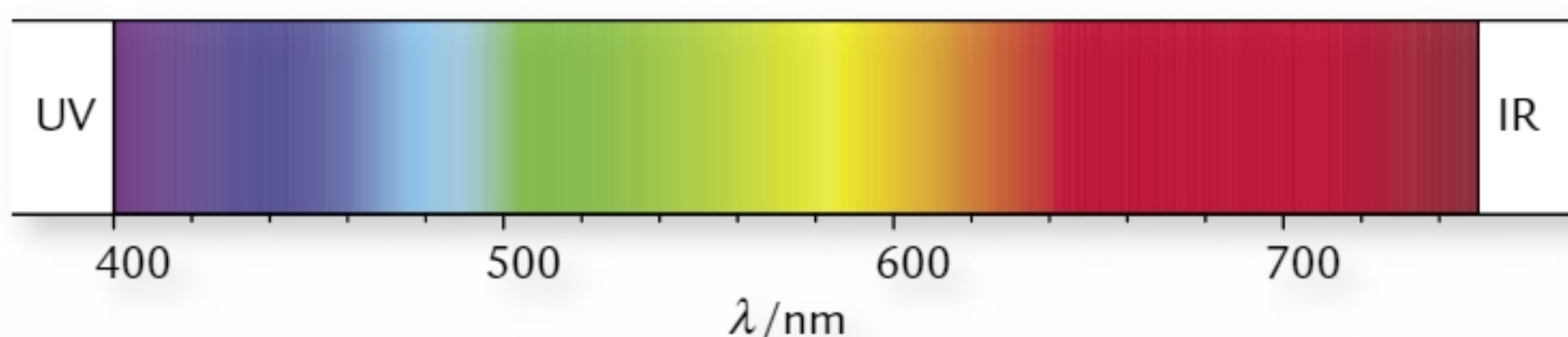


## Lys og farver

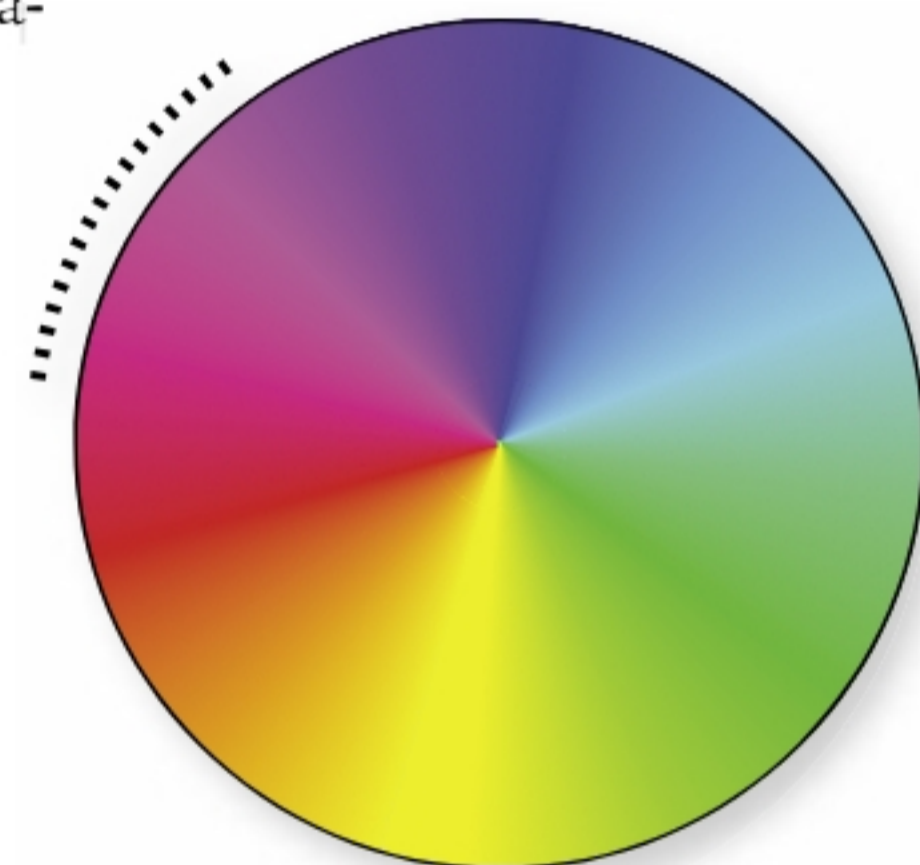
Her vil vi ikke komme detaljeret ind på, hvorfor stoffer har farve, men skal blot minde om, at såkaldt hvidt lys er en blanding af alle regnbuens farver fra violet til rødt, se figur 91.



Figur 91. Det synlige lys fordelt på farver og bølglængder.

Lys tilskrives en bølglængde  $\lambda$ , som måles i nm. For det synlige lys er bølglængdeintervallet fra 400 nm (violet) til 750 nm (rødt). Ultraviolet lys har bølglængder mindre end 400 nm, og infrarødt lys har bølglængder større end 750 nm. Lysets fotonenergi afhænger af bølglængden: jo lavere bølglængde, desto højere fotonenergi.

