

УДК 530.12+53(09)

Надсвітлові швидкості у СТВ: до джерел теоретичних концепцій руху за світловим бар'єром

О. А. Щербак, В. С. Савчук

(Дніпропетровський національний університет, фізико-технічний факультет,
Дніпропетровськ)

АНОТАЦІЯ. Запрет на превышение скорости света часто подкрепляется ссылкой на работы А. Эйнштейна, хотя СТО сама по себе не запрещает сверхсветовых движений. Сам А. Эйнштейн в своей работе 1907 года обосновывает невозможность сверхсветовых скоростей, исходя из характера нашего опыта, что не является основным законом. Дальнейший толчок в развитии теории сверхсветовых движений принадлежит Джеральду Фейнбергу, который в 1967 году ввел понятие сверхсветовой частицы с мнимой массой (таххион). Но вопрос о существовании скоростей, превышающих скорость света, стал дискутироваться еще в 20-х годах прошлого столетия. Концептуальные идеи Л. Штрума, касающиеся проблемы сверхсветовых скоростей, рассмотрены в контексте дискуссий 20-х годов, а так же в сравнении с идеями, относящимися к моменту разработки теории тахионов.

АБСТРАКТ. The prohibition of the velocity of light exceeding frequently is substantiated with the reference to Einstein's papers though the Special Theory of Relativity itself does not prohibit the supraluminal motions. A. Einstein, in the paper of 1907, justified supraluminal velocity possibly outgoing from the character of our experience, which is not the main law. The further jerk in development of the theory of supraluminal motions belongs to Gerald Feinberg, who in 1967 entered the concept of a supraluminal particle with imaginary mass (tachyon). At once have appeared the opponents and adherents of supraluminal motions in the frameworks of the SRT. But the question the existence of speeds exceeding the speed of light was discussed in the 20-s of the last century. The main aim of the given paper is Strum's works, touching the problem of supraluminal velocity in the context of controversies of that time review and also the comparative analysis with the works concerning the moment of the tachyons theory development.

Сприйняття будь-якої наукової теорії завжди проходить етап критичного осмислення основних її положень. Через цей етап пройшло і становлення теорії відносності. Один з основних постулатів спеціальної теорії відносності, такий як сталість швидкості світла, викликав великі дискусії у науковому світі. Прийняття його, як основного,

дозволило відмовитися від ефірних теорій і тим самим пояснити результати дослідів Майкельсона - Морлі.

У момент становлення теорії відносності з'являлися безліч альтернативних теорій, що дозволяли пояснити дослід Майкельсона - Морлі, при цьому зберегти можливість залишитися у рамках класичної фізики. Однією з них була балістична гіпотеза Рітца. Швидкість світла c від джерела, що рухається, була векторною сумою швидкості c_0 від нерухомого джерела і швидкості переміщення джерела V . Відповідно до Галілеєвої теореми додавання швидкостей вона дорівнювала: $\vec{c} = \vec{c}_0 + \vec{V}$. Цю теорію підтримували В. Рітц (W. Ritz, 1908), Комсток (Comstock, 1910), Кунц (Kunz, 1910), Толман (R. Tolman, 1910), Я.Грдіна (Ya. Grdina, 1923). Фактично вони вважали, що $c = 3 \cdot 10^8$ м/с реалізується лише щодо джерела випромінювання. (Варто вказати, що з питання сталості швидкості світла відбулася полеміка між Рітцем та Ейнштейном.) На сьогодні вважають, що ця теорія має тільки історичне значення.

Також Абрагамом для інтерпретації дослід Майкельсона, на основі теорії нерухомого ефіру, був запропонований інший закон додавання швидкостей $c' = c\sqrt{1 - V^2/c^2}$. Удруге формула Абрагама була відкрита Рап'є (Rapier) у 1961 р. Виведення формули ґрунтувалось на гіпотезі існування Лоренц - інваріантного ефіру, що цілком захоплюється.

