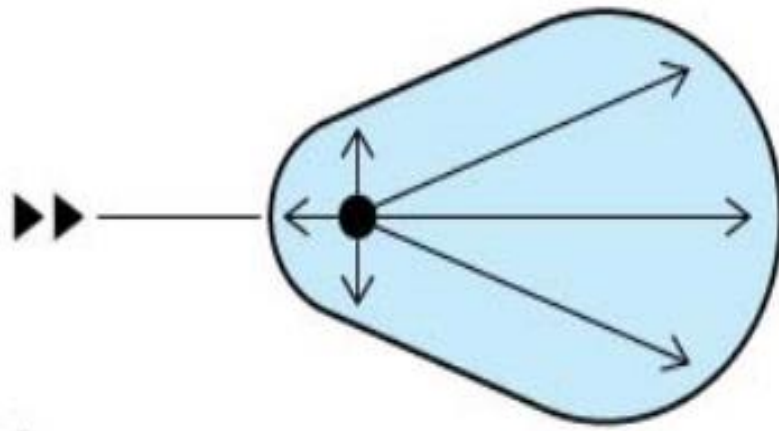


$(d \ll \lambda)$



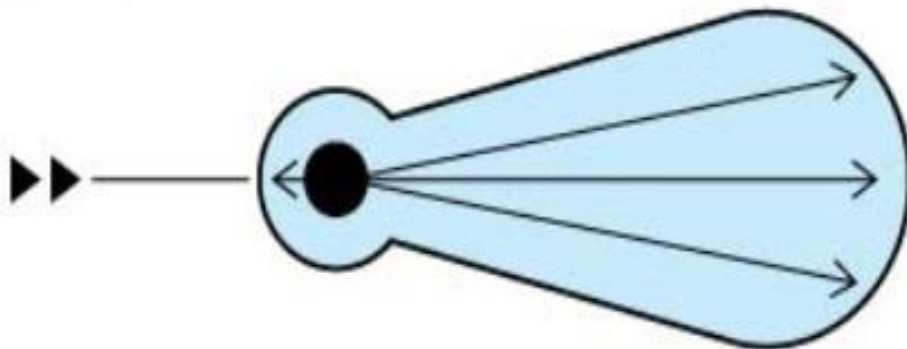
a

$(d \leq \lambda)$



b

$(d > \lambda)$



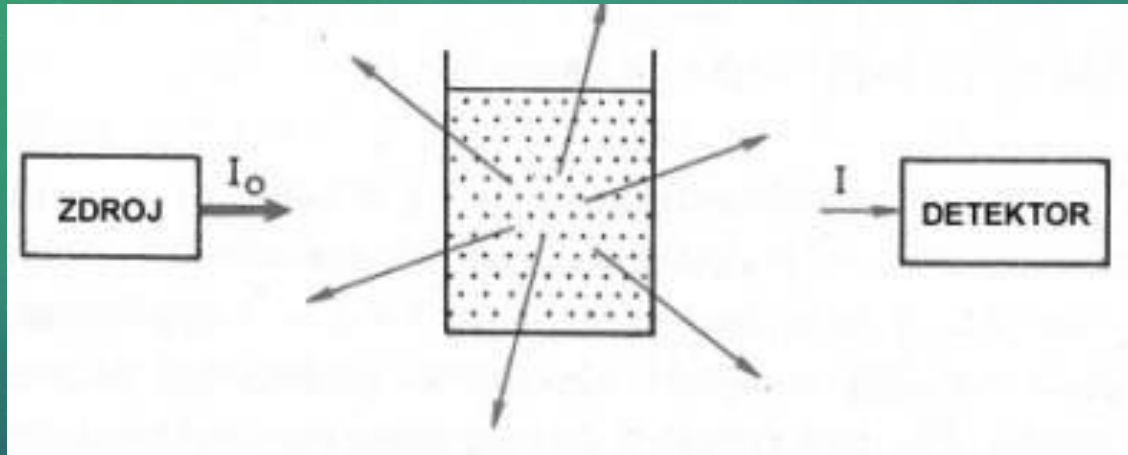
c

- ▶▶ = Incoming light beam
- = Direction and intensity of the scattered light
- $d$  = Particle diameter
- $\lambda$  = Wavelength

# TURBIDIMETRIE

- Princip je založen na měření procházejícího **světla zeslabeného rozptylem** na částicích při průchodu světelného záření prostředím s velkými molekulami (bílkoviny)
- sleduje **pokles intenzity záření** procházející rozptylující vrstvou
- Na částicích dochází k rozptylu záření a částečně i jeho absorpci
- Závislost turbidance na koncentraci analytu je nelineární

