

Vélemény

Szilvási Réka:

Models of Nuclear Alpha Cluster Interacting with Super-Intense Laser Fields

PhD értekezéséről

Az alfa-bomlás jelenségét a magfizikusok már az 1920-as évek óta vizsgálják. Ennek ellenére napjainkban is számos tudományos publikáció foglalkozik a témával, ami jelzi a kutatási terület folyamatos aktualitását és jelentőségét. Az alfa-bomlás elméleti leírásának egyik fő nehézsége abból adódik, hogy a jelenséget nem egyszerű a nemrelativisztikus kvantummechanika keretei között értelmezni. Továbbá a teljes mértékben *ab initio* mikroszkopikus számítások elvégzése nehéz atommagok esetében rendkívül bonyolult és számításigényes feladat.

Ilyen körülmények között indokolt az egyszerűbb, jól értelmezhető és hatékonyan alkalmazható modellek használata. Az alfa-bomlás iránti kutatói érdeklődést tovább fokozta a nagy intenzitású lézerek megjelenése, amelyek lehetővé teszik atom-, molekula- és nukleáris rendszerek időben nagy pontossággal történő vizsgálatát.

Az értekezés fő célja, hogy a nem-Hermitikus kvantummechanikán alapuló egységes elméleti keretben tárgyalja az alfa-bomlás jelenségét szuperintenzív lézertér jelenlétében. A kitűzött cél eléréséhez a jelölt több lépésben halad előre, és lényegében az értekezés egyes fejezetei ezen lépések részletes bemutatását tartalmazzák.

A második fejezet a részecskekibocsátással járó bomló állapotok leírásának egy lehetséges modelljét tárgyalja. A jelölt bemutatja, hogy a komplex skálázás módszerének alkalmazásával a tisztán kifutó jellegű határfeltételek hogyan oldhatók meg egyszerűen és elegánsan.

Ez a fejezet tartalmazza továbbá az ún. (t, t') formalizmust is, amely lehetővé teszi időfüggő folyamatok időfüggetlen módon történő leírását. A 2.3.2 alfejezetben a jelölt a (t, t') formalizmus és a szokásos perturbációs módszer felhasználásával matematikai kifejezést vezet le a kvázi-stacionárius állapotok komplex energiájának változására. Ez a változás a Hamilton-operátorhoz hozzáadott új időfüggő operátor – például egy lézertér – hatására következik be.

A fejezet végén a jelölt egy irodalomból származó Gauss-potenciálokat tartalmazó operátort egészít ki egy időfüggő résszel, és vizsgálja a rezonanciák szélességének változását. Az egész dolgozatban, amikor a komplex skálázást alkalmazza, a jelölt egyetlen Θ értéket használ. Elméletileg a komplex rezonanciaenergia független Θ -tól, azonban a véges bázisméret miatt a rezonanciaenergia függ Θ -tól. A komplex skálázással végzett vizsgálatok során gyakran alkalmazzák az ún. Θ -pályát, amely lehetővé teszi az energia pontosabb meghatározását. A kérdés az, hogy a jelölt végzett-e számításokat különböző Θ paraméterekkel, és alkalmazta-e a Θ -pályát az energia nagyobb pontossággal történő meghatározására?

A harmadik fejezetben tárgyalja a szerző az alfa-részecse és az elektromágneses tér kölcsönhatásának alakját. Vizsgálja a különböző mérték transzformációk alkalmazásának lehetőségét. Arra a fontos következtetésre jut, hogy a komplex skálázáson alapuló nem-hermitikus leírás során az ún. velocity-gauge tranformációt szabad csak alkalmazni. Ebben a fejezetben vezeti le a jelölt a (t, t') perturbációs módszert alkalmazva az alfa-bomlás komplex

energiájának megváltozását lézertérben. Igen hasznos, hogy mind a lineárisan mind a cirkulárisan poláros esetben, bizonyos határesetekben, analitikus formában is megadja a jelölt az energia korrekciót.

A 4. fejezetben a jelölt a klasszikus alfa-bomlást vizsgálja különböző magtartományokban, izotón láncok mentén. A modellben a folyamatot a szokásos módon két lépésre bontja. Az első lépésben létrejön az alfa-klaszter (preformation), majd az alfa-részecske áthalad a Coulomb-gáton. Kiemelten fontos megkülönböztetni, hogy a modellben a teljes alfa-bomlási szélesség arányos az átlagtérben észlelt szélességgel. A jelölt erre a mennyiségre az s_0 jelölést használja. A szokásos magfizikai jelölés szerint (ld. 4.3.) úgy vélem, hogy ez a mennyiség a spektroszkópiai faktor. Az s_0 és a spektroszkópiai faktor a modellben elhanyagolt magszerkezeti információkat veszi figyelembe. A kérdés tehát az, hogy a jelölt véleménye szerint az s_0 és a spektroszkópiai faktor ugyanaz a mennyiség-e?

