

Відгук

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Артюшенко Катерини Павлівни «Фізичні процеси у приелектродних шарах і плазмі тліючого та високочастотного ємнісного розрядів»,

яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата фізико–математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми

Дисертаційна робота Катерини Павлівни Артюшенко присвячена актуальній проблемі сучасної фізики плазми, а саме дослідженню фізичних процесів у приелектродних шарах і плазмі тліючого та високочастотного ємнісного розрядів.

Актуальність теми.

Дослідження Артюшенко Катерини Павлівни пов'язані з властивостями формування тліючого та високочастотного ємнісного розрядів. Метою цих досліджень є з'ясування структури та властивостей катодного шару та позитивного стовпа тліючого розряду, а також приелектродного шару та квазінейтральної плазми ВЧ ємнісного розряду. Актуальність цих досліджень визначається тим, що хоча тліючий розряд відомий вже більше двох століть, він дуже широко застосовується. Відомо, що у тліючого розряду є різні специфічні частини і велика увага приділяється як раз вивченню процесів в цих частинах.

Дійсно, найбільш важливою частиною тліючого розряду є катодний шар, так як саме він контактує з катодом і він визначає специфіку взаємодії плазми з поверхнею. І якщо в деяких плазмових технологіях прагнуть придушити прискорення іонів до стінок, то в деяких випадках якраз навпаки важливо це прискорення і важливо падіння напруги біля стінки. І тому велика кількість робіт публікується з цього приводу.

Також дійсно, позитивний стовп тліючого розряду – його важлива частина, оскільки він є активною зоною в газорозрядних лазерах. Тому дослідження його властивостей становить значний практичний інтерес.

Також класичний закон "3/2" (Чайльда-Ленгмюра) є основою постійних оцінок багатьох вчених. Однак він отриманий для руху заряджених частинок крізь шар без зіткнень. А це наближення сильно звужує область його можливого застосування для оцінок, оскільки іони, що перетинають пристінковий шар, можуть зіштовхуватися з нейтралами газу. Тим більше що різноманітність використовуваних газів і параметрів величезна. Тому треба знати який закон треба використовувати в конкретних умовах.

Високочастотний ємнісний розряд, який досліджений в дисертації, широко застосовується в безлічі плазмових технологічних процесів.

Звичайно, добре б все зробити на основі кінетичних моделей, які враховують безліч всіх процесів зіткнень електронів з атомами и молекулами газу, проти це не так просто. Тому побудова простих аналітичних виразів дуже важливо, що і робиться в дисертації.

Оскільки тліючій и високочастотній розряди низького тиску широко використовуються і не все ще ясно з точки зору розуміння і опису, то дослідження є актуальними і становлять значний загально фізичний та прикладний інтерес.

Слід зазначити, що дисертаційна робота виконувалась відповідно до затверджених планів науково-дослідних робіт в рамках декількох держбюджетних тем. Важливо також відзначити, що тема дисертаційної роботи безпосередньо пов'язана з таким пріоритетним напрямком розвитку науки і техніки як електроніка.

Отже, обрана тема дисертації та поставлені в роботі наукові завдання є безумовно актуальними.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій.

Обґрунтованість наукових висновків дисертації та їх достовірність не викликає сумнівів завдяки використанню в роботі надійних та добре розвинутих методів та глибокого всебічного аналізу результатів експериментів. Сильною стороною роботи, безумовно, є використання різних методів. А саме, вимірювання вольт-амперних характеристик розрядів, дослідження осової структури розряду виконувалось методом зонда Ленгмюра та методом рухомого анода, виконувалось вимірювання спектрів випромінювання, фотографування розряду, товщина катодного шару отримувалась методом обробки фотографій, також виконувалось комп'ютерне моделювання для побудови адекватної моделі і розроблялись аналітичні моделі для позитивного стовпа тліючого розряду та приелектродних шарів ВЧ ємнісного розряду.

Достовірність результатів гарантована також тим, що дисертація виконувалася під керівництвом доктора фізико-математичних наук Лісовського Валерія Олександровича, а роботи публікувалися в співавторстві з відомими авторитетними вченими: д.ф.-м.н. Лісовським В.О. і проф. В.Д.Єгоренковим.

Дуже важливо для гарантування достовірності, що Катерина Павлівна в дослідженнях контролює узгодження теорії та експерименту.

