ЖУРНАЛ ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
т. 18, № 2/3 (2014) 2001(5 с.)

JOURNAL OF PHYSICAL STUDIES
v. 18, No. 2/3 (2014) 2001(5 p.)

ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ В ПРОСТОРІ ЗІ СКРУТОМ

Д. О. Дзякович
ТОВ "ДДЗ "Енерґоавтоматика", вул. Базова, 2, Дніпропетровськ, 49127, Україна
(Отримано 03 березня 2014 р.; в остаточному вигляді — 05 червня 2014 р.)

Запропоновано геометричну інтерпретацію електромагнетизму на основі геометрії Рімана–Картана, яка пов'язує електромагнітне поле зі скрутом просторово-часового континууму. Показано, що абсолютно антисиметричний тензор конторсії, на який накладено умову нормування, дозволяє утворити з компонент геометричних тензорів класичний польовий лаґранжіан, що відповідає системі рівнянь Айнштайна–Максвелла. У результаті вдалося сформулювати єдину теорію класичних взаємодій, яка цілком узгоджується з відомими фізичними законами. Сформульована теорія також пояснює прискорене розширення Всесвіту, пов'язуючи його з геометричним джерелом ґравітації у вигляді Λ-члена.

Ключові слова: тензор скруту, геометризація взаємодій, єдина теорія, ґравітація, електромагнетизм, темна енерґія.

PACS number(s): 04.50.+h

Об'єднання фундаментальних взаємодій — одна з найбільш актуальних задач теоретичної фізики. Задача ця доволі складна й багатогранна, але ключовою проблемою на цьому шляху залишається відокремленість ґравітації. Ґравітаційна фізика та фізика елементарних частинок будуються на принципово різних засадах. Тому пошук зв'язків між ними з метою зближення та об'єднання ґравітації з іншими взаємодіями став одним із пріоритетних напрямків досліджень. Зокрема, привертає увагу й підхід калібрувальної теорії ґравітації (див., напр., [1,2]), яка намагається зробити опис ґравітаційної взаємодії подібним до формалізму решти фундаментальних взаємодій. Цей підхід передусім цікавий тим, що використовує й розвиває геометричні методи, традиційні для теорії тяжіння. Остання при цьому узагальнюється до теорії ґравітації зі скрутом (англ. *torsion*). Подібні узагальнення пов'язані з ідеями Картана, Сіами та Кіббла і ґрунтуються на геометрії Рімана–Картана [1,3].

Головний недолік теорій ґравітації зі скрутом полягає в тому, що існування поля скруту як додаткового гіпотетичного поля, джерелом якого є момент імпульсу речовини, не знаходить підтвердження в експерименті. З огляду на це в статті запропоновано розглянути іншу можливість застосування геометрії Рімана–Картана. Якщо відмовитися від вимог калібрувальної теорії ґравітації, то поле скруту можна спробувати пов'язати з будь-яким іншим джерелом, зокрема з електричним струмом. Мета роботи — показати, що скрут просторово-часового континууму може мати сенс електромагнітного поля. Це дозволить розглядати електромагнетизм як прояв відповідної геометрії. Оскільки геометризація електромагнетизму наближає його до ґравітації, то вона, як і калібрувальний підхід, може становити певний інтерес у контексті об'єднання взаємодій. Але при цьому додаткове геометричне поле матиме реальний фізичний зміст і чітко визначені властивості.

У запропонованому нижче підході враховано також і поняття темної енерґії [4,5]. Пов'язаний з нею Λ-член виникає в рівняннях Айнштайна як наслідок геометризації електромагнетизму. Таким чином, використання більш загальної геометрії може бути цікавим і з погляду останніх відкриттів спостережної космології.

