

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
**до виконання контрольних і самостійних робіт**  
**із навчальної дисципліни**

**«ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2018**

Методичні рекомендації до виконання контрольних і самостійних робіт із навчальної дисципліни «Фізичні основи джерел світла» (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Л. А. Назаренко, Г. О. Петченко, А. І. Колесник. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 32 с.

Укладачі : д-р техн. наук, проф. Л. А. Назаренко,  
д-р фіз.-мат. наук, проф. Г. О. Петченко,  
асист. А. І. Колесник

#### Рецензент

**Л. Д. Гуракова**, кандидат технічних наук, доцент кафедри світлотехніки і джерел світла Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою світлотехніки і джерел світла, протокол № 1 від 1 вересня 2017 р.*

## ЗМІСТ

Вступ .....	4
1 Загальна характеристика дисципліни .....	5
2 Рекомендації щодо організації самостійної роботи студентів під час вивчення дисципліни «Фізичні основи джерел світла» .....	7
3 Методичні рекомендації щодо вивчення дисципліни «Фізичні основи джерел світла» .....	9
Тема 1 Вступ до дисципліни .....	9
Тема 2 Закони теплового випромінювання .....	10
Тема 3 Основні положення квантової механіки .....	12
Тема 4 Зонна теорія твердих тіл .....	14
Тема 5 Електронна емісія .....	15
Тема 6 Люмінесценція .....	16
Тема 7 Газорозрядні процеси .....	18
4 Завдання для контрольних робіт студентів заочної форми навчання..	21
Список рекомендованих джерел.....	26

## ВСТУП

Рекомендації щодо збільшення обсягу знань, необхідних спеціалістам із світлотехніки, зумовлюють зростання вимог до їх підготовки. У зв'язку з цим в підготовка спеціалістів сучасного рівня підвищується значимість фундаментальних курсів, до яких відноситься курс «Фізичні основи джерел світла» (ФОДС).

Сучасні методи підготовки інженерних кадрів орієнтовані на підготовку спеціалістів, здатних самостійно працювати з літературою і приймати конкретні технічні рішення. Відповідно до цього вносяться зміни у форми й методи навчання. Лекції є настановними, визначають напрям навчання, розкривають сутність найскладніших явищ. Рекомендований список літературних джерел дає загальні рекомендації щодо вивчення розділів курсу.

Список рекомендованої літератури охоплює як основні, так і допоміжні літературні джерела, що окреслюють коло професійних кафедральних інтересів і безпосередньо стосується фундаментальних досліджень твердотільної фізики, фізики плазми і прикладної оптики і практичного застосування результатів цих досліджень у галузях, передбачених паспортом спеціальності 05.09.07 – світлотехніка та джерела світла.

Самостійність навчання тісно передбачає з систематичну роботу студентів.

## 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛІНИ

**Мета і завдання курсу:** підготовка студентів за спеціальними розділами теоретичної і експериментальної фізики, а саме: квантова механіка, фізика твердого тіла, електронна емісія, фізика газового розряду; застосування студентами одержаних знань для вивчення профільюючих дисциплін, зокрема «Джерела світла», «Світлові прилади», «Фотометрія», «Проектування, монтаж та експлуатація освітлювальних установок» та ін; підготовка студентів до самостійної роботи в галузі світлотехніки.

Під час вивчення курсу ФОДС студенти повинні мати підготовку з фізики і математики в обсязі програми технічних вузів.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен:

- знати засади математичного апарату квантової механіки, квантово-механічні, закономірності електронної емісії, явища газового розряду, фізичні принципи світлотехнічних приладів;
- уміти проводити розрахунки теплового випромінювання, використовувати принципи квантової механіки для пояснення люмінесценції, застосовувати результати теорії газового розряду для оцінки характеристик газорозрядних джерел світла;
- мати уявлення про основні проблеми й напрямки розвитку джерел світла і практичне використання фізичних явищ у світлотехнічних приладах, меже границі застосування розглянутих закономірностей.

Для засвоєння дисципліни студенту необхідно вивчити наступні теми:

Тема 1. Вступ до вивчення дисципліни.

Предмет курсу і його завдання. Коротка довідка про розвиток електричних джерел світла, їх роль в сучасній науці й техніці, значення в господарському комплексі.

Структура і зміст курсу. Роль фундаментальних фізичних знань в підготовці спеціалістів – світлотехніків. Зв'язок курсу з іншими дисциплінами навчального плану.

Тема 2. Закони теплового випромінювання.

Теплове випромінювання. Закон Кірхгофа. Закон Стефана – Больцмана. Закон зміщення Віна. Формула випромінювання Планка. Джерела світла.

Тема 3. Основні положення квантової механіки.

Корпускулярно – хвильовий дуалізм. Хвильова функція. Принцип суперпозиції. Співвідношення невизначеності. Принцип причинності у квантовій механіці. Хвильове рівняння Шредінгера. Частинка у одномірній прямокутній потенційній ямі. Частинка в трихмірній прямокутній потенційній ямі. Квантово-механічний осцилятор. Воднеподібний атом.

Тема 4. Зонна теорія твердих тіл.

Колективізація електронів у кристалі. Зонний характер енергетичного спектра електронів у кристалі. Адіабатичні й одноелектронне наближення. Наближення вільних електронів. Наближення слабкозв'язаних електронів. Модель Кроніга – Пенні. Зони Бріллюєна. Приведені зони. Ефективна маса електрона. Заповнення зон електронами і електричні властивості твердих тіл. Поняття про дірки. Домішкові рівні. Акцепторні рівні. Рівні прилипання. Глибокі домішкові рівні.

Тема 5. Електронна емісія.

Фотоелектронна емісія. Термоелектронна емісія.

Тема 6. Люмінесценція.

Кристаллофори. Фотолюмінісценція. Вихід люмінесценції. Закон Вавілова. Світловий потік фотолюмінісценції. Катодолюмінісценція люмінофора. Гасіння люмінесценції. Люмінесцентні лампи.

Тема 7. Газорозрядні процеси.

