

УДК: 530.1, 530.11, 530.12

С.Ю. Медведєв, І.Ф. Галамба

Ужгородський національний університет, 88000, Ужгород, вул. Волошина, 54

e-mail: innaff86@rambler.ru

ПРО ДЕЯКІ НАСЛІДКИ З ПЕРЕТВОРЕНЬ ТАНГЕРЛІНІ

Проведено порівняння основних наслідків з перетворень Тангерліні із відповідними наслідками з перетворень Лоренца. Показано, що переважна більшість експериментально верифікованих результатів в обох теоріях відносності, побудованих на цих перетвореннях співпадають. Відмінними є тільки швидкісні характеристики та залежність енергетично-імпульсних характеристик від швидкості, що обумовлено відмінністю синхронізації годинників. Встановлений коефіцієнт перерахунку швидкісних характеристик при переході від теорії Тангерліні до спеціальної теорії відносності. Наведена оцінка максимально можливого перевищення швидкості світла в системі відліку, зв'язаної з Землею.

Ключові слова: перетворення Тангерліні, спеціальна теорія відносності, абсолютна інерціальна система відліку.

1. Вступ

В останні роки в наукових виданнях [1-6] та мережі Інтернет активізувалася дискусія щодо певних методологічних проблем спеціальної теорії відносності (СТВ) та можливості побудови дещо іншої теоретичної моделі релятивістських процесів. В цій моделі постулюється існування виділеної – абсолютної – інерціальної системи відліку (АІСВ), нерухомої відносно ефіру, елімінованого при побудові СТВ (це – найбільш природне пояснення виділеності АІСВ, інші можливі пояснення див., напр. в [1]). Другим постулатом цієї моделі є постулат про ізотропність та інваріантність „двохсторонньої” швидкості світла, тобто середньої швидкості світла проходження однієї і тієї ж відстані в двох напрямках ($\uparrow\downarrow$):

$$\frac{c_{\uparrow} c_{\downarrow}}{c_{\uparrow} + c_{\downarrow}} = \text{invar}, \quad (1)$$

(більш загальне формулювання цього постулату: інваріантною та ізотропною є середня швидкість світла при русі по замкненому контуру).

Цей постулат фактично є необхідним наслідком з експерименту Майкельсона-

Морлі і всіх подальших інтерференційних експериментів, в яких світло двічі проходить одну і ту ж відстань або рухається по замкненому контуру (див., напр., [7, 8, 9]). З цих двох постулатів одержуються наступні просторово-часові перетворення, які є основою формалізму нової моделі:

$$x' = \gamma(x - vt); \quad y' = y; \quad z' = z; \quad (2)$$

$$t' = \frac{t}{\gamma}, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (3)$$

де (x, y, z, t) – координати і час точкової фізичної події в АІСВ K , а (x', y', z', t') – координати і час цієї події в ІСВ K' , яка рухається зі швидкістю v вздовж осі Ox АІСВ K . Вперше ці перетворення були наведені в роботі англійського математика Ігла [10], яка потім виявилася практично забутою; слід відмітити, що виведення перетворення (3) було зроблено не зовсім коректним чином [2]. Фундаментальною ж роботою, в якій не тільки дано коректне обґрунтування перетворень (2), (3), а і продемонстрована можливість побудови на їх основі повноцінної релятивістської моделі (включно з релятивістською квантовою теорією поля) є дисертаційна робота амери-

канського фізика Тангерліні [11], виконана в Інституті теоретичної фізики Н. Бора (див., також [12]). Тому, на наш погляд, доцільно називати перетворення (2), (3) – перетвореннями Тангерліні (ПТ), як це зроблено, наприклад в [1], а побудовану на їх основі теоретичну модель релятивістських процесів – теорією відносності Тангерліні (ТВТ).

Як бачимо, координатна частина ПТ (2) співпадає з координатною частиною перетворень Лоренца (ПЛ), але часова частина (3) відрізняється суттєво, оскільки в ПЛ:

$$\tilde{t} = \gamma \left(t - \frac{v}{c^2} x \right). \quad (4)$$

Знаком “~” тут і нижче позначено величини, розраховані по формулам СТВ (відмітимо, що в СТВ ІСВ К не є виділеною). Ця відмінність є наслідком відмінності базових постулатів:

1-й постулат СТВ – принцип відносності Енштейна, який проголошує рівноправність всіх ІСВ, тобто відсутність виділеної ІСВ, а значить, відсутність ефіру;

2-й постулат СТВ стверджує, що швидкість світла (у вакуумі) є однаковою у всіх ІСВ, що є суттєво більш обмежуючою умовою, ніж другий постулат ТВТ (1).

