109

Giboudot Joévin
Welker Charlotte.

Spectrométrie Optique

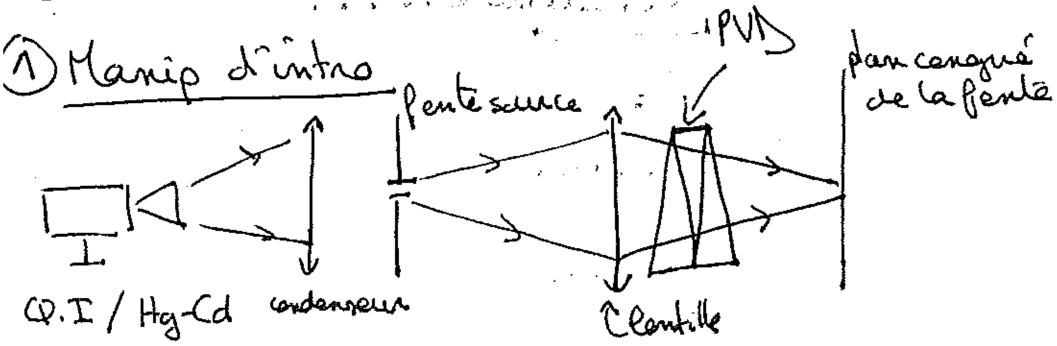
Bibliographie :

Sextant
Duffait
TP IUT Mesures Physiques de Caen, Spectroscopie par transformée de Fourier

Introduction.

le rayonnement lumineux est composé d'une ou plusieurs vibrations de longueur d'onde donnée, la puissance lumineuse étant distribuée de manière homogène ou non selon ces longueurs d'onde.
C'est ce que la spectrométrie se propose d'analyser :
-> mesurer des ~~amplitudes~~ longueurs d'onde
-> déterminer des spectres.
Selon les modes et conditions d'émission, on pourra observer ≠ types de spectres :
-> continu
-> de raies
) faciles à visualiser à l'aide d'un matériau dispersif.

1) Manip d'intro

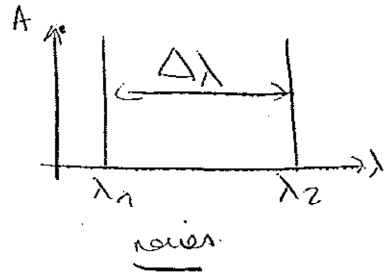


Selon les échelles que l'on souhaite résoudre, on pourra avoir recours à plusieurs types de spectroscopes :
-> dispersifs (réseau, prisme)
-> interférentiels (Michelson, Fabry-Pérot)
Un bon moyen de caractériser la capacité d'un spectroscope donné à

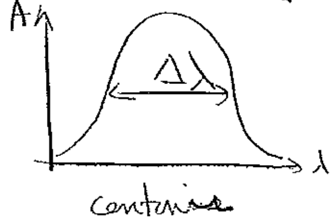
séparer deux raies à λ et $\lambda + \delta\lambda$ est de définir son pouvoir de résolution :

$\boxed{R = \frac{\lambda}{\delta\lambda_{min}}}$, ce que nous allons voir plus en détails à présent.

I) 1ère échelle de Résolution : Dispositif dispersif (le plus intuitif : dévier les $\lambda \neq$

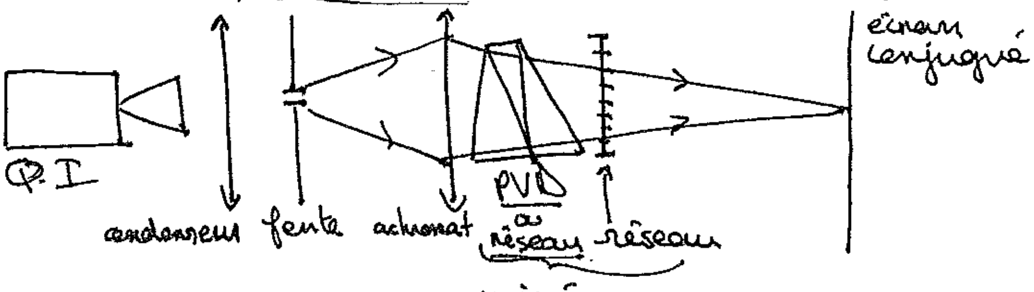


$\Delta\lambda \sim \lambda_{moyen}$.



a) Pourquoi le PRISME ? le RESEAU ?

