

Лабораторна робота ФПЕ-06

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНА З МЕТАЛУ

Мета роботи – побудувати і вивчити вольт-амперну характеристику діода; дослідити залежність густини струму насичення термоемісії від температури катода і визначити роботу виходу електрону з вольфраму методом прямих Річардсона.

Прилади та обладнання досліду (рис. 1.1): Дж – джерело живлення; ФПЭ-06 – касета ФПЭ-06/05; РА, РV – амперметр і вольтметр.

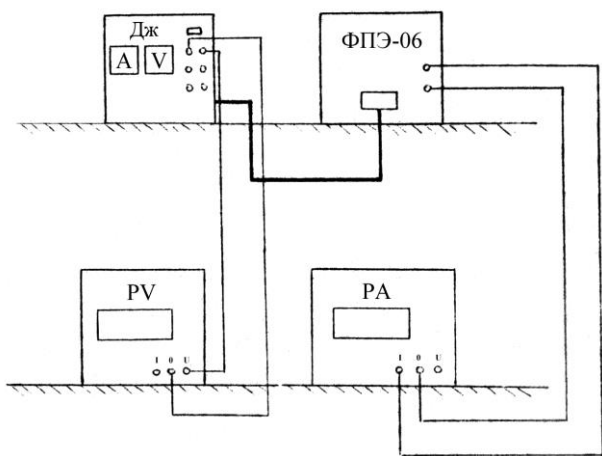


Рис 1.1. Загальна схема досліду

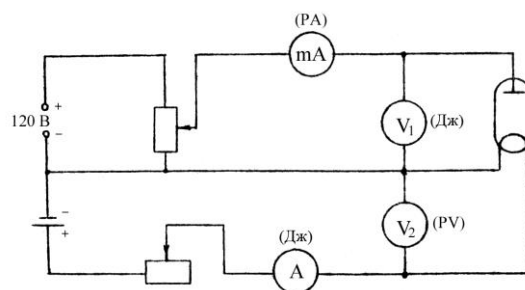


Рис 1.2 Електрична схема досліду

У якості діода в роботі використовується радіолампа з вольфрамовим катодом прямого розжарення.

Катод підігрівається сталим струмом. Потужність, що витрачається на розігрів катода, визначається за показами амперметра і вольтметра кола розжарення.

Теоретичні відомості

Властивості металів значною мірою визначаються станом електронів провідності, тобто електронів, здатних переміщуватись у металі під дією незначних напруженостей електричного поля.

Розподіл енергії електрона для обмеженого металу зображено на енергетичній діаграмі (рис. 1.3). За нульовий рівень прийнято енергію вільного електрону поза металом з нульовою кінетичною енергією.

Енергетичні рівні електронів позначені тонкими суцільними горизонтальними лініями, що заповнюють інтервал енергій від дна потенціальної ями W_0 до енергії E_F – це рівень енергії Фермі (максимальна кінетична енергія, яку може мати електрон при $T = 0 K$).

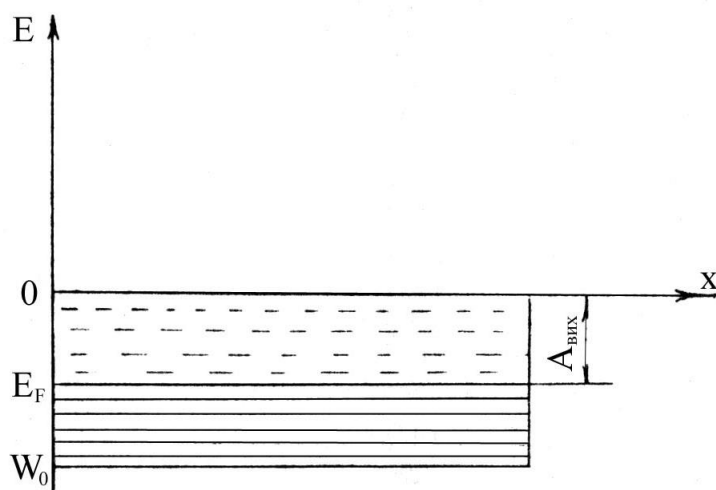


Рис. 1.3. Розподіл енергії електронів у металах

Для виходу за межі металу електронам, що знаходяться в потенціальній ямі на різних рівнях енергії необхідно надати різну енергію. Мінімальна кінетична енергія, необхідна для видалення електрону з металу, називається роботою виходу електрона з металу у вакуум при $T = 0\text{ K}$.

$$A_{\text{вих}} = W_0 - E_F$$

При температурі T електрони знаходяться у тепловому русі, тому до їх енергії Фермі додається ще деяка теплова енергія.