Співвідношення (4) є “болючою точкою” СТВ – воно є витокком відомих парадоксів і проблем, зокрема парадоксу годинників та проблеми порушення принципу причинності при використанні надсвітлових сигналів (зрозуміло, що відповідне співвідношення ТВТ (3) не породжує таких парадоксів і проблем). Але, з іншого боку, СТВ має статус надійно обґрунтованої та експериментально верифікованої теорії, вона вважається фундаментом сучасної теоретичної фізики, а також таких прикладних науково-технічних напрямків як атомна енергетика. Отже, виникла досить цікава ситуація, яка жваво обговорюється в сучасній фізичній літературі: існують дві теоретичні моделі релятивістських процесів – СТВ і ТВТ – в основі яких лежать відмінні просторово-часові перетворення – ПЛ і ПТ, відповідно. Але, як відмічено уже в

піонерській роботі [11], певні фізичні наслідки з обох перетворень співпадають. Перш за все це стосується результатів всіх інтерференційних експериментів по дослідженню поведінки швидкості світла; для конкретності будемо надалі говорити про найбільш відомий такий експеримент, а саме – Майкельсона-Морлі (ММ). Неважко показати, що результати експерименту ММ пояснюються як на базі ПЛ, так і на базі ПТ (див. розд. 4). Підкреслимо, що дослід ММ не довів, що швидкість світла є інваріантною величиною, це твердження є лише достатньою (але не необхідною) умовою для пояснення відсутності інтерференційної картини; з дослідів ММ з необхідністю витікає лише те, що для швидкості світла не виконується закон додавання швидкостей, який витікає з перетворень Галілея (ПГ).

Отже, ПГ є наближеними (ця наближеність не відчувається лише при $v = c$) і їх потрібно коректувати. Зрозуміло, бажано, щоб ця корекція була мінімальною. Як буде показано в розділі 2, такому “принципу мінімальності корекції” задовільняють ПТ і не задовільняють ПЛ.

Ключовим питанням при виборі між ПТ і ПЛ, а значить між СТВ і ТВТ є питання про інваріантність (та ізотропність) швидкості світла. На сьогоднішній день в фізичній літературі існують декілька описів експериментів, які нібито спростовують постулат про інваріантність швидкості світла. Це, наприклад, результати гренобльської групи по виявленню анізотропії швидкості світла реліктового випромінювання [13]; нагадаємо також про роботи відомого болгарського фізика з трагічною долею Маринова [3, 14], в яких наводяться результати експериментів по вимірюванню швидкості руху Землі відносно ефіру, яка виявилася $s \approx 362 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. З другого боку є роботи (див., напр. [15]), в яких нібито одержано експериментальне підтвердження 2-го постулату СТВ. Ця проблема містить певну методологічну трудність. Адже, для того, щоб порівняти швидкість світла

відносно різних ІСВ потрібно мати годинники синхронізовані певним чином – вперше на це звернув увагу академік Мальденштам [16]. Але для синхронізації годинників (напр. світлових годинників Енштейна) треба наперед знати – чи інваріантна швидкість світла! Отже, виникає “логічне коло” – для виявлення інваріантності (або неінваріантності) швидкості світла потрібні синхронізовані годинники, для чого потрібно наперед знати відповідь на питання про інваріантність швидкості світла. Все це дало підстави А. Пуанкаре для формулювання принципу “повної конспірації природи” (див., напр. [17]): природа світла така, що експериментально неможливо виявити, чи інваріантна, чи неінваріантна швидкість світла. Такий же статус має і питання: “існує чи не існує світлоносний ефір?”. Схоже на те, що ці речі ілюструють кантівське поняття “річ в собі”.

В світлі цих обставин доцільно одержати всі можливі наслідки з ПТ і порівняти їх з наслідками з ПЛ. Такий порівняльний аналіз і є метою даної роботи. В розд. 2 наведені основні співвідношення 4-вимірного формалізму ТВТ і проведено деяке порівняння із формалізмом СТВ. В наступному розд. 3 ПТ поширюються на випадок двох довільних ІСВ, які рухаються відносно ефіру із заданими швидкостями. Показано, що в певних випадках ПТ формально співпадають з ПГ.

В розд. 4 аналізуються трансформаційні властивості швидкісних характеристик при наявності ефіру; встановлений “перерахунковий коефіцієнт”, який дозволяє перераховувати ці характеристики з ТВТ в СТВ (і навпаки).

У вересні 2011 р. в мережі Інтернет та ЗМІ з’явилися повідомлення (які ще потребують перевірки та осмислення) про експериментальне виявлення групою фізиків в CERNі руху нейтрино з надсвітловою швидкістю (детальний опис цього експерименту див. в [18]). В зв’язку з цим в розд. 5 наведені оцінки (які є наслідком ПТ) можливого перевищення швидкості нейтрино над швидкістю світла в ІСВ, зв’язаної з Землею.

Показано, за яких умов теоретична оцінка узгоджується з експериментальним значенням. Виявилось, що максимально можливе перевищення швидкості світла приблизно в 50 разів більше, ніж одержане в [18] і висловленні пропозиції щодо можливості збільшення в експерименті величини обговорюваного перевищення.

Співвідношення між величинами енергія – імпульс – швидкість в довільний ІСВ, яка рухається відносно ефіру, обговорюються в розд. 6. Деяко іншим чином, ніж це зроблено в [11], показано, що енергія та імпульс (і співвідношення між ними) одержуються однаковими в СТВ і ТВТ. Суттєво відрізняється лише залежність цих величин від швидкості: в ТВТ вона має такий вид, що допускається можливість руху частинки з надсвітловою відносною швидкістю. В заключному розділі наведені висновки з представлених міркувань.

