

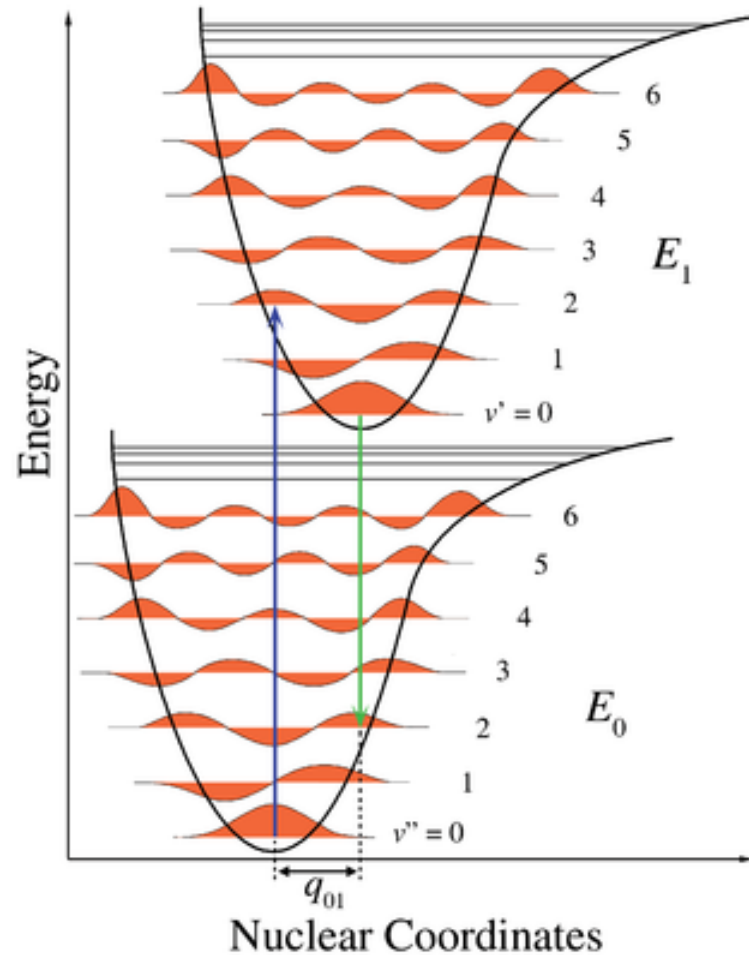
Elektronová spektra molekul

Petr Zbořil

Elektronová spektra molekul

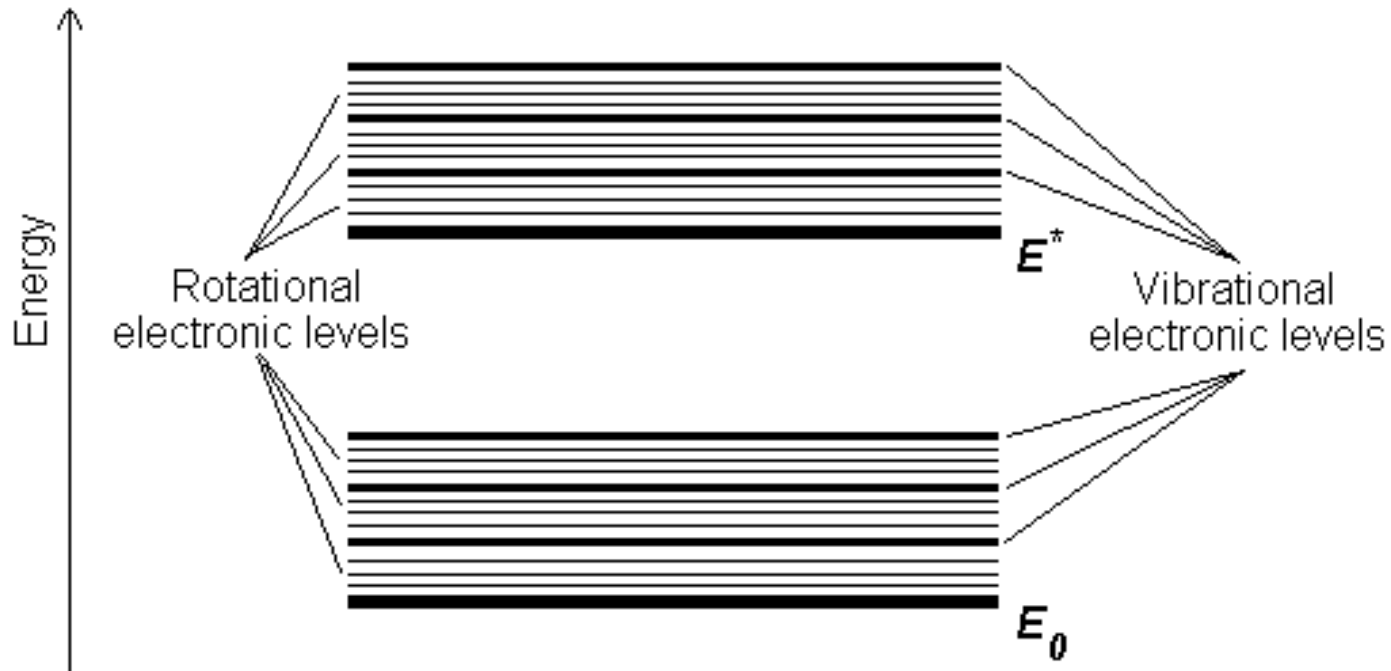
Velké množství
možných přechodů

Franck-Condonův
princip



Jablonskiho diagramy

Příspěvky vibrací a rotací v molekule

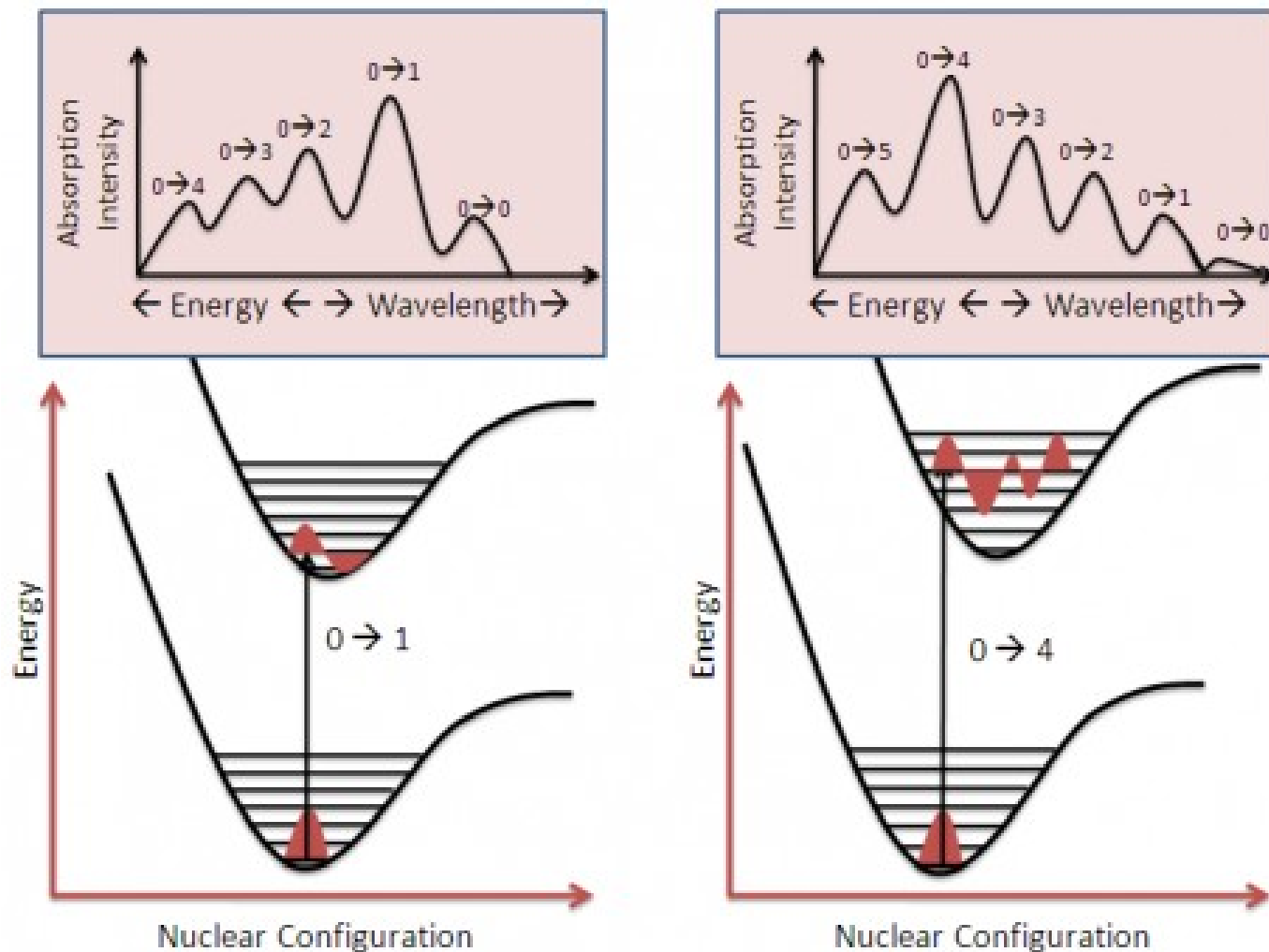


Resonanční podmínka

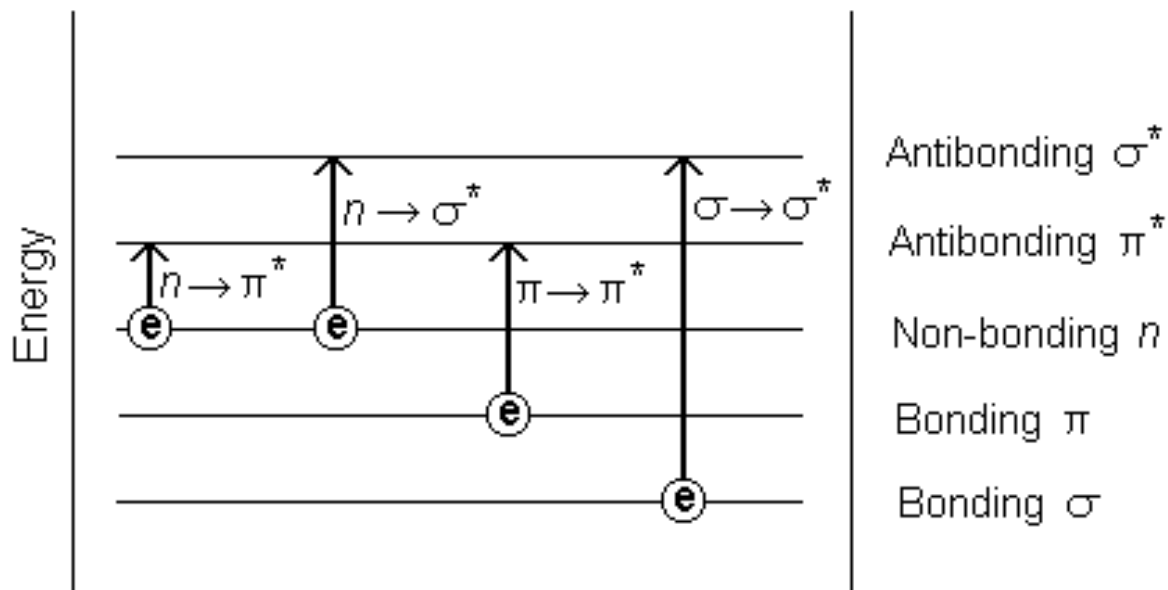
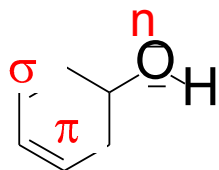
$$\Delta E = h\nu$$

$$\Delta E = \Delta E_{\text{el}} + \Delta E_{\text{vib}} + \Delta E_{\text{rot}}$$