Робота виходу значною мірою залежить від стану поверхні металу. Рівень енергії Фермі при нагріві металу аж до розплавлення практично не змінюється, але при цьому виникає деяке число (невеликий відсоток) швидких електронів, які здатні виконати роботу виходу і таким чином вийти з металу.

Розглянемо природу сил, що перешкоджають виходу електрона з металу, створюючи на шляху виходу певний потенціальний бар'єр. Окремі електрони провідності, рухаючись всередині металу з великими швидкостями, можуть перетинати поверхню металу і віддалятися на малі відстані. При виході електрона з нейтрального провідника останній заряджається позитивно. Кулонівські сили взаємодії цих зарядів намагаються повернути електрон у метал. Тому метал буде огорнутий електронною хмарою. Безпосередньо під поверхнею металу виникає позитивно заряджений шар (рис.1.4). Цей шар і електронна хмара утворюють своєрідний конденсатор з різницею потенціалів U . Електрон, що виходить з металу, повинен виконати роботу $A = eU$. Взаємодія електронів з іонами всередині провідника і в межах подвійного шару протидіє виходу електронів з металу.

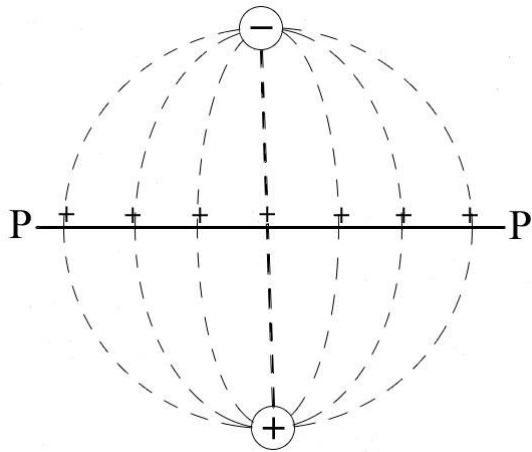


Рис.1.4.Дзеркальне відображення електрона у площині PP

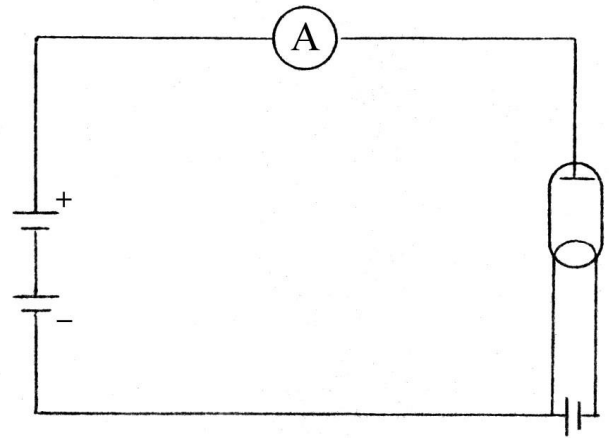


Рис.1.5. Схема під'єднання діоду

Електрон, який вилітає за межі металу, індукує на його поверхні позитивний заряд. Внаслідок цього між електроном і металом виникає сила притягання, величину якої можна знайти за допомогою методу дзеркальних зображень. Дія розподіленого по поверхні провідника індукованого заряду еквівалентна дії рівного за величиною додатного заряду, що є дзеркальним відображенням електрона у площині PP (рис.1.4).

Ці фізичні процеси і визначають роботу виходу $A_{вих}$.

При кімнатній температурі практично усі вільні електрони «зачинені» в межах провідника і в наявності лише невелика кількість електронів, енергія яких виявляється достатньою, щоб подолати потенціальний бар'єр і вийти з металу.

Однак електронам можна надати різними способами додаткову енергію. У цьому випадку частина електронів металу отримує можливість покинути метал, тобто матиме місце випромінювання електронів, так звана електронна емісія.

В залежності від того, у який спосіб надавати електронам енергію розрізняють типи електронної емісії. Якщо електрони отримують енергію за рахунок теплової енергії тіла при підвищенні його температури, говорять про термоелектронну емісію. Якщо енергія підводиться світлом, має місце явище фотоемісії. Якщо енергія надається електронам при бомбардуванні ззовні якимись іншими частинками, спостерігають вторинну емісію.