# TURBIDIMETRIE

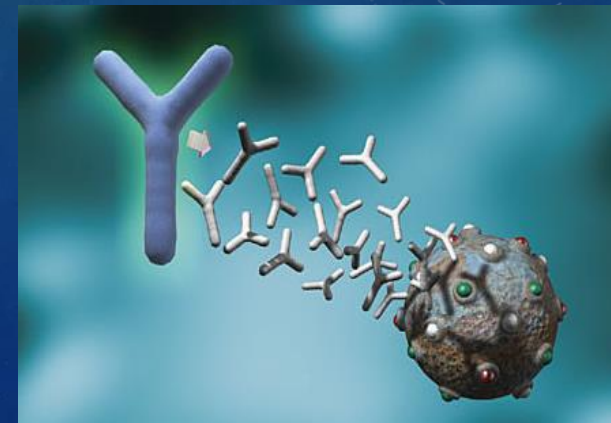


- K turbidimetrickému měření zákalu se využívají **absorpční fotometry a spektrofotometry** - jednoúčelové turbidimetry se dnes v klinické biochemii nevyžívají
- měření se provádí v přímém směru, v ose světelného paprsku



# TURBIDIMETRIE

- měření stupně zákalu - **turbidity**
- využívají se **precipitační reakce mezi antigenem a protilátkou**
- **ochranné koloidy** - nejčastěji polyetylenglykol, nutno získat dostatečně stálou suspenzi měřené reakční směsi

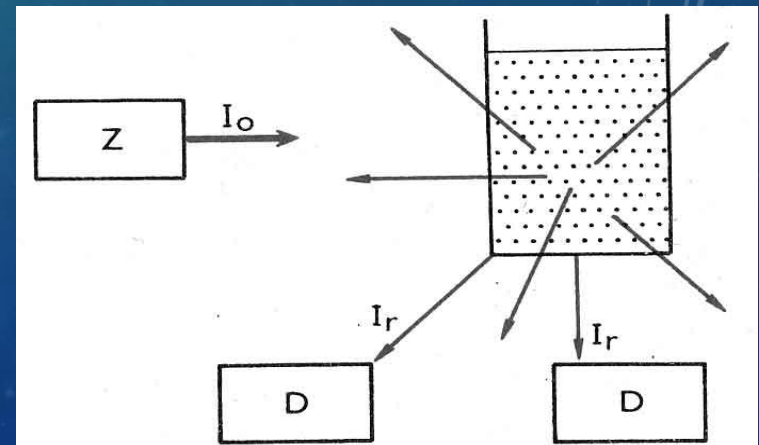


# TURBIDIMETRIE

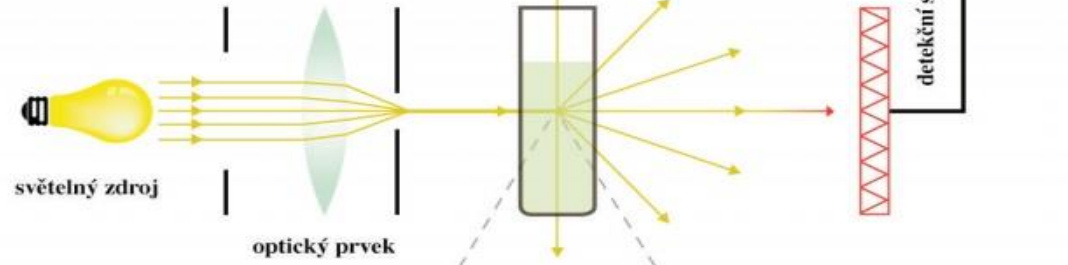
- Na biochemických analyzátoch dosahujú turbidimetrické metódy reprodukovateľnosť asi 5%
- Je treba znížiť vliv interferujících látek na minimum – jakýkoliv vliv, který způsobí vznik částic odlišné velikosti (koncentrace činidel, teplota)
- Hemolýza a ikterus ruší méně než při nefelometrii

# NEFELOMETRIE

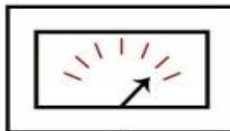
- zabývá se měřením intenzity difúzně rozptýleného světla na částicích
- Pro tyto účely slouží buď nefelometrický nástavec k fotometru, u nichž se difúzně rozptýlené světlo sleduje pod úhlem  $90^\circ$ , nebo jsou vyvinuty speciální přístroje - nefelometry