Частота іонізації і коефіцієнт Таунсенда. Ефективні перерізи. Рекомбінація зарядів. Несамостійний розряд. Перехід несамостійного розряду в самостійний. Типи газових розрядів. Тліючий розряд. Самостійний дуговий розряд. Несамостійний дуговий розряд. Плазма газового розряду. Випромінювання плазми. Іскровий розряд. Коронний розряд. Високочастотний розряд. Сірчана лампа.

## **2 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ**

Засвоєння матеріалу курсу треба починати з первинного ознайомлення з теоретичними положеннями. На цьому етапі відбувається знайомство з предметом вивчення, обсягом, змістом необхідних знань. Як правило, процес первинного ознайомлення здійснюється на лекціях. Одержана на лекціях інформація є базовою для засвоєння і поглиблення наступних знань. Пропуски лекцій призводять до непродуктивних витрат часу на наступних етапах.

Первинне засвоєння матеріалу здійснюється за допомогою самостійної, індивідуальної роботи над основними підручниками і конспектом лекції. Самостійна робота є найбільш продуктивною, оскільки одержана первинна інформація, розширена основною і допоміжною літературою, є базовою для вирішення різного кола завдань. Тут здійснюється процес переходу від свідомості до знання.

Нарощування інформації, її поглиблення при активному підключенні логіки мислення реалізується на практичних заняття і лабораторному практикумі. Контакт з викладачем на консультаціях і безпосередньо під час вказаних занять дозволяє з'ясувати, уточнити й скоректувати уявлення про одержані знання, які деталізуються відносно конкретних завдань, а також використовуються і перевіряються їх застосування.

Завершальним етапом у процесі формування знань з курсу є аналітичне обмірковування, остаточний аналіз і систематизація знань, відпрацювання професійних навиків, знайомство зі спеціальною літературою, з останніми досягненнями в окремих областях; остаточний самоконтроль знань у процесі підготовки відповідей на завдання і питання для самоперевірки і як підсумок – виконання курсової роботи.

Багаторазове повернення до вихідного матеріалу, але на більш високому рівні підготовки, спілкування з викладачем, контроль і конкретне вирішення в курсовій роботі сучасного технічного завдання сприяє одержанню глибоких знань, виробляє творчість, аналітичне мислення і створює міцні знання.

Розглянуті етапи вивчення взаємопов'язані, ігнорування хоча б одного з них заважає одержанню глибоких професійних знань.

У процесі вивчення матеріалу студент має змогу здавати його за окремими темами. При цьому використовується рейтингова система оцінювання набутих студентом знань і вмінь. Підсумкова семестрова рейтингова оцінка визначається як сума підсумкової семестрової модульної та екзаменаційної (залікової – у випадку диференційного заліку) рейтингових оцінок (в балах, за національною шкалою і за шкалою ECTS).

Студент має право не складати семестровий екзамен і отримати підсумкову рейтингову оцінку без екзамену, якщо він виконав протягом семестру всі види навчальної роботи без порушення встановлених термінів і без перескладань і отримав позитивну (за національною шкалою) підсумкову модульну рейтингову оцінку.



### **3 МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ**

#### **Тема 1 Вступ до дисципліни**

Звернути увагу на сучасний стан розвитку джерел світла, на сучасні вимоги з енергозбереження, екології. Висвітлити актуальність створення освітлювальних технологій, що забезпечують не тільки високу якість освітлення, але й збереження енергії і зменшення викидів  $\text{CO}_2$ , зважаючи на те, що в загальному бюджеті енергетичних витрат значна складова належить освітленню.

Специфічною особливістю курсу ФОДС є багатство його фізичного змісту. Він включає в себе квантову механіку, елементи атомної фізики, газовий розряд, зонну теорію, теорію теплового випромінювання, люмінесценцію.

В історичному аспекті важливо прослідити основні віхи розвитку електричних джерел світла і вклад окремих вчених від вугільної дуги Петрова до напівпровідників – світлодіодів.

В останні роки особливе значення мають роботи по створенню виробництва металогалогенних ламп, безелектродних високочастотних і надвисокочастотних ламп, світлодіодів, що відкривають нові перспективи високоякісного освітлення і ефективного використання енергії.

#### *Завдання і питання для самоперевірки*

1. Назвіть фундаментальні фізичні явища, що покладені в основу джерел світла, наприклад, лампи розжарювання, газорозрядні лампи, світлодіоду, безелектродні високочастотні лампи?
2. Назвіть імена вчених, які внесли вклад в основи розвитку джерел світла. У чому сутність цих робіт?
3. Які сучасні тенденції розвитку джерел світла, чим вони зумовлені?

## Тема 2 Закони теплового випромінювання

Необхідно розібратися у природі теплового випромінювання. Звернути увагу на відмінність теплового випромінювання від інших його видів. Важливим є поняття теплової рівноваги між випромінюванням і випромінюючим тілом.

Вивчаючи закон Кірхгофа, акцентувати увагу на таких важливих поняттях, як випромінювальна здатність, поглинальна здатність, а також на те, що даний закон відповідає основним принципам термодинаміки. Незважаючи на те, що абсолютно чорне тіло є ідеалізацією реальних випромінювачів, тим не менш воно є важливим для розуміння процесів теплообміну і випромінювання.

При вивченні закону Стефана – Больцмана відмітити, що він відкритий експериментально, а потім, виходячи з термодинамічних міркувань і з думки про існування тиску променистої енергії, пропорційному її густині, теоретично було показано, що сумарне випромінювання абсолютно чорного тіла повинне бути пропорційно четвертій степені температури.

При вивченні закону зміщення Віна необхідно уміти використовувати його при оцінці спектрального складу випромінювання залежно від температури.

Формула випромінювання Планка, крім власного уточнення законів Віна і Релея – Джінса в світоглядному плані дає зрозуміти необхідність квантово-механічних підходів при дослідженні мікрочастинок, зокрема фотонів.

Слід уміти одержати з формули Планка формули Віна, Релея – Джінса і Стефана – Больцмана.

