

У НОМЕРІ:

Педагогічний всеобуч

- Тіток М. І.**
Обов'язковий мінімум засвоєння навчального матеріалу з фізики (10–11 кл.) 2
- Кондратова Н. А.**
Наступність у викладанні фізики 11
- Постоєнко С. М.**
Комп'ютерні технології на уроках 19
- Клініч П. М.**
Віртуальні прилади в реальному експерименті 22

Педагогічна майстерня

- Лазурко Г. Б.**
Розвиток полікультурної компетенції на уроках фізики 27

Методичні рекомендації

- Гельфгат І. М., Ненашев І. Ю., Петракова М. О.**
Авторська програма з фізики, 6–9 класи 32
- Білориха О. М.**
Фізика й сільське господарство. Програма факультативу, 9 клас (51 год) 42
- Прачук Л. А.**
Фізика й сільське господарство. Програма факультативу, 8–9 класи (70 год) 45
- Новини науки і техніки 44, 60

Обмін досвідом

- Кравченко Т. В.**
Впровадження ІКТ у викладання фізики 53
- Редько Г. Б., Толпекіна Г. М.**
Деякі важливі аспекти навчання фізики в середній школі 59

Матеріали до уроку

- Лапта С. І., Пугач М. П., Бутенко Н. С.**
Різниця потенціалів, напруга та електрорушійна сила 61

Фаховий сервер № 19

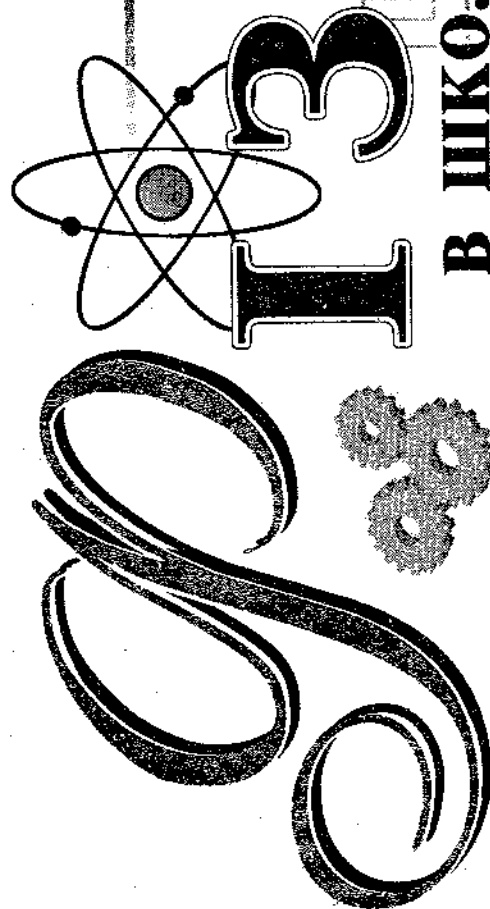
- Всеукраїнський фізичний конкурс «Левеня-2013» 32-1

Школа для вчителя

- Випуск 47
- Севастьян О. Ю.**
Розвиток пізнавальної активності учнів 32-10-1
- Величко С. А.**
Диски «Електронний конструктор уроку»: від економії часу до творчості 32-10-10

Фізика — це наука, яка відповідає на запитання «чому?»
Річард Фейнман

НАУКОВО-МЕТОДИЧНИЙ ЖУРНАЛ



ЗА СПРИЯННЯ МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ■ Учасник проекту: Фізико-магематичний лицей № 27 м. Харкова ■

№ 13–14 (233–234) липень 2013 р. ■ Заснований у серпні 2003 р. ■ Виходить двічі на місяць ■ 08417, 95936, 08418, 37058 ■
Передплатні індекси

РІЗНИЦЯ ПОТЕНЦІАЛІВ, НАПРУГА ТА ЕЛЕКТРОРУШІЙНА СИЛА

С. І. Лапта, М. П. Пугач, кафедра фізики ХНПУ,
Н. С. Бутенко, кафедра вищої математики ХНУРЕ, м. Харків

На жаль, у навчальній шкільній літературі поняття різниці потенціалів $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$, напруги U й електрорушійної сили (ЕРС) \mathcal{E} часто вважають тотожними й не показують особливості їх застосування до неоднорідних ділянок електричного кола. Ця методична проблема обумовлена тим, що в середній школі відповідно до програми обмежуються формальним введенням поняття електричного опору як коефіцієнта пропорційності між силою струму в однорідній ділянці кола й прикладеною до неї напругою в емпіричному законі Ома в інтегральній формі, не узагальнюють його для неоднорідної ділянки та не вивчають його в диференціальній формі, без чого важко логічно обґрунтовано пояснити взаємозв'язок розглядуваних понять.

