

у роботі над курсом фізики, а і використанні набутих навичок в подальшій своїй педагогічній праці [5].

Особливість вивчення фізики у ВНЗ полягає в тому, що студенти мають оволодіти системою вмінь і навичок, які б давали можливість ефективно передавати знання наступним поколінням, виховувати в них допитливість, інтерес до знань, любов до творчої праці. Вивчення теоретичного матеріалу супроводжується формуванням умінь їх застосування для аналізу та розрахунку параметрів перебігу механічних процесів, а також виробленню навичок експериментальної реалізації різних видів руху, вивчення їх особливостей та перевірки основних законів. Вимоги модульної організації професійної освіти орієнтовані на розвиток у студентів вміння самостійно працювати. Самостійна робота передбачає поглиблення теоретичних знань, аналіз сучасного стану використання фізики для практичних потреб людства та тренування у застосуванні теоретичних моделей до пояснення різних механічних явищ. Самостійна робота формує і розвиває спеціальні і загально навчальні вміння, які складають основу майбутньої професійної діяльності.

У процесі вивчення курсу загальної фізики має сформуватись уявлення про особливу роль фізики, яка визначається предметом вивчення оточуючого світу, де розкривається зміст матерії і форм її рухів, простору і часу як форми існування матерії, взаємозв'язок і взаємоперетворюваність видів матерії і рухів, єдність матеріального світу. В цьому полягає важливе методологічне і світоглядне значення вивчення курсу загальної фізики. На основі вивчення класичної і сучасної фізики, розкриття фізичних понять і означень фізичних величин, змісту моделей, законів, принципів, теорій формується цілісна сучасна фізична картина світу [3].

Сучасний вчитель покликаний бути носієм загальнолюдських цінностей, знати національні та історичні традиції народу, особливості середовища в якому виховуються діти, володіти фундаментальними знаннями в галузі своєї спеціалізації, бути підготовленим до наукової розробки стратегії освіти в конкретних умовах, до вибору і реалізації нової педагогічної концепції і системи. Все це ставить нові, більш високі вимоги до професійно-педагогічної підготовки вчителів. Навчання у вищому навчальному закладі повинно забезпечувати як професійний, так і особистісний розвиток спеціаліста, бути орієнтованим на формування його творчої індивідуальності [7].

«...Підготовка вчителів – це дуже складна справа, і все ж таки сільська вчителька допомогла розвинути мої математичні здібності» – говорив академік М.М.Боголюбов.

Список використаних джерел:

1. Булавін Л.А., Чолпан П.П., Яцук В.М. Державні освітні стандарти – основа безперервної фізичної освіти // Збірник

наукових праць Кам'янець-Подільського державного університету. Серія педагогічна. Випуск 10. – Кам'янець-Подільський: інформаційно-видавничий відділ, 2004. – С.63-66.

2. Кучменко О.М., Касперський А.В. Структура та система вивчення фізико-технічних дисциплін в вищій педагогічній школі України // Матеріали всеукраїнської конференції «Актуальні проблеми вивчення природничо-математичних дисциплін у загальноосвітніх навчальних закладах України». – К.: Київський університет імені Тараса Шевченка, 1999. – С.77.
3. Нісінчук А.С., Падалка О.С., Шнак О.Т. Сучасні педагогічні технології: Навчальний посібник. – К.: Просвіта. Пошуково-видавниче агентство «Книга Пам'яті України», 2000. – 368 с.
4. Пасічник Ю.А. Проблеми вивчення курсу загальної фізики у педагогічних університетах України // Матеріали всеукраїнської конференції «Актуальні проблеми вивчення природничо-математичних дисциплін у загальноосвітніх навчальних закладах України». – К.: Київський університет імені Тараса Шевченка, 1999. – С.84.
5. Сумський В.І., Тичук Р.Б. Нові інформаційні технології при вивченні фізики // Матеріали всеукраїнської конференції «Актуальні проблеми вивчення природничо-математичних дисциплін у загальноосвітніх навчальних закладах України». – К.: Київський університет імені Тараса Шевченка, 1999. – С.82-83.
6. Чепок О.Л. Вивчення фізики – запорука науково-технічного прогресу держави // Матеріали всеукраїнської конференції «Актуальні проблеми вивчення природничо-математичних дисциплін у загальноосвітніх навчальних закладах України». – К.: Київський університет імені Тараса Шевченка, 1999. – С.79.
7. Шкіль М.І. Проблеми підготовки вчителів-предметників // Матеріали всеукраїнської конференції «Актуальні проблеми вивчення природничо-математичних дисциплін у загальноосвітніх навчальних закладах України». – К.: Київський університет імені Тараса Шевченка, 1999. – С.75.
8. Шут М.І. Удосконалення професійної підготовки вчителів фізики // Матеріали всеукраїнської конференції «Актуальні проблеми вивчення природничо-математичних дисциплін у загальноосвітніх навчальних закладах України». – К.: Київський університет імені Тараса Шевченка, 1999. – С.81-82.

In the article there are the considered problems of study of physics in higher educational establishments, questions of improvement of professional preparation of teachers of physics, new information technologies at the study of physics.

