



# CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

Prof. dr hab. Piotr Kielanowski  
Departamento de Física  
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados  
del Instituto Politécnico Nacional  
Mexico City, Meksyk

**Recenzja rozprawy habilitacyjnej  
„Modele afiniczne w opisie dyskretnych i ciągłych ośrodków  
z mikrostrukturą w mechanice analitycznej”  
oraz dorobku naukowego  
dr. Wasyla Kovalchuka (Wasyla Kowalczuka)**

## 1. Uwagi wstępne

Przedstawiona praca habilitacyjna składa się z sześciu opublikowanych prac oraz autorskiego omówienia otrzymanych wyników. Wszystkie opublikowane prace są w języku angielskim, natomiast omówienie jest po polsku i po angielsku.

Rozprawa dr. Wasyla Kovalchuka jest poświęcona sformułowaniu opisu układów mechanicznych (klasycznych i kwantowych), poruszających się w przestrzeniach nieeuklidesowych i posiadających zmienną wewnętrzną strukturę. Układy takie są uogólnieniem ruchu klasycznej bryły sztywnej, bądź układów kwantowych ze spinem, lub cząsteczek. Z tego względu wyniki tych prac mogą mieć zastosowanie do praktycznego opisu mikrocząsteczek oraz wyznaczania ich własności.

W dalszej części mojej recenzji omówię wszystkie przedstawione prace nie w kolejności chronologicznej, jak je zaprezentował autor, lecz według struktury logicznej. Kolejne prace w rozprawie numerowane są od C1 do C6. W omówieniu zachowam numerację autora.

Na zakończenie recenzji omówię dorobek naukowy autora rozprawy, dr. Wasyla Kovalchuka

## 2. Omówienie treści i wyników kolejnych prac

### praca C1

Praca ta ma tytuł *Dynamical systems with internal degrees of freedom in non-Euclidean spaces* i jest ona obszernym (ok. 120 stron) wprowadzeniem do opisu układów dynamicznych z wewnętrznymi stopniami swobody w przestrzeniach nieeuklidesowych. Praca podzielona jest na pięć rozdziałów. Po wstępie wprowadza się kinematykę poprzez rozpatrzenie przestrzeni stanów (włączając wewnętrzne stopnie swobody) i jako najbardziej odpowiednią wybiera się przestrzeń koneksji wiązek włóknistych  $(Q, M, \pi)$ , gdzie  $M$  oznacza rozmaitość bazową,  $Q$  jest rozmaitością wiązki, a  $\pi$  jest rzutem wiązki  $\pi : Q \rightarrow M$ . Model ten jest następnie zrealizowany i szczegółowo przedyskutowany dla infinitezymalnej bryły afinicznie

sztynnej. Jako następny dyskutuje się formalizm kanoniczny dla modeli afinicznych oraz dyskutuje się grupy transformacji przestrzeni konfiguracyjnej. Zwraca się uwagę, że w przypadku przestrzeni bazowej nieeuklidesowej pozostają tylko transformacje dotyczące wewnętrznych stopni swobody.

Następny rozdział, raczej techniczny, poświęcony jest wprowadzeniu metryki w rozmaitości  $M$  oraz dyskusji tensorów odkształceń i związanych z tym pojęć (n.p., ruch żyroskopowy).

W rozdziale trzecim wprowadza się dynamikę dla modeli afinicznych. Równania ruchu wyprowadza się w kilku krokach. Po pierwsze definiuje się Lagranżjan dla rozważanego układu fizycznego, następnie po transformacji przechodzi się do wersji kanonicznej modelu, skąd znajduje się równania ruchu, wykorzystując znane nawiasy Poissona zmiennych dynamicznych.

W rozdziale czwartym przedstawione są trzy konkretne dwuwymiarowe zagadnienia, matematycznie dostatecznie proste, tak, by była możliwa ogólna dyskusja ruchu bryły afinicznie sztywniej. Są to: ruch układu z wewnętrznymi stopniami swobody na sferze, na pseudo-sferze oraz na torusie. Zastosowana metoda jest dwustopniowa. Najpierw rozpatruje się ruch sztywnego żyroskopu, a następnie ruch ten uogólnia się do ciała afinicznie sztywnego. Ta sama metoda jest zastosowana w trzech rozpatrywanych przypadkach.

W rozdziale piątym, ostatnim, jest rozpatrzony przypadek ruchu żyroskopu w trójwymiarowej zwartej przestrzeni metrycznej o stałej krzywiznie, która jest dyfeomorficzna ze sferą trójwymiarową  $S^3(0, R) \subset \mathbb{R}^4$ . Po zaawansowanej analizie problemu otrzymuje się wzór na energię kinetyczną oraz równania ruchu.

Ogólna ocena tej pracy jest bardzo pozytywna, gdyż jest ona przystępnie napisanym wprowadzeniem do matematycznie zaawansowanej problematyki ruchu bryły afinicznie sztywniej w przestrzeniach nieeuklidesowych. Pracę tę sklasyfikowałbym jako monografię.

