враховано 40 + 51 +44 + 27 + 31 = 193 кВт·год звідки випливає, що на загальну площу витрачено 220 − 193 = 27 кВт·год.

Висновки. Прикладні задачі з фізики є джерелом, засобом і умовою розвитку пізнавального інтересу. Якщо учень має міцні знання і уміння в галузі фізики, то розв’язування задач з використанням міжпредметних зв’язків істотно активізує його пізнавальну діяльність. Помічено, що задоволеність навчанням являє важливий емоційний чинник навчальної діяльності, що створює установку на самостійне отримання і поглиблення знань, підвищення мотивації пізнання і творчого потенціалу майбутнього фахівця.

Систематичне виконання учнями експериментальних домашніх робіт сприяє більш усвідомленому і конкретному сприйняттю матеріалу на уроці, підвищує інтерес до фізики, розвиває допитливість, практичні уміння та навички. Ці завдання є ефективним засобом підвищення самостійності і ініціативи учнів, що сприятливо позначається на всій їх навчальній діяльності.

БІБЛІОГРАФІЯ

1.Програмами для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. http://physic.com.ua/curriculum/22-navchalna-programa.html

2.М.К.Работюк, А.О.Шарабура. Методика проведення домашніх фізичних спостережень та експериментів. − Рівне, 2009. − 24 с.

3.Чінчой О.О. Розвиток науково-технічного мислення учнів під час розв’язування задач // Фізика та астрономія в школі.−2003.−№1.−С.51−52.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Кононенко Сергій Олексійович − кандидат педагогічних наук, доцент кафедри теорії і методики технологічної підготовки, охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Коло наукових інтересів: розробка та створення навчального обладнання.

Чінчой Олександр Олександрович − кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та методики її викладання КДПУ ім. В.Винниченка.

Коло наукових інтересів: методика і техніка шкільного фізичного експерименту.

ВИКОРИСТАННЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНИХ ФІЗИЧНИХ ЗАКОНІВ І МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПРИНЦИПІВ ФІЗИКИ У ПРОЦЕСІ РОЗВ’ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ З ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

Микола ЧУМАК, Дмитро ЗАСЄКІН

У статті розглядаються питання методики навчання розв’язуванню задач з електростатики з використанням фундаментального фізичного закону – закону збереження електричного заряду – і методологічного принципу фізики – принципу симетрії.

In the article the questions of method of studies untiing of tasks are examined from electrostatics with the use of fundamental physical law – law of maintainance of electric charge – and methodological principle of physics – principle of symmetry.

Постановка проблеми. Розв’язування задач складає невід’ємну частину повноцінного вивчення фізики на будь-якому рівні – від початкового, шкільного, до спеціальної фізичної освіти.

Говорити про ступінь розуміння фізичних законів можна по вмінню свідомо їх застосовувати для аналізу конкретних фізичних явищ або процесів, тобто для розв’язування задач.

Досвід роботи в загальноосвітніх і вищих навчальних закладах показує, що найбільші труднощі для учнів і студентів складає запитання «З чого розпочати?», тобто не саме використання фізичних законів, а саме вибір, які закони і чому слід застосовувати під час аналізу кожного конкретного явища або процесу. Це вміння вибрати шлях розв’язання задачі, тобто вміння визначити, які саме фізичні закони описують запропоновані в задачі явища або процеси, що і свідчить про глибоке і всебічне розуміння фізики.

Спостереження у процесі навчання фізики в загальноосвітніх і вищих навчальних закладах дають змогу стверджувати, що ознайомлення з кількома першими реченнями запропонованих у збірнику задач розв’язань дозволяє учневі і студентові більш-менш впевнено довести розв’язання до закінчення самостійно. Але навіть і після цього значна частина учнів і студентів, як правило, не може пояснити, чому ж застосування саме даного фізичного закону приводить до поставленої мети.

На наше переконання, під час розв’язування задач повинен існувати «зворотний зв’язок» між розглядуваними задачами і фізичними законами. Кожна задача повинна стати предметом для серйозної і глибокої, нехай іноді і зовсім короткої, розмови про сутність фізичних явищ і законів.