Key words: professional preparation, specialist, teacher, physics, establishment of education, new information technologies.

Отримано: 10.03.2006.

УДК 378.14.853+378.14.026:53

В.І. Нечет

Запорізький національний університет

ТЕОРІЯ ГРАВІТАЦІЇ В ЗМІСТІ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ ПІДГОТОВКИ УЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ: РЕЛЯТИВІСТСЬКА ТЕОРІЯ

Аналізується проблема включення релятивістської теорії гравітаційного поля в структуру фундаментальної підготовки з фізики майбутніх учителів. Обговорюються методичні особливості викладання цієї теорії.

Ключові слова: теорія гравітаційного поля, методика навчання, вчитель фізики.

В роботі [1] ми в рамках особистісно-типологічного підходу в дидактиці фізики вищої педагогічної школи (див., наприклад, [2-5]) обґрунтували необхідність вивчення майбутніми вчителями фізики як нерелятивістської теорії гравітації (НТГ), так і релятивістської – загальної теорії відносності (ЗТВ). Там представлена програма відповідного курсу «Теорія гравітації», висвітлені методологічні орієнтири розбудови професійної доцільних методик викладання курсу та проаналізовані особливості методики вивчення студентами модуля НТГ.

Ця стаття (яка є ідейним продовженням статті [1]) ставить за мету розбудову методики викладання ЗТВ для

майбутніх учителів фізики. При цьому основна увага буде приділена отриманню фундаментальних законів ЗТВ – рівнянь Ейнштейна.

Методична складність вивчення студентами ЗТВ полягає в тому, що, з одного боку, доцільно вивчати її закони на точному кількісному рівні, а з іншого боку, для цього необхідно “продертися” через досить складні математичні “хащі” тензорного аналізу у чотиривимірному викривленому просторі. Довготривалість цього процесу та необхідність значних інтелектуальних зусиль є реальною загрозою для студента “не побачити за деревами лісу”. Щоб уникнути останнього необхідно чітко структурувати матеріал на

доцільне число змістовних модулів і на всіх етапах вивчення тримати в голові ідейну сторону громіздкого процесу, яку попередньо треба твердо засвоїти у формі орієнтуючого плану дій.

На першому етапі необхідно на основі принципу універсальності вільного падіння (чи принципу рівності гравітаційної й інертної мас) [1] розкрити глибоку фізичну аналогію між гравітаційними силами і силами інерції. Нагадаємо, що силами інерції називається ті додаткові (до заданих в інерційних системах відліку (ICB) звичайних фізичних сил) сили, що виникають тільки за рахунок прискореного руху системи відліку, коли остання використовується при описанні фізичних явищ. Іншими словами, сили інерції виникають лише тоді, коли використовуються неінерціальні системи відліку (НСВ). З механіки відомо, що якщо НСВ рухається (по відношенню до ICB) з прискоренням \vec{a}_S , то сила інерції \vec{F}_i , що виникає в цій НСВ, дорівнює

$$\vec{F}_i = -m^{(i)} \cdot \vec{a}_S \quad (1)$$

де $m^{(i)}$ – інертна маса матеріальної точки, на яку діє в НСВ сила інерції \vec{F}_i . Таким чином, для описання за допомогою законів Ньютона руху матеріальної точки під дією заданої (у ICB) сили \vec{F} , за умови, що цей рух розглядається з погляду НСВ, необхідно до \vec{F} векторно додати силу інерції \vec{F}_i , тобто робити заміну $\vec{F} \rightarrow \vec{F} + \vec{F}_i$ (при цьому закони механіки збережуть свою звичну форму). З (1) видно, що сила інерції \vec{F}_i має напрямок, протилежний прискоренню \vec{a}_S НСВ. Для виявлення аналогії між силами гравітації й інерції, доцільно розглянути два уявних експерименту з так званими "ліфтами Ейнштейна" – закритими непроникно для зору лабораторіями, у яких експериментатори вивчають механічні явища, наприклад, рух матеріальної точки. Нехай один такий ліфт перебуває у спокої на поверхні Землі, а інший рухається в космічному просторі (де немає гравітаційного поля Землі) по напрямку від Землі з прискоренням $\vec{a}_S = -\vec{g}_3$ (\vec{g}_3 – прискорення вільного падіння в поверхні Землі – воно спрямовано по радіусу Землі до її центра); перший ліфт – це ICB, другий – НСВ. Перший експериментатор фіксує, що на матеріальну точку діє сила тяжіння Землі $\vec{F} = m^{(ep)} \cdot \vec{g}_3$; для другого експериментатора ця сила $\vec{F} = 0$, тому він фіксує, що на таку ж матеріальну точку діє сила $\vec{F} + \vec{F}_i = 0 + (-m^{(i)} \cdot \vec{a}_S) = m^{(i)} \cdot \vec{g}_3 = m^{(ep)} \cdot \vec{g}_3$. Таким чином, у другому ліфті, у якому немає істинного гравітаційного поля, експериментатор у силу $m^{(i)} = m^{(ep)}$ фіксує точно таку силу, яку спостерігає перший експериментатор, тому він може зробити висновок, що його ліфт також перебуває у стані спокою, знаходячись у полі тяжіння Землі. Іншими словами, сили інерції "імітують" сили гравітації, чи можна сказати так: рух тіл під дією гравітаційного поля з точки зору ICB відбувається по таким же законам, як і їхній рух без наявності істинного гравітаційного поля, але з погляду відповідним чином прискореної НСВ. Уявлення про фізичну аналогію (еквівалентність) сил інерції і гравітації можна поглибити, якщо розглянути ще один уявний дослід. Нехай ліфт вільно падає у деякому постійному гравітаційному полі з прискоренням вільного падіння \vec{g} . Тоді на матеріальну точку в цьому ліфті діють дві сили: гравітаційна сила $\vec{F} = m^{(ep)} \cdot \vec{g}$ і сила інерції $\vec{F}_i = -m^{(i)} \cdot \vec{g}$; результуюча сила буде дорівнювати $\vec{F} + \vec{F}_i = m^{(ep)} \cdot \vec{g} - m^{(i)} \cdot \vec{g} = 0$ в силу $m^{(ep)} = m^{(i)}$, тому матеріальна точка з погляду неінерціального спостерігача в ліфті буде вільною, тобто рухатися в ліфті по інерції (буде покоїтися відносно ліфта чи рухатися відносно нього з постійною швидкістю). Це означає, що гравітаційне поле у вільно падаючій НСВ "знищується" (компенсується) силовим полем інерції, і що вільно падаюча НСВ є інерціаль-