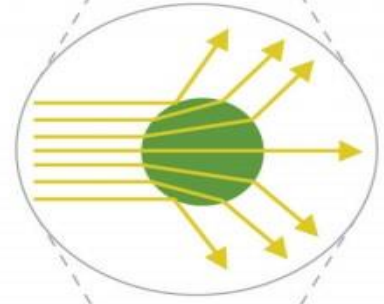
### Princip turbidimetrie



kyveta s měřeným roztokem

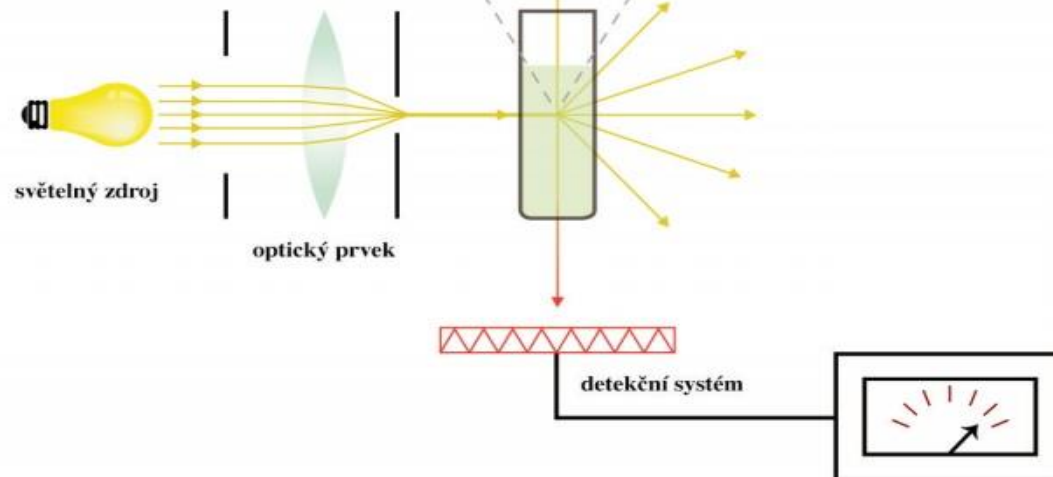


detekční systém



rozptyl paprsků na částici

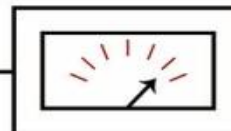
### Princip nefelometrie



optický prvek



detekční systém





# NEFELOMETRIE

## Rozdělení

dle použitého zdroje záření:

1. Laserový nefelometr
2. Konvenční nefelometry

# 1) LASEROVÝ NEFELOMETR

## Helium neonový nebo argonový laser

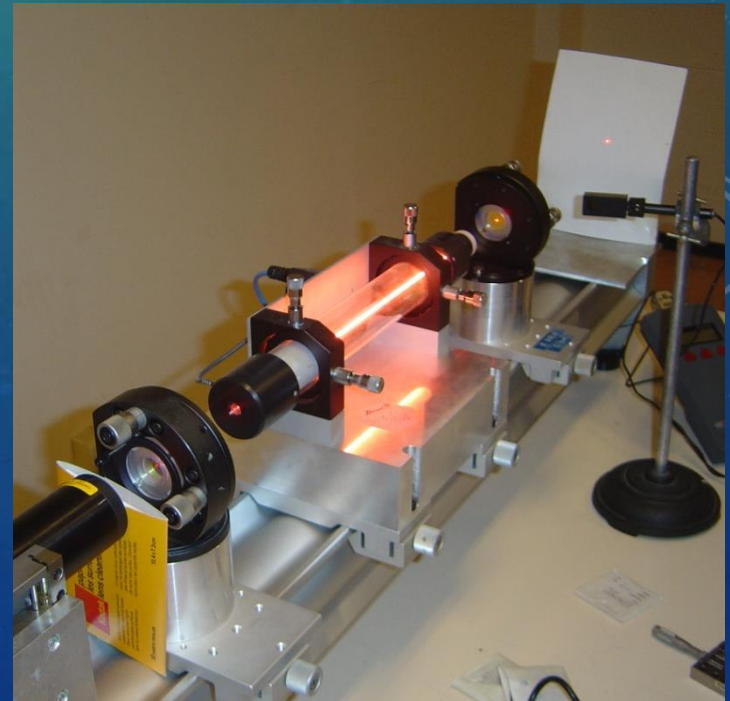
- Tento zdroj monochromatického světla je mimořádně intenzivní a má vysoký stupeň směrovosti paprsku
- Rozptýlené světlo se sleduje detektorem nastaveným pod úhlem 5 až 90° (fotonkou nebo fotonásobičem)

# 1) LASEROVÝ NEFELOMETR

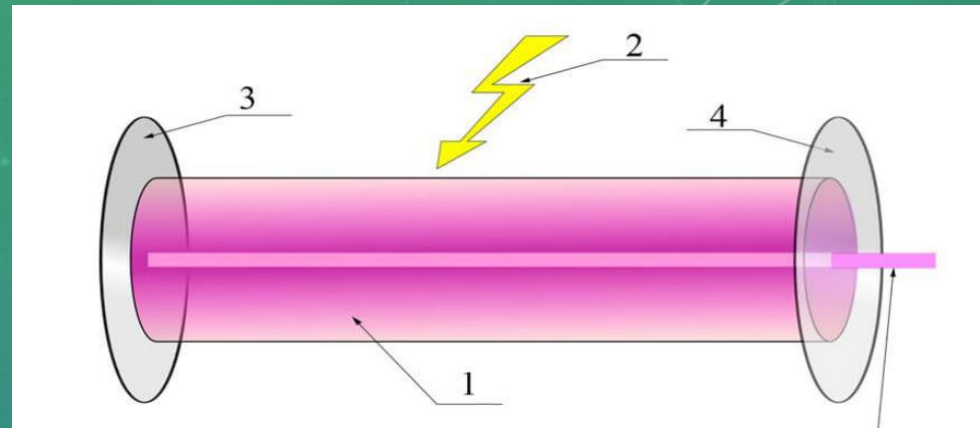
**LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation = zesilování světla pomocí stimulované (vynucené) emise záření**

