# ЛЕКЦІЯ 1

## ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА

Щe до встановлення природи світла були відомі наступні основні закони оптики:

1. Закон прямолінійного розповсюдження світла в оптично однорідному середовищі (тінь);
2. Закон незалежності світлових пучків (тільки в лінійній оптиці);
3. Закон відбивання світла;
4. Закон заломлення світла.

Детальніше:

Закон відбивання світла. Відбитий промінь лежить в одній площині з падаючим променем і перпендикуляром, проведеними до межі поділу в точці падіння (рис.1).

Закон заломлення світла. Падаючий та відбитий промені і перпендикуляр, проведений в точку падіння, лежать в одній площині і (рис. 2).

Принцип Ферма. (P.Fermat)

П’єр Ферма встановив принцип, згідно якого:

Коли світловий промінь рухається між будь-якими двома точками, його траєкторія буде такою, яка потребує екстремального часу (мінімального або максимального).

Виведемо за допомогою принципа Ферма закон заломлення.

Нехай світловий промінь повинен пройти від P до Q, де P знаходиться в середовищі 1, а Q – в середовищі 2. Точки P та Q знаходяться на відстанях a та b від межі поділу. Швидкість світла в середовищі 1 є а в середовищі 2 - (рис. 3).

Вивід закону відбивання з принципа Ферма. (рис. 4)

Ми знайдемо екстремальний час, якщо знайдемо, де звертається на нуль перша похідна від t по .

!

Повне відбивання світла, що виходить з води у повітря (рис. 5)

, , - критичний кут.

Всі промені, що падають на межу поділу під кутами, більшими за критичний, відбиваються. Фата-моргана! - це повне відбивання.

Параксіальна оптика (рис.6)

Нехай промінь виходить з точки , що лежить на осі поверхні, зустрічає поверхню в точці , заломлюється і перетинає вісь в точці . В трикутнику , де – центр кривизни поверхні обертання, відношення та складає

 (1)

Дійсно, , тоді, поділивши перше на друге, отримаємо (1).

В трикутнику відношення сторін та дорівнює

Дійсно

 Звідки маємо

Ми цікавимося лише тими променями, що йдуть поблизу від осі (параксіальні промені), тому



або розділивши на маємо

 - інваріант Аббе.

Інваріант Аббе можна переписати у вигляді

 - оптична сила заломлюючої поверхні.

Якщо то

Якщо то

Таким чином, фокусами є точки на осі з координатами та .

Тонка лінза (рис. 7)

Рівняння, що визначає координату зображення на оптичній осі з координати предмета, має вигляд

Якщо

 то

де

Координати фокусів:



Тобто фокуси знаходяться на однаковій відстані по обидві сторони лінзи, якщо з обох сторін лінзи є одне і те ж середовище.

ЛЕКЦІЯ 2

ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА (ПРИЛАДИ)

Лінзи (тонкі)

а) подвійно-опукла

 - оптична сила тонкої лінзи

З інваріанту Аббе

 - по обидві сторони.

 .

Таким чином, ми приходимо до відомої зі школи формули.

б) подвійно-ввігнута

 - уявні фокуси

Дзеркала

Відбиття можна розглядати як заломлення в середовищі з негативним показником заломлення.

Таким чином можна з формули

отримати формулу для сферичних дзеркал

а) ввігнуте дзеркало:

б) опукле дзеркало:

Побудова зображень виконується згідно встановленого правила, що падаючі промені, паралельні оптичній осі, збираються у фокусі фокусуючої лінзи та розсіюються у розсіюючій так, ніби вони виходять з уявного фокусу.

Тонка призма

Тонка призма будує зображення тому, що вона відхиляє промені, що падають на неї під різними кутами, на один і той же кут (всі кути, в тому числі кут при вершині призми) вважаються малими.



Телескоп

1. Телескоп Галілея. Кутове збільшення:

1. Телескоп Кеплера. Кутове збільшення:

Мікроскоп

,

- відстань найкращого зору, см – для нормального ока.

Лупа

Збільшення

.

ЛЕКЦІЯ 3

Інтерференція

Дійсно, при

Штрихова лінія – западина.

Суцільна – горб.

На малюнку між джерелами вміщено 8 півхвиль.

 - амплітуда, - початкові фази, - частоти.

Для інтенсивностей окремих хвиль маємо формули

 .