Необхідно уміти застосовувати закони теплового випромінювання при конструювання ламп розжарювання. Відмітимо, що випромінювання металів завжди менше випромінювання абсолютно чорного тіла, але використання металів як джерел світла є більше економічним.

### *Питання для самоперевірки*

1. Чому теплове випромінювання часто називають температурним випромінюванням?
2. Що таке рівноважне випромінювання?
3. Запропонуйте конструкцію абсолютно чорного тіла
4. Чим відрізняються спектральний склад теплового випромінювання добре поглинаючих і прозорих тіл?
5. Користуючись формулою Планка, вивести закон Стефана – Больцмана.
6. Користуючись формулою Планка, вивести закон Віна.
7. Користуючись формулою Планка, вивести закон Релея – Джінса.
8. Як відноситься (більше, менше) випромінююча здатність нечорного тіла до випромінюючої здатності чорного тіла при однаковій температурі й на одній довжині хвилі?
9. Які переваги має вольфрам як нитка розжарювання ламп?
10. Порівняйте світлову віддачу АЧТ і вольфрамову при температурі 2450К.
11. При якій температурі абсолютно чорне тіло є найвигіднішим з точки зору світлової віддачі?
12. На якій довжині хвилі максимум сонячного випромінювання ( $T=5600\text{K}$ )?
13. Якій довжині хвилі відповідає максимум випромінювання абсолютного чорного тіла при кімнатній температурі ( $T=293$ )?
14. Чим відрізняється теплове випромінювання від будь-якого іншого, не збуджуваного нагріванням?
15. Що таке поглинальна здатність тіла?
16. Що таке абсолютно чорне тіло?
17. У чому полягає селективність випромінювання вольфраму?
18. Що таке спектральна випромінювальна здатність?

### **Тема 3 Основні положення квантової механіки**

Зрозуміти сутність корпускулярно-хвильового дуалізму, гіпотез де Бройля, фізичної інтерпретації дослідів Франка і Герца, Штерна і Герлаха.

Важливо знати співвідношення де Бройля для мікрочастинок.

Звернути увагу на особливості вимірювань у квантовій механіці, пов'язаний з тим, що досліджуваний об'єкт є мікроскопічною системою, а вимірювальний прилад – макроскопічною.

Слід чітко з'ясувати, що не будь-які пари фізичних величин одночасно можна вимірювати, оскільки в квантовій механіці справедливий принцип невизначеності.

Неможливість точного передбачення траєкторії частинки або зміни в часі її імпульсу після взаємодії вимагає описування частинки за допомогою хвильової функції.

Слід знати властивості хвильової функції, її фізичний сенс, особливості вимірювання у квантовій механіці, відмінність принципу суперпозиції у квантовій механіці від класичного принципу, співвідношення невизначеностей.

Зв'язок між станом частинки (або квантової системи) і характером силового поля може бути знайдений із основного рівняння квантової механіки – рівняння Шредінгера. Важливо знати хвильове і амплітудне рівняння Шредінгера, уміти провести вирішення для деяких важливих випадків, зокрема для вільної мікрочастинки, частинки в потенціальній ямі.

Розглянути рух частинки в полі центральної симетрії, вирішивши рівняння Шредінгера в полярній системі координат методом розділення змінних. Одержати сферичні хвильові функції, потім визначити власні значення моменту кількості руху частинки і його проекції. Звернути увагу на те, що ці величини квантуються. У квантуванні і полягає принцип просторового квантування.

Із вирішення рівняння для радіальної частини у випадку кулонівського поля одержати енергетичний спектр воднеподібного атома.

Необхідно знати квантові числа одноелектронного атома, які фізичні величини вони визначають, позначення різних станів електрона в атомі водню.

*Питання для самоперевірки*

1. Що таке хвилі де Бройля?
2. Написати співвідношення де Бройля.
3. Які були експерименти для доказу хвильової природи мікрочастинок?
4. У чому особливість вимірювань у квантовій механіці?
5. У чому полягає принцип Гейзенберга?
6. Який фізичний сенс хвильової функції?
7. Яким вимогам повинна відповідати хвильова функція?
8. Що описує рівняння Шредінгера, який його фізичний сенс?
9. Чому дорівнює групова швидкість хвиль де Бройля?
10. У чому головна відмінність енергетичного спектра частинки в потенційній ямі від спектра вільної частинки?
11. Яке поле називається центральносиметричним?
12. Якими квантовими числами характеризується стан електрона в атомі водню?
13. Який енергетичний спектр мікрочастинки у зв'язаному стані?
14. У чому полягає дуальність світла?
15. Що таке корпускулярно-хвильовий дуалізм?

## Тема 4 Зонна теорія твердих тіл

Знаючи сутність адіабатичного і одноелектроного наближення, можна вивчати характер енергетичного спектра електронів у кристалі, які передумови лежать в моделях сильно- і слабкозв'язаних електронів. На основі моделі Кроніга-Пенкі можна одержати дисперсійне рівняння для електрона в періодичному полі, визначити області дозволених і заборонених енергій, пояснити наявність розривів в енергетичному спектрі на границях зон Бріллюєна (використовуючи умови Вульфа-Брегга), засвоїти поняття квазіімпульсу і приведеної зони.

Необхідно знати фізичний сенс таких понять як «ефективна» маса частинки і «дірка». Характер заповнення енергетичних зон електронами визначає приналежність кристала до провідників, діелектриків або напівпровідників. Уміти пояснити властивості кристалів з погляду зонної структури. Важливо знати, що таке домішкові напівпровідники, мати уявлення про особливі стани електронів у кристалах.

### *Питання для самоперевірки*

1. Що таке колективізовані електрони?
2. У чому полягає зонний характер енергетичного спектра електронів у кристалі?
3. У чому полягає наближення дуже зв'язаних електронів?
4. У чому полягає наближення вільних електронів?
5. У чому полягає наближення слабкозв'язаних електронів?
6. Пояснити модель Кроніга – Пенні?
7. Що таке зони Бріллюєна?
8. Що таке приведені зони?
9. Що таке ефективна маса електрона?
10. Пояснити електричні властивості металів з погляду зонної теорії.
11. Пояснити електричні властивості діелектрика з погляду зонної теорії.

