

ТАХІОННІ АКАУЗАЛЬНІ ПЕТЛІ

В.І. Іляшевич, С.Ю. Медведєв

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

На основі перетворень Лоренца проведений аналіз проблеми порушення принципу причинності при використанні сигналів з надсвітловою швидкістю. Введені поняття критичної швидкості надсвітлового сигналу та критичного конусу, які є ключовими для такого аналізу. Обговорені всі можливі аспекти виникнення інверсії часу та розглянутий принцип реінтерпретації, який частково вирішує проблему порушення принципу причинності. Детально проаналізована можливість виникнення акаузальних петель при циклічному обміні надсвітловими сигналами між двома об'єктами. Сформульовані умови, при яких: а) виникає акаузальна петля; б) акаузальна петля не виникає, але є інверсія часу на одному з етапів циклу; в) не виникає ні інверсії часу, ні, тим більше, акаузальної петлі. Показано, що сформульовані умови носять інваріантний характер.

Ключові слова: тахіони, світловий бар'єр, принцип причинності, акаузальна петля, світловий конус, критичний конус, критична швидкість.

Вступ

В останні роки зростає кількість наукових публікацій, в яких використовуються тахіони – об'єкти, швидкість яких перевищує швидкість світла [1-7]. Тахіони використовуються навіть в таких новітніх теоретичних моделях як теорія струн і суперструн [5-7]. Але обґрунтування гіпотези тахіонів все ще не може вважатися задовільним, оскільки залишаються неподоланими декілька проблем методичного характеру. Вкажемо на дві основні проблеми: 1) неможливість зв'язати з тахіоном інерціальну систему відліку (ICB) і, отже неможливість екстраполювати перетворення Лоренца (ПЛ) за світловий бар'єр; 2) порушення принципу причинності при використанні надсвітлових сигналів.

Коротко обговоримо першу проблему. Неможливість зв'язати з тахіоном ICB є суттєвим недоліком тахіонної гіпотези. Адже, якщо це так, то навіть таке просте питання “чому дорівнює відносна швидкість двох тахіонів?” є некоректним. Крім того виникає певна логічна непослідовність: релятивістські вирази для енергії та імпульсу фактично екстраполюються за світловий бар'єр, а екстраполювання базових співвідношень спеціальної теорії відносності (СТВ) – ПЛ,

з яких, шляхом коваріантних міркувань, одержані ці вирази, заборонено. Сформулюємо цю заборону у вигляді такого твердження - не можуть бути сумісними наступні чотири умови: 1) швидкість руху v ICB K' відносно ICB K перевищує швидкість світла $v > c$; 2) швидкість світла у вакуумі є інваріантною, $c' = c$; 3) системи K і K' - рівноправні, тобто це означає, що обернені ПЛ мають одержуватися із прямих ПЛ шляхом заміни $v \rightarrow -v$; 4) із ICB K' зв'язане тіло відліку, яке покоїться у просторі. Довести це твердження пропонуємо зацікавленому читачеві. Тут лише відмітимо, що в декількох публікаціях [8-10] була зроблена спроба розширити ПЛ за світловий бар'єр, але при цьому порушувалась умова, вказана у пункті 3) – прямі і обернені ПЛ виявились знаконеєквівалентними. Цікава спроба екстраполювати ПЛ за світловий бар'єр зроблена в роботі [11] – виконуються умови 1), 2), 3), але не виконується умова 4) – тіло відліку в ICB K' виявилось таким, що покоїться не у просторі, а в часі.

Тому в нашій роботі розглядаються лише випадки, коли відносна швидкість v двох ICB менша швидкості світла, $v < c$. Швидкість же сигналу U , що переносить інформацію (або здійснює в тій чи іншій формі причинно-наслідковий зв'язок)

може перевищувати швидкість світла c . З наведених вище міркувань ця швидкість не є швидкістю руху частинки, що має масу спокою. Але у фізичній літературі [1, 12, 13] описані ситуації, в яких інформація (“сигнал”) передається без таких частинок. Ми не аналізуємо природу таких сигналів, а просто припускаємо можливість існування комунікаційних сигналів із $U > c$ – такі сигнали домовимось називати “тахіонними сигналами” або просто “тахіонами”. Виявляється, існують такі ситуації, коли при використанні тахіонів у певних ІСВ подія-наслідок відбувається раніше події-причини, тобто відбувається інверсія часу (ІЧ), і час для такого тахіона тече нібито у зворотному напрямку. Внаслідок цього можливе виникнення так званих акаузальних петель – таких циклічних процесів, які закінчуються до свого початку (в тій же точці, де вони починаються). Це породжує зрозумілий скептицизм по відношенню до тахіонів, зокрема щодо використання їх для надсвітлових комунікацій.

