

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-6-82-26>
УДК 37.02

Томашевська Г.П.

Центральноукраїнський державний педагогічний університет
імені Володимира Винниченка

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ВИКЛАДАННЯ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ НА ОСНОВІ ПРИКЛАДІВ ІНТЕГРОВАНИХ ФІЗИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ З ЕЛЕКТРИКИ ТА МАГНЕТИЗМУ

Анотація. Розглядається проблема розвитку пізнавальних якостей учнів у процесі вивчення шкільного курсу фізики. Підкреслюється, що розвитку стійких і дійових знань сприяє розумінню учнями матеріалу, який вивчається з допомогою навчальних експериментів. Підкреслено, що включення учнів у активну творчу діяльність шляхом підбору потужних, цікавих, достатньо різноманітних, нових за змістом чи формою завдань спонукають їх до самостійних, активних роздумів. Нові досягнення у фізиці потребують переосмислення цілей і завдань, змісту, форм, методів і засобів проведення експериментальних досліджень. Під час навчання виникає потреба в поглибленні міжпредметних зв'язків фундаментальної фізики та професійно-орієнтованих предметів, таких як радіоелектроніка, електротехніка та інших. Зазначено, що саме через фізичний експеримент найефективніше здійснюється діяльнісний підхід до вивчення фізики. Зв'язки суміжних курсів дозволяють глибше проникнути в сутність предметів, розкрити причинно-наслідкові зв'язки. Процес пізнання, збагачений міжпредметними зв'язками, активізуючи розумові процеси, служить джерелом стійкої зацікавленості учнів. В основу статті покладено опис та аналіз взаємодії рухомих заряджених частинок. Рухомі заряди перетворюються на мініатюрні магніти, що орієнтуються в просторі так, що їх полюси притягуються при однаковому напрямі струму і відштовхуються при зворотньому напрямі струму в провіднику. Демонстрування досліду з провідниками зі струмом показує, що магнітна взаємодія рухомих заряджених частинок викликана принципом відносності. Виникнення магнітного поля пояснюється за допомогою теорії відносності. Теорія відносності має практичне застосування в електровимірних приладах. У статті приводяться приклади навчання електродинаміки, які базуються на законі Кулона, принципі відносності і принципі суперпозиції. В основу покладено опис та аналіз взаємодії рухомих заряджених частинок. В статті розглянуто факти, що підтверджують теорію відносності, продемонстровано на прикладах фізичних експериментів суть принципу відносності в електродинаміці, забезпечено експериментальне відображення новітніх знань з фізики у курсі фізики в школі. Предметом дослідження є покращення методу викладання теорії відносності в школі, методологією дослідження є включення учнів у активну творчу діяльність. Мета дослідження – стимуляція та вмотивування учнів засобами застосування проблемної, дослідницької діяльності до розвитку емпіричних знань. Висновком статті є виявлення та пізнання фундаментальних причин, які лежать в основі фізичних явищ і служать для побудови об'єктивної картини світу.

Ключові слова: напруженість електричного поля, заряджені частинки, індукція магнітного поля, профільні навчальні предмети, фундаментальні наукові принципи, теорія відносності, перетворення Лоренца, принцип близькодії, система відліку.

Томашевська Анна

Central Ukrainian State Pedagogical University
named after Volodymyr Vynnychenko

PERFECTION OF METHODS OF TEACHING OF THEORY OF RELATIVITY IS ON BASIS OF EXAMPLES OF THE INTEGRATED PHYSICAL EXPERIMENTS FROM ELECTRICITY AND MAGNETISM

Summary. The problem of development of cognitive internalss of students is examined in the process of study of school course of physics. It is underlined , that to development of proof and effective knowledge of the promotes understanding the students of material that is studied with the help of educational experiments. Underline, that plugging of students in active creative activity by the selection of messengers, interesting, various enough, new on maintenance or induce them the form of tasks to the independent, active reflections. It is marked that a teacher, influencing on the emotions of students, assists creation of positive mood them to the studies and to readiness to active intellection, regardless of knowledge, capabilities and interests. Underline, that creation of positive mood stimulates and explains students to participating in research activity, to development of empiric knowledge. New achievements in physics need to the revision of aims and tasks, maintenance, forms, methods and facilities of realization of experimental researches. During studies there is a requirement in deepening of intersubject connections of fundamental physics and professionally-oriented objects, such as radio electronics, electrical engineer and other. It is marked that exactly through a physical experiment more effective all comes true effective going near the study of physics. The copulas of contiguous courses allow deeper to get to essence of objects, expose causally are copulas of consequence. The process of cognition, enriched by intersubject copulas, activating mental processes, serves as the source of proof to the personal interest students. Description and analysis of co-operation of the movable charged particles are fixed in basis of article Movable charges grow into miniature magnets, that is oriented in space so, that their poles are attracted at identical direction of current and push off at reverse direction of current in the explorer of Demonstration of experience with explorers with a current shows that magnetic co-operation of the movable charged particles is caused by principle of relativity. The origin of the magnetic field is explained by means of theory of relativity Theory of

relativity is explained by means of theory of relativity has practical application in measuring devices. To educate, to get to know fundamental reasons that are the basis of physical phenomena, to build the objective picture of the world – one of basic reasons of activity of physicists. To the article examples are driven studies of electrodynamics, that are based on the law of Coulomb, principle of relativity and principle of impositions of the fields. Description and analysis of co-operation of movable charged particles are fixed in basis. Facts that sustain a theory of relativity are considered in the article, essence of principle of relativity is shown on the examples of physical experiments in an electrodynamics, the experimental reflection of the newest knowledge is provided from physics in the course of physics at school. The article of research is an improvement of method of teaching of theory of relativity at school, research methodology is plugging of students in active creative activity. A research aim is stimulation and motivation of students by facilities of application of problem, research activity to development of empiric knowledge. The conclusion of the article are an exposure and cognitions of fundamental reasons, that are the basis of the physical phenomena, to build the objective picture of the world

Keywords: tension of electric-field, charged particles, induction of magnetic-field, profile educational objects, fundamental scientific principles, theory of relativity, transformation of Lorenc, principle of near action, system to counting out.