ною СВ у тому розумінні, що закони механіки в цій системі формулюються так само як і в звичайній ICB без наявності гравітаційного поля.

Тут, однак, необхідно відзначити, що повної тотожності (повної аналогії) між довільним гравітаційним полем і полем сил інерції прискореної НСВ немає. Справа в тім, що поле сил інерції (1) є або однорідним, або неоднорідність його дуже специфічна (наприклад, у НСВ, яка рівномірно обертається, відцентрова сила інерції $\vec{F}_i = -m[\vec{\omega}, [\vec{\omega}, \vec{r}]]$ має специфічну, цілком визначену залежність від \vec{r}). Тому істинні гравітаційні поля, що у загальному випадку є довільно неоднорідними полями, еквівалентні полям сил інерції відповідних НСВ лише локально (тобто лише в нескінченно малих об'ємах простору). Локальну еквівалентність сил гравітації й інерції ми будемо враховувати тим, що надалі при описанні гравітаційного поля будемо користатися локальними вільно падаючими НСВ – лише в таких системах сили інерції компенсують сили гравітації. Уточнюючи тепер результати обговорення уявних дослідів з ліфтами Ейнштейна й узагальнюючи ці результати на довільні гравітаційні поля, ми можемо стверджувати:

1) гравітаційне поле локально еквівалентне прискореній НСВ, тобто гравітаційне поле локально не можна відрізнити від поля сил інерції відповідної НСВ. Іншими словами, усі локальні механічні процеси в істинному гравітаційному полі протікають згідно таких же законів, згідно яких ці процеси протікають у локальній прискореній НСВ, що імітує це гравітаційне поле. Сформульоване твердження називається *слабким принципом еквівалентності* (слабким ПЕ). Ейнштейн узагальнив цей принцип (який насправді є інше формулювання принципу універсальності вільного падіння) на усі фізичні (а не лише механічні) явища. Узагальнений принцип еквівалентності називається *сильним принципом еквівалентності* (сильним ПЕ), і він проголошує: усі фізичні (у тому числі й гравітаційні) процеси в дійсному гравітаційному полі і в локальній прискореній НСВ протікають згідно однакових законів. Відповідно до цього ПЕ, для розбудови фізичних теорій, у яких враховується гравітаційна взаємодія об'єктів, достатньо розбудувати такі теорії в локальних прискорених НСВ (у цьому випадку гравітаційна взаємодія буде враховано автоматично);

2) аналіз результатів дослідів з вільно падаючим у гравітаційному полі ліфтом Ейнштейна дозволяє дати інше (еквівалентне приведенню вище) формулювання ПЕ, у якому використовується поняття локальної вільно падаючої НСВ. Дійсно, будемо проводити якийсь (той самий) механічний експеримент у різних локальних НСВ, що вільно падають у всіляких досліджуваних гравітаційних полях. Зрозуміло, що фізичні умови у цих НСВ будуть однаковими (тому що у всіх цих НСВ гравітаційні поля будуть скомпенсовані ("знищені") відповідними полями сил інерції), тому і результат проведеного механічного експерименту буде тим самим у всіх розглянутих НСВ, тобто у всіх розглянутих гравітаційних полях. Таким чином, ми приходимо до наступного формулювання слабкого ПЕ: результат будь-якого механічного експерименту, проведеного в локальній вільно падаючій НСВ, не залежить від того, у якому гравітаційному полі цей експеримент проводиться (тобто не залежить від того, де і коли у Всесвіті цей експеримент проводиться, і не залежить від швидкості цієї НСВ). Відповідно, узагальнюючи слабкий ПЕ на будь-які фізичні експерименти одержуємо формулювання сильного ПЕ: результат будь-якого гравітаційного чи негравітаційного експерименту, проведеного в локальній вільно падаючій НСВ, буде однаковим в усіх гравітаційних полях, у яких цей експеримент проводиться (тобто цей результат не залежить від того, де і коли у Всесвіті цей експеримент проводиться, і не залежить від швидкості НСВ). Іншими словами, *усі локальні вільно падаючі в будь-яких гравітаційних полях НСВ фізично рівноправні* (тобто всі закони фізики в таких НСВ формулюються однаково). Це формулювання ПЕ є власне кажучи узагальненням спеціального принципу відносності

