

1. Zasięg oddziaływań fundamentalnych R wiąże się z wymianą tzw. cząstek wirtualnych o masie M przy pomocy zależności wynikającej z zasady nieoznaczoności energii (patrz wykład)

$$R \simeq \frac{\hbar}{Mc}.$$

Zasięg oddziaływań grawitacyjnych i elektromagnetycznych jest nieograniczony, zasięg oddziaływań słabych (m.in. rozpady beta) jest rzędu 10^{-3} fm, oddziaływań silnych rzędu fm. Oszacować masy cząstek przenoszących te oddziaływania (odpowiednio grawitonu, fotonu, bozonów W-Z oraz pionów). Hipotezę istnienia pionów jako nośników oddziaływań silnych zapostulował Yukawa w 1935 roku, cząstka została odkryta bezpośrednio w 1947 roku. Użyteczny przelicznik: $kg = 5.61 \cdot 10^{26}$ GeV.

2. Czas życia stanu wzbudzonego atomu wynosi około 10^{-8} s. Obliczyć rozmycie energii emitowanych fotonów (szerokość energetyczna). Obliczyć szerokość linii, jeśli emitowane fotony przypadają na obszar widzialny ($\lambda \simeq 4 \cdot 10^{-7}$ m).
3. Omówić podstawowe własności przestrzeni Hilberta.
4. Pokazać, że operator $\hat{p}_x = -i\hbar\partial/\partial x$ jest hermitowski (samosprzężony). Pokazać, że operator energii

$$\hat{H} = \frac{\hat{p}_x^2}{2m} + V(x)$$

jest operatorem hermitowskim.

5. Pokazać (definicje, patrz wykład):

$$\begin{aligned} [\hat{L}_x, \hat{L}_y,]_- &= i\hbar\hat{L}_z, \\ [\hat{L}^2, \hat{L}_i,]_- &= 0, \quad i = x, y, z. \end{aligned}$$

Rozważyć komutatory operatorów położenia (a także pędu) i operatora momentu pędu. Jakie wielkości mogą być jednocześnie mierzalne?