Київський національний університет імен Тараса Шевченка

Фізичний факультет

Кафедра загальної фізики

**Звіт**

**про асистентську практику**

**студента ІI курсу магістратури**

**Пристай-Фєнєнкова Ореста Віталійовича**

**Керівник практики**

**кандидат фіз.-мат. наук, доцент**

**Оліх Олег Ярославович**

**кафедра загальної фізики**

Київ-2015

**Програма проходження асистентської практики**

студента 2 курсу магістратури Пристай-Фєнєнкова Ореста

|  |  |
| --- | --- |
| 01.09.2015 –  14.09.2015 | Відвідування семінарських занять з курсу електрики і магнетизму, фізичний факультет, 2-й курс. |
| 15.09.2015 –  28.09.2015 | Відвідування лекцій з курсу електрики і магнетизму для студентів фізичного факультету, 2-й курс, викл. Боровий М.О. |
| 29.09.2015 –  12.10.2015 | Підготовка до проведення семінарських занять з курсу „ Електрика і магнетизм” та їх проведення для студентів 2-го курсу фізичного факультету |
| 13.10.2015 –  27.10.2015 | Відвідування лабораторних робіт з курсу „Механіка. Молекулярна фізика” для студентів 1-го курсу хімічного факультету та підготовка до їх проведення |
| 28.10.2015 –  30.11.2015 | Проведення лабораторних робіт з курсу „ Механіка. Молекулярна фізика ” для студентів 1-го курсу хімічного факультету |
| 01.12.2015 –  14.12.2015 | Підготовка конспекту лекції на тему «Енергія електричного поля. Електричне поле в діелектриках» |
| 15.12.2015 –  28.12.2015 | Написання звіту про проходження асистентської практики |

Керівник асистентської практики Оліх О.Я.

Студент Пристай-Фєнєнков О.В.

Затверджено на засіданні кафедри загальної фізики, протокол №2 від 24.09.2015

**Лабораторні заняття**

**1.1 Підготовка до проведення лабораторних**

Програма асистентської практики передбачала відвідування лабораторних занять з курсу загальної фізики (механіка та молекулярна фізика) для студентів четвертої групи, першого курсу бакалаврату, хімічного факультету.

Метою лабораторного практикуму є сприяння більш ґрунтовному засвоєнню теоретичного матеріалу за рахунок отримання навичок практичної роботи із сучасним лабораторним обладнанням [1].

Для того, щоб орієнтуватися на лабораторних роботах, мною було відвідано, перед заняттями, кабінет лабораторного практикуму з метою ознайомлення і виконання, особисто, кожної лабораторної роботи. Метою першого заняття було ознайомлення з групою студентів і процедурою проведення лабораторного практикуму.

**1.1 Проведення лабораторних**

Лабораторний практикум проводився для студентів першого курсу хімічного факультету. Група складалася з дванадцятьох студентів.

Друге і решту занять, лабораторного практикуму, проводив я з напарником. Наші обов’язки полягали в допуску студента до роботи, консультація студентів під час виконання ними лабораторної роботи, перевірка теоретичного матеріалу і комплексне оцінювання студентів на парі.

У курсі механічного та молекулярного практикумів студенти 1 курсу хімічного факультету виконують дванадцять лабораторних робіт.

**Лабораторна робота № 2** «Вивчення електростатичного поля» Мета роботи: експериментально дослідити характер електростатичного поля; побудувати еквiпотенцiальнi лінії та лінії напруженості електростатичного поля.

**Лабораторна робота № 3** «Вимірювання опорів за допомогою містка Уітстона» Мета роботи: ознайомитись із методом вимірювання опорів провідників за допомогою містка постійного струму (містка Уітстона); виміряти опори окремих провідників та результуючі опори, отримані при їх паралельному та послідовному сполучення.

**Лабораторна робота № 4** «Вивчення залежності опору металів та напівпровідників від температури» Мета роботи: дослідити залежність опору металів i напівпровідників від температури; визначити температурний коефіцієнт опору металу i ширину забороненої зони напівпровідника.