12. Пояснити електричні властивості напівпровідників з погляду зонної теорії.

13. Що таке дірки?

14. Що таке донорні рівні?

15. Що таке акцепторні рівні?

### **Тема 5 Електронна емісія**

Вивчення теми необхідно починати з установлення закономірностей, яким підкорюються електрони в металах і напівпровідниках. Звернути увагу, що термоелектронна емісія можлива, коли енергія електронів значно більше ферміївської. У цьому випадку функція розподілу стає максвеллівською, і ця обставина дозволяє досить просто одержати вираз для густини струму емісії. Необхідно знати фізику ефекту Шоттки і методи визначення сталих у рівнянні термоелектронної емісії (рівняння Річардсона - Дежмана).

Треба розібратися у фізичній картині впливу іонно – атомних шарів і тонких плівок сторонньої речовини на термоемісійні властивості металу.

Мати уявлення про вторинну емісію напівпровідникових катодів, аномальну вторинну емісію і вторинну емісію електронів при бомбардуванні іонами, збудженими і нейтральними атомами.

Знати закон Ейнштейна для фотоелектронної емісії. Зуміти пояснити, чому при нелінійній фотоелектронній емісії не існує строго визначеної червоної границі, а також незалежність від інтенсивності світла максимальної енергії емітованих електронів.

Вміти користуватися поняттями: квантовий вихід, спектральна чутливість, інтегральна чутливість, темновий струм.

### *Питання для самоперевірки*

1. Що таке червона границя фотоефекту?
2. Що таке автоелектронна емісія?
3. Від чого залежить енергія емітованих електронів при фотоефекті?
4. Назвіть особливості фотоелектронної емісії.
5. Що таке квантовий вихід?
6. Що таке спектральна чутливість?
7. При яких інтенсивностях світла спостерігається відхилення від закону Ейнштейна?
8. Що таке нелінійна фотоелектронна емісія?
9. Що таке темновий струм?
10. Що таке вторинна електронна емісія?
11. Як залежить струм від температури при термоелектронній емісії?
12. Чому дорівнює червона границя при нелінійній фотоелектронній емісії?

### **Тема 6 Люмінесценція**

Розрізняти різні види люмінесценції: фотолюмінісценцію, рентгенюмінісценцію, катодолюмінісценцію, радіолюмінісценцію, хімолюмінісценцію, біолюмінісценцію.

Дати визначення люмінесценції за С.В. Вавіловим і пояснити її фізичний механізм. Особливу увагу приділити рекомбінаційному свічінню.

Охарактеризувати найбільш відомі класи люмінофорів. Відмітити найбільш характерні риси фотолюмінісценції.

Дати визначення спектра збудження і спектра люмінесценції.

Сформулювати правило, яке називається законом Стокса. Вміти інтегрувати фізичний сенс закону Стокса – Ломмеля, його відмінність від закону Стокса.



Розрахувати квантовий вихід, світловий потік фотолюмінісценції. Знати закон Вавилова.

Необхідно мати уявлення про механізм катодолюмінісценції, як визначається спектр випромінювання, як одержати випромінювання люмінесценції заданої кольоровості. Розуміти явище послаблення люмінесценції внаслідок введення сторонніх речовин – гасіння.

Знати механізм роботи люмінесцентних ламп.

### *Питання для самоперевірки*

1. У чому полягає відмінність люмінесценції від інших видів випромінювання?
2. Який фізичний механізм люмінесценції?
3. Наведіть приклади люмінесценції у природі?
4. Які існують види люмінесценції за механізмом збудження?
5. Яке визначення люмінесценції за С.І. Вавіловим?
6. Що таке спонтанне свічіння люмінесценції?
7. Що таке вимушене свічіння люмінесценції?
8. Який механізм рекомбінційного свічіння люмінесценції?
9. Що впливає на спектральний склад випромінювання люмінесценції?
10. Що таке кристалофосфори?
11. Які є класи кристалофосфорів?
12. Сформулюйте закон Стокса.
13. Що таке антистоксова область?
14. У чому полягає закон Стокса-Ломмеля?
15. У чому полягає відмінність закону Стокса і закону Стокса-Ломмеля?
16. Що таке квантовий вихід?
17. Що таке енергетичний вихід люмінесценції?
18. Що таке стоксові витрати?

19. В якому спектральному інтервалі квантовий вихід зберігає постійне значення?
20. Запишіть світловий потік фотолюмінісценції.
21. Які механізми гасіння люмінесценції?
22. Який механізм роботи люмінесцентних ламп?

## **Тема 7 Газорозрядні процеси**

Необхідно мати уявлення про процес проходження електричного струму в газовому середовищі, про виникнення пробою. Звернути увагу на нелокальний характер іонізаційного процесу в постійному полі.

Слід знати фізичний сенс частоти іонізації і трьох коефіцієнтів Таунсенда. Вміти користуватися ефективними перерізами іонізації, збудження, розсіювання, транспортним перерізом. Розрізняти пружні зіткнення і непружні зіткнення першого і другого роду. Вміти дати пояснення ефекту Рамзауера. Знати механізми рекомбінації зарядів – одночасного з процесом іонізації газу видалення заряджених частинок з розряду.

Вміти пояснити вольтамперну характеристику розряду. Користуючись поняттям іонізаційного зростання, дати можливі сценарії розвитку розряду. Важливим параметром розряду є напруга запалювання, при цьому необхідно представляти залежність даного параметра від тиску газу, енергії частинок. Охарактеризувати особливості пенінгівського розряду і пояснити криві Пашена.

Дати картину фізичних процесів, що проходять у тліючому розряді, відзначити ті ділянки, що забезпечують іонізацію газу, а також роль стовпа розряду – ділянки високоіонізованого газу (плазми).

При вивченні самостійного дугового розряду звернути увагу на механізми підтримки самостійності розряду – термоелектронну і автоелектронну емісію, а також на рівень струмів і напруг, що реалізуються при даному розряді.

