Войтенко Леонід Михайлович, молодший науковий співробітник відділу фізики плазми та плазмових техно&shy;логій Інституту ядерних досліджень НАН України: &laquo;Ре&shy;лаксаційні процеси в плазмі високовольтних імпульсних розрядів у воді&raquo; (01.04.08 - фізика плазми). Спецрада Д 26.001.31 у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка МОН України

Інститут ядерних досліджень

Національна академія наук України

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова

праця на правах рукопису

ВОЙТЕНКО ЛЕОНІД МИХАЙЛОВИЧ

УДК 533.9

ДИСЕРТАЦІЯ

РЕЛАКСАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ В ПЛАЗМІ ВИСОКОВОЛЬТНИХ

ІМПУЛЬСНИХ РОЗРЯДІВ У ВОДІ

01.04.08 – фізика плазми

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,

результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Войтенко Л.М.

Науковий керівник: ФЕДОРОВИЧ ОЛЕГ АНТОНОВИЧ

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

Київ – 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ 17

ВСТУП........................................................................................................................ 18

РОЗДІЛ 1. РЕКОМБІНАЦІЯ В ПЛАЗМІ РІЗНОЇ ЩІЛЬНОСТІ. ......................... 29

1.1. Огляд робіт по темі дисертації. Рекомбінація в ідеальній плазмі................. 29

1.2. Рекомбінація в неідеальній плазмі ................................................................... 39

1.3. Моделювання рекомбінації в щільній плазмі ................................................. 44

1.4. Експериментальні методи вивчення рекомбінації в щільній плазмі............ 50

1.5. Висновки до першого розділу........................................................................... 53

РОЗДІЛ 2. ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЩІЛЬНОЇ ПЛАЗМИ ІМПУЛЬСНОГО

РОЗРЯДУ У ВОДІ..................................................................................................... 54

2.1. Імпульсний розряд у воді ( ІРВ)........................................................................ 54

2.2. Методика реєстрації спектрів імпульсного розряду в воді ........................... 56

2.3. Методика визначення температури плазми розряду в воді........................... 59

2.4. Методика дослідження параметрів плазмового каналу ................................ 61

2.5. Дослідження зміни в часі форми і структури і канала ІРВ ........................... 66

2.6. Методика визначення зміни тиску в каналі у часі ......................................... 69

2.7. Методика визначення електронної концентрації ........................................... 70

2.8. Висновки до другого розділу ............................................................................ 73

РОЗДІЛ 3 ВИПРОМІНЮВАННЯ ІМПУЛЬСНИХ РОЗРЯДІВ У ВОДІ............. 74

3.1. Динаміка спектру випромінювання воднево-кисневої плазми ІРВ у діапазоні

спектру серії Бальмера з мінімальною кількістю домішок .................................. 75

3.2. Особливості випроміння щільної плазми імпульсних розрядів у воді......... 84

3.3. Висновки до третього розділу........................................................................... 93

16

РОЗДІЛ 4. КОЕФІЦІЄНТ РОЗПАДУ ЩІЛЬНОЇ ПЛАЗМИ ................................. 96

4.1. Введення поняття коефіцієта розпаду щільної плазми .................................. 96

4.2. Коефіцієнти розпаду неідеальної плазми імпульсних розрядів у воді при

концентраціях електронів 21020  Ne  21017 см-3 ................................................. 98

4.3. Коефіцієнти розпаду неідеальної плазми при вибуху вольфрамового

провідника у воді..................................................................................................... 107

4.4. Про розпад щільної плазми в діапазоні концентрацій електронів 1017

см3

ne1022 см-3 ........................................................................................................ 115

4.5. Вплив параметрів плазми на швидкість розпаду неідеальної плазми........ 127

4.6. Висновки до четвертого розділу..................................................................... 133

РОЗДІЛ 5. ЧАС ЖИТТЯ ЕЛЕКТРОНІВ В ЩІЛЬНІЙ ПЛАЗМІ ....................... 135

5.1. Основні параметри що описують існування плазми .................................... 135

5.1. Час життя електронів в щільній плазмі.......................................................... 136

5.2 Висновки до п’ятого розділу............................................................................ 144

ВИСНОВКИ............................................................................................................. 147

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ............................................................... 149

Додаток А СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ

ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ............................................. 161

ВИСНОВКИ

Розподілиівеличиниінтенсивностівипромінюваннящоспостерігаютьсяв

щільнійплазміприелектроннійщільності≥смнезавжди

відповідаютьтемпературііконцентраціїщільноїплазмиРізко

зменшуєтьсяінтенсивністьсуцільногоспектрузарахунокзникнення

вільнозвязанихпереходівелектроніввполяхіоніввідсутності

рекомбінаціїелектронівнацірівніЦейефектспільнозефектомвпливуна

спектрвипромінюваннязщільноїплазмиканалувідбиваннявідграниці

плазминадовжинаххвильщовідповідаютьплазмовимчастотам

призводитьдозникненнявипромінюваннязплазмовогоканалувмоменти

часувідразужзапробоємівмоментичасузмаксимальнимвкладом

енергіївплазмовийканал

ВщільнійплазмізначнозменшуєтьсяшвидкістьрекомбінаціїКореляція

моментівзбільшенняшвидкостірекомбінаціїзпоявоюліній

випромінюваннявспектрісвідчитьщорізкезменшенняшвидкості

рекомбінаціїзвязанезізникненнямрівнівнаякімоглибрекомбінували

вільніелектронивнаслідок“нереалізаціїрівнів”вмікрополяхплазмиякі

повеличиніблизькідовнутрішньоатомних

Присуттєвихдомішкахатомівметалузбільшутьсяконцентрація

електроніввплазмідосмЦедозволяєотримуватиплазмузвеликим

ступенемнеідеальностіГ

Вщільнійплазмідоцільновикористовуватикоефіцієнтрозпадузамість

коефіцієнтурекомбінаціїякийлегковизначаєтьсяекспериментальнопо

змінішвидкостірозпаду

Вщільнійплазміневиконуєтьсязалежністькоефіцієнтапотрійної

рекомбінаціївідтемпературитакзванийзаконТКоефіцієнтрозпаду

залежитьтількивідконцентраціїінезалежитьвідтемпературиплазми

Отриманаемпіричнаформуладлязалежностікоефіцієнтіврозпадувід

концентрації



Жодназіснуючихтеорійнедозволяютькоректноописатирекомбінаціюв

щільнійнеідеальнійплазмі

Встановленощокоефіцієнтрозпадуводневокисневоїплазмине

залежитьвідступенянеідеальностіплазми

Впершепоказанощозначеннякоефіцієнтіврозпадунайкращезусіх

використанихмоделейописуютьсяформуламидлякоефіцієнтів

фоторекомбінаціїалезврахуваннямтількитихрівнівякіспостерігаються

експериментальноКількістьрівнівякіспостерігаютьсяекспериментально

залежитьвідконцентраціїелектронівущільнійплазміОтжекоефіцієнти

розпадузалежатьвід