2. Деякі особливості 4-вимірного формалізму ТВТ

Точкову фізичну подію в АІСВ K представляє контраваріантний 4-радіус-вектор

$$x^\mu = \begin{cases} x^0 \\ x^1 \\ x^2 \\ x^3 \end{cases}, \quad x^0 = ct; \quad x^1 = x; \quad x^2 = y; \quad x^3 = z. \quad (5)$$

В ІСВ K' 4-радіус-вектор цієї події визначається за ПТ:

$$x'^\mu = T_\nu^\mu x^\nu, \quad \text{де } T_\nu^\mu = \begin{pmatrix} \gamma^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ -\gamma\beta & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

– матриця ПТ, $\beta = v/c$; традиційно в (6) і нижче мається на увазі сумування по індексу, що повторюється.

Запишемо також (для порівняння) в матричній формі ПЛ:

$$x'^{\mu} = L_{\nu}^{\mu} x^{\nu}, \text{ де } L_{\nu}^{\mu} = \begin{pmatrix} \gamma & -\gamma\beta & 0 & 0 \\ -\gamma\beta & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

– матриця ПЛ, та перетворення Галілея (ПГ):

$$x'^{\mu} = G_{\nu}^{\mu} x^{\nu}, \text{ де } G_{\nu}^{\mu} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\beta & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

– матриця ПГ.

Факторизація: неважко переконатися, що матриця ПТ отримується множенням матриці ПГ G на матрицю O_R :

$$T = O_R G, \text{ де } O_R = \begin{pmatrix} \gamma^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

– матриця ренормалізації просторових і часових інтервалів (лоренцеве скорочення інтервалів і уповільнення часу) [11]. Але для одержання матриці ПЛ L потрібно домножити матрицю ПГ G не тільки на O_R , а і на матрицю O_E :

$$L = O_E O_R G = O_E T, \text{ де } O_E = \begin{pmatrix} 1 & -\beta & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

– матриця десинхронізація часу по Ейнштейну [11]. На наш погляд, матриця O_E (10) ілюструє надлишкову достатність ПЛ (принаймні для узгодження теорії з результатами інтерференційних експериментів – для цього досить було скоректувати ПГ, помноживши G лише на O_R).

Оскільки ПТ (6) не є ортогональними, то для забезпечення інваріантної метрики Тангерліні довелося ввести метричний тен-

зор $g'_{\mu\nu}$, який залежить від швидкості руху v (відносно ефіру):

$$g'_{\mu\nu}(v) = \begin{pmatrix} 1 & -\beta & 0 & 0 \\ -\beta & \beta^2 - 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}. \quad (11)$$

При $v = 0$ $g'_{\mu\nu}$ перетворюється на метричний тензор СТВ:

$$g'_{\mu\nu}(0) = g_{\mu\nu} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Інваріантний 4-інтервал:

$$dS'^2 = g'_{\mu\nu} dx'^{\mu} dx'^{\nu} = g_{\mu\nu} dx^{\mu} dx^{\nu} = c^2 dt^2 - (dx^2 + dy^2 + dz^2). \quad (12)$$

Інваріантний скалярний добуток 4-векторів:

$$(A' * B') = g'_{\mu\nu} A'^{\mu} A'^{\nu} = A'_{\mu} A'^{\mu} = A_{\mu} A^{\mu}, \quad (13)$$

де $A'_{\mu} = g'_{\mu\nu} A'^{\nu}$ – коваріантний 4-вектор.

4-скалярний оператор д'Аламбера

$$\square' = -g'^{\mu\nu} \frac{\partial^2}{\partial x'^{\mu} \partial x'^{\nu}} = \nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \quad (14)$$

дає можливість записувати хвильові рівняння д'Аламбера в інваріантній формі.

Відмітимо, що співпадіння координатних частин ПТ і ПЛ та прозора факторизація (10) мають місце лише, коли одна із ІСВ є абсолютною, тобто нерухомою відносно ефіру. У випадку коли обидві ІСВ рухаються відносно ефіру ситуація ускладнюється і відмінність ПТ від ПЛ стає суттєвішою, що є предметом обговорення в наступному розділі.

3. Перетворення Тангерліні для довільних ІСВ

Із базових ПТ (2), (3), які визначають координати і час в довільній ІСВ через координати і час АІСВ, неважко вивести просторово-часові перетворення для двох довільних ІСВ, K_1 і K_2 які рухаються відносно АІСВ (тобто відносно ефіру) із

швидкостями \vec{v}_1 і \vec{v}_2 відповідно. Спочатку розглянемо найпростішу ситуацію, коли вектори \vec{v}_1 і \vec{v}_2 – колінеарні. Тоді, як неважко показати, набори координат і часу (x_1, y_1, z_1, t_1) і (x_2, y_2, z_2, t_2) в ІСВ K_1 і K_2 , відповідно, зв'язані перетвореннями:

$$x_2 = \gamma_{21}(x_1 - v_{21}t_1); y_2 = y_1; z_2 = z_1. \\ t_2 = \frac{t_1}{\gamma_{21}}, \text{ де } \gamma_{21} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}, \quad (15)$$

$$\gamma_{1,2} = \left(1 - \frac{v_{1,2}^2}{c^2}\right)^{-1/2}, v_{21} = \gamma_1^2(v_2 - v_1).$$

Зворотні перетворення мають вигляд:

$$x_1 = \gamma_{12}(x_2 - v_{12}t_2); y_1 = y_2; z_1 = z_2, \\ t_1 = \frac{t_2}{\gamma_{12}}, \text{ де } \gamma_{12} = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}, \quad (16) \\ v_{12} = \gamma_2^2(v_1 - v_2).$$

Звертає на себе увагу симетрія перетворень (15) і (16) по індексам “1” і “2”. В ПЛ симетрія простіша – зворотні ПЛ одержуються з прямих заміною $v \rightarrow -v$.