Постановка проблеми. Рівень розвитку сучасної цивілізації вимагає нової особистості, яка може вільно оперувати набутими знаннями, творчо застосовувати їх в різноманітних ситуаціях, бути комунікабельною, здатною долати труднощі. Ці труднощі можна подолати на основі практичних вмій та емпіричних знань.

В Законі України “Про освіту” записано: “Метою освіти є всебічний розвиток людини як особистості та найвищої цінності суспільства, розвиток її талантів, розумових і фізичних здібностей, виховання високих моральних якостей, формування громадян, здатних до свідомого суспільного вибору, збагачення на цій основі інтелектуального, творчого, культурного потенціалу народу, підвищення освітнього рівня народу, забезпечення народного господарства кваліфікованими фахівцями”.

Основними шляхами розвитку стійких і дійових знань є розуміння учнями матеріалу, який вивчається з допомогою навчальних експериментів.

Інший шлях – включення учнів у активну творчу діяльність шляхом підбору посильних, цікавих, достатньо різноманітних, нових за змістом чи формою завдань, які спонукають до самостійних, активних роздумів. Вчитель за допомогою дослідів, використовуючи властивості предметів і явищ, викликає в учнів почуття подиву, заострює увагу і, впливаючи на їх емоції, сприяє створенню позитивного настрою до навчання та готовності до активної розумової діяльності, незалежно від знань, здібностей та інтересів. Це стимулює та вмотивовує застосування проблемної, дослідницької діяльності учнів, розвиток емпіричних знань.

В основу побудови методичної системи експериментальної підготовки покладені ідеї відомих вітчизняних дослідників. Внаслідок цього, методична система експериментальної підготовки стає відкритою до впровадження з одного боку, нових педагогічних технологій, і з другого – вдосконалення традиційних систем експериментальної підготовки, оскільки її зміст потребує модернізації відповідно до сучасних досягнень фізики та розвитку техніки. Досвід засвідчує, що саме через фізичний експеримент найефективніше здійснюється і діяльнісний підхід до вивчення фізики.

Сьогодні існує цілий комплекс лабораторних робіт і демонстрацій, що складає основу експериментального методу навчання фізики в середній і вищій школі [1–3]. Проте, проблема вдоскона-

лення навчального фізичного експерименту є ще далеко не розв’язаною, і навряд чи це можливо за умови постійного розвитку сучасної науки і техніки, нових інформаційних технологій, коли сфера експериментальних досліджень постійно розширюється, охоплюючи дедалі складніші явища природи, зокрема такі, що пов’язані з теорією відносності та ін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблему розвитку пізнавальних якостей учнів у процесі вивчення шкільного курсу фізики досліджували вітчизняні науковці: М. Блудова, О. Бугайов, С. Гончаренко, Л. Горева, Н. Гладишева, О. Зорька, О. Кабардін, Е. Коршак, В. Кубицький, І. Ланіна, М. Мартинюк, Я. Перельман, В. Разумовський, П. Самойленко, О. Сергеев, З. Сичевська, Т. Слуцька, Л. Тарасов, А. Усова, В. Шаталов, М. Шуг, Г. Щукіна та ін.

В основу побудови методичної системи експериментальної підготовки покладені ідеї відомих вітчизняних дослідників: П.С. Атаманчука, О.І. Бугайова, С.П. Величка, С.У. Гончаренка, А.В. Касперського, Є.В. Коршака, О.І. Ляшенка, А.І. Павленка, Ю.А. Пасічника, М.І. Садового, В.Д. Сиротюка, В.І. Тищука. Але в цих дослідженнях ще не повною мірою віддзеркалюється зміна змісту курсу, яка викликана новими досягненнями у фізиці і потребує переосмислення цілей і завдань, змісту, форм, методів і засобів проведення експериментальних досліджень. У зв’язку з цим є потреба в поглибленні міжпредметних зв’язків фундаментальної фізики та професійно-орієнтованих предметів, таких як радіоелектроніка, електротехніка та ін.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми. Практична діяльність учнів реалізується в конкретних формах: трудова, фізична, конструктивно-технічна, розрахунково-вимірювальна, обчислювальна, експериментальна. Внаслідок здійснення практичної діяльності, учні засвоюють правила дій, алгоритми операцій і відповідні вміння та навички. Виникає новий компонент навчальної діяльності – “міжпредметний”. У середині циклів навчальних предметів народжуються “циклові” вміння, у яких найбільш тісно переплітаються спільні наукові знання, поняття, методи їх досягнення та засоби вираження (мова науки – терміни, символи, способи вираження абстрактній – моделі, ідеалізації). Цьому сприяють інтегровані експерименти які охоплюють одночасно такі різ-

ні теми з фізики, як електродинаміка та спеціальна теорія відносності та ін.

Необхідно в кожній навчальній темі відокремити спеціальні для предмета і більш широкі, загальні для ряду предметів, поняття, розвиток яких здійснюється за допомогою міжпредметних зв'язків, інтегрованих експериментів. Велике виховне значення має визначення світоглядних висновків, що можуть бути зроблені на основі міжпредметних зв'язків та інтегрованих експериментів. У методи навчання міжпредметні зв'язки вносять постійний елемент застосування знань, отриманих в інших курсах.