У геометрії Рімана–Картана просторово-часовий багатовид характеризується метричним тензором $g_{\mu\nu}$, зв'язністю $\Gamma^{\alpha}_{\mu\nu}$, тензором скруту $S^{\alpha}_{\cdot\mu\nu}$ та тензором кривини $R^{\alpha}_{\cdot\mu\beta\nu}$ (тензор Рімана). Ці геометричні величини пов'язані такими співвідношеннями:

$$\Gamma^{\alpha}_{\mu\nu} = \{^{\alpha}_{\mu\nu}\} + K^{\alpha}_{\cdot\mu\nu}, \qquad K_{\alpha\mu\nu} = -K_{\mu\alpha\nu}, \tag{1}$$

$$\{^{\alpha}_{\mu\nu}\} = \frac{1}{2} g^{\alpha\sigma} \left(\partial_\mu g_{\nu\sigma} + \partial_\nu g_{\mu\sigma} - \partial_\sigma g_{\mu\nu}\right), \tag{2}$$

$$S^{\alpha}_{\cdot\mu\nu} \equiv \Gamma^{\alpha}_{\mu\nu} - \Gamma^{\alpha}_{\nu\mu} = K^{\alpha}_{\cdot\mu\nu} - K^{\alpha}_{\cdot\nu\mu}, \tag{3}$$

$$R^{\alpha}_{\cdot\mu\beta\nu} = \partial_\beta \Gamma^{\alpha}_{\mu\nu} - \partial_\nu \Gamma^{\alpha}_{\mu\beta} + \Gamma^{\alpha}_{\tau\beta}\Gamma^{\tau}_{\mu\nu} - \Gamma^{\alpha}_{\tau\nu}\Gamma^{\tau}_{\mu\beta}, \tag{4}$$

де $\{^{\alpha}_{\mu\nu}\}$ — символи Крістоффеля. Доданок $K^{\alpha}_{\cdot\mu\nu}$ у виразі (1) відомий як тензор конторсії й утворює незалежну від метрики частину зв'язності.

Наявність тензорного доданка у виразі для зв'язності дає змогу запровадити два види коваріантних похідних:

$$\nabla_\mu \equiv \frac{D}{dx^\mu} = \partial_\mu \pm \Gamma^{\cdot}_{\cdot\mu}, \tag{5}$$

$$\tilde{\nabla}_\mu \equiv \frac{\tilde{D}}{dx^\mu} = \partial_\mu \pm \{^{\cdot}_{\cdot\mu}\}. \tag{6}$$

Неповна похідна $\tilde{\nabla}_\mu$ збігається з коваріантною похідною рімановой геометрії.

Важливою рисою геометрії зі скрутом є збереження умови метричності $\nabla_\alpha g_{\mu\nu} = 0$. Ця умова забезпечує узгодженість зв'язності з метрикою, що дозволяє використовувати несиметричну зв'язність (1) у метричному континуумі.

Якщо припустити, що ґравітація пов'язана лише з метричною частиною геометрії, то незалежні від метрики тензори $S^{\alpha}_{\cdot\mu\nu}$ та $K^{\alpha}_{\cdot\mu\nu}$ можна спробувати пов'язати з електромагнетизмом. Вибір для фізичної інтерпретації скруту саме електромагнетизму пояснюється макроскопічним характером використовуваної геометрії. Така геометрія може відповідати лише тим фізичним полям, які діють на макроскопічному рівні. До цих полів, окрім ґравітаційного, належить лише електромагнітне.

Розгляньмо конкретний випадок геометрії зі скрутом, який відповідає поставленій задачі. Нехай тензор $K_{\alpha\beta\gamma}$ абсолютно антисиметричний [6]. Тоді існує дуальний до нього вектор ${}^{*}K^{\mu}$ [7], пов'язаний з ним співвідношеннями

$$ {}^{*}K^{\mu} = \frac{1}{6}\varepsilon^{\alpha\beta\gamma\mu}K_{\alpha\beta\gamma}, \tag{7} $$

$$ K_{\alpha\beta\gamma} = \varepsilon_{\mu\alpha\beta\gamma}{}^{*}K^{\mu}, \tag{8} $$