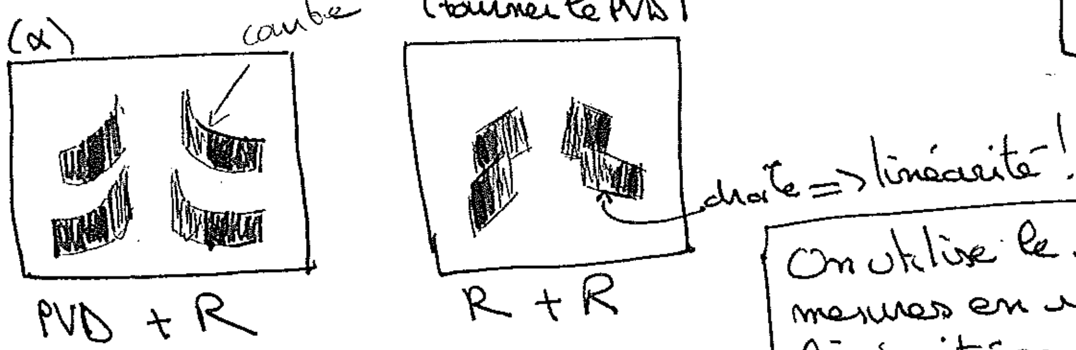
Expérience qualitative. Non linéarité du prisme.



(α) : $\cdot\, \lambda = kx$

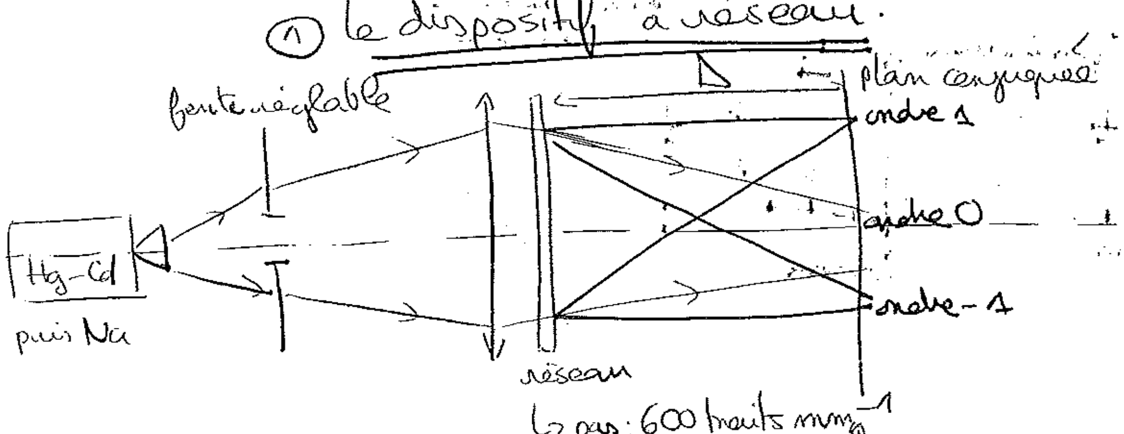
$\cdot\, y = a + \frac{b}{\lambda^2}$

$\Rightarrow y = a + \frac{c}{x^2}$



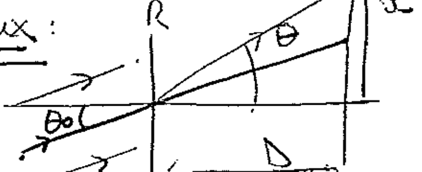
On utilise le réseau pour les mesures en raison de sa linéarité en λ.

① le dispositif à réseau.