Et stof har farve, fordi det absorberer dele af det synlige lys. Når et stof rammes af hvidt lys, vil stoffet antage farve, hvis noget af lyset absorberes. Hvis stoffet fx absorberer det gule lys, vil man se de farver, som reflekteres, og det er rød, blå og violet, hvorved stoffets farve bliver lilla. Man kan få et hurtigt overblik over stoffets absorption af lys og stoffets farve ved at benytte farvecirklen, se figur 92. Modsat placerede farver i farvecirklen kaldes *komplementærfarver*. Absorberer stoffet en bestemt farve, vil stoffets farve blive komplementærfarven.



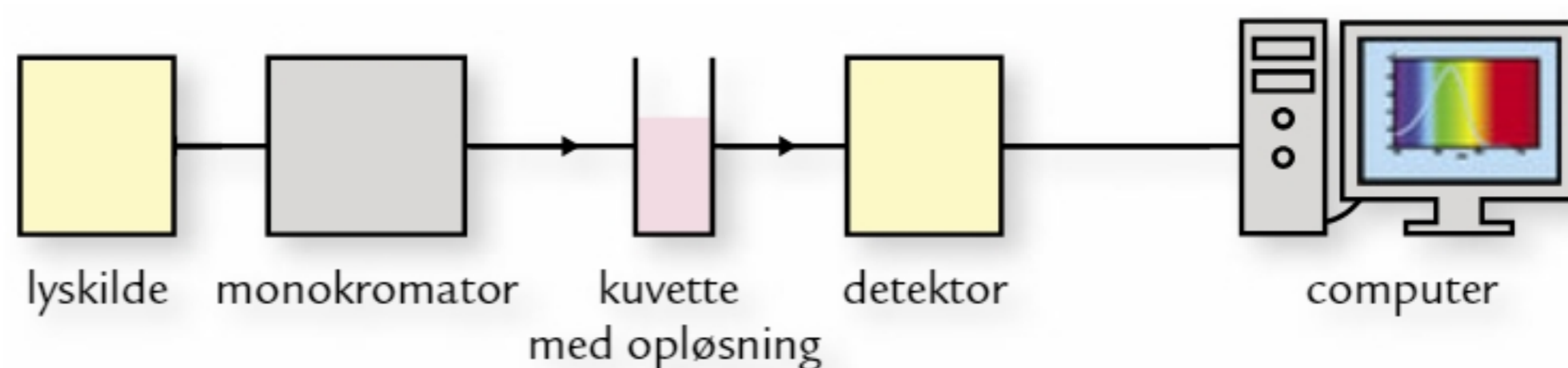
Figur 92. Farvecirklen. Den stiplede bue markerer farven magenta, som ikke er en spektralfarve, men en blandingsfarve af rødt og og blått lys.

## Absorbans

En farvet opløsning indeholder molekyler eller ioner, som absorberer synligt lys. En måling af absorptionen kan bruges til at bestemme koncentrationen af det molekyle eller den ion, som absorberer lyset.

Målingen sker i et såkaldt *spektrofotometer*. Figur 93 på næste side viser en principskitse af et spektrofotometer i *den simplest* tænkelige udformning. Lyset fra spektrofotometrets lyskilde passerer først en *monokromator*, så man får lys med en bestemt bølglængde (monokromatisk lys). Den ønskede bølglængde indstilles på apparatet.

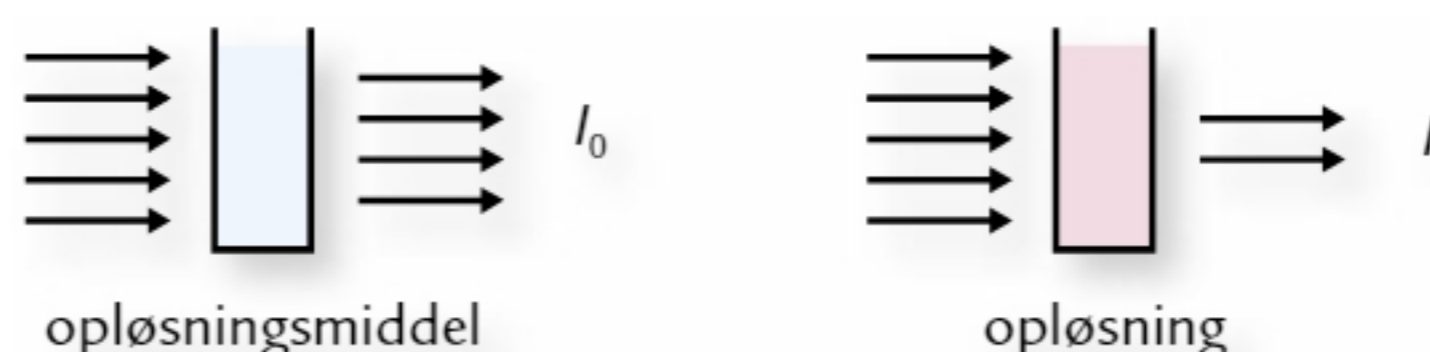
Figur 93. Principskitse af et simpelt spektrofotometer.



