

論文内容の要旨

論文題目：BES-II実験による測定データを用いた $J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$ 過程の研究

(A Study of $J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$ Decay Using the BES-II Detector)

氏名 倉田 正和

1 動機

BES-II 実験は世界で最も多くの J/ψ 事象が測定された実験である。BES-II 実験の $J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$ 事象の解析において、それまでの世界平均を大きく越えた相対崩壊分岐比が測定された ($(2.05 \pm 0.03 \pm 0.11) \times 10^{-3}$)。この結果について検証するため、異なる解析手法を用い、また系統誤差を抑えるための様々な工夫をして、 $J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$ 事象の新しい解析を行った。またこの分岐比は低エネルギーにおける摂動計算による量子色力学の研究に重要である。また BES-II 実験で測定された J/ψ 事象を用いることによって、 $J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$ 崩壊過程における CP 対称性の破れの測定を世界で初めて行った。 $\Lambda \rightarrow p\pi^-$ と $\bar{\Lambda} \rightarrow \bar{p}\pi^+$ の4つの粒子の角度相関を取ることで、CP 対称性の破れを探索できる。この事象は粒子の混合からではない、直接的な CP の破れを探索出来る点で重要である。同じ $J/\psi \rightarrow \Lambda\bar{\Lambda}$ 事象を用いることで上記の2つの解析を行った。これがこの解析の目的である。

2 BES-II 測定器

BES-II 測定器は中国・北京の高能研究所 (IHEP) の電子・陽電子加速器 (BEPC) で稼動していた汎用測定器である (現在、BES-III 測定器に改良しつつある)。BEPC のビームエネルギーは 1.5 GeV から 2.8 GeV に及ぶ。BES-II 測定器は Vertex Chamber (VC)、Main Drift Chamber (MDC)、TOF カウンター、シャワーカウンター、ミュオンカウンターからなる。VC は粒子崩壊の vertex を測定するために用いられる。MDC は VC の外側に荷電粒子の運動量、粒子の軌跡と dE/dx を

測定する。運動量測定の分解能は $\sigma_P/P = 1.78\%\sqrt{1+P^2}$ (P : in GeV/c) であり、 dE/dx の分解能は 9% である。TOF カウンターは MDC の外側に位置し、48 のシンチレータより構成され、粒子の同定に用いられる。時間分解能は Bhabha イベントで 180ps である。シャワーカウンターは TOF カウンターの外側に位置し、電子と光子のエネルギーを測定する。エネルギー分解能は $\sigma_E/E = 22\%/\sqrt{E}$ (E : in GeV) である。ミューオンカウンターは最も外側に位置し、0.5 GeV/c 以上のミューオンを同定する。

この解析においては 1999 年から 2001 年の間に測定された、 5.77×10^7 の J/ψ のサンプルを用いた。Monte Carlo シミュレーションは GEANT3 を用いて作られた generator を使用し、 1.0×10^6 の $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$ 事象等を生成した。

3 解析

CP Violation を解析するために崩壊過程

$$J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} \rightarrow p\pi^- \bar{p}\pi^+ \quad (1)$$

を用いた。この過程では、CP 変換に対して odd な観測量、 $p_\Lambda \cdot (p_p \times p_{\bar{p}})$ を用いることが出来る。ここで p_Λ は Λ の運動量、 $p_p, p_{\bar{p}}$ は陽子、および反陽子の運動量である。C 変換により Λ は $\bar{\Lambda}$ 、陽子は反陽子、反陽子は陽子に変換される。また P 変換により、それぞれの運動量が反転する。また Λ と $\bar{\Lambda}$ は back to back に崩壊するため、 $p_{\bar{\Lambda}} = -p_\Lambda$ である。この observable を用いて非対称、

$$\langle A \rangle = \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-} \quad (2)$$

を測定した。ここで N^+, N^- は $p_\Lambda \cdot (p_p \times p_{\bar{p}})$ の符号が正および負となるイベント数である。CP が破れていれば非対称 A の値が 0 からずれる。

3.1 事象選定

$J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} \rightarrow p\pi^- \bar{p}\pi^+$ 事象を得るために、次のような事象選定を行った。