Для спостереження термоелектронної емісії можна використати вакуумну лампу, що містить два електроди: катод, що розжарюється струмом, і холодний електрод, що збирає термоелектрони – анод. Такі лампи називаються вакуумними діодами. На рис.1.5 зображено схему під'єднання такого діоду. Струм у цьому колі з'являється лише у тому випадку, коли додатній полюс батареї під'єднано до анода, а від'ємний – до катода. Це підтверджує, що катод випромінює від'ємні частинки – електрони. Сила термоелектронного струму у діоді залежить від потенціалу анода відносно катода. Крива, що зображає залежність сили струму у діоді від анодної напруги, називається вольт-амперною характеристикою. На рис.1.6 показані вольт-амперні характеристики

діода при різних температурах катода. Коли потенціал анода дорівнює нулю, сила струму мала, вона визначається лише самими швидкими електронами, які здатні досягти анода. При збільшенні додатного потенціалу анода сила струму зростає. При досягненні насичення сила струму практично стає незалежною від анодної напруги.

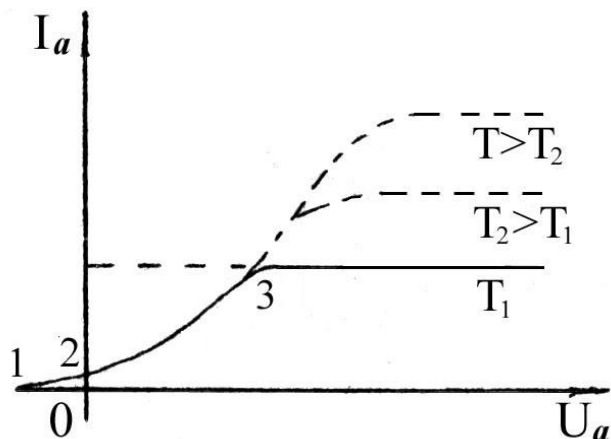


Рис.1.6. Вольт-амперні характеристики діода при різних температурах

При збільшенні температури катода зростає і значення струму, при якому досягається насичення. Одночасно збільшується і та анодна напруга, при якій струм досягає насичення.

Таким чином, вольт – амперна характеристика діода виявляється нелінійною, тобто не виконується закон Ома. Це пояснюється тим, що при термоелектронній емісії біля поверхні катода утворюється достатньо велика густина електронів. Вони утворюють об'ємний від'ємний заряд, і електрони, що вилітають з малими швидкостями, не можуть його проскочити. Зі збільшенням анодної напруги концентрація електронів у хмарі просторового заряду зменшується. Тому і гальмуюча дія просторового заряду знижується, а анодний струм зростає зі збільшенням анодної напруги нелінійно.

Теоретично залежність анодного струму від анодної напруги на ділянці 2-3 була отримана Ленгмюром і Богуславським, вона називається ще “законом трьох других”:

$$I_a = A \cdot U_0^{3/2}. \quad (1.1)$$

Зростання анодної напруги призводить до того, що все більша частина електронів, які вилітають з катода, досягають анода. При певному значенні U_a усі електрони, що вилетіли з катода за одиницю часу, досягають анода. Подальше зростання анодної напруги не може збільшити силу анодного струму, оскільки досягається насичення. Максимальний термоелектронний струм, можливий при даній температурі катода, називається струмом насичення.

При підвищенні температури збільшується швидкість хаотичного руху електрону в у металі. При цьому число електронів, здатних покинути метал, стрімко зростає. Густина струму насичення $j_{\text{нас}}$ – сила струму на одиницю поверхні катода - вираховується за формулою Річардсона-Дешмена

$$j_{\text{нас}} = B T^2 e^{-A_{\text{вих}}/kT}, \quad (1.2)$$

де B – емісійна стала, різна для різних металів (для вольфраму $B = 60,2 \cdot 10^4 \text{ A}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$); k – стала Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$.

Густина струму насичення характеризує емісійну здатність катода, яка залежить від його природи і температури.

Методика експерименту

Вимірюючи у досліді залежність струму насичення від температури, можна визначити роботу виходу для даного металу.

У даному випадку для визначення роботи виходу використовується метод прямих Річардсона.

Пояснимо ідею методу.