**Hlavní součásti laseru :**

- a) zdroj excitační energie
- b) aktivní prostředí
- c) rezonátor



# LASER



## Hlavní součásti laseru :

- a) zdroj excitační energie (2)** – budící zdroj působící elektrický výboj
- b) aktivní prostředí (1)** -tj. látka obsahující oddělené kvantové energetické hladiny elektronů – může se jednat o plyn (nebo směs plynů), krystaly, polovodiče
- c) rezonátor** – tvořen dvěma zrcadly (3,4):
  1. Koncové s odrazivostí 100%
  2. Výstupní s odrazivostí 99%, tzn. částečně propustné, umožňující vyzařování světelného paprsku



## 2) KONVENČNÍ NEFELOMETRY

### Konvenční nefelometry

- používají jako světelný zdroj žárovku nebo xenonovou výbojku
- Monochromátor - interferenční filtr.
- Detektor je nastaven pod úhlem 70 až 90°

## 2) XENONOVÁ OBLOUKOVÁ LAMPA

- Poskytuje intenzivní světelné záření pomocí elektrického oblouku
- Skládá se z oválné baňky vyrobené z křemenného skla ve které jsou proti sobě umístěné katoda a anoda v atmosféře xenonu
- Teplota elektrického oblouku se pohybuje okolo 6000 °C
- Produkuje vysoce energetické, spojité záření v UV oblasti

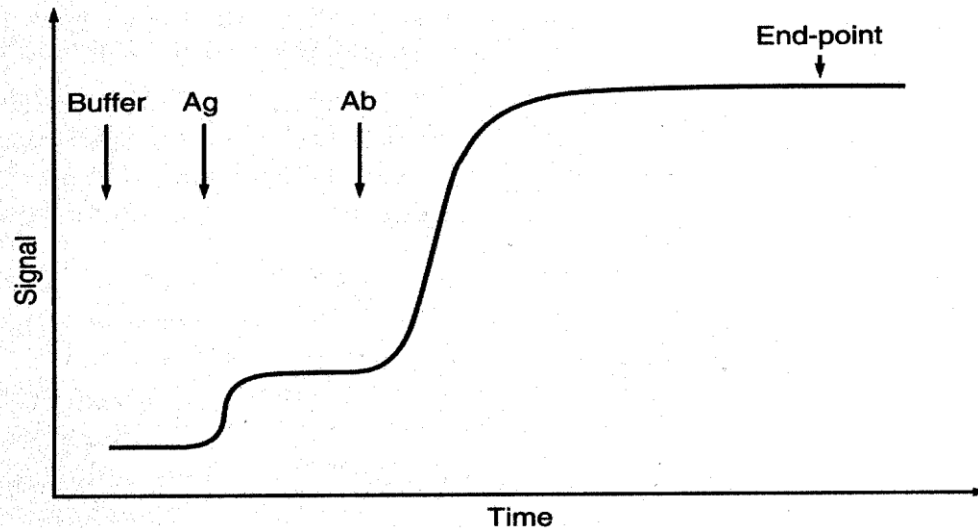


# NEFELOMETRIE

## Rozdělení podle typu měření:

1. **System měření v end point režimu**– po smíchání antigenu a protilátky proběhne měření po dosažení rovnovážného stavu - možnost falešně negativní koncentrace antigenu. Proto je nutné nastavení systému tak, aby měření probíhala v oblasti lineární části křivky

Měření v tomto režimu je o řád citlivější než turbidimetrie (0,1 mg/l)

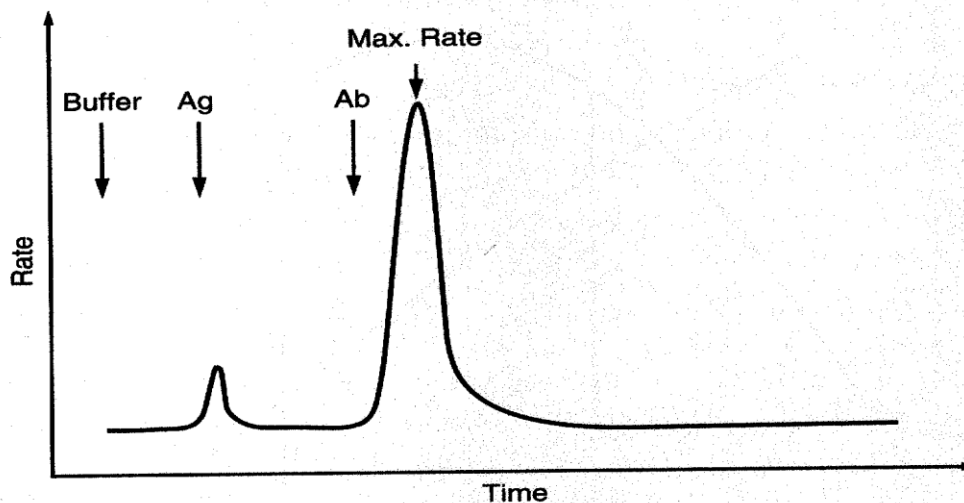


*Figure 3. Signal development as a function of time. The addition of buffer, antigen (Ag), and antibody (Ab) to the reaction cuvette is indicated by arrows.*