**Лабораторна робота № 5** «Вимірювання електрорушiйноi сили хiмiчного джерела постійного електричного струму методом компенсацii» Мета роботи: ознайомитись з компенсаційним методом вимірювання в колах постійного електричного струму; ознайомитись з основними характеристиками i будовою хімічних джерел постійного електричного струму; виміряти електрорушійну силу (ЕРС) декількох гальванічних елементів та результуючу ЕРС, отриману при їх послідовному та паралельному з'єднанні.

**Лабораторна робота № 6** «Визначення горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі» Мета роботи: 1) ознайомитись з будовою та принципом дії тангенс-бусолі; 2) визначити величину горизонтальної складової напруженості магнітного поля Землі в точці знаходження лабораторії.

**Лабораторна робота № 7** «Визначення прискорення вільного падіння фізичного та математичного маятників», мета роботи: вивчення роботи фізичного та математичного маятників та визначення їх за допомогою прискорення вільного падіння.

**Лабораторна робота № 8** «Маятник Максвела», мета роботи: вивчити закони динаміки поступального та обертального руху на прикладі маятника Максвела. **Лабораторна робота № 9** «Визначення довжини звукової хвилі і швидкості звуку в повітрі та твердих тілах методом резонансу», мета роботи: визначити довжину звукової хвилі і швидкості звуку у повітрі та твердих тілах при кімнатній температурі.

**Лабораторна робота № 10** «Визначення в’язкості рідини методом Стокса», мета роботи: познайомитися з методом Стокса визначення коефіцієнта внутрішнього тертя (в’язкості) рідин; користуючись цим методом, визначити коефіцієнт внутрішнього тертя гліцерину.

**Лабораторна робот №11** «Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя повітря», мета роботи: визначити коефіцієнт внутрішнього тертя молекул повітря при їхньому русі через капіляр.

**Лабораторну роботу № 12** «Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідин методом краплин», мета роботи: Визначити коефіцієнт поверхневого натягу рідини методом краплин.

**Лабораторна робота № 13** «Визначення критичної температури речовини»,мета роботи: Ознайомитися з критичним станом речовини і визначити критичну температуру ефіру.

**Лабораторна робота № 14** «Визначення величини відношення теплоємностей повітря при постійному тиску і постійному об’ємі», мета роботи: визначити відношення теплоємностей при постійному тиску і постійному об’ємі для повітря.

**Семінарські заняття**

**2.1 Відвідування семінарських занять**

Згідно з програмою, мною було відвідано два семінарські заняття. На них я спостерігав методику проведення заняття викладачем, ознайомлювався з задачами, які виконували студенти і способи їх вирішення. Семінар проводився для студентів, першої групи, другого курсу бакалаврату фізичного факультету. Група складалася з тридцяти студентів.

Перед проведенням семінарського заняття я ознайомився з темою, теорією і задачами, які виносились на семінар.

**2.2 Проведення семінарського заняття**

Двадцять другого вересня на третій парі, з 12:20 до 13:55, мною було проведено семінар. Семінар складався з опрацювання домашнього завдання, а саме чотирьох задач (3.56, 3.63, 3.70, 3.77); вивчення нової теми (3.115, 3.65, 3.85, 3.112, 3.110, 3.118, 3.126) та подання завдань по самостійному опрацюванню в дома (3.86, 3.119, 3.127, 3.114). Задачі задавалися із збірника задач «Задачи по общей физике» И.Е. Иродов 1979р.

**Лекційні заняття**

**3.1 Відвідування лекційних занять**

Мною було відвідано дві лекції за темою «Електрика і магнетизм» 08.09.15 і 15.09.15 з 10:35 до 12:10. Лекції читалися Боровим Миколою Олександровичем для першого потоку, другого курсу, фізичного вакультету. На лекції я ознайомився з методикою викладання і роботою з великою кількістю студентів.

**3.2 Конспект лекційного заняття**

Для студентів 2-го курсу Фізичного факультету.

**Тема:** **«Енергія електричного поля. Електричне поле в діелектриках».**

**Мета**: Ознайомитися та законспектувати теоретичний матеріал про енергію електричного поля та електричне поле в діелектриках[3].