Lyset passerer videre gennem en *kuvette* med den opløsning, man måler på, hvorefter lysets intensitet måles af en detektor. Den afsluttende behandling af detektorsignalerne sker oftest i en computer.

Først fylder man kuvetten med det rene opløsningsmiddel. Lysintensiteten efter passage af det rene opløsningsmiddel kaldes  $I_0$  (figur 94). Apparatet indstilles nu til at vise absorptionen (*absorbansen*) nul, når lyset passerer gennem det rene opløsningsmiddel.

Figur 94. Betydningen af symbolerne  $I_0$  og  $I$ .



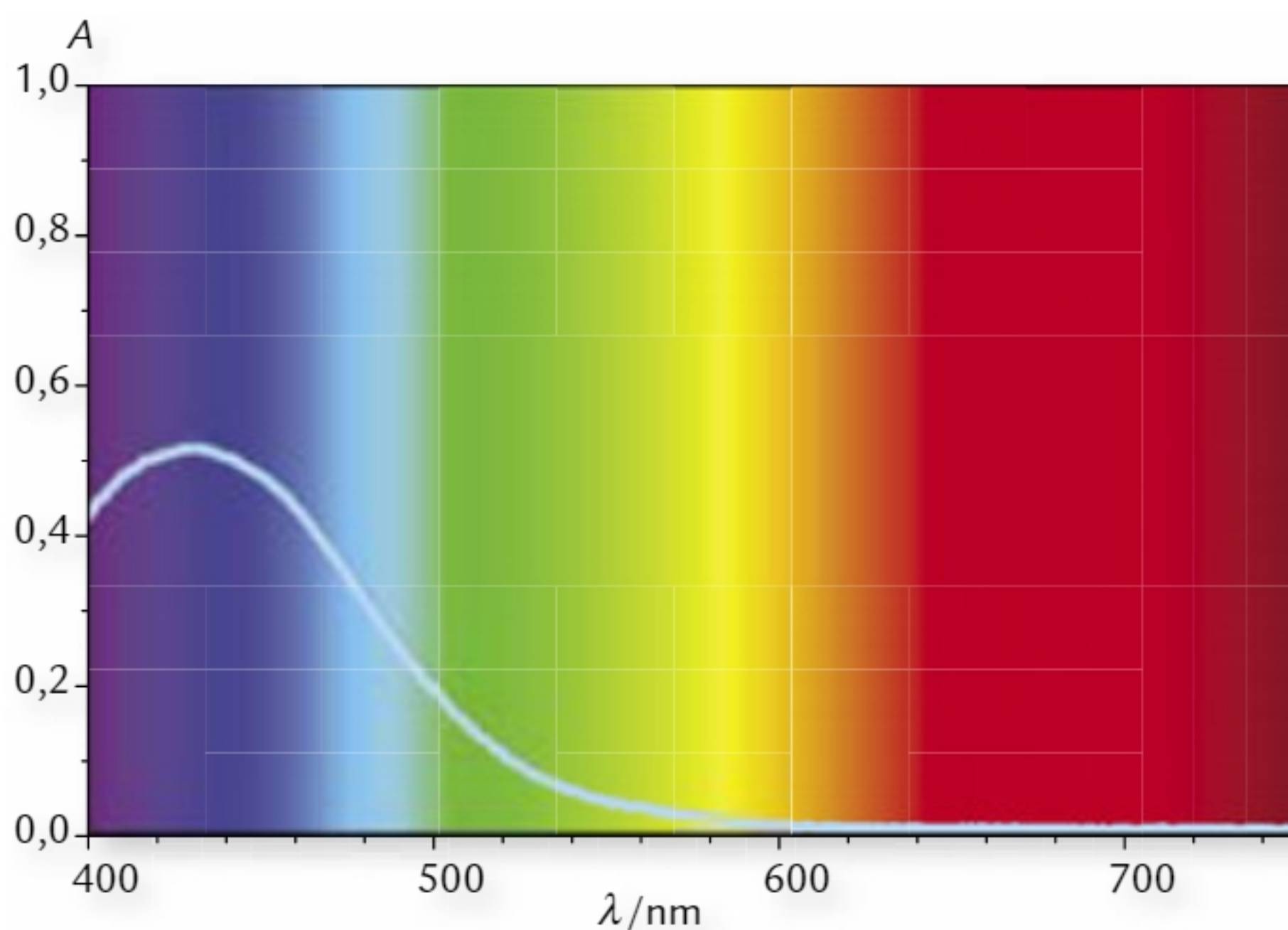
Derefter udskiftes det rene opløsningsmiddel med den opløsning, man skal måle på. Apparatet viser nu opløsningens *absorbans*  $A$ , der er defineret således:

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

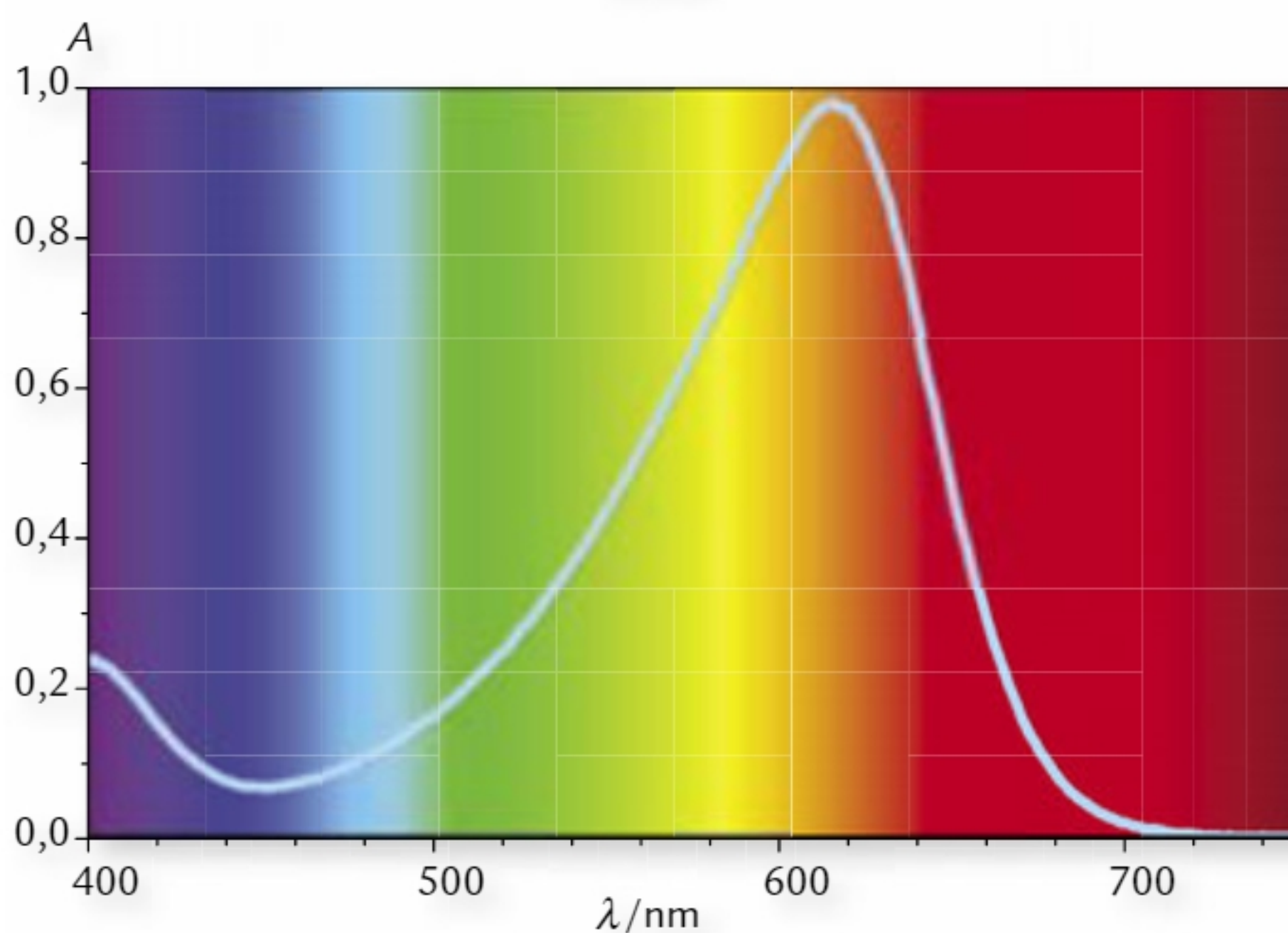
$I$  er lysintensiteten efter passage af opløsningen. Hvis 90 % af lyset absorberes, er  $I$  kun 10 % af  $I_0$ . Så er brøken lig med 10, og absorbansen bliver lig med 1. Normalt fortynder man sine opløsninger så meget, at absorbansen bliver mindre end 1. Skiftes der bølglængde, må man gentage proceduren med først nulstilling og derpå måling af absorbansen for den farvede opløsning.

Figur 95 og 96 viser, hvordan absorbansen afhænger af bølglængden, når man måler i det synlige bølglængdeområde på en opløsning af bromthymolblåt i sur henholdsvis basisk opløsning.

Jo flere detaljer man ønsker i absorptionsspektret, desto større krav stilles der til lyskilden og især detektorens evne til at måle i et snævert bølglængdeinterval.



Figur 95. Absorptionsspektrum for bromthymolblåt i stærkt sur opløsning.



Figur 96. Absorptionsspektrum for bromthymolblåt i stærkt basisk opløsning.