Але суттєвою відмінністю ПТ від ПЛ є те, що $v_{12} \neq -v_{21}$ – ці відносні швидкості різні за величиною. Це обумовлено тим, що ренормалізація просторових і часових інтервалів в K_1 і K_2 є різною (при $v_1 \neq v_2$) – тобто прилади для вимірювання v_{12} і v_{21} зазнають неоднакову деформацію.

Цікаво відмітити, що у випадку рівних за величиною і протилежно напрямлених швидкостей $\vec{v}_2 = -\vec{v}_1 = \vec{v}$ ПТ (15) формально приймають вид ПГ (оскільки $\gamma_{21} = \gamma_{12} = 1$):

$$x_2 = x_1 - v_{21}t_1; y_2 = y_1; z_2 = z_1; t_2 = t_1. \quad (17)$$

Єдина, але суттєва, відмінність: по Галілею $v_{21} = 2v$, а по Тангерліні $v_{21} = \frac{2v}{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ –

ця швидкість може бути необмежено великою, коли $v \rightarrow c$. Неважко переконатися, що при $v > (\sqrt{2}-1)c$, ($v < c$) відносна швидкість розльоту K_1 і K_2 перевищує швидкість світла, $v_{21} > c$. Отже, якщо

частинка маси M , що покоїться відносно ефіру, розпадається на дві однакові частинки, $M \rightarrow 2m$, то ці частинки будуть рухатися з надсвітловою відносною швидкістю, якщо маса $m < M \sqrt{\frac{\sqrt{2}-1}{2}}$ (переконатися в

цьому можна, застосовуючи релятивістські закони збереження енергії та імпульсу до вказаної реакції). При цьому не виникає жодної з проблем, які виникають в СТВ при описанні рухів з надсвітловими швидкостями: маси обох частинок дійсні, принцип причинності не порушується, обидві частинки можуть бути тілами відліку ІСВ.

А чи будуть ПТ приймати формально вид ПГ, якщо швидкості \vec{v}_1 і \vec{v}_2 однакові за величиною, $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v$, але кут між ними $\alpha \neq 0, \pi$, кут між \vec{v}_1 та \vec{v}_2 ? Зрозуміло, що час при цьому, як і в ПГ, буде однаковий, $t_1 = t_2$. Але просторова частина ПТ в цьому випадку не зводиться до просторової частини ПГ. Щоби в цьому переконатися випишемо ПТ для ІСВ K_1 і K_2 , в яких осі OX_1 і OX_2 спрямовані вздовж векторів \vec{v}_1 і \vec{v}_2 відповідно, осі $OY_{1,2}$ лежать в площині цих векторів, а $OZ_{1,2}$ – перпендикулярні цій площині (на жаль, ми не можемо, як в СТВ, вибирати спільний напрямок осі OX для обох систем вздовж вектора відносної швидкості: при наявності ефіру вектори \vec{v}_{12} і \vec{v}_{21} не тільки різні за величиною, а і неколінеарні).

Отже, за ПТ:

$$x_2 = \gamma_{21} [x_1 \cos \alpha + \gamma_1^2 (v_1 \cos \alpha - v_2) t_1 + \gamma_1 y_1 \sin \alpha], \quad (18)$$

$$y_2 = y_1 \cos \alpha - \left(\frac{x_1}{\gamma_1} + \gamma_1 v_1 t_1 \right) \sin \alpha, \quad z_2 = z_1, \\ t_2 = \frac{t_1}{\gamma_{21}}.$$

За ПГ:

$$x_2 = x_1 + (v_1 \cos \alpha - v_2) t_1 + y_1 \sin \alpha; \quad (19) \\ y_2 = y_1 \cos \alpha - (x_1 + v_1 t_1) \sin \alpha; \quad z_2 = z_1, \\ t_2 = t_1.$$

При $v_1 = v_2$, $\gamma_{21} = 1$ і $t_2 = t_1$, але в координатній частині ПТ залишається $\gamma_1 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v_1^2}{c^2}}}$, якого немає в координатній частині (19).

4. Трансформаційні властивості швидкісних характеристик в ТВТ

Нехай $\vec{u} = (u_x, u_y, u_z)$ -вектор швидкості відносно АІСВ К. Визначимо напрямок і величину швидкості \vec{u}' в ІСВ K' , що рухається вздовж осі ОХ АІСВ К зі швидкістю v . З ПТ (2), (3) отримуємо:

$$u'_x = \gamma^2(u_x - v); \quad u'_y = \gamma u_y; \quad u'_z = \gamma u_z. \quad (20)$$

Звідси одержуємо такі вирази для величини u' і кута θ' , між векторами \vec{u}' та \vec{v}

$$u'(\vec{u}, \vec{v}) = \frac{\sqrt{(\vec{u} - \vec{v})^2 - \frac{(\vec{u} \times \vec{v})^2}{c^2}}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (21)$$

$$\cos \theta' = \frac{\cos \theta - \frac{v}{u}}{\sqrt{\left(\cos \theta - \frac{v}{u}\right)^2 + \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right) \sin^2 \theta}}, \quad (22)$$