Електричне поле — одна зі складових [електромагнітного поля](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5), що існує навколо тіл або частинок, що мають [електричний заряд](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%B9_%D0%B7%D0%B0%D1%80%D1%8F%D0%B4), а також у вільному вигляді при зміні [магнітного поля](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B5_%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5) (наприклад, в [електромагнітних хвилях](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D1%96%D1%82%D0%BD%D0%B0_%D1%85%D0%B2%D0%B8%D0%BB%D1%8F)). Електричне поле може спостерігатися завдяки силовому впливу на заряджені тіла.

**Конденсатор. Ємність плоского конденсатора.**

Конденсатор складається з двох провідників, які розділені діелектриком. Щоби на ємність конденсатора не впливали навколишні тіла, провідникам надають таку форму, щоб поле, яке створюється зарядами, було зосереджено у вузькому проміжку між обкладками конденсатора.

Оскільки поле зосереджене всередині конденсатора, то лінії напруженості починаються на одній обкладці і закінчуються на іншій і тому вільні заряди, що виникають на різних обкладках, є однаковими за модулем різнойменними зарядами.

***Ємність конденсатора*** *– фізична величина, що числово дорівнює відношенню величини заряду q, нагромадженого у конденсаторі, до різниці потенціалів  між його обкладками:*

.

Залежно від форми обкладок конденсатори поділяються на плоскі, циліндричні і сферичні.

### І. Плоский конденсатор.

Якщо обкладки конденсатора мають форму паралельних між собою пластин, то його називають плоским. Площа пластин конденсатора *S* і якщо лінійні розміри пластин великі порівняно з *d*, то електричне поле між пластинами можна вважати еквівалентним полю між двома нескінченними площинами, які заряджені різнойменно і поверхневі густини яких дорівнюють  і . Крім того, відстань *d* повинна бути настільки малою, щоб порушення однорідності поля поблизу його країв можна було не брати до уваги.



Напруженість електричного поля і різниця потенціалів між обкладками конденсатора в цьому випадку дорівнюють:

, ,

де  - відносна діелектрична проникність середовища, що заповнює простір між пластинами.

Отже, ємність плоского конденсатора:

.

Ємність конденсатора, який має шаруватий діелектрик (рис. 140), визначають за формулою:



.

Для збільшення ємності і варіювання її можливих значень конденсатори з’єд­нують в батареї.

### Паралельне з’єднання конденсаторів.

Щоб отримати велику електроємність, кілька конденсаторів з’єднують в батарею так, щоб всі позитивно заряджені обкладки мали один спільний електрод, а заряджені негативно – інший (рис. 143). Таке з’єднання називається ***паралельним***. При цьому кілька конденсаторів немовби замінюють одним, у якого площа обкладок дорівнює сумі площ обкладок складових конденсаторів.

Різниця потенціалів між обкладками всіх конденсаторів , , , незалежно від ємності, однакова і дорівнює різниці потенціалів . При цьому на кожному з них містяться заряди:

, , …, .

Заряд всієї батареї розподіляється між обкладками конденсатора так, що

,

або

.

Крім того, заряд *q* батареї можна виразити через її електроємність  та напругу на її клемах:

.

Прирівнюючи два вирази для заряду *q*, отримуємо

.

Якщо батарея складається з *n* однакових паралельно з’єднаних конденсаторів ємністю *C* кожен, то її електроємність

.

З’єднувати паралельно доцільно такі конденсатори, у яких однакова робоча напруга.

### Послідовне з’єднання конденсаторів.

При послідовному з’єднанні конденсаторів негативно заряджену обкладку першого конденсатора з’єднують з позитивно зарядженою обкладкою другого і т.д.



Якщо на батарею подати напругу , то до такої різниці потенціалів зарядяться тільки крайні обкладки першого і останнього конденсатора, причому



.

Провідник, що з’єднує негативно заряджену обкладку першого та позитивно заряджену обкладку другого конденсатора, можна розглядати разом з обкладками як одне провідне тіло. Внаслідок явища електростатичної індукції вільні заряди цього тіла під дією поля прикладеної напруги перерозподіляються так, що на одній обкладці з’являється негативний заряд , а на інший – позитивний . Тому можна зробити висновок, що заряди на всіх послідовно з’єднаних конденсаторах, незалежно від їх ємності, однакові і дорівнюють заряду всієї батареї, тобто

.