Pásová spektra molekul



Energie a četnost přechodu

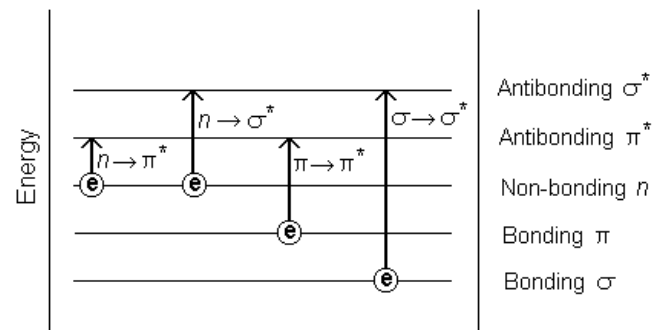


Posice pásu – $\Delta E = hc/\lambda$

Energie přechodů

$\sigma \rightarrow \sigma^*$ příklad C-H: vysoké energie, 125 nm

$n \rightarrow \sigma^*$ méně časté, energie 150 – 250 nm

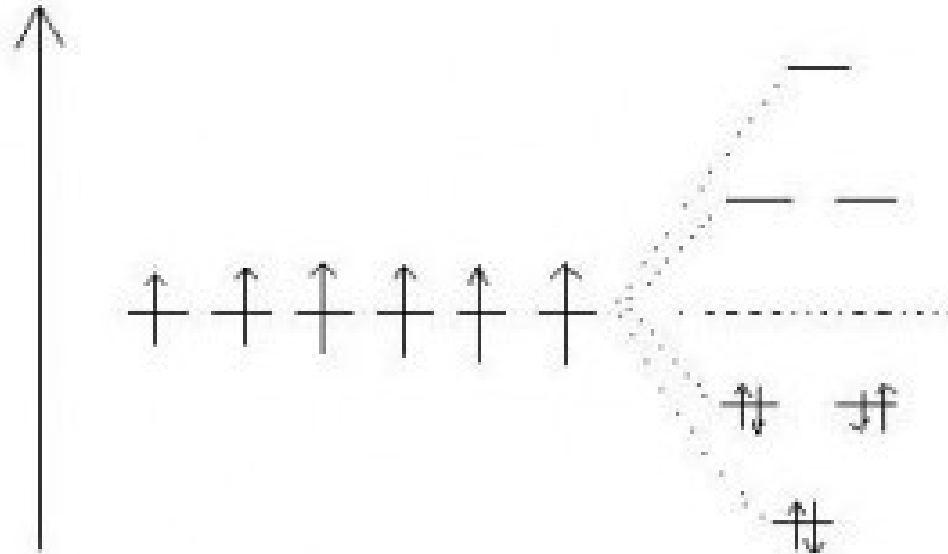


$n \rightarrow \pi^*$ nejobvyklejší případ 200 – 700 nm Mol.abs. koef. = 10 – 100 L.mol⁻¹cm⁻¹

$\pi \rightarrow \pi^*$ Mol. abs. Koef = 1000- 10⁴ L.mol⁻¹cm⁻¹

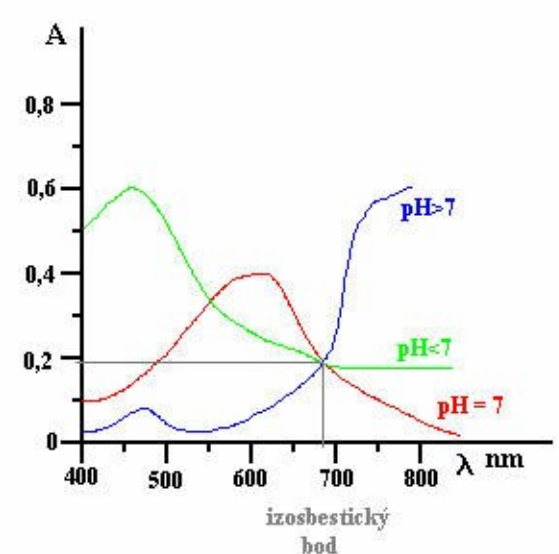
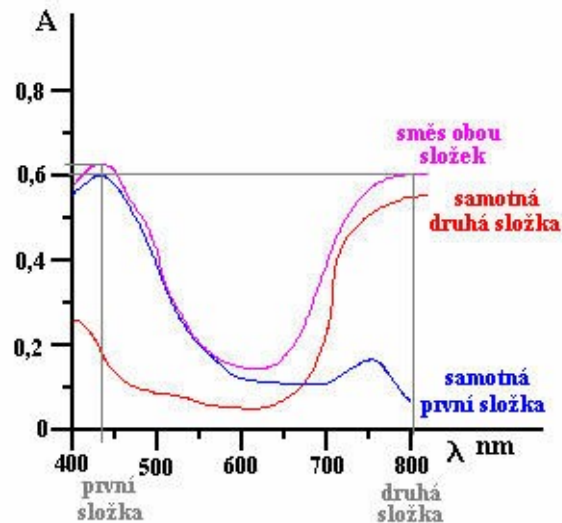
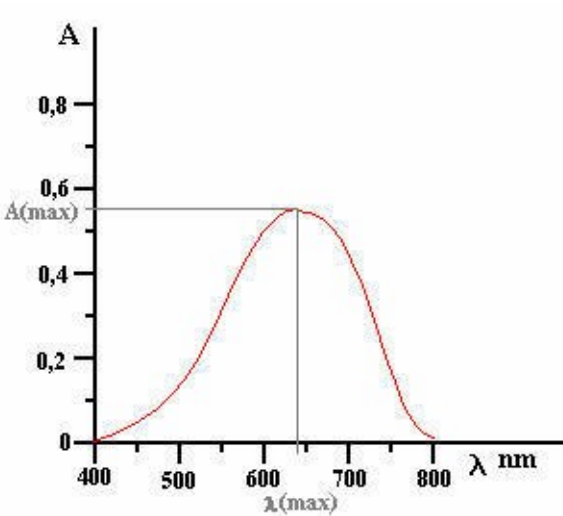
Charge transfer přechody – anorganické komplexy, interakce mezi elektron.
Donorem a akceptorem – vysoký Mol.abs. koeficient

Konjugované systémy – štěpení hladin



Gaussovský tvar absorpční křivky

Četnost přechodů – velikost absorpce \approx pravděpodobnost



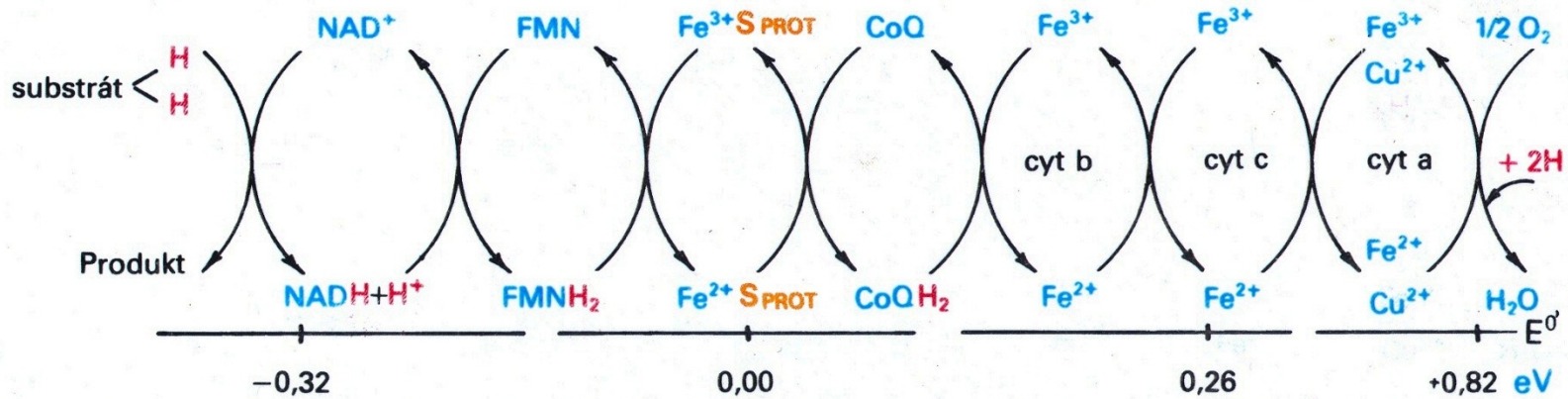
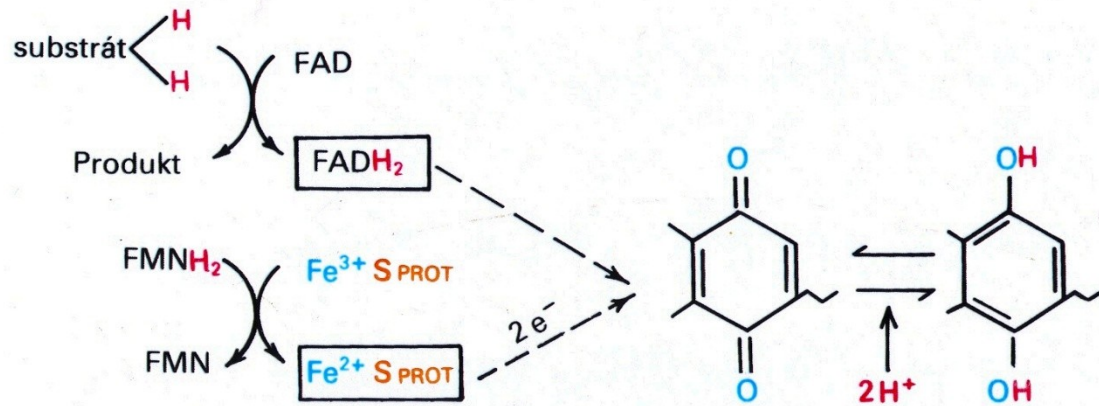
Biochemicky významné chromofory

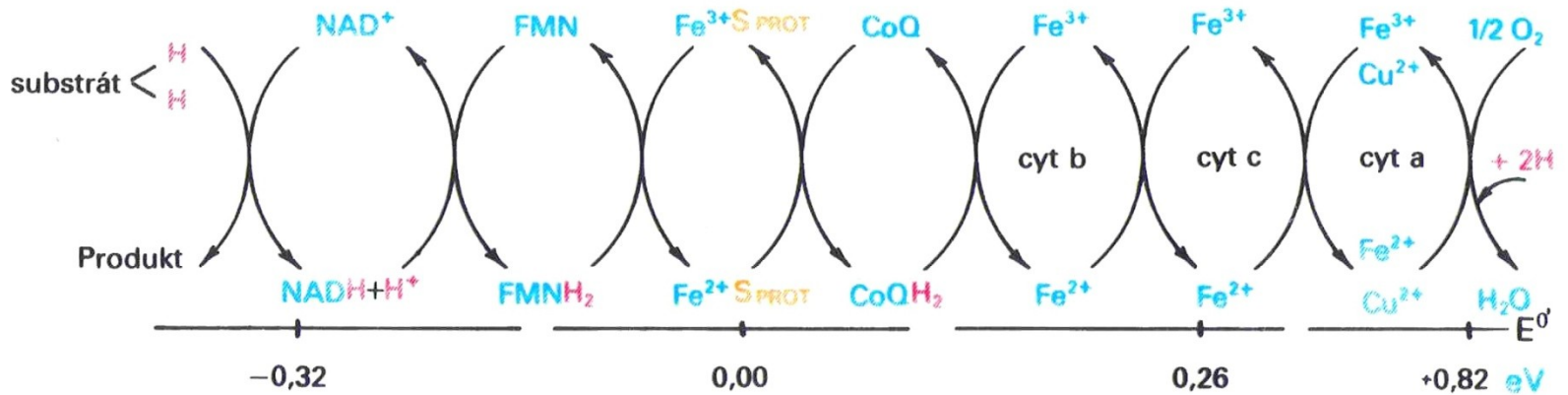
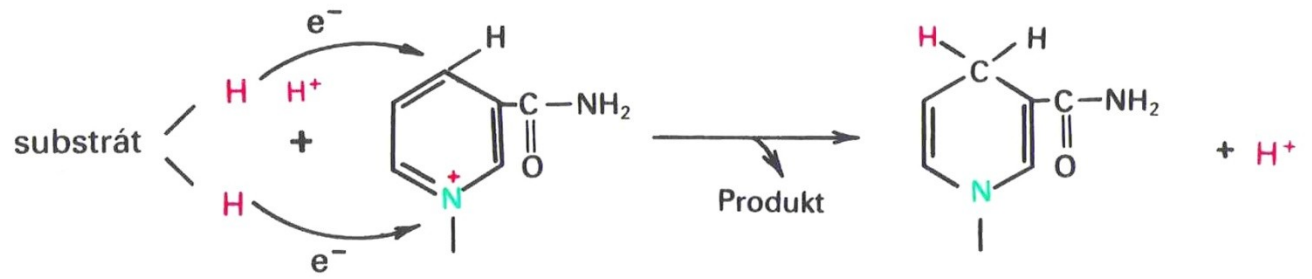
Významné chromofory v biochemii