В розділі 2, в результаті аналізу на базі перетворень ПЛ виведені умови виникнення акаузальних петель. Зокрема показано, що існує досить широкий клас ситуацій, які чітко описані в даній роботі, коли використання надсвітлових сигналів не тільки не призводить до виникнення акаузальних петель, а навіть і до інверсії часу на жодному з етапів циклічного обміну сигналами. Цікаво, що одержані умови мають інваріантний характер. Аналіз виникнення акаузальних петель базується на проведеному у розділі 1 обговоренні умов виникнення ІЧ. Ключовими поняттями при формулюванні таких умов є поняття критичної швидкості та критичного конусу.

Розділ 1. Принцип причинності, інверсія часу, критична швидкість та критичний конус

В цьому розділі будемо розглядати точкові фізичні події в двох ІСВ: K і K' . Зв'язок між цими системами традиційний: ІСВ K' рухається із швидкістю $v < c$ вздовж осі Ox ІСВ K ; початки відліку цих систем співпадають в початковий момент часу.

Тоді координати і час довільної точкової фізичної події зв'язані між собою перетвореннями:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}, y' = y, z' = z; \quad (1)$$

$$t' = \frac{t - v/c^2 x}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

які називаються перетвореннями Лоренца.

Розглянемо дві події: "1" і "2", які в ІСВ K і ІСВ K' визначаються відповідними наборами (x_1, y_1, z_1, t_1) і (x_2, y_2, z_2, t_2) та (x'_1, y'_1, z'_1, t'_1) і (x'_2, y'_2, z'_2, t'_2) . Із ПЛ (1) витікає, що існує інваріантна комбінація цих наборів, яка називається просторово-часовим інтервалом або ж 4-інтервалом:

$$S_{12}^2 = c^2(t_2 - t_1)^2 - [(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2], \quad (2)$$

$$S_{12}^2 = in \text{ var}. \quad (3)$$

Завдяки наявності цього інваріанту вся множина пар подій "1" і "2" розбивається на два класи: а) пари подій, 4-інтервал між якими часоподібний:

$$S_{12}^2 > 0, \quad (4)$$

б) пари подій з просторовоподібним інтервалом:

$$S_{12}^2 < 0. \quad (5)$$

Поставимо тепер питання про можливість причинно-наслідкового зв'язку між подіями "1" і "2". Такий зв'язок здійснюється з певною швидкістю

$$\vec{U} = \frac{\Delta \vec{r}_{12}}{\Delta t_{12}}, \text{ величина якої}$$

$$U = \frac{|\Delta \vec{r}_{12}|}{\Delta t_{12}} = \frac{\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}}{|t_2 - t_1|}. \quad (6)$$

Легко бачити, що для часоподібних 4-інтервалів $U < c$, а для просторовоподібних $U > c$. Тому у традиційній “дотахіонній” спеціальній теорії відносності (СТВ), в якій існував “світловий бар’єр”, вважалося, що причинно-наслідковий зв’язок може існувати лише між тими подіями, інтервал між якими часоподібний.

Але включення тахіонних сигналів знімає це обмеження СТВ і фактично такий зв’язок стає можливим між будь-якою парою подій. Подивимось до яких наслідків це призводить. Розглянемо спочатку питання про інверсію часу (ІЧ), яке було відоме ще у “дотахіонній” СТВ. Терміном ІЧ будемо називати таку ситуацію, коли при $t_2 > t_1$ в ІСВ K , $t'_2 < t'_1$ в ІСВ K' . Надалі подію “1” будемо вважати подією-причиною, а “2” – подією-наслідком.

Отже із ПЛ (1) витікає:

$$t'_2 - t'_1 = \frac{t_2 - t_1 - \frac{v}{c^2}(x_2 - x_1)}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7)$$

ІЧ буде при виконанні умови:

$$t_2 - t_1 < \frac{v}{c^2}(x_2 - x_1). \quad (8)$$

Легко бачити, що для часоподібних 4-інтервалів умова (8) – не виконується і тому для подій з таким 4-інтервалом ІЧ не має і $t'_2 > t'_1$ при $t_2 > t_1$, тобто у будь-якій ІСВ подія-наслідок відбувається пізніше події-причини. Це і є змістовна частина “принципу причинності”.

