

С. В. Дембіцька¹, В. П. Сергієнко²*Кам'янець-Подільський національний університет**²Національний педагогічний університет імені М. П. Драгоманова***АКТИВІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНО-ПІЗНАВАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СТУДЕНТІВ ВНЗ I-II РІВНІВ АКРЕДИТАЦІЇ ПРИ ВИВЧЕННІ ТЕМИ «ОСНОВИ ТЕОРІЇ ВІДНОСНОСТІ»**

В статті розглядаються особливості вивчення теми «Основи теорії відносності» у ВНЗ I-II рівнів акредитації. Проаналізовані основні помилки, які допускають учні під час вивчення даної теми та наведені можливі шляхи їх подолання.

Ключові слова: теорія відносності, релятивістський ефект, інерціальна система відліку.

Вивчення фізики є важливим засобом пізнання та всебічного розвитку учнів, формування в них наукового світогляду.

Завданнями учителя в умовах профільного навчання можна вважати:

- ✓ розкриття значення фізичних методів у формуванні наукового світогляду, сучасної фізичної картини світу;
- ✓ висвітлення ролі теоретичних напрацювань як наукової основи технічного прогресу;
- ✓ демонстрація конкретного застосування фізики в побуті та усвідомлення учнем місця фізичних знань серед системи інших наук;
- ✓ озброєння учнів не лише практичними вміннями, що допоможуть оволодіти майбутнім фахом, а й засобами пошуку та використання інформації з різних джерел, мотивації до самоосвіти, розвитку кругозору, пізнавального інтересу та інтелектуальних здібностей;
- ✓ пояснення впливу розвитку суспільства на стан навколишнього середовища, природні ресурси;
- ✓ формування екологічної культури людини, науково обгрунтованого ставлення до природи як до вищої та загальнолюдської цінності.

Програма з фізики для ВНЗ I-II рівнів акредитації передбачає виклад основ теорії відносності, причому весь матеріал викладається в ознайомлювальному плані. У навчальній і методичній літературі зустрічається декілька варіантів викладання даної теми, розрахованих на різну кількість годин. Однак методика викладання елементів теорії відносності в середніх спеціальних навчальних закладах при обмежених ресурсах навчального часу дотепер практично не розроблена.

Основне завдання вивчення фізики – пізнавальне. Вона полягає у тому, що ми формуємо в учнів поняття про природно-наукову картину навколишнього світу. Але крім чисто теоретичної, світоглядної ролі фізика виконує ще важливі функції прикладного характеру. У середніх спеціальних навчальних закладах на відміну від загальноосвітньої школи прикладна роль фізики істотно зростає. Так само як фізика є теоретичною базою техніки, так і курс фізики стає теоретичною базою ряду спеціальних дисциплін.

Теорія відносності є фізичною теорією простору й часу. Виникнення цієї теорії викликало повний переворот у фізичному світогляді, у розумінні таких фундаментальних понять, як простір і час, маса й енергія, абсолютність і відносність і т.д. Змінилося розуміння механізмів взаємодії: зокрема, виявилось, що магнітна взаємодія є релятивістським ефектом, який проявляється при будь-яких, навіть як заведено малих швидкостях. Очевидно, що студентів у тій або іншій формі варто познайомити з цією теорією, інакше неможливо буде сформувати в них правильне розуміння сучасної фізичної картини світу.

Виникнення теорії відносності уперше поставило гостро проблему істинності фізичної теорії, визначення області й меж її застосовності. Але не менш важливий і практичний аспект теорії відносності. Її основні положення давно вже перестали бути надбанням «чистої науки», як це було на початку її створення. Вони лежать в основі сучасної прискорювальної техніки, фізики ядра й елементарних частинок, ядерної енергетики, квантової оптики, електроди-

наміки. Для фахівців, що працюють у зазначених галузях науки й техніки, основні ідеї й положення теорії відносності так само прості й повсякденні, як закони ньютонівської механіки для конструктора літаків, а принципи термодинаміки – для теплотехніка.

