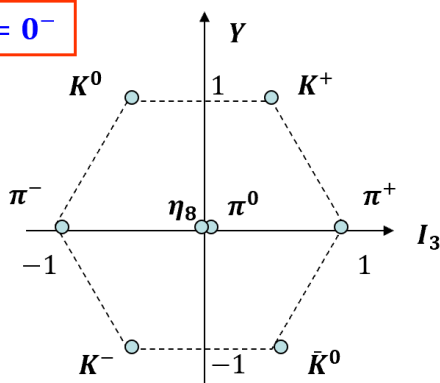


2022 年粒子物理(I) 期末考试题

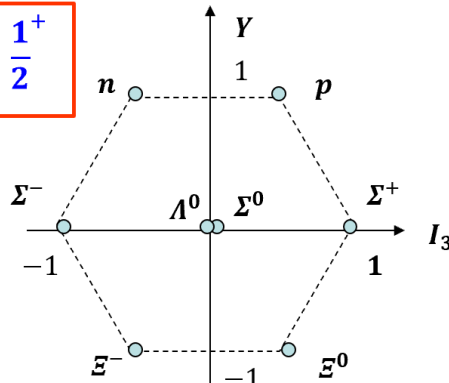
姓名: 学号: 单位:

一、(10 分) 根据夸克模型, 赝标介子八重态和重子八重态在 $SU(3)$ 权图上标记为

$$J^P = 0^-$$



$$J^P = \frac{1}{2}^+$$



请写出赝标量介子八重态和重子八重态的夸克组分和量子数 (对于纯中性粒子, 请写出其 $I^G J^P C$ 量子数, 对于普通介子请写出其 $I^G J^P$ 量子数, 对于奇异粒子和重子, 请写出其 (I, I_3, S) 量子数。

二、选择题 (20 分)

- 在认识强相互作用的过程中, 颜色自由的引入是为了解决 () 的问题
A) 轻子-核子非弹性散射 B) 重子波函数的自旋-统计关系危机 C) 么正性破坏
D) 味道对称性的破坏
- 以下哪个 (些) 过程是中性流弱过程 () (可多选)
A) $\nu_\mu e \rightarrow \nu_\mu e$ B) $e^- p \rightarrow \nu_e X$ (电子核子深度非弹) C) $\nu_\mu N \rightarrow \nu_\mu X$ (中微子核子深度非弹)
D) $\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$
- D_s 介子 (夸克组分 $c\bar{s}$) 的纯轻子衰变 $D_s \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ 和 CKM 矩阵元 () 有关
A) V_{cd} B) V_{us} C) V_{ud} D) V_{cs}
- J/ψ ($I^G J^{PC} = 0^- 1^{--}$) 粒子可以衰变到以下哪 (几) 种正反 K 介子末态
A) $K^+ K^-$ B) $K_L K_L$ C) $K_S K_S$ D) $K_L K_S$
- 预言粲夸克存在以消除树图水平上的味道改变中性流的理论是 ()
A) GIM 机制 B) OZI 规则 C) Cabibbo 理论 D) CP 破坏
- 六味夸克由轻到重的顺序应该是 ()
A) $u d s c b t$ B) $d u s c b t$ C) $u d c s b t$ D) 以上都不对
- Higgs 粒子和重费米子耦合强于和轻费米子耦合的原因是 ()
A) 重费米子的相空间大 B) Yukawa 耦合常数与费米子质量成正比 C) Higgs 耦合与费米子质量成反比。
- QCD 有渐近自由的性质是指, 随着相互作用动量平方增加时, 强相互作用耦合常数 α_s ()
A) 减小 B) 不变 C) 变大 D) 先变大后减小

三、计算题 (20 分)

- (10 分) 坐落在德国汉堡的 HERA 对撞机是一个电子-质子对撞机。实验坐标系中, 电子能量是 27.5 GeV, 质子能量是 920 GeV。那么它们的对撞质心系能量是多少? 要达到同样的质心系能量, 如果质子处于静止状态, 我们需要把电子加速到多少能量。(电子质量取为 0, 质子质量取为

1GeV, 另有 $\sqrt{10.12} \approx 3.18119$)

2. (10 分) 试说明 LHC 上和下一代 Higgs 工厂 (正负电子对撞机) 上 Higgs 玻色子产生的主要过程分别是什么?

四、分析题(30)

- (10 分) 讨论两个 π 介子组成的中性系统 ($\pi^0\pi^0$ 和 $\pi^+\pi^-$) 的所有可能的 C, P, G 量子数。
- (5 分) 粲偶素 J/ψ ($I^G J^{PC} = 0^- 1^{--}$) 辐射衰变过程 $J/\psi \rightarrow \gamma X$ (这里 X 指由 u, d, s 夸克-反夸克构成的轻强子) 是研究轻强子性质的重要场所, 其中轻强子 X 是通过 J/ψ 中 $c\bar{c}$ 在放出一个光子 γ 后湮灭成若干胶子, 然后胶子再强子化而成轻强子 X 。考虑到胶子是味道单态 (同位旋单态), 则从过程 $J/\psi \rightarrow \gamma X$ 可以确定 X 的哪些量子数?
- (5 分) 续上题, 一般来说 X 都是强子共振态, 比如它是在过程 $J/\psi \rightarrow \gamma \pi \pi$ 的 $\pi\pi$ 不变质量谱中观测到的, 即 $J/\psi \rightarrow \gamma X \rightarrow \gamma \pi \pi$, 那么 X 的量子数都有哪些可能?
- (10 分) BESIII 合作组 2022 年大年初一公布了一个重要的发现: 在 J/ψ 辐射衰变过程 $J/\psi \rightarrow \gamma \eta \eta'$ 的 $\eta \eta'$ 的不变质量谱中看到一个 $I^G J^{PC} = 0^+ 1^{-+}$ 的共振结构 $\eta_1(1855)$, 该发现的重要性在于首次观察到具有奇特量子数 $J^{PC} = 1^{-+}$ 的同位旋单态强子 (这里奇特量子数是指夸克模型中 $q\bar{q}$ 不能具有的量子数)。请问, 能在 $\eta \eta$ 系统和 $\eta' \eta'$ 系统观察到 $\eta_1(1855)$ 吗, 为什么 (η 和 η' 的量子数见附表)? 你还知道有哪些 $q\bar{q}$ 不具备的奇特强子数, 说出两三个就好。

五、根据各种相互作用的对称性和守恒定律, 判断如下几个过程能否发生, 如果能够发生, 是通过什么相互作用进行的? 为什么? (20 分)

- 1) $e^+e^- \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$, 2) $J/\psi \rightarrow \pi^+\pi^-$, 3) $p \rightarrow e^+\gamma$, 4) $f_0 \rightarrow \pi^0\eta$, 5) $\phi \rightarrow \pi^0\pi^+\pi^-$
- 6) $K_L \rightarrow \pi^+\pi^-$ 7) $\Delta^+ \rightarrow p\pi^0$, 8) $W^- \rightarrow \mu\bar{\nu}_\mu$, 9) $H \rightarrow \gamma\gamma$ (H 是 Higgs 粒子)
- 10) $\Omega \rightarrow \Xi^0 K^-$

(附: 有关粒子的量子数)

粒子	Ω	K_L	p	J/ψ	Δ^+	ϕ	f_0	Ξ^0	η	η'
I^G	0			0^-	$3/2$	0^-	0^+		0^+	0^+
J^{PC}	$3/2^+$			1^{--}	$3/2^+$	1^{--}	0^{++}		0^{-+}	0^{-+}
质量(MeV)	1672	495	938	3097	1235	1020	1710	1315	547	958