Сумарне поле

+

Ясно, що

Величина якщо і може бути відмінною від нуля тільки коли



- кут між та

Додаток може змінюватись від до тому інтенсивність результуючої хвилі

 . Якщо , то

Дослід Юнга

Вхідна щілина 0,25 мм. На відстані 1 м дві щілини по 0,1 мм на відстані 0,7 мм між ними. Далі – екран на відстані 5 м. Розрахуємо різницю ходу для променів, що потрапляють на екран в точку спостереження від двох джерел

,



Різниця фаз

Інтенсивність однакова при ,тобто вздовж прямої, // осі . Максимум інтенсивності спостерігається на прямих

 а мінімуми на прямих

Це – інтерференційні смуги.

Класичні схеми двопроменевої інтерференції: 1) Дзеркала Френеля (кут дуже малий) 2)Біпризма Френеля 3) Білінза Бійє 4)Дзеркало Ллойда.

Кільця Ньютона

Картина утворюється внаслідок інтерференції променів, відбитих від обох меж тонкого шару між лінзою та тонкою пластинкою.

Оскільки то

Різниця фаз, це (умови відбив.)

max: (n=0,1,2,…) (для )

min:

max:



 (max)

Кольори тонких плівок

(Двопроменева інтерференція при відбиванні)

Шлях променя з заломленням і відбиттям є N.(ABC)

Шлях зразу відбитого променя є

;

Для мильної плівки (мильний пухир), маємо повний зсув

.

ЛЕКЦІЯ 4

ДИФРАКЦІЯ

Принцип Гюйгенса: кожна точка, до якої доходить хвиля, є центром вторинних хвильок, а огинаюча цих хвильок дає положення хвильового фронту в наступний момент часу.

Дифракція – всі порушення хвильового фронту. Дифракція відбувається у всіх випадках, коли зміна амплітуди чи фази не однакова по всій поверхні хвильового фронту.

Френель замінив штучну гіпотезу про огинаючу вторичних хвиль положенням, згідно якому вторинні хвилі при накладанні інтерферують між собою. Світло спостерігається там, де при інтерференції вторинні хвилі підсилюють одна одну, а там де вони гасять одна одну, повинна бути темнота. Таким чином, огинаюча – це місце, куди вторинні хвилі приходять в однакових фазах. Якісно зрозуміла відсутність зворотньої хвилі: вторинні хвилі, що йдуть від хвильового джерела вперед, йдуть у вільний від хвиль простір. Вони інтерферують лише між собою. Вторинні хвилі, що йдуть назад, йдуть у просторі, де вже є збурення – пряма хвиля. При інтерференції вторинні хвилі гасять пряму хвилю, так що після проходження хвилі простір за нею залишається незбуреним.

Дифракція: а) Френеля; б) Фраунгофера.

Дифракційне зображення перешкоди – дифракція Френеля.

Дифракційне зображення джерела світла – дифракція Фраунгофера.

Метод зон Френеля

Нехай джерело світла знаходиться на великій відстані від площини LOM, тобто зліва на неї падає плоска хвиля.

Треба розрахувати освітленість в точці Q, а 0 є найближча до неї точка хвильового фронту. Розіб`ємо уявно фронт хвилі на ряд кільцевих зон, обмежених колами. Радіуси кіл вибирають так, щоб

тоді радіус визначається з при умові, що

,

Площа ї кільцевої зони

тобто вона не залежить від а значить всі зони мають однакову площу.

Розрахуємо спочатку амплітуду в точці 0, що створена однією центральною зоною. Для цього поділимо цю зону на ряд дуже малих і рівних між собою елементів поверхні за допомогою системи концентричних кіл. Амплітуди, що створені окремими елементами, будуть однаковими, а фази будуть змінюватись від 0 до





Результуюча амплітуда А буде відрізнятись множником від значення яке було б, якби всі доданки мали однакову фазу. Фаза результуючої хвилі співпадає з фазою хвилі від середньої частини зони, тобто відстає на чверть періода від фази, що приходить від внутрішнього краю зони. Таким чином, фази результуючих хвиль від послідовних зон відрізняються на півперіода.

Сумарна амплітуда

- функція напрямку величина зменшується при збільшенні кута між та

Тому

Оскільки зони компенсують одна одну, то всі вирази в дужках ( ) =0!

