



Prof. dr hab. Krzysztof W. Wojciechowski

## Instytut Fizyki Molekularnej Polskiej Akademii Nauk

[kww@ifmpan.poznan.pl](mailto:kww@ifmpan.poznan.pl)

ul. M. Smoluchowskiego 17, 60-179 Poznań

Poznań, 3 II 2017 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Waldemara Tomaszewskiego

### ***Dynamika lin i łańcuchów***

wykonanej pod kierunkiem prof. dra hab. Piotra Pierańskiego

Napisana po polsku rozprawa Pana mgr inż. Waldemara Tomaszewskiego dotyczy symulacji komputerowych kilku mocno uproszczonych, ale nietrywialnych modeli mechanicznych. Oprócz badania modeli ruchu lin i łańcuchów w polu grawitacyjnym Autor symuluje strzały z bicia. Symulacje komputerowe poszczególnych modeli poprzedzone są elementarnymi rozważaniami analitycznymi, a niektórym z nich towarzyszą opisy wyników doświadczeń. Rozważane w pracy doktorskiej zagadnienia są aktualne – w bibliografii znajdujemy szereg niedawno opublikowanych prac innych autorów, które są poświęcone podobnym zagadnieniom. Zbyt wcześnie jest – moim zdaniem – wyrokować, czy są to badania ważne. Choć analiza naukowa strzałów z bicia kojarzyć się może niektórym z Ig Noblem, to warto pamiętać, że modele mechaniczne niewiele różniące się od rozważanych w recenzowanej rozprawie stosowane są, między innymi, do badania własności mechanicznych struktur DNA, a te ostatnie ze wspomnianą nagrodą nikomu się chyba nie kojarzą. Nie mam jednak wątpliwości, że przeprowadzone badania były ciekawe i pożyteczne dla autora pracy, który sporo się nauczył podczas ich realizacji.

Praca liczy 170 stron, z czego 9 pierwszych jest numerowanych liczbami rzymskimi a pozostałe 161 – liczbami arabskimi. Po stronie tytułowej znajdujemy dedykację i podziękowania. Jeśli chodzi o pierwsze dwa podziękowania, to po przeczytaniu rozprawy mam pewne – wspomniane w dalszej części niniejszej recenzji – wątpliwości, czy są one w pełni uzasadnione. Kolejne elementy rozprawy stanowią spis treści i spis rysunków. Zdecydowanie brakuje mi spisu oznaczeń. Tym bardziej, że niektóre użyte w pracy oznaczenia są dość niestandardowe. Dalsza część rozprawy numerowana jest przy użyciu notacji arabskiej i składa się z ośmiu rozdziałów oraz dodatku, który zawiera kody źródłowe wybranych procedur obliczeniowych. Szkoda jednak, że nie zostały one tamże lepiej opisane. Rozprawę zamyka bibliografia, którą zamieszczono na stronach 154–161. Na osobnej kartce znalazłem życiorys oraz spis publikacji i wystąpień konferencyjnych Autora. Te ostatnie przedstawię krótko zanim przejdę do omówienia samej pracy.

Autor rozprawy urodził się 18. lipca 1974 w Gnieźnie, gdzie w roku 1993 ukończył liceum ogólnokształcące. W tymże roku rozpoczął na Wydziale Budowy Maszyn Politechniki Poznańskiej studia, które ukończył z wyróżnieniem w roku 1998. Po studiach odbył półroczną służbę wojskową w Toruniu, a potem rozpoczął pracę zawodową związaną z rozwojem oprogramowania oraz wsparcia informatycznego aplikacji i systemów laboratoryjnych. Wskazuje to, że Kandydat ma dobre przygotowanie programistyczne. Umiejętności te wykorzystywał w latach 1997 – 2000 przy tworzeniu wraz z drem inż. J. Wdowickim

oprogramowania obliczeniowego dla konstrukcji wysokich budynków, a później – do roku 2007, we współpracy z obecnym Promotorem – nad zagadnieniami związanymi z równaniem sinus-Gordona i dynamiką lin i łańcuchów. Do tej ostatniej tematyki powrócił w roku 2015.

Ze spisu publikacji wynika, że mgr inż. Tomaszewski jest współautorem dwóch prac opublikowanych w czasopiśmie z tzw. Listy Filadelfijskiej w *New Journal of Physics* (w roku 2005 wraz z P. Pierańskim) i w *American Journal of Physics* (w roku 2006 wraz z P. Pierańskimi J.-Ch. Geminardem). Oprócz tego opublikował po jednej pracy w czasopiśmie *Postępy Fizyki* i *Foton* (obie w roku 2004 wraz z P. Pierańskim). Jest też współautorem dwóch komunikatów konferencyjnych przedstawionych odpowiednio na konferencji krajowej w Rzeszowie (w roku 1999 wraz z J. Wdowickim i A. Tomaszewskim) i międzynarodowej we Wierzbie (w roku 2004 wraz z P. Pierańskim).