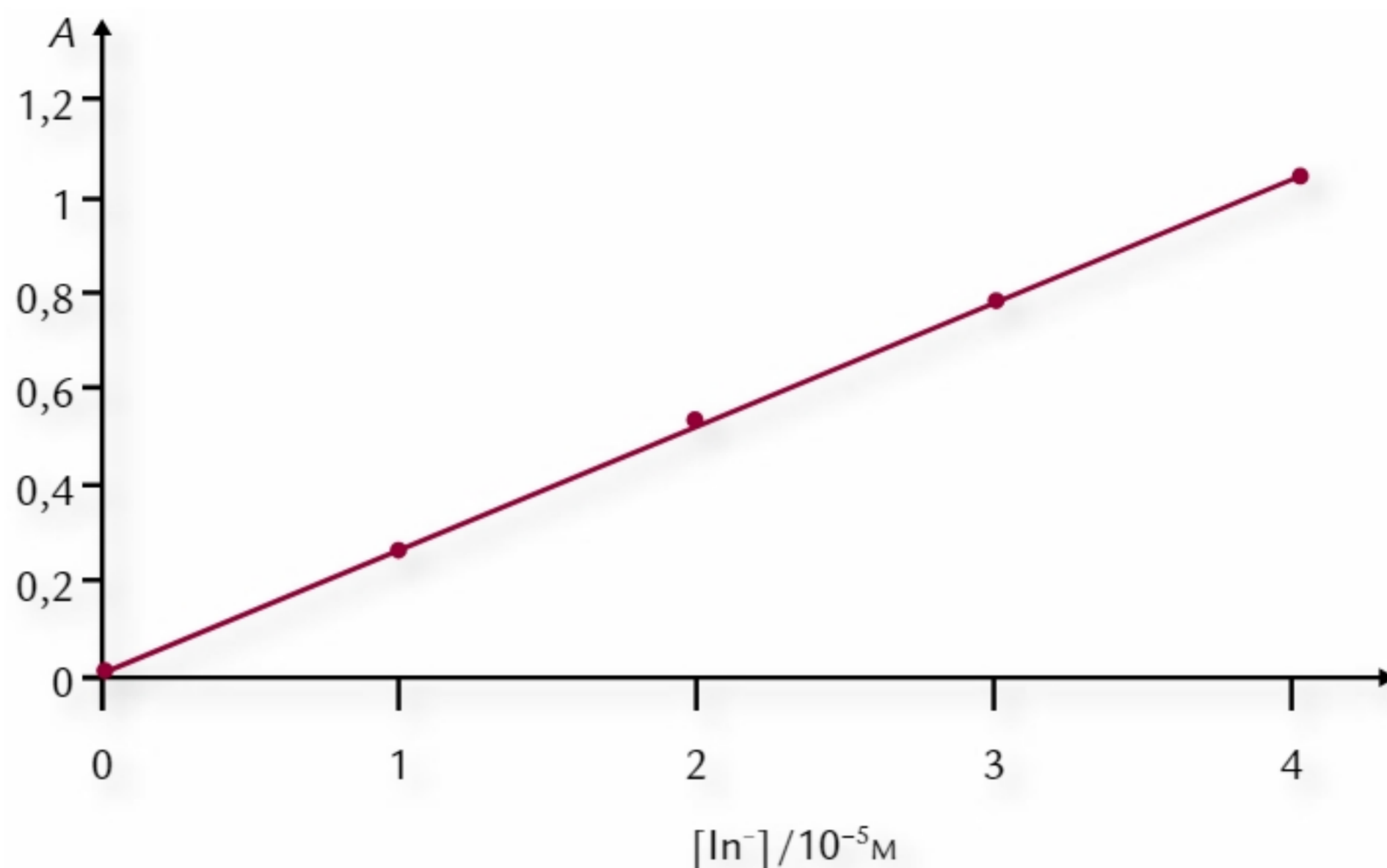
Det er indlysende, at det tager tid, hvis man skal optage et absorptionsspektrum ved manuelt at skulle skifte bølgelængde og nulstille før hver enkelt måling. De fleste moderne spektrofotometre kan betjenes med computer, hvilket gør optagelse og bearbejdning af måleresultater simpelt. Optagelsen af et helt absorptionsspektrum kan ofte klares på få sekunder.

Både figur 95 og 96 viser, at absorbansen afhænger af bølgelængden. Intuitivt er det let at indse, at absorbansen også må afhænge af stofmængdekonzentrationen af det absorberende stof.

Vi undersøger dette nærmere og måler på en række stærkt basiske opløsninger af bromthymolblåt med kendte stofmængdekonzentrationer (kaldes standardopløsninger). Bølgelængden holdes

konstant, og vi vælger den bølgelængde, hvor bromthymolblåt absorberer maksimalt, nemlig 615 nm (se figur 96). Ved høje pH-værdier er bromthymolblåt omdannet til baseformen  $\text{In}^-$ . På grundlag af målingerne tegnes en *standardkurve*, se figur 97.

Figur 97. Standardkurve for bromthymolblåt i stærkt basisk opløsning. Absorbansen er målt ved 615 nm.



Målepunkterne viser sig at ligge på en ret linje gennem (0,0), dvs. absorbansen er proportional med den aktuelle stofmængdekonzentration:

$$A = k \cdot [\text{In}^-]$$

Alle målinger gennemføres i samme kuvette, så lysvejens længde  $l$  (kuvettens indvendige bredde) er konstant. Hvis man måler med forskellige kuvettebredder, opdager man, at absorbansen også er proportional med lysvejens længde  $l$ .

