

## Wstęp do Modelu Standardowego – zadania 2

1. Tensor pola elektromagnetycznego zdefiniowany jest jako:  $F^{\mu\nu} = \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu$ . Proszę napisać macierz z elementami tego tensora.
2. Proszę „wyprowadzić” równanie Kleina-Gordona, podstawiając operatory pędu i energii do niezmiennika relatywistycznego. Jakiej postaci mogą być rozwiązania równania Kleina-Gordona?
3. Proszę zapisać równanie Kleina-Gordona we współrzędnych sferycznych, a następnie pokazać, że funkcja (tzw. potencjał Yukawy)  $\Psi(r) = \frac{g_0}{4\pi r} e^{-r/R}$ , gdzie  $g_0, R = \frac{1}{m}$  to stałe jest jego rozwiązaniem. Jak zinterpretować  $\Psi(r)$  dla  $m = 0$ ?
4. Jakie warunki powinny spełniać macierze  $\gamma$  w równaniu Diraca  $(i\gamma^\mu \partial_\mu - m)\psi = 0$ , aby było ono zgodne z równaniem Kleina-Gordona  $\left(-\frac{\partial^2}{\partial t^2} \Psi + \nabla^2\right) = m^2 \psi$ ?
5. Sprawdzić, czy podstawienie  $\Psi \rightarrow e^{i\theta} \Psi$  (globalna zmiana fazy) zmienia lagranżian Diraca.
6. Pokazać jak lokalna symetria cechowania  $\Psi \rightarrow e^{i\theta(x)} \Psi$  lagranżianu wprowadza oddziaływanie elektronu z fotonem.