Ступінь новизни отриманих результатів.

Наукова новизна роботи полягає у тому, що більшість результатів дисертації отримано вперше. Серед отриманих результатів, на мій погляд, найцікавішими є такі:

1. Встановлено, що в широкому діапазоні тиску (0,07 – 2 Торр) водню для опису катодного шару можна застосовувати закон Чайльда-Ленгмюра для постійної рухливості іонів. Для катодного шару у закису азоту при тиску менш ніж 0,3 Торр виконується закон для постійної

рухливості іонів, при тиску понад 0,75 Торр – закон для постійної довжини вільного пробігу іонів, а в перехідному діапазоні тиску (між 0,3 і 0,75 Торр) жоден із варіантів закону Чайльда-Ленгмюра не описує коректно катодний шар тліючого розряду у закису азоту.

2. Встановлено причину, яка викликає необхідність збільшення падіння напруги на електродах і товщини катодного шару при віддаленні аноду крізь негативне світіння. Для підтримки фіксованим розрядного струму на анод, що рухається крізь негативне світіння, потрібно підвищувати напругу на електродах, щоб забезпечити досить високий струм швидких електронів.

3. Отримано прості формули для зведеного електричного поля, які добре описують результати експериментів для позитивного стовпа тліючого розряду в інертних та молекулярних електропозитивних газах.

В цілому дисертаційна робота справляє досить приємне враження. Рукопис складає 180 сторінок, п'ять розділів, містить 81 рисунок. Список використаних джерел складається з 219 найменувань.

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел. Розділи добре структуровані, кожний розділ закінчується висновками. Матеріали дисертаційної роботи викладено ясно і послідовно, у відповідності до існуючих стандартів для наукової мови. Робота добре проілюстрована, рисунки виконано якісно.

У **вступі** дисертаційної роботи Катерини Павлівни Артюшенко проаналізовано сучасний стан проблеми. У вступі також обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано наукові завдання дисертаційної роботи та мету, показано зв'язок роботи з науковими програмами і темами, визначено практичну цінність отриманих результатів та наукову новизну, особистий внесок здобувача, а також наведено дані про публікації та апробацію роботи автора.

Перший розділ є оглядовим. В ньому проведено аналіз результатів інших авторів, сформульовані наукові завдання, які були розв'язані в дисертаційній роботі.

Оцінюючи оригінальні розділи дисертації, хочу відзначити, що експериментальна частина роботи була добре спланована та систематизована, а комп'ютерні розрахунки добре доповнюють результати експериментальних вимірювань.

У **другому розділі** описані розрядні трубки, в яких проводилися експерименти, умови проведення експериментів, використане діагностичне обладнання, описана методика вимірювань параметрів плазми і обробки результатів.

На мій погляд, найбільш вагомим результатом дослідження **третього розділу** є з'ясування, який із законів Чайльда-Ленгмюра потрібно використовувати для опису катодного шару. Також важливим є результат, що при одній і тій самій величині розрядного струму густина плазми в

негативному світінні в довгих зазорах між електродами вища, ніж в коротких. Аналогічний результат отримано також за допомогою комп'ютерного моделювання кодом OOPIC Pro.

У четвертому розділі, зокрема, наведена аналітична модель для позитивного стовпа тліючого розряду в інертних та молекулярних газах. Також приємно відзначити, що розрахована залежність зведеного електричного поля E/p від добутку pR узгоджується як з експериментальними, так і теоретичними даними інших авторів.

У п'ятому розділі, зокрема, наведені результати експериментального дослідження ВЧ емнісного розряду у водні, азоті та N_2O різноманітних відстанях між електродами і тисках газів, представлена аналітична модель слабкострумової моди ВЧ емнісного розряду. Експериментальні результати підтверджуються розрахунками за допомогою коду.

Зауваження до дисертаційної роботи.

Зазначу, що дисертаційна робота виконана на високому науковому рівні і свідчить про високу фахову та кваліфікаційну підготовку здобувачки. Однак, при загальній дуже позитивній оцінці роботи, слід зробити наступні зауваження.