СТВ на той загальний випадок, коли поряд з іншими фізичними взаємодіями (наприклад, сильною, слабкою, електромагнітною) необхідно істотно врахувати і гравітаційну взаємодію (зокрема, теорія гравітації повинна будуватися на основі ПЕ). Тому ПЕ в приведеному формулюванні можна назвати *загальним принципом відносності*, а теорію гравітації, засновану на цьому принципі, можна назвати загальною теорією відносності (на протилугу спеціальному принципу відносності і спеціальній теорії відносності).

Так як довільне гравітаційне поле (неоднорідне в просторі і змінне в часі) еквівалентне відповідній НСВ лише локально (тобто лише в нескінченно малому об'ємі $dV = dx dy dz$ і протягом нескінченно малого часу dt), то для описання такого гравітаційного поля в глобальних масштабах (тобто в кінцевій області простору-часу) необхідно використовувати нескінченне число локальних НСВ, що рухаються з різними (по величині і напрямку) прискореннями. При цьому зрозуміло, що перехід від однієї локальної НСВ до іншої відбувається за допомогою складних нелінійних перетворень координат і часу, явний вид яких залежить від характеру досліджуваного гравітаційного поля. Тому в кінцевій області простору-часу (П-Ч) при наявності гравітаційного поля не можна вибрати декартову чотиривимірну систему координат (як це було в СТВ) і ми змушені використовувати істотно криволінійні системи координат у 4-вимірному П-Ч, які ніяким перетворенням координат неможливо привести до евклідових координат у П-Ч Мінковського. А це означає, що при наявності гравітаційного поля сам простір-час стає викривленим, тобто гравітаційне поле викривляє 4-вимірний П-Ч Мінковського, причому характер цього викривлення однозначно пов'язаний з особливостями гравітаційного поля. Це означає, що гравітаційне поле порушує псевдоевклідову характер П-Ч, тобто геометрія П-Ч стає неевклідовою. З математичної точки зору, такий викривлений гравітаційним полем 4-вимірний П-Ч називається псевдоримановим простором. Таким чином, ми прийшли до геніальної ідеї *Ейнштейна: істинне гравітаційне поле є прояв викривлення* (тобто відмінності геометрії від псевдоевклідової) *4-вимірного П-Ч СТВ*.

Доцільно проілюструвати цю ідею Ейнштейна на наступному модельному прикладі (див., наприклад [6]). Розглянемо модельне гравітаційне поле, яке еквівалентне (згідно ПЕ) полю сил інерції НСВ, зв'язаної з диском, що обертається в площині XOY з постійною кутовою швидкістю ω . Вважаючи для простоти що $t = t'$, ми бачимо, що перехід від евклідових координат x, y, z , до координат x', y', z' НСВ, що обертається, відбувається за правилами

$$x = x' \cos \omega t - y' \sin \omega t; \quad y = x' \sin \omega t + y' \cos \omega t; \quad z = z'. \quad (2)$$

Переходячи від квадрата інтервалу в евклідових координатах

$$dS^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 = \sum_{\mu, \nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu, \quad (3)$$

$$g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & & & 0 \\ & -1 & & \\ & & -1 & \\ 0 & & & -1 \end{pmatrix},$$

до квадрата інтервалу в НСВ за допомогою (2), одержуємо (після досить громіздких перетворень, які тут опускаємо):

$$dS^2 = \left[c^2 - \omega^2 (x'^2 - y'^2) \right] \delta\tau^2 - \delta\xi^2 - \delta\psi^2 - \delta\xi'^2 + 2\omega\psi'\delta\xi'\delta\tau' - 2\omega\xi'\delta\psi'\delta\tau' = \sum_{\mu, \nu=0}^3 g'_{\mu\nu} dx'^\mu dx'^\nu, \quad (4)$$

$$\text{де} \quad g'_{00} = 1 - \frac{\omega^2}{c^2} (x'^2 - y'^2); \quad g'_{11} = g'_{22} = g'_{33} = -1; \quad (5)$$

$$g'_{01} = g'_{10} = \frac{\omega y'}{c}; \quad g'_{02} = g'_{20} = \frac{\omega x'}{c},$$

а інші компоненти метричного тензора дорівнюють нулю. З (5) видно, що в НСВ, що обертається (тобто у відповідному гравітаційному полі) метрика П-Ч відрізняється від псевдо-

евклідової метрики (3), і компоненти метричного тензора є функціями координат. Очевидно, що в довільному гравітаційному полі компоненти метричного тензора викривленого (псевдориманова) П-Ч будуть довільними функціями чотиривимірних координат $g_{\mu\nu} = g_{\mu\nu}(x^\alpha)$, явний вигляд яких буде однозначно залежати від характеру поля. Таким чином, *метричний тензор $g_{\mu\nu}(x^\alpha)$ може слугувати характеристикою гравітаційного поля*.

