

dr hab. Radosław Ryblewski  
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk  
ul. Radzikowskiego 152  
31-342 Kraków

Kraków, 7 września 2017 r.

### Ocena monotematycznego habilitacyjnego cyklu prac pt. "Nukleony w gęstej i gorącej materii jądrowej" oraz dorobku naukowego dr. Jacka Rożynka

Pan dr Jacek Rożynek jest fizykiem teoretykiem zatrudnionym obecnie na stanowisku adiunkta w Zakładzie Fizyki Teoretycznej w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Warszawie. Pan Rożynek uzyskał stopień doktora nauk fizycznych decyzją Rady Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w roku 1984, czyli prawie 33 lata temu. Tematyka jego rozprawy doktorskiej była poświęcona obliczeniom energii wiązania i szerokości hiperonów  $\Lambda$  i  $\Sigma$  w materii jądrowej. Po doktoracie Pan Rożynek przez pewien czas kontynuował badania w zakresie oddziaływań  $\Sigma$ -nukleon oraz  $\Sigma$ -jądro rozpoczęte z promotorem rozprawy doktorskiej prof. Januszem Dąbrowskim, dając istotny wkład w zakresie fizyki hiperjądrowej. Wkrótce po pierwszych wynikach eksperymentu European Muon Collaboration w 1983 roku dotyczących głęboko-nieelastycznego rozpraszania elektronów na tarczach jądrowych badania habilitanta skupiły się na analizie partonowej struktury nukleonów związanych w materii jądrowej.

Jako swoje główne osiągnięcie naukowe w postępowaniu habilitacyjnym Pan dr Jacek Rożynek przedstawia monotematyczny cykl 7. prac opublikowanych w latach 2000–2016 dotyczących badania zmian własności nukleonów w otoczeniu gęstej i gorącej materii jądrowej. Wszystkie prace z ocenianego cyklu zostały opublikowane w renomowanych czasopismach: 1 *Phys. Lett. B*, 1 *Phys. Rev. C*, 2 *Eur. Phys. J. A*, 1 *Physica A*, 1 *J. Phys. G.*, 1 *Int. J. of Modern Physics E*.

Problematyka cyklu habilitacyjnego przedstawionego do oceny koncentruje się wokół analizy zmian własności nukleonów oraz budujących je partonów w zależności od otoczenia w jakim się znajdują, jak również wpływu tych zmian na własności termodynamiczne ośrodka. Autor w swoich badaniach rozważa dwa niezwykle interesujące z punktu widzenia fizyki wysokich energii i astrofizyki układy fizyczne: gęstą materię jądrową w równowadze oraz plazmę kwarkowo-gluonową. Istnieją przesłanki wskazujące, że wymienione stany materii występują w rdzeniach gwiazd neutronowych oraz relatywistycznych zderzeniach ciężkich jonów. W związku z szerokim programem eksperymentalnym dotyczącym badania własności materii oddziałującej silnie aktualnie realizowanym na akceleratorach RHIC i LHC (a w przyszłości również FAIR oraz NICA), jak również biorąc pod uwagę niedawne odkrycia nowych ciężkich gwiazd neutronowych, tematyka, której uwagę poświęca habilitant w swoim cyklu prac jest niezwykle aktualna, interesująca oraz ważna dla fizyki jądrowej. Habilitant znacząco przyczynił się do rozwoju tych badań, o czym świadczą zarówno prace przedłożonego cyklu, jak również pozostałe publikacje. Dzięki jego wysiłkom osiągnięto lepsze zrozumienie własności materii jądrowej, jak również opracowano narzędzia teoretyczne mogące służyć

do jej analizy w przyszłości. **Podsumowując, stwierdzam, że tematyka cyklu habilitacyjnego stanowi ważny i aktualny wkład w międzynarodowe badania nad własnościami materii jądrowej.**

Poniżej przedstawię pokrótce osiągnięcia poszczególnych publikacji cyklu habilitacyjnego od strony merytorycznej.

Cykl habilitacyjny przedłożony do oceny składa się z trzech części. Pierwszą część cyklu stanowią 3 publikacje [A1-A3], których tematyka koncentruje się wokół zmiany partonowej struktury nukleonu w materii jądrowej w stosunku do nukleonu swobodnego oraz wpływu tychże zmian na własności nukleonu takie jak rozmiar czy masa. Motywacją do rachunków przedstawionych w pracach [A1-A3] są dane doświadczalne dotyczące obserwacji tzw. "efektu EMC", tj. modyfikacji partonowej funkcji struktury nukleonu (rozkładów partonów w funkcji zmiennej Bjorkena  $x$ ) w materii jądrowej w stosunku do nukleonu swobodnego uzyskane w eksperymentach kolaboracji Rochester-MIT-SLAC oraz EMC. Na wstępie autor podkreśla, że opis efektu EMC w istniejących modelach chiralnych i solitonowych, w których następuje zmiana masy nukleonu w ośrodku jest mało satysfakcjonujący.

