

Warszawa, 21 stycznia 2015

Samotni nie tańczą jak im reszta zagra (w jądrach atomowych)

Pojedyncze protony lub neutrony w jądrach atomowych zachowują się niezgodnie z przewidywaniami dotychczasowych modeli teoretycznych. Zaskakujący wniosek międzynarodowego zespołu fizyków, w tym z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, zmusza do rewizji sposobu, w jaki od kilkadziesiąt lat opisywano duże jądra atomowe.

Jądra atomowe kształtują naszą rzeczywistość: aż 99,9% masy otaczającej nas materii zawiera się właśnie w nich. Tak wszechobecne i ważne, są jednak ciągle stosunkowo słabo poznane przez współczesną fizykę. Główną przeszkodą w budowie spójnego opisu teoretycznego jąder atomowych jest złożoność oddziaływań między ich elementami składowymi: protonami i neutronami. Sytuacja staje się szczególnie skomplikowana, gdy cząstek w jądrze jest bardzo dużo. W publikacji w prestiżowym czasopiśmie fizycznym „Physical Review Letters” grupa naukowców z Polski (z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego – FUW), Finlandii i Szwecji wykazała konieczność zmodyfikowania stosowanego od kilkadziesiąt lat modelu jąder atomowych o znacznej i prawie magicznej liczbie zarówno protonów, jak i neutronów.

„Wykazaliśmy, że jeden z dwóch głównych czynników fizycznych, dotychczas uwzględniany w modelu pewnych dużych jąder atomowych, w rzeczywistości nie jest specjalnie istotny. W praktyce oznacza to, że fizyka w takich jądrach działa jednak nieco inaczej niż dotychczas wszyscy sądziliśmy”, mówi prof. dr hab. Jacek Dobaczewski z Instytutu Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW).

Gdy fizycy opisują ruch elektronu w atomie, zwykle przyjmują, że porusza się on w polu elektrostatycznym pochodzącym od pozostałych elektronów oraz odległego jądra atomowego. Model taki przewiduje, że w atomie tworzą się powłoki elektronowe o różnej pojemności: na pierwszej mieszczą się maksymalnie 2 elektrony, na drugiej 8, na trzeciej 18 itd. Podobny model fizycy stosują dla jąder atomowych. Zadanie jest tu jednak bardzo trudne z uwagi na złożone oddziaływania między cząstkami w jądrze atomowym.

„Elektron w atomie znajduje się daleko od innych elektronów i jądra atomowego. Można więc z dobrym przybliżeniem przyjąć, że porusza się w jednym, uśrednionym polu oddziaływań, pochodzącym od pozostałych składników atomu. Lecz protony i neutrony w jądrach atomowych są bardzo blisko siebie. Każdy z nich porusza się w polu, które sam także aktywnie kształtuje”, wyjaśnia dr Dimitar Tarpanov (FUW).

Podobnie jak w przypadku elektronów w atomie, model z polem uśrednionym przewiduje istnienie w jądrze atomowym powłok – obszarów o największym prawdopodobieństwie przebywania protonu lub neutronu. Kolejne powłoki jądra mogą pomieścić maksymalnie 2, 8, 20, 28, 50, 82 i 126 protonów (te same liczby obowiązują dla powłok z neutronami). Całkowicie wypełnione powłoki pojawiają się także przy 114, 120 i 126 protonach oraz przy 184 neutronach. Liczby te są nazywane magicznymi. Jądro jest podwójnie magiczne, gdy zawiera magiczną liczbę protonów oraz magiczną liczbę neutronów.

Badaczy szczególnie interesowały sytuacje, gdy jądro atomowe jest prawie podwójnie magiczne: jedna powłoka jest całkowicie wypełniona, a na kolejnej znajduje się tylko jeden samotny proton lub neutron. Pytanie brzmiało: pod wpływem jakich oddziaływań będzie się poruszała ta samotna cząstka?