Для просторовоподібних 4-інтервалів умова (8) може як виконуватись, так і не виконуватись – це залежить не лише від наборів координат і часу подій “1” і “2”, а й від співвідношення між швидкостями \vec{U} і \vec{v} (їх величинами і напрямками). Надалі обмежимося спрощеною ситуацією, коли вектори \vec{U} і \vec{v} співнаправлені. Тобто події “1” і “2” відбуваються на осі Ox ІСВ K :

$$y_1 = z_1 = y_2 = z_2 = 0 \Rightarrow y'_1 = z'_1 = y'_2 = z'_2 = 0. \quad (9)$$

При такому виборі умова (8) автоматично означає просторовоподібність

4-інтервалу. Таким чином, у “дотахіонній” СТВ ІЧ відбувалася лише для пар подій, які не могли бути зв’язані причинно-наслідковими зв’язками і тому ІЧ не означала порушення принципу причинності. Але при допущенні можливості тахіонних сигналів ІЧ свідчить про порушення принципу причинності – оскільки в ІСВ K' подія-наслідок відбувається раніше події-причини: $t'_2 < t'_1$ (в методичній літературі по тахіонам таку ситуацію називають “випереджаючою причинністю”). З (8) витікає, що таке порушення відбувається, коли швидкість тахіонного сигналу U перевищує не тільки швидкість світла, а й певне критичне значення:

$$U > U_{кр}, \quad U_{кр} = c^2/v. \quad (10)$$

Домовимось називати це значення “критичною швидкістю”.

Надалі будемо вважати подію “1” (x_1, t_1) - початком руху тахіона, а “2” (x_2, t_2) - кінцем. Запишемо тепер ПЛ (1) у такій формі:

$$\Delta x' = \Delta x \frac{1 - \frac{v}{U}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (11)$$

$$\Delta t' = \Delta t \frac{1 - \frac{Uv}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \Delta t \frac{1 - \frac{U}{U_{кр}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (12)$$

З (11) і (12) витікає такий вираз для швидкості U' тахіона в ІСВ K' :

$$U' = \frac{U - v}{1 - \frac{Uv}{c^2}} = \frac{U - v}{1 - \frac{U}{U_{кр}}}. \quad (13)$$

Бачимо, що при $U \rightarrow U_{кр}$ $U' \rightarrow +\infty$ (такий тахіон називається трансцендентним тахіоном); при $U > U_{кр}$ швидкість тахіона в ІСВ K' стає від’ємною $U' < 0$.

Але напрямок його руху у просторі при цьому не змінюється: із ПЛ (11) витікає, що $\Delta x' > 0$ при $\Delta x > 0$.

“Надкритичний” тахіон (1 – 2₄) рухається в ІСВ K' назад не у просторі, а у часі – із (12) слідує, що $\Delta t' < 0$ при $\Delta t > 0$ (коли $U > U_{кр}$). Для повноти картини додамо, що при $U > U_{кр}$ енергія E' в ІСВ K' стає від'ємною. В цьому можна переконатися, якщо використати трансформаційні властивості 4-імпульса і одержати наступні співвідношення:

$$E' = E \frac{1 - \frac{Uv}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = E \frac{1 - \frac{U}{U_{кр}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (14)$$

Для $U > U_{кр}$ $E' < 0$ (при $E > 0$).