У зв'язку з викладеним вище ми вважаємо за доцільне нагадати відому, досить зрозумілу методику введення зазначених понять відповідно до робіт [1, 2] у такій послідовності: потенціал, різниця потенціалів, електрорушійна сила, напруга — із з'ясуванням їхніх подібності й розбіжності.

1. Потенціал φ_1 електричного поля в даній його точці 1 (під стислим терміном «поле» розуміємо напруженість електричного поля \vec{E} — кулонівську силу, що діє на одиничний позитивний заряд, розташований у цій точці) загально визначається як робота $A_{1\infty}^k$, яку воно виконує під час переміщення одиничного позитивного електричного заряду з цієї точки на нескінченність (у випадку переміщення полем довільного заряду q робота з його переміщення нормується на його величину: $\varphi_1 = \frac{A_{1\infty}^k}{q}$). При цьому потенціал φ_∞ поля в нескінченно віддаленій точці, за визначенням, вважається рівним нулю. Тобто таким чином, по суті, вводиться різниця потенціалів у точках 1 і ∞ :

$$\varphi_1 - \varphi_\infty = \Delta\varphi_{1\infty} = \frac{A_{1\infty}^k}{q}. \quad (1)$$

Тому фізичний сенс має не сам потенціал, а різниця потенціалів. Узагальнюючи це визначення,

вводимо поняття різниці потенціалів у двох довільних точках поля 1 і 2:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi_{12} = \frac{A_{12}^k}{q}, \quad (2)$$

як роботи поля A_{12}^k з переміщення одиничного позитивного електричного заряду з точки 1 у точку 2.

З формул (1), (2) випливає те, що розмірність потенціалу (різниці потенціалів) дорівнює $\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$.

Цю одиницю назвали вольт (В). Тобто 1 В — це така різниця потенціалів у двох точках електричного поля, за якої його робота з переміщення заряду в 1 Кл з однієї точки до другої дорівнює 1 Дж.

У літературі часто різницю потенціалів $\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi_{12}$ у двох точках електричного поля називають електричною напругою U між ними:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi_{12} = U_{12} = U, \quad (3)$$

не пояснюючи, що таке спрощене введення нового поняття електричної напруги U_{12} між двома точками простору можливе тільки в разі відсутності в ньому будь-яких неелектростатичних сил, які діють на електричні заряди.

2. У випадку ж наявності в просторі, зокрема в провіднику, яких-небудь неелектростатичних сил (їх називають «сторонніми» з точки зору електростатики), дія яких на носії струму спричиняє їхній упорядкований рух і підтримує постійний електричний струм у замкнутому колі (замкнутість кола — це неодмінна умова існування стаціонарного електричного струму), за аналогією зі схемою (2) через роботу $A_{12}^{\text{ст}}$ цих сторонніх сил із переміщення одиничного позитивного заряду з точки 1 у точку 2 вводиться поняття електрорушійної сили $\mathcal{E}_{12}^{\text{ст}}$ (ЕРС) сторонніх сил між цими точками:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{12} = \mathcal{E}_{12}^{\text{ст}} = \frac{A_{12}^{\text{ст}}}{q}. \quad (4)$$

Уведені сторонні сили неелектростатичної природи принципово відрізняються від електро-

статичних кулонівських сил: під дією кулонівських сил позитивні електричні заряди рухаються за напрямком поля в бік зменшення його потенціалу (у бік негативних зарядів), послабляючи при цьому різницю потенціалів на кінцях провідника й саме поле. Тобто дія кулонівських сил спрямована на з'єднання різнойменних зарядів. Сторонні сили, навпаки, роз'єднують електричні заряди й переміщують отримані при цьому позитивні заряди проти поля, а негативні — за полем, підсилюючи при цьому різницю потенціалів на кінцях провідника й саме поле.

З формули (4) очевидно, що розмірність ЕРС така ж, як у різниці потенціалів: В. Тобто це енергетична характеристика джерела електричної енергії, а не силова, як можна було б собі уявити з історично невдало обраної термінології.