Необхідно показати, що в організації навчання виникає потреба в комплексних формах – узагальнюючих уроках, семінарах, експериментах, що мають міжпредметний зміст.

Формулювання цілей статті. Головною ціллю статті є пояснення того, що в процесі рішення міжпредметних завдань та експериментів учні включають предметні вміння, їх активність залежить від зацікавленості відповідними навчальними дисциплінами, спостерігається тісний зв'язок між рівнем зацікавленості предметом і широтою і успішністю використання знань з нього.

Мета дослідження – стимуляція та вмотивування учнів засобами застосування проблемної, дослідницької діяльності до розвитку емпіричних знань. **Методологія дослідження** – проведення дослідів з електричним полем, які підтверджують теорію відносності

Учнів приваблюють нові відомості з додаткових джерел інформації, вони знаходять оригінальні способи їх аналізу та зв'язку з програмним матеріалом. Включаючись в зміст уроку, міжпредметні зв'язки підсилюють його новизну, викликають оновлення вже відомого матеріалу, об'єднують нові і колишні знання в систему. Зв'язки суміжних курсів дозволяють глибше проникнути в сутність предметів, розкрити причинно-наслідкові зв'язки. Стає наочною, під час проведення дослідів, практична необхідність і корисність знань з усіх предметів. Усвідомлення необхідності знань надійно зміцнює зацікавленість в їх поглибленні і розширенні. Сам процес пізнання, збагачений міжпредметними зв'язками, активізує розумові процеси, служить джерелом стійкої зацікавленості учнів.

Використання моделей з навчальною метою також допомагає виділити і відобразити найважливіші для пізнання зв'язки в явищах, які часто бувають недоступними для безпосереднього спостереження, розкрити механізм протікання відповідних процесів, ознайомити учнів з експериментальною базою сучасної фізики.

Новизною теми є включення учнів у активну творчу діяльність шляхом підбору сильних, цікавих, достатньо різноманітних, нових за змістом чи формою завдань, які спонукають їх до самостійних, активних роздумів. **Актуальністю наукових рішень** є те, що вчитель за допомогою дослідів, використовуючи властивості предметів і явищ, викликає в учнів почуття подиву, загострює увагу і, впливаючи на їх емоції, сприяє створенню позитивного настрою до навчання та готовності до активної розумової діяльності, незалежно від знань, здібностей та інтересів.

Виклад основного матеріалу дослідження. В основу статті покладено опис та аналіз взаємодії рухомих заряджених частинок (РЗЧ). Цю проблему досліджували Іванов Б.Н. [4], Коновал О.А. [6]. Зокрема, магнітна взаємодія струмів в роботах Коновала О.А. розглядається як сумарний, інтегральний ефект взаємодії сукупності рухомих ЗЧ. При цьому визначальну роль відіграють властивості електромагнітного поля (ЕМП) РЗЧ. Використовуючи закон Кулона та положення спеціальної теорії відносності, знаходиться електромагнітне поле рухомої зарядженої частинки [7; 8].

З [4, с. 49] витікає, що електричне і магнітне поля є відносними, їх властивості різні в різних системах відліку. Так, напруженість електричного і магнітного поля може дорівнювати нулю в одній системі відліку і бути наявною в іншій системі.

Розглянемо вплив руху зарядів на характер створюваного ними поля. Як зміниться поле заряду при його русі з постійною швидкістю? Помістимо заряд Q в початок системи координат $X' Y'$ (рис. 1б), що рухається відносно системи координат $X Y$ зі швидкістю V . Електричне поле напруженості \vec{E} в рухомій системі буде:

$$\vec{E}' = \frac{Q\vec{R}'}{R'^3}$$

Розрахуємо поле в системі відліку $X Y$. Напруженість поля має компоненти [4, с. 69]:

$$\vec{E}_y = \vec{E}'_y = \frac{Q\vec{y}'}{R'^3}; \quad \vec{E}_x = \frac{\vec{E}'_x}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} = \frac{Qx'}{(\vec{R}')^3 \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

$\vec{H} = 0$ в системі $X' Y'$. Виразимо R через x, y , за формулою Лоренца (рис. 1в)

$$\vec{x}' = \frac{\vec{x} - \vec{V}t}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}; \quad \vec{y}' = \vec{y}$$

В результаті:

$$(\vec{R}')^2 = (\vec{x}')^2 + (\vec{y}')^2 = \frac{(\vec{x} - \vec{V}t)^2 + (1 - \frac{V^2}{c^2})\vec{y}^2}{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

Далі треба підставити R', x', y' (рис. 1в) у вираз для \vec{E} через x, y :

$$\vec{E}_x = \frac{Q(\vec{x} - \vec{V}t)(1 - \frac{V^2}{c^2})^{3/2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \left[(\vec{x} - \vec{V}t)^2 + (1 - \frac{V^2}{c^2})\vec{y}^2 \right]^{3/2}},$$

$$\vec{E}_y = \frac{Q\vec{y}(1 - \frac{V^2}{c^2})^{3/2}}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \left[(\vec{x} - \vec{V}t)^2 + (1 - \frac{V^2}{c^2})\vec{y}^2 \right]^{3/2}}$$

Звідси отримаємо:

$$\vec{E}_x = Q(1 - \frac{V^2}{c^2}) \frac{\vec{x} - \vec{V}t}{\left[(\vec{x} - \vec{V}t)^2 + (1 - \frac{V^2}{c^2})\vec{y}^2 \right]^{3/2}}$$

$$\vec{E}_y = Q(1 - \frac{V^2}{c^2}) \frac{\vec{y}}{\left[(\vec{x} - \vec{V}t)^2 + (1 - \frac{V^2}{c^2})\vec{y}^2 \right]^{3/2}}$$