Таким чином, збурення, що створюється всією хвилею, дорівнює збуренню, що створили б всі елементи першої зони, якби хвилі, що вони випромінюють, прийшли б в точку спостереження в однаковій фазі, помноженій на тобто на

Результуюче збурення, що створюється плоскою хвилею без обмежень діафрагмами, є

Тому Френель взяв тобто він припустив, що вторинні хвилі випереджають на чверть періода хвилю, що вони замінюють.

Дифракція на осі від круглого отвору і екрану.

Зонна пластинка

Поставимо між точковим джерелом і точкою спостереження непрозорий екран з круглим отвором, площина якого до осі а центр розташований на цій же осі. Згідно Френелю, дія такої перешкоди зводиться до того, що екран якби усуває ту частину хвильового фронту, яку він прикриває. На відкритій же частині світлове поле не змінюється. Це наближення геометричної оптики, а тому воно виконується, якщо радіус отвору >>

Визначимо розміри і число зон Френеля, що вкладаються в отвір Нехай - діаметр отвору, а та віддалені від його центру до та .

;

Число зон знайдемо, поділивши на .

Якщо - ціле, то - діаметр, а

При м, =600 Нм мм. Інтенсивність світла можна набагато підсилити, якщо закрити усі парні, чи непарні зони Френеля. Це прикривання можна зробити поставивши в отворі так звану зонну пластинку.

Перепишемо формулу так

Надамо тепер пояснення дифракції на екрані. Розіб`ємо фронт на кільцеві зони Френеля..Знайдемо, що який би не був діаметр диска, в центрі його геометричної тіні повинна спостерігатися світла пляма (Пуассон). Араго негайно (вночі!) поставив дослід і знайшов пляму у відповідності з висновком Пуассона.

ЛЕКЦІЯ 5

ДИФРАКЦІЯ (продовження)

У багатьох оптичних приладах використовується дифракція світла на вузьких щілинах, що застосовуються у сполученні з лінзами.

Фраунгофер розглянув дифракцію плоских світлових хвиль, або дифракцію в паралельних променях. В цьому випадку джерело і точка спостереження знаходяться нескінченно далеко від перешкоди, що викликала дифракцію. Для цього достатньо поставити джерело у фокус збираючої лінзи, а дифракційну картину спостерігати у фокальній площині другої збираючої лінзи, що стоїть за перешкодою.

Дифракція Фраунгофера (зображення джерела).

Всі точки хвильової поверхні, що співпадає з площиною, коливаються в однаковій фазі. Тому інтерференція вторинних хвиль в різних напрямках буде утворюватись лише за рахунок різниці ходу окремих коливань, що виникає після проходження щілини. Лінза не створює додаткової різниці ходу, тому ця різниця виникає до лінзи.Зонами Френеля будуть смужки, паралельні краям щілин шириною (різниця ходу – катет, ширина – гіпотенуза), адже різниця ходу між двома променями, що проходять через края однієї зони Френеля, буде Число зон у щілині:

Різним кутам відповідають різні точки екрану. Коли - ціле парне, То всі зони можна розбити на пар. Тут буде темрява

 - ціле (під таким - темрява).

Коли то дія щілини еквівалентна дії однієї зони. В цьому напрямку бачимо світло

ДИФРАКЦІЙНІ ГРАТИ

Це сукупність однакових дифракційних елементів, розташованих на однаковій відстані один від одного. Будемо вважати, для спрощення, що ширина дифракційних елементів мала порівняно з відстанню між ними. Тоді можна враховувати лише взаємодію хвиль, що йдуть від різних елементів.

штрихів. Різниця ходу між променями від двох сусідніх штрихів є

Різниця фаз, це

Хвилі, що йдуть від різних елементів, знаходяться у фазі, якщо

Нехай число елементів є тоді інтенсивність суперпозиції хвиль буде

Якщо то в цьому напрямку - головні максимуми. Інтенсивність світла дорівнює нулю, якщо числівник =0, а знаменник – ні, тобто при

 а

не кратне Приблизно посередині між напрямками на два сусідні мінімуми існує один побічний максимум. Умова для нього

ГОЛОГРАФІЯ

Дифракція і інтерференція утворюють основу голографічного метода отримання зображення (відкритого Д. Габором у 1947 році). В цьому методі записується не двовимірний розподіл яскравості випромінювання, а амплітуда та фаза розсіяної світлової хвилі.

РОЗГЛЯНЕМО ГОЛОГРАМУ ТОЧКИ.