1. $N_{ch} = 4$, すなわち MDC により粒子の運動量が測定された荷電粒子が 4 体であること
2. 相対論的運動学の要請から、 Λ および $\bar{\Lambda}$ が崩壊して生成した陽子および反陽子の運動量は π^+ および π^- の運動量より小さくなることはない。運動量と電荷の組み合わせから 4 つの荷電粒子は p, \bar{p}, π^+, π^- に一意に決まる。
3. $2.95 \text{ GeV} \leq E_{\text{sum}} \leq 3.20 \text{ GeV}$, ここで E_{sum} は 4 つの粒子のエネルギーの和である。
4. $1.49 \text{ GeV} \leq E_\Lambda, E_{\bar{\Lambda}} \leq 1.60 \text{ GeV}$, ここで $E_\Lambda, E_{\bar{\Lambda}}$ は Λ および $\bar{\Lambda}$ のエネルギーである。
5. $1.10 \text{ GeV}/c^2 \leq m_\Lambda, m_{\bar{\Lambda}} \leq 1.13 \text{ GeV}/c^2$, ここで $m_\Lambda, m_{\bar{\Lambda}}$ は Λ および $\bar{\Lambda}$ の質量である。

6. $E_{\text{photon}} \leq 0.1 \text{ GeV}$, ここで E_{photon} はシャワーカウンターで測定された荷電粒子から十分離れた光子のエネルギーの和である。
7. $180 - \alpha \leq 2.0^\circ$, ここで α は Λ と $\bar{\Lambda}$ の運動量のための 3次元における開きの角である。
8. $\cos \rho < 0.99$, ここで ρ は e^+e^- 衝突点から陽子 (反陽子) および $\pi^- (\pi^+)$ の軌跡の $r-\phi$ 平面への投影が交わる点への方向ベクトルと $\Lambda (\bar{\Lambda})$ の $r-\phi$ 平面での運動量ベクトルがなす角度である。
9. $|\Delta z| < 0.05 \text{ m}$, ここで $\Delta z = z_p - z_\pi$ であり、 z_p および z_π は $r-\phi$ 平面で陽子 (反陽子) と $\pi^- (\pi^+)$ の軌跡が交わった点における z 座標である。
10. $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda} \rightarrow p\pi^- \bar{p}\pi^+$ 崩壊過程の kinematic fit による χ^2 検定から $\chi^2 < 50$ を要請した。

この事象選定の結果、7616 の事象が得られた。また $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$ 過程の Monte Carlo シミュレーションから detection efficiency は 14.6% となった。

4 結果

4.1 崩壊分岐率の測定

事象選定により得られた事象数から $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$ の崩壊分岐率を

$$Br(J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}) = \frac{N}{\epsilon N_0 Br(\Lambda \rightarrow p\pi)^2} \quad (3)$$

により求めた。ここで N は得られた事象数、 ϵ は detection efficiency、 N_0 は BEPC において e^+e^- 対消滅で生成された J/ψ の全事象数、 $Br(\Lambda \rightarrow p\pi)$ は $\Lambda \rightarrow p\pi$ 崩壊過程の崩壊分岐率であり、 $63.9 \pm 0.5\%$ である。

BES 実験の 4 体のハドロン崩壊事象から過去の解析で得られた J/ψ の全事象数は $(5.77 \pm 0.27) \times 10^7$ であり 4.7% の系統誤差がある。よって系統誤差を減らすために独自に $J/\psi \rightarrow \mu^+\mu^-$ 過程の解析から J/ψ の全事象数を見積もった。その結果、 $(5.60 \pm 0.12) \times 10^7$ が得られた。この結果、系統誤差を 2.2% に減らし、より精密に $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$ の崩壊分岐率を求めることが出来た。更に detection efficiency の系統誤差の原因の詳細な研究を行い、相対系統誤差を 3.3% に抑えた。

解析の結果、 $J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}$ の崩壊分岐率は、

$$Br(J/\psi \rightarrow \Lambda \bar{\Lambda}) = (2.25 \pm 0.02(\text{stat.}) \pm 0.07(\text{syst.})) \times 10^{-3} \quad (4)$$

となり、全測定誤差は測定値の 3.4% である。

4.2 CP の破れの解析

事象選定により得られたデータを用いて、非対称、

$$\langle A \rangle = \frac{N^+ - N^-}{N^+ + N^-} \quad (5)$$

を測定した。解析の結果、 $N^+ = 3813$, $N^- = 3803$ となった。非対称 A の系統誤差は角度の分解能から来るため、これらの寄与を見積もった。これらから非対称 A は

$$\langle A \rangle = (0.08 \pm 1.1(\text{stat.}) \pm 0.5(\text{syst.})) \times 10^{-2} \quad (6)$$

となった。よって 90% C.L. で $\langle A \rangle$ の上限値は

$$|\langle A \rangle| < 2.14 \times 10^{-2} \quad (7)$$

である。よって、非対称 A の値は 0 と矛盾はなく、CP の破れは観測されなかった。