Всі положення теорії відносності експериментально підтверджені. До їх числа відносяться, наприклад, залежність маси від швидкості, що перевіряється при роботі релятивістських прискорювачів (бетатронів, синхрофазотронів і т.д.); зв'язок між масою й енергією, що систематично підтверджується роботою ядерних електростанцій, а також інших ядерних реакцій, що відбуваються в численних лабораторіях; релятивістські ефекти уповільнення часу перевірені з величезною точністю при дослідженні розпаду мезонів, гіперонів і інших нестабільних частинок; ефект уповільнення часу перевірений також прямим експериментом за допомогою атомних годин. Все це дозволяє стверджувати, що теорія відносності з трохи парадоксальної на перший погляд гри розуму затвердилася як теоретично бездоганна й повністю виправдала себе на практиці фізична теорія, яка є частиною нашого сучасного світорозуміння, частиною сучасної фізичної картини світу. Тому вона повинна зайняти належне їй місце й у практиці викладання фізики.

Основні труднощі викладання ідей теорії відносності полягають у парадоксальності ряду її положень. Подолання цього психологічного бар'єру, безумовно викликає певні ускладнення.

Однак у цьому винна не стільки сама теорія відносності, скільки незадовільна методика її викладання. Справді, якщо певне положення вводиться без належного обгрунтування, чисто догматично, і виявляється, що це положення суперечить звичним уявленням, то людина дійсно виявляється в парадоксальній ситуації.

Розглянемо як приклад питання про довжину стержня, розташованого паралельно напрямку руху системи відліку. Звичайними є твердження «довжина стрижня, що рухається, менша довжини стрижня, який знаходиться в стані спокою» і «довжина стрижня залежить від швидкості його руху». Однак якщо не пояснити зміст, який ми вкладаємо в термін «довжина», якщо не з'ясувати процедуру вимірювання довжин, то інформація про скорочення довжини може привести тільки до здивування.

Більше того, справедливим є й інше міркування, діаметрально протилежне попередньому. Відповідно до принципу відносності, всі інерціальні системи відліку рівноправні; отже, з якою б швидкістю не рухалася система відліку й стрижень, що перебуває в ній, властивості останнього залишаються незмінними – інакше, спостерігаючи за поведінням стержня, можна було б виявити рух системи відліку шляхом спостережень усередині самої цієї системи. А це суперечить принципу відносності. Звідси можна зробити висновок, що в яку б систему відліку ми не помістили стержень, його довжина повинна залишатися незмінною.

Виявляється, що обидва твердження – про скорочення довжини й про незмінність довжини, – незважаючи на суперечливість, є абсолютно справедливими, а парадокс виникає через нечіткі формулювання: у першому випадку, говорячи про «скорочення довжини», ми маємо на увазі релятивістську довжину, тобто довжину стрижня, що рухається, яка вимірюється нерухомою лінійкою; у другому випадку, стверджуючи, що в будь-якій системі відліку стрижень залишається тим самим, ми мали на увазі його

власну довжину, тобто довжину, яка вимірюється за допомогою лінійки, нерухомою щодо стрижня, а ця довжина дійсно є інваріантом.

З цих міркувань видно, що про релятивістські ефекти не можна говорити скоромовкою, тим більше не можна підкреслювати парадоксальність релятивістських положень: у теорії відносності ніяких парадоксів немає, а парадокси виникають лише при нестрогому й нелогічному викладанні матеріалу. Якщо чітко сформулювати основні положення, визначити основні поняття, логічно й доступно вивести наслідки, ніякі парадокси не виникнуть.

Отже, незважаючи на обмеженість часу, що відводиться на вивчення теорії відносності (4-6 годин), цей матеріал повинен викладатися не фрагментарно, а послідовно й логічно, як і будь-яка фізична теорія. Повинен бути показаний емпіричний базис теорії, її основні постулати, її логіка й евристичні можливості на прикладі висновку основних наслідків.

Друга причина гаданої парадоксальності релятивістських положень полягає в тому, що вони нібито суперечать повсякденному досвіду, закріпленому в положеннях ньютонівської механіки. Тут вихід з положення можливий за допомогою пояснення того факту, що в граничному випадку малих швидкостей (тобто швидкостей, які набагато менші за швидкість світла у вакуумі) всі формули теорії відносності автоматично перетворюються у формули ньютонівської механіки. Тим самим встановлюється відповідність між обома теоріями. Виявляється, що ньютонівська механіка – цілком строга теорія, однак за межами застосовності вона дає неправильні результати й повинна бути замінена іншими теоріями – релятивістською і квантовою, які теж мають свої межі застосовності.

Таким чином, аналіз співвідношення між теорією відносності й ньютонівською механікою усуває друге джерело непорозуміння, які виникають у процесі навчання. Водночас учні одержують серйозний гносеологічний урок, що є істотним внеском у процес формування фізичної картини світу.