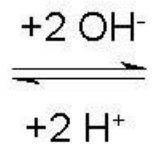
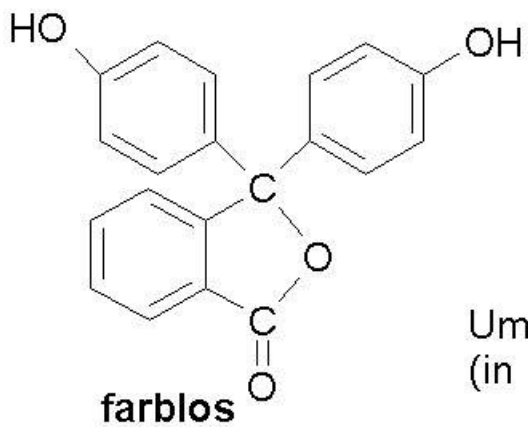
	Amax (nm)	mol.abs koef. (l/mol.cm)
-CONH-	225	400
-S ⁻	235	3280
-S-S-	250	500
-fenyl	206 261	8000 220
-hydroxyfenyl	222 270	8000 1450
-hydroxyfenolát	235 287	9300 2600
Indol	220 280	3400 5500
Imidazol	211	6000
Guanin	256	12200
Adenin	260	14900
Cytosin	267	6100
Thymin	265	7900
NADH	340	6220
Hem	410	12000
Retinyl	453	50000
FAD	450	14000
Cytochromy	500-600	
Chlorofyly	630-650	

Ovlivnění spekter

- Vnitřní vlivy – elektronová struktura
 - Oxidoredukce
 - Acidobazické děje
- Vnější vlivy
 - Interakce s prostředím – polarita, ionty







Umschlagpunkt: 8,2-10
(in pH-Einheiten)

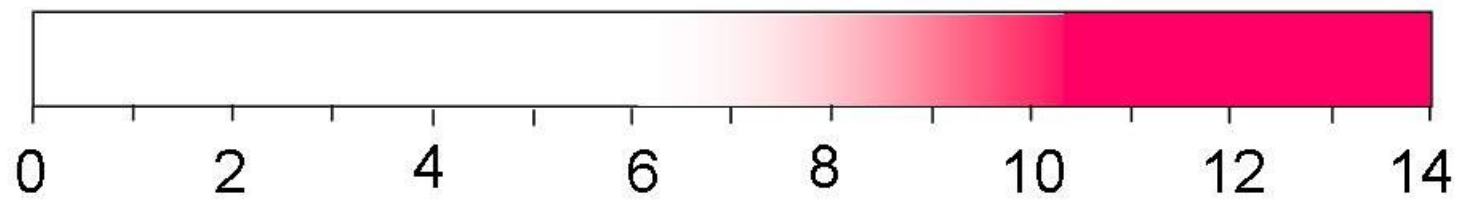
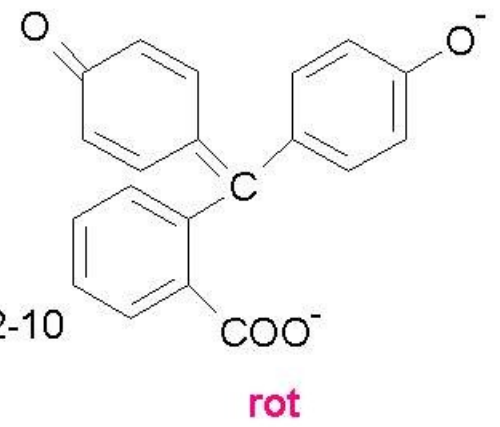


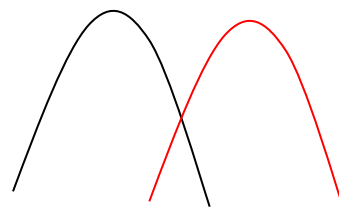
Abb.: Dissoziation von Phenolphthalein (pKs 9,4)

Vliv polarity na absorpční maximum

$\pi \rightarrow \pi^*$ červený posun

v polárním prostředí

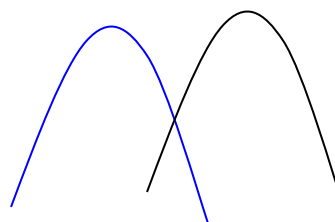
Zvýšená solvatace excitovaného stavu
snižuje jeho energii



$n \rightarrow \pi^*$ modrý posun

v polárním prostředí

Zvýšená solvatace n páru snižuje
energii n orbitalu



Význam spektrofotometrie

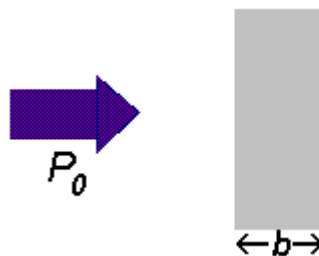
- Stanovení koncentrace látek
- Stanovení změn koncentrace v čase
- Kvantifikace

Φ – světelný tok

Φ a Φ_0 - prošlé a přicházející světlo
též I a I_0

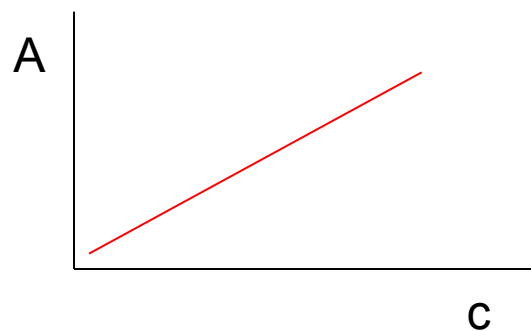
Lamber-Beerův zákon

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot b$$



Využití pro kvantitativní analýzu:

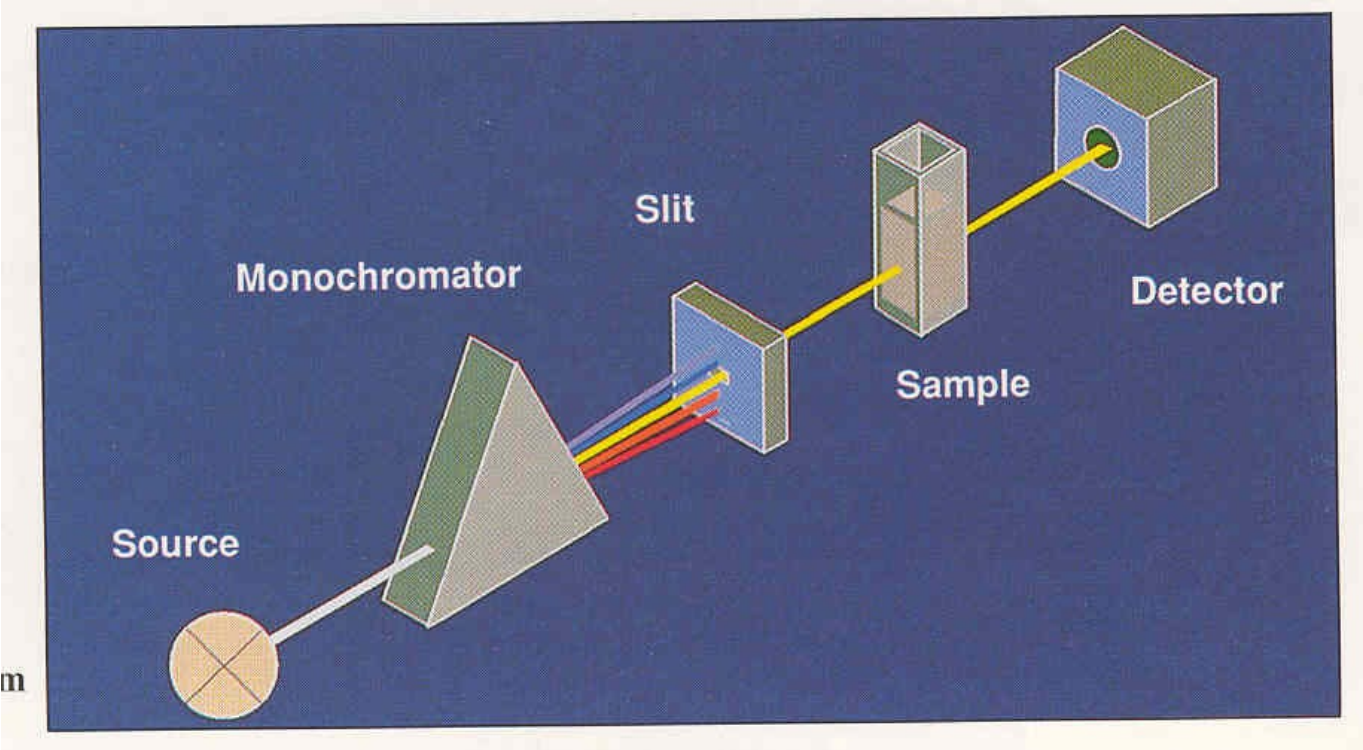
- 1) Při znalosti ε : $c = A/\varepsilon \cdot d$
- 2) Kalibrační přímka

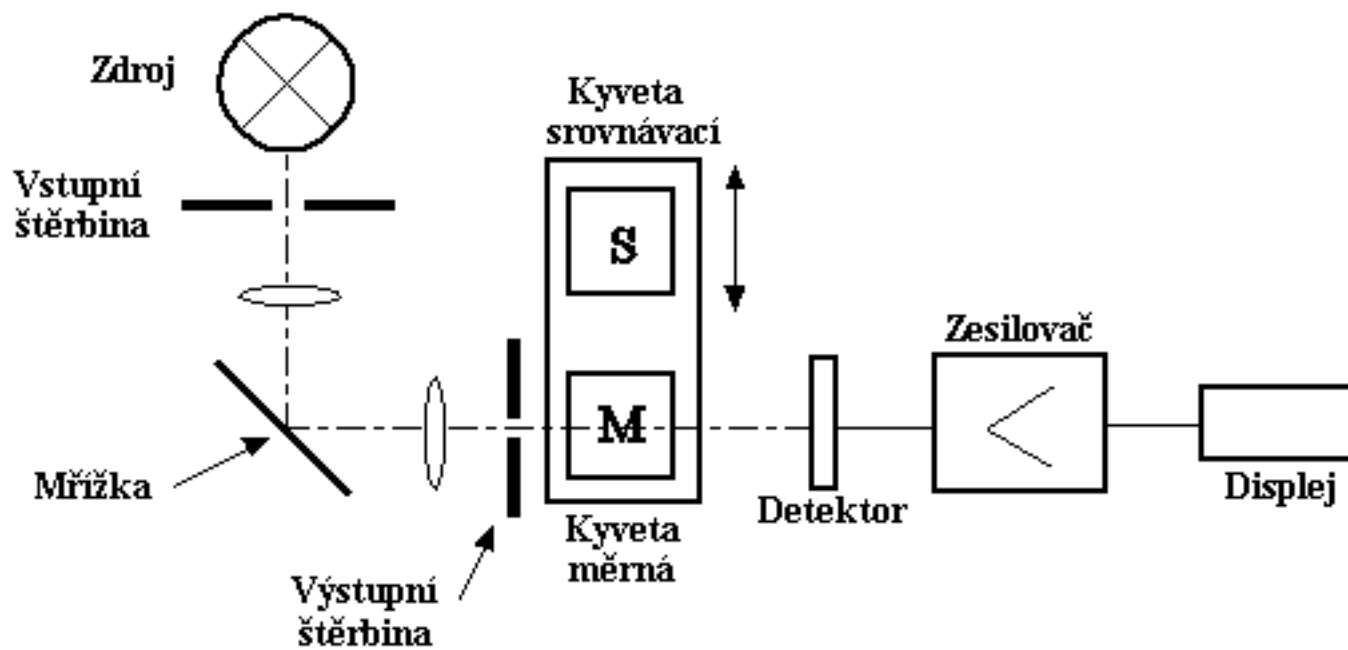


Kvantitativní parametry

- I_0 a I - paprsek prošlý referenčním vzorkem (blankem) a vzorkem měrným
- $100 \cdot I/I_0 = T$ (%), transmittance
- $A = -\log T = \log I_0/I$
- Pro 50% T $I_0/I = 2$
- $A = 0,3$ – nejpřesnější
- Spolehlivý rozsah A – $0,2$ – $0,7$