Ця парадоксальна поведінка надкритичного тахіона має історичну

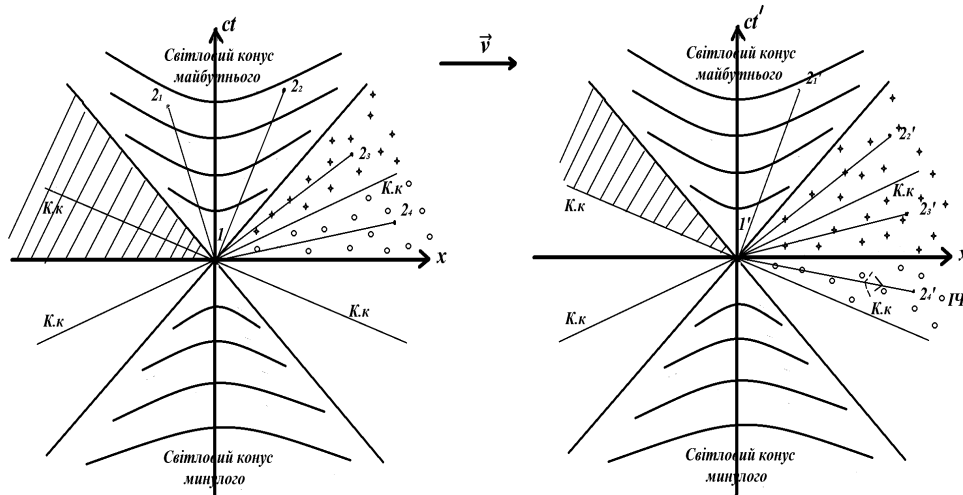


Рис. 1.1. Світові лінії досвітлових частинок і тахіонів в двох ІСВ, K і K' .

Цей принцип реінтерпретації лише частково вирішує проблему порушення принципу причинності (більш детальне обговорення можна знайти в [14]), але дозволяє включати тахіони як "віртуальні стани" в процесах розпаду і зіткнення елементарних частинок.

Зрозуміло, що, коли тахіон рухається у напрямку, протилежному до \vec{v} , тобто, коли $U < 0$ ніяких проблем з порушенням принципу причинності не виникає, в тому числі і при $|U| \rightarrow \infty$.

На рис. 1.1 представлені трансфор-

аналогію. Таку ж дивну поведінку демонструвала частинка, яку ми тепер називаємо позитроном: з рівняння Дірака витікало, що ця частинка веде себе, як дірка в морі електронів, яка має від'ємну енергію і рухається назад у часі. У цьому випадку принцип реінтерпретації власних значень діраківського гамільтоніана призвів до коректної інтерпретації позитрона, як антиелектрона, що рухається вперед у часі і має позитивну енергію. Аналогічний принцип реінтерпретації для надкритичних тахіонів був запропонований Г. Фейнбергом. Суть цього принципу полягає в наступному: спостерігач в ІСВ K' бачить, як надкритичний тахіон з часом наближається до нього і тому точку 2₄' слід розглядати не як поглинання тахіона з від'ємною енергією, а як випромінювання антитахіона з додатною енергією, а точку 1' – як поглинання цього антитахіона (див. рис. 1.1).

мації світових ліній частинок (як досвітлових, так і надсвітлових) при переході із ІСВ K в ІСВ K' (початок руху: $x_1 = ct_1 = 0$).

Поверхня світлового конусу визначається рівнянням $S_{12} = 0$ (для одновимірного руху $x = ct$); стінка критичного конусу для одновимірного руху задається рівнянням $x = U_{кр} t$.

Отже, всі світові лінії досвітлових частинок і в ІСВ K , і в ІСВ K' знаходяться всередині відповідних світлових конусів

майбутнього. Якщо тахіон рухається в тому ж напрямку, що і ІСВ K' , але його швидкість докритична $U < U_{кр}$ (його світлова лінія 2_2 лежить між поверхнями світлового і критичного конусів), то в ІСВ K' його світлова лінія лежить між поверхнями світлового конусу майбутнього і віссю OX' , тобто $t'_2 > t'_1$ і ІЧ не має, тобто принцип причинності не порушується. ІЧ також не виникає, коли тахіон (з будь-якою швидкістю) рухається в протилежному напрямку осі OX , тоді світлова лінія 2_3 в ІСВ K' попадає між поверхнями світлового та критичного конусів майбутнього. І лише, коли тахіон рухається з надкритичною швидкістю $U > U_{кр}$ в тому ж напрямку, що і ІСВ K' – світлова лінія 2_4 – виникає ІЧ – світлова лінія в ІСВ K' лежить між віссю OX' і поверхнею критичного конусу минулого.

Використаємо результати цього обговорення для аналізу акаузальних петель.

Розділ 2. Аналіз акаузальних петель

Розглянемо як інверсія часу може призводити до виникнення акаузальних петель. Встановимо умови виникнення і невиникнення таких петель на прикладі обміну сигналами між двома об'єктами, відносна швидкість руху яких є досвітловою, $v < c$ (напр., Земля – Космічний корабель).

Перша ІСВ зв'язана із випромінювачем, що знаходиться на Землі, друга ІСВ – з випромінювачем, що знаходиться у космічному кораблі.

Розглянемо дві такі можливі ситуації:

- 1) однотохіонний цикл – коли на одному з етапів обміну сигналами посилається радіосигнал, а на другому – тахіонний;
- 2) двотохіонний цикл – коли на обох етапах обміну швидкість сигналів надсвітлова*.