### **praca C6**

Praca ta ma tytuł *Some constraints and symmetries in dynamics of homogeneously deformable elastic bodies* i stanowi ona rozwinięcie formalizmu z pracy C1 poprzez ogólną dyskusję związku więzów i równań ruchu. Równania ruchu otrzymuje się na dwa sposoby: z zasady d'Alemberta oraz twierdzenia Lusternika. Zostało wykazane, że dla więzów holonomicznych obie metody dają te same wyniki. Dla więzów nieholonomicznych struktura równań ruchu jest różna.

Praca ta ma istotne znaczenie teoretyczne, gdyż w prosty sposób została przedstawiona procedura otrzymywania równań ruchu ciał afinicznie sztywnych, poddanych różnym rodzajom więzów.

### **praca C3**

Praca ta ma tytuł *Quantized excitations of internal affine modes and their influence on Raman spectra*. Praca ta jest interesująca, gdyż zawiera ona obok

klasycznego opisu także wersję kwantową problemu, która może mieć zastosowanie do badania cząsteczek (układu punktów materialnych), lub jąder atomowych poruszających się ruchem translacyjnym i poddanych deformacjom. Punktem wyjściowym analizy zawartej w pracy jest parametryzacja bieżących położenia poszczególnych punktów układu. Ze względu na własności układu (bryła afinicznie sztywne) stan układu jest określony przez skończoną ilość parametrów. Parametry te można podzielić na opisujące ruch wewnętrzny i ruch układu jako całości. Charakterystyczna symetria układu może ułatwiać parametryzację ruchu wewnętrznego. Wybór stopni swobody zdeterminowany jest przez biegunowy rozkład macierzy odkształceń  $\varphi$ , której elementy diagonalne są niezmiennikami odkształceń. Podstawiając odpowiednie wzory na prędkość do wyrażenia na energię kinetyczną otrzymuje się jej wartość wyrażoną przez fizyczne stopnie swobody związane z deformacją. Stąd otrzymuje się jawne wykładnicze rozwiązanie dla macierzy  $\varphi$  w przypadku modelu podwójnie afinicznego. Wynik ten nie daje jednak jeszcze zależności czasowej wielkości dynamicznych. Jako ilustrację otrzymanych wyników zaprezentowany jest model płaski (dwuwymiarowy), gdzie otrzymuje się dwa rodzaje ruchów: ograniczony wibracyjny lub nieograniczony.

Podejścia klasyczne i kwantowe pojęciowo są oczywiście zupełnie różne, jednak dają się również zaobserwować pewne paralelizmy, które ułatwiają otrzymanie kwantowej wersji modelu. Ciekawa jest obserwacja, że własności charakterystyczne dla Ramanowskiego rozpraszania światła otrzymuje się dla modeli, gdzie Hamiltonian ruchu wewnętrznego zależy tylko od niezmienników deformacji.

Praca C3 jest interesującym wkładem do badania ruchu obiektów ze strukturą wewnętrzną. Otrzymane rezultaty są bardzo ogólne, ale dają się zastosować do konkretnych układów. Szczególnie cenna jest obserwacja dotycząca Ramanowskiego rozpraszania światła.

#### **praca C5**

Praca ta ma tytuł *Mechanics of systems of affine bodies. Geometric foundations and applications in dynamics of structured media*. Podczas gdy poprzednio omówione dwie prace dotyczyły opisu ruchu pojedynczej bryły afinicznie sztywnej, to praca C5 poświęcona jest opisowi układów ciał afinicznych. Fakt ten matematycznie otwiera nowe możliwości konstruowania modeli, gdyż w przypadku *układu* ciał możliwa jest konstrukcja nietrywialnych oddziaływań afinicznie niezmienniczych, co jest niemożliwe dla pojedynczego obiektu. W pracy zostały zbadane niezmienniki układu brył afinicznych, składającego się z dwu ciał. Tego typu podejście pozwala na opis układu wielu ciał afinicznych, w których uwzględnia się tylko oddziaływania dwuciałowe. Konstruowane modele rozróżnia się poprzez wybór energii kinetycznej pojedynczego elementu oraz poprzez przyjęcie modelu konstrukcji całkowitej energii kinetycznej (addytywnego lub nie). Rozpatrywane modele obejmują szeroki zakres stosowalności, gdyż mogą być zastosowane

do np. ruchu ciał elastycznych, czy drgań materii jądrowej. Własności ogólnego ruchu takich układów wynikają z macierzowej wykładniczej formy rozwiązań. Dla obiektów o rozmiarach cząsteczkowych (fullereny, grafen) stosuje się wersję kwantową modelu.

Praca ta jest ważnym rozwinięciem opisu ciał afinicznych, gdyż znacznie rozszerza zbiór obiektów, opisywanych przez formalizm modeli afinicznych.