Її можна отримати за рахунок суперпозиції плоскої та сферичної хвиль. Голограма точки - це сукупність кілець радіуси яких

Це – зонна пластинка Френеля. Дійсно, подивимося на суперпозицію сферичного та плоского хвильових фронтів (Z=0).

Відстань між кільцями

Хай тепер на такі грати падає плоска хвиля і нехай - кут дифракції на му кільці

 де

При дифраговані промені перетинають вісь симетрії в точках оскільки

Дійсно,

ПОЛЯРИЗАЦІЯ СВІТЛА.

Світло, в якому напрямки коливань (напруженостей електричного і магнітного полів) якимось чином впорядковані, називають поляризованими. Світло – поперечні хвилі, тобто в них коливання відбуваються впоперек напрямку розповсюдження хвиль.. Природне світло – неполяризоване. Природний поляризатор – турмалін. Цей кристал має таку властивість, що він поглинає світло, напрямок коливань якого головній осі кристала. Він дає лінійно-поляризоване світло. Тому, якщо вирізати з нього пластинку // оптичній осі, то світло, що пройде через одну пластинку, і не пройде через другу пластинку, яка до першої (турмаліновий хрест). Інтенсивність світла, що проходить крізь дві схрещені пластинки, залежить від кута між осями, - закон Малюса. Множник є тому, що працює амплітуда а інтенсивність

Ступінь поляризації

ЛЕКЦІЯ 6

КВАНТОВА ПРИРОДА ВИПРОМІНЮВАННЯ

Теплове випромінювання

Тіла, що нагріті до достатньо високих температур, світяться. Світіння тіл, що обумовлене нагріванням, називається тепловим (температурним) випромінюванням. Теплове випромінювання, що є найпоширенішим в природі, відбувається за рахунок енергії теплового руху атомів і молекул речовини, (тобто за рахунок їх внутрішньої енергії) і притаманно всім тілам при температурі вище 00 К. Теплове випромінювання має суцільний спектр частот, положення максимума якого залежить від температури. При високих температурах випромінюються короткі (ультрафіолетові) електромагнітні хвилі, при низьких – переважно довгі (інфрачервоні).

Теплове випромінювання – практично єдиний вид випромінювання, який може бути рівноважним. Нехай нагріте тіло (що випромінює) вміщено в порожнину, обмежену оболонкою, що ідеально відбиває. З плином часу в результаті неперервного обміну енергією між полем та випромінюванням, настане рівновага, тобто тіло в одиницю часу буде поглинати стільки енергії, скільки випромінювати. Нехай з якоїсь причини рівновага між тілом і випромінюванням порушена і тіло випромінює енергії більше, аніж поглинає. В цьому випадку температура тіла почне знижуватись. В результаті буде зменшуватись кількість енергії, що випромінюється тілом, доки вже нарешті не встановиться рівновага. Всі інші види випромінювання нерівноважні.

Кількісною характеристикою теплового випромінювання є

де - енергія електромагнітного випромінювання, що емітується за одиницю часу (потужність випромінювання) з одиниці площі поверхні тіла в інтервалі частот [Дж/м2с]

Променистість можна представити і в функції довжини хвилі

Оскільки

 то

Далі ("-") не будемо писати.

Якщо знати в кожному інтервалі, можна визначити інтегральну променистість, взяв суму по всіх частках

Здатність тіл поглинати випромінювання, що на них падає, характеризується поглинальною здатністю.

яка показує, яку частку енергії, що приноситься за одиницю часу на одиницю поверхні тіла падаючими електромагнітними хвилями з частотами від до тіло поглинає.

 та - спектральні густина променистості та поглинальна здатність.

Тіло, що здатне поглинати повністю при будь-якій температурі все падаюче на нього випромінювання будь-якої частоти називається абсолютно чорним. Значить поглинальна здатність абсолютно чорного тіла для всіх частот і температур (сажа, пластикова чернь, чорний бархат близькі до а.ч.т.).

Ідеальною моделлю а.ч.т. є замкнення порожнина з невеликим отвором, внутрішня поверхня якої чорна. Промінь, що ввійшов туди багато разів відбивається від стінок і інтенсивність проміння, що виходить, практично дорівнює нулю. Досвід показує, що при розмірі отвору <0,1 діаметр порожнини, падаюче випромінювання всіх частках " повністю поглинається" (Відкриті вікна будинків – чорні з боку вулиці, хоча всередині досить освітлено.)