Cel, zakres i układ rozprawy doktorskiej omówione zostały w stanowiącym pierwszy rozdział Wprowadzeniu, które zawiera także zwięzły, zręcznie napisany wstęp do tematyki rozprawy, a w nim – między innymi – zarówno podkreślenie zalet symulacji komputerowych, jak i roli badań doświadczalnych. Jak pisze Autor na stronie 1:

- celem rozprawy jest analiza wyników uzyskanych wcześniej przez różnych autorów oraz rozszerzenie ich o rezultaty symulacji przeprowadzonych w pracy.

Choć nie jest to cel, którego znaczenie „poraża” czytelnika, to – moim zdaniem – jego właściwa realizacja wystarczy do uzyskania stopnia doktora.

Rozdział drugi poświęcony jest modelom matematycznym, których Autor używa do analizy lin i łańcuchów. W rozdziale tym przypomniana<sup>1</sup> jest krzywa łańcuchowa Bernoulliego, czyli funkcja opisująca kształt w stanie równowagi w jednorodnym polu grawitacyjnym idealnie wiotkiej, nierozciągliwej liny, której końce znajdują się w zadanych punktachwiszącej. Jest ona stanem odniesienia dla *dyskretnej* krzywej łańcuchowej, opisującej kształt łańcucha złożonego ze skończonej liczby identycznych segmentów (odcinków) połączonych złączami. Każdy z segmentów posiada taką samą masę, a energia sprężysta złącza jest proporcjonalna do kwadratu różnicy kątów między łączonymi segmentami. Taki właśnie, dyskretny model stosowany jest (ze względów numerycznych) w symulacjach. Dla prostoty przyjęto, że badany model jest dwuwymiarowy. Tłumienie opisano w nim funkcją dyssypacyjną Rayleigh’a. Zastosowanie formalizmu Lagrange’a pozwoliło otrzymać równania ruchu układów prętów, które po zapisaniu w bezwymiarowej postaci macierzowej można rozwiązywać numerycznie. Opisany model, który został przez Autora oznaczony literką A, nie jest jedynym rozważanym w pracy. Badany był też model złożony z wahadeł matematycznych, oznaczony jako B.

Całkowanie numeryczne równań ruchu stanowi przedmiot rozdziału trzeciego. Autor zamieścił tam niezbędne informacje na temat metod numerycznych, stosowanych w literaturze pakietów i testów ich efektywności. Przeprowadził też kilka eksperymentów obliczeniowych, które pomogły mu wybrać te metody całkowania, które są najbardziej efektywne w przypadku problemów, jakimi się zajmuje.

Rozdział czwarty przedstawia zagadnienie spadku swobodnego zamocowanej w jednym końcu doskonale giętkiej liny, której drugi - spadający koniec jest na początku procesu nieskończenie blisko pierwszego końca. Przypadek ten, nazwany przez Autora

<sup>1</sup> Na marginesie wypada zauważyć, że przyjęcie zerowego przyspieszenia lub masy dowodzą nieprawdziwości (braku precyzji) zdania „Założenie to nie wpłynie na kształt krzywej łańcuchowej, ponieważ kształt krzywej łańcuchowej nie jest zależny od masy łańcucha i przyspieszenia grawitacyjnego.” napisanego przez Autora rozprawy na stronie 11.



przypadkiem łańcucha *złożonego* (co nie jest zbyt fortunne, bo – moim zdaniem – sugeruje nie tyle fakt złożenia liny/łańcucha na pół ile raczej jakieś komplikacje liny/łańcucha; lepiej byłoby mówić o linie/łańcuchu *po złożeniu*), można łatwo rozwiązać analitycznie korzystając z zasady zachowania energii. Otrzymane rozwiązanie pokazuje, że w końcowej fazie spadku zarówno prędkość, jak i przyspieszenie dążą do nieskończoności. Jeśli się chwilę zastanowimy, to nie jest to zaskakujące, bo przecież w końcowej fazie ruchu takiego idealnego modelu (bez tłumienia i energii sprężystej pomiędzy „segmentami”) energia potencjalna makroskopowej części (połowy) liny zamienia się na energię kinetyczną jej infinitymalnego (nieskończenie małego) fragmentu, którego masa dąży do zera. Przedstawione przez p. Tomaszewskiego badania numeryczne pokazały, że model analityczny dość dobrze przybliża wyniki symulacji w niemal całym przedziale czasu spadania, oprócz jego końcowej części, gdzie model analityczny przewiduje monotoniczność zależności, a w symulacjach pojawiają się oscylacje. W szczególności okazało się, że przyspieszenie i prędkość końca łańcucha w ostatniej fazie spadania są większe niż przyspieszenie i prędkość swobodnie spadającej masy punktowej. Wyniki symulacji bardzo dobrze odzwierciedlały wyniki otrzymane w doświadczeniach z realnymi łańcuchami, które – moim zdaniem – są wartościową częścią pracy. Na zakończenie wypada dodać, że symulacje wyraźnie pokazują istnienie „strzałki czasu”, bo po osiągnięciu minimalnej wysokości układ nie wraca do swego zwierciadlanego odbicia, lecz przechodzi do stanu chaotycznego.