де $\varepsilon_{\mu\alpha\beta\gamma}$ — тензор Леві-Чівіти. Скрут (3) в цьому випадку теж буде абсолютно антисиметричним, а тензор конторсії збігатиметься з антисиметричною частиною зв'язності:

$$ S^{\alpha}_{\cdot\mu\nu} = 2K^{\alpha}_{\cdot\mu\nu}, \tag{9} $$

$$ K^{\alpha}_{\cdot\mu\nu} = \Gamma^{\alpha}_{[\mu\nu]}. \tag{10} $$

Повна антисиметрія $K_{\alpha\beta\gamma}$ забезпечує деякі важливі властивості геометрії, необхідні для електромагнітної інтерпретації скруту. По-перше, скрут $S^{\alpha}_{\cdot\mu\nu}$ стає еквівалентним векторному полю ${}^{*}K^{\mu}$ (7–9), яке може претендувати на роль електромагнітного потенціалу A^{μ}. По-друге, зберігається вигляд рівнянь геодезичних, які описують рух вільного тіла так само, як і в загальній теорії відносності [3,5,7]:

$$ \frac{Du^{\mu}}{d\tau} \equiv u^{\alpha}\nabla_{\alpha}u^{\mu} = \frac{du^{\mu}}{d\tau} + \left\{{}^{\mu}_{\sigma\alpha}\right\}u^{\sigma}u^{\alpha} = 0, \tag{11} $$

де $u^{\mu} = dx^{\mu}/d\tau$ — вектор швидкості. Це означає, що скрут континууму безпосередньо не впливає на рух тіл, на які не діє електромагнітне поле. І, нарешті, третя властивість, пов'язана з вибором конторсії у вигляді (8) — це можливість побудувати з компонент тензора кривини скалярний електромагнітний інваріант.

Опускаючи проміжні викладки, наведемо декілька важливих виразів для тензорних характеристик кривини, які можна отримати у просторі з конторсією (8). Для тензора Річчі $R_{\mu\nu} = R^{\alpha}_{\cdot\mu\alpha\nu}$ та скалярної кривини $R = R^{\mu}_{\cdot\mu}$ маємо такі вирази:

$$ R_{(\mu\nu)} = \tilde{R}_{\mu\nu} - 2\left({}^{*}K_{\mu}{}^{*}K_{\nu} - g_{\mu\nu}{}^{*}K_{\sigma}{}^{*}K^{\sigma}\right), \tag{12} $$

$$ R_{[\mu\nu]} = -\frac{1}{2}\varepsilon^{\sigma\tau}_{\cdot\cdot\mu\nu}(\partial_{\sigma}{}^{*}K_{\tau} - \partial_{\tau}{}^{*}K_{\sigma}), \tag{13} $$

$$ R = g^{\mu\nu}R_{(\mu\nu)} = \tilde{R} + 6\,{}^{*}K_{\sigma}{}^{*}K^{\sigma}, \tag{14} $$

$$ {}^{*}R_{[\alpha\beta]} = \frac{1}{2}\varepsilon_{\mu\nu\alpha\beta}R^{[\mu\nu]} = \partial_{\alpha}{}^{*}K_{\beta} - \partial_{\beta}{}^{*}K_{\alpha}, \tag{15} $$

де $\tilde{R}_{\mu\nu} \equiv R_{\mu\nu}(\{\because\})$ – тензор Річчі ріманової геометрії, $\tilde{R} \equiv R(\{\because\})$ — скалярна згортка $\tilde{R}^{\mu}_{\cdot\mu}$. Як показує останній вираз, дуальний тензор ${}^{*}R_{[\alpha\beta]}$ відтворює структуру тензора напруженості електромагнітного поля $F_{\mu\nu}$. Використовуючи лише тензор Річчі, можна легко утворити геометричний аналог електромагнітного інваріанта $F^{\mu\nu}F_{\mu\nu}$, який потрібен для отримання адекватних польових рівнянь:

$$ R^{[\mu\nu]}R_{[\mu\nu]} = -{}^{*}R_{[\alpha\beta]}{}^{*}R^{[\alpha\beta]}. \tag{16} $$

Скалярні інваріанти (14) та (16) можна використати для побудови геометричного лаґранжіана, який відповідає ґравітаційному та електромагнітному полям. Але для цього потрібно звести ці інваріанти до однієї розмірності.