1) Однотохіонний цикл.

*Обговорення таких циклів проведено в цікавій і змістовній роботі [14], але висновки по однотохіонному циклу є помилковими, а по двотохіонному – неповними.

Отже, нехай в момент часу t_1 з точки 1 в системі Земля (З) (рис. 2.1) посилається радіосигнал, який приймається в точці 2. В системі космічний корабель (К), після того як приймається сигнал, проходить певний час (час включення τ) і в точці 3 системи К включається тахіонне джерело, з якого у напрямку системи З випромінюється тахіон.

Тоді можливі дві ситуації:

а) якщо швидкість тахіона надсвітлова, але вона не перевищує критичну швидкість $|U'| < U_{кр}$, $U_{кр} = \frac{c^2}{v}$, тоді не виникає ні акаузальної петлі, ні навіть ІЧ – причинність не порушується;

б) якщо швидкість тахіона надкритична $|U'| > U_{кр}$, то виникає інверсія часу $t_4 < t_3$, але акаузальної петлі не буде, тобто $t_4 > t_1$.

Отже однотохіонний цикл ні за яких умов не може згорнутися в акаузальну петлю. Оскільки в уже згадуваній роботі [14] не тільки обговорюється однотохіонна петля, а й наводиться відповідний графік [14: 136], то пояснимо більш детально, чому це є помилкою.

В системі відліку з випромінювачем тахіонів точки 1' і 4' з'єднані часоподібним

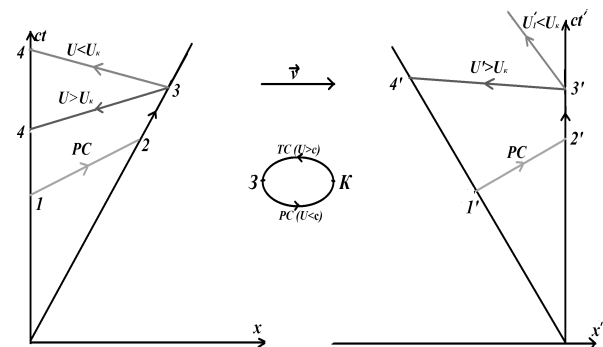


Рис. 2.1. Цикл з обміном одним тахіоном.

інтервалом, тому $t'_4 > t'_1$. Але часоподібність інтервалу є інваріантною властивістю і тому 4-інтервал, що зв'язує події 1 і 4 теж часоподібний. Оскільки, як відомо, для часоподібних інтервалів ІЧ неможлива, то із факту того, що $t'_4 > t'_1$ витікає $t_4 > t_1$, тобто відсутність акаузальної петлі.

Графічну неможливість утворення акаузальної петлі можна пояснити тим, що

кут нахилу лінії 4 - 3 більший за кут нахилу 1 - 2:

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = 1, \operatorname{tg} \alpha_{4-3} = \frac{|U|}{c} > 1 \Rightarrow \alpha_{4-3} > \alpha_{1-2}. \quad (15)$$

2) Двотахіонний цикл. Якщо системи 3 і К у нас зближуються, то як було показано в попередньому розділі, ні інверсій часу, ні, тим більше, акаузальних петель на жодному з етапів виникати не буде. У випадку, коли системи віддаляються можливе виникнення акаузальних петель, але лише при виконанні певних умов. Проаналізуємо, які ситуації будуть спостерігатися при віддаленні систем.

Отже, нехай в момент часу t_1 з точки 1 в системі 3 (див. рис. 2.2) посилається надсвітловий сигнал $U_1 > c$. Можливі наступні випадки:

а) Обидва тахіони докритичні

$$(U_1 < U_{kp}, |U'_2| < U_{kp}, U_{kp} = \frac{c^2}{v}). \quad (16)$$

Тоді на жодному з етапів не має інверсії часу (ІЧ) і, тим більше неможливе утворення акаузальних петель (див. рис. 2.2 а).

б) Перший тахіон докритичний, другий – надкритичний. На 1 етапі не має ІЧ, на 2 етапі є ІЧ, але не має акаузальної петлі (див. рис. 2.2 б).

в) Перший тахіон надкритичний, другий – докритичний. ІЧ є лише на 1 етапі, акаузальна петля відсутня (див. рис. 2.2 в).