Заборона на перевищення швидкості світла часто підкріплюється посиланнями на роботи А. Ейнштейна, хоча СТВ сама по собі не забороняє надсвітлових рухів. Сам А. Ейнштейн у своїй роботі 1907 року [10] обґрунтовує неможливість надсвітлових швидкостей, виходячи з характеру нашого досвіду. На цей факт звертається увага у роботі Д.А. Кіржиниця і В.І. Сазонова [9], які вказали, що саме на підставі вимоги причинності, а не виходячи з релятивістських розумінь, відкидаються надсвітлові рухи у підручниках В. Паулі „Теорія відносності“ і Л. Мандельштама „Лекції з оптики, теорії відносності і квантової механіки“.

Надалі ряд фізиків такі як: Я.П. Терлецький [11], Дж. Фейнберг [6], О. Біланюк і Е. Сударшан [5], у 60 - х роках минулого сторіччя прийшли до висновку, що надсвітловий рух не суперечить СТВ. Поштовх у розвитку теорії надсвітлових рухів належить Джеральду Фейнбергу, що у 1967 році ввів поняття надсвітлової частки з уявною масою (тахіон).

Однак питання про існування швидкостей, що перевищують швидкість світла, стало дискутуватися ще у 20-х роках минулого сторіччя. Можливо це було пов'язано з появою у пресі повідомлень про дослід Д. Міллера. Результати цих дискусій обговорювалися на сторінках ряду наукових журналів, таких, як *Zeitschrift fur Physik*. Основна увага приділялась інтерпретації цих дослідів та їхньої вірогідності.

Теоретичні питання цього періоду, що стосуються можливості існування надсвітлових швидкостей, виявилися при цьому як би менш „відчутними“. Новий час викликав нові теоретичні роботи, а піонерські роботи виявились вже забутими і невідомими широкій науковій громадськості. Зокрема, це відноситься до наукової діяльності фізика-теоретика проф. Л. Штрума.

Метою цієї статті є розгляд робіт Л. Штрума, що стосуються проблеми надсвітлових швидкостей у контексті дискусій того часу, а також їх порівняльний аналіз з роботами, що відносяться до моменту розробки теорії тахіонів.

Одне з заперечень, проти можливості існування тахіонів, полягає в тому, що ці частки можуть мати негативну енергію. У роботі Л. Штрума [7] 1923 року було сформульоване положення, що згодом у роботі [5] буде названо „принципом реінтерпретації“, що розв’язує вищевикладене протиріччя. Розглянемо докладно висновок, запропонований Л. Штрумом.

Нехай у момент часу $t = 0$ з початку координат починає поширюватися сигнал зі швидкістю $V > c$ уздовж вісі X системи S . Система S' рухається відносно системи S зі швидкістю $\nu < c$. Геометрично доказ проводився у такий спосіб.

Рис. 1. Просторово-часова діаграма наведена у статті Л. Штрума

У системі S :

$$OD = x; \quad BD = U = ct; \quad OD_1 = -x_1; \quad B_1D_1 = u_1 = ct_1;$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\nu}{c}; \quad \operatorname{tg}\psi = \frac{U}{x} = \frac{c}{V}; \quad \angle XOA = \frac{\pi}{4}$$

OA, OA_1 - перетинання конусу з площиною XU .

При $V > c$, $\psi < \frac{\pi}{4}$, точка B знаходиться у середині кута $\angle XOA$, тобто у „проміжному просторі“ [8, с.42]. Такі ж самі міркування можна провести і для точки B_1 . Коли $\nu > \frac{c^2}{V} \Rightarrow \frac{\nu}{c} > \frac{c}{V}$, тобто $\operatorname{tg}\varphi > \operatorname{tg}\psi$ точка B знаходиться у середині кута $\angle XOX'$, отже має від’ємну координату U' .

У системі S' :

$$x' = OF > 0; \quad ct' = OE < 0; \quad x'_1 = OF_1 < 0; \quad ct'_1 = OE_1 > 0;$$

Як вказав Л. Штрум: винятковість даних формул виявляється „не тільки в тому, що координата часу виходить від’ємною, а в тому, що координата часу — від’ємна, тільки в системі S' , а в іншій системі S , ця координата — додатня. Це показує, що при існуванні процесів, що поширюються зі швидкістю, більшою за швидкість світла, у якій-небудь системі S , можлива така швидкість прямолінійного і рівномірного руху іншої системи S' відносно S , при якій біг часу в системі S' для таких процесів, протилежний перебігу часу в системі S Таким чином теорія відносності приводить до нових наслідків у порівнянні з більш ранніми. По-перше, можливість швидкостей, що перевищують швидкість світла, не суперечить спеціальній теорії відносності“ [7].