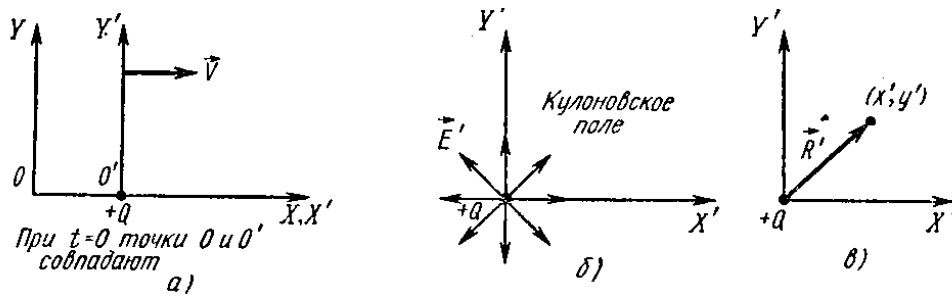


Рис. 1. Рух зарядженої частинки

Джерело: [4]

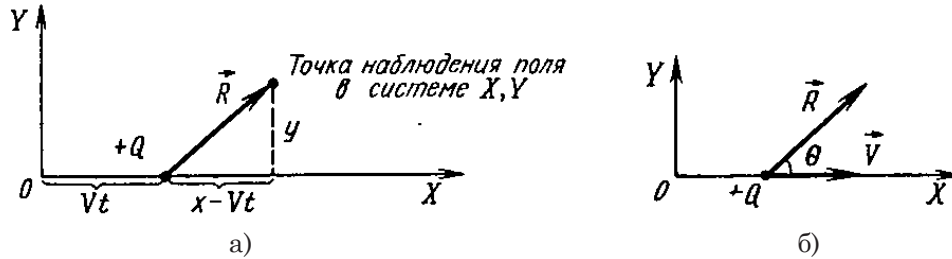


Рис. 2. Поле зарядженої частинки

Джерело: [4]

З формул для \vec{E}_x та \vec{E}_y , маємо векторний запис для поля \vec{E} та вектора \vec{R}^* рухомого поля:

$$(\vec{R}^*)^2 = (\bar{x} - \vec{V}t)^2 + (1 - \frac{\vec{V}^2}{c^2})\bar{y}^2$$

$$\vec{E} = (1 - \frac{\vec{V}^2}{c^2}) \frac{Q\vec{R}^*}{(\vec{R}^*)^3}$$

Це й буде вираз для напруженості електричного поля заряду, що рухається.

Щоб вивчити це поле, введемо кут θ (рис. 2б) між напрямом руху і радіус-вектором \vec{R} :

$$(\vec{R}^*)^2 = \vec{R}_x^2 + (1 - \frac{\vec{V}^2}{c^2})\vec{R}^2 \sin^2 \theta$$

$$\vec{R}_x^2 = \vec{R}^2 - \vec{R}_y^2 = \vec{R}^2 - \vec{y}^2 = \vec{R}^2(1 - \sin^2 \theta)$$

$$(\vec{R}^*)^2 = \vec{R}^2 \left[1 - (\frac{\vec{V}^2}{c^2}) \sin^2 \theta \right]$$

Звідки маємо:

$$\vec{E} = \frac{Q\vec{R}}{\vec{R}^3} \frac{1 - \frac{\vec{V}^2}{c^2}}{\left[1 - (\frac{\vec{V}^2}{c^2}) \sin^2 \theta \right]^{3/2}}$$

Проаналізуємо вираз для \vec{E} . При $V \ll c$ поле стає звичайним кулонівським. При $\theta = 0, \pi$, \vec{E} мінімальне (рис. 3а) і складає:

$$\vec{E}_{||} = \frac{Q}{\vec{R}^2} \left(1 - \frac{\vec{V}^2}{c^2} \right)$$

Найбільше значення поля буде в напрямі, перпендикулярному швидкості, $\theta = \pi/2$ (рис. 3а)

$$\vec{E} \perp = \frac{Q}{\vec{R}^2} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{\vec{V}^2}{c^2}}}$$

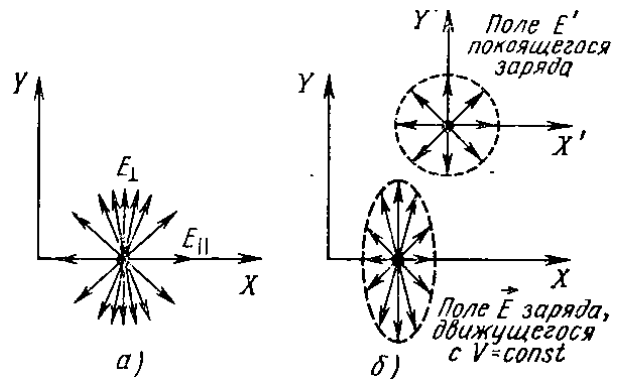


Рис. 3. Поле рухомої частинки

Джерело: [4]

Магнітне поле системи відліку X', Y' відсутнє, в системі X, Y воно буде $\vec{H} = \frac{1}{c} [\vec{V}\vec{E}]$

$$\text{При } V \ll c, \vec{H} = \frac{1}{c} \left[\vec{V} \frac{Q\vec{R}}{\vec{R}^3} \right] = \frac{Q}{c} \frac{[\vec{V}\vec{R}]}{\vec{R}^3}$$

Отже, ми отримали закон Біо – Савара – Лапласа не емпірично, а теоретично, на основі принципу відносності. Ситуацію, коли одну і ту ж предметну область фізики, або деякі частини її, описують дві і більше теорій, або фрагменти теорій, які приводять до однакових емпіричних наслідків називають «еквівалентними описами» [10, с. 42]. Тобто, принципова незвідність теорії до фізичних дослідів означає, що одну і ту ж область фактів можна описати декількома теоретичними моделями.