За аналогією з електричним полем вектора напруженості \vec{E} можна ввести поняття поля $\vec{E}_{\text{ст}}$ сторонніх сил $\vec{F}_{\text{ст}}$ у даній точці простору як сили неелектростатичної природи, яка діє на одиничний позитивний заряд, розміщений у цій точці:

$$\vec{E}_{\text{ст}} = \frac{\vec{F}_{\text{ст}}}{q}$$

3. Якщо переміщення позитивного електричного заряду q із точки 1 у точку 2 відбувається завдяки електростатичним кулонівським і неелектростатичним стороннім силам, які діють одночасно, то, узагальнюючи формулу (3), вводять узагальнене поняття електричної напруги U_{12} (спадання напруги) між цими точками за тією ж схемою (2), що й для повної роботи $A_{12}^{\text{пов}} = A_{12}^k + A_{12}^{\text{ст}}$, яку чинять результуючі поля кулонівських \vec{E} і сторонніх $\vec{E}_{\text{ст}}$ сил при цьому переміщенні заряду, нормованої на його величину q :

$$U = U_{12} = \frac{A_{12}^{\text{пов}}}{q} = \frac{A_{12}^k + A_{12}^{\text{ст}}}{q} = \frac{A_{12}^k}{q} + \frac{A_{12}^{\text{ст}}}{q} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \xi_{12} \quad (5)$$

Під час проведення останніх перетворень були враховані формули (2) і (4). Отже, за визначенням, у загальному випадку спадання напруги на ділянці кола (на кінцях провідника) між точками 1 і 2 дорівнює сумі різниці потенціалів між ними й ЕРС джерела струму, включеного в цю ділянку кола (рис. 1).

Тільки у випадку пасивної ділянки кола без наявності джерела

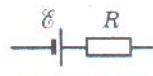


Рис. 1

електричного струму формула (5) спрощується до вигляду (2) і спадання напруги на цій ділянці ототожнюється з різницею потенціалів на його кінцях.

Спадання напруги U_{12} між точками 1 і 2 як робота з переміщення між ними одиничного позитивного електричного заряду з одного боку визначається правою частиною формули (5), з другого, — ця робота фізично обумовлена певними перешкодами просуванню зарядів крізь речовину (через їхні зіткнення з атомами і йонами) як в однорідних провідниках, так і в джерелах струму. Відповідно до емпіричного закону Ома для ділянки кола між точками 1 і 2, зокрема й для неоднорідної ділянки із джерелом струму, напруга U_{12} між ними дорівнює добутку сили струму I , що протікає крізь неї, на її опір R_{12} , який характеризує величину перешкод створених нею струму:

$$U_{12} = R_{12} I \quad (6)$$

За підстановки виразу (6) у формулу (5) одержуємо узагальнений закон Ома для довільної ділянки кола:

$$R_{12} I = U_{12} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \xi_{12} \quad (7)$$

Оскільки всі величини в законі Ома (7) мають сенс роботи, що, як відомо, має властивість адитивності, його також можна узагальнити на збірну ділянку кола, що складається з n послідовно включених елементарних ділянок, для яких він має місце (нумерація ділянок уведена за їхніми лівими кінцями) (рис. 2):

$$I(R_{12} + R_{23} + \dots + R_{2n-1, 2n}) = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + \dots + (\varphi_n - \varphi_{n+1}) + \xi_{12} + \xi_{23} + \dots + \xi_{n, n+1}$$

або

$$I(R_{12} + R_{23} + \dots + R_{2n-1, 2n}) = (\varphi_1 - \varphi_{n+1}) + \xi_{12} + \xi_{23} + \dots + \xi_{n, n+1} \quad (8)$$



Рис. 2

Співвідношення (8) можна сформулювати у такому вигляді: добуток сили струму на повний опір ділянки кола дорівнює сумі різниці потенціалів на його кінцях і сумарної ЕРС усіх джерел електричного струму, послідовно включених у нього.