"Сіре" тіло, не залежить від частоти, а тільки від

Закон Кірхгофа

Кірхгоф, спираючись на другий закон термодинаміки, встановив, що

Тобто, це відношення не залежить від природи тіла і є універсальною функцією частота і температури. Для а.ч.т. і

універсальна функція Кірхгофа є спектральна густина променистості абсолютно чорного тіла.

Для сірого тіла

Закон Стефана-Больцмана та закон зміщення Віна

Й.Стефан (експеримент) в 1879 р. і Л. Больцман (теорія) в 1884 р. встановили, що

σТ4.

σ= Вт/м2К4

В. Він встановив закон зміщення:

 мК.

Але встановлення загальної картини розподілу енергії по частотах при різних температурах було ще попереду.

Формули Релея-Джінса та Планка

Релей та Джінс встановили теоретично, що

- постійна Больцмана.

Дослід показав, що формула Р-Дж узгоджується з експериментом тільки в області малих частот і великих температур. При великих частотах – різке розходження

- У.Ф. Катастрофа.

Вихід з цього був знайдений М.Планком у 1900 р.

М Планк висунув квантову гіпотезу

Атомні осцилятори випромінюють енергію не неперервно, а порціями – квантами, причому

 Дж с.

Тобто енергія осцилятора може приймати тільки певні дискретні значення.



Використовуючи статистичні методи і уявлення про квантовий характер теплового випромінювання, Планк вивів формулу

Вона блискуче узгоджується з експериментальними даними по розподілу енергії в спектрі абсолютно чорного тіла у всьому діапазоні частот.

Гіпотеза Планка отримала підтвердження і подальший розвиток при поясненні фотоефекту, відкритого Г.Герцом в 1887 р. Герц спостерігав підсилення процесу розряду при опроміненні іскрового проміжка ультрафіолетовим випромінюванням. УФ проміння вибиває з металів електрони. Нехай

- Е.Л.М. поле

Можна було б чекати, що електрон, розташований поблизу поверхні металу, залишить метал, коли амплітуда стане більше деякого критичного значення.

Експеримент:

1) порогу не знайдено. Число електронів

2) енергія електронів не залежить від

3) енергія електронів залежить від частоти. Існує порогова частота.

В 1905 р. Ейнштейн дав пояснення. Він висунув припущення, що світло поглинається квантами, кожен з яких має енергію Ейнштейн припустив, що ці кванти (фотони) ведуть себе як частинки матерії.

. Тобто для вивільнення електрона з металу квант повинен мати енергію, що перевищує роботу виходу електрона з металу. Ця величина різна для різних металів.

ЛЕКЦІЯ 7

Теорія атома водню за Бором

Велику роль у розвитку уявлень про будову атома відіграли досліди Резерфорда по розсіянню - частинок у речовині. - частинки виникають при радіоактивних перетвореннях; вони представляють собою ядра атомів гелію (заряд 2е, маса 4).

Пучки - частинок для даного перетворення мають практично одну і ту ж швидкість порядка 107 м/с. Резерфорд скористався спінтарископом, що був винайдений В.Круксом. Спінтарископ -це власне лупа, в яку розглядається екран з ZnS, на який з голки, де є залишки радію, падають - частинки. Око бачить спалахи. Дослід Резерфорда, Гейгера та Марсдена 1909 р.

Резерфорд, досліджуючи проходження - частинок через золоту фольгу товщиною ~показав, що основна їх частина відхиляється на незначні кути, але деякі з них (приблизно 1 на 20000) різко відхиляються (кут відхилення досягає 1000.

Оскільки атомні електрони не можуть значно змінити рух -частинок, то Резерфорд зробив висновки, що значне відхилення обумовлене взаємодією позитивних -частинок з позитивним зарядом, що має велику масу. Але незначна кількість таких відхилень вказує на те, що лише деякі частинки проходять поблизу даного позитивного заряду. З дослідів Резерфорда випливало, що позитивний заряд атома зосереджений в об`ємі, дуже малому порівняно з об`ємом атома. На основі своїх дослідів Резерфорд запропонував ядерну (планетарну) модель атома (1911). Нехай електрон рухається навколо атома по круговій орбіті радіуса Кулонівська сила дає а відцентрова сила

.

