

論文審査の結果の要旨

氏名 堀 龍馬

本論文は 8 章からなる。第 1 章は物質、素粒子の歴史と本論文のテーマである Penta-Quark (PQ、5 個のクォークの束縛状態) 探索をなぜ行うかという動機が簡潔に述べられている。それを踏まえて、第 2 章では素粒子の標準模型、クォークモデル、そしてペンタクォークの導入から過去の実験での PQ 探索の結果をまとめた後、電子・陽子衝突実験の理解に必要な Deep Inelastic Scattering (DIS) の定式化や Photo Production (PHP) の解説を行っている。

PQ の存在は過去の実験では肯定的でもあり否定的でもある。PQ 存在の肯定的な実験結果の 1 つは、2003 年に Spring-8 で行われた LEPS 実験が報告した 1.53 GeV 程度の質量を持つストレンジネスを含むバリオンの共鳴状態である。さらに HERA 加速器を用いた ZEUS 実験の第一期データ (1996-2000) で陽子 p と中性 K 中間子 K^0_s で組んだ pK^0_s の不変質量分布の 1.52 GeV 付近にピークが観測されたが、同じ HERA 加速器を使った H1 実験ではそのようなピークは観測されなかったという矛盾した結果があった。これを受けて、同じ ZEUS 実験の第二期データ (2003-2007) で PQ の存在を検証しよう、というのが本論文の研究目的である。

第 3 章はデータ取得に用いた HERA 加速器と ZEUS 実験・検出器を説明している。第一期から第二期にかけて行った加速器と検出器の改良のため、解析において大きな改善点があることがわかる。まず加速器のビーム密度の改善でルミノシティが増え、データの統計量が約 3 倍 ($121 \rightarrow 358 \text{ pb}^{-1}$) になった。さらに、検出器ではビーム衝突点の近い位置にシリコンマイクロバーテックス検出器 (MVD) を導入したことにより、陽子と $K^0_s (\rightarrow \pi^+ \pi^-)$ の再構成効率の改善、MVD の dE/dx を用いて陽子と荷電パイオンの分離能力の改善があった。

第 4 章では ZEUS 実験における荷電粒子の再構成方法や識別方法が述べられている。ZEUS 実験のような国際共同実験では粒子を再構成・識別するためのソフトウェアは共通化されており、個々に開発する必要はなく実験グループで手分けして開発を行う。その中で、論文提出者は MVD の dE/dx を用いた荷電粒子識別のソフトウェアの開発を行った。MVD のヒット数が中央飛跡検出器 (CTD、ドリフトチェンバー) のように多くないため、単純な Truncated 手法では識別能力が発揮できないため、MVD のヒット信号の分布から Likelihood を構成した開発過程がまとめられている。CTD の dE/dx の識別能力と同程度の識別能力を持つことが示されている。

第 5 章では事象選択の方法が述べられている。まず DIS 事象と PHP 事象の選択方法を解説する。PQ 探索ではできるだけ多くの事象を使いたいため、DIS 事象のみならず

PHP 事象も利用した。陽子候補は第 4 章で導入した dE/dx を用いて選択した。できるだけ荷電パイオンを排除するため MVD のみならず CTD の dE/dx も用いた。 K^0_s 候補は 2 つの荷電パイオンから再構成しその不変質量で選択した。さらに選択した K^0_s 候補が適切であることを確認するため、寿命が長いことを示した。

第 6 章では選択した事象から再構成した pK^0_s 質量分布を用いた PQ 探索を行った。 1.52GeV 付近にはピークは観測されず否定的な結果となった。この結果を検証するために、様々な運動学的領域での探索や第一期データの解析に近い粒子識別方法などで探索を行ったがすべて否定的な結果となった。検証は適切で pK^0_s から成る束縛状態を第二期データでは観測できないと判断できる。

第 7 章は否定的な結果を受け、断面積の上限値を求めている。ここでは DIS 事象のみを用いて、 $20 < Q^2 < 100 \text{ GeV}^2$, $0.5 < p_T(pK^0_s) < 3 \text{ GeV}$, $|\eta(pK^0_s)| < 1.5$ の条件の下で、 pK^0_s の質量の関数 ($1.45\text{--}1.7 \text{ GeV}$ の範囲) として上限値を測定した。 1.52 GeV 付近の上限値は 6.5 pb (95%CL) であった。

第 8 章は本論文のまとめである。ZERU 実験の第一期データで観測したピークの断面積 $125 \pm 27(\text{stat.})^{+36}_{-28}(\text{syst.}) \text{ pb}$ が第二期データでは再現しないことを視覚化して比較した。最後に今回の測定は H1 実験の結果よりも 2-10 倍程度 (質量による) 厳しい制限であることを示した。

本論文は、存在するであろうと考えた PQ が観測できなかったという、発見とは対極的なインパクトのある論文である。ZEUS のような高エネルギー衝突実験では PQ は生成できないのか、等の PQ 探索の実験提案や実験結果の解釈に大きなヒントを与えた結果だといえる。第一期のデータまで遡ることができればより興味深い議論が展開できた可能性があったが、様々な制限で行うことはできなかった。そのため第二期データでできるだけのことをやった内容になった。また、今回の測定した断面積の上限測定はこれまでの結果より厳しいもので、様々な PQ モデルに制限を与えるという学術的に価値のあるものである。

なお、本論文の研究内容は、ZEUS 実験で取得したデータを用いた ZEUS 実験の他のメンバーとの共同研究であるが、論文提出者が主体となってデータ解析を行い、物理結果を出したものである。また、本研究でも使われている MVD の dE/dx による荷電粒子識別のソフトウェアは論文提出者が開発し、ZEUS 実験全体で共有されている。よって、この共同研究の成果には論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上のことから、論文提出者は博士 (理学) の学位を受けるにふさわしい学識をもつものと認め、審査委員全員で合格と判定した。