Важливим при розгляді несамостійного розряду є те, що після запалювання розряду напруга на розрядній трубці знижується у порівнянні з потенціалом іонізації.

При вивченні плазми важливою характеристикою є квазінейтральність і характерний масштаб, пов'язаний з нею, дебаївський радіус  $r_D$ . У середині області з розмірами порядку  $r_D$  напруженість електричного поля дуже мала, щоб привести до вирівнювання концентрації зарядів протилежного знаку, і тут на відміну від всього об'єму квазінейтральність не додержується.

Мати уявлення про найбільш важливі механізми випромінювання плазми.

Зважаючи на можливе використання у джерелах світла, знати основні характеристики іскрового, коронного і високочастотного розрядів.

Знати механізм генерації сірчаної лампи.

### *Питання для самоперевірки*

1. Що називається газовим розрядом?
2. Що таке пробій?
3. Що характеризує коефіцієнт перший ( $\alpha$ ), другий ( $\beta$ ), третій ( $\gamma$ ) Таусенда?
4. Що таке частота іонізації?
5. Що таке непружні зіткнення першого ряду
6. Що таке непружні зіткнення другого ряду?
7. Що характеризує ефективний переріз (розсіяння, передачі, імпульса).
8. Що таке прицільна відстань?
9. Що таке дебаєвський радіус?
10. Пояснити ефект Рамзауера
11. Що таке несамостійний розряд?
12. В чому полягає режим газового підсилення?
13. Що таке самостійний розряд?
14. Що таке напруга запалювання?
15. Що характеризують криві Пашена

16. Що таке пенінгівський розряд?
17. Пояснити хід вольт-амперної характеристики електричного розряду.
18. Пояснити характерні особливості тліючого розряду.
19. Пояснити характерні особливості самостійного дугового розряду.
20. Пояснити характерні особливості несамостійного дугового розряду.
21. Що таке плазма?
22. Пояснити механізм рекомбінаційного випромінювання плазми.
23. Що таке стример?
24. В чому полягає особливість коронного розряду?
25. В чому полягає особливість високочастотного розряду?

## 4 ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ СТУДЕНТАМ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ

1. Довести справедливність наступних закономірностей теплового випромінювання:

1.1) випромінювальна здатність тіл тим більше, чим більше їх поглинальна здатність в одній області спектра;

1.2) АЧТ при даній температурі випромінює кількість енергії більше, яку воно вимірює при даній температурі;

1.3) кожне тіло при температурі випромінювання краще всього поглинає ту область спектра, ніж будь-яке інше тіло;

1.4) при заданій температурі випромінювальна здатність тіла дорівнює його поглинальній здатності, або тіло, що не поглинає променисту енергію при даній температурі, не здатне його випромінювати;

1.5) тіла з високою відбивальною здатністю є поганими випромінювачами;

1.6) випромінювальна здатність усіх реальних тіл завжди менше одиниці.

2. Чи може будь-яке тіло випромінювати в будь-яких областях спектра енергію, більше ніж випромінює абсолютно чорне тіло при тій же температурі?

3. Чи можна застосовувати закон Кірхгофа до нетемпературних випромінювань? Які це види випромінювань?

4. Чому спектр випромінювання газів наближається до спектра АЧТ тільки при достатньо великих товщинах шару газу?

5. Торець скляної трубки при температурі декілька сотень градусів яскраво світиться, тоді як бокові поверхні залишаються ще прозорими. Чому?

6. Які відмінності кривих спектральної густини енергетичної світимості абсолютно чорного тіла і сірого при одній і тій же температурі?

7. Як змінюються енергетична світимість АЧТ при збільшенні його температури в 2; 5 і 10 разів? Як вона змінюється для сірих тіл?

8. При номінальній напрузі температура вольфрамової нитки розжарювання лампи 2500K. Через коливання напруги в мережі температура змінилась на  $\pm 100\text{K}$ . У скільки разів при цьому змінюється інтегральна енергетична світимість і потік випромінювання нитки розжарювання?

9. Температура вольфрамової нитки розжарювання лампи складає 2500K. Енергетична світимість її зменшилась в 3 рази. Як змінилась при цьому температура нитки розжарювання? Як би змінилась температура при цих умовах АЧТ?

10. Яка площа АЧТ з температурами 1727 і 2727 С випромінює такий же потік, як і  $1\text{m}^2$  АЧТ при температурі 27 °С?

11. Обчислити інтегральну густину потоку випромінювання вольфраму при температурі 3000K.

12. Який промінистий потік випромінює АЧТ з площі  $1\text{m}^2$ , якщо його температура на  $1^\circ$  вище температури середовища, рівного 27° С.

13. Чи співпадають максимуми функцій спектральної густини енергетичної світимості АЧТ по довжині хвилі і частоті?

14. Чому дорівнює максимальне значення спектральної густини енергетичної світимості сірого випромінювача?

15. Знайти співвідношення, тобто числовий коефіцієнт між сталою Віна і другою сталою випромінювання?

16. Розрахувати довжини хвиль, відповідаючи максимуму в розподілі спектральної густини енергетичної світимості АЧТ по довжині хвилі для різних температур від 100 до 1000 і від 1000 до 10000K. Побудувати графік залежності їх від температури і її оберненої величини  $T^{-1}$ . Відмітити на графіку теплову границю спектра і пояснити зміну кольору розжарених тіл при підвищенні їх температури.