Az alfa-bomlás energiájának meghatározása a (4.21) komplex skálázott Hamilton operátoron alapul. A szokásos számítási eljárás szerint, a (4.20) függvényeket mint bázisfüggvényekkel meghatározzuk a komplex szimmetrikus Hamilton-mátrixot majd ezt diagonalizáljuk. Szerintem ez látható a 4.2 ábra „a” részén. Az értekezésben azt írja: “The python algorithm uses numerical integration techniques to solve the eigenvalue problem”. Számomra ez a mondat azt jelenti, hogy (4.21) operator sajátérték problémáját, mint egy közönséges differenciálegyenlet valamilyen módszerrel megoldjuk. Ilyen esetben semmiféle bázis méret nem játszik szerepet, ezért nem értem, hogy a python számítás estén a 4.4 ábrán és a 4.5 ábra „b” részén, az ábrákon mit jelent a vízszintes tengelyen lévő szövegben a bázis függvény szám.

A Coulomb potenciál alakja a (4.6) és (4.8) képletekben ugyanaz $(1 + f(r)) \frac{e_0}{r}$, ennek a kölcsönhatásnak komplex skálázott alakja szerepel a (4.21) képletben is. Az $f(r)$ függvény vagy Woods-Saxon típusú vagy a (4.7) képlet adja meg. Mi indokolja a Coulomb kölcsönhatás ilyen alakját? A szokásos eljárás során egyenletesen töltött gömb potenciálját szokás használni és ezt az alakot a jelölt is használja ld. (5.27). Ha nem szeretjük az éles levágású töltés sűrűséget, azaz realisztikusabb számolást akarunk akkor szokás használni diffúz töltés sűrűséget ekkor a potenciált numerikus integrállal lehet számolni az elektrodinamika alapján. Az (5.23) képletben adott potenciál Coulomb tagját nem értem. A V_c jelölés egy függvényt jelöl? Ennek a függvénynek az argumentuma $(1 + f(r))$? Mi indokolja ezt a választást?

A lézertérbe helyezett alfa-bomló rendszert vizsgálja a szerző az ötödik fejezetben. Két módszert alkalmaz a hermitikus kvantummechanikán alapuló Henneberger formalizmust és a nem-hermitikus komplex skálázáson valamint a (t, t') perturbációs technikán alapuló leírást. Először Henneberger formalizmus szép összefoglalóját olvashatjuk majd pedig a konkrét esetre alkalmazza a jelölt a módszert és a numerikus számításokhoz szükséges összes formulát megadja. A Henneberger módszer szemléletes képet ad, arról hogy miért változik meg a felezési idő lézer terekben. A 5.1 ábra mutatja az átlagtér lézer hiányában és jelenlétében. Jól megfigyelhető a Coulomb-gát magasságának a változása. Az ábra (b) része azt mutatja, hogy az átlagtér kis távolságoknál jelentősen megváltozott ennek valószínűleg az az oka, hogy Coulomb térként a töltött gömb potenciálját használtak. Érdemes lenne kipróbálni, hogy a diffúz töltéeloszlás milyen átlagtérrel ad (ez nem egy kérdés a jelölthöz csak javaslat). Az ábra szövegében pontatlanság van „Subfigure (a) shows the deformation of the Fermi-type nuclear mean-field potential”. Persze ha a nuclear mean fieldbe beleérti a jelölt a Coulomb potenciált, akkor nincs pontatlanság.

A nem-Hermitikus módszerrel leírt eredmények közül kiemelném, hogy a jelölt rendkívül gondosan megvizsgálta az alkalmazott modell alkalmazhatósági körét. A jelölt tanulmányozta, hogy a lézerparaméterek függvényében hogyan változik a rezonancia szélessége. Az értekezés egyik másik jelentős eredménye, hogy a jelölt becslést ad egy kísérletileg még tanulmányozatlan atommag felezési idejére. Az összehasonlíthatóság érdekében hasznos lett volna, ha a Hennerberger-módszert és a nem-hermitikus eljárást ugyanarra a magra alkalmazza. Mi az oka annak, hogy nem ugyanazokat a magokat vizsgálta a két módszerrel?

Az értekezés szerkezetileg jól felépített, és formai kivitele is kiváló, megfelel a PhD dolgozatokkal szemben támasztott követelményeknek. A numerikus eredmények bemutatása szakszerű és jól strukturált, továbbá az ismert és új elméleti eredmények levezetése logikusan felépített, világosan követhető.

Az értekezés öt, nemzetközileg elismert, referált tudományos folyóiratban publikált cikken alapul. Ezen folyóiratok közül három impliktfaktora meghaladja a hármat, ami a publikációk magas tudományos színvonalát és elismertségét igazolja. A dolgozat tudományos eredményeit tartalmazó publikációk száma a doktori iskola követelményeit bőven kielégítik, sőt azokat túl is szárnyalják.

Az értekezésben bemutatott és a tézisekben összefoglalt valamennyi eredmény a jelölt saját, új tudományos hozzájárulását képezi, amely érdemben hozzájárul az adott kutatási területet fejlődéséhez. Az értekezés átfogó elemzése, a vizsgálati módszerek megalapozottsága, valamint az eredmények értelmezése magas színvonalú tudományos munkára utal.

A fentiek alapján, a dolgozat tudományos értékét és a benne bemutatott eredmények jelentőségét figyelembe véve, a kérdéseimre adott válaszoktól függetlenül, javaslom a nyilvános vita lefolytatását és sikeres védés esetén a PhD fokozat megadását.

Debrecen, 2025. március 28.

Dr. Kruppa András Tibor

tudományos tanácsadó

HUN-REN ATOMKI