Aby pozostać w zgodzie z pomiarami dokonywanymi w laboratoriach fizycznych na świecie, w dotychczasowym modelu dużych jąder atomowych oprócz pola uśrednionego od kilkudziesięciu lat uwzględniano dodatkowe efekty: drgania i ruchy protonów i neutronów zachodzące wskutek efektów kwantowych. W szczególnych przypadkach vibracje te mogły nawet zmienić wygląd jądra: nieco je spłaszczyć lub nadać mu kształt gruszkowaty. Takie modyfikacje musiałyby wpływać także na pole, w jakim porusza się „samotnik” – pojedynczy proton czy neutron w najbardziej zewnętrznej powłoce jądra atomowego.

Naukowcy wykorzystali dane eksperymentalne dostępne dla m.in. podwójnie magicznych jąder tlenu ^{16}O , wapnia ^{40}Ca i ^{48}Ca , niklu ^{56}Ni , cyny ^{132}Sn oraz ołowiu ^{208}Pb , a także dla jąder prawie podwójnie magicznych, takich jak ^{207}Pb i ^{209}Pb . Zebrany materiał użyto do prób precyzyjnego dopasowania różnych parametrów stosowanych w dotychczasowym modelu. Analiza teoretyczna nie pozostawiła wątpliwości: efekty kwantowe i związane z nimi vibracje okazały się mieć znacznie mniejszy wpływ na ruch pojedynczej cząstki w powłoce jądra niż dotychczas oczekiwano.

„To bardzo, bardzo ciekawy rezultat. Skoro bowiem efekty kwantowe w tak dużym jądrze atomowym jak np. ołów ^{209}Pb nie są specjalnie istotne, oznacza to, że sam współczesny model pola uśrednionego nie w pełni odpowiada rzeczywistości. Czegoś w nim nie uwzględniamy. Ciekawe, czego?”, komentuje prof. Dobaczewski.

Prace nad stworzeniem dokładnego i jednorodnego opisu zjawisk zachodzących w lekkich, ciężkich i superciężkich jądrach atomowych mają szczególne znaczenie praktyczne. Wiedza o fizyce jądra atomowego jest wykorzystywana w energetyce przy budowie elektrowni jądrowych oraz w pracach nad elektrowniami termojądrowymi przyszłości, w wojskowości, a także w medycynie nuklearnej przy obrazowaniu tkanek, diagnozowaniu chorób i w terapiach antynowotworowych. Co więcej, procesy i oddziaływania jądrowe są podstawowym elementem opisu gwiazd we Wszechświecie. Metody teoretyczne rozwijane do opisu oddziaływań wielu cząstek w jądrze atomowym znajdują także liczne zastosowania w fizyce atomowej i materii skondensowanej oraz w chemii kwantowej – w analizie widmowej stanów wzbudzonych jąder atomowych, atomów i cząsteczek.

Opisywane badania sfinansowano ze środków europejskiego projektu ENSAR, polskiego Narodowego Centrum Nauki, fińskiego programu akademickiego FIDIPRO i Bułgarskiego Funduszu Naukowego.

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytut: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ok. 200 nauczycieli akademickich, wśród których jest 88 pracowników z tytułem profesora. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ok. 1000 studentów i ponad 170 doktorantów.

PUBLIKACJE NAUKOWE:

„Spectroscopic properties of nuclear Skyrme energy density functionals”; D. Tarpanov, J. Dobaczewski, J. Toivanen, B.G. Carlsson; Physical Review Letters 113, 252501 (2014); DOI: <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.113.252501>

KONTAKTY:

prof. dr hab. **Jacek Dobaczewski**
Instytut Fizyki Teoretycznej Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
tel. +48 22 5532974
email: jacek.dobaczewski@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://www.fuw.edu.pl/>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW150121b_fot01s.jpg

HR: http://www.fuw.edu.pl/press/images/2015/FUW150121b_fot01.jpg

Pojedynczy proton lub neutron w zewnętrznej powłoce dużego jądra atomowego porusza się nieco inaczej niż przewidują współczesne modele teoretyczne, stwierdził międzynarodowy zespół naukowców, w skład którego wchodził fizycy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. (Źródło: FUW)