Instrumentace





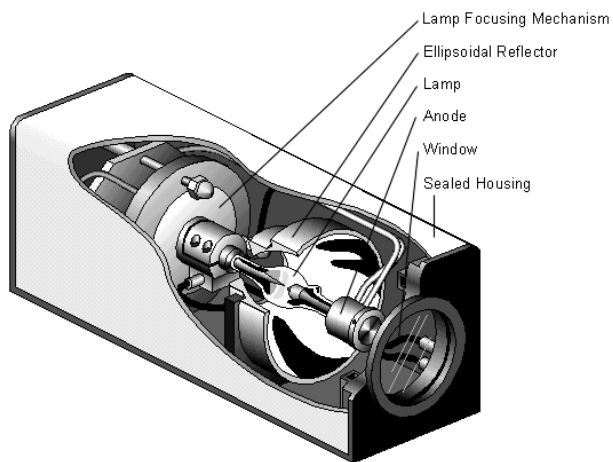
Zdroje

Rtuťová výbojka – UV spektrum

Halogenová žárovka – viditelné spektrum

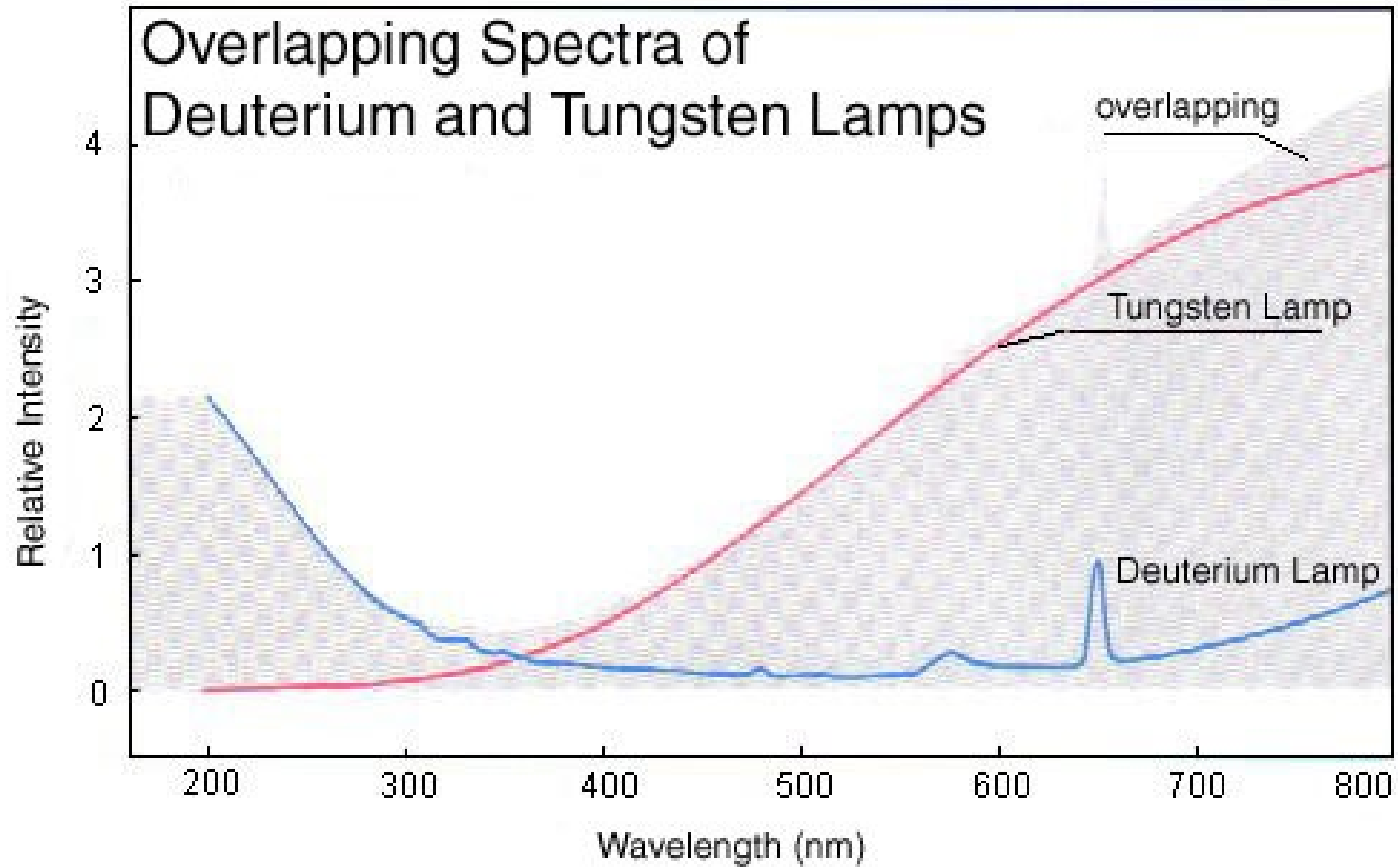


Deuteriová lampa – UV spektrum

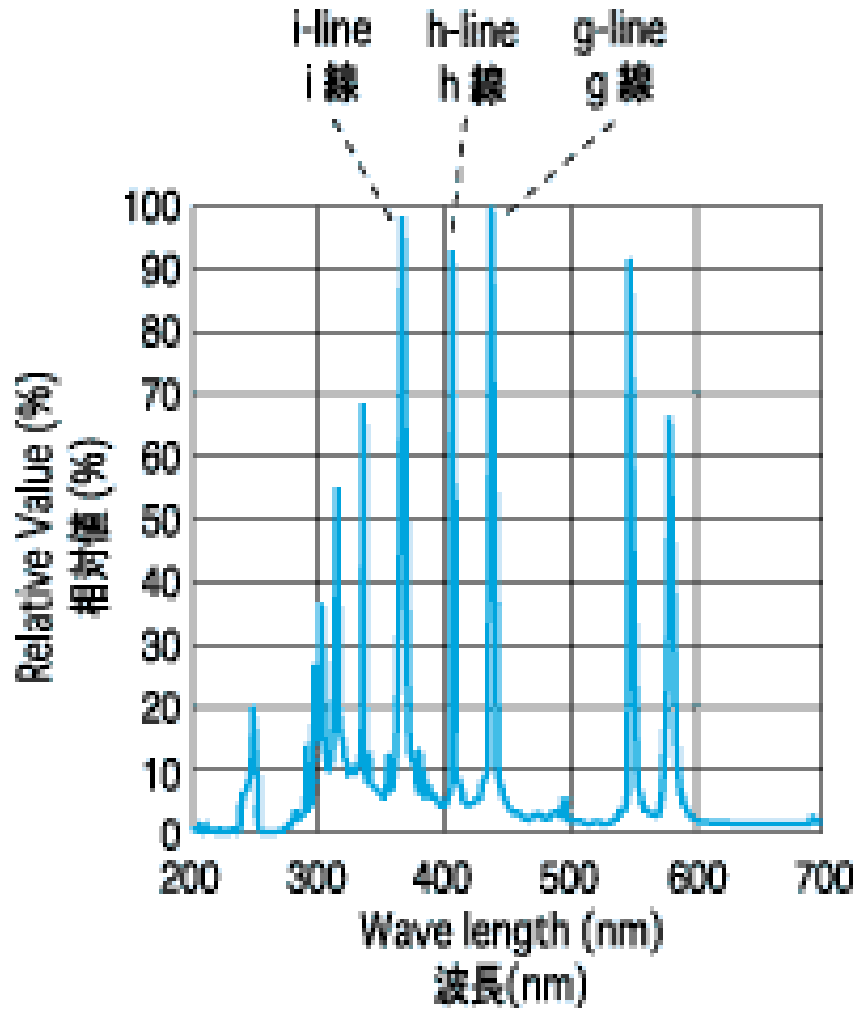


Xenonová výbojka – UV + viditelné spektrum

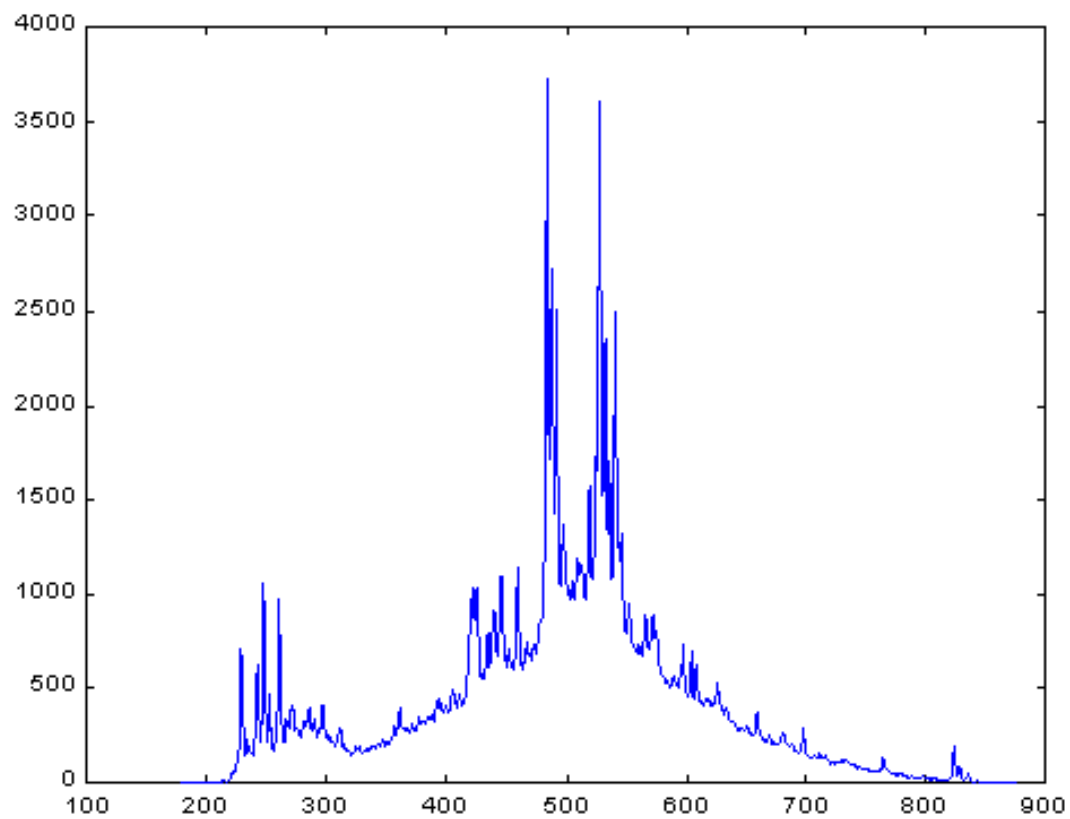
Overlapping Spectra of Deuterium and Tungsten Lamps



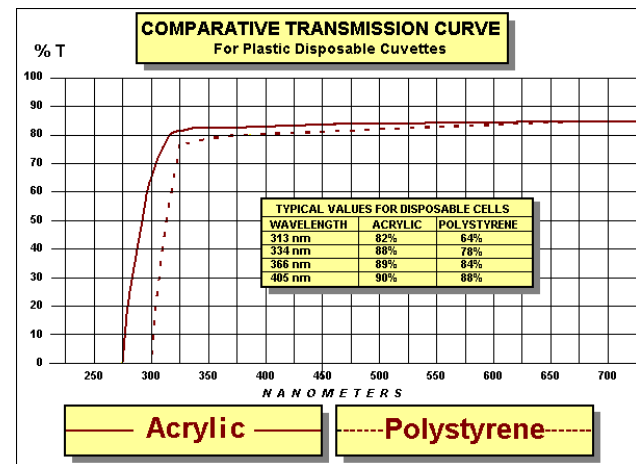
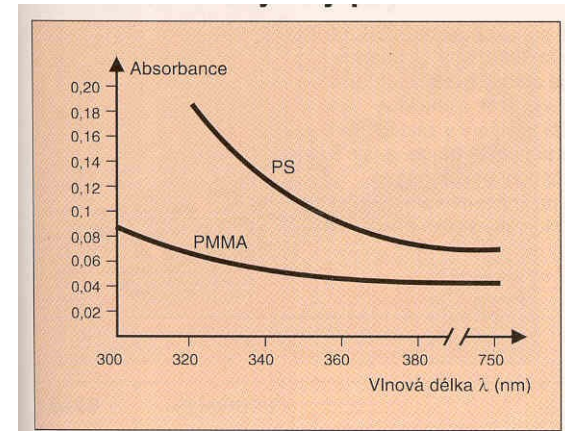
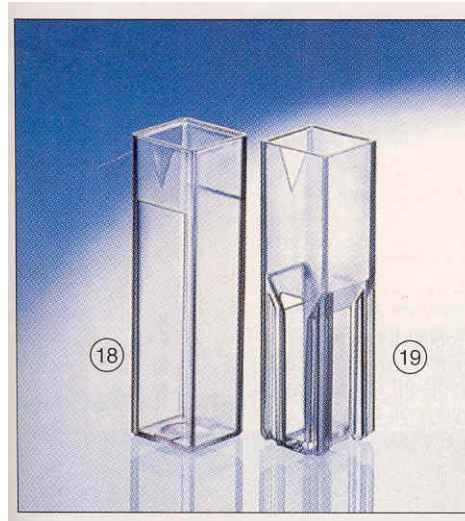
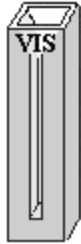
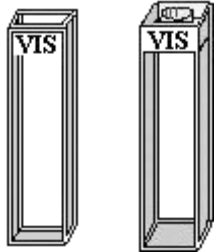
Rtuťová výbojka