Ємність батареї послідовно з’єд­наних конденсаторів

,

звідки

.

Для першого конденсатора ,

для другого  і т.д. Тоді

.

Після скорочення на *q* отримуємо формулу для обчислення електроємності батареї послідовно з’єднаних конденсаторів:

.

Якщо послідовно з’єднано *n* однакових конденсаторів з ємністю *C* кожен, то

.

Послідовно з’єднують конденсатори для підвищення робочої напруги, яку можна подати на батарею конденсаторів.

## Енергія зарядженого конденсатора. Енергія електростатичного поля.

Нехай в однорідному ізотропному середовищі знаходиться відокремлений провідник, заряд якого *q*, потенціал  і електроємність *С*. Для збільшення заряду цього провідника на *dq*, треба перенести цей заряд з нескінченості до поверхні провідника. При цьому треба виконати роботу проти сил електростатичного поля, яка дорівнює

.

Щоб зарядити провідник від нульового заряду до *q*, треба виконати роботу

.

***Енергія зарядженого провідника*** *числово дорівнює тій роботі, яку треба виконати, щоб зарядити цей провідник,*

тобто

.

Під час зарядження конденсатора витрачається робота із перенесення електричних зарядів з однієї обкладки на іншу. Енергію зарядженого конденсатора визначають за формулою:

,

де  – різниця потенціалів між обкладками конденсатора.

Енергію зарядженого конденсатора можна визначити через величини, які характеризують електричне поле в проміжку між обкладками плоского конденсатора. Для цього у формулу



підставимо значення *С* і :

, .

Тоді

,

де *V=Sd* – об’єм конденсатора.

Отже, енергія конденсатора виражається через величину, яка характеризує електростатичне поле – напруженість поля .

Електростатичне поле як одна з форм матерії існує в часі і просторі. Енергія є однією з характеристик стану матерії. Тому енергія нерозривно пов’язана з її матеріальним носієм – електричним полем. Енергія електричного поля локалізована у просторі, де існує це поле.

Вираз  відповідає положенням теорії далекодії, де *W* розглядається як потенціальна енергія заряджених тіл, що притягуються або відштовхуються один від одного. Формула  відповідає уявленням теорії поля (теорії близькодії), де вважається, що енергія, подібно до речовини, розподілена у просторі з ***об’ємною густиною***

.

В ізотропному діелектрику напрямки векторів  і  співпадають. Тому

.

Враховуючи, що електричне зміщення , отримуємо для  наступний вираз:

.

Перший доданок відповідає густині енергії поля  у вакуумі. Другий доданок – це густина енергії, яка витрачається на поляризацію діелектрика.

Дослідження неоднорідних елек­тричних полів, утворених довільними зарядженими тілами, показали, що для них формула  незастосовна, бо   
, а вираз для  визначає об’ємну густину енергії в кожній точці будь-якого електричного поля.

У випадку неоднорідного електричного поля енергія  нескінченно малого об’єму *dV* поля дорівнює

.

Інтегруючи  по всьому об’єму *V* поля, знаходимо повну енергію  електростатичного поля:

.

## Електричне поле в речовині. Теорема Остроградського-Ґаусса для електростатичного поля в діелектрику. Електричне зміщення

Для встановлення кількісних закономірностей поля в діелектрику внесемо в однорідне зовнішнє електростатичне поле, яке створюється двома нескінченними паралельними різнойменно зарядженими пластинами, пластину з однорідного діе­лектрика.



Під дією поля діелектрик поляризується, тобто відбувається зміщення зарядів. Внаслідок цього на правій грані діе­лектрика буде надлишок позитивного заряду з поверхневою густиною , на лівій – від’ємного заряду з поверхневою густиною . Ці нескомпенсовані заряди, що появляються внаслідок поляризації діелектрика, називаються зв’язаними. Ос­кільки їх поверхнева густина  менша від густини  вільних зарядів площин, то не все поле  компенсується зарядами діе­лектрика: на границі діелектрика відбувається розрив ліній напруженості зовнішнього електричного поля. Отже, поляризація діелектрика викликає зменшення в ньо­му поля порівняно з початковим зовнішнім полем. Поза діелектриком . Поява зв’язаних зарядів приводить до виникнення електричного поля , яке ослаблює . Результуюче поле всередині діелек­трика:

.

