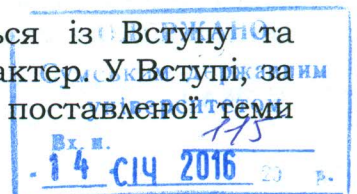


Відгук
офіційного опонента
на дисертацію А.М.Заскоки
«Фазові переходи в ультра тонких твердо подібних плівках мастила при
межовому терті»,
подану на здобуття наукового ступеня
кандидата фізико-математичних наук
за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла

Актуальність теми досліджень. Дисертаційна робота А.М.Заскоки присвячена розвиненню теоретичних положень та підходів щодо опису фізичних процесів межового тертя в рухомих механічних системах із твердоподібними ультратонкими мастилами. Особливість таких систем полягає в тому, що при зменшенні товщини мастила, яке складається із молекулярних сполук, до декількох нанометрів конкуренція сил взаємодії поверхонь та мастила з поверхнями, що труться, приводить до реалізації, так званого, режиму переривчастого (межового) тертя – чергування проковзування поверхонь та їх прилипання між собою. Оскільки такі фізичні системи знаходять застосування у новітніх приладах зчитування та запису інформації в сучасній електроніці, мікроприладах з рухомими елементами, то дослідження процесів межового тертя в них становить важливу наукову задачу, розв'язання якої дозволяє запропонувати рекомендації щодо істотного поліпшення їх роботи (вибір умов та режимів роботи), збільшити термін експлуатації як самих приладів, так і їх складових, подовжити термін роботи, забезпечуючи необхідним змащуванням елементів. Окрім того, з фундаментальної точки зору, важливість таких досліджень пов'язана з вивченням фізичних закономірностей процесів тертя та реалізації відповідних режимів руху поверхонь на нанометрових масштабах, коли стандартні класичні теорії, що адекватно описують властивості систем тертя лише на макроскопічному рівні, не дають повної картини поведінки систем з нанометровими масштабами. Відомо, що цілісну картину процесів, що відбуваються у таких складних трибологічних системах можна подати із застосуванням декількох, але пов'язаних між собою підходів, що здатні у ефективний спосіб поєднати описи на мікроскопічному рівні та мезо- чи макрорівнях, модифікуючи відповідні теоретичні підходи мезо- чи макроскопічного подання даних процесів. Саме останнє проводиться в поданій на розгляд роботі. Тому, із вищенаведеного випливає, що тема дисертаційних досліджень А.М.Заскоки є вельми актуальною не лише в фізиці тертя, твердого тіла та, загалом, трибології, але й в прикладному сенсі. Про актуальність роботи також свідчить те, що вона була виконана відповідно до держбюджетних тем (№0111U009623, №0112U001380) та двох грантів Президента України (№0112U007318, №0113U007248).

Метою роботи є встановлення впливу основних керуючих параметрів у трибологічній системі з двома атомарно гладкими поверхнями та нанометровим прошарком твердоподібного мастила на процеси межового тертя при фазових переходах мастила з твердого до рідинного станів. До задач дослідження входило: опис причин виникнення переривчастого режиму тертя за допомогою розробленої в роботі моделі фазових переходів; встановлення впливу температури, швидкості зсуву поверхонь циклічної частоти та коефіцієнту жорсткості на характер переходу мастила в рідиноподібний стан; узагальнення розробленої моделі фазових переходів мастила з урахуванням алгебраїчної залежності в'язкості мастила від температури.

Структура роботи. Дисертаційна робота складається із Вступу та чотирьох розділів, з яких останні три носять оригінальний характер. У Вступі, за стандартом його написання, автор розкриває актуальність поставленої теми



досліджень, освітлює проблеми теоретичного опису процесів переривчастого руху поверхонь, змащених мастилом нанометрового прошарку та зазначає перелік практичних застосувань результатів, здійснюваних у цьому напрямку досліджень. Тут чітко формулюється мета роботи та наводяться задачі, що потребують розв'язання дисертантом; описуються предмет, об'єкт дослідження та використані в роботі теоретичні методи. Автор зазначає наукову новизну отриманих результатів та пояснює їх практичне значення з можливими сферами застосування, зокрема, наномеханіка, електроніка, біоінженерія. Досить детально описано особистий внесок здобувача, дані щодо апробації результатів.

