

氏 名 中澤 秀介

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 852 号

学位授与の日付 平成 17 年 3 月 24 日

学位授与の要件 高エネルギー加速器科学研究科 素粒子原子核専攻
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Measurement of the processes $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ and $\gamma\gamma \rightarrow K^+K^-$ at energies of 2.4-4.1GeV

論文審査員 主査 教授 野崎 忠男
教授 清水 韶光
教授 堺井 義秀
助教授 吉見 弘道
教授 平松 成範

論文内容の要旨

We have measured $\pi^+\pi^-$ and K^+K^- production in two-photon collisions using 87.7 fb^{-1} of data collected with the Belle detector at the asymmetric energy e^+e^- collider KEKB. The cross sections are measured to high precision in the two-photon center-of-mass energy (W) range of $2.4\text{ GeV} < W < 4.1\text{ GeV}$ and angular region of $|\cos\theta^*| < 0.6$. The cross section ratio $\sigma(\gamma\gamma \rightarrow K^+K^-)/\sigma(\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-)$ is measured to be $0.89 \pm 0.04 \pm 0.15$ in the range of $3.0\text{ GeV} < W < 4.1\text{ GeV}$, where the ratio is energy independent. We observe a $\sin^{-4}\theta^*$ behavior of the cross section in the same W range. Production of χ_{c0} and χ_{c2} mesons is observed in both $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ and $\gamma\gamma \rightarrow K^+K^-$ modes. The products of the two-photon decay width and the branching ratio are measured to be

$$\begin{aligned}\Gamma_{\gamma\gamma}(\chi_{c0})Br(\chi_{c0} \rightarrow \pi^+\pi^-) &= 15.1 \pm 2.1 \pm 2.3 \text{ eV} \\ \Gamma_{\gamma\gamma}(\chi_{c0})Br(\chi_{c0} \rightarrow K^+K^-) &= 14.3 \pm 1.6 \pm 2.3 \text{ eV} \\ \Gamma_{\gamma\gamma}(\chi_{c2})Br(\chi_{c2} \rightarrow \pi^+\pi^-) &= 0.76 \pm 0.14 \pm 0.11 \text{ eV} \\ \Gamma_{\gamma\gamma}(\chi_{c2})Br(\chi_{c2} \rightarrow K^+K^-) &= 0.44 \pm 0.11 \pm 0.07 \text{ eV},\end{aligned}$$

which result in the combined two-photon decay width

$$\begin{aligned}\Gamma_{\gamma\gamma}(\chi_{c0}) &= 2.62 \pm 0.23(\text{stat.}) \pm 0.31(\text{syst.}) \pm 0.24(\mathcal{B}) \text{ keV} \\ \Gamma_{\gamma\gamma}(\chi_{c2}) &= 0.44 \pm 0.07(\text{stat.}) \pm 0.05(\text{syst.}) \pm 0.05(\mathcal{B}) \text{ keV}.\end{aligned}$$

論文の審査結果の要旨

本論文では二つ実験結果について述べている。第一は、二光子衝突による荷電パイ中間子の対生成と荷電K中間子の対生成の反応断面積をこれまでにない高精度で測定し、その結果とQCD理論との比較検討を行なっている。第二は、チャームクォークと反チャームクォークのP波の束縛状態である χ_{c0} と χ_{c2} の二光子衝突からの生成反応に関するものである。

二光子衝突による荷電中間子の対生成の断面積は、初期状態にハドロン粒子が関与しないために、QCD理論による比較的信頼のできる理論計算が可能であり、1979年にBrodskyとLepage (BL) により最初の計算がなされた。その後QCD sum ruleを考慮した改良がBenayounとChernyak (BC) によりなされ、更にソフトな過程を考慮したQCD計算がDiehl, Kroll, Vogt (DKV) によりなされた。しかし断面積が非常に小さいために、比較的精度の良い実験は2003年にLEPのALEPHによって 0.8fb^{-1} データを使って初めてなされた。得られた断面積の角度とエネルギーの依存性はQCD理論と矛盾しなかったが、QCD理論の良否を断定するには精度がたりなかった。本研究では、Belle実験による 87.7fb^{-1} の高いルミノシティのデータと高性能の粒子識別能力を用いて、 $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ と $\gamma\gamma \rightarrow K^+K^-$ 反応の微分断面積を重心系のエネルギー W が $2.4\text{--}4.1\text{GeV}$ の領域で精度良く測定した。その結果、角度分布は $W < 3.0\text{GeV}$ ではデータのほうがQCD理論による $(\sin\theta)^4$ 分布より傾きが大きいが、 $3.0 < W < 4.1\text{GeV}$ の領域ではQCD理論による分布と良く一致していることを明らかにした。エネルギー依存性については $W > 3.0\text{GeV}$ の領域でQCD理論が予言する W^6 依存性と誤差の範囲でよく一致していることを示した。断面積の大きさについては、BL理論とは合わないがBC理論とは矛盾しないことを示した。また断面積の大きさから、DKV理論のパラメータであるパイ中間子とK中間子の消滅構造関数の値を求めている。 $\gamma\gamma \rightarrow K^+K^-$ と $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ 反応の断面積の比についても、BL理論とは合わないが、BC理論とDKV理論とは合っていることを明らかにした。本研究は $\gamma\gamma \rightarrow \pi^+\pi^-$ と $\gamma\gamma \rightarrow K^+K^-$ 反応の微分断面積に関して、改良されたQCD理論による計算が実験データを再現することを初めて明瞭に示したものといえる。

本研究ではもう一つの研究課題として、断面積の W 分布で χ_{c0} と χ_{c2} 共鳴状態を $\chi_{c0}, \chi_{c2} \rightarrow \pi^+\pi^-, K^+K^-$ の両方の崩壊過程で観測し、これらの共鳴粒子の二光子衝突による生成断面積を測定し、それからこれらの共鳴粒子の二光子への崩壊幅を算出している。得られた結果は、 $\chi_{c0}, \chi_{c2} \rightarrow 2(\pi^+\pi^-)$ 崩壊を用いたCLEOの結果とも、 $\chi_{c2} \rightarrow \mu\mu/\psi$ 崩壊を用いたBelleの結果とも良く一致している。 $\chi_{c0}, \chi_{c2} \rightarrow \pi^+\pi^-, K^+K^-$ 崩壊過程を用いてその二光子への崩壊幅を求めたのはこの実験が最初である。

上に述べたように本研究の結果は大変物理的意義があり、本論文は博士論文の価値があるものと判断された。