Вивчаючи фізику, учні і студенти засвоюють різні фізичні закони, одні з яких відносяться тільки до певного кола явищ, наприклад електростатичних, інші ж є фундаментальними, загальними для всіх фізичних явищ. Для глибокого розуміння фізики необхідне чітке усвідомлення ступеня спільності різних фізичних законів, меж їх застосування, їх місця в загальній фізичній картині світу. Застосування у багатьох задачах законів збереження (заряду, імпульсу, енергії) дозволяє розв’язати задачу простіше, поглянути на неї з більш загальних позицій і, що особливо важливо, дає можливість знайти відповіді на деякі запитання, що стосуються тих явищ і процесів, для яких невідомі конкретні закони, що їх описують [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розв'язування задач є характерною і водночас специфічною особливістю інтелектуальної діяльності людини. Вже давно багато дослідників, і серед них багато видатних і геніальних вчених, що увійшли в історію людської цивілізації, намагаються визначити головне, суттєве у такій діяльності, та її методи.

Л. Фрідман за основу ключового психологічного механізму розв’язання задачі бере співвіднесення побудованих і перетворюваних моделей з моделлю кінцевої або проміжної цілі діяльності.

Це практично співпадає з підходом В. Моляко стосовно до розв'язування конструкторської творчої задачі. Але при цьому додатково детально обговорюється циклічний характер моделювання проміжних цілей діяльності.

А. Есаулов зазначає важливість цілеспрямованого асоціювання у розв'язуванні поставленої задачі і подальшому її динамічному перетворенні, зокрема для творчих задач, у той час як Ю. Машбиць надає перевагу пошукові і співвіднесенню задачної структури з аналогічною.

Г. Балл під розв'язком задачі розуміє «дію на предмет задачі, що обумовлює її перехід із вихідного стану у стан, що вимагається». Враховуючи загальне визначення задачі в проблемології, стає зрозумілим, що розв'язання задачі є дія, яка обумовлює перехід із вихідного стану до рівня моделі, тобто побудову моделі, або моделювання. Отже, розв'язування задачі з цієї точки зору в нашій інтерпретації повинне забезпечуватися моделюванням.

А. Сохор розглядає розв'язування як «...процес «вичерпування» інформації, послідовність переформулювань умови пізнавальної задачі, причому кожне нове переформулювання пов'язане з наданням об'єктові нових характеристик, а характеристики ці основані на виявленні прихованих - принаймні від початкового розгляду - зв'язків об'єкта у вивченні з іншими».

Ю. Машбиць, розчленовуючи діяльність учіння на оператори і узагальнену програму управління цими операторами, розробив модель діяльності учіння як розв'язування задач тощо [3].

Мета статті – показати як слід використовувати під час розв’язування задач з розділу «Електростатика» не тільки фундаментальні фізичні закони, але й методологічні принципи фізики.

Виклад основного матеріалу. Під час розв’язування задач необхідне вміння впевнено застосовувати закони збереження, але навчитися правильному застосуванню цих законів не так просто. Іноді, повіривши у всемогутність фундаментальних законів фізики, учні і студенти починають застосовувати їх формально, без аналізу сутності розглядуваних явищ або процесів.

Таким чином, розв’язуючи фізичну задачу, корисно намагатися використовувати не конкретні закони, що відносяться до обмеженого кола фізичних явищ і процесів, а найбільш загальні закони, справедливі для фізики в цілому.

Ще більш високий ступінь розуміння фізики визначається вмінням використовувати під час розв’язування задач не тільки фундаментальні фізичні закони, але й методологічні принципи фізики, а саме: причинності, симетрії, відносності, еквівалентності тощо. Використання цих принципів дозволяє у певних випадках відразу якісно передбачити загальний характер розглядуваного явища або процесу, після чого розв'язання задачі зводиться лише до встановлення кількісних співвідношень.

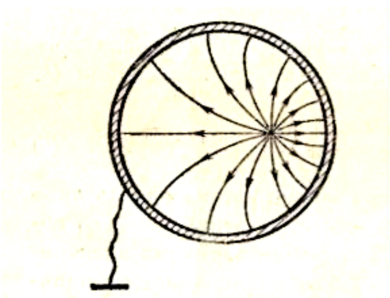
Розглянемо приклад використання принципу симетрії в задачах «Заряд усередині провідної сфери» і «Заряд між двома сферами».