У лівих частинах останніх формул у подвоєну кількість $2n$ опорів увійшли як n опорів лінійних провідників n ділянок збірної ділянки кола, так

і n внутрішніх опорів n джерел струму, включених у збірну ділянку кола. Надалі для зручності виділення внутрішні опори джерел струму будемо позначати малими буквами r з індексами, зменшеними на n :

$$I(R_{12} + R_{23} + \dots + R_{n, n+1} + r_{12} + r_{23} + \dots + r_{n, n+1}) = (\varphi_1 - \varphi_{n+1}) + \xi_{12} + \xi_{23} + \dots + \xi_{n, n+1}, \quad (9)$$

і, перепозначивши індексацію опорів та ЕРС таким чином: $R_{i, i+1} \rightarrow R_i$; $\xi_{i, i+1} \rightarrow \xi_i$ ($i=1, 2, \dots, n$), приведемо співвідношення (9) до вигляду:

$$I(R_1 + R_2 + \dots + R_n + r_1 + r_2 + \dots + r_n) = (\varphi_1 - \varphi_{n+1}) + \xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n. \quad (10)$$

Слід зазначити, що в правих частинах цих формул сума ЕРС джерел струму розуміється в алгебраїчному сенсі: ЕРС певного джерела вважається позитивною, якщо напрямок струму в збірній ділянці кола (і в самому джерелі) відповідає полярності його включення, тобто всередині нього струм (позитивні заряди) іде від катода до анода, і негативною — у протилежному випадку (рис. 3).

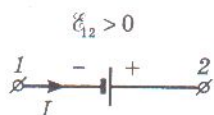


Рис. 3, а

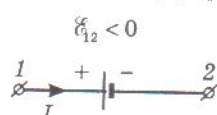


Рис. 3, б

Особливий інтерес має окремий випадок (рис. 4) формули (10) для замкнутого кола, коли $\varphi_1 = \varphi_{n+1}$:

$$\sum_{i=1}^n \xi_i = I \left(\sum_{i=1}^n R_i + \sum_{i=1}^n r_i \right). \quad (11)$$

У разі $n=1$ єдиний лінійний опір замкнутого контуру позначається R і називається опором зовнішньої ділянки контуру, внутрішній опір єдиного джерела струму позначається r . При цьому формула (11) набирає вигляд:

$$\xi = I(R+r). \quad (12)$$

Звідси впливає закон Ома для замкнутого контуру:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \xi_i}{\sum_{i=1}^n R_i + \sum_{i=1}^n r_i};$$

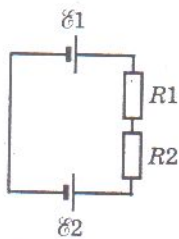


Рис. 4

$$I = \frac{\xi}{R+r}.$$

Якщо у формулах (11), (12), скориставшись властивістю дистрибутивності множення відносно суми, внести множник I усередину суми й врахувати формулу (6) для спадання напруги на ділянці кола, то одержимо вирази, які є окремими випадками другого правила Кірхгофа, застосовуваними в загальному випадку для розрахунку замкнутих контурів у розгалужених електричних колах:

$$\sum_{i=1}^n U_i + \sum_{i=1}^n u_i = \sum_{i=1}^n \xi_i;$$

$$U + u = \xi,$$

де великими літерами U позначені спадання напруги на лінійних провідниках кола (у цьому випадку вони збігаються з різницею потенціалів на їхніх кінцях $U = \Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$), а малими літерами u — спадання напруги на внутрішніх опорах джерел струму.

З огляду на останнє зауваження, у формулі (12) розкриємо дужки й спадання напруги на зовнішній ділянці кола $U = IR$ замінимо на різницю потенціалів $U = IR = \varphi_1 - \varphi_2$ між полюсами джерела струму:

$$U = IR = \varphi_1 - \varphi_2 = IR = \xi - Ir.$$

Очевидно, що у випадку розімкнутого кола, коли в ньому струм відсутній ($I=0$), різниця потенціалів на полюсах джерела струму збігається з його ЕРС. Звідси впливає прийом визначення ЕРС джерела струму на практиці шляхом виміру високоомним вольтметром різниці потенціалів на його полюсах за розімкнутого кола.

Отже, ми сподіваємося, що наші нотатки будуть корисні вчителям середніх шкіл та їхнім учням, що випускники середніх шкіл будуть твердо знати визначення електричного потенціалу, різниці потенціалів, напруги й електрорушійної сили для довільної ділянки (зокрема для неоднорідної ділянки) електричного кола, взаємозв'язок і розрізненість цих понять.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Физический энциклопедический словарь* / Под ред. А. М. Прохорова. — М.: Сов. энциклопедия, 1983. — 928 с.
2. *Яворский Б. М. Справочник по физике* / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. — 2-е изд., перераб. — М.: Наука, 1985. — 512 с.