

УДК 53.03

В.І. Клапченко, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури

МАКРОСКОПІЧНА МОДЕЛЬ МЕХАНІЧНОГО РУХУ

АНОТАЦІЯ. Запропоновано макроскопічну модель рівномірного руху, яка формує цілісний погляд на механічний рух як фундаментальне фізичне явище. Вперше показано існування критичної швидкості руху середовищ, вище якої з'являється ефект закритичного релятивістського випромінювання, на даний час відомого, зокрема як синхротронне випромінювання.

АННОТАЦИЯ. Предложена макроскопическая модель равномерного движения, которая формирует целостный взгляд на механическое движение как фундаментальное физическое явление. Впервые показано существование критической скорости движения сред, выше которой появляется эффект закритического релятивистского излучения, на данное время известного, в частности, как синхротронное излучение.

ANNOTATION. The macroscopical model of uniform motion which forms a complete sight at mechanical motion as the fundamental physical phenomenon is offered. For the first time existence of critical velocity of motion of medium above which there is an effect overcritical relativistic radiation, for given time known, in particular, as synchrotron radiation is shown.

Вступ. В роботі [1] розглянута ймовірнісна інтерпретація механічного руху макротіл. Головним результатом цієї роботи була залежність маси макротіл від їх швидкості руху, яка в [2] з'являлась лише як наслідок. Успішність ймовірнісної інтерпретації механічного руху дозволила поставити питання про можливість системного розгляду механічного руху, по аналогії з тепловим молекулярним рухом, з двох точок зору. З одного боку, на основі корпускулярно-кінетичної моделі, початок якій покладено в [1], а з другого – на основі макроскопічної моделі механічного руху, яка базується на залежності маси тіл від їх швидкості.

Дана робота присвячена спробі сформуванню такої макроскопічної моделі механічного руху, розглянувши, в першу чергу, рівномірний прямолінійний рух тіл.

Головні співвідношення. Найбільш підтвердженим та безсумнівним експериментальним фактом є залежність маси тіл від їхньої швидкості руху u :

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1-u^2/c_0^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (1)$$

де c_0 – швидкість світла в вакуумі. Зростання маси по (1) стає відчутним лише при швидкостях u , порівнянних з c_0 , тому ми розділяли механіку на класичну та релятивістську. Насправді ж (1) справедлива при будь-яких швидкостях і є невід'ємною ознакою механічного руху. Тому залежність (1) ми будемо називати *глобальним співвідношенням*, або основним законом, що характеризує механічний рух як такий.

Глобальність цього співвідношення в тому, що для будь-якого рухомого середовища, яке має швидкість u , його маса, маси всіх складових середовища (окремих тіл, частинок та навіть електромагнітного випромінювання) змінюються за формулою (1). Тобто, для фотона, як складової електромагнітного випромінювання, справедливо наступне:

$$m_\phi = \frac{m_{0\phi}}{\sqrt{1-\beta^2}}, \quad (1a)$$

якщо він рухається разом з середовищем, де

$$m_{0\phi} = \text{const} \neq 0, \quad (1b)$$

маса цього ж фотона, який рухається в вакуумі незалежно від рухомого середовища, тобто, не взаємодіючи з ним.



Підкреслимо, що $m_{0\phi}$ – це ні в якому разі не маса спокою фотона, яка тотожно дорівнює нулеві. В (1a) та (1b) мова йде про фотон, що розповсюджується в вакуумі, знаходячись в двох різних станах взаємозв'язку з рухомим середовищем. Співвідношення (1a) та (1b) утворюватимуть систему зв'язаних рівнянь лише при додатковій умові незмінності частоти фотона в цих станах:

$$\omega_{\phi} = \omega_{0\phi} = \text{const} . \quad (2a)$$

Ця умова враховує явну залежність енергії-маси фотона від частоти.

З рухомим середовищем завжди пов'язана певна кількість рівноважного випромінювання. Наприклад, це може бути теплове випромінювання в вакуумній порожнині рухомого середовища. Його можна ізолювати непроникною оболонкою, але, при її відсутності, випромінювання здатне безперешкодно покидати рухоме середовище. Для окремої порції випромінювання (фотона) це означає стрибкоподібний перехід від стану руху в вакуумі в складі рухомого середовища (1a) до стану вільного розповсюдження в вакуумі незалежно від рухомого середовища (1b).