# NEFELOMETRIE

Rozdělení podle typu měření:

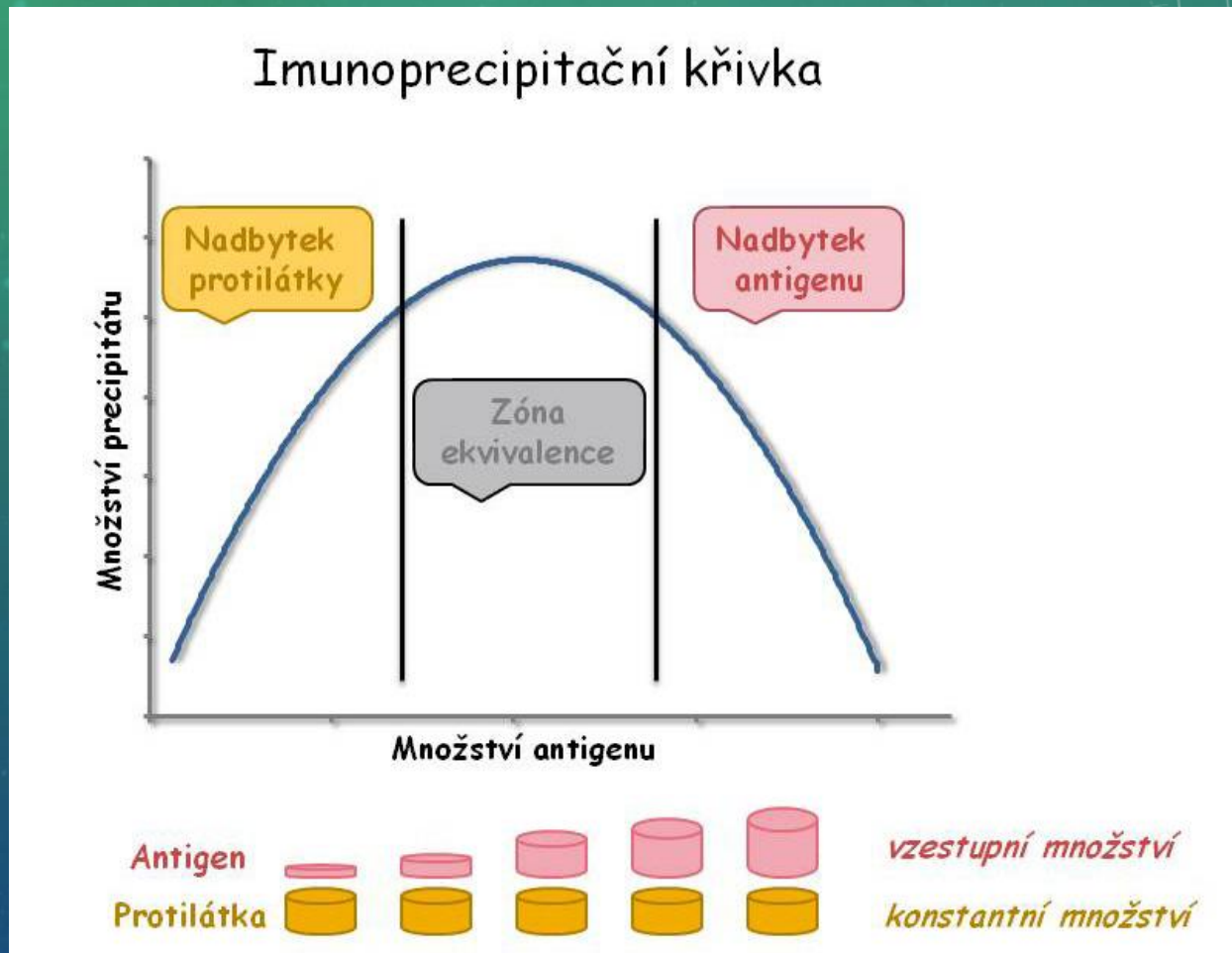
2. **Systém měření v kinetickém režimu** - reakce je rychlejší, měří se přírůstek vzniku precipitátu v pravidelných časových intervalech, po dosažení rovnovážného stavu (desítky vteřin) se měření ukončuje



*Figure 4. Reaction velocity (rate) as a function of time. The addition of buffer, antigen (Ag), and antibody (Ab) to the reaction cuvette is indicated by arrows.*