Оскільки поля  і  створені двома нескінченними зарядженими площинами, то

 і .

Тому результуюче поле

.

Отже, напруженість поля при наявності діелектрика обчислюється за такою ж формулою, як і для вакууму з тією лише відмінністю, що до вільних зарядів треба додати зв’язані заряди протилежного знака.

Визначимо поверхневу густину зв’язаних зарядів .

Повний дипольний момент плас­тинки діелектрика , де *S* – площа грані пластинки, *d* – її товщина. З іншого боку, . Тоді, , і , тобто ***поверхнева густина зв’язаних зарядів  дорівнює модулю вектора поляризації*** *P****.***

В загальному випадку, якщо зов­нішнє електричне поле  утворює кут  з поверхнею діелектрика, то

,

де  – проекція вектора поляризації на напрямок нормалі поверхні. Для правої поверхні на рисунку , і відповідно  для неї позитивна; для лівої поверхні  і відповідно  для неї негативна. Оскільки



, то ,

де  - нормальна складова напруженості поля всередині діелектрика. В тих місцях, де лінії напруженості виходять із діелек­трика , на поверхні будуть пози­тивні зв’язані заряди, там же, де лінії напруженості входять в діелектрик , появляються негативні поверхневі заряди.

Оскільки

, а , то

.

Звідси напруженість поля в середовищі

,

де  – ***відносна діелектрична проникність діелектрика***, яка характеризує поляризаційні властивості діелектрика.

***Відносна діелектрична проникність*** *діелектрика дорівнює його діелектричній сприйнятливості, збільшеній на одиницю і показує, у скільки разів напруженість  електричного поля, утвореного зарядами у вакуумі, більша, ніж напруженість E поля цих зарядів у діелектрику.*

Величини  і  – безрозмірні і для вакууму , .

Якщо відносна діелектрична про­никність діелектрика дорівнює , то

.

З іншого боку,



Прирівнюючи праві сторони, отримуємо

 і .

За цією формулою можна обчислити поверхневу густину  зв’язаних зарядів, а, отже, і вектор поляризації , бо поверхневу густину  вільних зарядів можна визначити експериментально.

Всі отримані в попередніх параграфах формули, які описують електричні поля і взаємодії електричних зарядів у вакуумі, залишаються справедливими і якщо ці явища спостерігаються в однорідному ізотропному діелектрику. Тільки у формули, що містять електричну сталу , треба ввести відносну діелектричну проникність  як співмножник при :

закон Кулона – ,

напруженість електричного поля точкового заряду – ,

потенціал електричного поля точкового заряду – .

Напруженість електричного поля залежить від властивостей середовища: нормальна складова напруженості поля при переході з вакууму в середовище   
зменшується в  разів. На границі двох діелектриків нормальні складові  обернено пропорційні до , тобто вектор нап­руженості при переході через границю діелектриків стрибкоподібно змінюється, створюючи тим самим незручності при розрахунку електричних полів.

У §50 було розглянуто теорему Ост­роградського-Гаусса для потоку вектора напруженості електричного поля у ваку­умі:

,

де  - вільні заряди.

Узагальнимо цю теорему для випад­ку електричного поля у діелектрику, в якому поле створюється як вільними, так і зв’язаними зарядами. Тому

,

де  – зв’язані заряди.

Це співвідношення не можна використати для розрахунку електричного поля  в діелектрику, оскільки це поле залежить від величини зв’язаних зарядів, які у свою чергу визначаються полем .

Нехай шар однорідного неполярного діелектрика розміщений між двома нес­кінченими паралельними площинами, зарядженими з поверхневими густинами   
вільних зарядів  і . В діе­лектрику індукуються диполі( - негативні заряди, - позитивні заряди), електричні моменти яких паралельні до . Виберемо малу ділянку  поверхні , яка охоплює як вільні, так і зв’язані заряди. Молекули-диполі електрично нейтральні. Тому внесок в  роблять лише ті диполі, які перетинаються поверхнею *S*. Вектор  в межах площадки  всюди однаковий і ут­ворює кут  із зовнішньою нормаллю .