17. Знайти кінцеву температуру АЧТ, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму його випромінювання, збільшилась на 1 мкм і в трьох випадках при цьому визначити:

1.1) початкову температуру була 2 900 K;

- 1.2) температура змінилася в 2 рази;
- 1.3) температура змінилася на 1 450 K.
18. Знайти кінцеву температуру моделі АЧТ, якщо вона зменшилася на 600 K, що одночасно зменшило її в 3 рази.
19. Номінальна температура АЧТ 1000K змінюється на  $\pm 10$  K. Наскільки при цьому змінюється довжина хвилі максимуму спектральної густини енергетичної світимості АЧТ?
20. В якій спектральній області знаходиться максимум випромінювання абсолютно чорного тіла з температурою  $0^\circ\text{C}$ ?
21. При якій температурі АЧТ максимум його випромінювання відповідає максимуму чутливості ока?
22. Максимальна спектральна густина енергетичної світимості АЧТ дорівнює  $2160\text{ Вт/см}^2\cdot\text{мкм}$ . Обчислити температуру й довжину хвилі максимуму випромінювання АЧТ.
23. Знайти робочу формулу для обчислення температури АЧТ на основі формули Віна в області стандартної довжини хвилі випромінювання в оптичній пірометрії  $0,66\text{ мкм}$ .
24. Обчислити значення спектральної густини енергетичної світимості вольфраму при температурі  $2\,000\text{ K}$  для довжин хвиль  $0,38$ ;  $0,555$ ;  $0,76$  і  $1,45\text{ мкм}$ .
25. До якої довжини хвилі АЧТ випромінює половину всієї енергії?
26. Обчислити спектральні густини енергетичної світимості АЧТ і їх відношення до границь видимої області спектра при кімнатній температурі.
27. Ефективність або ККД випромінювання можна характеризувати відношення спектральної густини енергетичної світимості АЧТ до інтегральної світимості. Знайти умови для визначення ефективної температури для якої ця характеристика випромінювання максимальна.
28. Обчислити інтегральні енергетичні світимості АЧТ при температурі  $2\,304\text{ K}$  і вольфраму при температурі  $3\,000\text{ K}$ .

29. Обчислити спектральні густини енергетичної світимості для довжини хвилі випромінювання 0,655 мкм АЧТ при температурі 2 678 К і вольфраму при температурі 3 000 К.
30. Розрахувати спектральні густини енергетичної світимості для довжини хвилі випромінювання 0,655 мкм і 0,467 мкм і їх відношення для АЧТ при температурі 3 000 К.
31. Довжина хвилі максимуму випромінювання металів визначається співвідношенням  $\lambda_m T = 2\,660$  мкм·К. Порівняти спектр випромінювання металів зі спектром випромінювання АЧТ.
32. Випромінювання металів завжди менше випромінювання АЧТ, але використання металів в якості джерела світла є більш економічним, ніж використання АЧТ. Чому?
33. Порівняти випромінювання вольфраму і АЧТ при однаковій температурі 2600К в інфрачервоній і видимій областях спектра і зробити висновки.
34. При якій температурі АЧТ має найбільший енергетичний ККД у видимій області?
35. Максимальна світлова віддача АЧТ дорівнює 93.6 лм/Вт. Чому дорівнює його максимальний світловий ККД.
36. Чому випромінювання спектрального тіла розжарювання або стрічки, зігнутої у вигляді П або V, ближче до випромінювання АЧТ, ніж випромінювання прямої нитки розжарювання?
37. Світлова віддача лампи з вольфрамовою спіраллю менше ніж у лампи з циліндричною прямою ниткою при одній і тій самій температурі. Поясніть цю особливість випромінювання спіралі.
38. Чи можна застосувати закони теплового випромінювання АЧТ до люмінесцентних джерел випромінювання?
39. Яка відмінність спектрів випромінювання газів і температурних джерел?
40. Яке штучне джерело випромінювання має спектр, близький до складу до спектру випромінювання Сонця?



41. Чи можна вважати абсолютно правильним визначення чутливості приймачів випромінювання в амперах на люмен за допомогою вольфрамових ламп розжарювання?
42. Чим зумовлені спектральні границі чутливості фотоелементів?
43. За формулою Ейнштейна для зовнішнього фотоефекта побудувати графік залежності енергії фотоелектронів від частоти падаючого випромінювання?
44. Знайти співвідношення для розрахунку довгохвильової границі чутливості фотоприймачів при підстановці в нього роботи виходу в одиницях системи СІ?
45. В якій області спектра розташована довгохвильова границя чутливості фотокатодів, для яких робота виходу дорівнює  $1,44 \cdot 10^{-19}$  Дж?
46. Знайти співвідношення між інтегральною і спектральною чутливістю приймачів?
47. Знайти співвідношення між абсолютною і спектральною чутливістю і квантовою ефективністю фотокатодів, якщо вважати, що один поглинутий квант вибиває один фотоелектрон.
48. Ширина забороненої зони основи фоторезисторів PbS, PhSe, Ge і Ge-Au відповідно дорівнює  $0,64 \cdot 10^{-19}$ ,  $0,4 \cdot 10^{-19}$ ,  $1,12 \cdot 10^{-19}$  і  $0,3 \cdot 10^{-19}$  Дж. Визначити довгохвильову границю чутливості фоторезисторів.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Фізичні основи джерел світла : навч. посіб. для студ. вищих техніч. навч. закладів / Л. А. Назаренко ; ХНАМГ . – Харків : ХНАМГ, 2009 . – 206 с.
2. Світлодіоди: фізика, технологія виготовлення, застосування: навч. посібник / В. І. Карась, Л. А. Назаренко, І. В. Карась ; ХНАМГ . – Харків : ХНАМГ, 2012. – 323 с.
3. Основи радіометрії та фотометрії: монографія / Л. А. Назаренко, В. М. Сорокін; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова – Харків.; ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2014, – 352 с.
4. Світлові прилади: навч. посіб. для студ. вищих техніч. навч. закладів / А. С. Литвиненко, О. Л. Черкашина ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2015. – 125 с.
5. Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з навчальної дисципліни «Фізичні основи джерел світла» (для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : Л. А. Назаренко, Г. О. Петченко, А. С. Литвиненко, А. І. Колесник. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 44 с.
6. Баландаева Л. Г. Эффективная методика расчета формы зеркального отражателя светильника с требуемой КСС / Л. Г. Баландаева, Г. А. Петченко, А. И. Токмань // Коммунальное хозяйство городов. – № 53. –2003. – С. 207–210.
7. Петченко Г. А. Решение обратной задачи применительно к нахождению оптимального профиля дзеркального круглосимметричного отражателя в рамках метода элементарных отображений / Г. А. Петченко, Л. Д. Гуракова, Л. Г. Баландаева, Т. А. Хихля, В. И. Степура // Світлотехніка та електроенергетика. – № 1(9). – 2007. – С. 40–44.
8. Дмитренко Т. В. Расчет световых приборов с экологически перспективными источниками света / Т. В. Дмитренко, Г. А. Петченко // Коммунальное хозяйство городов. – № 74. –2006. – С. 381–384.