З викладеного вище можна зробити висновок, що вивчення теорії відносності можливе лише при детальному й докладному викладанні навчального матеріалу. Але це перебуває в явній неузгодженості з реальними можливостями курсу фізики в середніх спеціальних навчальних закладах, де на вивчення елементів теорії відносності відведене невелика кількість годин.

Ми вважаємо, що, незважаючи на недолік часу, викладач на заняттях повинен детально формулювати основні положення й чітко виводити наслідки, які випливають із них, оскільки основний зміст вивчення теорії відносності полягає не стільки в кінцевих результатах (їх можна знайти в будь-якому довіднику), а саме у висновках і міркуваннях. Тому ми вважаємо неприпустимим введення будь-яких формул без обґрунтування й детального обговорення змісту отриманого результату. Але звідси неминуче випливає необхідність різко скоротити об'єм матеріалу, що вивчається.

Виходячи з цього, ми вважаємо неможливим у ВНЗ І-ІІ рівнів акредитації будувати виклад релятивістської кінематики на базі перетворень Лоренца, хоча це найбільш логічна система викладання матеріалу. Із цих же міркувань ми не бачимо можливості використати методу, яка ґрунтується на геометричній інтерпретації перетворень Лоренца або на використанні поняття часового-просторово-тимчасового інтервалу. Через обмеженість навчального часу студенти не зможуть сприйняти суть цих принципово нових для них методів і навчитися ними користуватися.

Таким чином, ми вважаємо доцільним викладати матеріал тільки на основних положеннях – принципі відносності й принципі інваріантності швидкості світла у вакуумі – і на аналізі таких понять, як швидкість, час, довжина, маса, енергія, основа яких студентам доступна й потрібно лише уточнити їх зміст із релятивістських позицій.

Більші складнощі виникають при аналізі проблеми відносності одночасності. Хоча це питання і є принципово важливим, досить сумнівна доцільність його вивчення в середніх спеціальних навчальних закладах. Відмова від

аналізу поняття одночасності вимагає нового підходу до проблеми вимірювання довжини.

Доцільно розподілити весь матеріал на дану кількість годин, для того щоб на кожному занятті залишити час для обговорення результатів і розв'язування якісних завдань з метою закріплення вивчених понять. Наведемо розподіл навчального матеріалу по заняттях, який ми використовуємо:

Заняття 1. Принцип відносності Галілея. Закон додавання швидкостей у ньютонівській механіці. Інваріантність швидкості світла у вакуумі. Основні положення спеціальної теорії відносності. Закон додавання швидкостей у теорії відносності. Перехід до ньютонівської механіки. Принцип відповідності. Граничність швидкості світла у вакуумі.

Заняття 2. Відносність одночасності. Відносність проміжків часу. Власний час. Інваріантність поперечних і відносність поздовжніх розмірів. Власна довжина.

Заняття 3. Граничність швидкості світла й другий закон Ньютона. Релятивістська маса й імпульс. Власна маса (маса спокою). Релятивістське формулювання другого закону Ньютона. Повна енергія вільної частинки. Енергія спокою й кінетична енергія. Взаємозв'язок маси й енергії. Дефект маси. Маса й імпульс випромінювання.

Далі розглянемо методику проведення вище вказаних занять.

Заняття 1. Повторення принципу відносності Галілея повинне супроводжуватися аналізом ролі системи відліку в описі руху й з'ясуванням рівноправності всіх інерціальних систем відліку. Як приклад однієї з інерціальних систем відліку вибираємо Землю, у якості іншої – тіло, яке рухається рівномірно й прямолінійно відносно Землі (наприклад, автомобіль). Надалі доцільно систематично оперувати системами відліку «Земля» і «тіло», що значно наочніше, ніж введення абстрактних систем відліку K і K_1 .

Необхідно дати кілька різних формулювань принципу відносності, звернувши увагу на еквівалентність всіх формулювань. Варто звернути увагу на неможливість виявлення руху інерціальної системи відліку за допомогою спостережень всередині самої системи відліку. Не менш важливо звернути увагу на повну рівноправність усіх інерціальних систем відліку, показавши, що з цього, як наслідок, випливає те, що у всіх інерціальних системах відліку механічні процеси при тих самих початкових умовах протікають однаково, тому описуються однаковими законами – законами Ньютона.