Безперешкодний вихід фотонів за межі рухомого середовища буде можливим лише при виконанні законів збереження, зокрема закону збереження імпульсу. Якщо швидкість фотона в вакуумі, в стані, коли він є складовою рухомого середовища, позначити як c , а швидкість фотона в вакуумі, в стані, коли він рухається незалежно, як c_0 , то закон збереження імпульсу для фотона відносно вакууму матиме вигляд:

$$m_{\phi}c = m_{0\phi}c_0 = \text{const} . \quad (2b)$$

Скориставшись (1a) та (1b), матимемо:

$$c = c_0 \sqrt{1 - \beta^2} , \quad (3a)$$

$$c_0 = \text{const} . \quad (3b)$$

Зауважимо, що подвійні співвідношення (1a), (1b) та (3a), (3b), пов'язані між собою законом збереження імпульсу (2b), представляють собою *первинні наслідки* глобального співвідношення (1) та описують параметри головного носія релятивістської ідеї - світла. Тому ми називатимемо їх *головними* релятивістськими співвідношеннями. Їх особливість – специфічний дуалізм. З одного боку вони враховують *квантовий* корпускулярно-хвильовий дуалізм. З другого – *релятивістський* дуалізм світла, що розділяє випадки: світло є невід'ємною складовою рухомого середовища або тісно взаємодіє з середовищем (наприклад, з вимірювальною системою) - тоді справедливі (1a) та (3a); світло з середовищем не взаємодіє – тоді справедливими є (1b) та (3b). Історично обидва співвідношення (3a), (3b) для швидкості світла в вакуумі розглядалися [3], але як альтернативні.

Про часткову застосовність балістичної гіпотези. В нашому розгляді постійно буде присутнім особливий об'єкт руху – світло (або його складова частинка - фотон). Його особливість ми змогли відчутти з моменту появи уявлення про нього. Зокрема до фотона не можна прикласти силу, до нього не застосовне поняття прискорення, тобто, він не підлягає динамічному описанню. Можна прискорити будь-яку частинку (наприклад, атом), але не можна прискорити фотон. До особливостей світла слід віднести і питання про застосовність балістичної гіпотези. Наприклад, Рітц [4] розглядав лише дві можливості: балістична гіпотеза для світла застосовна повністю та балістична гіпотеза незастосовна зовсім.

А насправді істина посередині. Ми розглянемо це таким чином. Нехай існує деяка *експертна* система відліку, яка нерухома відносно фізичного вакууму. І нехай в цій системі відліку знаходиться нерухоме середовище, в складі якого ми можемо виділити один з атомів, здатний в збудженому стані випромінювати квант світла. Поки середовище нерухоме, атом випромінює фотон з частотою

$$\omega_{0\phi} = \frac{W_{0mn}}{\hbar} = \frac{m_{0\phi}c_0^2}{\hbar}, \quad (4)$$

де W_{0mn} – енергія збудження нерухомого атома. Якщо середовищу, разом з таким збудженим атомом, надати швидкості u , то його енергія збудження зросте, відповідно до (1):

$$W_{mn} = \frac{W_{0mn}}{\sqrt{1-\beta^2}} = m_{\phi}c_0^2. \quad (5)$$

Енергія за формулою (5), по суті, є енергією поки ще не народженого в рухомій системі відліку фотона, маса якого m_{ϕ} повинна зрости відповідно до (1a). До цієї порції енергії-маси ненародженого фотона, як і для будь-якої частинки з ненульовою масою спокою, балістична гіпотеза застосовна в повній мірі. Зокрема можна представити цю порцію енергії-маси, як таку, що отримала швидкість c в напрямі, перпендикулярному напрямку швидкості u . Тоді закон збереження імпульсу для спостерігача експертної системи відліку виглядав би так:

$$m_{\phi}\vec{c} + m_{\phi}\vec{u} = m_{\phi}\vec{c}', \quad (6)$$

де m_{ϕ} – маса можливого фотона, еквівалентна енергії за формулою (5). Провівши скорочення в (6), отримаємо:

$$\vec{c} + \vec{u} = \vec{c}', \quad (7)$$

де швидкість c визначається формулою (3a).

Якщо справедливі обидві формули (6) і (7), то балістична гіпотеза застосовна, а коли обидві не справедливі, то балістична гіпотеза повністю незастосовна. До поки порція енергії-маси за формулою (5) є частиною рухомого атома, обидва співвідношення справедливі. Але як тільки фотон випромінюється та виходить за межі рухомого середовища, ситуація змінюється. По-перше, напрям випромінювання повинен співпасти з напрямом швидкості \vec{c}' , але величина швидкості завжди буде рівною c_0 відповідно до (3b). По друге, маса фотона, що покинув рухоме середовище, стане рівною $m_{0\phi}$, так що імпульс його $m_{0\phi} \cdot c_0$ буде за величиною рівний тому імпульсу, який би був у фотона при випромінюванні нерухомим середовищем. Легко перевірити, що величина цього імпульсу рівна $m_{\phi} \cdot c$, тобто, імпульсу фотона в рухомому середовищі, що й дозволило записати (2b).

Тобто, додаткового імпульсу $m_{\phi}\vec{u}$ (6) у фотона не має, цей доданок завжди належить рухомому середовищу. Тому формула (6) для фотона взагалі не може бути записана. А формула (7) справедлива лише частково, вона правильно визначає напрям випромінювання фотона, що покидає рухоме середовище, проте величина результуючої швидкості \vec{c}' фізичного змісту не має. Таким чином, часткова застосовність балістичної гіпотези зводиться до того, що дає змогу визначити кути діаграми випромінювання світла, що виходить за межі рухомого середовища.