Для цього прологарифмуємо рівняння (1.2):

$$\ln \frac{j_{\text{нас}}}{T^2} = \ln B - \frac{A_{\text{вих}}}{k} \frac{1}{T}. \quad (1.3)$$

У такому вигляді рівняння є зручним для експериментальної перевірки. Графік залежності $\ln \frac{j_{\text{нас}}}{T^2}$ від $\frac{1}{T}$ – це пряма лінія з кутовим коефіцієнтом $\frac{A_{\text{вих}}}{k}$. Визначивши тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис, знайдемо роботу виходу

$$A_{\text{вих}} = k \tan \alpha \quad (1.4)$$

Для побудови графіка необхідно знати густину анодного струму насичення і температуру катода. Температура визначається таким чином. Підводимо до катода потужність, що витрачається у вакуумній лампі в основному на теплове випромінювання. Для вольфраму була експериментально визначена залежність температури катода від джоулевої потужності, що витрачається на його розігрів. На графіку (рис 1.7) показана залежність температури катода від потужності розігріву. За цим графіком, знаючи потужність, що підводиться до катода, можна визначити його температуру.

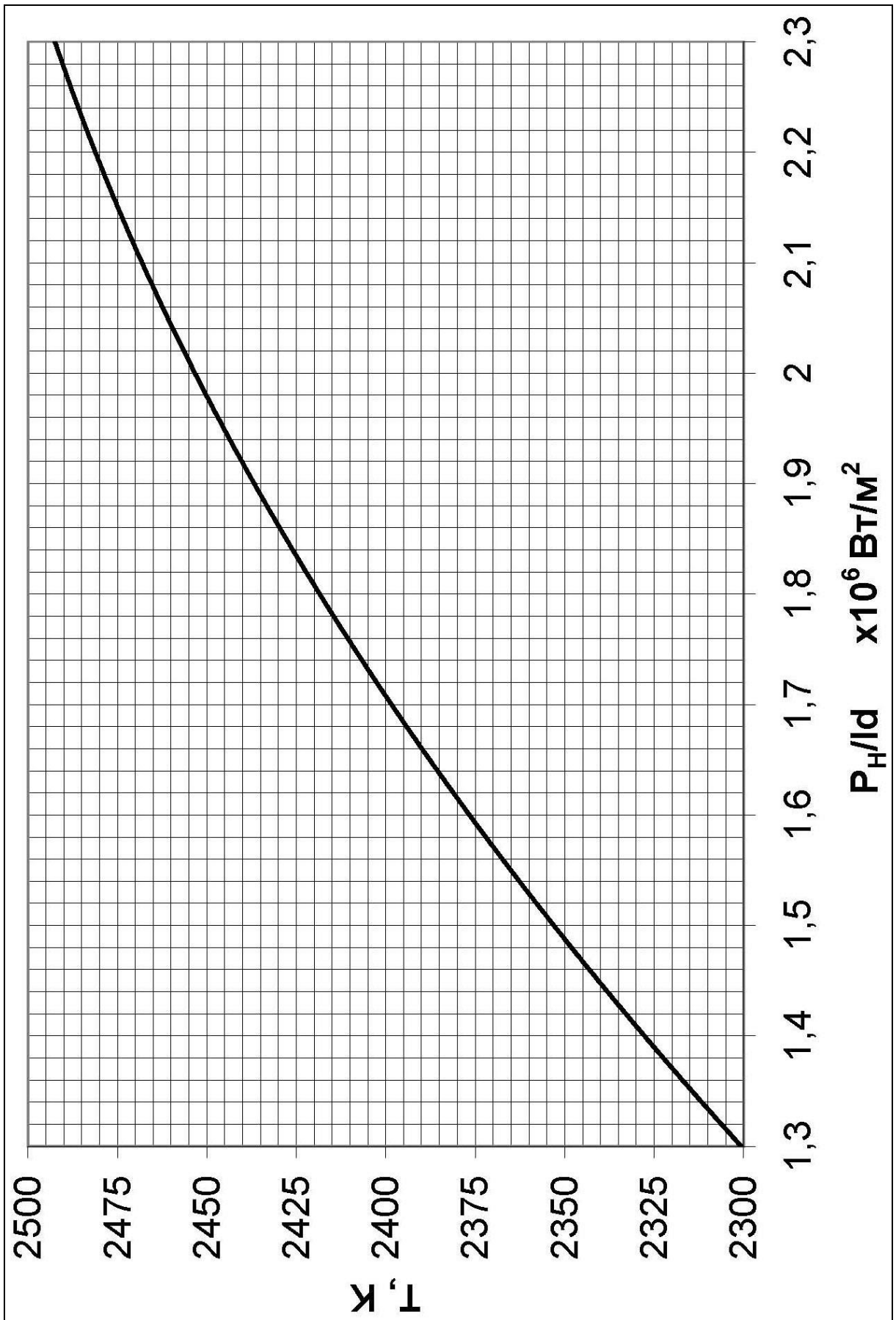


Рис.1.7. Залежність температури катоду від потужності його розігріву

Порядок виконання роботи

1. Підімкнути касету ФПЕ-06 під'єднувальним кабелем до джерела живлення. Амперметр на панелі джерела живлення служить для контролю струму розжарення. Максимальне значення струму не повинно перевищувати 2,2 А. Плавне регулювання напруги розжарення здійснюється через регулятор, що знаходиться під амперметром. Напруга розжарення U_p вимірюється вольтметром V_2 , який під'єднується до тих клем на панелі джерела живлення, на яких вказана напруга 2,5...4,5 В. Вольтметр на панелі джерела струму вимірює анодну напругу, яка регулюється за допомогою ручки регулятора, що знаходяться безпосередньо під вольтметром.

2. Для вимірювання анодного струму використовується амперметр РА, який підімкнуто до клем mA касети ФПЕ-06. Амперметр повинен працювати в режимі міліамперметра, вимірюючи струм до 20 мА.

3. Установити напругу розжарення 3,5 В і, збільшуючи анодну напругу U_a з кроком 10 В, щоразу фіксувати значення анодного струму I_a , тобто зняти вольт-амперну характеристику (ВАХ). Вимірювання анодного струму і анодної напруги проводити доти, доки не буде досягнуто насичення струму, тобто коли анодний струм припинить практично рости. Значення анодного струму і анодної напруги занести до табл. 1.1.