На закінчення цього етапу вивчення ЗТВ необхідно підкреслити наступне: поклавши в основу побудови теорії гравітації принцип еквівалентності, ми прийшли до ідеї, що гравітаційне поле має геометричну природу – воно є прояв викривлення 4-вимірного П-Ч і його характеристикою є метричний тензор $g_{\mu\nu}(x^\alpha)$, який визначає метричні властивості 4-мірного псевдориманова П-Ч. Отже, і *рівняння гравітаційного поля* (тобто рівняння, яким задовольняє метричний тензор $g_{\mu\nu}$) *повинні мати форму тензорних рівнянь у 4-вимірному псевдоримановому П-Ч*. А це націлює на необхідність знайомства з тензорним аналізом (до диференціальних тензорних рівнянь включно) у псевдоримановому П-Ч, чим і треба зайнятися на наступному методичному етапі.

Тензорний аналіз у 4-вимірному псевдоримановому П-Ч в навчальній літературі викладений на досить високому методичному рівні (див., наприклад, [6]) і потребує від викладача і студента лише більш детальних викладок, які тут приводити недоречно. Зауважимо лише наступне. Серед багатьох понять тензорної алгебри і аналізу увагу студентів доцільно акцентувати на тих тензорах і рівняннях, які потім будуть використовуватися для постулювання рівнянь гравітаційного поля. До таких належать тензор кривизни $R_{\alpha\beta\gamma\delta}$ та особливо похідні від нього характерис-

тики – тензор Річчі $R_{\beta\delta} = R^\alpha_{\beta\alpha\delta} = g^{\alpha\gamma} R_{\alpha\beta\gamma\delta}$; скалярну кривизну $R = g^{\alpha\beta} R_{\alpha\beta} = g^{\alpha\beta} g^{\mu\nu} R_{\mu\alpha\nu\beta}$ – комбінація двох останніх входить в рівняння поля. Істотна відмінність тензорного аналізу у псевдоримановому П-Ч від тензорного аналізу в псевдоевклідовому П-Ч Мінковського полягає в узагальненні правил диференціювання тензорів по координатах: звичайні часткові похідні по координатах (у випадку П-Ч Мінковського) замінюються на коваріантні похідні по координатах (у випадку псевдориманова П-Ч). Якщо додатково врахувати, що (згідно Ейнштейну) гравітаційне поле є прояв викривлення П-Ч, то ми можемо зробити наступне твердження: нехай є деякий фізичний закон, записаний у формі диференціального тензорного рівняння в П-Ч Мінковського (тобто без врахування гравітації); тоді, *роблячи в цьому рівнянні формальну заміну часткових похідних на коваріантні похідні, ми одержуємо фізичний закон, який автоматично враховує наявність гравітаційних полів*.

Для одержання рівнянь гравітаційного поля нам буде потрібна тензорна імпульсно-енергетична характеристика матерії, що рухається, (як і в електродинаміці, в ЗТВ використовується модель неперервного розподілу у просторі матерії – полів і речовини). Така характеристика є тензором 2-го рангу і називається тензором енергії-імпульса. Відсилаючи за конкретними його виразами до літератури [6], наголосимо на принциповій неможливості коректно ввести поняття тензора енергії-імпульсу саме *гравітаційного* поля: причина цього криється в геометричній природі гравітаційного поля (тому що основна ідея ЗТВ полягає в тому, що гравітаційне поле отожднюється зі скривленням П-Ч), на відміну від інших фізичних полів. Нагадаємо в цьому зв'язку, що закон збереження енергії-імпульсу є наслідок симетрії П-Ч (його однорідності й ізотропності, а в рамках ЗТВ простір-час у загальному випадку є (у наслідок викривленості) неоднорідним і неізотропним; тому не дивно, що у ЗТВ застосовування імпульсно-енергетичних характеристик до гравітаційного поля має дуже обмежений характер. Важливо, що тензор енергії-імпульсу T^α_β всіх полів (включаючи гравітаційне поле) задовольняє тотожності

$$T_{\beta;\alpha}^{\alpha} = 0, \beta = 0, 1, 2, 3. \quad (6)$$

Тепер студенти підготовлені для *постулювання* (наголосимо, що фундаментальні теоретичні закони фізики завжди є *фізичними постулатами* – їх неможливо “вивести”) рівнянь гравітаційного поля в рамках ЗТВ. Таке постулювання для майбутніх учителів фізики доцільно здійснити “індуктивним” способом – шляхом теоретичного узагальнення рівняння Пуассона НТГ (а не “дедуктивним” – з принципу найменшої дії, як у Ландау [6]).

