Memòria científica de l'estada de recerca fora de Catalunya

Núm. Sol·licitud: 2005BE00438

Arnau Rios, *Dept. d'Estructura i Constituents de la Matèria, UB*

L'estada a l'Institut de Physique Nucléaire d'Orsay (França), en què he treballat amb el Professor Jérôme Margueron, ha durat pràcticament dos mesos, des del 26 de setembre al 18 de novembre. En aquest temps ens hem centrat en l'estudi dels efectes del medi hipernuclear en la propagació dels neutrins.

La motivació d'aquest estudi sorgeix en el marc de les explosions de supernoves del tipus II. A l'interior d'aquestes supernoves s'hi formen protoestels de neutrons composats d'una matèria densa d'hadrons en interacció amb una quantitat ingent de neutrins. El temps d'escapament d'aquests neutrins és important per evaluar llur influència en l'ona de xoc que, a l'exterior del protoestel, intenta escapar del col·lapse gravitatori i fer esclatar la supernova. És en les reaccions termonuclears que es generen al voltant de l'ona de xoc que es generen els elements més pesats que el ferro. Malauradament, en la majoria de simulacions actuals l'ona de xoc mor abans de sortir de l'estrella. La solució a aquesta paradoxa (a la natura sí s'observen explosions de supernova) pot residir en la presència dels neutrins que escapen del protoestel i que poden escalfar el medi circumdant i revifar l'ona i per què tingui lloc l'explosió de la supernova.

En el nostre intent de modelitzar l'interior dels protoestels de neutrons, hem tractat una matèria hadrònica composada per nucleons (neutrons i protons) i lambdes. Deixem per a estudis futurs la influència de la resta d'hiperons ja que la sola presència de les lambdes altera significativament la resposta del medi en front de pertorbacions externes. D'una banda, la composició de l'estel (que determinem mitjançant les equacions de beta-estabilitat) varia gràcies a la seva presència i, de l'altra, la interacció lambda-nucleó altera les energies monoparticulars dels nucleons. Tot plegat dóna lloc a una sèrie de canvis que cal quantificar degudament.

Per descriure el medi hiperònic, durant l'estada hem cregut convenient començar a tractar el problema mitjançant forces fenomenològiques nucleó-lambda (NL) i lambda-lambda (LL) del tipus Skyrme. De la mateixa manera que els paràmetres de les forces d'Skyrme nucleó-nucleó (NN) s'ajusten a dades experimentals de nuclis finits, podem obtenir els paràmetres de les interaccions NL mitjançant un ajust als nivells nuclears de les lambdes en hipernuclis pesats. Les interaccions LL s'ajusten a les energies de lligam dels hipernuclis dobles. Al final, trobem que hi ha un gran nombre de parametritzacions (un centenar per NN, una vintena per NL i una desena per LL). En un futur convindria constrenyir aquestes parametritzacions amb noves dades, segurament provinents de càlculs microscòpics basats en potencials més realistes, com els de Brueckner-Hartree-Fock (BHF) que realitzem a Barcelona. En qualsevol cas, en el projecte dut a terme a Orsay hem emprat una sèrie de forces ja existents de tipus Skyrme per dur a terme els càlculs de la beta-estabilitat. Hem obtingut així, tant a temperatura finita (el protoestel es troba a una temperatura de l'ordre de la desena dels MeV) com a tempertaura zero (per descriure l'estel de neutrons final), la fracció de partícules que trobem a cada densitat. Un cop coneguda la composició a cada densitat, podem estudiar la resposta del sistema. Per a les interaccions de corrent neutre, el neutrí excitarà parells de partícula-forat de partícules idèntiques (un parell neutró-neutró, un parell protó-protó i un parell LL). Tanmateix, si incloem correlacions de llarg abast d'ordre superior (tipus RPA) la resposta s'ha d'escriure de manera matricial i hem de permetre la creació de parells neutró-protó, neutró-protó, etc. Com a nucli d'aquesta RPA, hem pres la interacció partícula-forat d'ordre més baix, independent del moment transferit i igual als paràmetres de Landau de la matèria hadrònica. L'accés als paràmetres de Landau del sistema ens ha permès, d'altra banda, estudiar l'estabilitat termodinàmica

del medi hadrònic. Hem trobat, per exemple, que la inclusió de les lambdes en el medi nuclear pot, en algunes parametritzacions, suprimir la transició ferromàgnetica que sorgeix en les forces de Skyrme fenomenològiques.

Sempre dins d'aquesta aproximació monopolar de la resposta RPA, hem obtingut les funcions d'estructura i, amb elles, la secció eficaç diferencial de difusió dels neutrins en la matèria. Aquesta secció eficaç conté les interaccions neutrí-neutró, neutrí-protó i neutrí-lambda elementals i també una suma infinita d'excitacions del tipus anell que indueix el neutrí quan travessa el medi nuclear. La integral d'aquesta secció eficaç (multiplicada per una sèrie de factors cinemàtics adequats) sobre l'energia i el moment incidents en ha permès obtenir el camí lliure mig dels neutrins. Els resultats obtinguts depenen fortament, com és natural, dels paràmetres de les diferents forces i de les condicions de densitat i de temperatura en què treballem.

Hem obtingut, doncs, el camí lliure mig dels neutrins en la matèria hadrònica, que era la principal motivació de l'estada. Independentment d'aquest resultat, és important destacar que hem establert una col·laboració amb el grup de l'IPN que seguirà endavant. En un futur, per exemple, estudiarem la contribució de les reaccions febles amb corrents carregats al camí lliure mig. D'altra banda, no descartem construir interaccions efectives Nucleó-Hiperó i Hiperó-Hiperó a partir dels nostres càlculs de tipus BHF. Això ens permetria estendre el càlcul del camí lliure mig a estrelles estranyes que continguin, a més de Lambdes, altres partícules, com les Sigmes. Així obtindríem resultats i condicions més realistes en les nostres simulacions d'estels de neutrons i en la propagació dels neutrins. A més, aquestes interaccions en el medi es podrien emprar de manera directa en l'estudi d'hipernuclis en l'aproximació de Hartree-Fock.