9. Петченко Г. А. Апробация методики решения обратной задачи применительно к нахождению оптимальных габаритов отражателя светильника с заданным светораспределением / Г. А. Петченко, Л. Д. Гуракова, Л. Г. Баландаева, В. И. Степура // Тези допов. на XXXIV науково-техн. конференції. – Харків: ХНАМГ. – 2008. – С.40-41.

10. Г. О. Петченко. Технологія світлотехнічного виробництва / Петченко Г. О., Ляшенко О. М. // Конспект лекцій для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання спец. 7.090605 / Харків: ХНАМГ, 2009. – 157с.

11. Balandayeva L. G. Effective method for calculating the shape of specular reflector of the luminaire with the required luminous intensity distribution curve / L. G Balandayeva, G. A Petchenko, A. I Tokman // Municipal services of cities. – № 53. – 2003. – P. 207–210.

12. Литвиненко А. С. Автономна система освітлення гібридного типу / А. С. Литвиненко, О. М. Діденко, Ю. О. Васильєва, Л. Д. Гуракова, К. І. Іоффе // Світлотехніка та електроенергетика. – 2016. – № 1 (45). – С. 12 – 18.

13. Литвиненко А. С. Забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання / А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко, В. М. Балабан, Є. П. Тимофеев // Український Метрологічний журнал. – 2017. – № 2 (45). – С. 27–32.

14. Литвиненко А. С. Обзор детекторов оптического излучения со 100% квантовой эффективностью / А. С. Литвиненко, Д. Н. Татьянко, Е. П. Тимофеев // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 4 – 6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – С. 27–28.

15. Литвиненко А. С. Світильники комбінованого освітлення / А. С. Литвиненко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 4 – 6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – С. 81.

16. Литвиненко А. С. Альтернативные конструкции светодиодов / А. С. Литвиненко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод.

наук.-техн. конф., 4 – 6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – С. 82 – 83.

17. Балабан В. М. Забезпечення дозиметричного контролю лазерного випромінювання / В. М. Балабан, Є. П. Тимофеев, А. С. Литвиненко, О. М. Ляшенко // Метрологія та вимірювальна техніка : матеріали X Міжнарод. наук.-техн. конф., 5 – 7 жовтня 2016 р. / ННЦ «Інститут метрології». – Харків : ННЦ «Інститут метрології», 2016. – С. 122.

18. Діденко О. М., Васильєва Ю. О., Гуракова Л. Д., Іоффе К. І. // Світлотехніка та електроенергетика. – 2016. – № 1 (45). – С. 12 – 18.

19. Конспект лекцій по технической физике (том I. Механика, молекулярная термодинамика) для студентов высших технических заведений / К. К. Намитоков; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А.Н. Бекетова. – Харьков : ХНУГХ, 2015. – 522 с.

20. Світлотехнічні розрахунки. навч. посібник / Л. А. Назаренко, Т. В. Мажаровська, В. С. Чернець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 142 с.;

21. Конспект лекцій по технической физике (том II. Электричество и магнетизм) : учеб. пособ. для высш. техн. учеб. завед. / К. К. Намитоков ; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова . – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2017 . – 440 с.

22. Штучне зовнішнє освітлення : навчальний посібник / Л. А. Назаренко, К. І. Іоффе ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 88 с.

23. Petchenko G. A. Phonon damping of dislocations in potassium bromide crystals at different dislocation density values / G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2000. – V. 7, № 4(2). – P. 785–789.

24. Petchenko G. A. Study of ultrasound absorption by dislocations in KBr single crystals under low static stresses / G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2001. – V. 8, № 3. – P. 483–487.

25. Petchenko A. M. Dynamic damping of dislocations with phonons in KBr single crystals / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // *Functional Materials*. – 2006. – V. 13, № 3. – P. 403–405.
26. Petchenko A. M. Features of resonance absorption of longitudinal ultrasound in strained crystals KBr at temperature variations / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // *Functional Materials*. – 2007. – V. 14, № 4. – P. 475–479.
27. Petchenko A. M. Effect of crystal pre-straining on phonon damping of dislocations / A. M. Petchenko, G. A. Petchenko // *Functional Materials*. – 2008. – V. 15, № 4. – P. 481 – 486.
28. Petchenko G. A. The dislocation resonance absorption of ultrasound in KBr crystals at low temperatures / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // *Functional Materials*. – 2009.–V. 16, № 3. – P. 253–257.
29. Петченко А. М. Особенности поглощения ультразвука в кристаллах LiF при варьировании плотности дислокаций / А. М. Петченко, Г. А. Петченко // *Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер. “Фізика”*. – 2009. – Вип. 12, № 865. – С. 39–44.
30. Petchenko O. M. Phonon drag of dislocation in KCl crystals with various dislocation structure states / O. M. Petchenko, G. O. Petchenko // *Ukrainian journal of physics*. – 2010. – V. 55, № 6. – P. 716–721.
31. Petchenko G. A. The study of the dislocation resonance in LiF crystals under the influence of the low-dose X-irradiation / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // *Functional Materials*. – 2010.–V. 17, № 4. – P. 421–424.
32. Petchenko G. O. Acoustic studies of the effect of X-ray irradiation on the dynamic drag of dislocations in LiF crystals / G. O. Petchenko // *Ukrainian journal of physics*. – 2011. – V. 56, № 4. – P. 339–343.
33. Петченко Г. А. Исследование дислокационных потерь ультразвука в облученных монокристаллах LiF в интервале доз облучения 0...400 Р / Г. А. Петченко // *Вопросы атомной науки и техники*. – 2012. – № 2(78). – С. 36–39.

