**Лекція 2-3. ЕЛЕКТРОСТАТИЧНЕ ПОЛЕ. РОБОТА СИЛ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ. ПОТЕНЦІАЛ ПОЛЯ.**

**Як би ви вирішили для себе наступні** питання???  
1. Як експериментально перевірити отримані формули для розрахунку полів?  
2. Який прилад вимірює напруженість електричного поля?

**Відповідь. Напруженість поля дуже важко вимірювати. А поля знати та описувати треба.**

В механіці сили теж було важко вимірювати і щоб цього не робити пішли шляхом аналізу механічної роботи. Таким чином, використовуючи поняття робота та енергія можливо суттєво спростити аналіз електричних полів. Ми не робимо теорію більш складною, а, навпаки шукаємо шлях найти прості рішення проблеми опису поля.

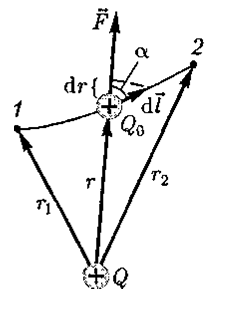
Ці розв’язки тісно пов’язані з поняттям потенціалу та роботи сил поля.

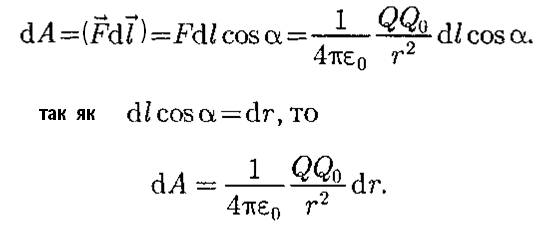
Тому їдемо цим шляхом:

**Робота сил електричного поля.**

Якщо в електростатичному полі точкового заряду Q з точки 1 в точку2  
вздовж довільної траєкторії (рис.) переміщається інший точковий заряд Qo, то сила, прикладена до заряду, здійснює роботу.

Робота сили **F** на елементарному переміщенні **dl** дорівнює





Щоб знайти роботу на всьому шляху руху заряду треба останній вираз про інтегрувати (позбутися від символу диференціала). Тоді отримуємо:





За останньої формули можна зробити ті ж висновки, які ми робили в механіці при розрахунках роботи сили, яка розганяла тіло, при розрахунках роботи сил пружності. Ці висновки наступні:  
1. Робота може бути порахована як різниця значень однієї і тієї ж функції, взятої в початковому і кінцевому стані системи. Ця функція носить назву потенційної енергії електричного поля:

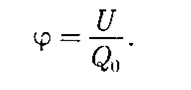


2. Робота при переміщенні заряду Qo з точки 1 в точку 2 не залежить від траєкторії переміщення, а визначається тільки положеннями початкової 1 та кінцевої 2 точок.

3. Робота сил електричного поля на замкнутому шляху дорівнює нулю (покладіть в виразі r1 =r2).

У механіці ми довели, що якщо подані умови виконані, то для опису системи (поля) можна ввести поняття потенційної енергії.  
Ця величина введена вище як змінна U. Отже, електростатичне поле точкового заряду є потенційним, а електростатичні сили - консервативними.  
  
**Потенціал електростатичного поля.**

Згідно наведеній формулі робота сил залежить від величини заряду, який рухався. Потрібно позбутися в розрахунках від величини самого пробного заряду бо він є нашим приладом, яким ми зондували поле. Потрібна характеристика, яка не залежить від того як ми міряємо саме поле.  
У той же час видно, що відношення *U/Q0* не залежить від *Qo* і може буди енергетичною характеристикою електростатичного поля. Ця характеристика зветься потенціалом:

**

Таким чином, потенціал в будь-якій точці електростатичного поля є фізична величина, яка визначається потенційною енергією одиничного позитивного заряду, поміщеного в цю точку.  
З формул для розрахунку роботи сили Кулона випливає, що потенціал поля, створюваного точковим зарядом Q, дорівнює



У механіці було доведено, що, якщо подані умови виконані, то для опису системи (поля) можна ввести поняття потенційної енергії.  
Ця величина в наведених вище формулах введена як змінна U. Отже, електростатичне поле точкового заряду є потенційним, а електростатичні сили - консервативними.

З формули для роботи сил електричного поля випливає, що робота визначається різницею потенціалів двох точок 1 в 2 в електростатичному полі між якими відбувається переміщення одиничного позитивного заряду.  
Тому при вирішенні конкретних завдань фізичний зміст має різниця потенціалів між двома точками електростатичного поля.

З виразу для потенціалу слід, що одиниця потенціалу і різниці потенціалів - вольт (В): 1 В - потенціал такої точки поля, в якій заряд в 1 Кл володіє потенційною енергією 1 Дж (1 В = 1 Дж / Кл). З огляду на розмірність вольта, можна показати, що запроваджена раніше одиниця напруженості електростатичного поля дійсно дорівнює 1 В / м: 1 Н / Кл - = 1Н • м / (Кл • м) = 1 Дж/(Кл • м) = 1 В / м.