Рис. 2. Просторово–часова діаграма наведена у статті О. Біланюка та Е. Сударшана

Аргумент, приведений Л. Штрумом у двадцятих роках минулого сторіччя, пролунав вже у 60-х роках знову у роботах О. Біланюка і Е. Сударшана [5]. Свої міркування вони інтерпретують за допомогою просторово–часової діаграми. За умовою, що спостерігач знаходиться у стані спокою відносно системи S , спостерігаємо тахіон, що був випущений джерелом, а через певний час поглинений в іншому місці. Відповідно на просторово–часовій діаграмі цим подіям відповідають точки O і P . Зрозуміло, що в системі відліку S' , що має швидкість ω по відношенню до системи S , ця частка рухається з іншою швидкістю відносно нас. Увівши поняття „частки з від’ємною енергією“, вони відзначають, що „зворотня послідовність подій спостерігається завжди, коли точка P знаходиться нижче вісі x . Вважає, що це проходить у точності за тих самих умов, при яких добуток $\nu\omega$ перевершує величину c^2 (де, ν — швидкість тахіона щодо системи S , ω — швидкість руху системи S' відносно S , (прим. авторів)). Як видно, інтерпретація цього збігу зміни знаків є ключем до послідовної теорії надсвітлових часток“ [5]. Даний принцип був названий ними принципом ре-інтерпретації, який говорить, що частки „з негативною енергією, що були спершу поглиненими, а потім випроміненими, є випроміненими і поглиненими в зворотньому порядку“ [5]. Якщо розглядати цю діаграму, то впадає у вічі значна подібність її до просторово–часової діаграми, за якою Л. Штрум проводить свої міркування щодо

існування випромінення з надсвітловими швидкостями. Виходячи з того, що наведена просторово-часова діаграма пояснює, що в такій системі послідовність подій буде також здаватися „від’ємною“ автори дістають висновок, що введення поняття часток з „від’ємною енергією“, що рухаються „назад у часі“ розв’язує проблему існування тахіонів. Таким чином і у Л. Штрума, і у О. Біланюка та Е. Сударшана мова йде про матеріальні об’єкти, які можуть рухатися з надсвітловою швидкістю. Але О. Біланюк та Е. Сударшан [5] ці об’єкти конкретизують, використовуючи поняття введене Дж. Фейнбергом — тахіон.

Поняття фазової швидкості, що використовується у СТВ, також приводить до появи швидкостей, що перевищують швидкість світла. Однак фазова швидкість, що перевищує c , не може використовуватися для переносу сигналу, а, як вказав Л. Мандельштам з цього приводу: „спростувати теорію (теорію відносності, прим. авт.) можна тільки в тому випадку, якщо в природі знайдуться процеси *сигнального характеру*, більші за швидкість світла“ [10].

Але, не зважаючи на це зауваження, існували спроби обґрунтувати відповідність фазової швидкості з кінематикою теорії відносності [8]. Так, висновок Л. Штрума може бути викладений на основі наступних міркувань. Розглянемо формулу додавання швидкостей:

$$V' = \frac{V - \nu}{1 - \frac{V\nu}{c^2}}$$

де ν — це швидкість системи S' щодо системи S , V — це швидкість процесу в системі S , V' — відповідна швидкість у системі S' . Припускаємо, що V передає швидкість фазової хвилі, що відповідає руху матеріального тіла зі швидкістю ω у системі S , тобто $V = \frac{c^2}{\omega}$. Отже, вчений робить припущення, про можливість доведення того, що V' є швидкістю фазової хвилі, що відповідає руху того ж тіла у системі S' .