Остання вимога передбачає введення відповідної константи. У межах геометричного підходу це можна зробити за рахунок нормувальної умови, додатково накладеної на тензор (8):

$$ K^2 \equiv \frac{1}{3!}K^{\alpha\beta\gamma}K_{\alpha\beta\gamma} = -{}^{*}K_{\sigma}{}^{*}K^{\sigma} = \mathrm{const}, \tag{17} $$

де K — норма тензора конторсії. З урахуванням цієї умови в поля ${}^{*}K^{\mu}$ залишається тільки три обертальні ступені вільності, і торсійна частина геометрії буде описуватись його одиничним вектором λ^{μ}:

$$ {}^{*}K_{\mu} = K\lambda_{\mu} \quad (K = \mathrm{const} > 0). \tag{18} $$

Виходячи з просторово-часових симетрій, логічно обрати напрямок ${}^{*}K^{\mu}$ часоподібним (відповідно до виділеності часового виміру). Тому тут і далі стала K покладається дійсною, а вектор λ^{μ} нормується на -1 (для простороподібної сиґнатури):

$$ K^2 > 0, \qquad \lambda^{\mu}\lambda_{\mu} = -1. \tag{19} $$

За допомогою геометричної константи K^2, яка має розмірність кривини, польовий лаґранжіан можна записати у вигляді

$$ L_G = R + \frac{R^{[\mu\nu]}R_{[\mu\nu]}}{K^2} = \tilde{R} - 6K^2 - f^{\mu\nu}f_{\mu\nu}, \tag{20} $$

$$ f_{\mu\nu} \equiv \partial_{\mu}\lambda_{\nu} - \partial_{\nu}\lambda_{\mu}. \tag{21} $$

Таким чином, умова (17) дозволяє записати комбінований лаґранжіан без використання додаткових емпіричних констант. При цьому в правій частині (20) виникають три окремі доданки. Перший і останній можна ідентифікувати як класичні внески ґравітаційного та електромагнітного полів. Щодо другого доданка, то він виглядає як внесок космологічної сталої, який ґенерує айнштайнівський Λ-член [3,5]. Тому в подальшому будемо пов'язувати цю сталу саме з нормою конторсії. Зауважимо також, що константа $6K^2$ виникає в лаґранжіані (20) як наслідок послідовної геометризації електромагнетизму, яка забезпечується додатковою умовою (17).

Згідно з принципом найменшої дії [2,5,8] польові рівняння, що відповідають геометричному лаґранжіану (20), випливають з умови

$$\delta \int L_G \sqrt{-g}\, d^4x = 0. \tag{22}$$

Виконуючи варіювання за $g^{\mu\nu}$, $\{^{\alpha}_{\mu\nu}\}$ та λ^{α} як за незалежними змінними (метод Палатіні), отримуємо рівняння поля в порожньому просторі:

$$\tilde{R}_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} \tilde{R} = E_{\mu\nu} - 3K^2 g_{\mu\nu}, \tag{23}$$

$$E_{\mu\nu} \equiv 2 \left(f^{\alpha}_{\cdot\mu} f_{\alpha\nu} - \frac{1}{4} g_{\mu\nu} f^{\alpha\beta} f_{\alpha\beta} \right); \tag{24}$$