В наявних навчально-методичних виданнях пише, Коновал О.А. [7], принципова відмінність між електричним полем рухомої ЗЧ і електричним полем нерухомої ЗЧ не аналізується, більше

того, на неї не звертається увага. Такий підхід може призводити, принаймні, до помилок в розрахунках та до некоректних висновків. Для кращого розуміння властивостей електромагнітного поля ЗЧ, що рівномірно рухається Коновалом О.А. була створена комп'ютерна програма що моделює та пояснює особливості електромагнітного поля РЗЧ [6]. Результат моделювання електричного поля (ЕП) рухомої ЗЧ був наступним:

Напруженість електричного поля рухомої ЗЧ залежить від напрямку знаходження точки поля (кута θ) та від швидкості руху ЗЧ. Величина напруженості електричного поля ЗЧ, що рухається з довільною за величиною швидкістю V зменшується в напрямку руху й збільшується в площині, перпендикулярній до V . При релятивістських швидкостях напруженість електричного поля рухомого заряду на заданій відстані від нього мала за лінією руху ЗЧ та велика в перпендикулярному напрямі, тобто поле концентрується поблизу площини, проведеної через миттєве положення ЗЧ перпендикулярно його швидкості. У зв'язку з цим говорять, що електричне поле рухомої ЗЧ «сплющується» в напрямі руху.

Полярна діаграма напруженості електричного поля РЗЧ, пише Коновал О.А. [6], при великих швидкостях руху частинки, показує що при $V \approx c$ в області значення кутів $\theta \approx 0$ спостерігається ніби «перетяжка» (див. рис. 4) на полярній діаграмі напруженості електричного поля і в площині XOY полярна діаграма має вигляд «вісімки» (рис. 4б, 4в, 4г). Таким чином, «сплющування»

електричного і магнітного полів в напрямку руху суттєво залежить від кута θ . Картина електричного поля в тривимірній моделі має вигляд, зображений на рис. 5, 6. В центрі знаходиться заряджена частинка, а віддалі від центру до точок на моделі дорівнює, в певному масштабі, величині напруженості електричного поля (ЕП) в точках простору, рівновіддалених від миттєвого положення ЗЧ. Так, при $V = 0$ ми одержуємо модель, що відображає електричне поле нерухомої, або що повільно рухається ($V \ll c$), ЗЧ. При збільшенні швидкості поле зарядженої частинки сплющується в напрямку його руху.

Це спостерігається, наприклад, при $V = 0,6 c$ (рис. 5). Зліва на рис. 5 зображена картина ЕП в площині XOY , справа – просторова картинка. При швидкості руху ЗЧ ($V = 0,9 c$) картина поля суттєво змінюється, рис. 6.

Згідно з формулою магнітної індукції $\vec{B} = \frac{1}{c^2} [\vec{V}, \vec{E}]$, вектори напруженості електричного та індукції магнітного полів взаємно перпендикулярні. Лінії вектора \vec{B} утворюють концентричні кола з центром на вісі OX , вздовж якої рухається заряджена частинка Q (рис. 5, 6).

Відомо, зазначає Коновал О.А. [7], що динамічні моделі більш повно передають інформацію про властивості об'єкту, і з психологічної точки зору краще запам'ятовуються, оскільки дію моделі можна розглядати і вивчати необхідну кількість разів, повертаючись до різних аспектів механізму часового перебігу явища. Крім того,

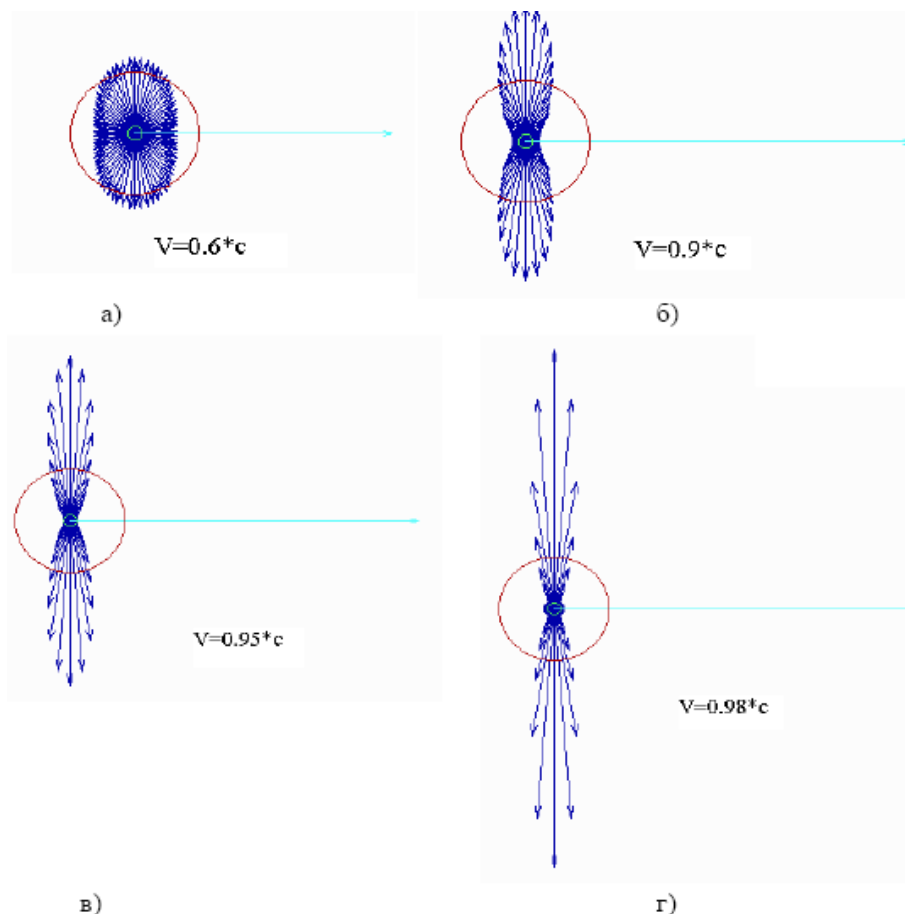


Рис. 4. Полярні діаграми напруженості електричного поля РЗЧ в площині XOY при різних V