Відповідно до принципу еквівалентності ми повинні шукати ці рівняння у *формі тензорних рівнянь у псевдоримановому П-Ч*. Природно, що при цьому необхідно задовольнити *принципу відповідності* з нерелятивістською теорією гравітації Ньютона, що досить добре підтверджена експериментально. Іншими словами, нам необхідно коваріантно узагальнити рівняння

$$\nabla^2 \varphi = 4\pi G \cdot \rho \quad (7)$$

теорії гравітації Ньютона (див. [1]). Коваріантне узагальнення рівняння (7) означає, що нам необхідно знайти *тензорні* аналоги лівої і правої частини (7) у псевдоримановому П-Ч.

Права частина рівняння (7) узагальнюється легко. Дійсно, легко показати, що для макроскопічної речовини, що покоїться $T_0^0 = T^{00} = \rho = \rho c^2$, звідки маємо $\rho = \frac{T_0^0}{c^2}$, тобто густина речовини ρ , що входить у праву частину (7), зв’язана з компонентою T_0^0 тензора енергії-імпульсу $T_{\alpha\beta}^{\alpha}$. Звідси витікає, що для коваріантного узагальнення правої частини рівняння (7) необхідно зробити наступну заміну:

$$\rho \rightarrow \frac{1}{c^2} \cdot T_{\beta}^{\alpha}. \quad (8)$$

Для коваріантного узагальнення лівої частини рівняння (7) помітимо наступне. Узагальненням $\nabla^2 \varphi$ повинен бути такий тензор, який задовольняє наступним вимогам: 1) відповідно до ідеї Ейнштейна про геометричну природу гравітаційного поля, цей тензор повинен бути *геометричною характеристикою псевдориманова П-Ч*, 2) відповідно до узагальнення (8) правої частини рівняння (7), шуканий тензор повинен бути тензором *другого* рангу; отже, прийнятними кандидатурами є тензори $g_{\alpha\beta}$, $R_{\alpha\beta}$, $g_{\alpha\beta} \cdot R$ і їхні лінійні комбінації; 3) шуканий тензор повинен містити *другі* похідні по просторових координатах від $g_{\alpha\beta}$ – тільки при цій умові з нього може бути отримана нерелятивістська межа $\nabla^2 \varphi$; отже, прийнятними кандидатами залишаються два останні з перелічених тензори та їхні лінійні комбінації; 4) нарешті, у силу того, що права частина (8) узагальненого рівняння задовольняє тотожності (6), цій же тотожності повинна задовольняти і ліва частина узагальненого рівняння. Легко переконатися, що хоча жоден з тензорів, що залишилися, цій тотожності по окремої не задовольняє, однак їх лінійна комбінація виду $G_{\beta}^{\alpha} \equiv R_{\beta}^{\alpha} - \frac{1}{2} \delta_{\beta}^{\alpha} R$ чи $G_{\alpha\beta} \equiv R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} \delta_{\alpha\beta} R$ автоматично задовольняє необхідній тотожності

$$G_{\beta;\alpha}^{\alpha} \equiv (R_{\beta}^{\alpha} - \frac{1}{2} \delta_{\beta}^{\alpha} R)_{;\alpha} = 0. \quad (9)$$

Далі, після досить стомлюючих обчислень (які ми тут опускаємо) можна показати, що в нерелятивістському наближенні ($\frac{1}{c} \rightarrow 0$) для слабого гравітаційного поля

$$\left(\frac{|\varphi|}{c^2} \ll 1 \right) \text{ справедлива наступна гранична рівність}$$

$$c^2 \cdot G_0^0 \approx \nabla^2 \varphi. \quad (10)$$

Отже, з огляду на усе викладене, ми дійдемо висновку, що правильне коваріантне узагальнення лівої частини рівняння (8.1) досягається заміною

$$\nabla^2 \varphi \rightarrow c^2 \cdot G_{\beta}^{\alpha}. \quad (11)$$

Узагальнюючи рівняння (7) шляхом заміни (8) і (11) приходимо до наступного рівняння для гравітаційного поля:

$$R_{\beta}^{\alpha} - \frac{1}{2} \delta_{\beta}^{\alpha} R = \frac{4\pi G}{c^4} \cdot T_{\beta}^{\alpha}; \quad \alpha, \beta = 0, 1, 2, 3 \quad (12)$$

чи, опускаючи верхній індекс, одержуємо

$$R_{\alpha\beta} - \frac{1}{2} \delta_{\alpha\beta} R = \frac{4\pi G}{c^4} \cdot T_{\alpha\beta}; \quad \alpha, \beta = 0, 1, 2, 3. \quad (12^*)$$

Рівняння (12) чи (12*) отримані вперше Ейнштейном і тому називаються рівняннями Ейнштейна для гравітаційного поля.

Зробимо деякі важливі для вчителя фізики зауваження щодо рівнянь Ейнштейна і ейнштейнської теорії гравітації – ЗТВ.