г) Якщо швидкість обох тахіонів перевищує критичну ($U_1 > U_{kp}$,

$\tilde{U}_2 > U_{kp}, \tilde{U}_2 = |U'_2|$), то на обох етапах є ІЧ, але, тим не менше, акаузальна петля може не утворюватися. Надкритичність швидкостей обох тахіонів є тільки однією з необхідних, але не достатньою умовою згорання двотахіонного циклу в акаузальну петлю. Аналіз рівнянь, що описують світові лінії такого циклу призводять до формулювання такого набору необхідних і достатніх умов виникнення акаузальної петлі:

1) Швидкість першого тахіона має бути надкритичною:

$$U_1 > U_{kp}. \quad (17)$$

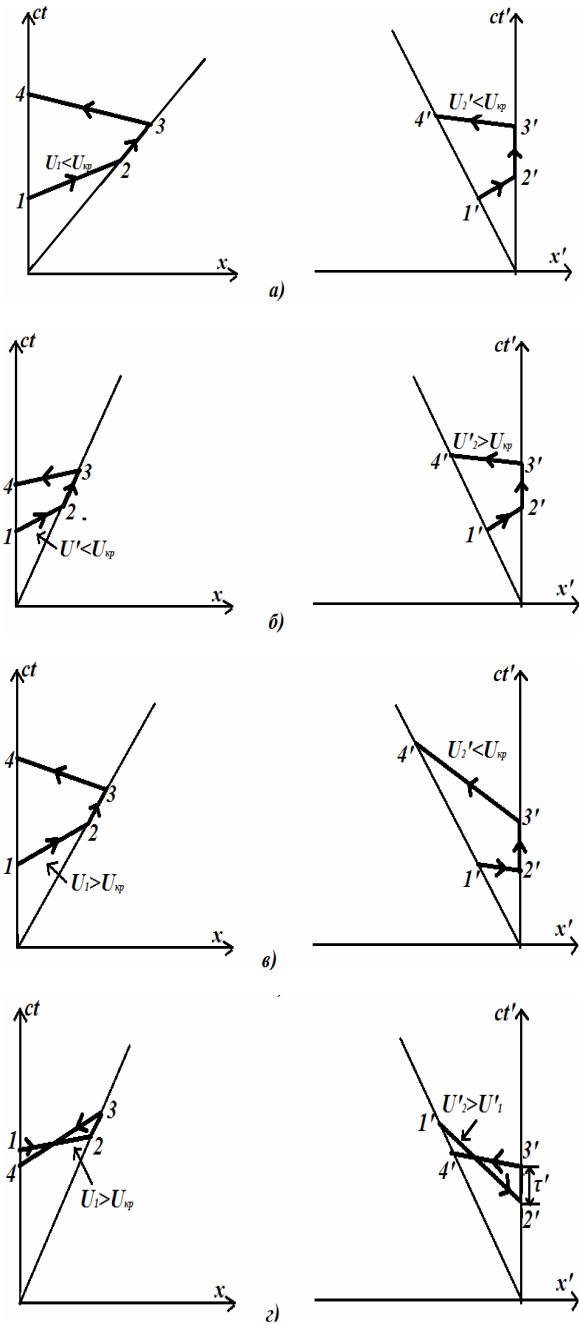


Рис. 2.2. Двотахіонний цикл: а) обидва тахіони докритичні; б) перший тахіон докритичний, другий – надкритичний; в) перший тахіон надкритичний, другий – докритичний; г) швидкість обох тахіонів перевищує критичну.

2) Швидкість другого тахіона в системі К має перевищувати швидкість першого і, враховуючи попередню необхідну умову, бути надкритичною:

$$|U'_2| > |U'_1| \Rightarrow |U_2| > \frac{U_1 - v}{U_1 v / c^2 - 1} \Rightarrow |U'_2| > U_{kp} \quad (18)$$

3) Інтервал включення τ' другого тахіонного джерела в системі K має бути не дуже великим, конкретніше:

$$\tau' < \tau'_{kp}, \tau'_{kp} = t'v \left(\frac{U_1 v / c^2 - 1}{U_1 - v} - \frac{1}{\tilde{U}_2} \right). \quad (19)$$

На рис. 2.2 г показаний двотахіонний цикл, який згортається в акаузальну петлю.

Легко переконатися, що при не виконанні хоча б однієї із умов 1-3, АП утворюватися не буде.

Важливим є те, що факт виникнення (або невиникнення) акаузальної петлі є інваріантним - якщо встановлено відсутність такої петлі в одній ІСВ, то і у всіх інших ІСВ акаузальної петлі не буде.