# PRŮBĚH IMUNOPRECIPITAČNÍ REAKCE



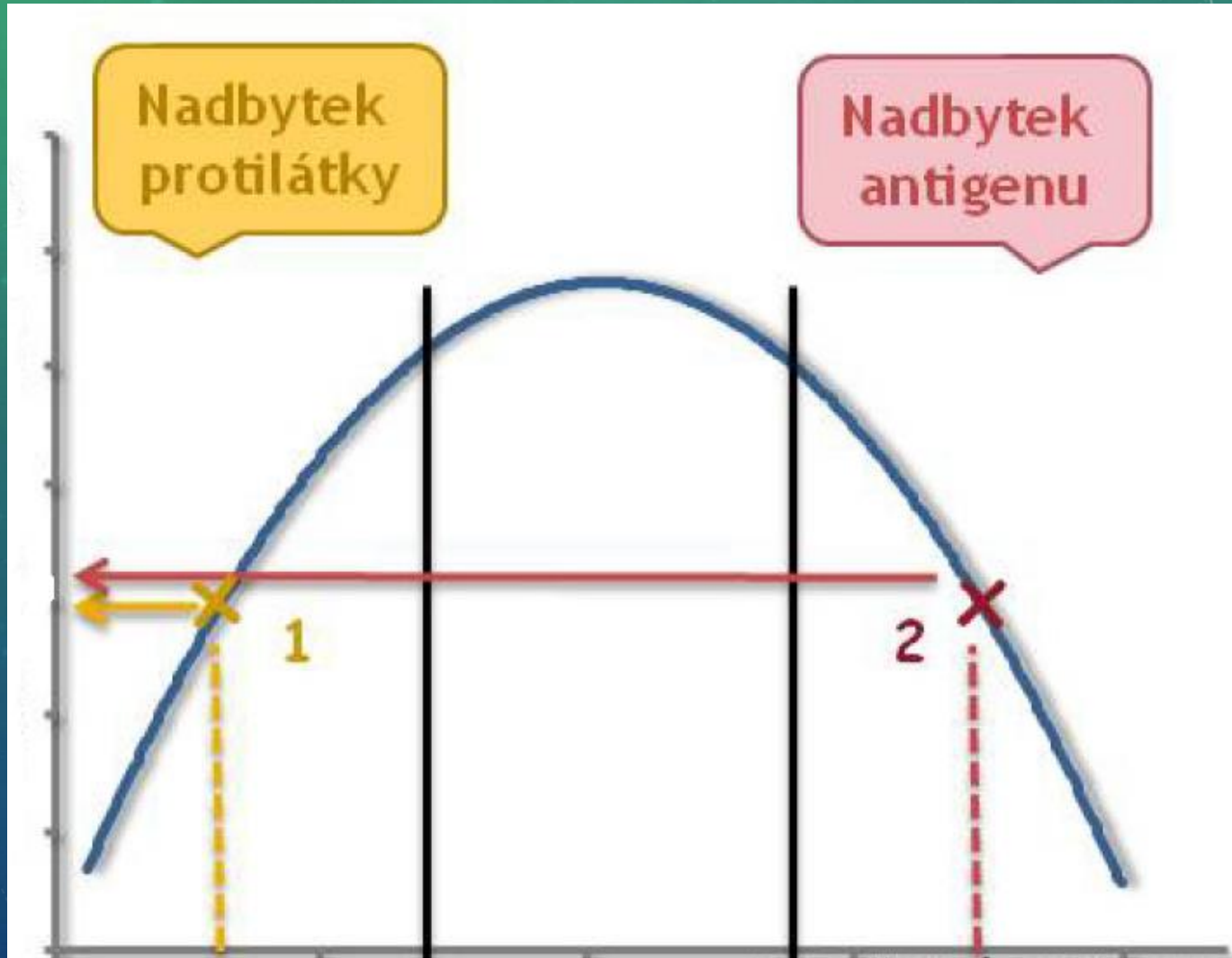
Heidelbergova-Kendalova křivka

# LIMITUJÍCÍ FAKTORY IMUNOCHEMICKÝCH STANOVENÍ

- Limitující faktor: precipitát se tvoří pouze při optimálním množství antigenu a protilátky, při nadbytku některé ze složek se precipitát začne rozpouštět.
- tzn. JEDNA HODNOTA KONCENTRACE PRECIPITÁTU TAK ODPOVÍDÁ DVĚMA KONCENTRACÍM ANTIGENU – možnost vydání falešně negativního výsledku