Generelt får man følgende vigtige sammenhæng, som kaldes Lambert-Beers lov:

$$A = \varepsilon_{\lambda} \cdot l \cdot [\text{S}] \quad \text{Lambert-Beers lov}$$

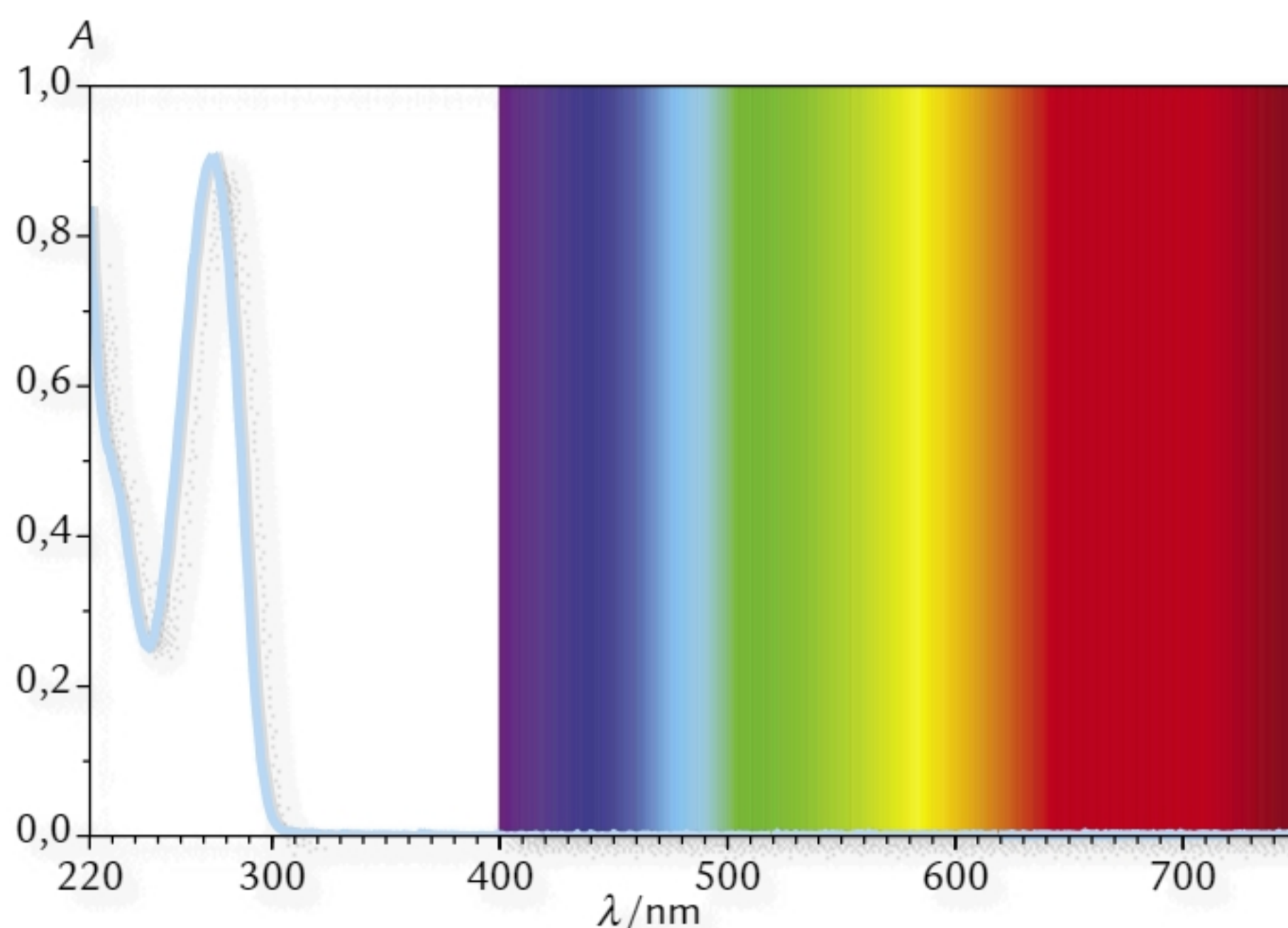
$[\text{S}]$  er den aktuelle stofmængdekonzentration af det absorberende stof,  $l$  er kuvettebredden i cm, og konstanten  $\varepsilon_{\lambda}$  kaldes *den molare ekstinktionskoefficient* (den molare absorptionskoefficient), der som regel angives med enheden  $\text{M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .  $\varepsilon_{\lambda}$  afhænger af bølgelængden og det absorberende stof. Lambert-Beers lov siger generelt, at absorbansen ved fastholdt bølgelængde er proportional med lysvejens længde og med den aktuelle stofmængdekonzentration af den absorberende partikel (molekyle eller ion). *Loven gælder kun ved*

relativt små koncentrationer. Lambert-Beers lov gælder selvfølgelig også i det ultraviolette og det infrarøde område.