Джерело: [6]

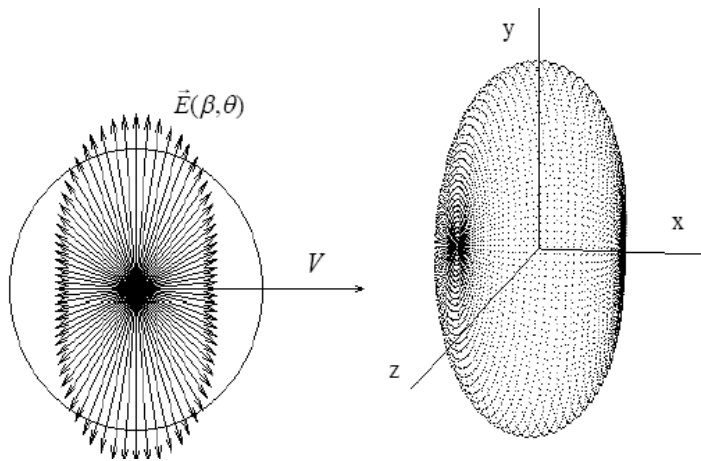


Рис. 5. Сплющення поля рухомої частинки

Джерело: [6]

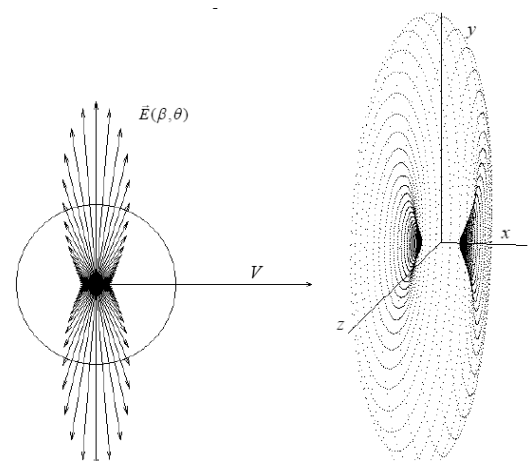


Рис. 6. Картина електричного поля РЗЧ при швидкості руху $V = 0,9 c$

Джерело: [6]

в результаті моделювання, вдалося адекватно зобразити картину електричного поля РЗЧ і вказати на типові помилки в наочному уявленні цієї картини, які зустрічаються в науково-методичній літературі.

"Застосування методу моделювання в навчальному процесі – одне з актуальних питань сучасної педагогіки й відповідних методик. І це цілком закономірно, адже сам процес формування знань пов'язаний з перетворенням у свідомості учня одних моделей на інші, які є похідними від перших, але точнішими, з більшим наближенням до абсолютної істини" [5, с. 17].

Отже, учням відомо, що між нерухомими електричними зарядами діють сили, які визначаються за законом Кулона. Проте між електричними зарядами можуть діяти сили й іншої природи. Взаємодії між провідниками зі струмом, тобто взаємодії між рухомими електричними зарядами, називають магнітними. Рухомі заряди перетворюються на мініатюрні магніти, що орієнтуються в просторі так, що їх полюси притягуються при однаковому напрямі струму і відштовхуються при зворотньому напрямі струму в провіднику.

Демонструючи дослід з провідниками зі струмом (рис. 7), треба підкреслити, що магнітна взаємодія рухомих заряджених частинок викликана принципом відносності СТВ.

Магнітні явища хоча й пов'язані з електричними, проте не тотожні. Це також підтверджується дослідом. Якщо взяти два довгі паралельні провідники і приєднати їх до джерела струму, то ми побачимо, що провідники, по яких струм тече у різних напрямках, відштовхуються один від одного (рис. 7, а), а коли у провідниках струм проходить в одному напрямі, вони притягуються один до одного (рис. 7, б).

Електричний струм в одному з провідників створює навколо себе магнітне поле, яке діє на струм у другому провіднику. Поле, створене електричним струмом другого провідника, діє на перший. Отже, подібно до того, як у просторі, що оточує нерухомі електричні заряди, існує електричне поле, у просторі, що оточує струми, існує поле, яке називають магнітним.

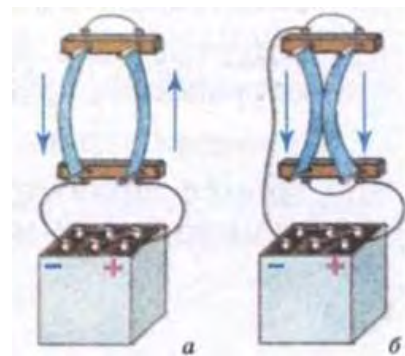


Рис. 7. Взаємодія провідників зі струмом

Джерело: [11]

Взаємодію між провідниками зі струмом, тобто взаємодію між рухомими електричними зарядами, називають магнітною. Сили, з якими провідники зі струмом діють один на одного, називають магнітними силами. Магнітне поле – це особлива форма матерії, за допомогою якої здійснюється взаємодія між рухомими електрично зарядженими частинками. Магнітне поле має такі особливості, які відрізняють його від інших полів: магнітне поле завжди зв'язане з рухом заряджених частинок або тіл; магнітне поле діє на рухомі заряджені частинки або тіла. Сила, що діє між двома провідниками зі струмом емпірично визначена із закону Ампера і дорівнює [9, с. 333].

$$\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = \frac{\mu_0 \mu \ell \vec{I}_1 \vec{I}_2}{2\pi r}$$

Але раніше ми теоретично знайшли, що індукція магнітного поля РЗЧ буде, $\vec{B} = \frac{1}{c^2} [\vec{V}, \vec{E}]$ і вона буде залежати від величини $\beta = V/c$ згідно СТВ.

