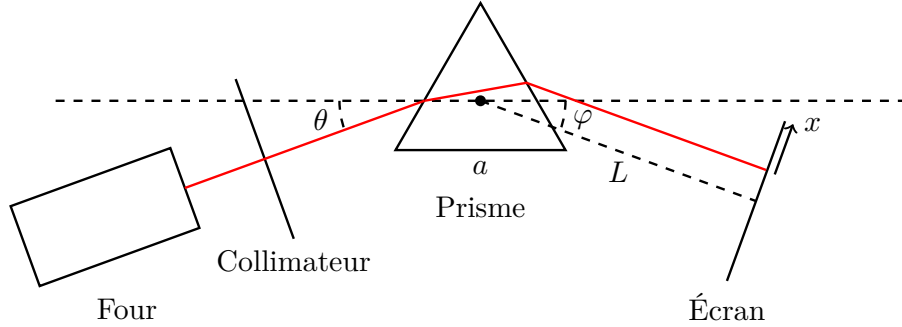


# Physique atomique et nucléaire

Projet (rapport, minimum 10 pages, maximum 15 pages, en équipe de trois)

Montrer bien tous les calculs menant aux réponses et justifier celles-ci



**Figure 1:** Spectromètre à prisme

Le projet consiste à déterminer les paramètres d'utilisation d'un spectromètre à prisme calibré sur une transition donnée. La figure 1 montre le montage expérimental à utiliser. Le prisme est un triangle équilatéral avec des côtés de longueur  $a$  et un indice de réfraction  $n(\omega)$ . Le four, qui contient un gaz diffus de particules en équilibre thermique à une température  $T$ , est tourné d'un angle  $\theta$  par rapport à l'horizontale. L'écran est à une distance  $L$  du centre géométrique du prisme et est tourné d'un angle  $\varphi$  par rapport à l'horizontale. Un rayon lumineux de calibration (trait rouge) montre le chemin emprunté par un photon de calibration de fréquence angulaire  $\omega_c$  à partir du four jusqu'à l'écran.

1. **Calibration théorique :** Pour un gaz diffus quelconque.

(a) À partir de la loi de Snell-Descartes,

$$n_o \sin \theta_o = n_i \sin \theta_i,$$

déterminer l'angle de rotation  $\varphi$  nécessaire pour que le rayon lumineux de calibration (de fréquence angulaire  $\omega_c$ ) soit parallèle à la normale de l'écran. Définir ce point sur l'écran comme l'origine  $x = 0$ .

(b) À partir de la loi de Cauchy en optique,

$$n(\omega) = B + \frac{C}{(2\pi c/\omega)^2},$$

déterminer la position  $x(\omega)$  sur l'écran d'un photon de fréquence angulaire  $\omega$ .

(c) À partir des taux de transition moyens en émission spontanée  $\bar{R}_{i \rightarrow j}^s$  entre les états d'énergie  $E_i$  et  $E_j$  et du principe du bilan détaillé (*detailed balance law*),

$$\frac{N_i}{N_j} = \frac{g_i e^{-E_i/(k_B T)}}{g_j e^{-E_j/(k_B T)}},$$

où  $g_i$  est le degré de dégénérescence du niveau d'énergie  $E_i$ , déterminer le ratio  $I_{i \rightarrow i'}/I_{j \rightarrow j'}$  des intensités  $I_{i \rightarrow j} \propto N_i \bar{R}_{i \rightarrow j}^s \omega_{i \rightarrow j}$  des raies spectrales.

2. **Calibration théorique :** Pour un gaz diffus d'atomes d'hydrogène (sans tenir compte de l'interaction spin-orbite).

- (a) À partir des niveaux d'énergie et des fonctions d'onde propres de l'atome d'hydrogène, démontrer que les fréquences angulaires  $\hbar\omega_{n \rightarrow n'} = E_n - E_{n'}$  et les taux de transition moyens  $\bar{R}_{n \rightarrow n'}^s$  en émission spontanée dans l'approximation dipolaire électrique, où

$$\bar{R}_{n \rightarrow n'}^s = \left( \sum_{\ell, m_\ell, s, m_s} \sum_{\ell', m'_\ell, s', m'_s} R_{n\ell m_\ell s m_s \rightarrow n'\ell' m'_\ell s' m'_s}^s \right) / \left( \sum_{\ell, m_\ell, s, m_s} 1 \right),$$

sont donnés par

transition $n \rightarrow n'$	$\omega_{n \rightarrow n'} / \left( \frac{\alpha^2 \mu c^2}{2\hbar} \right)$	$\bar{R}_{n \rightarrow n'}^s / \left( \frac{\alpha^5 \mu c^2}{\hbar} \right)$
$3 \rightarrow 2$	$\frac{5}{36}$	$\frac{241408}{87890625}$
$4 \rightarrow 2$	$\frac{3}{16}$	$\frac{836}{1594323}$
$5 \rightarrow 2$	$\frac{21}{100}$	$\frac{534428928}{3391115364245}$
$6 \rightarrow 2$	$\frac{2}{9}$	$\frac{143}{2359296}$

pour les transitions  $3 \rightarrow 2$ ,  $4 \rightarrow 2$ ,  $5 \rightarrow 2$ , et  $6 \rightarrow 2$ .

- (b) Déterminer les positions sur l'écran et les intensités relatives des quatre raies spectrales ci-dessus par rapport à la transition  $4 \rightarrow 2$ .
- (c) Utiliser des valeurs physiques raisonnables pour les différents paramètres et déterminer les valeurs numériques des positions sur l'écran et des intensités relatives des quatre raies spectrales ci-dessus par rapport à la transition  $4 \rightarrow 2$ .