4. Проробити виміри за п.2 для п'яти значень напруги розжарення U_p в інтервалі від 3,5 до 4,5 В.

5. Для кожного значення напруги розжарення U_p побудувати ВАХ і визначити струм насичення $I_{нас}$.

6. Для усіх значень U_p за даними табл. 1.1 розрахувати потужність P_p , що виділяється на катоді

$$P_p = I_p \cdot U_p,$$

а також потужність, що приходить на одиницю площі катода $P_p/l \cdot d$. Тут I_p – сила струму у колі розжарення катода, $l = 32$ мм, $d = 0,11$ мм.

7. За графіком (рис.1.7) визначити температуру катода.

8. Розрахувати густину анодного струму насичення $j_{нас} = I_{нас} / S$ (S для даної лампи дорівнює $11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$) і відношення $\frac{j_{нас}}{T^2}$.

9. Усі отримані дані занести до таблиці 1.2.

10. На міліметровому папері побудувати графік залежності $\ln \frac{j_{нас}}{T^2}$ від $\frac{1}{T}$.

11. Визначити роботу виходу електрона з вольфраму за формулою (1.4).

12. Визначити емісійну сталу B , логарифм якої дорівнює ординаті точки перетину графіка з віссю ординат (див. (1.3)).

13. Розрахувати похибку виміру за вказівкою викладача.

Таблиця 1.1

№	U_P, B	I_P, A	U_a, B														
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120			
			I_a, mA														
1																	
2																	
3																	
4																	

Таблиця 1.2

№	U_P, B	I_P, A	P_P, Bm	$P_P/l_d, Bm/m^2$	T, K	$1/T, K^{-1}$	$I_{нас}, mA$	$j_{нас}, A/m^2$	$j_{нас}/T^2, A/(m^2K^2)$	$\ln(j_{нас}/T^2)$
1										
2										
3										
4										

Контрольні запитання

1. У чому полягає суть явища електронної та термоелектронної емісії?
2. Що називається роботою виходу електрона?
3. Розкажіть про природу сил, що утримують електрон у металі.
4. Який вигляд має вольт-амперна характеристика діода?
5. Що таке струм насичення і як він залежить від температури?
6. Поясніть фізичну природу «закону трьох других».
7. Які фізичні параметри визначаються експериментально у даній роботі?
8. Що впливає на похибку вимірювань у даній роботі і як її можна зменшити?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. В 3 т. Т.2 Електрика і магнетизм. К.: Техніка, 2001 р.- 475 с.
2. Савельев І.В. Курс общей фізики. - Т.2, гл.9. – М.: Наука, 1979 р.- 304с.
3. Сивухин Д.В. Общій курс фізики. Т. 2.– М.: Наука, 1977р. – 450 с.