Показавши на деяких прикладах відповідність цих результатів експерименту, поставимо проблемне запитання: чи можна застосувати отримані результати до електродинаміки, зокрема до поширення електромагнітних хвиль? Підкреслимо, що відповіді на це запитання може тільки експеримент. Посилаючись на результати досвіду А. Майкельсона й ряд інших експериментів, вкажемо, що у всіх дослідах швидкість світла у вакуумі виявилася однієї й тією ж незалежно від стану руху джерела світла або приладу, що реєструє. Звідси випливають принципові висновки:

Принцип відносності Ейнштейна: у всіх інерціальних системах відліку явища природи протікають однаково й описуються однаковими законами.

Принцип інваріантності швидкості світла: у всіх інерціальних системах відліку швидкість світла у вакуумі однакова.

Отриманий у ньютонівській механіці закон додавання швидкостей суперечить дослідному факту інваріантності швидкості світла. Вкажемо, що й 1905 р. А. Ейнштейн, ґрунтуючись на двох сформульованих вище принципах, побудував нову фізичну теорію – спеціальну теорію відносності. Однак для цього йому довелося переглянути попередні висновки про властивості простору й часу й створити нову, релятивістську кінематику й динаміку.

Звернемо увагу на те, що принцип відносності Ейнштейна й принцип інваріантності швидкості світла є узагальненням результатів експерименту. Вони не суперечать один одному, але несумісні з ньютонівською механікою, зокрема із класичним законом додавання швидкостей. От-

же, необхідно одержати новий закон додавання швидкостей для релятивістської механіки.

Заняття 2. Розглядаючи проблему відносності поняття одночасності двох подій, варто показати, що це наслідок основних постулатів. Найбільш доцільним підходом до цього питання є використання уявного експерименту А. Ейнштейна з поїздом, що рухається.

При аналізі відносності проміжків часу між двома подіями варто звернути увагу на те, що однаково налаштовані годинники, розташовані в різних інерціальних системах відліку йдуть однаково – хід годинника не залежить від швидкості інерціальної системи відліку. Однак проміжок часу між двома подіями, вимірюється годинниками, розташованими в різних інерціальних системах відліку, виявляється різним. Це й означає відносність проміжку часу між двома подіями.

Варто звернути увагу студентів на реальність цього ефекту, що спостерігається в експериментах з розпаду елементарних частинок наприклад гіперонів і мезонів. Для закріплення матеріалу можна рекомендувати студентам провести міркування, помістивши «світлові годинники» в інерціальній системі відліку «тіло». Для закріплення можна розглянути деякі завдання. Насамперед можна запропонувати студентам довести, що якби для світла був справедливий класичний закон додавання швидкостей, то світлові годинники, які рухаються, покажуть той же час, що й нерухомі. Дійсно, тут:

$$\tau = \frac{2l}{\sqrt{c^2 + v^2}} = \frac{2\sqrt{h^2 + d^2}}{\sqrt{c^2 + v^2}} = \frac{2\sqrt{h^2\tau_0^2/4 + v^2\tau_0^2/4}}{\sqrt{c^2 + v^2}} = \tau_0.$$

Далі, корисно розрахувати вповільнення часу, наприклад у космічному кораблі.

Звідси слідує, що в макроскопічних установках виявити вповільнення часу дуже важко, потрібен годинник з дуже високою точністю ходу. Таку властивість мають цезієві годинники. З їхньою допомогою й був проведений експеримент на літаку, що облетів навколо Землі. Виявлене експериментально вповільнення часу добре узгоджується з теоретичним значенням.

Заняття 3. Аналіз проблеми маси можна почати з повторення другого закону Ньютона, розглянувши найпростіше завдання руху тіла під дією постійної сили (наприклад, зарядженої частки в однорідному електричному полі). Відповідно до законів ньютонівської механіки, тіло буде рухатися рівноприскорено. Вкажемо також, що спроба розрахувати швидкість частинок, що розганяються у сучасних прискорювачах, за формулами ньютонівської механіки проводить до результатів, які розходяться з експериментом. У дослідах швидкість часток ніколи не перевершує швидкість світла. Цей результат можна пояснити, припустивши, що маса тіла зростає з ростом його швидкості. При наявності часу неважко показати, що другий закон Ньютона в релятивістській формі приводить до правильного результату при виконанні завдання про рух тіла під дією постійної сили.

