

# Physique générale : quantique, Série 6

*Assistants et tuteurs :*

elena.acinapura@epfl.ch  
sara.alvesdossantos@epfl.ch  
felice.bordereau@epfl.ch

jeanne.bourgeois@epfl.ch  
sofia.brizigotti@epfl.ch  
thomas.chetaille@epfl.ch  
marco.dimambro@epfl.ch

leo.goutte@epfl.ch  
douaa.salah@epfl.ch  
arianna.vigano@epfl.ch

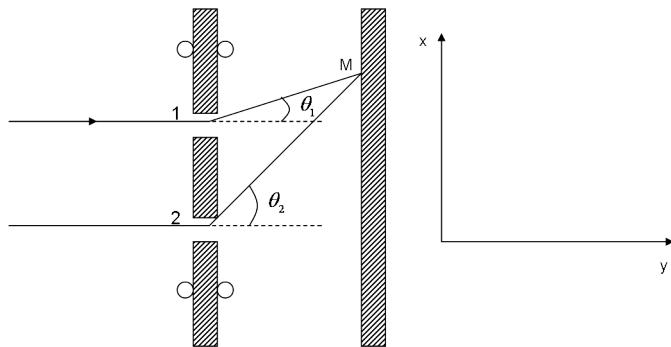
## Exercice 1 : Le principe d'incertitude de Heisenberg

En utilisant le principe d'incertitude d'Heisenberg, estimez la taille d'un atome d'hydrogène.  
Indication : Considérez l'équilibre entre la force électrostatique et la force centrifuge. De plus, la quantité de mouvement de l'électron, induite par l'interaction proton – électron, doit être suffisamment forte pour confiner cet électron.

## Exercice 2 : Principe d'incertitude dans l'expérience de Young

Au cours, nous avons vu plusieurs versions de l'expérience de Young. Voici celle proposée par Einstein. En plus de son aspect historique, elle est intéressante car elle permet de mieux saisir le principe d'incertitude et le lien avec le principe de complémentarité.

Supposons que, comme montré sur le schéma ci-dessous, la plaque dans laquelle sont percées les fentes soit montée de façon à pouvoir se déplacer verticalement dans son plan. Si nous arrivons à mesurer avec une précision suffisante l'impulsion transférée, nous pouvons alors savoir par quelle fente est passée la particule. Introduisons encore la longueur d'onde de De Broglie  $\lambda$ , la distance entre la plaque et la paroi  $d$ , et la séparation entre les deux fentes  $a$ . Supposons que l'onde incidente sur la plaque se propage dans la direction  $\hat{y}$ .



1. Considérer le cas ondulatoire et trouver la distance entre les maxima de la distribution de probabilité de présence sur l'écran dans l'approximation des petits angles ( $\theta_{1,2} \ll 1$ ).

2. Dans le cas corpusculaire, trouver l'impulsion transférée à la paroi pour une trajectoire donnée, toujours dans l'approximation des petits angles. En déduire la différence entre un passage par la fente 1 ou 2.
3. A l'aide du principe d'incertitude, montrer qu'une précision suffisante dans la mesure des impulsions efface les franges d'interférence.

### Exercice 3 : Probabilité de mesurer la position 1

Supposons que la fonction d'onde  $\psi(x)$  d'un électron se trouvant dans une région  $x \in [-\infty, \infty]$  soit connue :

$$\psi(x) = \frac{A}{\sqrt{1 + k^2 x^2}},$$

où  $k$  est une constante réelle. Trouvez la constante de normalisation  $A$  (en fonction de  $k$ ) et calculez :

1. la position moyenne de l'électron  $\langle x \rangle$
2. la position  $x$  la plus probable,
3. les positions où la probabilité de trouver l'électron est égale à zéro, et
4. déterminez la constante  $k$  s'il est connu que l'électron se trouve dans l'intervalle  $x \in [-1, 1]$  avec une probabilité  $p = 1/4$ .

### Exercice 4 : Probabilité de mesurer la position 2

Supposons que la fonction d'onde  $\psi(x)$  d'un électron se trouvant dans une région  $x \in [0, 1]$  soit connue :

$$\psi(x) = A(x - \sqrt{x}).$$

Déterminez

1. la constante de normalisation  $A$
2. la position moyenne de l'électron  $\langle x \rangle$
3. la valeur moyenne de  $\langle x^2 \rangle$ . Calculez aussi l'incertitude  $\Delta x$  sur la position.
4. la position  $x$  la plus probable
5. les positions où la probabilité de trouver l'électron est égale à zéro
6. la probabilité que l'électron se trouve dans une région  $x \in [0, 1/2]$

## Exercice 5 : Question de type examen

Un électron (masse  $m = 9.1 \times 10^{-31}$  kg) se trouve dans un état quantique caractérisé par une incertitude sur la position  $\Delta x = 0.1$  nm. On décide de mesurer sa vitesse à l'aide d'un instrument qui est caractérisé par une incertitude sur la mesure de  $\Delta v = 1000$  m/s. Comment change-t-elle l'incertitude sur la position de l'électron après la mesure de la vitesse ?

1. Elle ne change pas, car on a juste mesuré la vitesse de l'électron.
2. Elle augmente de beaucoup.
3. Elle augmente de 10%.
4. Elle diminue de 20%.
5. Elle diminue de beaucoup.