Задача про заряд, що знаходиться всередині провідної сфери. Точковий заряд поміщений всередину тонкостінної провідної кулі радіусом R і знаходиться на відстані l від його центра. Які заряді будуть індуковані на внутрішній і зовнішній поверхнях кулі і яка буде картина електричного поля в двох випадках: 1) куля заземлена; 2) куля ізольована і не заряджена?

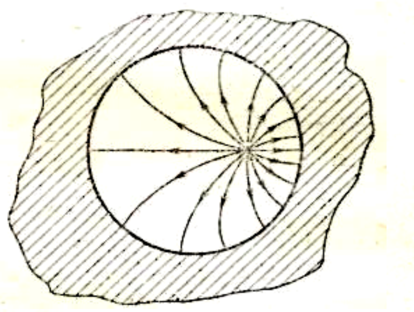
1. Розглянемо спочатку випадок, коли металева куля заземлена, тобто з'єднана провідником із Землею - провідним тілом величезних розмірів.

Потенціал Землі практично не змінюється, не дивлячись на те, що при такому з'єднанні якийсь заряд міг перейти з кулі на Землю або навпаки. Якщо прийняти потенціал нескінченно віддаленої точки рівним нулю, то потенціал Землі і, отже, з'єднаної з нею металевої кулі також буде дорівнювати нулю. Насправді, внаслідок величезних в порівнянні з кулею розмірів Землі можна вважати, що вона простягається до нескінченності.

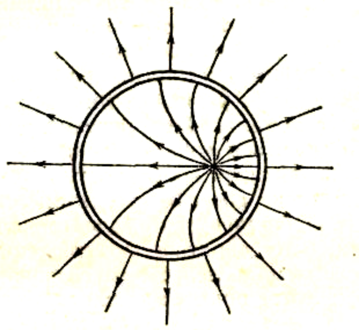
У товщі стінок металевої кулі, як і в будь-якому провіднику в стані рівноваги, електричне поле відсутнє. Немає його і в просторі, що оточує кулю (мал. 1). Якщо куля заземлена, то електричне поле існує тільки в її середині. Насправді, нічого не зміниться, якщо ми вважатимемо, що весь цей простір заповнений провідником (мал. 2). Електричне поле в порожнині провідника не залежить від того, що знаходиться навколо. Тому на зовнішній поверхні заземленої металевої кулі електричного заряду немає.



Мал. 1



Мал. 2



Мал. 3

Визначимо заряд, що індукується на внутрішній поверхні металевої кулі. Спробуємо спочатку спростити задачу: помістимо точковий заряд q у центр сфери (це окремий випадок). Із симетрії абсолютно зрозуміло, що індукований заряд розподілиться на внутрішній поверхні кулі рівномірно. За принципом суперпозиції електричне поле поза сферою є сумою полів, що створюються точковим зарядом q і індукованим зарядом q'. Оскільки поза кулею ці поля компенсують одне одного, то $q' = -q$, тобто на внутрішній поверхні кулі індукується рівний за модулем заряд протилежного знаку.

Подумаємо, що буде, якщо заряд q знаходиться у довільній точці всередині кулі. Легко зміркувати, що індукований заряд q' не залежить від розташування заряду q усередині кулі, тобто від відстані l. При переміщенні заряду q усередині кулі змінюватиметься лише розподіл індукованого заряду на внутрішній поверхні кулі.

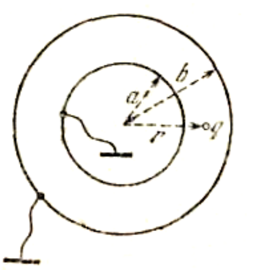
Оскільки поле в будь-якій точці поза сферою відсутнє, можна стверджувати, що система зарядів q і q' электронейтральна: $q' = -q$. (Зазначимо, що обернене твердження невірне: з нейтральності системи не виходить, що створюване нею поле дорівнює нулю; як приклад такої системи можна навести диполь).