Xenonová výbojka



Spektrofotometrické kyvety



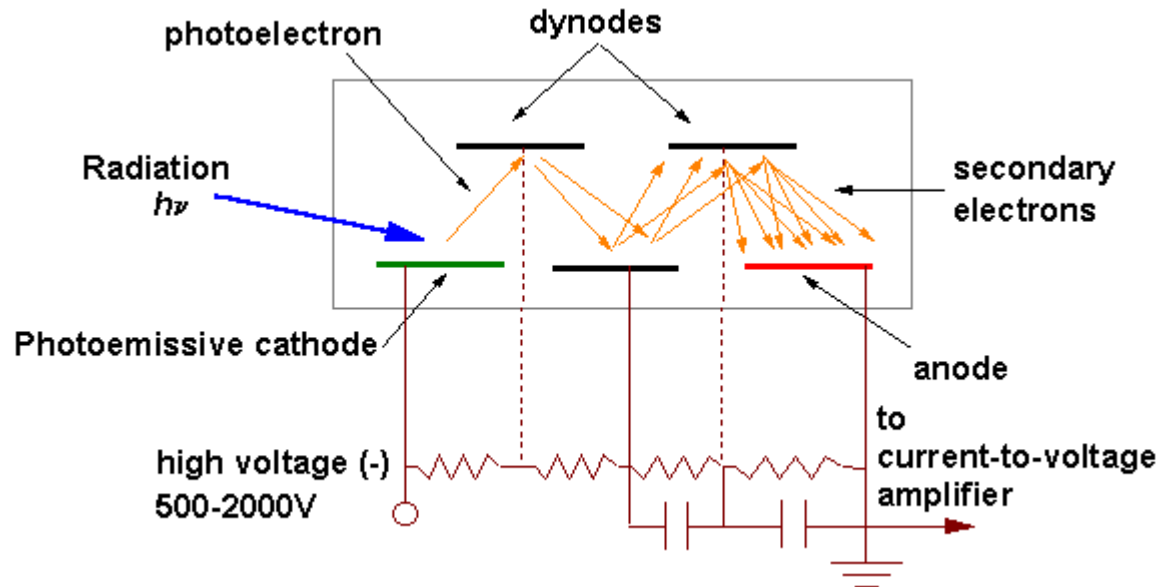
Rozpouštědla

Použitelnost rozpouštědel v UV oblasti

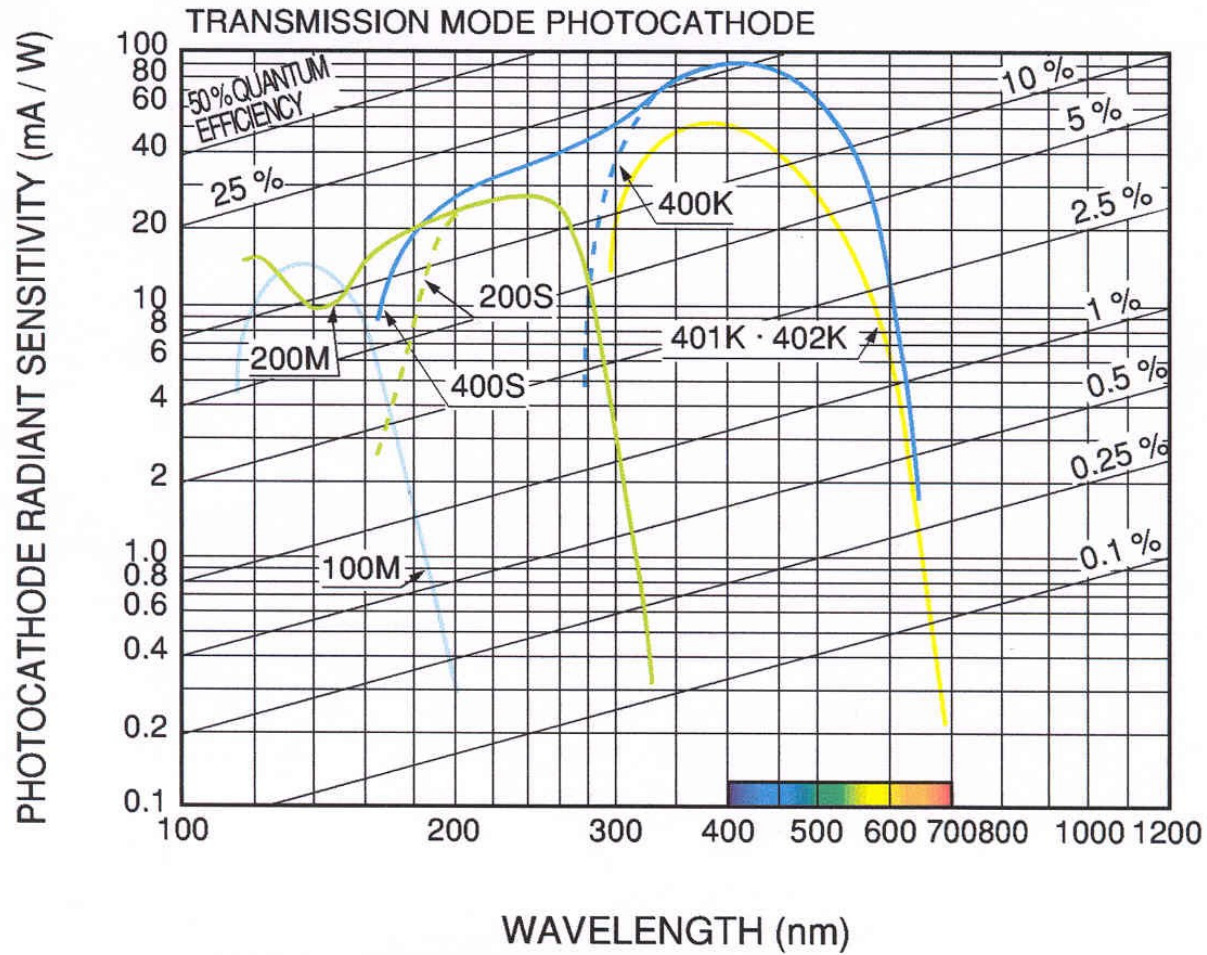
Voda	> 185 nm
EtOH	>195 nm
Diethyléter	>205 nm
Dioxan	>220 nm
CHCl ₃	>245 nm
CCl ₄	>262 nm
Benzen	>280 nm
Aceton	>330 nm

Detektory

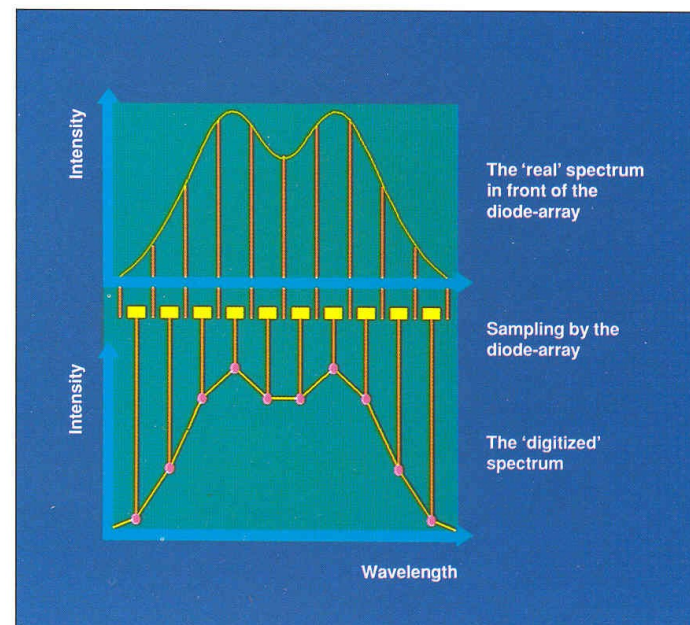
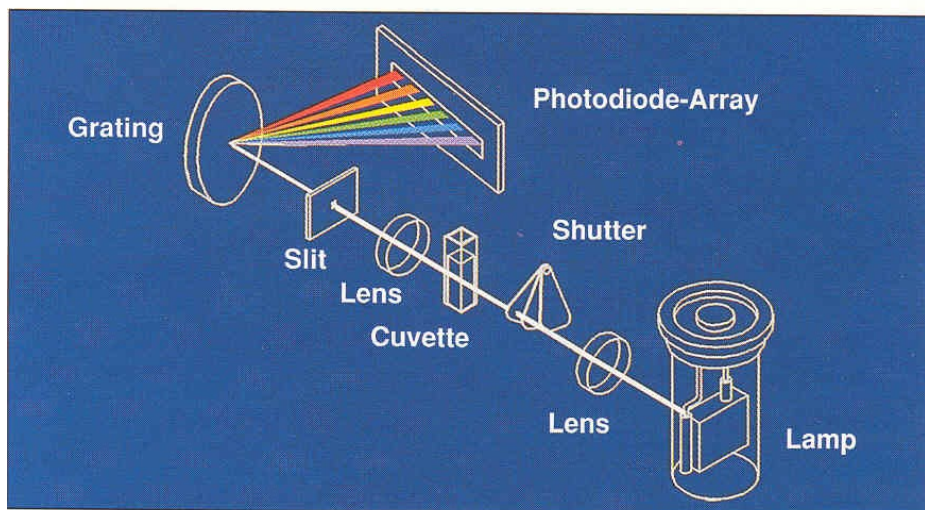
Fotonásobič