Важливо звернути увагу учнів на те, що енергія спокою (і відповідно маса спокою) тіла або системи тіл не є інваріантом, що при різного роду процесах і реакціях енергія спокою (внутрішня енергія) перетворюється в кінетичну енергію продуктів реакції та в енергію випромінювання, тобто енергію електромагнітних хвиль.

Щоб проілюструвати цю ідею, можна розглянути приклад якої-небудь ядерної реакції, наприклад реакції α -розпаду радію, оскільки тут не народжуються додаткові частинки. Тут непотрібно вводити поняття атомної одиниці маси й обчислювати енергію в мегаелектронвольтах, до цього питання потрібно буде повернутися при вивченні ядерної фізики. На даному занятті досить зрівняти масу кінцевих продуктів реакції з масою вихідної частки. Маса спокою ядра радію більша, ніж сума мас спокою ядра ра-

дону й α -частинки. Отже, при даній реакції частина енергії спокою ядра радію (тобто його внутрішня енергія) перетворилася в кінетичну енергію продуктів розпаду.

Прикладом перетворення енергії спокою в енергію випромінювання може бути реакція перетворення водню в гелій. Природно, що тут не місце розглядати механізм термоядерної реакції, потрібно лише оцінити енергетичний баланс. Необхідно вказати, що джерелом енергії Сонця й зірок є саме реакція перетворення водню в гелій.

Як показує практика викладання, студенти недостатньо усвідомлюють зв'язок спеціальної теорії відносності з класичною фізикою. Необхідно визначити, що зв'язок між вказаними фізичними теоріями викликаний тим, що спеціальна теорія відносності є наступним після класичної фізики етапом пізнання фізичної картини світу. У спеціальній теорії відносності використовується поняття інерціальних систем відліку, як і в класичній фізиці, хоча просторово-часові уявлення спеціальної теорії відносності і класичної фізики принципово відрізняються. Якщо в класичній фізиці для всіх систем відліку існує єдиний (абсолютний) простір і єдиний (абсолютний) час, то в спеціальній теорії відносності кожна інерціальна система відліку пов'язана із власним часом і простором. Просторовий і часовий інтервали двох подій у класичній фізиці не залежать від системи відліку, тоді як у спеціальній теорії відносності вони в різних системах відліку неоднакові. Спеціальна теорія відносності оперує релятивістськими поняттями та величинами, які не використовуються в класичній фізиці (маса спокою, енергія спокою, релятивістська маса, релятивістський імпульс тощо). Незважаючи на це, між класичною фізикою і спеціальною теорією відносності існує глибокий зв'язок, а саме: класична фізика і спеціальна теорія відносності виходять з однакових властивостей простору. Спеціальна теорія відносності використовує поняття і величини класичної фізики, з яких деякі не змінюються, а деякі зазнають змін згідно з релятивістськими ефектами. Крім суто релятивістських законів, які не мають змісту в класичній фізиці, у спеціальній теорії відносності є закони, які є узагальненням законів збереження класичної фізики. Зокрема, закон збереження енергії у спеціальній теорії відносності є ширшим за змістом, ніж у класичній фізиці, оскільки він стверджує збереження повної енергії замкненої системи і збереження її повної маси, тобто об'єднує два класичних закони – збереження маси і енергії. Висвітлюючи зв'язок спеціальної теорії відносності з класичною фізикою необхідно також зазначити, що закони класичної фізики є граничним випадком аналогічних законів спеціальної теорії відносності при $\frac{v}{c} \ll 1$.

Список використаних джерел:

1. Заботин В.А. Развитие мышления учащихся при изучении физики // Физика в школе. – 2003. – № 6. – С. 24-29.
2. Ивкович А.С. Элементы рыночной экономики на уроках физики // Физика в школе. – 2005 – №3 – С.19-23
3. Самойленко П.И. Повышение эффективности обучения физики: Учебно-методическое пособие. – М: Высш. шк., 1993.
4. Сергієнко В.П. Інтеграція фундаментальності та професійної спрямованості курсу загальної фізики у підготовці сучасного вчителя: Монографія. – К.: НПУ, 2004. – 382 с.

Some peculiarities of teaching the theme «Basis of the Theory of Relativity» in high educational I-II level of accreditation are considered in the article. Attention is paid on the typical students' mistakes during studying the theme and ways of overcoming are pointed.

Key words: theory of relativity, the typical students' mistakes, educational I-II level of accreditation.

Отримано: 15.05.2008