Цей результат стає особливо очевидним, якщо скористатися картиною ліній напруженості. Як відомо, лінії напруженості електростатичного поля завжди починаються на позитивних зарядах і закінчуються на негативних і число ліній напруженості однозначно пов'язане зі значенням заряду. Поза сферою поля немає, тобто немає ліній напруженості. Іншими словами, в даному випадку всі лінії напруженості починаються і закінчуються на зарядах q і q', звідки відразу витікає, що повний заряд $q + q' = 0$.

Якщо заряд q розміщений у центрі кулі, то картина ліній напруженості симетрична: вони є радіальними прямими, як і у разі відокремленого точкового заряду. Картина ліній напруженості електричного поля всередині кулі при зміщеному з центра заряді q буде складнішою. Поблизу точкового заряду вона, зрозуміло, залишиться майже без змін, проте у міру віддалення від заряду лінії напруженості скривлюються, так що до внутрішньої поверхні кулі вони підходять під прямим кутом (мал. 1). Тому густина ліній напруженості і, отже, поверхнева густина індукованих зарядів будуть найбільшими у тій точці внутрішньої поверхні кулі, яка розташована щонайближче до заряду q.

Перейдемо до другого випадку, коли тонкостінна металева куля ізольована. Тепер електричне поле є як усередині, так і поза кулею (мал. 3). У товщі стінок, тобто в провіднику, поле, звичайно, відсутнє.

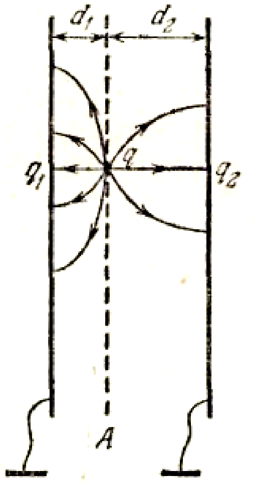
Почнемо знову з простого окремого випадку: заряд q розташований у центрі кулі. З симетрії зрозуміло, що індуковані заряди на внутрішній і зовнішній поверхнях кулі розподілені рівномірно. Оскільки поля в товщині стінок кулі немає, індукований на внутрішній поверхні заряд q_1 дорівнює $-q$. Заряд q_2, що знаходиться на зовнішній поверхні кулі, поля всередині нього не створює. З електронейтральності провідної кулі випливає, що $q_2 = -q_2 = q$. Таким чином, потенціал зовні кулі дорівнює $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r}$, тобто створюване цією системою електричне поле співпадає з полем точкового заряду, розташованого в центрі кулі.



Мал. 4

При зсуві заряду q з центра сфери, як і у попередньому випадку, змінюється розподіл заряду q_1 на внутрішній поверхні кулі, причому так, щоб поле в товщі стінок кулі залишалося рівним нулю. Поле в порожнині всередині кулі при цьому, звичайно, змінюється, але індукований заряд q_1 залишається тим самим. Заряд на зовнішній поверхні $q_2 = q$ як і раніше розподілений рівномірно і поля всередині сфери не створює. Таким чином, поле поза кулею не залежить від розташування заряду q усередині нього.

Зазначимо, що якщо ізольована куля була заряджена ще до внесення в неї заряду q, то цей надлишковий заряд Q, як легко зміркувати, залишиться рівномірно розподіленим по зовнішній поверхні, так що повний заряд цієї поверхні буде дорівнювати $q + Q$. Усередині кулі картина розподілу поля і індукованих зарядів залишиться без змін.



Мал. 5

Задача про заряд між двома сферами. Точковий заряд q знаходиться між двома заземленими провідними концентричними сферами радіусами a і b на відстані r від центра ($a < r < b$) (мал. 4). Визначити індуковані на сферах заряди.

