

動的核偏極法による HD 標的開発と 新しい 5 個のクォークから成る粒子探索

Development of polarized HD target with dynamic nuclear polarization and search for a new five-quark particle

大阪大学 郡 英輝



1960年頃のクォークモデルの完成以降、中間子や重粒子はそれぞれクォーク2個や3個から構成されていると考えられてきました。ところが、2003年の5個のクォークから成る粒子の証拠の報告以降、世界中から次々に4個の中間子や5個の重粒子の証拠が報告されました。堅実な検証後には、ハドロン(中間子や重粒子)の新しい形態を解明した革新的業績はノーベル賞有力候補に成り得ると考えられています。理論予測と実験データとの比較が必要であり、実験的にこれらの粒子の存在を確立する試みは非常に重要です。

2019年にLHCbグループが報告した5個のクォークの粒子 P_c は $cc\bar{c}$ クォーク対を含んでいて [1]、 $ss\bar{s}$ クォーク対や $bb\bar{b}$ クォーク対を含む同様の粒子も存在するはずで、Linらの理論物理学者は P_c を中間子+重粒子の分子的な結合状態と考えていて、 $ss\bar{s}$ 対を含む分子的な結合状態 P_s の質量は約 2.08 GeV と予言しました [2]。私達は、Spring-8のBL33LEPビームラインにおいて偏極フォトンビームを用いて実験を行ってきました。2005年と2010年に $\gamma p \rightarrow \phi p$ 反応 [3] と $\gamma p \rightarrow K^+ \Lambda(1520)$ 反応 [4] の断面積に、同じ質量約 2.1 GeV の Bump 構造がある事を発見しました。私達が発見した未解明の Bump 構造とこの理論予言では、ほぼ質量が一致します。このピーク構造は $s\bar{s}$ クォーク対が生成される反応の中間状態で観測されているので、 $ss\bar{s}$ クォーク対を含む5個のクォークの粒子 P_s である可能性が理論・実験の両面から考えられます。これまで発見された5個のクォークから成る粒子の中で、スピン・パリティが測定されたものはありません。

私達は偏極 HD 標的の開発を行い、偏極水素標的と偏極フォトンを使ってこの Bump 構造のスピン・パリティを測定して5個のクォークである可能性を探ります。私達は、10年以上に渡って偏極 HD 標的を開発してきました [5]。偏極方法は、約 10-20 mK の極低温と 17 T の強磁場を使って偏極させる静的核偏極法でした。時間短縮とヘリウム使用の節約のために、私達は動的核偏極法を使った偏極 HD 標的の初めての製作に挑戦しました。もしこの方法を使って短時間で偏極 HD 標的が製作できれば、歴史上最高の偏極標的になります。

動的核偏極法を使って核偏極を行うためには、冷却のための冷凍機が必要です。私達は、静的核偏極法で使用してきた ^3He - ^4He 希釈冷凍機の標的交換用の穴であるクリアショットを利用して、液体ヘリウムを供給して減圧して 1.5 K まで冷却する冷凍機を完成させました。動的核偏極に必要な 5 T の磁場は希釈冷凍機用の超伝導磁石を用いて供給しました。高エネルギー加速器機構から 140 GHz のマイクロ波発生装置を譲り受けて配置して、動的核偏極装置を完成させました。マイクロ波発生装置の調子が悪くて、一度カナダの CPI 社で修理を受けました。しかし、動的核偏極の本実験中にも調子が悪くなり、エラーが出たので実験を中断しました。残念ながら期間中に開発は成功できませんでしたが、成功を目指して今後も開発を継続していきたいです。

【キーワード】素粒子原子核物理学、5個のクォークの粒子、偏極標的、動的核偏極法

【参考文献】

- [1] R. Aaij et al., Phys. Rev. Lett. 122, 222001 (2019)
- [2] Y.H. Lin et al., Nucl. Phys. A 980, 21 (2018)
- [3] T. Mibe, ..., H. Kohri et al., Phys. Rev. Lett. 95, 182001 (2005)
- [4] H. Kohri et al., Phys. Rev. Lett. 104, 172001 (2010)
- [5] T. Ohta, ..., H. Kohri et al., Review of Scientific Instruments 91, 095104 (2020)