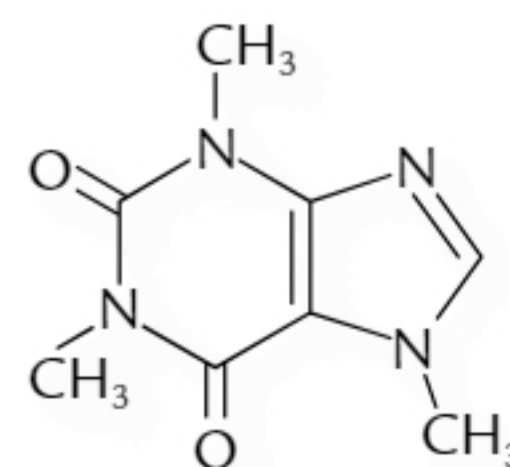
Når man skal bestemme en ukendt koncentration ved spektrofotometri, anvender man en bestemt kuvettebredde. Først måler man absorbansen på en serie standardopløsninger af det pågældende stof med kendte koncentrationer og tegner en standardkurve, se figur 97. Derefter måles absorbansen for den »ukendte« opløsning, og dens koncentration beregnes ud fra standardkurven.

Et simpelt spektrofotometer kan kun bruges til målinger i det synlige bølglængdeområde, men farveløse stoffer absorberer ikke synligt lys. Hvis man skal måle på et farveløst stof, anbefales et noget dyrere spektrofotometer, som ikke blot kan bruges i det synlige område, men også et stykke ned i det ultraviolette område. Der kræves også en speciel kuvette, der ikke absorberer ultraviolet lys. Man bruger kuvetter af kvarts, som er siliciumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) med en krystalstruktur, der tillader ultraviolet lys at passere.

Man kan måle absorbanser på et farveløst stof, hvis det har en veldefineret absorptionstop i det ultraviolette område. Som eksempel viser figur 98 absorptionsspektret for coffein (opløst i vand). Hvis man skal måle absorbanser på coffeinopløsninger, er det passende at vælge bølglængden 273 nm.

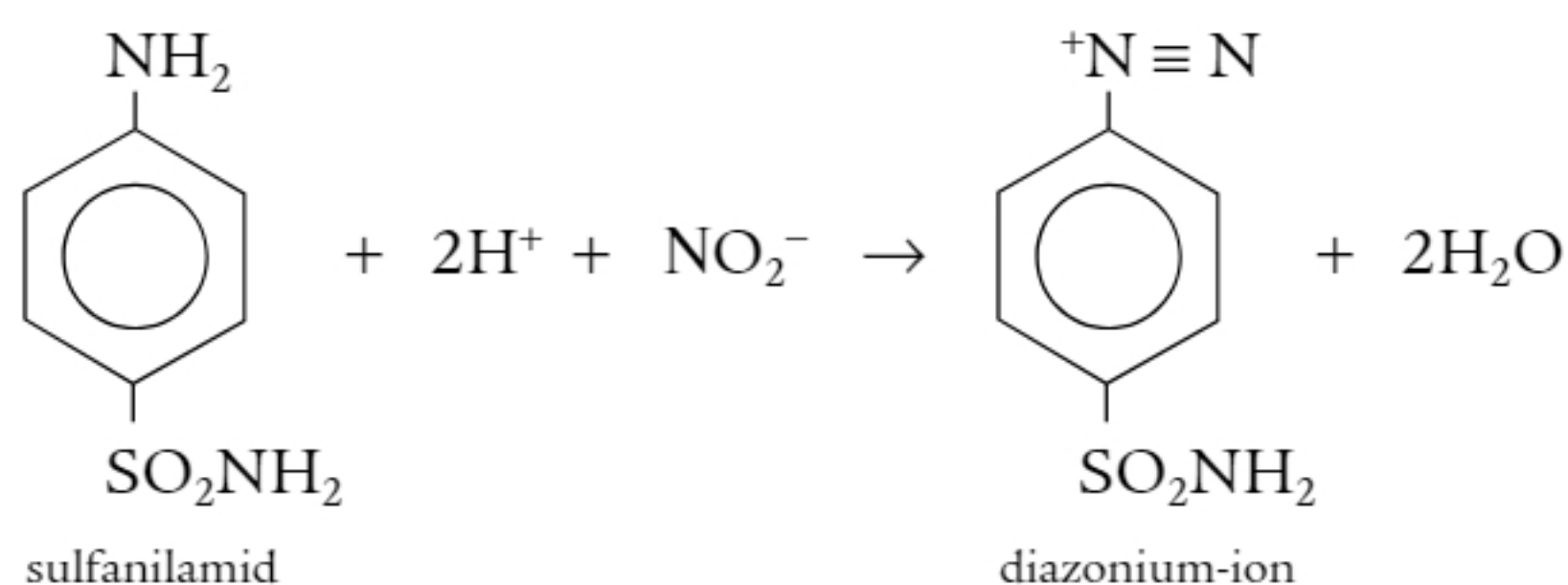


Figur 98. Absorptionsspektrum for en vandig opløsning af coffein. Herunder strukturformel for coffein.