Зауваження 1. Зі створенням ЗТВ у 1916 році була фактично довершена побудова електромагнітної картини світу. При цьому були виявлені нові (у порівнянні зі спеціальною теорією відносності) властивості фізичного простору-часу. Дійсно, у лівій частині рівнянь Ейнштейна (12*) стоїть геометрична характеристика П-Ч, що описує його метричні властивості (його викривленість), а праворуч (12*) стоїть тензор енергії-імпульсу фізичної матерії. Отже, рівняння (12*) означають, що *метричні властивості П-Ч* (його викривленості) *нерозривно зв’язані з характером поширення і руху фізичної матерії*. Причому, цей зв’язок має загальний (універсальний) характер внаслідок загального (універсального) характеру гравітаційної взаємодії (усі відомі види фізичної матерії піддаються гравітаційній взаємодії).

Зауваження 2. Десять незалежних рівнянь (12*) є істотно *нелінійними* рівняннями релятивістської теорії гравітації (на відміну від лінійного рівняння (7) нерелятивістської теорії гравітації). Тому у *ЗТВ не виконується принцип суперпозиції гравітаційних полів* (на відміну від теорії гравітації Ньютона – див. [1]). Внаслідок нелінійного характеру рівнянь (12*) не можна поводитись таким способом: спочатку довільно задати тензор енергії-імпульсу $T_{\alpha\beta}$ як функцію координат і часу, потім знаходити рішення рівнянь (тобто знаходити $g_{\mu\nu}(x^{\alpha})$ як функцію координат і часу) – це суперечить нелінійному характеру рівнянь. Знаходження правильних рішень нелінійних рівнянь (12*) складається з самоузгодженого (одночасного) визначення як гравітаційного поля (тобто $g_{\mu\nu}(x^{\alpha})$), так і характеру руху фізичної матерії (тобто $T_{\alpha\beta}(x^{\mu})$). Це означає, що рівняння (12*) містять у собі і рівняння руху фізичної матерії. Фізично це відповідає тому, що у ЗТВ фізична матерія обумовлює скривлення простору-часу, що, у свою чергу, впливає на характер руху гравітуючої матерії.

Зауваження 3. *Про сучасний експериментальний статус ЗТВ.* ЗТВ пророкує багато нових фізичних гравітаційних ефектів і явищ як для випадку слабких гравітаційних полів, так і для сильних гравітаційних полів (гравітаційні хвилі, "чорні діри", космологічні моделі і так далі). За останні два десятиліття було проведено велике число експериментів по перевірці висновків ЗТВ (у слабких гравітаційних полях у рамках нашої сонячної системи). Якщо підсумувати результати цих експериментів, то можна стверджувати, що ЗТВ перевірена (для слабких гравітаційних полів) експериментально з точністю 1-2%. Звичайно, що вирішальна експериментальна перевірка ЗТВ попереду (особливо для сильних гравітаційних полів). Наприклад, вирішальними експериментальними фактами на користь ЗТВ було б відкриття гравітаційних хвиль і "чорних дір" (деякі непрямі експериментальні свідчення про існування цих об’єктів у Всесвіті мають, однак до впевненості в цьому ще далеко).

Зауваження 4. *Про границі застосовності ЗТВ.* ЗТВ – це *неквантова* теорія гравітації. Однак найбільш загальні фізичні аргументи квантово-польової картини світу дозволяють зробити висновок, що на дуже малих відстанях між гравітуючими мікрооб’єктами (на відстанях $\leq \sqrt{\frac{G\hbar}{c^3}} \approx 10^{-35} \text{ м}$) ЗТВ незастосовна, і тут необхідна квантова теорія гравіта-

ції (побудувати таку теорію дуже складно; у даний час на цьому шляху зроблені тільки перші кроки).

Розміри статті не дозволяють розглянути інші методичні аспекти поглиблення знань майбутніх учителів фізики в області релятивістської теорії гравітації та її застосувань, тому вони будуть опубліковані окремо.

Список використаних джерел:

1. *Нечет В.І.* Теорія гравітації в змісті фундаментальної підготовки вчителя фізики // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г.Шевченка. Випуск 36. Серія: педагогічні науки: Збірник у 2-х т. – Чернігів: ЧДПУ, 2006. – №36. – С.131-136.
2. *Нечет В.І.* Принцип професійної направленості навчання в системі принципів дидактики фізики вищої педагогічної школи // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г.Шевченка. Випуск 30. Серія: педагогічні науки: Збірник. – Чернігів: ЧДПУ, 2005. – №30. – С.162-166.
3. *Нечет В.І.* Структура предмета професійної діяльності вчителя-предметника в теорії особистісно орієнтованого навчання // Збірник наукових праць: Спеціальний випуск / В.Г.Кузь (гол. ред.) та інші – К.: Науковий світ, 2001. – С.190-195.

4. *Нечет В.І.* Особливості змісту й реалізації принципів особистісно орієнтованого навчання фізики в загальноосвітній середній та вищій педагогічній школі // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Дидактика дисциплін фізико-математичної та технологічної освітніх галузей. – 2002. – Вип. 8. – С.64-71.
5. *Нечет В.І.* Проблеми фундаменталізації змісту предметної та методичної підготовки майбутніх учителів фізики // Наукові записки: Збірник наукових статей Національного педагогічного університету ім. М.П.Драгоманова / Укл. П.В.Дмитренко, Л.Л.Макаренко, В.Д.Сироток. – К.: НПУ, 2003. – Випуск LIII (53). – С.242-250.
6. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Теоретическая физика. Т. 2. Теория поля. – М.: Изд-во "Наука", 1973. – С.341-357.