W pracy [A1] autor formułuje model konwolucji dla partonowej struktury jądra, w którym rozkład kwarków w swobodnym nukleonie jest niezależny od rozkładu nukleonów poruszających się ruchem Fermiego w jądrze atomowym. Rezultaty pracy pokazują, że dobre dopasowanie stosunku doświadczalnych przekrojów czynnych na tarczach Fe i D w szerokim zakresie zmiennej  $x$  można uzyskać dokonując niewielkiej modyfikacji funkcji struktury zarówno dla kwarków walencyjnych jak i kwarków morza. W takim przypadku masa nukleonu pozostaje niezmienną. Dla dokonanych zmian autor podaje prostą interpretację fizyczną; scentralizowanie rozkładu energii pionów będących źródłem kwarków morza wokół 0 zamiast wokół 0.14 GeV powiązane jest z realizacją symetrii chiralnej, zaś zawężenie pędowych rozkładów partonowych można rozumieć jako efekt oddziaływań między nukleonami w jądrze. Ten ostatni efekt w obliczu zasady nieoznaczoności Heisenberga prowadzi do wzrostu rozmiarów nukleonów.

Używając modelu konwolucji w pracy [A2] przedyskutowano w jaki sposób oddziaływanie poprzez wymianę mezonową związane jest ze zwiększeniem wkładu kwarków morza do jądrowej funkcji struktury w obszarze małych wartości zmiennej  $x$ . Wnioski z pracy [A2] były kluczowe dla spełnienia pędowej reguły sum w pracy [A3], a w konsekwencji dla uzyskania jednoczesnego opisu efektu EMC oraz jądrowych procesów Drella-Yana. Przeanalizowano w niej związek tychże efektów ze skalą wirtualności, przy jakiej zachodzi proces rozpraszania, danej przez średnią drogę swobodną lub czas życia uderzonego partonu. Autor dyskutuje w tym przypadku dwa reżimy. W przypadku dużych wartości zmiennej  $x$ , tj. dla procesów szybkich, średnia droga swobodna jest mniejsza zarówno od rozmiarów nukleonów jak i odległości między nimi, przez co oddziaływanie dwucząstkowe można zaniedbać w bilansie pędu nukleonu w jądrze. W tym przypadku energia spoczynkowa nukleonu modelowana jest przez efektywną masę zależną od zmiennej Bjorkena  $x$ , która ulega zmniejszeniu w stosunku do masy swobodnego nukleonu. W obszarze małych wartości zmiennej  $x$ , a więc gdy rozważamy procesy powolne, średnia droga swobodna jest porównywalna z rozmiarami nukleonu co powoduje, że rozpraszanie może zachodzić na skorelowanej parze nukleonów. W takim przypadku energię potencjalną oddziaływania nukleon-nukleon należy uwzględnić w pędowej regule sum. Ponadto obecność efektywnej masy w reżimie dużych  $x$  powoduje łamanie pędowej reguły sum. Jej spełnienie można uzyskać zwiększając wkład kwarków morza, co jest kluczowe dla poprawnego opisu procesu Drella-Yana.

Drugą część cyklu habilitacyjnego stanowi pojedyncza praca [B1], zawierająca w pewnym sensie naturalną kontynuację rozważań rozpoczętych w pracach [A1-A3]. Analiza w niej zawarta dotyczy badania wpływu zmian własności nukleonów (rozmiaru i masy) badanych w pracach [A1-A3] na termodynamiczne własności materii jądrowej, w szczególności jej równanie stanu oraz ściśliwość. W tym celu, w ramach jądrowej relatywistycznej teorii średniego pola habilitant rozważa nukleony o niezerowej objętości zawierające oddziałujące kwarki, których opis oparty jest o model worka MIT. Autor zaznacza, że w stosunku do dotychczasowych rachunków dostępnych w literaturze przedstawiony model po raz pierwszy dopuszcza dynamiczną zależność masy i rozmiaru nukleonów od gęstości i ciśnienia w układzie oraz wprowadza nietrywialną korelację pomiędzy tymi parametrami. W oparciu o entalpię układu pokazano wpływ tej zależności na przebieg równania stanu materii jądrowej oraz jej parametr ściśliwości. Pośród najważniejszych rezultatów uzyskano znaczące zmniejszenie wartości tego ostatniego parametru a także "zmiękczenie" równania stanu w stosunku do pierwotnego równania stanu Walecki. Autor dyskutuje dwa skrajne przypadki: stałej objętości, czyli stałej entalpii oraz stałej masy nukleonu, czyli wzrastającej entalpii. W obu scenariuszach otrzymano efektywne zmniejszenie ściśliwości do wartości rzędu 250 MeV, bliskiej wartościom eksperymentalnym. Należy zauważyć, że dotychczas prawidłowy opis tego parametru możliwy był w liniowej, skalarno-wektorowej wersji modelu jedynie poprzez wprowadzenie dodatkowych nieliniowych pól skalarnych, a przez to nowych parametrów. W świetle odkrytych ostatnio ciężkich gwiazd neutronowych uzyskane rezultaty mogą mieć fundamentalne znaczenie, między innymi przy wyznaczeniu ich równania stanu.

