PHYSIQUE ATOMIQUE
TD 1
ATOME D'HYDROGENE ET IONS HYDROGENOÏDE

Nous allons dans ce TD tenter de décrire le comportement des électrons autour d'ions hydrogénoïdes, i.e. à 1 électron. Pour cela nous utiliserons une approche classique : le modèle de Rutherford (prix Nobel en 1908). Après avoir rapidement pointé ces limites, nous utiliserons une description semi-classique avec la quantification du moment cinétique de l'électron, approche proposée par Niels Bohr (1885-1962) qui obtint le prix Nobel de physique en 1922 (pour l'ensemble de ces travaux). Enfin nous donnerons une description quantique du système ions + électron.

Le modèle de Rutherford et ses limites

Dans ce modèle, l'ion -de charge *q*- est considéré comme ponctuel. Autour de cet ion « gravite » un électron de charge q' à la distance $a_0 = 0.5\ Å$ du noyau. Le mouvement de l'électron est considéré comme circulaire et uniforme de vitesse $\vec{V}$. L'électron est soumis à la force coulombienne $\vec{F}_e$ exercée par le noyau, considéré comme fixe.

1. Calculer l'accélération γ subit par l'électron ainsi que la vitesse *v* (on négligera la gravité). Calculer numériquement cette vitesse *v*.
2. Donner l'expression de l'énergie potentielle de l'électron, et en déduire l'énergie totale en fonction de a_0, *e*, et ε_0.

Une particule chargée et accélérée rayonne (antennes, rayonnement synchrotron, etc.). On peut montrer que la puissance rayonnée est fonction de l'accélération et s'écrit

$$P = \frac{q^2\gamma^2}{6\pi\varepsilon_0 c^3},$$

Avec *c* la vitesse de la lumière, et γ la norme de l'accélération de la particule.

3. Calculer le temps mis par l'électron pour tomber sur le noyau, en déduire que l'univers imploserait en quelques 10^{-11} secondes dans ces conditions.

Modèle de Bohr

Nous utiliserons dorénavant une description semi-classique, avec la quantification du moment cinétique de l'électron.

1. Exprimer l'énergie cinétique de l'électron grâce aux inégalités d'Heisenberg et déterminer l'expression de a_0 en fonction de $\hbar$, *m* et *e*.
2. En appliquant la condition de quantification du moment cinétique *L* de l'électron, calculer l'énergie, le rayon des orbites et les vitesses des particules pour l'atome d'hydrogène et chacun des systèmes hydrogénoïdes suivants :
    a. Fe^{25+} ($Z=26$, $A=56$)
    b. Positronium (e^+, e^-)
    c. Atomes muoniques *muons* + *proton* et *muon* + *Fer.*

    Discuter des limites de ce modèle simple.

Traitement Quantique : probabilité de présence dans l'atome d'hydrogène

1. Définir ce qu'est :
    a. Une probabilité de présence
    b. La probabilité élémentaire de présence *dP*
    c. La probabilité de présence *dP* dans un volume δV fini (densité de probabilité).

2. Donner l'expression de la probabilité élémentaire de présence radiale dP_r d'un électron dans l'état fondamental de configuration *1s*.
3. En déduire la distance r_p la plus probable.
4. Calculer la probabilité pour que l'électron soit à une distance comprise entre $0{,}9\ r_p$ et $1{,}1 r_p$.
5. Tracer la courbe représentant $P(r)$, probabilité de trouver l'électron à une distance inférieure à r.
6. Calculer la valeur moyenne $<r>$.