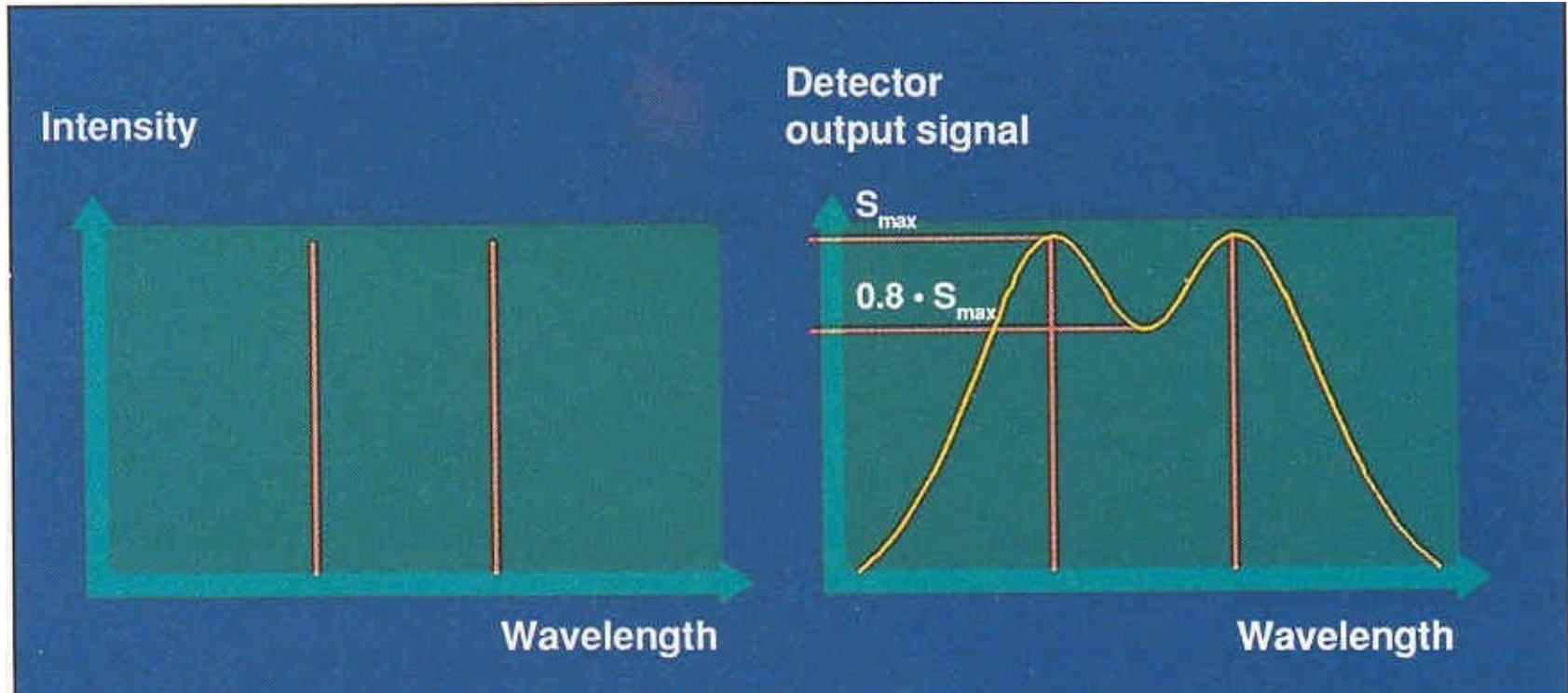
SEMITRANSSPARENT PHOTOCATHODE SPECTRAL RESPONSE CHARACTERISTICS



Fotometr s diodovým polem



Charakteristiky přístroje



Spektrální rozlišení – schopnost rozlišit dvě těsně přilehlé vlnové délky

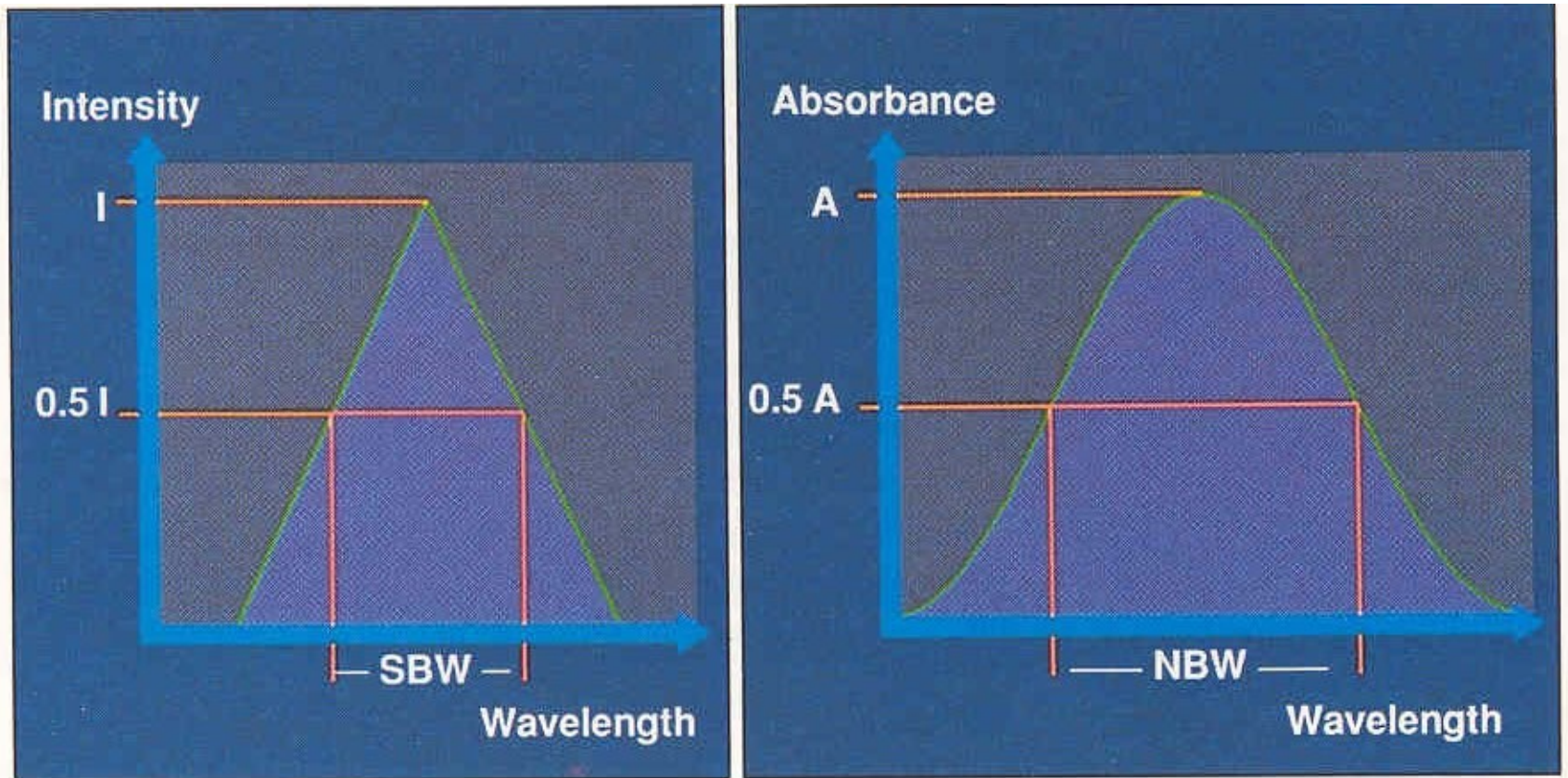
Rozlišení \times rozlišovací schopnost – nepřímé

$S = 0,8 \times S_{max}$ – pro určitou $\Delta\lambda =$ rozlišení

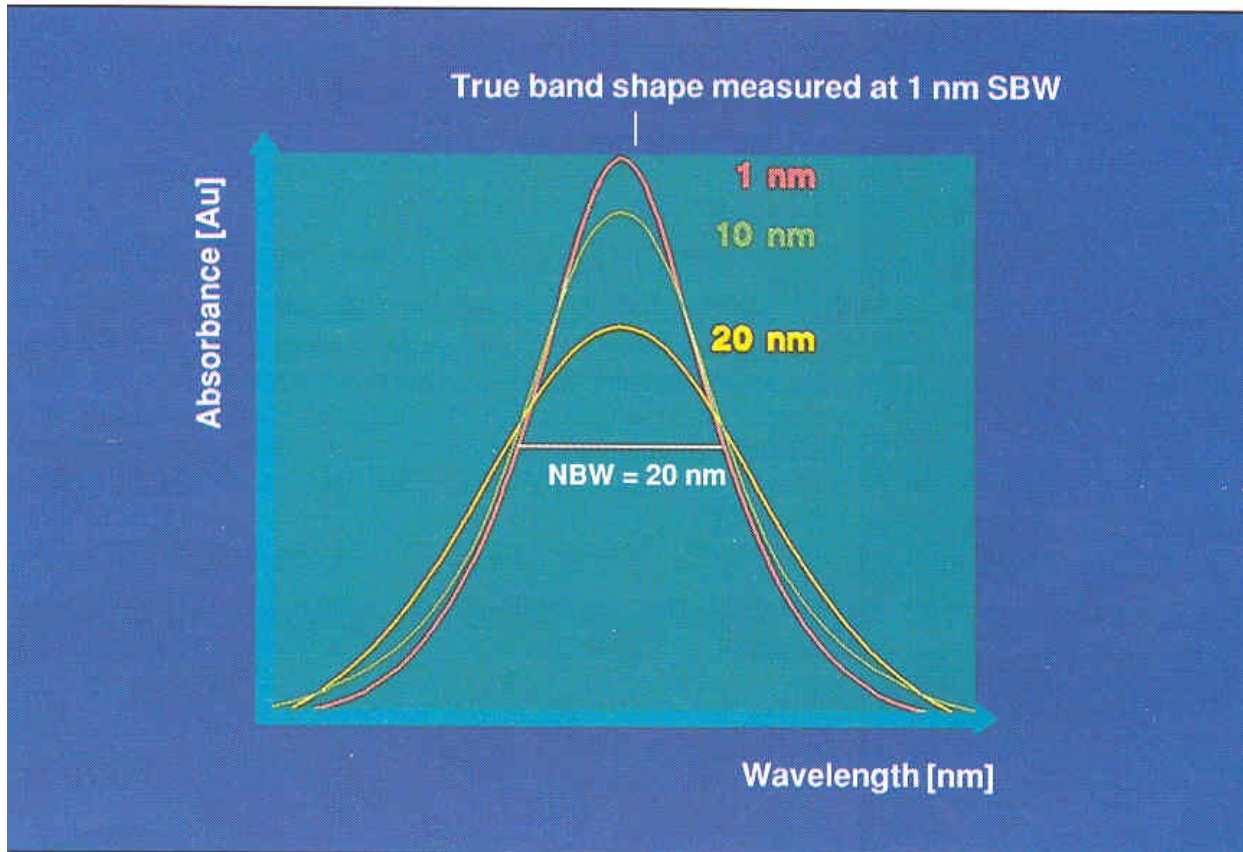
Charakteristiky přístroje

Spektrální šířka přístroje – šířka pásu světla opouštějícího monochromátor měřená v polovině výšky píku (SBW), závisí na šířce štěrbin a disperzi mřížky, Obvykle $< 2 \text{ nm}$

Přirozená šířka pásu vzorku - šířka absorpčního pásu vzorku měřená v polovině výšky píku (NBW)

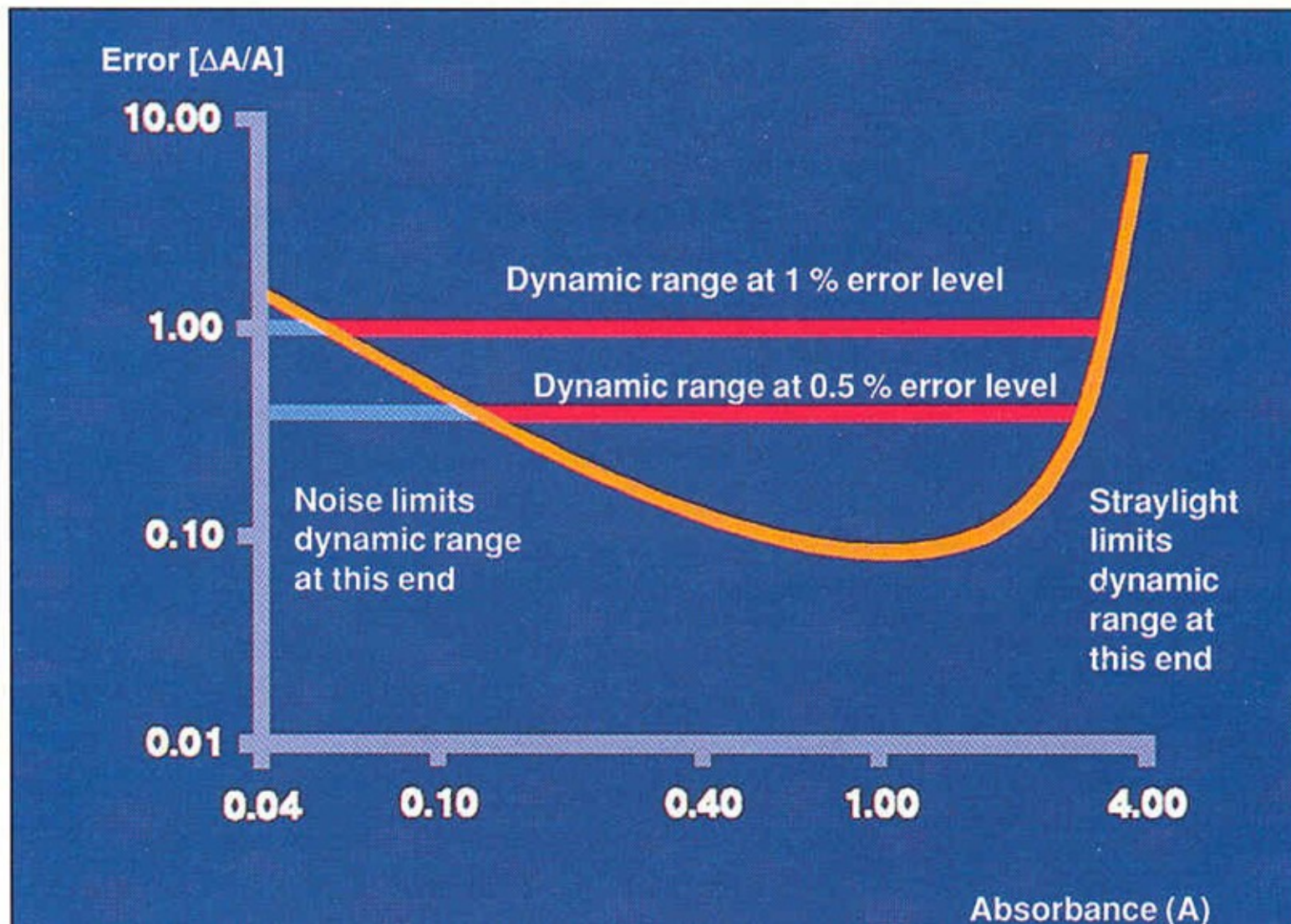


Charakteristiky přístroje



Přesnost měření závisí na poměru $SBW/NBW = 0.1$ a menší (přesnost 99.5%)
SBW 2 nm postačuje pro NBW 20 nm