Є нескінченна множина значень та що задовольняють це рівняння. Тому може змінюватись неперервно, тобто спектри атомів мають бути суцільними. Але дослід показує, що атоми мають лінійчастий спектр. Крім того, модель атома Резерфорда – нестійка, тоді як атоми – це стійкі структури.

Лінійчастий спектр атома водню

Самим вивченим є спектр атомарного водню. Швейцарець І.Бальмер підібрав емпіричну формулу, яка описувала всі відомі тоді лінії у видимій області спектру,

м-1 – постійна Рідберга. Оскільки то



 c-1

Це - формула Бальмера.

Потім була знайдена в УФ області спектру серія Лаймана:

В інфрачервоній області: серія Пашена:

серія Брекетта:

серія Пфунда:

серія Хемфрі:

Всі серії можна зібрати в узагальнену формулу Бальмера:

 а починається з для кожної серії.

Постулати Бора

Перша спроба побудови квантової теорії атома належить Бору (1913)

1) постулат стаціонарних станів:

Електрон, що рухається по стаціонарним орбітам, не випромінює і має квантовані значення моменту імпульсу

2) правило частот: при переході з одної стаціонарної орбіти на іншу випромінюється (або поглинається) квант з енергією

 -

визначає лінії частот спектра атома.

Дослід Франка і Герца

Д.Франк і Е.Герц (1913) експериментально довели дискретність значень енергій атомів.

Вакуумна трубка, заповнена парою ртуті ( Па) мала катод дві сітки та та анод Електрони, що емітувались катодом, прискорювались різницею потенціалів, що прикладалась між та Між та прикладався невеликий потенціал затримки (0,5 V). Електрони з області 1 потрапляють в область 2, де вони стикаються з атомами ртуті. Ті електрони, що після зіткнень мають достатню енергію, щоб подала ти потенціал затримки, потрапляють на анод.

При непружних зіткненнях електронів з атомами ртуті останні можуть збуджуватись. Якщо в атомах є рівні, (тобто атом бере енергію порціями), то електрон повинен втрачати енергію дискретно. При збільшенні прискорюючого потенціала до 4,86 V струм на аноді зростає, а потім різно спадає, даючи максимуми при і

Спектр атома водню за Бором

Візьмемо разом з

,

 - радіус першої боровської орбіти.

 м.

Це відповідає розрахункам з кінетичної теорії газів.

Повна енергія електрона:

Кінетична потенціальна в полі ядра

- водень

 -

це співпало з експериментальним значенням

Але вже атом гелію теорія Бора не змогла пояснити!

ЛЕКЦІЯ 8

Елементи хвильової механики

Світло, що переносить енергію повинно мати імпульс, Значить і світловий квант з енергією повинен мати імпульс , але для світла Таким чином,

Якщо є імпульс, то є і розсіяння. При зіткненнні фотона з електроном спостерігається зміна імпульсу, а значить і довжини хвилі. А. Комптон в 1923 р. використав рентгенівське проміння і знайшов, що у розсіяних фотонів довжина хвилі збільшується.

В 1924 р. Луи де Бройль висловив думку, що співвідношення

 і

справедливі не тільки для фотонів, а взагалі для всіх елементарних частинок. Він сказав, що пучок частинок будь-якого сорту буде створювати на підходящій подвійній щілині інтерференційну картину, характерну для досліду Юнга на світлі. Через три роки у 1927 році Девіссон і Джермер в США та Томсон у Великій Британії підтвердили це припущення. Тим часом дисертацію де Бройля вивчали в двох центрах – у Абердіні (цим займався Д.П. Томсон експериментатор) і у Цюріху – там працював теоретик Е. Шредінгер і запропонував своє знамените рівняння.

До рівняння Шредінгера можна було прийти на грунті оптико-механічної аналогії.

Для руху в електричному полі згідно уявлень про частинки маємо

Для відповідної хвилі згідно де-Бройлю

Нехай маємо плоску хвилю

Якому рівнянню має підкорятись щоб виконувалось попереднє співвідношення для імпульсу та енергії? Найпростіше це

При постійній енергії

Шредінгер вже раніше розмірковував про аналогію, яку знайшов ще У. Гамільтон між механікою матеріальної точки в силовому полі і геометричною оптикою в неоднорідному середовищі.

Шредінгер, стимульований де Бройлем, розповсюдив цю аналогію на хвилі речовини.