The problem of inclusion of the relativistic theory of a gravitational field in structure of fundamental preparation on physics of the future teachers is analyzed. Methodical features of teaching of this theory are discussed.

Key words: theory of a gravitational field, technique of teaching, teacher of physics.

Отримано: 14.02.2006.

УДК 53 (07)+372.853

О.М. Ніколаєв¹, М.М. Волошин²

¹Кам'янець-Подільський державний університет

²Подільський державний аграрний університет, м. Кам'янець-Подільський

ВПРОВАДЖЕННЯ ЕТАЛОННИХ ВИМОГ В СИСТЕМІ ФАХОВОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТЬОГО ФАХІВЦЯ

Описано механізм управління пізнавальною діяльністю студентів на основі еталонних вимог в ході лабораторного практикуму з методики викладання фізики.

Ключові слова: еталонні вимоги, цільова програма, рівні засвоєння знань, фізика.

Сучасна освіта характеризується впровадженням принципово нових педагогічних технологій, однією з яких пошуково-креативне навчання. Креативність у навчанні є невід'ємним компонентом інтелектуального розвитку особистості та визначається творчими можливостями людини, які можуть виявлятися в мисленні, почуттях, спілкуванні, окремих видах діяльності, характеризувати особистість в цілому або її окремі сторони, креативність розглядається як найважливіший і відносно незалежний фактор обдарованості. В цих умовах суттєві зміни зазнає як система фахової підготовки майбутнього вчителя фізики, так і навчальний процес в цілому.

Проблеми підготовки вчителя фізики в умовах сьогодення приділяють значну увагу провідні методи фізики. Запровадження активних методів роботи, створення завдань пошукового, дослідницького, творчого характеру в ході лабораторних робіт досліджується в працях Величка С.П.; проблему професійної підготовки сучасного вчителя фізики, зокрема, розвиток творчих здібностей майбутніх вчителів в ході дослідницько-орієнтованого навчання розглядає Сергієнко В.П.; впровадженню дослідницьких лабораторних робіт присвячені праці Коршака С.В., Шута М.І., Грищенко А.І., Савченка В.Ф.; формування професійних якостей майбутнього вчителя фізики на основі врахування бінарних цільових орієнтацій та тенденцій розвитку освітнього середовища досліджують Атаманчук П.С., Мендерецький В.В., Кух А.М., Ляшенко О.І.

Мета даної статті – обґрунтування впровадження еталонних вимог як необхідної складової фахової підготовки майбутнього вчителя фізики в умовах пошуково-креативного навчання.

Творчі можливості особистості реалізуються в навчальному процесі як взаємодія двох підсистем: пізнавальної діяльності учня і навчальної роботи вчителя. Творчість особистості – складний суперечливий процес, який є поєднанням репродуктивного і продуктивного. Репродуктивна діяльність не просто протилежність продуктивної, вона є однією з умов прояву творчості. Творчість неможлива без актуалізації, репродукування результатів минулого досвіду.

Через репродуктивну діяльність реалізується наступність у творчому процесі. Однак, будучи умовою творчості, репродуктивна діяльність не є її причиною, тобто вона не приводить до творчості. Вона є необхідною умовою творчості, але не достатньою. За одних умов репродуктивна діяльність може бути незмінною, замкнутою в собі, а при інших – сприяє реалізації продуктивного творчого акту [3].

Професор С.Рубінштейн зазначає: «Система, в основу якої покладено пасивне сприймання готових результатів, копіювання заданих зразків – одна лише бездіяльність і механічна рецептивність, – повинна бути замінена системою, основою і цілью якої – розвиток творчої самодіяльності не тільки виявляється і проявляється, але в них твориться і визначається. Отже, задача педагогіки полягає в тому, щоб організацією реальних творчих діянь визначати образ людини» [4, с.89].

Оскільки фізика – наука експериментальна, то однозначно можна стверджувати, що якість знань і практична підготовка знаходяться в прямій залежності від фізичного експерименту. Проведенню лабораторних робіт фізичного практикуму приділяється особливе значення, оскільки їх мета полягає не тільки у формуванні практичних здобутків, встановленні зв'язку теорії з практикою, але й вихованні в тих, що навчаються, ціннісних особистісних якостей та є передумовами реалізації принципу креативності у навчанні фізики.

У процесі виконання робіт практикуму майбутній фахівець формується професійно: він вивчає конструкцію, призначення і правила експлуатації приладів, ресурсне оснащення з фізики для середньої школи, вчиться користуватися ним і давати оцінку його педагогічним і технічним якостям, пізнає загалом порядок виконання основних дослідів, складає установки за схемами й описами, які вміщені в посібниках; опановує методику і техніку виконання різних видів шкільного фізичного експерименту з дотриманням основних дидактичних вимог до них; повинен навчитися чітко демонструвати і правильно пояснювати передбачені інструкцією досліди, супроводжувати досліди