34. Методичні рекомендації до виконання лабораторних та контрольних робіт, самостійного вивчення курсу з навчальної дисципліни «Системи керування світлотехнічними пристроями» (для магістрів денної і заочної форм навчання спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітньо-професійної програми «Світлотехніка і джерела світла») / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад. : К. І. Суворова, А. І. Колесник. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 27 с.

35. Petchenko G. A. Dynamic damping of dislocations in the irradiated LiF crystals / G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2012. – V. 19, № 4. – P. 473–477.

36. Petchenko G. A. Research of the preliminary deformation and irradiation effect on the viscous damping of dislocation in LiF crystals / G. A. Petchenko // Functional Materials. – 2013. – V. 20, № 3. – P. 315–320.

37. Petchenko G. O. Research of the elastic wave velocity dispersion in X-ray-irradiated LiF crystals / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko // Ukrainian journal of physics. – 2013. – V. 58, № 10. – P. 974–979.

38. Петченко Г. А. Изучение природы радиационных дефектов в облученных кристаллах LiF / Г. А. Петченко // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер. “Фізика”. – 2013. – Вип. 18, № 1075. – С. 50–54.

39. Petchenko G. A. The effect of preliminary deformation and irradiation on the optical absorption in LiF crystals / G. A. Petchenko, S. S. Ovchinnikov // Problems of atomic science and technology. – 2014. – № 2(90). – P. 29–33.

40. Petchenko G. A. Dependence of electronic color center concentration on the state of irradiated LiF crystal dislocation structure / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // Problems of atomic science and technology. – 2015. – № 2(96). – P. 25–28.

41. Petchenko G. A. Influence of elastic stresses and temperature on the dislocation unpinning from the stoppers in KCl crystals / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // Functional Materials. – 2015. – № 3. – P. 293–298.

42. Petchenko G. A. Thermal activation analysis of the dislocation unpinning from stoppers in KCl crystals / G. A. Petchenko, A. M. Petchenko // Вісник ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Сер. “Фізика”. – 2015. – Вип. 23. – С. 28–31.
43. Petchenko G. Color center concentration in irradiated and deformed functional materials / G. Petchenko // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 4 – 6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – С. 30–31.
44. Petchenko G. The optical absorption in functional materials / G. Petchenko, S. Ovchinnikov // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 4 – 6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – С. 32–33.
45. Петченко Г. О. Вплив механічної обробки на оптичні характеристики функціональних матеріалів / Матеріали 13-ї Міжнародної конференції “Фізичні явища в твердих тілах” // Г. О. Петченко, О.М. Петченко – Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна (Україна). – 2017. – С. 162.
46. Petchenko G. O. Nonmonotonical deformation dependence of color center concentration in functional materials / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko, M. Ya. Rokhmanov // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – № 2 (49). – С. 22–24.
47. Petchenko G. O. The optical absorption in irradiated by X-ray and deformed functional materials / G. O. Petchenko, O. M. Petchenko, S. S. Ovchinnikov, M. Ya. Rokhmanov // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – № 2 (49). – С. 30–33.
48. Петченко Г.О. Вплив дислокаційної структури кристалів LiF на їх світлотехнічні і колориметричні характеристики / Г. О. Петченко, О. М. Петченко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – № 3 (50). – С. 25–30.
49. Колесник А. І. Методики та результати експериментальних досліджень відводу тепла від світлодіодного приладу / А. І. Колесник, Д. О. Усіченко, Л. А. Назаренко // Світлотехніка та електроенергетика. – 2017. – № 49 (2). – С. 25–29.

50. Kolesnyk A.I. The research of thermal characteristics of the LEDs / A.I. Kolesnyk, L.A. Nazarenko // Lighting engineering and power engineering. – 2016. – No. 46 (2). – P. 27-30.

51. Колесник А. І. Теплове дослідження профілю світлодіодного світильника в програмному середовищі Solidworks Simulation / А. І. Колесник, Д. О. Усиченко, Л. А. Назаренко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 4 – 6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – С. 51–53.

52. Колесник А. І. Методики та результати експериментальних досліджень відводу тепла від світлодіодного приладу / А. І. Колесник, Л. А. Назаренко // Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф., 4–6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – С. 71–72.

53. Колесник А. І. Особливості розрахунку тепловідводу для світлодіодних вуличних світильників / А. І. Колесник, Л. А. Назаренко // Метрологія та вимірювальна техніка : матеріали X Міжнарод. наук.-техн. конф., 5 – 7 жовтня 2016 р. / ННЦ «Інститут метрології». – Харків : ННЦ «Інститут метрології», 2016. – С. 116.

54. Колесник А., Усиченко Д. Результати дослідження розподілу температурних полів світильника // VI Міжнародна науково-технічна конференція Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи. – ФОП Паляниця ВА, 2018. – С. 38–38.

55. Актуальні проблеми світлотехніки : матеріали VI Міжнарод. наук.-техн. конф. в рамках форуму «LIGHT FORUM 2017», Харків, 4 – 6 жовтня 2017 р. / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2017. – 180 с.

56. Пат. 121594 Україна, Світлодіодний світильник / Литвиненко А.С. (Україна), № U 201705779 ; заявл. 02.05.17 ; опубл. 01.07.17, Бюл. № 22.



*Виробничо-практичне видання*

Методичні рекомендації  
до виконання контрольної роботи і самостійної роботи  
з навчальної дисципліни

**«ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА»**

*(для студентів денної і заочної форм навчання спеціальності  
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **НАЗАРЕНКО** Леонід Андрійович,  
**ПЕТЧЕНКО** Гліб Олександрович,  
**КОЛЕСНИК** Анастасія Ігорівна

Відповідальний за випуск *Г. О. Петченко*  
За авторською редакцією  
Комп'ютерне верстання *А. І. Колесник*

План 2017 , поз. 219 М

---

Підп. до друку 15.02.2018      Формат 60×84/16  
Друк на різнографі. Ум. друк. арк. 0,9  
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 5328 від 11.04.2017.