Rappel : Formule de réseaux :

pas : a



A l'ordre p :

$\sin\theta_p - \sin\theta_0 = \frac{p\lambda}{a}$

En incidence normale, pour de petits angles :

$$\boxed{\lambda = \frac{a x}{p D}}$$

$\Rightarrow$ On trace une droite d'étalonnage $\lambda(x)$ avec la lampe Hg-Cd.
(Note : l'utilisation de papier à imprimante permet de faire apparaître nettement les raies ultraviolettes de Hg.)

Raie	
λ_{tab}	
x (mm)	

Mesure du λ moyen du doublet du sodium : même manip. avec la lamp Na.
On utilise la courbe d'étalonnage pour retrouver λ_m

$\lambda = ax + b$ On a trouvé $\left| \begin{array}{l} a = \\ b = \end{array} \right| \begin{array}{l} \Delta a = \\ \Delta b = \end{array}$

avec :
$\Delta x \sim$
$\Delta \lambda_{tab}$ négligé

On a donc : $\left(\frac{\Delta(\lambda - b)}{\lambda - b}\right)^2 = \left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2 \sim \left(\frac{\Delta\lambda + \Delta b}{\lambda}\right)^2$

soit : $\Delta\lambda = \lambda_m \left(\sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x}{x}\right)^2} + \Delta b \right)$

$\Delta\lambda =$

$$\boxed{\lambda_{Na} = \quad \pm \quad}$$

Résolution du doublet ?

② Pouvoir de Résolution

$R = \frac{\lambda}{\delta\lambda}$

2 types : $\rightarrow$ géométrique
$\rightarrow$ intrinsèque au dispositif.

a) <u>Géométrique</u> :

• <u>largeur de la fente source</u> :

Plus elle est large moins on résout.

$$\boxed{R = \frac{\lambda}{\alpha}\frac{d\theta}{d\lambda}}$$

$\frac{d\theta}{d\lambda}$: dispersion du réseau :

$$\boxed{\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{p}{a}}$$

$$\lambda = \frac{a x}{p D} = \frac{a}{p}\theta$$

α : largeur angulaire de la fente de largeur ℓ.

$$\alpha \simeq \frac{\ell}{D}.$$

$$\boxed{R_{géom} = \frac{\lambda D}{\ell}\cdot\frac{p}{a}}$$

<u>Pour résoudre Na (le doublet)</u> :

On veut $\frac{d\theta}{d\lambda} \simeq \frac{\delta x}{D\,\delta\lambda}$ $\Rightarrow$ $R = \frac{\lambda\,\delta x}{\ell\,\delta\lambda}$

) <u>Diffraction par le réseau</u> (critère de Rayleigh.).

<u>largeur éclairée du réseau</u> = L

$R = Np$ → intérêt des réseaux blazés
→ influence du nombre de traits par mm.

nb traits éclairés ↗ N ; ordre ↖ p

Soit a le pas du réseau alors : $N = \frac{L}{a}$

1 fente L : → largeur $\frac{2\lambda D}{L}$ du pic.

$$\alpha = \frac{\lambda D}{L}\times\frac{1}{D} = \frac{\lambda}{L}$$

$$R = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \lambda\frac{d\theta}{d\lambda}\times\frac{L}{\lambda} = L\frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{Lp}{a} = Np.$$

→ utilisation d'un diaphragme.

→ Ordre

II) 2ème échelle (et 3ème ?) de Résolution : Spectromètre interférentiel.

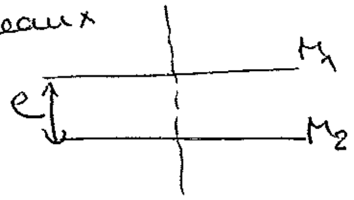
1) Résolution du doublet Na au Michelson

$\delta\lambda \sim 9 1\% \lambda_{moyen}$.

$\boxed{\sigma = \frac{1}{\lambda}}$

Michelson en lame d'air :

↳ anneaux



$I = 2I_0(1 + \cos(\pi\bar{\sigma}\delta)\cos(\pi\delta\sigma\delta))$ avec $\bar{\sigma} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$

$\delta = 2ne$. et $e = k \times \delta e$.