**Еквіпотенційні поверхні**

Для графічного зображення розподілу потенціалу електростатичного поля, користуються поняттям еквіпотенціальна поверхня. Це - поверхні, у всіх точках яких потенціал  має одне і те ж значення.  
Якщо поле створюється точковим зарядом, то його потенціал, (див вище), дорівнює



Якщо у виразі покласти = const, то формула буде задовільна тільки при r = const. Останнє рівняння є математичний вираз, що описує сферу.

Таким чином, еквіпотенціальні поверхні в даному випадку - концентричні сфери, що відповідають різним значення величини константи .

З іншого боку, лінії напруженості в разі точкового заряду - радіальні прямі (див відповідні перші лекції по полю). Еквіпотенціальні лінії і відповідні їм силові лінії поля дані на рис.

З рис. видно, що лінії напруженості в разі точкового заряду перпендикулярні еквіпотенціальній поверхні.

Це найважливіша властивість для взаємного розташування силових та енергетичних ліній поля дійсна для любих електричних полів та широко використовується на практиці дослідження полів.

****

В лекції для опису електричного поля використано поняття роботи сил поля та введено до розгляду потенціал поля. Ця нова величина дуже корисна з практичної точки зору, тому що вона - скалярна величина. Її відносно просто вимірювати експериментально. В той же час напруженість поля – це основна характеристика поля. Необхідно вміти переходити від одній величини до другої.

**Взаємозв'язок напруженості і потенціалу поля. Напруженість поля як градієнт його потенціалу.**  
  
Знайдемо взаємозв'язок між напруженістю електростатичного поля - силовою характеристикою поля, і потенціалом - енергетичної характеристикою поля.

Робота по переміщенню одиничного точкового позитивного заряду з  
однієї точки поля в іншу уздовж осі «х» за умови, що точки розташовані нескінченно близько один до одного на відстані *dx*, дорівнює *dA = Fкул dx* = *Еqdx {Fкул=Еq}.*

Таж робота з означення потенціалу дорівнює 

Прирівнявши обидва вирази для розрахунків роботи і після скорочення, можемо записати:

або

  
  
де символ часткової похідної, який показує, що диференціювання проводиться тільки по змінній «х». (Подивитись в підручнику математики поняття часткової похідної функцій декількох змінних).  
Повторивши аналогічні міркування для осей у і z, можемо знайти вираз для вектору **Е:**



де  - одиничні вектори, що направлені вздовж координатних осей x, y, z.  
Вираз в дужках в математиці має свою особливу назву. Це операція часткового диференціювання називається градієнт.  
За визначенням градієнт це є наступною операцією диференціювання:

   
  
  тоді  
  
 

де оператор  і  оператор (набла - оператор) мають однаковий математичний сенс. Це символи виконання оператора взяття градієнту.

Таким чином, напруженість **Е** поля дорівнює градієнту потенціалу зі знаком (-). Знак (-) визначається тим, що вектор напруженості **Е** поля спрямований в бік зменшення потенціалу.  
Встановлений зв'язок між напруженістю поля і потенціалом дозволяє за відомою напруженістю поля знайти різницю потенціалів між двома довільними точками цього поля.  
Дійсно, якщо про інтегрувати ,

Можна отримати



Це і є інтегральний взаємозв'язок між потенціалом і напруженістю поля. Останній вираз дозволяє за **ВІДОМИМИ** виразами для напруженості поля, які находяться з теореми Гаусу, розраховувати потенціали поля.  
Так як потенціали легко вимірюються на практиці (вольтметри), то формули для потенціалів можна перевірити експериментально. Саме так і були доведені і перевірені всі висновки теорії електричного поля.

Таким чином, якщо необхідно дослідити електричне поле в системі, то цю проблему вирішують за наступною послідовністю: створюють в системі поле, виміряють потенціал в різних точках поля, будують еквіпотенціальні поверхні, перпендикулярно до них проводять силові лінії поля і відповідно математичним виразам розраховують величину градієнту потенціалу та отримають кількісну інформацію за величиною вектору ***Е.*** При цьому напрям вектору ***Е*** відомий, як дотична до силових ліній поля.

З виразу для взаємозв’язку між потенціалом поля та напруженістю слід раніше запроваджена одиниця напруженості електростатичного поля, яка дійсно дорівнює 1 В / м.

Застосовність наведених формул для взаємозв’язку між напруженістю та потенціалом в випадках полів, що створюються геометрично простими фігурами, може бути перевірено шляхом безпосереднього диференціювання виразів для потенціалів, які надані в підручниках. Істотно, що результатами такого диференціювання будуть вирази, що витікають з теореми Гаусу.

( якщо математичного досвіду достатньо, то вважаю доцільним, щоб ці операції ви спробували виконати самостійно).

Основним положенням електростатики присвячено відповідні розділи завдання в пропонованому методичному посібнику.

Детально теоретичний матеріал за темою електростатика наведено в рекомендованій літературі (Трофімова).

**ПАМЯТАЙТЕ:** Останні розділи теорії поля досить складні в математичному відношенні. Якщо в цих математичних викладках у вас виникнуть труднощі, то **Всі наявні труднощі** розберемо при особистих зустрічах.

Мій E-mail : **moskvinpavel56@gmail.com**