Це витікає із часоподібності 4-інтервалу, який зв'язує початок і кінець циклу.

Заключні зауваження і висновки

Ми не обговорюємо в даній роботі технічні можливості досягнення надсвітлових швидкостей – цікаві міркування з цього приводу можна знайти в роботі [12] в розділі під характерною назвою “Сверхсветовая коммуникация”. Нас цікавило лише питання методичного характеру – як уникнути порушення принципу причинності (інверсії часу) при користуванні надсвітловими сигналами.

Виявилось, що вирішальним критерієм при обміні надсвітловими сигналами між двома об'єктами, які рухаються із заданою відносною швидкістю v є критична швидкість $U_{kp} = \frac{c^2}{v}$. Відмітимо ще раз, що при зближенні об'єктів ніяких обмежень на величину швидкості U світлового сигналу не існує. Лише якщо об'єкти віддаляються один від одного, то для запобігання порушення принципу причинності треба обмежитись величинами швидкостей сигналу $U < c^2/v$.

Для макроскопічних об'єктів (напр. космічних кораблів) ця умова не є дуже обмежуючою. Наприклад, при $v=30 \text{ км/с}$ (такою є орбітальна швидкість руху Землі

навколо Сонця) $U_{kp} = 3 \cdot 10^{12} \text{ м/с}$, тобто діапазон “дозволених” швидкостей є досить широким.

Здавалося б, що ця обставина, а також інваріантність умов невиникнення акаузальних петель дозволяє зробити оптимістичні висновки щодо принципової можливості надсвітлових комунікацій. Але те, що при будь-якому значенні надсвітлової швидкості U завжди існують такі ІСВ, в яких відбувається інверсія часу, а саме – при швидкості ІСВ, що перевищує значення c^2/U кидає тінь сумніву на таку можливість.

Підкреслимо ще раз, що наш теоретичний аналіз певних аспектів проблеми надсвітлових швидкостей базується на перетвореннях Лоренца. В останні роки в фізичній літературі [15 – 20]. виникла дискусія, щодо можливості побудови нової релятивістської моделі, в основі якої лягли би не перетворення Лоренца, а так звані перетворення Тангерліні [15, 21]. В координатній частині ці перетворення співпадають з перетвореннями Лоренца, але перетворення часу відрізняється суттєво: час t' в ІСВ K' не залежить від координати x події в ІСВ K :

$$t' = t \sqrt{1 - v^2/c^2} \quad (20)$$

При цьому виявилось, що задовольняються результати експерименту Майкельсона–Морлі, а також, що переважна більшість наслідків з перетворень Тангерліні співпадають з наслідками перетворень Лоренца, тобто з результатами, отриманими в спеціальній теорії відносності. Відмінність полягає лише в способі синхронізації годинників. Обговорення цього складного методологічного питання виходить за рамки нашої статті, але зацікавлений читач може знайти більш детальне обговорення в роботах [16, 21, 22]. Відмітимо лише, що співвідношення (20) не породжує ані парадокса годинників, ані проблеми порушення принципу причинності. Тому,

якщо з часом статус перетворень Тангерліні буде надійно обґрунтованим, описання надсвітлових швидкостей доцільно буде проводити на базі цих перетворень. Відмітимо лише, що це будуть "швидкості за Тангерліні", на

відміну від розглянутих в даній статті "швидкостей за Ейнштейном", оскільки, як уже було відмічено, годинники, якими вимірюється час t в перетвореннях Лоренца і перетвореннях Тангерліні синхронізовані різним чином.