Він розглядав це рівняння як основу хвильової механіки однієї частинки.

Розглянемо частинку, що рухається вздовж осі і має довжину хвилі точно Хвильове число Чи можна взяти в якості хвильової функції Макс Борн дав надійне фізичне трактування в 1926 р. Він сказав, що - це розподіл ймовірностей. При тобто в будь-який момент часу на осі знайшлась би точка, де частинку було б неможливо знайти, тоді як в дійсності її можна з рівною ймовірністю знайти в будь-якій точці на осі. Тому треба брати і Якщо імпульс частинки має певне значення, ми не знаємо, де знаходиться частинка, і навпаки. Гайзенберг встановив, що тут має місце співвідношення невизначеностей

.

Розглянемо частинку, рух якої обмежено двомі стінками, що повністю її відбивають і розташовані на відстані Складаються дві хвилі, які розповсюджуються в протилежних напрямках

(-) вибрано, щоб при

Або

Нехай , при також має бути

,

 - ціле.

Ми бачимо, що дозволені лише такі що задовольняють умові

(Ціле число півхвиль на де співпадає з умовою виникнення хвиль на струні.

Відповідні значення імпульсу частинки

Енергії

 - енергія основного стану.

Масштаб енергій м (атом) Дж) eV.

В 1927 р. Девіссон і Джермер отримали чіткі інтерференційні максимуми при відбиванні електронів від монокристалів нікелю. В тому ж році Дж.П. Томсон надійно підтвердив і перевірив співвідношення у випадку проходження електронів через тонку металеву фольгу. В 1929 р. О. Штерн отримав свідчення про інтерференцію для окремих пучків гелію на кристалах кам`яної солі, а Остерман і О. Штерн (1929) для гелію та молекул водню на кристалах

Проходження крізь потенціальний бар`єр

Різниця в поведінці класичної і квантової частинок проявляється у тих випадках, коли на шляху частинки трапляється потенціальний бар`єр. Будемо вважати, що частинка рухається вздовж осі Нехай є потенціальний бар`єр.

Класична частинка.

Якщо повна енергія то частинка відіб`ється від бар`єру і полетить в зворотньому напрямку з тією ж енергією, що вона мала спочатку. При частинка пройде над бар`єром, втративши лише частину своєї енергії.

Квантова частинка

Така частинка з заходить вглиб бар`єру і лише потім повертає в зворотний бік. Під глибиною проникнення розуміють на якій ймовірність знайти частинку зменшується в разів.

У випадку, коли квантова частинка не обов`язково потрапляє в область і рухається в початковому напрямку. Існує ймовірність того, що частинка відіб`ється від бар`єру і полетить в зворотному напрямі. Ця ймовірність є

Для випадку

Якщо то Якщо ж бар`єр скінченної ширини, то ситуація ще цікавіша.

Класична частинка

Вона відбивається при так само.

Квантова частинка

Вона може опинитися за бар`єром навіть при і відбитись від бар`єра при .Коефіцієнт проходження (ймовірність):

Це тунельний ефект. Тунельний ефект дозволив правильно описати альфа-розпад, автоелектронну емісію, тунельний діод та ін.. Бар`єр, що утримує електрон в металі, перетворюється в бар`єр скінченної ширини при створенні поблизу металу сильного електричного поля.

Для атом водню

Значення для і співпадають з результатами з боровської теорії.

ЛЕКЦІЯ 9

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ЕЛЕМЕНТІВ

Принцип Паулі відіграє фундаментальну роль при інтерпретації періодичної таблиці Менделєєва. Якщо б цього принципа не було, то збільшення числа позитивних зарядів призводило б лише до того, що кожний новий електрон намагався потрапити в найнижчий стан (1S). В атомі, ядро якого має N позитивних зарядів, стан кожного з N електронів був би еквівалентним 1S стану одного електрона. Такі атоми мали б зовсім інші хімічні властивості, аніж реально існуючі атоми, причому б було важко чекати, що властивості атомів можуть раптово змінюватись при переході від одного атома до іншого (перехід через інертний газ!).

Намагаючись пояснити періодичну таблицю, Бор ще до появи принципа Паулі та введення рівняння Шредінгера висунув припущення, що на основному рівні можуть знаходитись лише 2 електрони, на другому 8. Згідно теорії Бора (1922), в основі системі лежить не атомна маса, а заряд ядра (ван ден Брек). Див. Стр. 8 щодо квантових чисел.

