ชาคริต นวลฉิมพลี : การศึกษาเชิงทฤษฎีของอะตอมเคออนิก (THEORETICAL STUDY OF KAONIC ATOMS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. ประสาท สืบค้า, 66 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการคำนวณเส้นสเปกตรัมของพลังงานของอะตอมเคออนิกไฮโดรเจนที่เลื่อนออกจากเส้นสเปกตรัมเดิมของอะตอมไฮโดรเจนปกติ พร้อมทั้งคำนวณค่าความกว้างของเส้นสเปกตรัมดังกล่าวนั้นซึ่งเป็นผลมาจากแรงนิวเคลียร์แบบเข้มซึ่งเกิดจากอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเคออนกับโปรตอนที่อยู่ในอะตอมเคออนิกไฮโดรเจนนั้น รวมทั้งยังได้คำนวณค่าของฟังก์ชันคลื่นของสถานะพื้นของอะตอมเคออนิกไฮโดรเจนอีกด้วย ซึ่งในการคำนวณปริมาณต่างๆ เหล่านี้เราได้ใช้อันตรกิริยานิวเคลียร์แบบเข้มระหว่างอะตอมของเคออนกับโปรตอนเป็นอันตรกิริยาของศักย์แบบสมจริงในหลายรูปแบบ อีกทั้งได้นำอันตรกิริยาของศักย์แบบคูลอมบ์เข้ามาร่วมในการคำนวณด้วย จากการศึกษาพบว่าฟังก์ชันคลื่นของสถานะพื้นของอะตอมเคออนิกไฮโดรเจนที่คิดอันตรกิริยานิวเคลียร์แบบเข้มเป็นอันตรกิริยาของศักย์แบบสมจริงมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัดจากฟังก์ชันคลื่นของสถานะพื้นของอะตอมไฮโดรเจนปกติและอะตอมเสมือนไฮโดรเจนที่ในบริเวณระยะใกล้ๆ กับนิวเคลียส นอกจากนี้ ยังพบว่าฟังก์ชันคลื่นของสถานะพื้นของอะตอมเคออนิกไฮโดรเจนได้เกิดบัพขึ้นในบริเวณช่วง 1 ถึง 2 เฟอร์มิ เนื่องจากเกิดสถานะยึดเหนี่ยวแบบลึกขึ้น ซึ่งก็คืออนุภาคแลมด้า (1405) ใกล้ๆ กับค่าพลังงานขีดเริ่มเปลี่ยน

ปัจจุบันเราพบปัญหาเกี่ยวกับค่าความแม่นยำของการคำนวณเส้นสเปกตรัมของพลังงานของอะตอมเคออนิกไฮโดรเจนที่เลื่อนออกจากเส้นสเปกตรัมเดิมของอะตอมไฮโดรเจนปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคำนวณหาค่าฟังก์ชันคลื่นของอะตอมเคออนิกไฮโดรเจน ซึ่งโดยวิธีการมาตรฐานที่เราใช้ในการแก้สมการพลวัตของอะตอมเคออนิกไฮโดรเจน เราจะใช้การกระจายระบบในเซตบริบูรณ์ของฟังก์ชันตั้งฉากปกติซึ่งโดยส่วนใหญ่เราจะประยุกต์ใช้เซตบริบูรณ์ของฟังก์ชันคลื่นตัวแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิกในการแก้ปัญหาของสถานะยึดเหนี่ยวทั้งนี้เนื่องจากเซตบริบูรณ์ของฟังก์ชันคลื่นตัวแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิกมีรูปแบบเชิงวิเคราะห์ทั้งในแบบปริภูมิของตำแหน่งและในแบบปริภูมิของโมเมนตัม แต่วิธีการของฟังก์ชันคลื่นตัวแกว่งกวัดแบบฮาร์มอนิกนี้สามารถใช้อย่างได้ผลเฉพาะปัญหาของสถานะยึดเหนี่ยวในกรณีที่มีเฉพาะอันตรกิริยานิวเคลียร์แบบเข้มหรือในกรณีที่มีเฉพาะอันตรกิริยาแบบคูลอมบ์เท่านั้นไม่สามารถนำใช้ได้กับกรณีอะตอมเคออนิกทั้งนี้ เนื่องจากพิสัยที่ต่างกันมากๆ ของอันตรกิริยาระหว่างอนุภาคเคออนและโปรตอนได้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณด้วย ซึ่งในกรณีนี้อันตรกิริยาจะมีทั้งอันตรกิริยาแบบคูลอมบ์ซึ่งเป็นแรงพิสัยไกลและอันตรกิริยานิวเคลียร์แบบเข้มซึ่งเป็นแรงพิสัยใกล้