Якщо студенти розібралися з попередньою задачею, то їм абсолютно зрозуміло, що електричне поле є тільки в просторі між сферами, і тому повний заряд системи дорівнює нулю:

$$q + q_a + q_b = 0.$$

Друге рівняння для знаходження невідомих зарядів q_a і q_b можна отримати, записуючи вирази для потециалу в центрі сфер. Звичайно, потенціал в усіх точках усередині малої сфери однаковий і дорівнює потенціалу Землі, але ми вибираємо для складання рівняння саме центр сфери, оскільки всі індуковані на кожній сфері заряди знаходяться від цієї точки на однакових відстанях a і b. Відповідно до принципу суперпозиції потенціал у центрі сфер дорівнює сумі потенціалів полів, що створюються зарядом q і індукованими на сферах зарядами. Розглянемо, наприклад, поле, створюване зарядами малої сфери. Розбиваючи індукований на ній заряд q_a на малі частини Δq_i, які можна вважати точковими зарядами, отримаємо для потенціалу в центрі сфери вираз

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_i \frac{\Delta q_i}{a} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 a}\sum \Delta q_i = \frac{q_a}{4\pi\varepsilon_0 a}.$$

Такий простий вираз для потенціалу отримуємо не дивлячись на те, що створюючі електричне поле заряди розподілені на сфері нерівномірно. Більш того, для визначення потенціалу в центрі сфери і не потрібно знати, як саме розподілені індуковані заряди.

Аналогічний вираз можна отримати для потенціалу, що створюється в центрі сфер зарядом q_b, що індукується на зовнішній сфері. Тепер легко записати вираз для повного потенціалу в центрі сфер, що створюється всіма зарядами. Прирівнявши його до нуля, отримаємо

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r} + \frac{q_a}{a} + \frac{q_b}{b}\right) = 0.$$

Розв'язуючи систему рівнянь $q + q_a + q_b = 0$ і $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r} + \frac{q_a}{a} + \frac{q_b}{b}\right) = 0$, визначаємо

$$q_a = -q\frac{a}{r}\frac{b-r}{b-a},\quad q_b = -q\frac{b}{r}\frac{r-a}{b-a}.$$

Як і слід було чекати, знаки індукованих зарядів протилежні знаку заряду q. Якщо у цих формулах покласти радіус внутрішньої сфери a рівним нулю, то ми приходимо до попередньої задачі про точковий заряд усередині провідної сфери. При цьому, як видно з $q_a = -q\frac{a}{r}\frac{b-r}{b-a}$, $q_b = -q\frac{b}{r}\frac{r-a}{b-a}$, $q_a = 0$, $q_b = -q$.

Якщо спрямувати до нескінченності радіус зовнішньої сфери b, то ми приходимо до задачі про точковий заряд поблизу провідної сфери радіуса a. Формула $q_a = -q\frac{a}{r}\frac{b-r}{b-a}$ у цьому випадку дає індукований на сфері заряд:

$$q_a = -q\frac{a}{r}.$$

При необмеженому наближенні заряду q до зовнішньої поверхні сфери, тобто при $r \to a$, індукований заряд все менше і менше відрізняється за модулем від заряду q, що підноситься до сфери. Який же зміст має в даному граничному випадку $b \to \infty$ заряд q_b у формулі $q_b = -q\frac{b}{r}\frac{r-a}{b-a}$?

Використовуючи розв'язання цієї задачі, можна визначити індуковані заряди у тому випадку, коли точковий заряд q знаходиться між двома паралельними нескінченними провідними площинами (мал. 5). Для цього потрібно спрямувати до нескінченності радіуси обох сфер, зберігаючи незмінними відстань між ними і положення заряду q відносно поверхонь сфер: $a \to \infty$, $b \to \infty$, $b - a = \text{const} = d_1 + d_2$. Виконуючи акуратно граничний перехід, визначаємо

$$q_1 = -q\frac{d_2}{d_1 + d_2},\quad q_2 = -q\frac{d_1}{d_1 + d_2}.$$

При симетричному розташуванні заряду q між площинами $q_1 = q_2 = -\frac{q}{2}$.

Зрозуміло, можна пошукати інший, незалежний шлях розв'язання. Насправді, площина «простіша», ніж сфера. Задача з площинами є граничним, простішим випадком задачі зі сферами. Тому природно придумати для неї простіше незалежне розв'язання, яке можна було б використовувати для перевірки розв'язку задачі зі сферами.