Якщо - елементарний заряд, то - порядковий номер елемента ( - заряд ядра). Властивості елемента залежать перш за все від числа електронів в електронній оболонці та від її будови. Хімічні властивості елемента визначаються зовнішніми електронами.

Періодичне повторення властивостей хімічних елементів є зовнішнім проявом внутрішньої структури електронних оболонок атомів.

Сукупність електронів атома з заданим значенням головного квантового числа утворює електронний шар або просто шар.

Сукупність електронів з заданими та утворює оболонку. Різні стани в оболонці відрізняються значеннями квантового числа Оскільки то в оболонці з фіксованим може бути не більше за електронів.

 - означає, що в стані з

 є 2 електрони, в стані з

 також 2, в стані з

 шість електронів (структура неону).

Максимальне число електронів в шарі з заданим є сума по оболонкам

Повністю заповнені оболонки позначаються символами

 .

Здавалося б, що шари повинні заповнюватись послідовно один за другим, а в межах кожного шару спочатку заповнюється цілком -оболонка, потім також цілком і т. далі.

В дійсності шари та оболонки заповнюються ось як:

Шар складається лише з одної оболонки (). У водні на цій оболонці (тобто в стані ) є лише один електрон. В атомі гелію до нього приєднується другий електрон в тому ж стані Середня енергія зв`язку одного електрона в атомі гелію приблизно в два рази більше, аніж середня енергія зв`язку електрона в атомі водню. Це пояснюється тим, що заряд ядра гелію вдвічі більший за заряд ядра водню, в електрон в нормальному стані гелію знаходиться на меншій відстані від ядра, аніж у атомі водню. Наявність другого електрона зменшує енергію зв`язку першого. Два елемента – водень та гелій – утворюють перший період періодичної системи.

Приєднаємо тепер до атома третій електрон, одночасно збільшивши на одиницю заряд ядра. Третій електрон не може знаходитись в шарі оскільки цей шар вже цілком заповнений . Він починає заповнювати оболонку шару потрапляючи в стан Маємо лужний метал Четвертий електрон також потрапляє в стан - маємо берилій П`ятий електрон вже не можна приєднати до оболонки оскільки вона заповнена цілком. Тому з бора починає заповнюватись оболонка. В результаті маємо Побудова завершується неоном Так утворюється другий (короткий) період, що складається з 8 елементів. Потім починаючи з лужного йде заповнення шару Але після заповнення та оболонок воно завершується (аргоном). Маємо третій (знов короткий) період також з 8 елементів. З цього місця починаються порушення в "ідеальному" порядку заповнення шарів та оболонок. А саме, спочатку заповнюється оболонка і вже потім починається заповнення пропущеної оболонки, та й то з різними нерегулярностями. Тому зовнішні електрони наступних елементів калію та кальцію, знаходяться у стані і властивості цих елементів нагадують властивості натрію та магнію, зовнішні електрони яких знаходяться стані. Далі заповнюються рівні Відповідні елементи мають ту особливість, що при їх іонізації вибиваються не електрони, а електрони. Тому потенціали іонізації цих і перехідних елементів (тобто таких, у яких відбувається заповнення оболонок) приблизно однакові а хімічні властивості дуже схожі між собою. Цих перехідних елементів всього 10.

Після цинку, останнього з перехідних елементів, що відповідають заповненню оболонки, йдуть елементи, в яких заповнюється оболонки і які завершуються криптоном, у якого 36 електронів (два , два , шість , два , шість , та В періодичній системі є ще коло 70 елементів. За деякими виключеннями порядок заповнення такий:

Це заповнення можна зобразити у вигляді діаграми. Таким чином, якісно пояснюються основні властивості періодичної системи елементів.

Основне припущення полягає в тому, що сила, що діє на окремий електрон (з боку ядра та решти електронів) вважається сферично симетричною. В результаті характер впровадження рівнів є наслідком сферичної симетрії.

Походження позначень

 (sharp) – різка побічна серія,

 (principal) – головна серія,

d (diffuse) – дифузна побічна серія,

 (fundamental) – фундаментальні серії,

 - це вже просто літери послідовно з алфавіту.

Це – вигляд хвильової функції, що є розв’язком рівняння Шредінгера для атома водню.

Квантові числа

 - головне , - орбітальне ,

 - магнітне (),

 - магнітне спінове ().