У першому розділі, що носить оглядовий характер, автор описує особливості межового тертя та розкриває проблеми його опису із застосуванням класичних підходів. Тут наведено низку експериментальних даних щодо часових залежностей сили тертя, які ілюструють переривчасті режими, та охарактеризовано відповідні залежності від температури та швидкості зсуву рухомої поверхні. Автор критично подає теоретичні підходи, що можуть бути застосовані для подібного роду досліджень з визначення пружних та в'язких напружень, сили тертя. Пояснюються механізми топлення та твердіння мастила під час переривчастого руху.

Оригінальна частина роботи починається з другого розділу, в якому автор основну увагу приділяє розвиненню, так званої, термодинамічної моделі топлення ультратонкої плівки мастила, де в якості прикладу фізичної системи розглядається накопичувач інформації на жорсткому диску. Теоретична модель трибологічної системи зводиться до блоку, що рухається по змащеній атомарно гладкій поверхні. Для пояснення переходів мастила в два різні режими пропонується використовувати теорію фазових переходів Ландау, де роль параметра порядку відводиться амплітуді періодичної складової функції густини. Досліджуються переходи між режимами в рамках моделей густини вільної енергії, що відповідає переходам першого та другого родів. Тут автором досліджується залежність сили тертя від швидкості руху блоку та температури, розглядається кінетика топлення мастила та переривчасті режими зі сталою швидкістю зсуву та при періодичному зовнішньому впливі. Наведено дані числової обробки результатів моделювання, які зіставляються з аналітичними та експериментально вимірними.

У третьому розділі автором досліджується переривчастий режим тертя у випадку залежності в'язкості мастила від температури. Встановлено, що в'язкість степеневим чином пов'язана зі швидкістю зсуву. Автором вивчається зсув поверхонь за різного виду зовнішнього впливу, зокрема, періодичний зовнішній вплив. Окремо описується режим ковзання після довготривалої зупинки зовнішнього приводу. Також розглядається вплив різного типу мастила (за довжиною молекул полімерів). Вивчено особливості проявлення ефектів пам'яті, що пов'язано з виникненням статичної сили тертя.

Четвертий розділ роботи присвячено дослідженню ефектів пам'яті у системі, що описується повним рядом розвинення густини вільної енергії за параметром порядку у вигляді моделі ϕ^4 . Тут автором проводиться аналіз умов топлення. Окремо розглядається залежність сили тертя від температури та швидкості зсуву поверхонь при фазовому переході першого роду. При розгляді кінетики переходів доводиться можливість реалізації переривчастого руху внаслідок проходження фазових переходів. Автор приділяє увагу дослідженню впливові квазістатичної сили тертя. Доводиться відповідність отриманих результатів до експериментальних даних. Також отримано залежність сили тертя від часу для різних значень часу релаксації параметра порядку та для різних інтервалів зупинки зовнішнього приводу.

У роботі отримано такі нові результати.

1. При розгляді трьох типів мастил, зокрема, псевдопластичного, ньютонівського та ділатантного для трибологічної системи при зміні основних параметрів трибологічної системи, що зводяться до жорсткості пружини та температури встановлено, що мінімальну силу тертя забезпечує псевдопластичне мастило, у той час як пружні напруження набирають максимальних значень.
2. Виявлено, що за рахунок пружної взаємодії у трибологічній системі з нанопрошарком мастила ширина гістерезисної петлі на залежності сили тертя від температури істотно збільшується, при цьому з'ясовано, що така пружна взаємодія приводить до зникнення гістерезисної петлі в залежності сили тертя від швидкості зсуву.
3. При дослідженні функціонування нанотрибологічної системи в режимі рідинного тертя встановлено, що різний час зупинки зовнішнього приводу приводить до тверднення мастила (часткового чи повного), що зумовлюється на виникненні ефектів пам'яті.
4. Виявлено, що збільшення площі контакту між поверхнями, що труться приводить до зростання максимальних значень сили тертя та зменшення частоти переходів між режимами тертя.