$\delta\sigma = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} = \frac{\delta\lambda}{\lambda_m^2}$

On a :

$\delta\sigma = \frac{1}{2\delta e} \Rightarrow \boxed{\delta\lambda = \frac{\lambda_m^2}{2\delta e}}$

On observe ___ anticoïncidences ⇒ chariotage total e

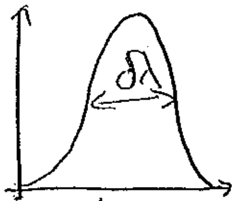
$\delta\lambda_{exp} =$ $\delta\lambda_{théorique} = 0,6\,nm$ $\lambda_m^{tab} = 589,3\,nm$

Incertitudes

$\frac{\Delta(\delta\lambda)}{\delta\lambda} = \frac{\Delta e}{e} = \frac{\Delta \delta e}{e} =$

d'où $\boxed{\delta\lambda_{exp} = \quad \pm \quad}$

2) Spectre de la lumière blanche



évolution C° en λ.

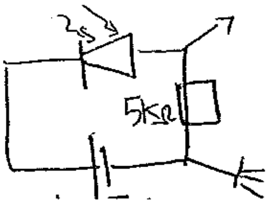
↳ lumière blanche : $\delta\lambda \sim \lambda_m$

↳ raie : $\delta\lambda \ll \lambda_m$

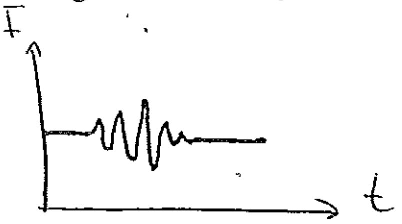
Spectroscopie par transformée par transformée de Fourier

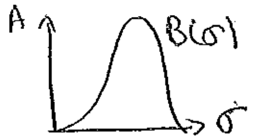
En lame d'air, en lumière blanche, on chariote à vitesse constante v (moteur) pour enregistrer toutes les teintes de Newton.

acquisition à la photodiode polarisée en inverse sur Synchronie puis transformée de Fourier sur Regressi.



Signal temporel : $\delta(t) = \delta_0 + 2n v t$





$$I(\delta) = I_0 + \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{B(\sigma)}{2} e^{2i\pi\sigma\delta} d\sigma + cc^*$$

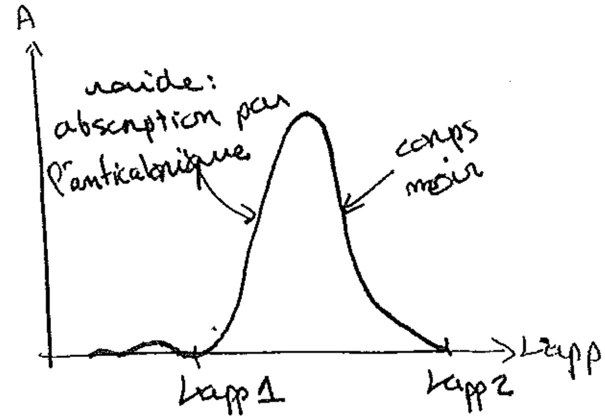
$$= \frac{1}{2}\int_{-\infty}^{+\infty} \frac{B(\nu_{app})}{2v} e^{2i\pi\nu_{app} t} d\nu_{app} + cc^*$$

avec $\boxed{\nu_{app} = 2\sigma v}$ fréquence apparente.

=> Par TF, on retrouve : $B(\nu_{app})$ à un facteur près et :

$$\boxed{\lambda_{réel} = \frac{2v}{\nu_{app}}}$$

On observe :



$v = 5{,}5.10^{-7}\, m.s^{-1}$
$c = 3{,}10^8\, m.s^{-1}$

$\nu_{app}1 = \quad \pm$
$\nu_{app}2 = \quad \pm$

Donc $\boxed{\begin{array}{l} \lambda_1 = \quad \pm \\ \lambda_2 = \quad \pm \end{array}}$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta v}{v} + \frac{\Delta\nu_{app}}{\nu_{app}} =$$

=> Améliorer le caractère constant et la précision de la vitesse du chariot (échantillonnage laser).