# IMUNOPRECIPITAČNÍ KŘIVKA PODLE HEIDELBERGA A KENDALLA

signál



koncentrace

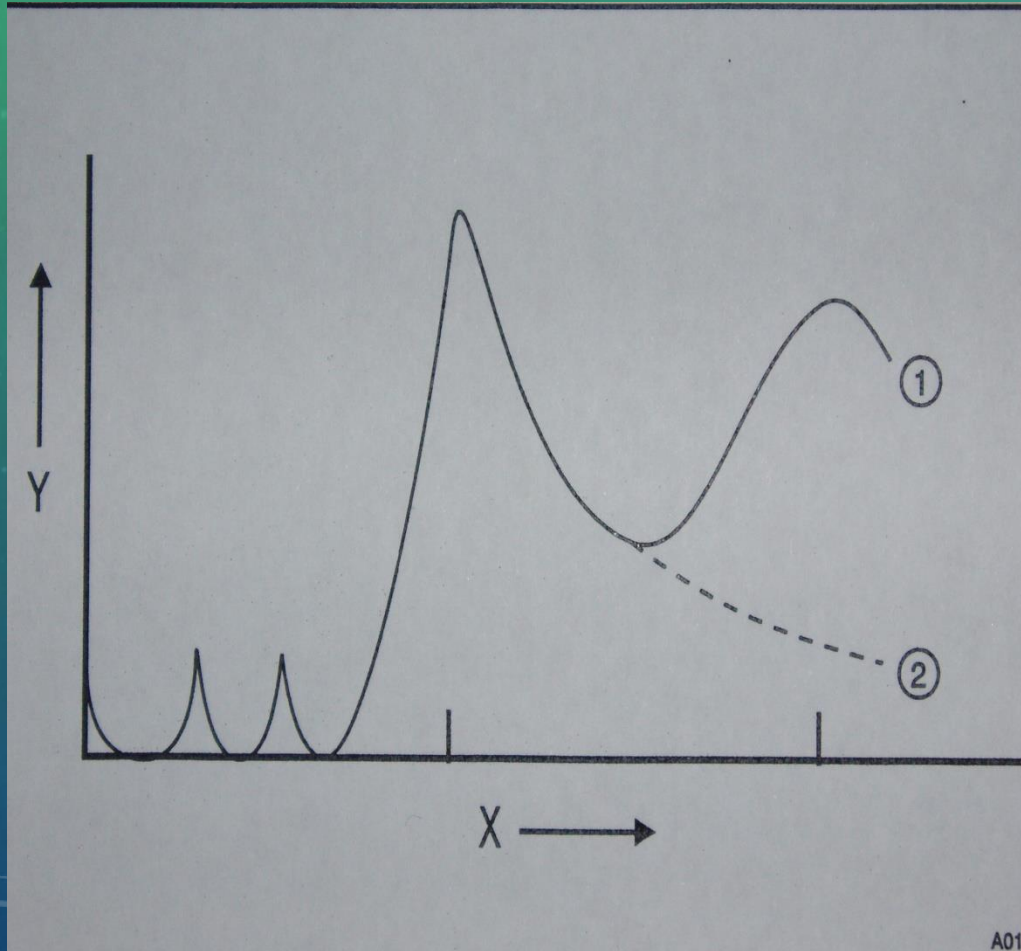
# DETEKCE NADBYTKU ANTIGENU

## Několik způsobů:

- Kontrola přidavkem naředěného antigenu po proběhnuté imunoprecipitační reakci – následuje automatické opakování analýzy s vyšším ředěním.
- Přídavek malého množství vzorku k činidlu před vlastní reakcí – je-li po krátké inkubaci překročen koncentrační práh zjištěný při kalibraci, vzorek se měří automaticky znovu při vyšším ředění
- Na začátku reakce vyhodnocena rychlost nárůstu signálu – při překročení nastavených parametrů je výsledek označen chybovým hlášením



# DETEKCE NADBYTKU ANTIGENU



1. V případě zachování nadbytku Ab dojde další tvorbě imunokomplexů a nárůstu intenzity rozptýleného světla
2. Pokud byla protilátka již spotřebována, nevede přidání dalšího antigenu k tvorbě imunokomplexů a na detektoru nezjistíme žádnou odezvu – reakce se automaticky opakuje při vyšším ředění

# IMUNOCHEMICKÝ SYSTÉM - IMAGE 800

- Analyzátor výrobce Beckman Coulter
- využívá turbidimetrického a nefelometrického principu
- Pracuje v kinetickém režimu - měří zvýšení intenzity světla rozptýleného částicemi v kyvetě v čase



# IMAGE 800 - REAGENČNÍ ČÁST

- Reagenční karusel pro 24 reag. kazet
- Teplota 15°C
- 4 lahvičky s pufry bez chlazení
- Reag. kazety značené čárovým kódem
- Otevřený systém
- Softwarová kapacita - 50 metod
- Kalibrační data - kal. křivka výrobce má 8 -12 bodů, provádí se pouze jednobodové ověření



# VZORKOVÁ ČÁST

- Vzorky ve zkumavkách s čár. kódem
- Vzorkový karusel pro 8 stojáneků po 9 vzorcích ředící roztoky pro vzorky ředící segmenty pro ředění vzorků
- Kapacita: 180 testů za hodinu, v sérii lze provést 12 metod





# REAKČNÍ ČÁST

- Reakční karusel – 39 reak. plastových kyvet,  
1 referenční – známá hodnoty rozptylu,  
nastavení optického systému
- Teplota 37°C
- Optika – zdroje záření, detektory