Обґрунтованість наукових результатів підтверджується використанням методів математичного аналізу та числового моделювання, застосуванням відомих та апробованих підходів математичної та статистичної фізики, теорії фазових переходів Ландау. При числовому розв'язанні системи динамічних рівнянь автором використано відомі та вельми апробовані методи, зокрема Рунге-Кутти 4-го порядку для розв'язання системи детерміністичних рівнянь та метод Ойлера з процедурою Бокса-Мюллера для розв'язання стохастичних рівнянь. У роботі показано, що основні отримані теоретичні результати якісно, а інколи і кількісно, узгоджуються з відомими експериментальними даними щодо залежності сили тертя від температури, швидкості зсуву рухомої поверхні та часу спостереження, а також узагальнюють відомі теоретичні дані щодо опису межового тертя. У зв'язку з цим достовірність основних положень дисертації не викликає сумніву.

Загалом, виклад матеріалу дисертації структурований, логічно зв'язаний і послідовний, має достатню кількість ілюстративного матеріалу, простежуються взаємозв'язки між розділами. Дисертацію оформлено відповідно до вимог ДАК МОН України щодо дисертацій.

Зауваження. До змісту та тексту дисертації вважаю за необхідне зробити такі загальні зауваження.

1. Не проводиться детального пояснення причин вибору поліноміальних конструкцій для густини вільної енергії за низьких температур коли справедливим є наближення Брега-Вільямса. Окрім того, використані автором конструкції є надлишковими і можуть бути ефективно редуковані до простіших.
2. Автор не надає пояснень щодо фізичних причин уведення у розгляд адитивних шумів.
3. У тексті роботи присутні описки, русизми та пунктуаційні помилки.

До розділу «Вступ» можна зробити таке зауваження. Незважаючи на те, що автор у параграфі «Актуальність теми» висвітлює проблеми, що виникають з описом поведінки трибологічної системи та застосуванням класичних підходів і окреслює шляхи її вирішення, на мій погляд, недостатньо уваги приділено безпосередньо актуальності теми проведених автором досліджень. Натомість актуальність розкривається у висновку 2 до розділу 1.

До першого розділу є зауваження стосовно оформлення тексту роботи. На ст.22 у рівняннях (1.5) та (1.6) не пояснено складові, що стоять у правій частині. У тексті зустрічаються вельми сумнівні за значенням вирази, наприклад, «шуп провокує зміщення поверхневих атомів на відстань, яка менша за сталу ґратки» (ст.22); на ст.29 автор вводить позначення для параметра порядку, але не пояснює його фізичне наповнення; присутні недолугі вирази типу «еволюція рівняння дозволяє отримати силу тертя» (ст.29); інколи речення слабо поєднуються у загальний текст розділу.