Таким чином, з одного боку, коли ми підставляємо $V = \frac{c^2}{\omega}$ у формулу додавання швидкостей, одержуємо:

$$V' = \frac{c^2 - \nu\omega}{\omega - \nu}.$$

З іншого боку, швидкість ω у системі S відповідає швидкості ω' у системі S' , що дорівнює:

$$\omega' = \frac{\omega - \nu}{1 - \frac{\omega\nu}{c^2}}.$$

Даній швидкості відповідає фазова швидкість:

$$V' = \frac{c^2}{\omega'} = \frac{c^2 - \nu\omega}{\omega - \nu}.$$

Як пише Л. Штрум: „Якщо $V < c^2/\nu$, тобто $\omega > \nu$, тоді тіло, що рухається в системі S зі швидкістю ω , випереджає систему S' , тоді V і V' в обох системах рівноспрямовані. Якщо $V = c^2/\nu$, тобто $\omega = \nu$ то $V' = \infty$. Але в останньому випадку, якщо швидкості ν і ω рівні — тіло нерухоме щодо системи S' , і тоді фазова швидкість

нерухомої матеріальної точки нескінченно велика, тому що в цьому випадку процес коливань $\Phi = \Phi_0 \pi \nu_0 t_0$ є тимчасово, але не просторово, періодичним. Якщо $V > c^2/\nu$, тобто $\omega < \nu$, то напрямки V і V' в обох системах протилежні. Але при $\omega < \nu$ швидкість руху тіла, щодо системи S' , здобуває від'ємний знак і тоді швидкість відповідної фазової хвилі спрямована в системі S' так само. Таким чином, поняття фазової хвилі, швидкість якої більша за швидкість світла, цілком входить у кінематику теорії відносності, не зустрічаючи яких-небудь заперечень.“[8]

Теорія надсвітлових часток розвивається, прагнучи органічно вписатися у теорію відносності А. Ейнштейна, що стала вже класичною. Так, з'являються теорії у яких отримані співвідношення СТВ і хвильові рівняння для тахіонів, але вже з речовинною масою [9]. Однак, як видно з вищесказаного, ідеї, висловлені в ранні роки становлення нової фізики, знайшли своє відбиття в розвитку сучасної теорії. Але на тому етапі розвитку науки ще не були готові як експериментальна, так і теоретична бази (зокрема, не існувало теорії елементарних часток), ґрунтуючись на які, могли б реалізовуватися сміливі припущення. Хоча і на даний момент існування надсвітлових часток не доведено експериментально, дослідження в цій області приведуть до більш глибокого розуміння фізики. Як зазначено у статті [5] „у сучасній фізиці існує неписане правило, яке часто жаргівливо називають загальним принципом Гелл - Манна, яке стверджує, що у фізиці, те що не заборонено, обов'язково існує“!

Література

- [1] *Котельников Г.А.* О нарушении инвариантности скорости света в специальной теории относительности — Р 90835, препринт. — М. — 2000 — 80 с.
- [2] *Киржниц Д.А., Сазонов В.Н.* Сверхсветовые движения и специальная теория относительности //Эйнштейновский сборник 1973. — М.: Наука, — 1974. — с.84-122.
- [3] *Эйнштейн А.* Собрание научных трудов — т.1. — М.: Наука. — 1967. — с.76.
- [4] *Терлецкий Я.П.* Парадоксы теории относительности. — М.: Наука. — 1966.
- [5] *Bilaniuk O.M., Sudarshan E.C.G.* Particles Beyond the Light Barrier // Physics Today. — v. 22. — 1969. — p. 43.
- [6] *Feinberg G.* // Phys. Rev. — 159. — 1967. — p. 1089.
- [7] *Штрум Л.* Про швидкості більші од швидкості світла, у спеціальній теорії релятивності // Наукові записки. — т. II. — 1924. — с. 81-88. то же
- [8] *Strum L.* Zur Frage nach der Uberlichtgeschwindigkeit in der speziellen Relativitatstheorie // Zs. fur Phys. — 20. — 1923. — p. 36-44.
- [9] *Strum L.* Die Phasengeschwindigkeit in der Kinematik der Relativitdtstheorie // Zs. f. Physik. — 60. — 1930. — p. 405-409.
- [10] *Ivanov M.Ya., Krasnoslobodtsev I.V.* Perspectives of the Special Relativity theory // Physical Interpretation of Relativity Theory: Proceedings of International Meeting. Moscow, 4-7 July / Edited by M.C. Duffy, V.O. Gladyshev, A.N. Morozov, P. Rowlands. — М.: ВМСТУ, 2005. — p.365-368.
- [11] *Мандельштам Л.* Лекции по оптике, теории относительности и квантовой механике. — М.: Наука. — 1972. — 437 с.