Rozdział piąty zawiera opis badań spadania swobodnego łańcucha rozwartego, czyli takiego, którego niezaczepiony koniec jest na początku na tym samym poziomie, lecz w większej niż w rozdziale czwartym odległości od końca zaczepionego. Dla takiego przypadku nie jest znane rozwiązanie analityczne. Przeprowadzone badania symulacyjne i doświadczenia pozwoliły otrzymać ilościowe wyniki dla różnych wartości odległości początkowej. Badania te pokazały, że ze wzrostem początkowej odległości końców łańcucha maksymalna prędkość spadania początkowo maleje, ale dla wartości większych od ok. 0.8863 długości całkowitej łańcucha zaczyna rosnąć. Podobne zachowanie obserwowano w przypadku przyspieszenia.

W rozdziale szóstym badano siły działające w łańcuchach badanych poprzednio. Pokazano, między innymi, że zmiana dynamiki łańcucha w pobliżu maksymalnego rozwarcia wynika ze zmiany kształtu krzywej łańcuchowej.

Rozdział siódmy dotyczy strzałów z bicia. Pokazano, że wydawany wtedy dźwięk związany jest z przekroczeniem przez końcówkę bicia prędkości dźwięku. Nietrudno to zrozumieć rozważając model analogiczny do modelu złożonej liny.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie, krótką historię badań i wskazuje nowe problemy pojawiające się w dziedzinie.

Praca jest napisana logicznie, ale dość niedbale, np. zawiera mnóstwo literówek i niepoprawnych sformułowań, których – ze względu na liczbę – nie będę nawet próbował wypunktowywać. Ograniczę się do (wybranej losowo) jednej strony rozprawy. Jest to druga strona rozdziału drugiego, czyli strona 6 pracy.

- Zamiast „długość elementu [...] jest nieskończenie krótka” powinno być napisane „długość elementu [...] jest nieskończenie mała”.
- Zamiast „Modele analityczne są modelami czysto teoretycznymi” powinno być napisane „Modele analityczne są modelami bardzo uproszczonymi”.
- Zamiast „Opisują one linę jako nierozciągliwy pręt o kołowym przekroju, jednorodnej gęstości oraz elastyczności” powinno być napisane „Opisują one linę jako nierozciągliwy pręt o kołowym przekroju, jednorodnej gęstości oraz giętkości”.

- Zamiast „takich jak wpływ pola grawitacyjnego tarcie wewnętrzne” powinno być napisane „takich jak wpływ pola grawitacyjnego i tarcie wewnętrzne”.

Ponieważ znam Promotora tej pracy, który był kiedyś moim opiekunem podczas pisania pracy magisterskiej z fizyki i doktoratu, więc trudno mi uwierzyć, że przeczytał on (lub ktokolwiek inny) dostarczoną mi do oceny wersję pracy. Dlatego uważam, że część podziękowań jest „na wyrost”.

Z obowiązku recenzenckiego wypunktowałem poniżej istotniejsze (a więc takie, które nie dotyczą wspomnianych wcześniej błędów językowych) zauważone w pracy usterki.

- Szkoda, że Autor rozprawy nie pokazał przykładowych konfiguracji otrzymanych przy użyciu różnych integratorów i przy rosnącym podziale łańcucha.
- Rysunki nie są w pracy dobrze rozmieszczone, co bardzo utrudnia czytanie.
- Przecinki przed wskaźnikami wielkości fizycznych oznaczają zwykle ich różniczkowanie po odpowiednich składowych numerowanych tymi wskaźnikami. Autor rozprawy zastosował przecinki dla oddzielenia wskaźników dolnych macierzy.
- Rysunek 3.1 po prawej stronie nie jest dobrze opisany.
- Nie jest jasne, co oznacza  $p$  poniżej wzoru (3.20).
- Skala na rysunku 4.14 to 6:1, a nie 1:6.
- Rysunek 5.2 nie jest przemyślany – różnym wielkościom powinny odpowiadać różne symbole.

Powyższe uwagi nie przekreślają wyników rozprawy, za której trzy główne osiągnięcia uważam:

- zaproponowanie prostych modeli teoretycznych dobrze przybliżających badane właściwości rozważanych układów,
- zaimplementowanie efektywnych algorytmów do symulacji badanych modeli,
- uzyskanie dużej ilości ciekawych wyników ilościowych dotyczących badanych modeli.

Chciałbym też pochwalić Autora rozprawy za ładne rysunki 5.1 i 5.3, na których widać wyraźnie, że koniec spadającego łańcucha porusza się szybciej niż masa punktowa.

Wykonane przeze mnie poszukiwania w bazie ISI Thomson-Reuters pokazały, że dwie prace Doktoranta są indeksowane w tejże bazie. Były one cytowane przynajmniej 29 razy (bez autocytowań). Jak na pracę doktorską jest to wynik więcej niż dobry.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa spełnia wymogi odpowiedniej Ustawy i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