Зауваження до другого розділу. 1) У тексті присутні недолугі вирази типу «часова еволюція параметрів системи» (ст.56), хоча розглядається еволюція змінних при фіксованому наборі параметрів; на ст.40 наведено текст, що повторює матеріал з розділу 1. 2) На ст.42 автор говорить про малість часу релаксації пружних напружень, однак не пояснює з чим відбувається порівняння. 3) У підрозділі 2.2.2 здивування викликає вираз про те, що корінь стохастичного рівняння «відповідає максимуму потенціалу $f(\varphi)$, тобто нестійкому стаціонарному стану, який згідно зі структурою рівняння є стійким». Для переходу з нестійкого стану автор пропонує ввести у розгляд малі флуктуації, що здатні перевести систему у стійкий стан. Фізичну причину уведення таких шумів не пояснено. Очевидно, що такий шум може бути лише термічним (внутрішнім з виконанням флуктуаційно-дисипаційної теореми) з інтенсивністю, що визначається температурою та кінетичним коефіцієнтом. При цьому автор вводить інтенсивність шуму як окремий параметр моделі з екстремальним значенням, що викликає певні сумніви у фізичній інтерпретації уведення таких флуктуацій. Окрім того, зазначається, що уведення такого шуму є необхідним лише з технічної точки зору числового розв'язання рівняння динаміки параметра порядку. 3) При описі фазових переходів першого роду (підрозділ 2.3) автор користується надлишковою конструкцією для моделі густини вільної енергії, не пояснюючи свій вибір. 4) У розділі 2.4.1 обговорюються дані числового експерименту, однак у тексті немає пояснень стосовно того, яким чином проводився такий експеримент та скільки стохастичних реалізацій було проаналізовано. Результати такого експерименту зображено на рис.2.21-2.23, однак не позначено похибки обчислень, у тексті також відсутня відповідна інформація.

До третього розділу є зауваження лише стосовно оформлення, зокрема неуважність в пунктуації та наявності недолугих виразів типу «залежність параметрів», тоді як мова йде про залежності змінних (ст.82).

До розділу 4 є такі зауваження. 1) На мій погляд некоректним виглядає аналіз стаціонарних станів (формули (4.5), (4.6) та відповідний текст на ст.97). 2) У тексті розділу некоректно використовується термінологія щодо класифікації типів фазових переходів. 3) У оформленні тексту розділу є помилки набору.

Разом з тим, наведені зауваження та недоліки не знижують наукового рівня отриманих дисертантом результатів та не впливають на наукову новизну та висновки поданої дисертаційної роботи. Вважаю, що дисертаційна робота А.М.Заскоки є завершеною працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що опубліковано у провідних наукових виданнях, що входять до світових науково метричних баз даних та апробовано на міжнародних конференціях. Отримані в ній науково обґрунтовані результати в сукупності можуть слугувати поштовхом для подальшого вивчення процесів межового тертя та можуть бути використані в фізичних (електронних системах збереження інформації) та біологічних системах (протезуванні, тощо) з поверхнями, що труться.

Основні результати дисертації опубліковані у 5 статтях у вітчизняних фахових виданнях з фізико-математичних наук, які включено до наукометричної бази даних Scopus.

Автореферат роботи в достатній мірі передає зміст дисертації та містить необхідну кількість математично формалізованого та графічного матеріалу.

Враховуючи вищенаведене вважаю, що дисертація Антона Миколайовича Заскоки є завершеним теоретичним дослідженням у галузі фізики твердого тіла, в якій вирішено наукову задачу встановлення умов реалізації режимів межового тертя в трибологічних системах. У результаті роботи здобувачем отримано низку нових результатів стосовно опису виникнення переривчастого режиму тертя. Висновки, зроблені у роботі адекватно відображають основні досягнення.

Тому, за актуальністю обраної теми, науковою новизною та значущістю одержаних результатів, ступенем обґрунтованості та вірогідністю сформульованих наукових висновків і рекомендацій, повнотою їх викладу в опублікованих працях дисертаційна робота «Фазові переходи в ультра тонких твердо подібних плівках мастила при межовому терті» відповідає вимогам ДАК МОН України, щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, а саме, пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 із змінами (окрім п. 3), що внесені до постанов Кабміну України, затвердженими постановою Кабміну України від 12.09.2011 р. № 955), а її автор Антон Миколайович Заскока заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.07 – фізика твердого тіла.


Офіційний опонент

доктор фізико-математичних наук, професор,
завідувач відділу моделювання
радіаційних ефектів та мікроструктурних
перетворень у конструкційних матеріалах
Інституту прикладної фізики НАН України

 Д. О. Харченко

Підпис офіційного опонента д.ф.-м.н., проф. Д.О.Харченка засвідчую.
Вчений секретар
к.ф.-м.н.



 О.І.Ворошило