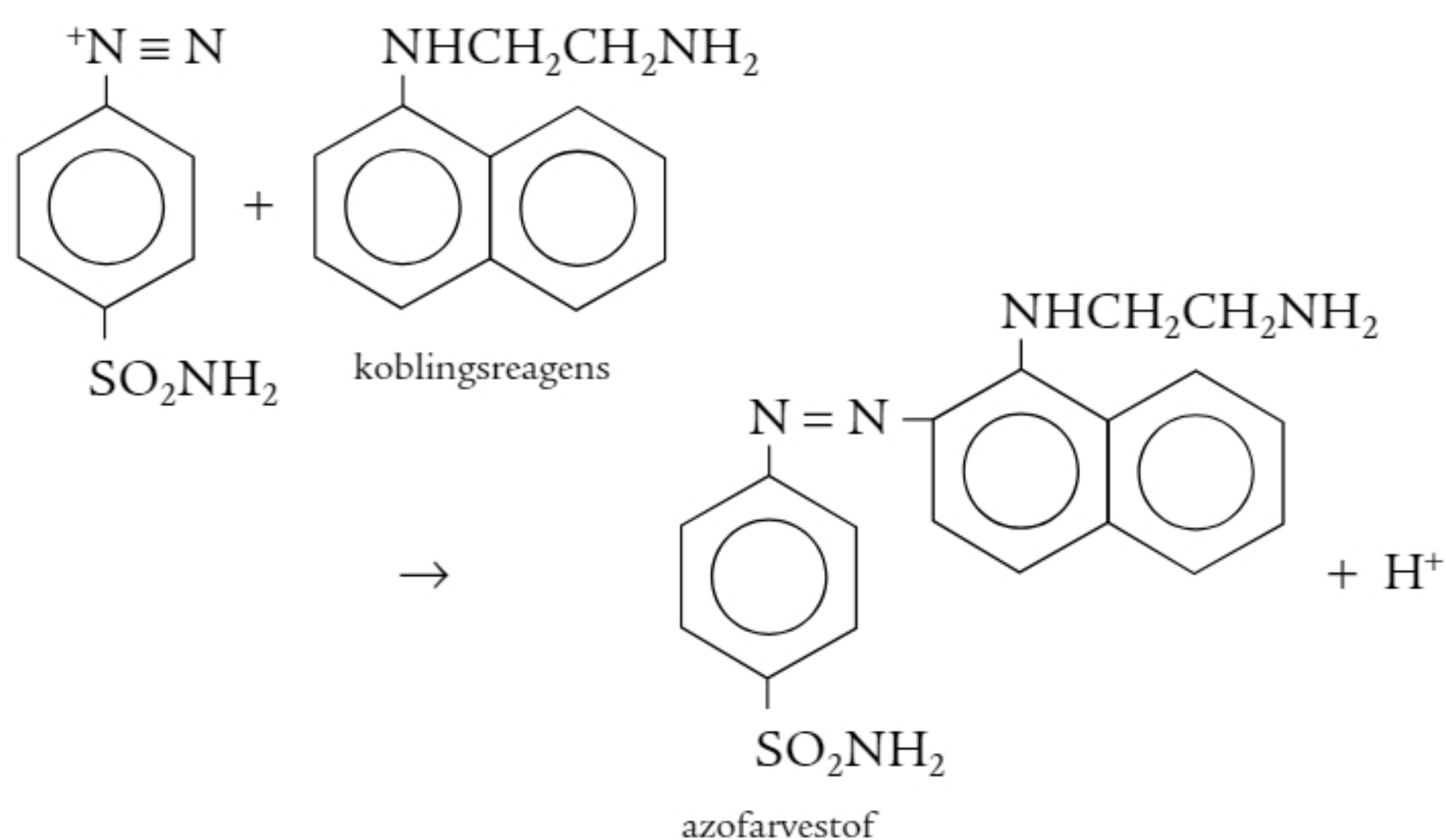


Der er en anden mulighed for at måle absorbanser på et farveløst stof. Man kan undersøge, om det er muligt at omdanne det farveløse stof kvantitativt (fuldstændigt) til et farvet stof, som man kan måle på i det synlige område. Som eksempel vil vi se på, hvordan man kan

måle på den farveløse ion nitrit. Her udnyttes det, at  $\text{NO}_2^-$ -ioner i sur opløsning reagerer med aromatiske primære aminer, hvorved der dannes en *diazonium-ion*. Som regel anvendes aminen sulfanilamid:



Derefter tilsættes et stof, som kaldes *koblingsreagenset*. Det reagerer med diazonium-ionen, hvorved der dannes et rødviolet såkaldt *azofarvestof*:



Et azofarvestof indeholder azogruppen  $-\text{N}=\text{N}-$  mellem to aromatiske ringe.  $\text{NO}_2^-$ -ionerne omdannes kvantitativt til azofarvestoffet. Hvis man ud fra opløsninger med kendte nitritkoncentrationer fremstiller opløsninger af det rødviolette azofarvestof, kan opløsningernes absorbanser måles, og der kan efterfølgende laves en standardkurve. Herefter er det muligt at bestemme nitritkoncentrationer i ukendte opløsninger efter en omdannelse af nitritten til azofarvestof.

Azofarvestoffer er i øvrigt en stor og meget vigtig gruppe af syntetiske farvestoffer, der benyttes til blandt andet tekstilfarvning og trykfarver. Desuden har en del azofarvestoffer fundet anvendelse til farvning af levnedsmidler, hvilket må betragtes som problematisk, da de blandt andet anses for at være allergifremkaldende. Brugen af azofarvestoffer i levnedsmidler er stærkt på retur i Europa.