Ostatnią część osiągnięcia habilitacyjnego stanowi seria 3. publikacji [C1-C3] dotyczących nieekstensywnego opisu własności termodynamicznych materii oddziałującej silnie w skrajnie wysokich temperaturach i gęstościach. Materia taka produkowana jest w skrajnie relatywistycznych zderzeniach ciężkich jonów, gdzie warunki termodynamiczne pozwalają na przejście od słabo oddziałującego gazu hadronowego do silnie oddziałującej plazmy kwarkowo-gluonowej. Dane eksperymentalne wyraźnie pokazują, że w układzie takim występują fluktuacje temperatury, będące źródłem obserwowanych rozkładów potęgowych zamiast oczekiwanych rozkładów Boltzmann-Gibbsa. W literaturze pojawienie się takich rozkładów związane jest z istnieniem tzw. efektów nieekstensywnych, w tym różnego rodzaju oddziaływań długozasięgowych. W plazmie kwarkowo-gluonowej oddziaływania takie mogą mieć swoje źródło w długozasięgowej wymianie gluonowej. Powyższa argumentacja stanowiła główną motywację do podjęcia się opisu własności termodynamicznych tejże materii w oparciu o nieekstensywną entropię Tsalisa. Wobec licznych sukcesów w opisie rozkładów cząstek przez rozkłady Tsalisa w szerokim zakresie energii rezultaty przedstawione w pracach [C1-C3] stanowią istotny wkład w rozwój badań własności materii oddziałującej silnie.

W pracy [C1] używając kanonicznego podejścia maksymalizacji entropii w stosunku do entropii Tsalisa opracowano pierwszy w pełni konsystentny relatywistyczny formalizm termodynamiki nieekstensywnej dla układu fermionów z uwzględnieniem cząstek i antycząstek. W stosunku do otrzymanych rozkładów określono również warunki stosowalności, tj. ograniczenia na dostępną przestrzeń fazową odpowiadające określonym wartościom parametru  $q$  charakteryzującego efekty nieekstensywne w układzie. W pracy dokonano również szczegółowego usystematyzowania pozostałych, termodynamicznie niekonsystentnych formalizmów obecnych w literaturze oraz porównania ich z podejściem przedstawionym w pracy [C1].

W pracy [C2] pokazano, że wszystkie standardowe relacje pomiędzy wielkościami termodynamicznymi w podejściu nieekstensywnym Tsalisa mają taką samą postać jak w przypadku statystyki ekstensywnej Boltzmann-Gibbsa, przez co nie ulega zmianie probabilistyczna interpretacja entropii jako miary nieuporządkowania układu. W dalszej kolejności sformułowano termodynamicznie konsystentną nieekstensywną wersję modelu Nambu–Jona-Lasinio. Na jego podstawie zbadano zachowanie wielkości termodynamicznych w funkcji gęstości, temperatury oraz parametru  $q$  w obszarze przejścia fazowego. Wyniki pokazują, że w zależności od uporządkowania układu zmienia się zachowanie wielkości termodynamicznych w obszarze krytycznym oraz charakter przejścia.

Tą część cyklu habilitacyjnego zamyka praca [C3], w której habilitant prezentuje nieekstensywną wersję fenomenologicznego modelu kwazicząstkowego dla materii QCD opartego o tzw. parametr lotności kwarków. Praca zawiera szczegółową dyskusję w jaki sposób efekty nieekstensywne wpływają na osiąganie przez układ granicy nieoddziałującego gazu kwazicząstek.