Площадка *dS* перетинає лише ті *dn* диполів, центри яких знаходяться всередині, показаного на рисунку штриховою лінією, косого циліндра з основою площею *dS* і твірною, довжина якої дорівнює довжині *l* молекули-диполя:

,

де *n* – концентрація молекул діелектрика. Поверхнею *S* охоплюються негативні заряди диполів і їх величина



,

а  - вектор поляризації діелектрика. Отже, величина зв’язаних зарядів рівна

.

В результаті,



або

.

В обох інтегралах, що стоять зліва, інтегрування проводиться по одній і тій же замкненій поверхні *S*. Тому

.

Вектор  називається ***електричним зміщенням.***

В результаті рівняння, яке виражає ***теорему Остроградського-Ґаусса для електричного поля в середовищі***, можна записати у вигляді:



або

.

де  - потік електричного зміщення.

Згідно з цією теоремою *потік елек­тричного зміщення електричного поля че­рез довільну замкнену поверхню дорівнює алгебраїчній сумі вільних зарядів, що охоплюються цією поверхнею.*

Вектор поляризації  пропорційний до напруженості поля в діелектрику. Отже,

.

З чим можна зв’язати вектор елек­тричного зміщення? Зв’язані заряди появляються в діелектрику при наявності зовнішнього електричного поля, що створюється системою вільних зарядів, тобто в діелектрику на поле вільних зарядів накладається додаткове поле зв’язаних зарядів.

Результуюче поле в діелектрику описує вектор напруженості  і тому він залежить від властивостей діелектрика. Вектор  від середовища не залежить і описує електростатичне поле, що створюється вільними зарядами. Зв’язані заряди, що виникають в діелектрику, викликають перерозподіл вільних зарядів. Тому вектор  характеризує електростатичне поле, що створюється вільними зарядами (тобто у вакуумі), але при такому їх розподілі в просторі, який є при наявності діелектрика.

Вектор  не залежить від властивостей середовища тоді, коли поле створюється зарядженими провідниками в однорідному, ізотропному і безмежному середовищі.

Лінії вектора  можуть починатися і закінчуватись як на вільних, так і зв’яза­них зарядах, а лінії вектора  – лише на вільних зарядах. Через області поля, де знаходяться зв’язані заряди, лінії вектора  проходять, не перетинаючись.

**ВИСНОВКИ**

Програму асистентської практики повністю виконано:

* проведено 13 лабораторних занять для студентів 1 курсу хімічного факультету:
* проведено семінарське заняття на тему «Електрика і магнетизм» для студентів 2 курсу фізичного факультету:
* підготовлено лекційне заняття для студентів 2-го курсу на тему «Енергія електричного поля. Електричне поле в діелектриках».

Вході виконання асистентської практики я навчився проводити лабораторні роботи , вести семінарські заняття і готувати методичні матеріали та план лекції.

**Література**

1. Боровий М.О., Лисов В.І., Козаченко В.В., Цареградська Т.Л., Овсієнко І.В., Жабітенко О.М. Навчальний посібник**.** ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ. ЧАСТИНА І. Механіка, молекулярна фізика, електрика та магнетизм, 2012, 289 с. Гриф Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.
2. Боровий М.О., Оліх О.Я. Збірник задач з механіки та молекулярної фізики для студентів природничих факультетів. Київ, ВПЦ „Київський університет”, 2004, 55 с.
3. Савельев И.В. Курс физики. Т. 1, 2, 3 – М.: Наука. 1989.
4. Фейнман Р., Лейтон Р., Сендс М. Фейнмановские [лекції з фізики](http://ua-referat.com/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97_%D0%B7_%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B8). Т. 5. [Електрика](http://ua-referat.com/%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D0%BA%D0%B0) і [магнетизм](http://ua-referat.com/%D0%9C%D0%B0%D0%B3%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC). / Пер. з англ. - М: «Світ», 1966.