#### **praca C2**

Praca ta ma tytuł *Classical models of affinely-rigid bodies with "thickness" in degenerate dimension* i jest ona poświęcona omówieniu ruchu *płaskiej* bryły afinicznie sztywnej. Oznacza to, że wymiar przestrzeni fizycznej jest większy niż wymiar przestrzeni materialnej. Może to więc dotyczyć ruchu, n.p. membrany. *Płaskość* bryły nie oznacza, że ruch wewnętrzny jest płaski, lecz zakłada się, że są możliwe drgania w płaszczyźnie prostopadłej do bryły. W wyniku analizy kinematycznej oraz uwzględnieniu kształtu bryły otrzymuje się równania ruchu, zakładając dwubiegunowy rozkład macierzy odkształceń. Równania te są nieliniowe i otrzymanie ogólnych rozwiązań nie wydaje się możliwe, jednak w pracy zostały znalezione rozwiązania szczegółowe w postaci stacjonarnych elips. Ciekawą własnością tych rozwiązań jest to, że odkształcenia zależą od czasu, mimo, że rozwiązania są stacjonarne.

Praca ta jest ważna, gdyż pokazuje, że przedstawiony formalizm pozwala na praktyczne rozważenie konkretnych układów fizycznych i znalezienie szczególnych rozwiązań równań ruchu.

#### **praca C4**

Praca ta ma tytuł *On classical dynamics of affinely-rigid bodies subject to Kirchhoff-Love constraints* i jest ona uogólnieniem pracy C2. Zawiera opis bryły afinicznie sztywnej, której ruch jest superpozycją jednorodnych dwuwymiarowych płaskich odkształceń oraz ortogonalnych do nich jednowymiarowych oscylacji (więzy Kirchhoffa-Love'a). Do obiektów tego typu należą np. membrany. Ruch układu wyznacza się poprzez parametryzację macierzy odkształceń. Można wykorzystać parametryzację biegunową lub dwubiegunową tej macierzy. W pracy została wykorzystana parametryzacja biegunowa i na jej podstawie został wyznaczony ruch w postaci stacjonarnej elipsoidy. Zwraca się uwagę, że otrzymane rozwiązania są istotnie różne od przypadku dwubiegunowej parametryzacji, gdyż postać tensora deformacji Greena jest różna w obu przypadkach.

Praca jest ciekawa, gdyż dzięki innej metodzie parametryzacji macierzy odkształceń zostały znalezione nowe rozwiązania opisujące układy poddane więzom Kirchhoffa-Love'a.

#### **Ocena ogólna**

Przedstawiony cykl prac stanowi logiczną całość, w której zostały omówione za-

gadnienia związane z opisem własności dynamicznych ciał afinicznie sztywnych na rozmaitościach nieeuklidesowych. Przyjęty model matematyczny wymaga stosowania zaawansowanych metod analitycznych i geometrycznych, które zostały wyczerpująco omówione w załączonych pracach. Ponadto zostały przedstawione konkretne wyniki dotyczące ruchu pewnych szczególnych ciał afinicznie sztywnych. Wyniki i forma tych prac świadczy o dojrzałości naukowej dr. Vasyla Kovalchuka.

### 3. Omówienie dorobku naukowego dr. Vasyla Kovalchuka

Dr Kovalchuk jest autorem lub współautorem 29 publikacji, z czego 19 zostało opublikowanych po doktoracie. Ogólna tematyka prac, to fizyka matematyczna z istotnym wykorzystaniem teorii grup; przy bardziej dokładnym spojrzeniu można jednak wyróżnić pewne bardziej szczegółowe zagadnienia poruszone w tych publikacjach:

- a. Układy dynamiczne (klasyczne i kwantowe).
- b. Rozważania kwantowo-mechaniczne.

Zagadnienia z punktu **a.** stanowią w ogólnym zarysie temat rozprawy habilitacyjnej. Należy zwrócić uwagę, że mimo teoretycznego charakteru tych prac, to dotyczą one obiektów, które istnieją w otaczającym nas świecie, takich jak bryły sztywne, cząsteczki, fullereny itp. Wyniki tych prac mogą więc mieć znaczenie praktyczne. Tematyka zawarta w punkcie **b.** dotyczy takich zagadnień, jak badania dotyczące równania Kleina-Gordona-Diraca, rozważania na temat modyfikacji równania Schrödingera, gdzie wielkością dynamiczną jest iloczyn skalarny w przestrzeni Hilberta, a także dyskusja dotycząca formalizmu Weyla-Wignera-Moyal-Ville'a i własności momentu pędu.

Aktywność naukowa dr. Kovalchuka wyraża się również poprzez uczestnictwo w 28 konferencjach naukowych, gdzie przedstawił wyniki swoich badań.

Na podstawie opublikowanych prac można ocenić, że dr Vasyl Kovalchuk jest dojrzałym i samodzielnym pracownikiem naukowym.

### 4. Wnioski końcowe

Uważam, że rozprawa habilitacyjna dr. Vasyla Kovalchuka pt.: „Modele afiniczne w opisie dyskretnych i ciągłych ośrodków z mikrostrukturą w mechanice analitycznej”, stanowi istotny wkład w rozwój dyscypliny naukowej **mechanika**. Rozprawa i dorobek w pełni odpowiadają wymaganiom, określonym w ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, niezbędnym do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego. Stawiam wniosek o dopuszczenie dr. Vasyla Kovalchuka do dalszych etapów postępowania habilitacyjnego.

*Piotr Kielanowski*

*Mexico City, 15 maja 2014 r.*