$$\tilde{\nabla}_{\sigma} f^{\mu\sigma} = 0. \tag{25}$$

Крім того, одержуємо рівняння $\tilde{\nabla}_{\alpha} g_{\mu\nu} = 0$ відносно $\{^{\alpha}_{\mu\nu}\}$, які еквівалентні визначенню (2). Фізичний сенс цих рівнянь засвідчує наявність у просторі деякого фізичного поля, яке можна тлумачити як електромагнітне, хоча насправді є лише порожній простір зі складною геометрією. Тобто порожній простір Рімана–Картана з цими властивостями емітує ріманів простір ЗТВ з електромагнітним полем (та фоновою кривиною $12K^2$). Розглядаючи вирази (23–25) як систему рівнянь Айнштайна–Максвелла, можна встановити такі співвідношення (в СГС):

$$F_{\mu\nu} = A\, f_{\mu\nu}, \quad A \equiv \pm c^2/\sqrt{\gamma}, \tag{26}$$

$$A_{\mu} = A\, \lambda_{\mu} + \partial_{\mu}\varphi, \tag{27}$$

$$\Lambda = 3K^2, \tag{28}$$

де φ — довільне скалярне поле, Λ та γ — відповідно космологічна та ґравітаційна сталі. Співвідношення (26)–(28) виражають зв'язок між фізичними та геометричними величинами (згідно з визначенням $\lambda_{\mu} = {}^{*}K_{\mu}/K$, $f_{\mu\nu} = {}^{*}R_{[\mu\nu]}/K$).

Рівняння Айнштайна–Максвелла (23)–(25), які отримані з повністю геометричного лаґранжіана (20), доводять можливість геометричної інтерпретації електромагнітного поля у просторі зі скрутом. Але при цьому поле ${}^{*}K^{\mu}$, яке запроваджується замість електромагнітного, не є цілком еквівалентним векторному потенціалу A^{μ} і має додаткові специфічні властивості. Одна з відмінностей пов'язана з додатковою умовою (17). На відміну від звичайної електродинаміки польові рівняння (25) доповнюються умовою $\lambda^{\mu}\lambda_{\mu} = -1$, яка має вигляд калібрувальної. Це, звичайно, не впливає на фізичні розв'язки, але жорстко фіксує калібровку для "потенціалів" λ^{μ}. Умова (19) разом із рівняннями (25) дозволяє визначити компоненти λ^{μ} з точністю до знака, який має обиратися окремо. Можливість накладання такої умови приймається тут як правдоподібне припущення й потребує додаткового дослідження. Інша відмінність є наслідком узагальнення скалярної кривини (14), яка дає додатковий внесок у лаґранжіан. Після накладання умови (17) цей внесок формує в рівняннях Айнштайна доданок $3K^2 g_{\mu\nu}$ (Λ-член), який у сучасній космології відповідає поняттю темної енерґії [4,5]. Отже, поле ${}^{*}K_{\mu}$ дозволяє пояснити також і темну енерґію.

Рівняння поля (23–25) можуть бути узагальнені й на випадок наявності матеріальних джерел — тензора енерґії–імпульсу та вектора густини струму. Але оскільки теорія не дає геометричного тлумачення речовини, то пов'язані з нею джерела треба вводити штучно (або в лаґранжіан, або безпосередньо в польові рівняння). Після цього можна вивести закон руху для заряджених частинок (із принципу найменшої дії [8] або із законів збереження [5]). Відповідна процедура та її результат ідентичні методам та рівнянням класичної ЗТВ, тому немає потреби детально на них зупинятися.

Розгляньмо тепер запропоновану геометричну теорію з погляду експериментальної перевірки. Один із наслідків, які виходять за межі класичної електродинаміки — це виникнення в рівняннях Айнштайна специфічного джерела ґравітації у вигляді Λ-члена. Існування подібного джерела (темної енерґії) підтверджують астрономічні спостереження. При цьому його математичний характер моделюється константою Λ цілком адекватно: моделі Всесвіту з космологічною сталою узгоджуються з усією сукупністю наявних спостережних даних [4]. Тому в цьому пункті маємо повну відповідність теорії з експериментом.