Порівняємо (20) – (22) з відповідними характеристиками, які впливають з ПЛ:

$$\begin{aligned} \tilde{u}'_x &= \frac{u - v}{1 - \frac{uv \cos \theta}{c^2}}; \\ \tilde{u}'_y &= \frac{u_y}{\gamma \left(1 - \frac{uv \cos \theta}{c^2}\right)}; \\ \tilde{u}'_z &= \frac{u_z}{\gamma \left(1 - \frac{uv \cos \theta}{c^2}\right)}. \end{aligned} \quad (23)$$

Бачимо, що кожна з проєкцій вектора \vec{u}' одержується множенням відповідної проєкції вектора \vec{u} на однаковий “перерахунковий коефіцієнт”

$$\chi = \frac{1 - \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}; \quad (24)$$

$$u'_x = \tilde{u}'_x \chi; \quad u'_y = \tilde{u}'_y \chi; \quad u'_z = \tilde{u}'_z \chi. \quad (25)$$

Звідси випливають два висновки:

- 1) напрямки векторів \vec{u}' і \vec{u} співпадають, тобто $\tilde{\theta}' = \theta'$ – кути, що визначають напрямки швидкостей частинки в СТВ і ТВТ перетворюються однаково;
- 2) величина швидкості в ТВТ u' одержується множенням цієї величини в СТВ \tilde{u}' на χ : $u' = \chi \tilde{u}'$,

$$\tilde{u}' = \frac{\sqrt{(\vec{u} - \vec{v})^2 - \frac{(\vec{u} \times \vec{v})^2}{c^2}}}{1 - \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{c^2}}. \quad (26)$$

Таке ж співвідношення і між векторами \vec{u}' і \vec{u} :

$$\vec{u}' = \vec{u} \chi.$$

Коефіцієнт χ обумовлений відмінністю синхронізації годинників в СТВ та ТВТ: в СТВ годинники вважаються синхронізованими світловими сигналами (з інваріантною та ізотропною швидкістю), а в ТВТ – “миттєвими” сигналами, тобто сигналами з нескінченною швидкістю. Як наслідок цієї відмінності, із (3) і (4) одержуємо такий зв'язок між інтервалами часу $d\tilde{t}'$ і dt' для частинки, що рухається із швидкістю \vec{u} відносно АІСВ К:

$$dt' = \frac{d\tilde{t}'}{\chi}. \quad (27)$$

Користуючись зворотніми ПТ можа визирати коефіцієнт χ через \vec{u}' і \vec{v} :

$$\chi(\vec{v}, \vec{u}') = 1 - \frac{\vec{v} \cdot \vec{u}'}{c^2}. \quad (28)$$

Розглянемо важливий частинний випадок – трансформаційні властивості швидкості світла. Якщо відносно АІСВ К світло розповсюджується зі швидкістю c під кутом θ до осі ОХ, то із (21) і (22) одержуємо, що в ІСВ K' значення c' і θ' визначаються співвідношеннями:

$$c'(v, \theta) = c \frac{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (29)$$

$$\cos \theta' = \frac{\cos \theta - \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c} \cos \theta}. \quad (30)$$

Із (30) одержуємо:

$$\cos \theta = \frac{\cos \theta' + \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta'}. \quad (31)$$

Співвідношення (30) і (31) співпадають з відповідними формулами СТВ.

Підставляючи (31) в (29), одержуємо:

$$c'(v, \theta') = \frac{c}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta'}. \quad (32)$$

Формула (32) описує анізотропію швидкості світла в ІСВ K' . Така анізотропія спостерігалася в [13]. Неважко переконатися, що (32) забезпечує виконання 2-го постулату ТВТ про ізотропність та інваріантність “двосторонньої” швидкості світла, оскільки

$$\frac{1}{c'(\theta')} + \frac{1}{c'(\theta'+\pi)} = \frac{2}{c} = \text{invar}. \quad (33)$$

5. Оцінка можливого перевищення швидкості світла в ІСВ, зв'язаної з Землею

В силу наявності виразу $1 - \frac{v^2}{c^2}$ в знаменниках формул для u' і c' – (21) і (29), відповідно, ці швидкості можуть бути необмежено великими, зокрема перевищувати “абсолютну” швидкість c (в ТВТ швидкість руху фізичних об'єктів лише відносно ефіру не може перевищувати c – із зрозумілих фізичних причин). Оцінимо можливе перевищення “абсолютної” швидкості світла в ІСВ, зв'язаної із Землею, якщо вірним є твердження, що вона, рухається відносно АІСВ зі швидкістю $v = 362$ км/с відносно АІСВ [3]. Будемо вважати швидкість нейтрино u відносно АІСВ дуже

близькою (але меншою) швидкості світла c : $u = c - \delta$, $\delta \ll c$. Враховуючи, що $v \ll c$, для відносного перевищення швидкості нейтрино u' над швидкістю світла c одержуємо, з точністю до величини 1-го порядку по v/c і δ/c :

$$\frac{u' - c}{c} \doteq -\frac{v}{c} \cos \theta - \frac{\delta}{c}. \quad (34)$$