Міркуватимемо таким чином. Що відбудеться, якщо заряд q перемістити в іншу точку площини A (мал. 5)? Очевидно, що зміниться тільки розподіл індукованих на площинах зарядів, самі ж заряди q_1 і q_2 залишаться попередніми: індуковані заряди просто переміщуються разом із зарядом q. Якщо помістити на цій площині декілька точкових зарядів, то внаслідок принципу суперпозиції кожен заряд індукує на площинах такі заряди, неначебто він був один. Тому якщо нас цікавить не розподіл індукованих зарядів, а тільки їх значення, то заряд q можна рівномірно «розмазати» по всій площині A. Від цього індуковані заряди не зміняться, а задача стає зовсім простою, бо поле тепер однорідне. Напруженість поля зліва від цієї площини $E_1 = \frac{q_1}{\varepsilon_0 S}$ (S - площа пластин), праворуч від неї $E_2 = \frac{q_2}{\varepsilon_0 S}$, оскільки індуковані на внутрішніх поверхнях пластин заряди q_1 і q_2 у цьому випадку розподілені рівномірно. Оскільки різниця потенціалів між площиною A і кожній із пластин одна і та ж, то $E_1 d_1 = E_2 d_2$, звідки негайно витікає, що

$$q_1 d_1 = q_2 d_2.$$

Ззовні пластин поля немає, індуковані заряди знаходяться тільки на внутрішніх поверхнях пластин, і на підставі теореми Гауса можна стверджувати, що

$$q + q_1 + q_2 = 0.$$

Розв'язуючи спільно рівняння $q_1 d_1 = q_2 d_2$ і $q + q_1 + q_2 = 0$, отримуємо відповідь: $q_1 = -q\frac{d_2}{d_1 + d_2}$, $q_2 = -q\frac{d_1}{d_1 + d_2}$. Але не завжди розумно зводити задачу до попередньої! [2]

Таким чином, процес розв'язування задачі подібний на невелике дослідження. Як і в дійсному науковому дослідженні, далеко не завжди є зрозумілим, якою повинна бути послідовність дій для отримання результату. Ніяких універсальних рецептів для цього не існує. Необхідне вміння набувається тільки в результаті настирливої праці у міру накопичення досвіду [5].

Висновки. У наведених вище прикладах розв'язування задач особлива увага приділяється тим моментам, які повинні бути присутніми в будь-якому дослідженні. Це, по-перше, обґрунтований вибір ідеалізації явища і процесу, які вивчаються, або замість самого явища або процесу ми завжди вимушені розглядати деяку спрощену модель, намагаючись зберегти в ній самі найхарактерніші, найбільш важливі риси явища або процесу. По-друге, це обов'язкове дослідження конкретних і граничних випадків, для яких відповідь очевидна або може бути отримана відразу незалежно від загального розв'язку. Дуже корисний також пошук і розгляд аналогій з іншими задачами і явищами, а також порівняння методів їх аналізу.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Богдан В.И. Практикум по методике решения физических задач: Учебное пособие для физ.-мат. факульт. пед. ин-тов / В.И. Богдан, В.А. Бондарь, Д.И. Кульбицкий и др. – Минск: Вышейшая школа, 1983. – 272 с.
2. Бутиков Е.И. Физика в примерах и задачах: Учебное пособие – 3-е изд., перераб. и доп. / Е.И. Бутиков, А.А. Быков, А.С. Кондратьев. – М.: Наука, 1989. – 464 с.
3. Павленко А.І. Методика навчання учнів середньої школи розв'язуванню і складанню фізичних задач: Теоретичні основи / А.І. Павленко. – К.: ТОВ «Міжнародна фінагенція». – 1997. – 177 с.
4. Фирганг Е.В. Руководство к решению задач по курсу общей физики: Учеб. пособие для втузов / Е.В. Фирганг. - М.: Высшая школа, 1977. - 351 с.
5. Фридман Л.М. Как научиться решать задачи: Книга для учащихся. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Л.М. Фридман, Е.Н. Турецкий. – М.: Просвещение, 1984. – 176 с.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Чумак Микола Євгенійович – кандидат педагогічних наук. старший викладач кафедри ЕТФА Національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова.

Коло наукових інтересів: методика навчання курсу теоретичної фізики «Електродинаміка».

Засєкін Дмитро Олександрович – молодший науковий співробітник лабораторії математичної і фізичної освіти Інституту педагогіки НАПН України.

Коло наукових інтересів: методика навчання фізики у профільній школі.