Należy podkreślić, że 3 publikacje z przedstawionego cyklu habilitacyjnego to prace, w których dr Jacek Rożynek jest wyłącznym autorem, co wyraźnie świadczy o jego samodzielności naukowej. Pozostałe 4 publikacje, których jedynym współautorem jest wieloletni współpracownik habilitanta, Prof. Grzegorz Wilk są **opatrzone w stosowne oświadczenia o współautorstwie, z których jasno wynika, że habilitant odegrał w ich powstaniu dominującą rolę.**

**Podsumowując tą część recenzji, stwierdzam, że rezultaty zawarte w monote-matycznym cyklu habilitacyjnym dr. Jacka Rożynka są fizycznie niezwykle interesujące, istotne dla dziedziny fizyki jądrowej oraz przedstawione z dużą przejrzystością. Przedstawione mi do recenzji dzieło w pełni spełnia ustawowe wymogi stawiane dziełu habilitacyjnemu.**

Oprócz 7. prac składających się na osiągnięcie habilitacyjne dr. Jacka Rożynka, autorefereat wymienia dodatkowe 22. publikacje w czasopismach z bazy JCR z czego 18 zostało opublikowanych po obronie doktoratu. Można tu znaleźć m.in. liczne, dobrze cytowane prace w zakresie badania oddziaływania hiperonu  $\Sigma$  w jądrze atomowym. Według autoreferatu, wskaźniki naukometryczne habilitanta na dzień złożenia dokumentacji przedstawiają się następująco:

**Liczba cytowań (Web of Knowledge): 386**

**Indeks Hirscha: 10**

Pan dr Rożynek jest również autorem ponad 26. referatów na prestiżowych konferencjach naukowych (autoreferat zawiera jedynie wystąpienia wygłoszone po roku 1997) z czego 10 wystąpień to prelekcje prozono. Wynik ten jest w zupełności wystarczający i świadczy o istotności badań prowadzonych przez Pana Rożynka dla środowiska naukowego. Dotychczasowe dokonania naukowe Pana dr. Rożynka zaowocowały również członkostwem w międzynarodowej kolaboracji CBM (The Compressed Baryonic Matter) w FAIR.

W okresie 1987–1988 dr Rożynek odbył roczny staż podoktorski w Victoria University w Manchesterze (Wielka Brytania), gdzie miał okazję pracować z Prof. Michaeliem C. Birse, specjalistą w zakresie fizyki cząstek oraz fizyki jądrowej. Pobyt ten zaowocował



dobrze cytowaną publikacją w *Physical Review C* dotyczącą poprawek do jądrowej funkcji struktury od korelacji cząstka-dziura. Dr Rożynek był również stypendystą programu DAAD w 2002 roku na Frei Universität Berlin oraz odbył 3 miesięczne pobyty naukowe w latach 1978–1980 w Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics (ICTP) w Triescie.

W latach 1997–2000 oraz 2009–2012 dr Rożynek pełnił funkcję głównego wykonawcy w grantach Komitetu Badań Naukowych, zaś w latach 2013–2016 był kierownikiem projektu badawczego Narodowego Centrum Nauki. Pan dr Rożynek posiada zatem kwalifikacje i umiejętność pozyskiwania środków na naukę.

Autoreferat nie zawiera niestety informacji dotyczących prowadzenia przez habilitanta prac licencjackich czy magisterskich, co przy okresie jaki minął od uzyskania stopnia doktora jest zastanawiające. Na wyróżnienie zasługuje natomiast aktywność popularyzatorska habilitanta zarówno w kraju jak i na arenie międzynarodowej. Pan Jacek Rożynek wielokrotnie angażował się w promowanie nauki w trakcie różnego rodzaju festiwalów i pikników naukowych uzyskując w tym zakresie liczne nagrody i wyróżnienia, w tym Nominację do nagrody w konkursie Popularyzator Nauki oraz pierwsze wyróżnienie za najlepsze wystąpienie przyznane w finale Europejskiego Festiwalu Nauki w Helsinkach.

**Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że dorobek naukowy dr. Jacka Rożynka jest wystarczająco bogaty, aby ubiegać się o stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych.**

Niżej podpisany miał przyjemność obserwować wystąpienia dr. Jacka Rożynka na licznych konferencjach krajowych z dziedziny fizyki zderzeń ciężkich jonów. Jest on bardzo kompetentnym, wytrwałym i intensywnie pracującym fizykiem-teoretykiem. Dorobek habilitanta potwierdza znaczący wkład dla nauki oraz obecność wszystkich elementów niezbędnych do prowadzenia samodzielnej pracy badawczej.

### Rekomendacja

Działając na podstawie rozporządzenia MNiSW z dnia 1 września 2011r. (Dziennik Ustaw nr 196 poz. 1165), jako recenzent stwierdzam, że zarówno pod względem merytorycznym jak i formalnym przedstawione mi do recenzji osiągnięcie naukowe w postaci monotematycznego cyklu 7. prac w przewodzie habilitacyjnym Pana dr. Jacka Rożynka spełnia stawiane wymogi, natomiast osiągnięty dorobek naukowy w pełni uzasadnia ubieganie się o stopień doktora habilitowanego nauk fizycznych w dyscyplinie fizyka. Wnoszę zatem o dopuszczenie dr. Jacka Rożynka do dalszych etapów przewodu habilitacyjnego.



dr hab. Radosław Ryblewski