Магнітне поле провідника зі струмом [9, с. 333]

$$\vec{B}_1 = \frac{\mu_0 \mu \Delta \ell \vec{I}_1}{2\pi r}$$

Звідки швидкість руху РЗЧ в провіднику буде: $\vec{V} = c^2 \frac{\vec{B}_1}{\vec{E}_1}$, де $r = 0,5d$

d – діаметр провідника, $\vec{E}_{cp} = \frac{\Delta\phi}{\Delta\ell} = \frac{E}{2}$, якщо вважати, що E за час dt змінюється від 0 до E , при $\Delta\ell = 1 \text{ м}$, $\Delta\phi = 100 \text{ В}$, $I_1 = 1 \text{ А}$, $r = 1 \text{ мм}$ отримаємо

$$\vec{V} = c^2 \frac{\vec{B}_1}{\vec{E}_{cp}} = c^2 \frac{\mu_0 \Delta\ell^2 I_1}{2\pi r \Delta\phi} = 9 \cdot 10^{10} \frac{1,257 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 1}{2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-3} \cdot 10^2} = 1,8 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{с}}$$

При відношенні $\frac{\Delta\phi}{I} \leq 10^2 \text{ В}$ буде більше c , тому слід використовувати релятивістські формули:

$$\vec{E} \perp = \frac{Q}{R^2} \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Визначивши V з досліду та залежність швидкості від l , ϕ , I , порівняємо її з c і зробимо висновок про поле РЗЧ. При русі ЗЧ в кожній точці простору створюється магнітне поле (МП), яке (згідно принципу близькодії) породжується змінним в часі електричним полем тобто, струмами зміщення, в цій самій точці простору. Тому і магнітне поле провідника постійного струму (ППС) повинно породжуватися тільки струмами зміщення. Тобто, в кожній точці простору в деякий момент часу діє вихор вектора \vec{H} зумовлений густиною струму зміщення в цій же точці.

Одним із фундаментальних доведень єдності електричних і магнітних явищ є результат досліду Г.К. Ерстеда, датського фізика, який у 1820 р. виявив, що магнітна стрілка змінює своє положення поблизу провідника зі струмом (рис.8).

Коли помістити провідник зі струмом у магнітне поле, наприклад, в поле постійного магніту, то на нього діятиме сила. Перевіримо це на досліді. Замкнувши коло, пропустимо струм по вільно підвішеному провіднику, що перебуває в магнітному полі підковоподібного магніту. Ми помітимо, що провідник почне рухатися (рис. 9). Напрямок сили, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі, можна визначити, користуючись правилом лівої руки. Руку розміщують так, щоб силові лінії поля входили в долоню, а чотири пальці збігалися з напрямом струму у провіднику, тоді великий палець, відігнутий на 90° , покаже напрям сили, що діє на провідник (рис. 10).



Рис. 8. Дія струму на магнітну стрілку

Джерело: [11]

Рух провідника зі струмом у магнітному полі дуже широко застосовується в техніці: в електродвигунах, у вимірювальних приладах з котушкою, що обертається, і в багатьох інших пристроях. А так як магнітне поле пояснюється за допомогою теорії відносності, то демонструючи роботу електромагнітних приладів треба це під-

креслити.Тоді учням буде зрозуміло, що теорія відносності має також і практичне застосування в електровимірювальних приладах.



Рис. 9. Рух провідника в магнітному полі

Джерело: [11]

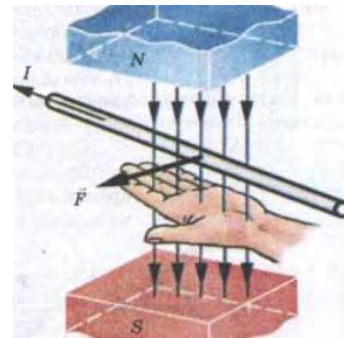


Рис. 10. Напрямок сили, що діє на провідник зі струмом

Джерело: [11]

Висновки і перспективи. Метою фізики, як наукової галузі, є пошук істини, тобто, знань які адекватно відображають об'єктивний світ. В той же час, виявити, пізнати фундаментальні причини, які лежать в основі фізичних явищ, побудувати об'єктивну картину світу – один із основних мотивів діяльності фізиків.

Одержані результати сприяють розкриттю природи фізичних явищ (релятивістської природи магнітного поля, властивостей електричного поля провідника з постійним струмом, фізичний механізм породження МП постійних струмів). З метою покращення розуміння теорії відносності, доцільно запропонувати задачі та експерименти, які стануть засобом формування не лише теоретичного, але й емпіричного знання. Такий підхід не тільки пояснює та обґрунтовує положення, які недоступні традиційній методиці, але відповідає сучасній фізичній парадигмі.

Отже, наведені приклади практичних завдань і експериментів покращують розуміння учнями розділу з теорії відносності та електродинаміки, показують реальний вплив релятивістських фактів на нашу дійсність, розширюють світогляд учнів в процесі вивчення теорії відносності. Вони також показують, що фізика є фундаментальною наукою, вона містить у собі велику кількість фізичних теорій, які охоплюють всі розділи знань, і є фундаментом знань про характер процесів та явищ. Фізика відіграє вирішальну роль у підготовці до практичної діяльності, формує в учнів науковий світогляд, дає цілісні уявлення про сучасну картину світу, вміння розв'язувати практичні і теоретичні задачі сучасної фізики, бути підготовленими до сприйняття нових ідей.