Оскільки маса спокою нейтрино дуже маленька (порядка декількох eV) то, при енергії нейтрино 17 GeV [18], $\delta/c \approx 10^{-19}$, тобто $\delta \ll c$. Тому в цьому випадку

$$\frac{u' - c}{c} \doteq -\frac{v}{c} \cos \theta. \quad (35)$$

В CERNівському експерименті [18] мюонне нейтрино проходить шлях $s = (730 \pm 20 \cdot 10^{-5})$ км швидше світла¹ на час $\tau = (57,8 \pm 7,8)$ нс. Тому експериментальне значення обговорюваного перевищення

$$\left(\frac{u' - c}{c} \right)_{exp} = \frac{c\tau}{s} = (2,37 \pm 0,32) \cdot 10^{-5} \quad (36)$$

Таке значення при швидкості руху Землі $v = 362$ км/с [3] відповідає, згідно (35), значенню кута θ дуже близькому (але більшому) до $\pi/2$:

$$\theta = \frac{\pi}{2} + 0,0205. \quad (37)$$

Відмітимо, що точність теоретичної оцінки важко вказати, оскільки невідомо, з якою точністю може бути вимірний кут θ , швидкість v визначена в [3] відносно грубо $v = (362 \pm 40)$ км/с. Максимальне значення перевищення швидкості світла може бути досягнуто при такій орієнтації траєкторії руху нейтрино, коли $\theta = \pi$ (тоді із (22) випливає, що і $\theta' = \pi$).

$$\left(\frac{u' - c}{c} \right)_{max} \doteq \frac{v}{c} \doteq (121 \pm 13) \cdot 10^{-5}. \quad (38)$$

¹ Нижче буде відмічено умовність виразу «швидше світла»

Це значення приблизно в 50 разів більше за значення (36), отримане в [18]. Щоб збільшити експериментально вимірюване значення необхідно, як було пояснено вище, "розгорнути" (по можливості) траєкторію руху нейтрино приблизно на 90 градусів. Актуальність такого збільшення обумовлена, зокрема, тим, що голландський фізик ван Елбург вважав результат (36) помилковим - обумовленим неврахуванням релятивістських ефектів, пов'язаних із рухом GPS, які фіксували моменти випромінювання і детектування нейтрино (повідомлення розміщено в мережі Інтернет 14.10.2011 р.). Сумарна невизначеність внаслідок цих ефектів, по ван Ельбургу ≈ 64 нс. І хоча пізніше з'явилися повідомлення, що і повторні вимірювання з використанням нерухомих атомних (цезієвих) годинників підтвердили величину перевищення (36), бажано збільшити її хоча би в декілька разів, змінюючи напрямок руху нейтрино.

Отже, бачимо, що з ТВТ випливають оцінки, які, в певній мірі, узгоджуються з експериментально встановленими оцінками руху нейтрино з надсвітловою швидкістю. Підкреслимо умовність виразу "надсвітлова швидкість": нейтрино перевищує лише "абсолютну" швидкість c (відносно АІСВ), $u' > c$. Але, використовуючи формули (21), (22), (31) та (32) можливо довести наступне твердження: якщо частинка, що має ненульову масу спокою, і світло рухаються в одному напрямку в ІСВ K' , то завжди $u'(\theta') < c'(\theta')$. Тобто і в ТВТ існує своєрідний світловий бар'єр:

$$u' < \frac{c}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta'}, \quad (39)$$

який на відміну від абсолютного світлового бар'єру СТБ, $u' < c$, є анізотропним і залежним від швидкості v ІСВ K' .

Отже нейтрино, як і будь-яка частинка з ненульовою масою не може випереджати фотон. Тому ефекту Вавілова-Черенкова у вакуумі очікувати не слід.

6. Співвідношення між величинами – енергія, імпульс, швидкість - в довільній ІСВ (для частинки з ненульовою масою)

Як відомо, в СТБ можливість руху частинки з надсвітловою швидкістю ($u' > c$) веде до висновку про уявність її маси: $m = im^*$, де m^* – дійсне число (внаслідок наявності релятивістського фактору $\gamma' = \left(1 - \frac{\tilde{u}'^2}{c^2}\right)^{-1/2}$ в виразах для енергії,

$\tilde{E}' = \gamma' mc^2$, та імпульсу, $\tilde{P}' = \gamma' m \tilde{u}'$). В ТВТ маса частинки залишається дійсною при будь-яких значеннях u' , в тому числі і при $u' > c$. Це обумовлено іншим видом залежності енергії E' і \vec{P}' від швидкості u' у "неабсолютній" ІСВ K' . Перейдемо до розгляду цих залежностей.

Контраваріантний 4-вектор енергії-імпульсу P'^α випишемо як добуток маси спокою частинки m на контраваріантну 4-швидкість u'^α :

$$P'^\alpha = m u'^\alpha, \quad (40)$$

де

$$u'^\alpha = \frac{dx'^\alpha}{dt_0},$$

dt_0 – власний час, тобто інтервал часу в ІСВ K'' , в якій частинка покоїться. Потрібно dt_0 виразити через лабораторний інтервал часу dt' – в ІСВ K' .

Із часової частини (16) одержуємо:

$$dt_0 = \Gamma dt', \text{ де } \Gamma = \sqrt{\frac{1 - \frac{u'^2}{c^2}}{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (41)$$

u – величина швидкості частинки відносно АІСВ K .

