บทคัดย่อ

ไพออเนียมเป็นสถานะยึดเหนี่ยวเชิงอะตอมส่วนใหญ่เป็นผลของอันตรกิริยาคูลอมบ์ อันตรกิริยาชนิดแรงระหว่างไพออนแสดงบทบาทที่ทำให้เกิดการเลื่อนของพลังงาน และการเพี้ยนไปของฟังก์ชันคลื่นของอะตอมคล้ายไฮโดรเจนที่ระยะสั้นๆ ตามทฤษฎีการรบกวนไครอล เวลาชั่วชีวิตของสถานะพื้นของไพออเนียมที่ถูกทำนายไว้อยู่ในอันดับของ 10^{-15} วินาที ศักย์รูปแบบต่างๆ จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ รวมถึงรูปแบบของแบบจำลองการแลกเปลี่ยนเมซอน และแบบจำลองควาร์กแบบไม่สัมพัทธภาพด้วย เพื่อที่จะนำไปหาฟังก์ชันคลื่นของไพออเนียม และการเลื่อนพลังงานรวมทั้งความกว้างของการสลายตัวเนื่องจากอันตรกิริยาชนิดแรง นอกจากนั้น จะศึกษากระบวนการการสลายตัวเนื่องจากอันตรกิริยาชนิดแรงและการสลายตัวเชิงแม่เหล็กไฟฟ้าด้วย

วิธีการศึกษาเชิงตัวเลขที่เหมาะสมอยู่บนพื้นฐานที่ใช้ฟังก์ชันสเตอร์เมียนมาแก้ปัญหาไพออเนียมทั้งกรณีใช้ศักย์เฉพาะท้องที่และใช้ศักย์ไม่เฉพาะท้องที่ วิธีการศึกษา ได้พิจารณาทั้งอันตรกิริยาชนิดแรงพิสัยสั้นและแรงคูลอมบ์พิสัยยาว ใช้ฟังก์ชันคลื่นและพลังงานยึดเหนี่ยวของไพออเนียมที่มีความแม่น การศึกษาพบว่าฟังก์ชันคลื่นสถานะพื้นของไพออเนียมเมื่อพิจารณาอันตรกิริยาชนิดแรงระหว่างไพออน — ไพออน จะแตกต่างมากจากฟังก์ชันคลื่นของอะตอมคล้ายไฮโดรเจนที่ระยะทางค่าน้อยๆ

ปฏิกิริยา $\pi^+\pi^- \to \pi^+\pi^-$ ถูกนำมาศึกษาในแบบจำลองควาร์กแบบไม่สัมพัทธภาพ โดยใช้พลศาสตร์ควาร์ก — แอนติควาร์กสถานะ $^3P_0$ แบบจำลองนี้ถูกกำหนดลักษณะ ดังนี้ (a) แฟกเตอร์ m_q / E_q ในจุดยอดควาร์ก — แอนติ ควาร์ก ถูกประมาณค่าว่ามีค่าใกล้เคียงกับค่า m_π / E_π แทนที่จะใกล้เคียงกับ 1 ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในแบบจำลองควาร์กแบบไม่สัมพัทธภาพ และ (b) การประลัยและการสร้างขึ้นของควาร์ก — แอนติควาร์กมีสหสัมพันธ์กัน ค่าภาคตัดขวางของปฏิกิริยา $\pi^+\pi^- \to \pi^+\pi^-$ ถูกนำมาคำนวณอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งก็ได้ผลอย่างดีแม้ว่าจะใช้กับกรณีพลังงานค่อนข้างสูงก็ตามโดยไม่ได้นำพารามิเตอร์อิสระใดๆ มาใช้เลย

Abstract

Pionium is an atomic bound state mainly by the Coulomb interaction. The strong interaction between two pions also plays a role, leading to the energy shift and distorting the hydrogen-like wave function at short distance. In the Chiral Perturbation Theory the predicted lifetime of pionium in the ground state is of the order of 10^{-15} seconds. Various versions of potential will be employed including the meson - exchange models and the nonrelativistic quark models in order to derive the pionium wave function, and its energy shift and decay width due to strong interaction. The strong and electromagnetic decay processes of pionium are also studied.

The suitable numerical approach based on the Sturmian functions to solve the pionium problem for both local and nonlocal potentials. The approach accounts for both short - ranged strong interaction and the long – ranged Coulomb force and provides accurately the wave function and binding energy of pionium. It is found that the ground-state pionium wave function in realistic pion – pion strong interactions might be considerably different from the hydrogen - like one at the small distance.

The reaction $\pi^+\pi^- \to \pi^+\pi^-$ is studied in a non-relativistic quark model with the $^3P_0$ quark-antiquark dynamics. The model is characterized by (a) the factor m_q / E_q in the $^3P_0$ quark - antiquark vertex is approximated as m_π / E_π instead of 1 which has been adopted in the traditional non-relativistic quark model, and (b) the quark - antiquark annihilation and creation are correlated. The cross section of the reaction $\pi^+\pi^- \to \pi^+\pi^-$ is well reproduced even for rather high energies without any free parameter employed.