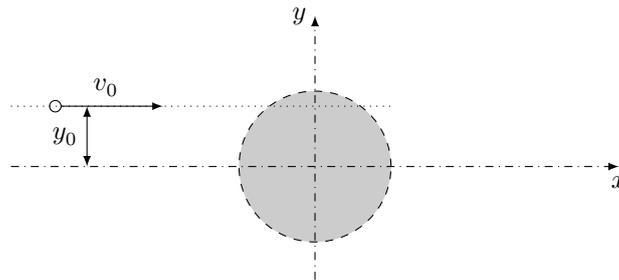




## Un modèle d'interaction forte

Ce sujet discute d'un modèle d'interaction forte, une force attractive s'exerçant seulement à courte distance entre nucléons (protons et neutrons). De nombreuses questions pourront être traitées en utilisant le script Python associé. On étudie en particulier l'interaction d'un neutron projectile de masse  $m$  dont la trajectoire rencontre celle d'un noyau fixe, sphérique de rayon  $r_0$ . La trajectoire initiale du neutron est rectiligne uniforme de vitesse  $v_0$  et de paramètre d'impact  $y_0$  :



### 1. Analyse de résultats de la simulation

- Les données numériques du script proposé utilisent pour unités de longueur, d'énergie et de masse respectivement le femtomètre ( $1 \text{ fm} = 1 \times 10^{-15} \text{ m}$ ), le mégaélectron volt ( $e = 1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) et la masse d'un nucléon ( $m_n = 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ). Quelles sont les unités de durée et de vitesse correspondante ?

La force exercée par le noyau sur le neutron est centrale, attractive, d'expression (en coordonnées sphériques)

$$\vec{F} = F(r)\vec{e}_r \quad \text{où} \quad F(r) = -\frac{U_0}{d} \exp\left(-\left(\frac{r-r_0}{d}\right)^2\right).$$

- Tracer et interpréter les courbes donnant  $F(r)$  et l'énergie potentielle  $U(r)$  associée.
- Proposer les interprétations physiques des grandeurs  $U_0$ ,  $r_0$  et  $d$ .
- Les neutrons étudiés dans cette simulation sont-ils relativistes ?

### 2. Étude classique des trajectoires neutroniques

On étudie ici, en mécanique classique, les propriétés générales du mouvement d'un neutron soumis à la force  $\vec{F}$  ci-dessus.

- Montrer l'existence de deux constantes du mouvement. Peut-on former un état lié du neutron et du noyau ?
- En supposant  $r_0 \gg d$ , montrer que la trajectoire est formée de la réunion de segments de droite.
- Établir l'expression de l'angle de déviation  $\theta$  (angle entre les trajectoire initiale et finale) en fonction du paramètre  $y_0$  ; tracer la courbe associée et comparer à la simulation.

### 3. États liés du neutron dans le noyau

On considère, en physique quantique, un état stationnaire lié à symétrie sphérique du neutron dans le noyau ; il est décrit par la fonction d'onde  $\Psi(r) = f(r)/r$ .

- Déterminer la forme de  $f(r)$ .
- Montrer que l'énergie  $E$  du neutron est quantifiée.

On donne l'équation de Schrödinger et l'expression du laplacien scalaire à symétrie sphérique :

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\Psi + U\Psi = i\hbar\frac{\partial\Psi}{\partial t} \quad \Delta F(r) = \frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dF}{dr}\right)$$

**Il sera accordé une grande importance aux qualités d'exposition.  
Le candidat est invité, dès le début de son passage au tableau,  
à présenter le sujet préparé de manière ordonnée et argumentée.**