Підставляючи (42) в (41) і, далі, в (40) одержуємо:

$$P'^\alpha = (P'^0, \vec{P}'), \quad (42)$$

де

$$P'^0 = \Gamma mc, \quad (43)$$

$$\vec{P}' = \Gamma m \vec{u}' \quad (44)$$

Неважко переконатися, що (40) з (43) і (44) можна одержати і іншим чином:

$$P'^\alpha = T^\alpha_\beta P^\beta, \quad (45)$$

де

$$P^\beta = (P^0, \vec{P}), \quad P^0 = \frac{mc}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}; \quad \vec{P} = \frac{m\vec{u}}{\sqrt{1 - \frac{u^2}{c^2}}}. \quad (46)$$

В піонерській роботі Тангерліні [11] вираз для P'^α одержаний трохи складнішим шляхом – із принципу найменшої дії з лагранжіаном певного виду. Користуючись формулами закону додавання швидкостей (20) - (22) можна виразити Γ через v , u' і θ' :

$$\Gamma(v, u', \theta') = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\vec{v}\vec{u}'}{c^2}\right)^2 - \frac{u'^2}{c^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\chi^2 - \frac{u'^2}{c^2}}} \quad (47)$$

(в (47) враховано (28)).

Підставляючи (47) в (44), одержуємо:

$$\vec{P}' = \frac{m\vec{u}'}{\sqrt{\chi^2 - \frac{u'^2}{c^2}}} \quad (48)$$

Згадуючи, що $\frac{u'}{\chi} = \vec{u}'$, одержуємо:

$$\vec{P}' = \frac{m\vec{u}'}{\sqrt{1 - \frac{\vec{u}'^2}{c^2}}} = \vec{P}' \quad (49)$$

Отже, релятивістський імпульс, визначений відносно довільної ІСВ в ТВТ та СТВ однаковий і за величиною і за напрямком. В ТВТ змінюється лише залежність імпульса від відносної швидкості u' ; ця залежність допускає необмежено великі значення швидкостей u' (оскільки коефіцієнт χ може бути необмежено великим). Неважко переконатися, що в силу (39), підкореневий вираз в (48) завжди додатний. Тому, на відміну від СТВ не виникає потреби постулювати уявність маси частинки, що рухається з надсвітловою швидкістю.

Трохи складніша ситуація з виразом для релятивістської енергії E' у відносній

ІСВ. В СТВ ця енергія визначається з нульової компоненти 4-імпульса; причому, оскільки в СТВ нульові компоненти однакові у контра - і коваріантного 4-векторів, то \vec{E}' можна визначати з обох:

$$\vec{E}' = \vec{P}'^0 c = \vec{P}'_0 c. \quad (50)$$

Однак в ТВТ виникає проблема, оскільки нульова компонента коваріантного 4-вектора імпульса

$$P'_0 = g'_{0\mu} P'^\mu = \Gamma mc \left(1 - \frac{\vec{u}'\vec{v} \cos \theta'}{c^2}\right) = \chi \Gamma mc, \quad (51)$$

відрізняється від нульової компоненти контраваріантного вектора P'^0 . Але неважко зрозуміти, що саме P'_0 (а не P'^0) співпадає із \vec{P}'_0 і \vec{P}'^0 в СТВ! Тому Тангерліні прийшов до висновку, що енергію E' потрібно визначати з P'_0 :

$$E' = P'_0 c = \frac{mc^2 \chi}{\sqrt{\chi^2 - \frac{u'^2}{c^2}}} = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{\vec{u}'^2}{c^2}}} = \vec{E}'. \quad (52)$$

Таким чином, значення енергії відносно довільної ІСВ, обчислені в ТВТ і СТВ є однакові. Розрізняються лише формули, що виражають залежність енергії від відносної швидкості u' . І знову ж таки – якщо в СТВ ця залежність вимагає обмеженості величини $\vec{u}' < c$, то в ТВТ може бути $u' > c$. Зберігається і формула СТВ залежності енергії від імпульсу: із (50) і (52) отримаємо:

$$E' = \sqrt{m^2 c^4 + P'^2 c^2}. \quad (53)$$

Якщо ж визначати E' з P'^0 ($E' = P'^0 c$), то одержуємо такий зв'язок між енергією та імпульсом:

$$E' = \sqrt{m^2 c^4 + P'^2 c^2} + \vec{P}' \cdot \vec{v}.$$

Ця формула протирічить експериментальним даним. Для одержання експериментально верифікованого співвідношення (53) потрібно релятивістський імпульс \vec{P}' визначити з трьохмірної частини контраваріант-

ного вектора P'^α , а енергію – з нульової компоненти коваріантного вектора P'_α

7. Висновки

З наведеного аналізу наслідків з ПТ в порівнянні з наслідками з ПЛ витікають наступні висновки.

При обчисленні основних фізичних характеристик, які використовуються при дослідженні релятивістських процесів одержуються однакові значення в ТВТ і СТВ; обидві теорії однаково успішно пояснюють наслідки всіх інтерференційних експериментів, в яких світло проходить однакову відстань у двох напрямках. Вочевидь, обидві теорії мають давати однакові результати в тих ситуаціях, коли не має значення спосіб синхронізації годинників.