# TURBIDIMETRIE

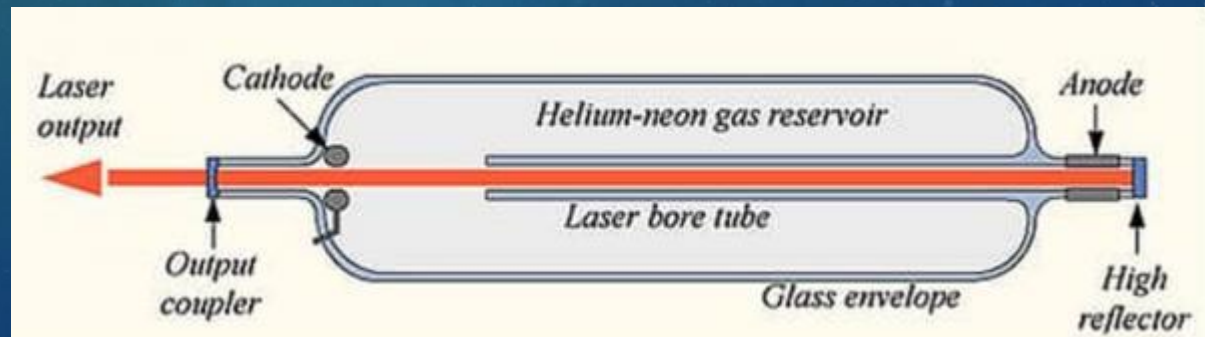
- měření stupně zákalu (turbidity) – v důsledku imunoprecipitační reakce
- Měří se snížení intenzity světla při průchodu roztokem částic v kyvetě v důsledku rozptylu světla
- Immage pracuje v kinetickém režimu – hodnotí rychlost nárůstu zákalu v čase
- NIPIA= imunoanalýza na částicích v blízké infračervené oblasti

# TURBIDIMETRIE

- Zdroj pro NIPIA: světlo emitující dioda – poskytuje monochromatické záření  $\lambda = 940 \text{ nm}$
- Detekce záření: v přímém směru, v ose světelného paprsku zdroje v blízké IR oblasti (940 nm)
- Vyžití: stanovení FLC (volných lehkých řetězců)

# NEFELOMETRIE

- Zdroj: helium-neonový laser – dává monochromatické záření o  $\lambda = 670 \text{ nm}$
- Detekce: detektor je umístěn v úhlu  $90^\circ$  ke směru laserového paprsku
- Využití: stanovení specifických proteinů v séru, v likvoru a moči





# ŘEŠENÍ PROBLÉMU S IMUNOPRECIPITAČNÍ KŘIVKOU

- Nutno provést taková opatření, aby nedošlo k omylu při odečítání vyšších koncentrací antigenu
- IMMAGE : detekce nadbytku antigenu pomocí přidavku dalšího antigenu po ukončení reakce

<b>Jestliže nenavázaná protilátka ...</b>	<b>Přídavek dalšího antigenu bude mít za následek...</b>	<b>System IMAGE...</b>
Je přítomna	Zvýšení poměrové odezvy	Použije k výpočtu výsledku původní poměrovou odezvu
Není přítomna	Žádné zvýšení poměrové odezvy	Vzorek automaticky zopakuje s vyšším ředěním s testem na přebytek antigenu dokud nezíská správný výsledek

# AUTOMATIZOVANÝ NEFELOMETR BN PRO SPEC

- Výrobce: Siemens Healthineers
- Max. provozní rychlost 180 analýz za hod.
- Pracuje v režimu po vzorcích
- K dispozici je více než 60 metod
- Zdroj světla: LED dioda (840 nm)
- Detektor – křemíková fotodioda je umístěn pod úhlem 13-24 °

# AUTOMATIZOVANÝ NEFELOMETR BN PRO SPEC

- **Reagenční disk** je temperován na 8°C, v analyzátoru lze umístit 35 činidel
- **Reakční disk:** 60 polystyrénových kyvet pro opakované použití
- Měření probíhá při 37 °C
- Délka inkubace je 6-12 min.
- Vzorková část: lze umístit až 100 vzorků, umožňuje používat primární, sekundární zkumavky a kepy





# ANALYZÁTOR ATELLICA NEPH 630 SYSTEM

- Výrobce: Siemens Healthineers
- Více než 70 metod
- Rychlost analýzy 65 testů za hodinu
- Reagenční disk má kapacitu 90 kyvet
- Detektor umístěn pod úhlem 13 -24°



# NEFELOMETR ARRAY 360

- Výrobce: Beckman Coulter
- Měření v kinetickém režimu
- Rychlost 40-80 analýz za hod.
- Zdroj světla: halogenová žárovka (400-620 nm)
- Detektor: křemíková fotonka
- K dispozici asi 60 metod
- Nevýhoda: pracovní teplota pouze 26,7 °C, velký mrtvý objem, stabilita kalibrace pouze 14 dní



# NEFELOMETR - DELTA

- Výrobce firma Radim
- Zdroj světla laser (670 nm)
- K dispozici 100 metod
- Rychlost 150 analýz za hod. (startovací čas 30 min., ukončovací čas 15 min. !)
- Reagenční část: 54 pozic pro reagenty, chlazená
- Reakční část: 120 omyvatelných kyvet, temperovaných na 37 °C
- Vzorová část: pro 80 vzorků



# TURBOX PLUS

- Jednoduchý manuální nefelometr
- Výrobce: ORION Diagnostica
- Lze měřit až 100 vzorků za hodinu
- Zdroj světla je LED dioda (635 nm)
- Detektor: 2 fotodiody
- Tovární kalibrace je na magnetické kartě





The background features a gradient from light green at the top to dark blue at the bottom. It is decorated with various geometric elements: a large circular scale on the left with numerical markings from 150 to 260; several smaller circles and arcs, some with arrows indicating direction; and a dotted line with an arrow pointing towards the top right. The overall aesthetic is clean and technical.

**DĚKUJI ZA POZORNOST**