1. В авторефераті стартові вираження (наприклад, (3)) наводяться без посилань, може, тому що вони загальновідомі, або вони вже іменні.
2. Текст дуже добре написаний, але, тим не менш, є помилки. В авторефераті на стор. 5 в довгому англійському тексті українське слово «року».
3. Також в дисертації на стор. 2 в анотації рік подання дисертації вказано «2017».
4. На стор. 11 автореферату написано «Розрахована нами залежність ...», а в дисертації на стор. 101 написано «...розглянутому нами випадку...» та «... результати наших розрахунків ...». Якщо вже у дисертації один автор, то, може, краще б написати «Розрахована в дисертації залежність ...», «...розглянутому в дисертації випадку ...», «... результати розрахунків, зроблених в дисертації ...».
5. Оскільки для деяких використань важливим є розподіл параметрів по перетину, то добре б вимірювання провести не тільки уздовж осі, а двовимірний розподіл.

Зазначу, що наведені зауваження не впливають на достовірність наукових висновків та не знижують загальної високої оцінки роботи.

Значущість роботи для науки та практики.

Аналіз роботи та опублікованих здобувачкою зі співавторами наукових праць надає змогу зробити висновок, що дисертаційна робота Катерини Павлівни Артюшенко є **завершеним науковим дослідженням**, в якому успішно виконано поставленні задачі та отримано нові достовірні експериментальні результати, що в сукупності **вносять вагомий вклад** у розвиток фізики плазми.

Наукова значущість.

Позитивною стороною даної дисертації є те, що не тільки отримані експериментальні результати, а також їх пояснення і, виходячи з цього, побудова моделі і отримання аналітичних виразів.

Добре відомо, що найбільш важливою характеристикою позитивного стовпа є зведене електричне поле E/p (- відношення напруженості електричного поля до тиску газу). Також важливо для оцінок і для аналізу результатів мати прості аналітичні моделі для зведеного електричного поля E/p , що і отримано в дисертації.

Практична значущість результатів досліджень Катерини Павлівни визначається тим, що вони отримані з орієнтацією на важливі прикладні пристрої, зокрема, отримані данні досліджень характеристик позитивного стовпа дозволять оптимізувати лазери на базі тліючого розряду.

Запропонований механізм впливу відстані між електродами на падіння напруги на електродах і товщину катодного шару дозволить покращити джерела ультрафіолетового випромінювання, лазери м'якого рентгенівського випромінювання та інше.

Я б сказав не «Експериментально дослідити нормальний і аномальний режими тліючого розряду в різних газах і виміряти нормальну густину струму в широкому діапазоні тиску (0,05–10 Торр)», а в дуже широкому діапазоні тиску.

Зазвичай у сучасній літературі не приділяється уваги впливу відстані між електродами на характеристики катодного шару (його товщину і падіння напруги на ньому). Чомусь вважається, що катодний шар є цілком самодостатнім утворенням, що не залежить від процесів в інших частинах розряду (наприклад, негативному світінні). Якраз чудово і дуже важливо, що в дисертаційній роботі була виміряна залежність товщини катодного шару і падіння напруги на електродах від відстані між електродами при різних значеннях тиску газу та розрядного струму.

Відповідність встановленим вимогам до кандидатських дисертацій.

Дисертація Катерини Павлівни ґрунтується на **10 статтях**, опублікованих у міжнародних та вітчизняних фахових журналах та **10 матеріалах і тезах доповідей** на міжнародних і національних конференціях.

Дисертація Катерини Павлівни є завершеним дослідженням з висновками і рекомендаціями. Вона виконана на високому науковому рівні.

Автореферат є ідентичним щодо основних положень дисертації й добре відображає зміст дисертації. Автореферат та дисертація оформлені згідно з вимогами Атестаційної колегії Міністерства освіти й науки України.

Вважаю, що за обсягом проведених досліджень, їх високим науковим рівнем, новизною і практичною цінністю отриманих результатів дисертаційна робота «Фізичні процеси у приелектродних шарах і плазмі тліючого та високочастотного ємнісного розрядів» Катерини Павлівни Артюшенко **повністю відповідає всім вимогам** Порядку присудження наукових ступенів, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567, які висуваються до кандидатських дисертацій. Авторка роботи **Артюшенко Катерина Павлівна безумовно заслуговує на присудження їй наукового ступеня кандидата фізико – математичних наук за спеціальністю 01.04.08 - фізика плазми.**

Офіційний опонент,

Доктор фізико – математичних наук, професор,

провідний науковий співробітник Інституту

плазмової електроніки та нових методів

прискорення ННЦ ХФТІ

В.І.Маслов



В.І. Маслов
2018 р.