Змінюється лише величина відносної швидкості і всіх тих характеристик, які визначаються похідною по часу – це є наслідком відмінності синхронізації годинників в СТВ і ТВТ (але напрямки швидкостей – однакові). В даній роботі наведена формула для коефіцієнта χ , який

дозволяє перераховувати відносні швидкості від ТВТ в СТВ (і навпаки).

Ситуація, в якій проявляється суттєва відмінність ПТ і ПЛ (а, значить, СТВ і ТВТ) є ситуація, коли швидкість частинки перевищує абсолютну швидкість c . В СТВ описання таких рухів стикається з великими труднощами – необхідність постулювати уявність маси тахіона, неможливість зв'язати з ним ІСВ, порушення принципу причинності (детальний аналіз цієї проблеми див. в [19]), які фактично унеможливають такі рухи (за винятком віртуальних станів і дуже малих просторово-часових областей). А в ТВТ при описанні таких рухів не виникає жодних проблем.

Загальний висновок – ПЛ є більш симетричними і зручними для користування, ніж ПТ, (зокрема, ПЛ утворюють групу, а ПТ – ні), але ПТ не породжують тих парадоксів і проблем, що є наслідками ПЛ, – зокрема, парадоксу годинників і проблеми порушення принципу причинності. Перевагою ПТ, перед ПЛ є і те, що ПТ представляють собою меншу корекцію ПГ, ніж ПЛ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Малыкин Г.Б. // УФН, 179, 285 (2009).
2. Чепик А.М. Актуальные проблемы статистической радиофизики. 6, 111-134 (2007).
3. Marinov S. New Measurement of the Earth's Absolute Velocity with the Help of the Coupled Shuttles Experiment // Progress in Physics, 2007 – V 1. – P. 31-37.
4. Обухов Ю.А., Захарченко Н.Н. Физическая мысль России, 2001. – №3.
5. Чаварга М.М. Відносний рух солітонів у світлоносному ефірі // Науковий вісник УжНУ. Серія Фізика. – 2000. – №7. – С. 174-194.
6. Барашенков В.С., Юрьев М.И. // Физическая мысль России. – 1999. – Т.1/2.
7. Kennedy R.J., Thorndike E.M. // Phys. Rev. 42, 400 (1932).
8. Малыкин Г.Б. // УФН, 172, 969 (2002).
9. Рагульский В.В. // УФН 167, 1022 (1997).
10. Eagle A.A. Criticism of the Special Theory of Relativity // Philos. Mag. Ser. 6, 26, P. 410 (1938).
11. Tangherlini F.R. The velocity of light in uniformly moving frame. - Ph D Thesis, Stanford: Stanford Univ, (1958).
12. Tangherlini F.R. Nuovo Cimento B 109. – P. 929, (1994).
13. Smoot G.F., Gorenstein M.V., Muller R.A. - Phys. Rev. Lett. 39, - P. 898, (1977).
14. Marinov S. The Thorny Way of Truth, part II (East - West, Grar, 1986).
15. Eisele Ch., Nevsky and Schiller S. Phys.

- Rev. Lett., 103, 090401 (2009).
16. Мандельштам Л.И. Лекции по физическим основам теории относительности. 1933-1934. Полное собрание трудов. – Т.5. (Под ред. М.А. Леонтовича) – М-Л.: Изд-во АН СССР, (1950). – 90 с.
17. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэндс М. Фейнмановские лекции по физике. – Т. 1-2. – М.: Изд-во Мир, 1976. – 271 с.
18. Preprint submitted to the Journal of High Energy Physics (17 November 2011).
19. Ляшевич В.І., Медведєв С.Ю. Тахіонні акаузальні петлі // Науковий вісник УжНУ. Серія Фізика. – 2010.–№27. – С. 103-111.

Стаття надійшла до редакції 19.01.2012

S.Y. Medvedev, I.F. Galamba

Uzhhorod National University, 88000, Uzhhorod, Voloshin Str., 54

ABOUT SOME CONSEQUENCES FROM THE TANGHERLINI TRANSFORMATIONS

The comparison of basic consequences from the Tangherlini and Lorentz transformations is made. It is shown that the majority of the experimentally verified results are identical in both theories. Only velocity characteristics are different, as well the energy and impulse dependences of the velocity. This circumstance is conditioned by the difference in the clocks synchronization. The coefficient for recalculating the velocity characteristics from the Tangherlini theory to the special theory of relativity is adduced. The estimation of the maximally possible exceeding the light velocity in the Earth frame is represented.

Key words: the Tangherlini transformation, special theory of relativity, absolute inertial frame.

С.Ю. Медведев, И.Ф. Галамба

Ужгородский национальный университет, 88000, Ужгород, ул. Волошина, 54

О НЕКОТОРЫХ СЛЕДСТВИЯХ ИЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ТАНГЕРЛИНИ

Проведено сравнение основных следствий из преобразований Тангерлини с соответствующими следствиями из преобразований Лоренца. Показано, что большинство экспериментально верифицированных результатов в обеих теориях совпадают. Отличными являются только скоростные характеристики и зависимость энергетических и импульсных характеристик от скорости, что обусловлено отличием синхронизации часов. Приведен коэффициент пересчета скоростных характеристик при переходе от теории Тангерлини к специальной теории относительности. Приведена оценка максимально возможного превышения скорости света в системе, связанной с Землей.

Ключевые слова: преобразования Тангерлини, специальная теория относительности, абсолютная инерциальная система.