

Força forte, o potencial de Yukawa e mésons

- O que mantém os núcleo atômico, composto de partículas positivas, unido?
- É necessário uma nova força, que atue em escalas muito pequenas, capaz de manter o núcleo unido. Como vamos chamar esta nova e extraordinária força? — **Força forte**.
- Foi Yukawa em 1934 (neste artigo https://www.jstage.jst.go.jp/article/ppmsj1919/17/0/17_o_48/_pdf/-char/en) que introduziu uma expressão quantitativa para essa força que serviu de paradigma para os desenvolvimentos futuros. O argumento usado foi, de certa forma, muito simples. Visava a forma mais simples de implementar essa força forte.
- O potencial dessa força tem de decair mais rapidamente que $1/r$. Para este caso, o potencial satisfaz, no vácuo, a eq. de Laplace

$$\nabla^2 U = 0.$$

- Precisa-se introduzir uma escala de distância para o decaimento ser mais rápido. Levando à equação de Helmholtz (note que λ tem dimensão de inverso de comprimento)

$$(\nabla^2 - \lambda^2)U = 0.$$

Força forte, o potencial de Yukawa e mésons

- A solução dessa última equação pode ser encontrada de diversas formas. No curso de MQ vocês encontram essa equação em outro contexto e precisarão resolvê-la sem assumir simetria esférica (o que leva a harmônicos esféricos e funções de Bessel esféricas).
- **Exercício 5:** Assumindo simetria esférica, mostre que a solução da equação de Helmholtz é

$$U = \frac{1}{r} (U_1 e^{-\lambda r} + U_2 e^{\lambda r}).$$

Dica: Note que $\nabla^2 [Z(r)/r]$ tem uma expressão bem mais simples que $\nabla^2 U(r)$. ■

- Um potencial com a forma

$$U = U_0 \frac{1}{r} e^{-r\lambda},$$

com $\lambda > 0$, é chamado de **potencial de Yukawa**. Isto é, trata-se de um potencial coulombiano multiplicado por um decaimento exponencial. É este o potencial relevante para a força forte entre prótons e nêutrons.