Chyba měření



- Chyba $\Delta A/A$ – limit šumu a rozptylu

Praktické aplikace

- Stanovení koncentrací látek
 - Obecně – bílkoviny, NK
 - Speciálně – Hb, cytochromy
- Stanovení forem látek
 - Ox-red – titrace, E_m , disociační stavy - pK_a
- Určení změny koncentrace
 - Rychlost reakcí - enzymové
- Detektor pro jiné metody

Stanovení bílkovin

Absorpce v UV oblasti (Tyr, Try) – 280 nm

Citlivost 50 ug

Velmi rychlá metoda, nedestruktivní

Interference: ruší NK, zákal

$$C \text{ (mg/ml)} = A_{280}$$

$$C \text{ (mg/ml)} = A_{280}/\epsilon$$

$$C \text{ (mg/ml)} = 1,55 \cdot A_{280} - 0,76 A_{260}$$

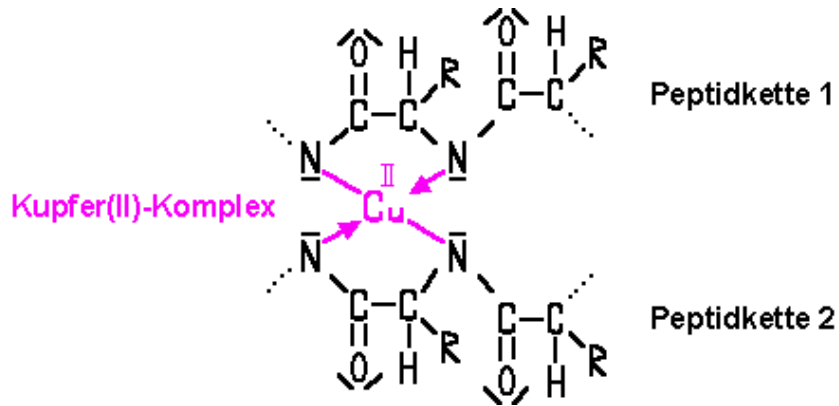
ϵ (ml/mg)

BSA = 0,63

Ig = 1,38

Ovalbumin = 0,70

Stanovení bílkovin



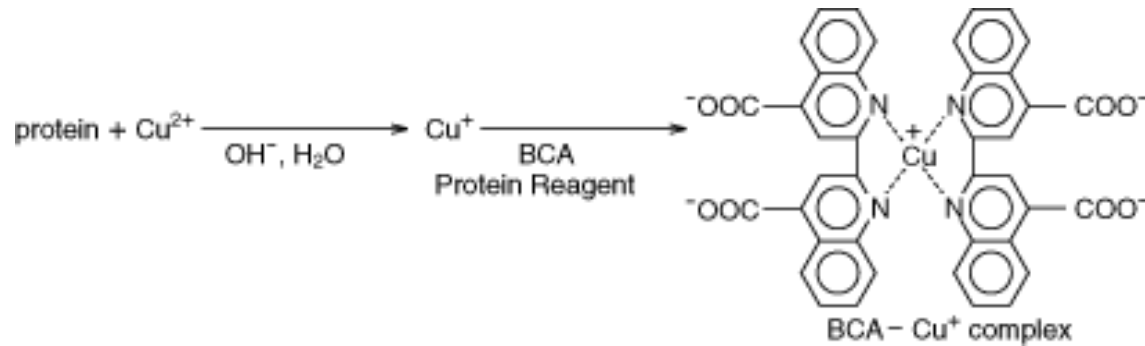
Biuretová metoda

Citlivost 1-20 mg
Interference: některé aminokyseliny,
zwiterionty

Lowryho metoda (595 nm)

Citlivost 10 ug
Zdlouhavost (2kroky)
Interference: ruší sulfát amonný., glycin,
SH reagenty, EDTA > 0.1 mM

Stanovení bílkovin



562 nm

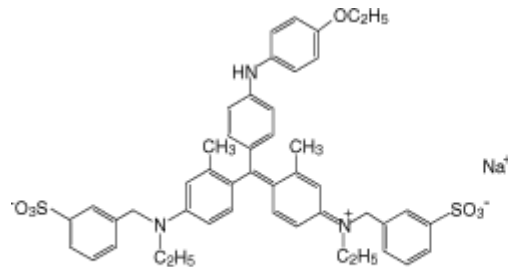
Bicinchoninát

Citlivost vysoká 1 ug

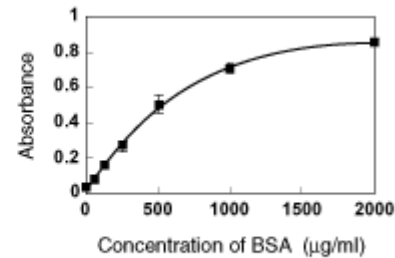
Pracná metoda – 2 kroky

Interference: ruší EDTA, SH reagenty

Stanovení bílkovin



Coomassie Brilliant Blue G



BSA standard solutionで作成した検量線の例

Posun maxima
Ze 465 na 595 nm

Metoda podle Brafordové

Citlivost vysoká 1 µg

Rychlá metoda (náročná na pečlivost)

Interference: ruší Triton X-100, SDS,

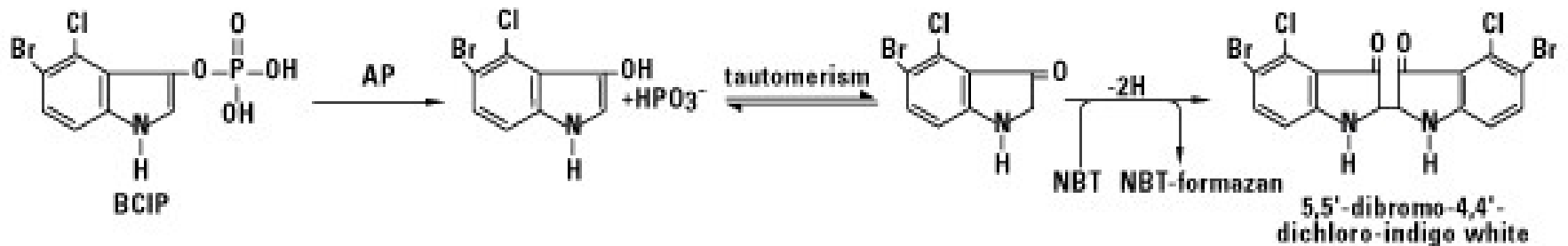
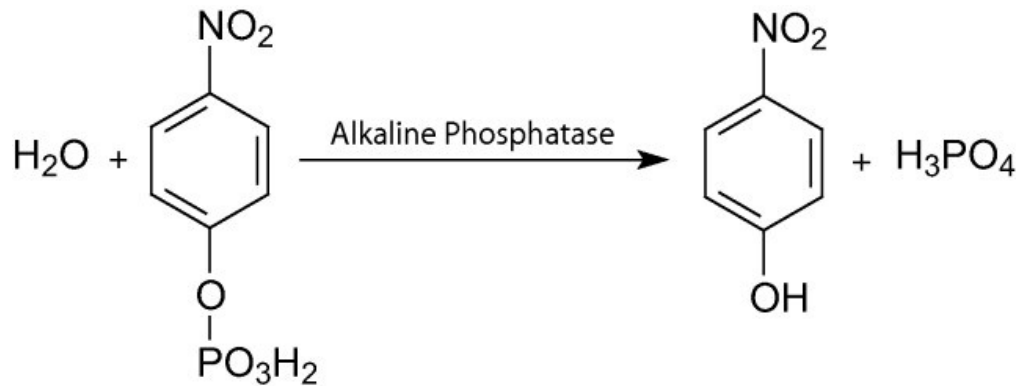
Silně bazické pufrы

Enzymové reakce

- Přírozené chromofory
 - Především oxidoredukce - NAD^+ , cytochromy
- Umělé chromofory
 - Oxidoreduktasy – barviva (PMS, tetrazolia)
 - Hydrolasy – estery, amidy
- Derivatizace produktů
 - Ketokyseliny + dinitrofenylhydrazin

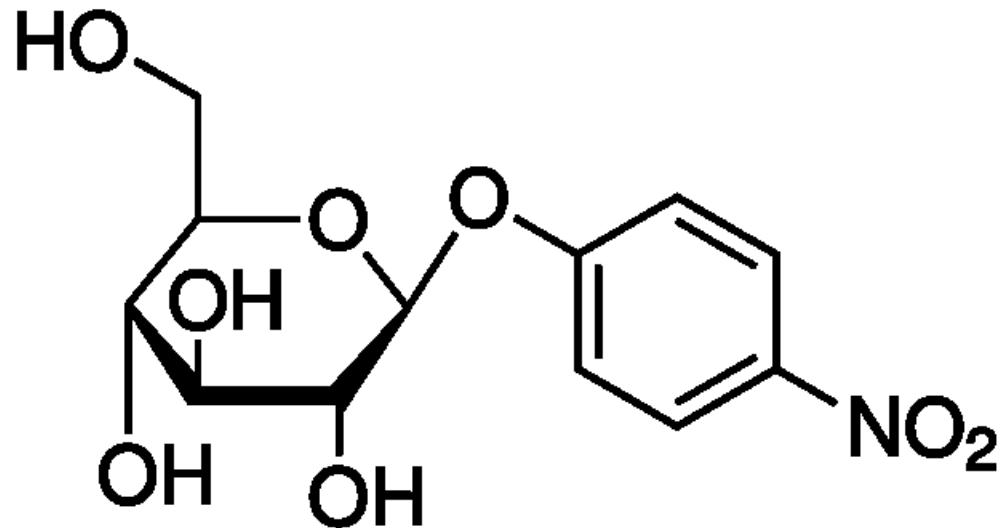
Chromogenní substráty

- Fosfatasy

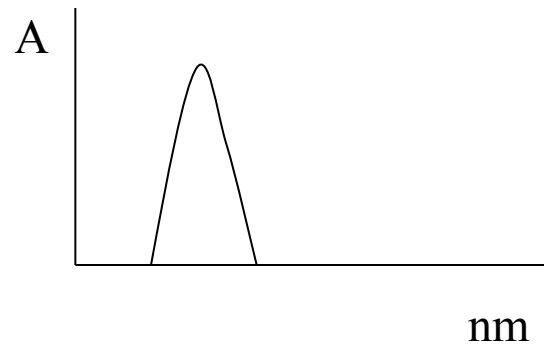
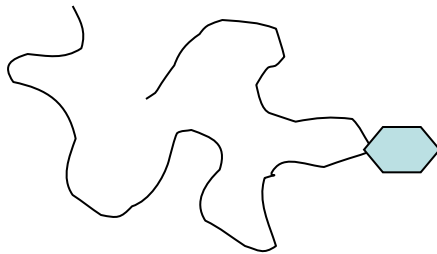


Chromogenní substráty

- Glykosidasy



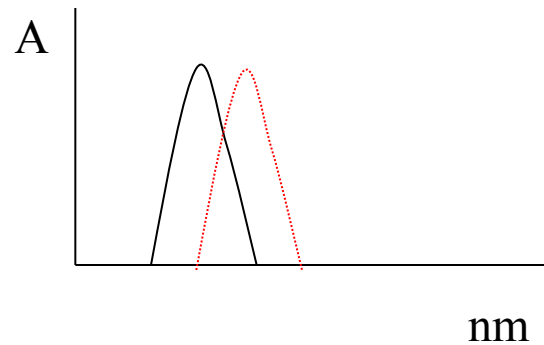
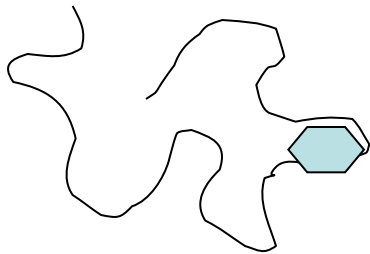
Použití spektroskopie pro studium konformace bílkovin



Fluorescence Try, Tyr – 280 nm

Závislost spektra na polaritě prostředí (červený posun)

