



۱. الف) همانطور که می دانید ذره Ω^- حالت مقیدی از سه کوارک s در حالت پایه است. تابع موج این حالت مقید را تا دقتی که می توانید بنویسید و توضیح دهید چگونه عدد کوانتومی رنگ، اصل طرد پائولی را نجات می دهد؟

ب) قبلا با هم دیده ایم که یکی از آزمون های تجربی تایید کننده وجود بار کوانتومی رنگ، محاسبه و اندازه گیری تجربی نسبت های زیر است:

$$R = \frac{\text{احتمال رخداد (هادردها } e^- + e^+ \rightarrow \text{)}}{\text{احتمال رخداد } (e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+)}$$

فرض کنید در حال انجام آزمایش هستیم که انرژی مرکز جرم در آن 4GeV است. در این آزمایش R حدودا برابر با چه مقداری خواهد بود و چگونه این موضوع وجود بار رنگ را تایید می نماید؟

ج) یکی از اساسی ترین پیامدهای وجود بار رنگ، آزادی مجانبی است. این مفهوم را توضیح دهید. این مفهوم چگونه از مدلی که برای کروودینامیک کوانتومی نوشتیم، نتیجه می شود؟ به طور خاص چرا برای QED آزادی مجانبی نداریم برای QCD این مفهوم وجود دارد؟

د) چگونه آزادی مجانبی به اسارت کوارکی منجر می شود؟

ه) یک توصیف از اسارت کوارکی این است که در طبیعت حالت مقید رنگی دیده نمی شود. بیاید این گزاره را دقیق تر

کنیم. به این منظور برای حالت سه تایی کوارکی با عدد کوانتومی رنگ، یعنی $q = \begin{pmatrix} q^r \\ q^g \\ q^b \end{pmatrix}$ و به طور مشابه برای

پادکوارک ها می توان ایزواسپین رنگ I_3^c و ابربار رنگ Y^c تعریف نمود. در این صورت شرط اسارت کوارکی این طور بیان می شود: برای هر حالت مقید از کوارک ها و پادکوارک ها که در طبیعت یافت شود

$$I_3^c = Y^c = 0$$

با توجه به شرط بالا نشان دهید برای هر حالت مقید از m کوارک و n پادکوارک به صورت $q^m \bar{q}^n$ که در طبیعت مشاهده می شود:

$$m - n = 3p, \quad p \in \mathbb{Z}$$

با این شرط استدلال کنید چرا مزون ها $q\bar{q}$ و باریون ها qqq در طبیعت مشاهده می شوند؛ اما حالت های مقیدی نظیر qq و نیز $qq\bar{q}$ مشاهده نمی شوند. آیا به جز مزون ها و باریون ها می توانید ترکیبات مجاز دیگری بیابید؟

۲. شکست خودبخوری تقارن را توضیح دهید. چگونه شکست خودبخودی تقارن در مکانیسم هیگز باعث جرم دار شدن یک میدان برداری می شود؟ این مکانیسم را با نوشتن یک لاگرانژی ساده توضیح دهید.