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีการศึกษาเชิงตัวเลข ซึ่งมีพื้นฐานมาจากฟังก์ชันของสเตอร์เมียนในการแก้ปัญหาของอะตอมเคออนิกไฮโดรเจน วิธีการเชิงตัวเลขนี้ได้เคยถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหา

ของอะตอมโปรตรอนเนียมและไพออนเนียมอย่างประสบผลสำเร็จมาแล้ว วิธีการเชิงตัวเลขนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ให้ผลลัพธ์จากการคำนวณที่มีความแม่นยำสูง อีกทั้งยังมีความง่ายต่อการนำไปใช้มากกว่าวิธีการคำนวณแบบอื่นๆ ที่เคยถูกนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาของอะตอมฮาร์ดรอนนิก นอกจากนั้นวิธีการเชิงตัวเลขนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาของอะตอมเอ็กซ็อททิค ซึ่งเป็นอะตอมที่มีทั้งในกรณีศักย์ที่เกิดจากแรงนิวเคลียร์แบบเข้มซึ่งเป็นแรงพิสัยใกล้ (สำหรับทั้งในกรณีที่ศักย์ขึ้นกับตำแหน่งและในกรณีที่ศักย์ไม่ขึ้นกับตำแหน่ง) และในกรณีศักย์ที่เกิดจากแรงคูลอมบ์ซึ่งเป็นแรงพิสัยไกล และยังสามารถคำนวณฟังก์ชันคลื่นและพลังงานยึดเหนี่ยวของอะตอมเอ็กซ็อททิคได้โดยตรง

สาขาวิชาฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2551

ลายมือชื่อนักศึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

CHAKRIT NUALCHIMPLEE : THEORETICAL STUDY OF KAONIC ATOMS. THESIS ADVISOR : PROF. PRASART SUEBKA, Ph.D. 66 PP.

KAONIC HYDROGEN/ STURMIAN FUNCTIONS/ PIONIUM

In the thesis the energy shift, decay width and wave function of the kaonic hydrogen atom are directly evaluated with various versions of realistic interaction potentials in addition to the Coulomb interaction. It is found that the ground-state wave function of the kaonic hydrogen atoms with realistic strong interactions is considerably different from the hydrogen-like ones at small distances, and also has a node in the region from 1 to 2 fm, because there exists one deep bound state, the $\Lambda(1405)$ near threshold.

It has been a challenge to accurately evaluate the energy shift and especially the wave function of hadronic atoms. One may think that the dynamical equations of the kaonic hydrogen can be solved by simply expanding the system in any complete set of orthonormal functions. The complete set of harmonic oscillator wave functions is widely applied to bound state problems since they have analytical forms both in coordinate and momentum spaces. Bound state problems with only the strong interaction or only the Coulomb force can be well solved in the regime of harmonic oscillator wave functions. However, the harmonic oscillator wave function approach fails to describe hadronic atoms which are dominated by the long-ranged Coulomb force and distorted by the short-ranged strong interaction. The reason is that two very different oscillator lengths are involved to account for the short-ranged strong interaction and the long-ranged Coulomb force.

The protonium, $\overline{p}D$ atom and pionium have been successfully investigated in a numerical approach based on Sturmian functions. The numerical method

is much more powerful, accurate and much easier to use than all other methods applied to the hadronic atoms in history. It can be applied to solve the exotic atom problem for local and non-local potentials, accounting for both the strong short range nuclear interaction and the long range Coulomb force and provides directly the wave function and binding energy of those exotic atoms.

School of Physics

Academic Year 2008

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

Co-Advisor's Signature _____