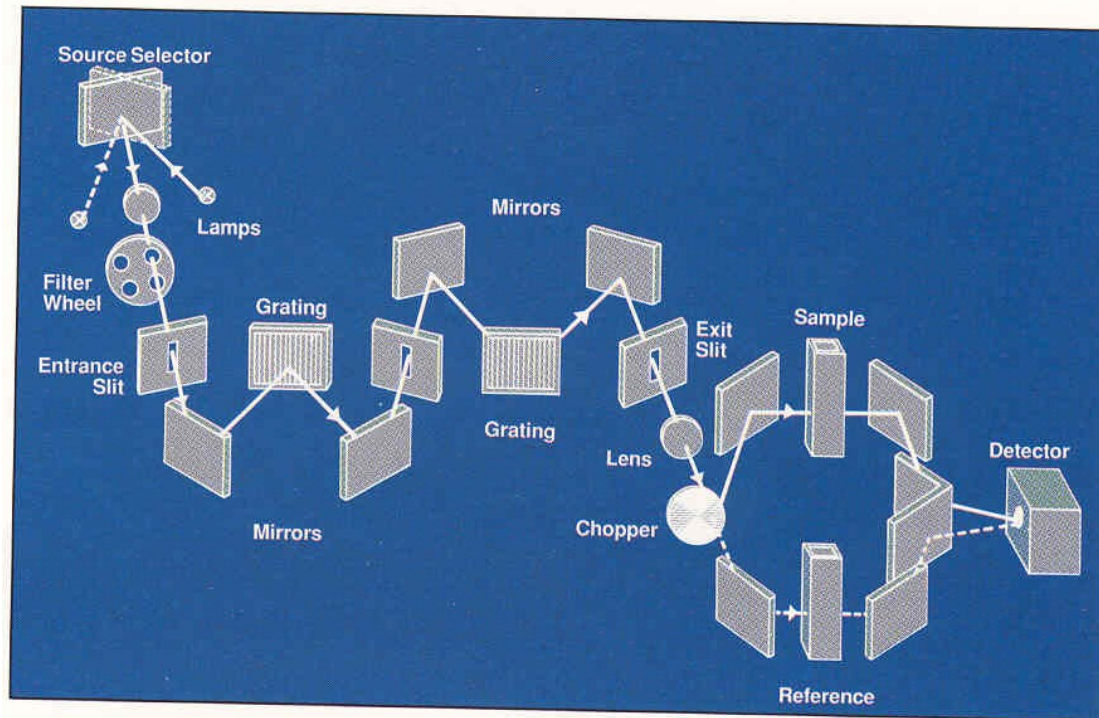
Použití spektroskopie pro studium konformace bílkovin



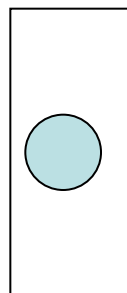
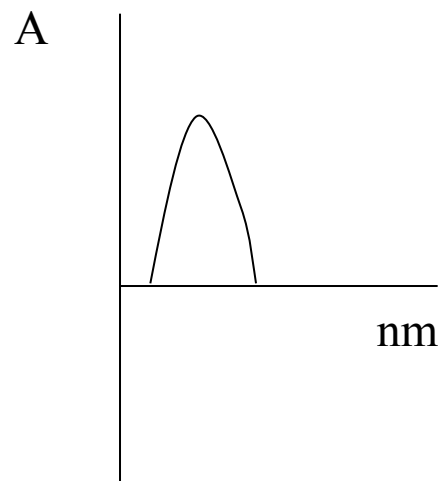
Fluorescence Try, Tyr – 280 nm

Závislost spektra na polaritě prostředí (červený posun v nepolárním prostředí)

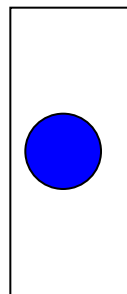
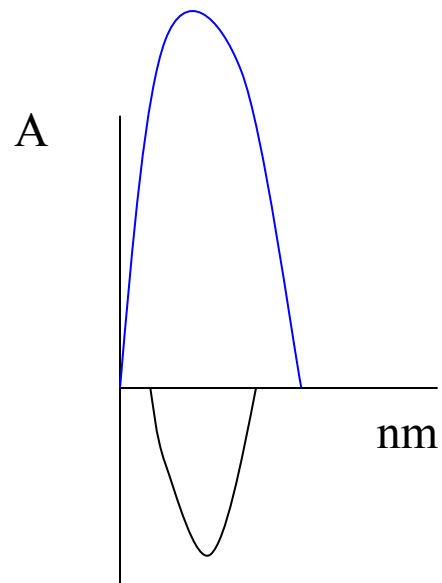
Dvoupaprskový fotometr (double-beam)



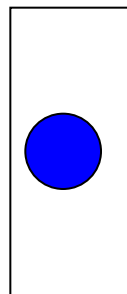
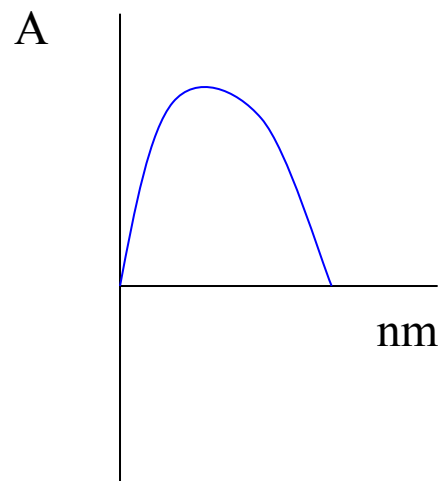
Diferenční spektroskopie



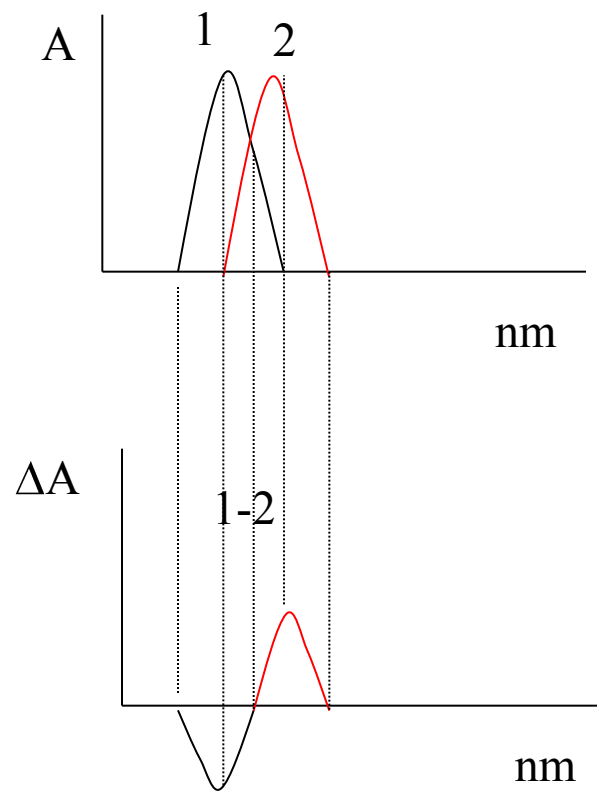
Diferenční spektroskopie



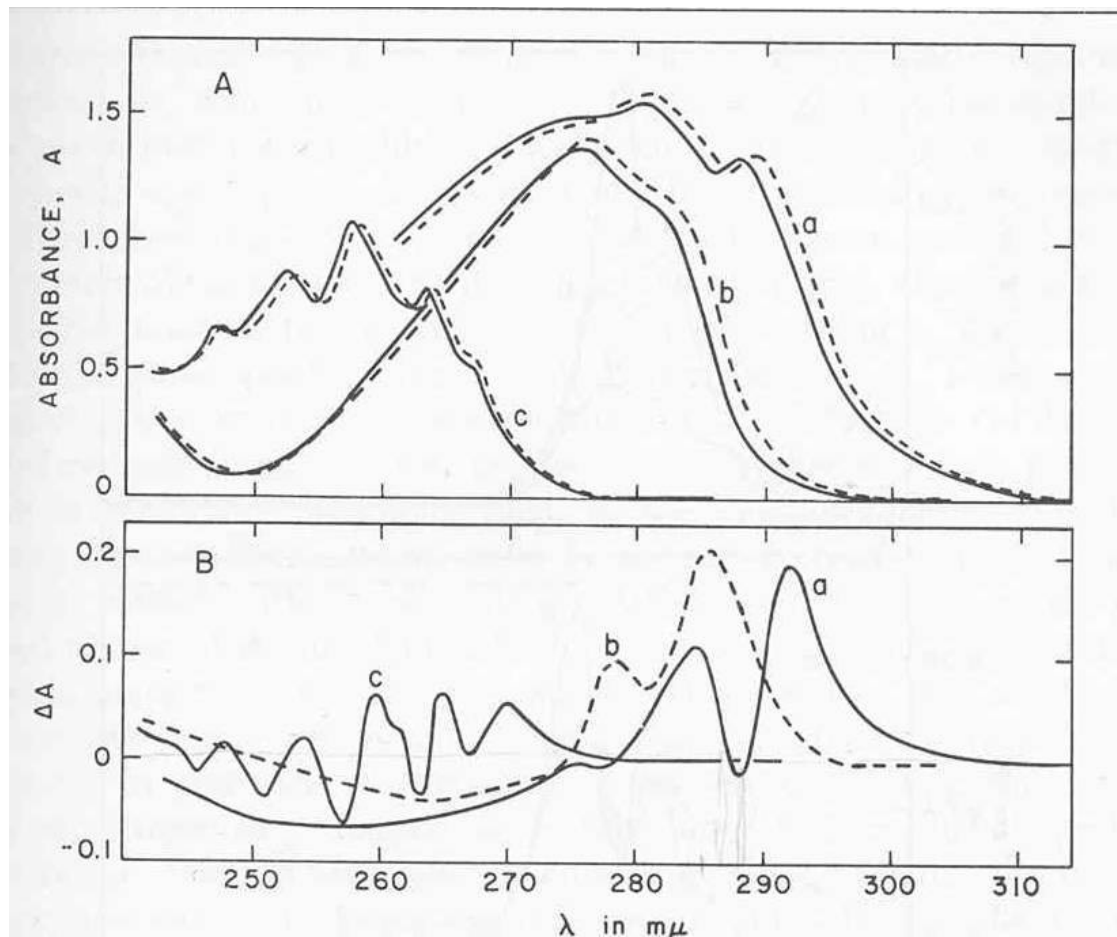
Diferenční spektroskopie



Diferenční spektrum



Použití spektroskopie pro studium konformace bílkovin



a – Try — voda
b – Tyr - - - DMSO
c - Phe

A – Absorpční spektrum

B – diferenční spektrum

Derivace spekter

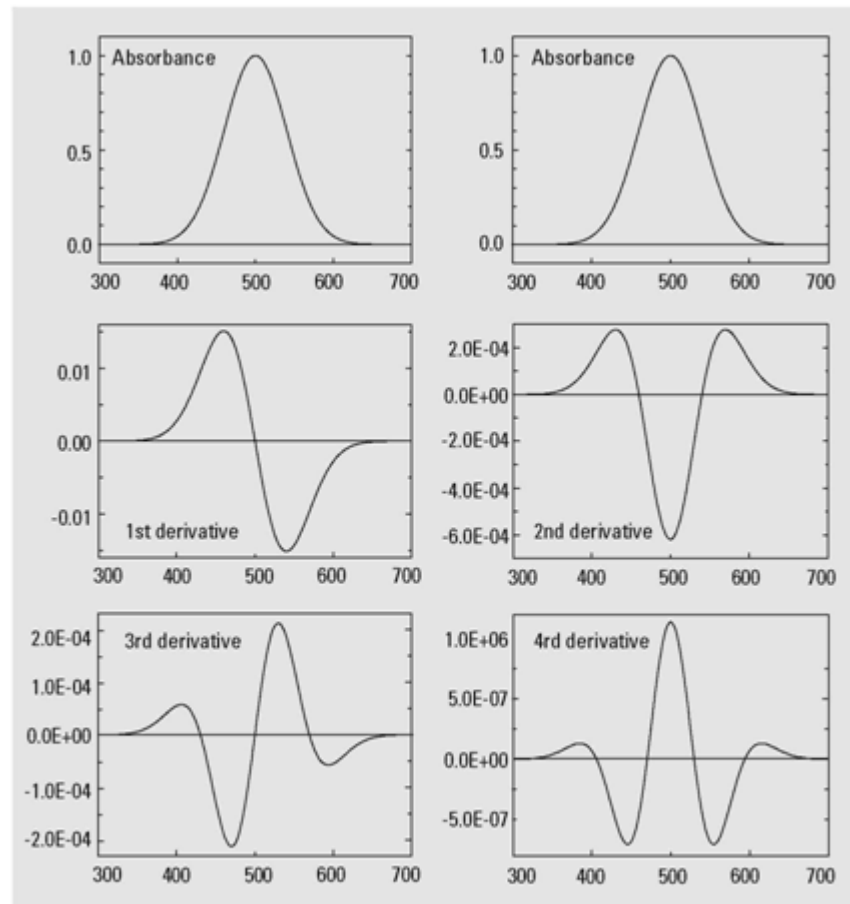


Figure 1
Absorbance and derivative spectra of a Gaussian band

Multikomponentní analýza

- Překrav pásů – aditivní charakter A
- Obálka jemných linií $A = A(\lambda_1) - A(\lambda_2)$