Проте цього явно замало для підтвердження теорії в цілому і насамперед її геометричних основ. Набагато важливішим у цьому плані є питання безпосередньої перевірки узагальненої зв'язності. Отже, головним об'єктом перевірки мають бути ефекти, пов'язані з паралельним перенесенням векторів. Утім, як випливає зі співвідношення (28), відповідні ефекти будуть дуже слабкими ($\Lambda \sim 10^{-56}$ см$^{-2}$), що сильно обмежує можливість їх спостереження. Що стосується локальних законів фізики, то залежність їх від скруту поза межами калібрувальної теорії ґравітації взагалі не передбачається. Загальна коваріантність диференційних рівнянь забезпечується вже при використанні 'неповних" похідних (6).

Для визначення кола явищ, у яких нові ефекти можуть бути помітними, зробімо порівняльну оцінку величини тензора конторсії:

$$K^{\alpha}_{\cdot\mu\nu} \sim K \sim \Lambda^{1/2} \sim H_0/c, \tag{29}$$

де H_0 — це стала Габбла в сучасну епоху. Приблизно таку ж величину мають символи Крістоффеля в космологічних моделях:

$$\{^{i}_{0k}\} = \frac{\dot{a}}{a} \delta^i_k = \frac{H}{c} \delta^i_k. \tag{30}$$

Оскільки ефекти зв'язності (30) поза межами космології не враховуються, то і вплив поправки $K^{\alpha}_{\cdot\mu\nu}$ є сенс розглядати лише в космологічних задачах.

У масштабі Всесвіту зв'язність континууму проявляється тим, що впливає на паралельне перенесення й коваріантну зміну вектора швидкості u^μ, який характеризує стан руху галактичних скупчень. В ізотропному Всесвіті векторне поле ${}^*K^\mu$ не матиме просторових компонент і буде спрямоване вздовж ліній часу, тобто так само, як і вектор $\pm u^\mu$ (у супутній системі $u^i = 0$, $u^0 = c$). Відповідно поле u^μ можна представити у вигляді $u^\mu = \pm c\lambda^\mu$. Підставляючи цей вираз разом із виразом (18) у формулу для коваріантної похідної, знаходимо закон зміни вектора швидкості u^μ:

$$\nabla_\alpha u^\mu = \partial_\alpha u^\mu + \Gamma^\mu_{\sigma\alpha} u^\sigma = c\left\{{}^{\mu}_{0\alpha}\right\}. \tag{31}$$

Як показує отриманий результат, закон зміни вектора u^μ повністю визначається символами Крістоффеля $\left\{{}^{\mu}_{0\alpha}\right\}$ і від тензора конторсії не залежить. Отже, метрична частина зв'язності залишається визначальним фактором і в космології. У результаті для градієнта швидкості маємо вираз $\nabla_k u^i = H\delta^i_k$, який у лабораторній системі відліку відповідає звичайному закону Габбла $u^i = Hx^i$.

Таким чином, можна констатувати, що всі доступні для спостереження ефекти зводяться до ефектів Λ-члена, не залишаючи тим самим можливостей для більш ґрунтовної перевірки покладених в основу теорії припущень.

Запропонована в цій статті інтерпретація тензора скруту, по суті, демонструє можливість побудови класичної єдиної теорії поля, яка охоплює ґравітацію та електромагнетизм. В основу цієї теорії покладено припущення про абсолютну антисиметричність та нормованість тензорів скруту та конторсії, а також квадратичний за компонентами тензора Річчі лаґранжіан. Отримані в результаті польові рівняння доводять можливість формальної геометризації електромагнетизму в просторі зі скрутом. При цьому отримує геометричне пояснення й космологічна темна енерґія, необхідність існування якої випливає з узагальнення скалярної кривини. Геометризація електромагнітного поля та темної енерґії реалізується за допомогою дуального вектора конторсії (18), який поєднує властивості векторного потенціалу A^μ та космологічної константи Λ. Роль потенціалу A^μ тут відіграє одиничний вектор λ^μ, що відповідає за напрямок поля ${}^*K^\mu$, а константа Λ утворюється з норми K.