-> accès aux spectres, profils de raies

-> Notion de spectre d'absorption.

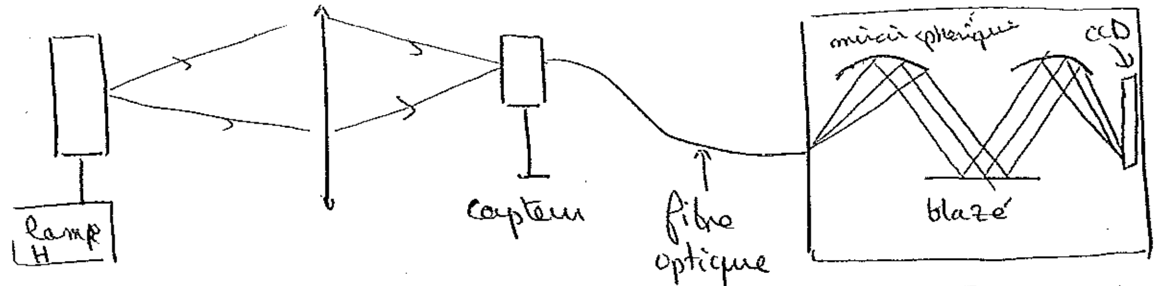
III) Application de la Spectrométrie : Raies de l'hydrogène et Mesure de la constante de Rydberg.

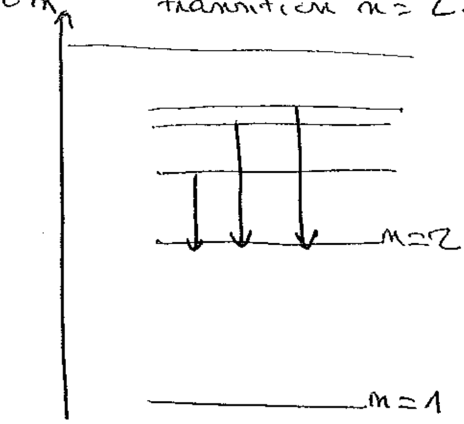
1) Spectre de l'hydrogène sur Spid HR.

-> monochromateur

-> réseau blazé à l'ordre 1

-> fente d'entrée et de sortie d'égales épaisseurs.





On observe 3 pics des raies de Balmer.

$\lambda_1 =$ $\pm$

$\lambda_2 =$ $\pm$

$\lambda_3 =$ $\pm$

$$\boxed{\frac{1}{\lambda_k} = R_H\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{k^2}\right)}$$

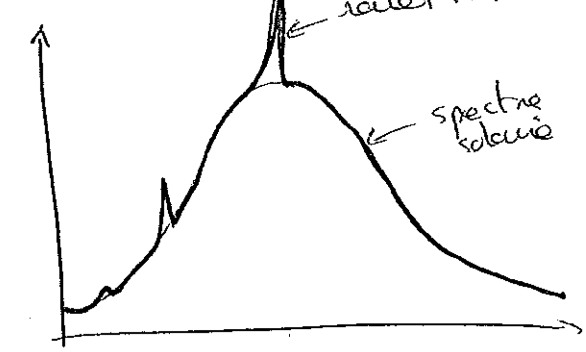
Régression linéaire sur Regressi :

$$\frac{1}{\lambda_k} = a\left(\frac{1}{4} - \frac{1}{k^2}\right)$$

On trouve $\boxed{R_y = \qquad \pm}$ (théorique : $R_y = 109677 \text{ cm}^{-1}$)

② Spectre du rayonnement solaire :

On observe :



=> présence d'hydrogène dans le soleil
=> intérêt en astrophysique
(également en absorption.

Conclusion : • Différents types de spectromètres :
=> dispersifs : Réseau, Prisme
=> interférentiels : Michelson, et plus précis : le Fabry-Pérot (notion de finesse)
=> différentes échelles résolues par des méthodes directes et indirectes.
• Grand intérêt en physique : -> calcul de constantes fondamentales
induction à grande distance de propriétés des systèmes : en émission ET
en absorption (raies typiques ... en astrophysique ...)