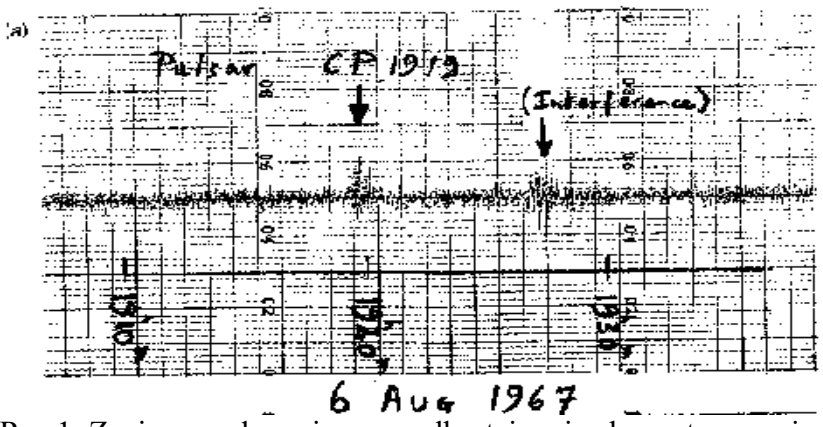
Wpływ jądrowych wzbudzeń kolektywnych na własności termodynamiczne skorupy gwiazdy neutronowej

Magdalena Zielińska
PROMOTOR: dr hab. Piotr Magierski

1. Wstęp

W 1932 roku w fizyce jądrowej dokonano przełomowego odkrycia. Sir James Chadwick zapostulował istnienie cząstki zwanej neutronem, za co w roku 1935 otrzymał Nagrodę Nobla. Odkrycie to otworzyło drzwi do nieznanych dotąd obszarów nauki. W 1933 roku dwóch astrofizyków Walter Baade i Fritz Zwicky zaproponowali istnienie obiektów gwiazdowych złożonych głównie z nowoodkrytych cząstek, zwanych gwiazdami neutronowymi. Obiekty te miały być pozostałościami po wybuchach supernowych. Olbrzymi wkład w teorię gwiazd neutronowych mieli: rosyjski fizyk Lew Landau, oraz jego amerykański kolega Robert Oppenheimer, wyznaczyli oni wiele z własności tych obiektów mimo, że ich istnienie nie zostało potwierdzone obserwacyjnie. Na odkrycie to trzeba było czekać aż do 1967 roku kiedy to na Uniwersytecie Cambridge Jocelyn Bell i jej promotor Anthony Hewish zaobserwowali niezwykle regularne pulsy promieniowania radiowego. Obiekty gwiazdowe wysyłające tego typu promieniowanie nazwano pulsarami. Za odkrycie pulsara Hewish został nagrodzony Nagrodą Nobla. Od tamtej pory gwiazdy neutronowe są intensywnie badane przez wielu naukowców a jednak nadal stanowią dla nas w wielu przypadkach zagadkę. Jednym z problemów jest brak zadawalającego modelu ochładzania się gwiazdy neutronowej. Zagadnienie to jest szczególnie ważne ponieważ im lepszy (tzn. lepiej odpowiadający danym obserwacyjnym) model posiadamy tym lepiej poznajemy strukturę wewnętrzna gwiazdy.



Rys 1. Zapis sygnału z pierwszoodkrytej gwiazdy neutronowej
Źródło: www.jb.man.ac.uk/~pulsar/Education/Tutorial/tut/The discovery.htm

Jednym z parametrów zasadniczo wpływającym na interesujący nas proces ochładzania się gwiazdy neutronowej jest ciepło właściwe materii z której jest ona zbudowana. Dlatego też podstawowym celem niniejszej pracy jest wyznaczenie ciepła właściwego skorupy gwiazdy neutronowej. Podstawowym założeniem jest oddziaływanie pomiędzy jądrami tworzącymi tę skorupę. Obliczenia wykonano dla układu jednowymiarowego.

2. Obliczenia

Zakładamy rozważany układ w postaci nieskończonego, jednowymiarowego łańcucha jąder atomowych znajdującego się w skorupie gwiazdy neutronowej. Odległości między poszczególnymi jądrami w łańcuchu zmniejszają się wraz ze wzrostem gęstości gwiazdy, inaczej mówiąc im bliżej środka gwiazdy tym odległości mniejsze. Następnie zakładamy, że jądra drgają wokół pierwotnego położenia w łańcuchu oraz że mogą posiadać wzbudzenia wewnętrzne (wzbudzenia te związane są ze stanami wibracyjnymi tych jąder). Najważniejszym jednak założeniem jest to, że może wystąpić interakcja pomiędzy ruchem oscylacyjnym jąder a jego wzbudzeniami wewnętrznymi. Aby zbadać własności takiego układu należy najpierw określić jaki jest jego hamiltonian. Założono, że ma on trzy części: część odpowiadającą drganiom jąder, część odpowiadającą za wzbudzenia wewnętrzne jąder, oraz część odpowiedzialną za oddziaływanie pomiędzy dwoma poprzednimi członami:

$$H = H_{phon} + H_{vib} + H_{inter}$$

Aby dobrze opisać proces ochładzania się gwiazdy neutronowej należy wyznaczyć ciepło właściwe materii z której jest ona zbudowana. Obliczenia te wykonano trzyetapowo: po pierwsze, na podstawie wyprowadzonego hamiltonianu obliczono widmo układu, następnie na podstawie widma obliczono energię wewnętrzną układu i na jej podstawie wyliczono ciepło właściwe.

3. Podsumowanie

Pierwszym i najważniejszym wnioskiem wynikającym z niniejszej pracy jest fakt, że oddziaływanie pomiędzy poszczególnymi jądrami w łańcuchu ma istotny wpływ na ciepło właściwe tego ośrodka. Natomiast ciepło właściwe jest jednym z głównych czynników decydujących o procesie ochładzania się gwiazdy neutronowej. Zatem właściwe wyznaczenie ciepła właściwego może znacząco przysłużyć się do wyznaczenia krzywej chłodzenia się gwiazdy neutronowej zadawalająco pasującej do danych astronomicznych. Aby osiągnąć ten cel, w następnym kroku należałoby analogicznie obliczyć ciepło właściwe dla układu trójwymiarowego.

Po drugie, istotnym faktem jest to, że niektóre mody widma takiego układu nie propagują się w pewnych obszarach. Sugerowałoby to że struktura energetyczna skorupy gwiazdy neutronowej jest analogiczna do struktury "zwykłych" ciał stałych; jest ona pasmowa tzn. dla pewnych częstości mody propagują się a dla innych nie propagują – otrzymujemy w ten sposób obszar wzbroniony

Warszawa 2006