Список літератури:

1. Анциферов Л.И., Пишиков И.М. Практикум по методике и технике школьного физического эксперимента. Москва : Просвещение, 1984. 246 с.
2. Бушок Г.Ф., Венгер Е.Ф. Методика преподавания общей физики в высшей школе. Київ, 2000. 415 с.
3. Загальна фізика. Лабораторний практикум : навч. посіб. / [за ред. І.Т. Горбачука]. Київ : Вища школа, 1992. 509 с.
4. Иванов Б.Н. Законы физики. Москва : Вища школа. 1986. 337 с.
5. Калапуша Л.Р., Савош В.К., Мартинюк О.Р. Організація самостійної роботи учнів з фізики на основі використання методу моделювання. *Фізика та астрономія в школі*. 2000. № 1. С. 17–18.
6. Коновал О.А., Швидкий О.В. Властивості і моделювання електромагнітного поля рухомої зарядженої частинки. Матеріали ІХ Всеукраїнської наукової конференції «Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики» / уклад. : М.І. Шут, Т.Г. Січкач. Київ : НПУ, 2004. С. 52.
7. Коновал О.А. Магнітне поле і струми зміщення постійних струмів. *Теорія та методика навчання математики, фізики, інформатики* : Збірник наукових праць: В 3-х томах. Кривий Ріг : Видавничий відділ КДПУ, 2001. Т. 2: Теорія та методика навчання фізики. С. 169–172.
8. Коновал О.А. Особливості методики формування поняття “магнітне поле”. *Фізика та астрономія в школі*. 2002. № 3. С. 24–26.
9. Савченко М.О. Розв'язування задач з фізики : Навчальний посібник / Пер. з рос. П.Ф. Піскуна. Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2004. 504 с.
10. Чудинов Э.М. Эквивалентные описания и проблема истины в физике. *Методологические проблемы физики* (Сборник статей, сер. «Физика», № 1). Москва : Знание, 1981. 64 с.
11. Фізика 11 клас. Електродинаміка. Розділ 2. Електромагнітне поле §12. Взаємодія струмів. Магнітне поле. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. URL: <http://www.subject.com.ua/textbook/physics> (accessed 10 May 2020).

References:

1. Antsyferov, L.Y., & Pyshchikov, Y.M. (1984). *Praktykum po metodyke y tekhnike shkol'noho fizycheskoho eksperymenta* [Practical Work after methodology and technician of school physical experiment]. Moscow: Prosveshchenye, 246 p. (in Russian)
2. Bushok, H.F., & Venher, E.F. (2000). *Metodyka prepodavannya obshchey fizyky v vysshey shkole* [Methodology of teaching of general physics at higher school]. Kyiv, 415 p. (in Ukrainian)
3. Zahal'na fizyka (1992) *Laboratornyy praktykum: navch. posib.* [General physics. Laboratory practical work]. Kyiv: "Higher school", 509 p. (in Ukrainian)
4. Ivanov, B.N. (1986). *Zakony fizyky* [Laws of physics]. Moscow: "Higher school", 337 p. (in Russian)
5. Kalapusha, L.R., Savosh, V.K., & Martynyuk, O.R. (2000). Orhanizatsiya samostiyanoi roboty uchniv z fizyky na osnovi vykorystannya metodu modelyuvannya [Organization of independent work of students from physics on the basis of the use of method of design]. *Physics and astronomy at school*, no. 1, pp. 17–18.
6. Konoval, O.A., & Shvydkyy, O.V. (2004). Vlastyivosti i modelyuvannya elektromahnitnoho polya rukhomoyi zaryadzenoyi chastynky [Properties and designs of the electromagnetic field of the movable charged particle]. *Proceedings of the Materials of IX of the Allukrainian scientific conference "Fundamental and professional preparation of specialists on physics" Ukraine, Kyiv* / uklad.: M.I. Shut, T.H. Sichkar. Kyiv: NPU, p. 52.
7. Konoval, O.A. (2001). Mahnitne pole i strumy zmishchennya postiynykh strumiv [The magnetic field and currents of displacement of direct currents]. *Teoriya ta metodyka navchannya matematyky, fizyky, informatyky: Zbirnyk naukovykh prats': V 3-kh tomakh. Kryvyy Rih: Vydavnychy viddil KDPU. V. 2: Teoriya ta metodyka navchannya fizyky*, pp. 169–172.
8. Konoval, O.A. (2002). Osoblyvosti metodyky formuvannya ponyattya “mahnitne pole” [Features of methodology of forming of concept "the magnetic field"]. *Physics and astronomy at school*, no. 3, pp. 24–26.
9. Savchenko, M.O. (2004). *Rozvyazuvannya zadach z fizyky* [Unting of tasks from physics]. Ternopil': Navchalna knyha – Bohdan, 504 p.
10. Chudynov, E.M. (1981). Ekvyvalentnye opysanyya y problema ystyny v fizyke [Equivalent descriptions and problem of truth in physics]. *Methodological problems of physics* (Collection of reasons, sulphurs. "Physics", no. 1). Moscow: Knowledge, 64 p.
11. Fizyka 11 klas. Elektrodynamiky. Rozdil 2. Elektromahnitne pole § 12. Vzayemodiya strum iv. Mahnitne pole. Diya mahnitnoho polya na providnyk zi strumom [Physics 11 class of Electrodynamics Division 2 the Electromagnetic field §12. Cooperation of currents. Magnetic field. Operating of magnetic paul on explorer with current]. Retrieved from: <http://www.subject.com.ua/textbook/physitss> (accessed 10 May 2020).