Що стосується експериментальної перевірки, то тут ситуація не однозначна. З одного боку, наявні астрономічні дані прямо свідчать на користь існування темної енерґії з властивостями космологічної сталої і дозволяють оцінити величину константи K, а з іншого — підтвердити чи спростувати наведену формулу зв'язності практично неможливо. Відповідні теоретичні ефекти виявляються надто слабкими і на цей момент недоступні для спостережень. Таким чином, розглянута зв'язність зі скрутом залишається суто формальною.

Викладений матеріал, звичайно, не вичерпує теми геометризації електромагнетизму і не дозволяє пояснити його квантових властивостей та зв'язку зі слабкою взаємодію (модель Вайнберґа–Салама). Проте, слід зауважити, що зазначені питання стосуються вже зовсім іншого структурного рівня і виходять за межі методів і понять макроскопічної геометрії. Невирішеність цих питань у межах класичної геометрії Рімана–Картана не означає неможливості їхнього розв'язання в межах більш специфічної геометрії або навіть у межах підходу, глибшого за геометричний.

У будь-якому разі отримані результати та їх аналіз показують, що класичний електромагнетизм може бути успішно геометризований і що його властивості відповідають геометрії з абсолютно антисиметричним скрутом. Сформульована при цьому єдина теорія жодним чином не суперечить відомим фізичним законам та усталеним теоріям, що стосуються ґравітації та електромагнетизму, а її польові рівняння автоматично містять космологічну сталу.

---

[1] Д. Д. Иваненко, П. И. Пронин, Г. А. Сарданашвили, *Калибровочная теория гравитации* (Изд-во МГУ, Москва, 1985).

[2] В. Н. Пономарев, А. О. Барвинский, Ю. Н. Обухов, *Геометродинамические методы и калибровочный подход к теории гравитационных взаимодействий* (Энергоатомиздат, Москва, 1985).

[3] Ю.С. Владимиров, *Классическая теория гравитации: учебное пособие* (Книжный дом "ЛИБРОКОМ", Москва, 2009).

[4] С. Апуневич, Ю. Кулініч, Б. Новосядлий, В. Пелих, Кинем. физ. неб. тел **25**, 83 (2009).

[5] В. І. Жданов, *Вступ до теорії відносності: навчальний посібник* (ВПЦ "Київський університет", Київ, 2008).

[6] Y. Lam, e-print arXiv:gr-qc/0211009 (2002).

[7] Ч. Мизнер, К. Торн, Дж. Уилер, *Гравитация, Т.1* (Мир, Москва, 1977) [C. W. Misner, K. S. Thorne, J. A. Wheeler, *Gravitation* (W. H. Freeman and Co., San Francisco, 1973)].

[8] С. Хокинг, Дж. Эллис, *Крупномасштабная структура пространства-времени* (Мир, Москва, 1977) [S. W. Hawking, G. F. R. Ellis, *The Large Scale Structure Space-Time* (Cambridge University Press, 1973)].

ГЕОМЕТРИЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ В ПРОСТОРІ ЗІ СКРУТОМ

GEOMETRIZATION OF ELECTROMAGNETISM IN SPACE WITH TORSION

D. A. Dzyakovich
"DOZ "Energoavtomatica" LLC, 2, Bazova St., Dniepropetrovsk, 49127, Ukraine,
e-mail: dzyakovich@gmail.com

A geometrical interpretation of electromagnetism on the basis of Riemann–Cartan geometry is proposed. The electromagnetic field is related to the torsion of space-time continuum. It is shown that a completely antisymmetric contorsion tensor, which imposes a normalization condition, allows to form geometrical tensors components classical field Lagrangian that corresponds to the Einstein–Maxwell set of equations. As a result it is possible to formulate a unified theory of classical interactions which fully conforms to the known physical laws. The formulated theory also explains the accelerated expansion of the Universe, linking it with a geometric source of gravity in the form of the Λ-term.