Література

1. Ораевский А.Н. Сверхсветовая волна в усиливающей среде. Оптические тахионы // Московский инженерно-физический институт (технический университет). – 1999. – Т. 4. – №1. – С. 3-32.
2. Ehrlich G. // Phys. Lett. – 2000. – № 493. – P. 229-232.
3. Nelson W., Sakellariadou M. Tachyonic decay of unstable Dirichlet branes // Phys. Rev. D. – 2008. – № 78. – P. 1214.
4. Calcagni G., Nardelli G. Tachyon solutions in boundary and open string field theory // Phys. Rev. D. – 2009. – №78. – P. 1189.
5. Headrick M. Note on tachyon actions in string theory // Phys.Rev.D. – 2009. – № 79. – P. 1209.
6. Gutierrez N., Lozano Y. Confinement and nonperturbative tachyons in brane-antibrane systems // Phys.Rev.D. – 2009. – № 79. – P. 1010.
7. Mazumdar A., Stoica H. Exciting gauge field and gravitons in brane-antibrane annihilation // Lett. Phys. Rev. – 2009. – № 102. – P. 1601.
8. Mignani R., Recami E. More about Lorentz transformations and tachyons // Lett. Nuovo Cimento. – 1973. – №7. – P. 388-393.1.
9. Recami E., Mignani R. Classical theory of tachyons (special relativity extended to superluminal frames and objects) // Riv. Nuovo Cimento. – 1974. – V.4. – P. 209.2. Feinberg G. // Phys.Rev. – 1967. – № 159. – P. 1089.
10. Медведєв С.Ю. Про можливість розширення спеціальної теорії відносності за світловий бар'єр // Науковий вісник УжНУ. – 2005. – №18. – С. 7-15.
11. Корухов В.В., Наберухин Ю.И. Сверхсветовые явления и пространственно-временные отношения в тахионных мирах // Философия науки. – 1995. – №1(1). – С. 58-64.4.
12. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация // УФН. – 1994. – Т.164. – № 5. – С. 449-530.
13. Aspect A., Dalibard Y., Roger G. // Phys. Rev. Lett. – 1982. – № 49. – P. 1804.
14. Барашенков В.С. Тахионы. Частицы, движущиеся со скоростями больше скорости света // Успехи физических наук. – 1974. – Т. 114. – № 1. – С. 133-149.
15. Tangherlini F.R. // Nuovo Cimento. – 1994. – № 109. – P. 929.
16. Малыкин Г.Б. Паралоренцевские преобразования // УФН. – 2009. – Т. 179. – № 3. – С. 285-288.
17. Чепик, А.М. Множество преобразований: свойство группы и принцип относительности // Актуальные проблемы статистической радиофизики. – 2008. – Т.7. – С. 125-140.
18. Чепик А.М. Абсолют. Основные принципы // Актуальные проблемы статистической радиофизики. – 2007, Т. 6, С. 111-134.
19. Kupryaev N.V. Extended representation of the Lorentz transformations // Russian Physics Journal. – 1999. – Vol. 42. – № 7. – P. 592 – 597.
20. Чаварга М.М. Відносний рух солітонів у світоносному ефірі // Науковий вісник УжНУ. – 2000. – №7. – С. 174-194.
21. Tangherlini F.R. The velocity of light in uniformly moving frame. - PhD Thesis. Stanford: Stanford Univ, 1958.
22. Мандельштам Л.И. Лекции по физическим основам теории относительности. М: Наука, 1972. – 5 с.

TACHYON AKAUZAL LOOPS

V.I. Ilyashevych, S.Y. Medvedev

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

The problem causality principle violations, when one employs superluminal velocity signals is analyzed. Concepts of the critical velocity and critical cone are introduced. All possible aspects of time inversion is discussed. The possibilities of the causal loops arisement are discussed in details. The conditions under which: a) an acausal loop is appeared; b) an acausal loop does not appear, but time inversion occurs at one stage of a cycle; c) neither an inversion time nor an acausal loop is appear. The invariance of these conditions is established.

Key words: tachyon, light barrier, the principle of causality, akausal loop, light cone, critical cone, critical speed.

ТАХИОННЫЕ АКАУЗАЛЬНЫЕ ПЕТЛИ

В.И. Иляшевич, С.Ю. Медведев

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

На основе преобразований Лоренца проведен анализ проблемы нарушения принципа причинности при использовании сигналов со сверхсветовой скоростью. Введены понятия критической скорости сверхсветового сигнала и критического конуса, которые являются ключевыми для такого анализа. Обсуждены все возможные аспекты возникновения инверсии времени и рассмотрен принцип реинтерпретации, который частично решает проблему нарушения принципа причинности и позволяет рассматривать тахионы как виртуальные состояния в процессах столкновения и распада частиц. Детально проанализирована возможность возникновения акаузальных петель при циклическом обмене сверхсветовыми сигналами между двумя объектами. Сформулированы условия, при которых: а) возникает акаузальная петля б) акаузальная петля не возникает, но есть инверсия времени на одном из этапов цикла; в) не возникает ни инверсия времени, ни, тем более, акаузальная петля. Показано, что сформулированные условия носят инвариантный характер.

Ключевые слова: тахион, световой барьер, принцип причинности, акаузальная петля, принцип реинтерпретации, световой конус, критический конус, критическая скорость.