Підсумовуючи, ще раз привернемо увагу на те, що при прискоренні середовища змінити імпульс фотона не можна. Додатковий імпульс, що виникає, є невід'ємною частиною рухомого середовища, як, до речі і додаткова енергія $\Delta W = (m_{\phi} - m_{0\phi})c_0^2$. Дійсно, з повної енергії збудженого атома за формулою (5) за межі рухомого середовища фотон виносить тільки енергію $m_{0\phi}c_0^2$. Та навіть більше того, фотон, перебуваючи в межах рухомого середовища та маючи повну енергію $m_{\phi}c_0^2$, проявляє себе як фотон з енергією $m_{0\phi}c_0^2$. Це і є його власна енергія. Коротше кажучи, фотон в рухомому середовищі став важчим та повільнішим, але при цьому не змінив ні своєї енергії ні імпульсу.

Тепер можна зробити важливий висновок. Ми розглянули приклад випромінювання фотона рухомим атомом, вибравши випадок, коли швидкість руху фотона \vec{c} орієнтована



перпендикулярно швидкості середовища \vec{u} . При такому виборі буде відсутнім поздовжній ефект Доплера. Отриманий нами результат такий: енергія фотона для спостерігача в рухомому середовищі така ж за величиною, як і для спостерігача експертної системи відліку, який приймає фотон в напрямі швидкості \vec{c}' , і така ж, яку випромінював би нерухомий атом. Тобто, відповідно до (4), виміряна частота фотона у всіх трьох випадках буде однаковою. Висновок: *поперечного ефекту Доплера не існує*. Узагальненням до такого висновку є твердження про те, що фізичний вакуум можна розглядати як абсолютну систему відліку.

Вторинні релятивістські співвідношення та атомні еталони. Ще раз повернемося до розгляду атомарної задачі. Цього разу поцікавимося більш віддаленими наслідками, до яких приводить наявність залежності маси від швидкості руху (1). В першу чергу звернемо увагу на те, що з точки зору спостерігача експертної системи відліку, у рухомого атома за формулою (1) змінюються маси всіх структурних складових (зокрема електронів), так що прямим наслідком співвідношення (1) буде скорочення довжини хвилі де Бройля електрона в атомі:

$$\lambda_{eДБ} = \frac{h}{m_e V_{ep}} = \lambda_{e0ДБ} \sqrt{1-\beta^2}, \quad (8)$$

де V_{ep} – відносна швидкість електрона в системі атома.

Формулу (8) можна вважати вторинним наслідком співвідношення (1). Пряме спостереження (8) не можливе, зате опосередковано воно підтверджено тим, що енергія збудження у рухомого атома зростатиме по (5). Але формула (8) розпочинає інший ланцюжок зв'язків, що приводять до наслідків, які допускають прямі спостереження: за зменшенням довжини хвилі де Бройля настає зменшення електронних радіусів, а значить – розмірів атома, а потім – відповідних довжин міжатомних зв'язків і, в решті решт - *всіх* розмірів рухомих тіл в конденсованому стані:

$$l \approx l_0 \sqrt{1-\beta^2}. \quad (9)$$

Це і є той, *суттєвий для спостерігача*, кінцевий результат, який стає *вторинним релятивістським співвідношенням*. Підкреслимо, що (9) описує *реальне скорочення розмірів рухомих тіл* в конденсованому стані, до якого схилився і Лоренц [5].

Постільки мова заходить про спостереження, то ми опиняємося перед необхідністю вибору еталонів. На сьогодні в якості еталонів довжини та часу вибрані атомарні еталони. Тоді варто згадати результати розгляду атомарної задачі з попереднього пункту. Зокрема те, що власна енергія фотона в рухомому середовищі, незалежно від напрямку випромінювання, завжди дорівнює $m_{0ф} c_0^2$ і співпадає з енергією фотона, який випромінює нерухомий атом. Тоді для спостерігача в рухомому середовищі частота фотона буде завжди такою ж, як і у спостерігача експертної системи відліку (4):

$$\omega(u) = \frac{m_{0ф} c_0^2}{\hbar} = \omega_0 = \text{const}. \quad (10)$$

Тобто, атомарний еталон часу є тим ідеальним годинником, хід якого не залежить від швидкості руху системи: часові інтервали, виміряні рухомим та нерухомим атомарним еталоном часу, рівні між собою, тобто, часовий інтервал є інваріантом:

$$\tau = \tau_0 = \text{const}. \quad (11)$$

Враховуючи стабільність частоти (10), яку фіксують спостерігачі в різних системах відліку, та залежність швидкості світла c від швидкості руху середовища (3а), приходимо до висновку, що довжина хвилі в рухомому середовищі зменшується:

$$\lambda = \frac{2\pi c}{\omega_0} = \frac{2\pi c_0 \sqrt{1-\beta^2}}{\omega_0} = \lambda_0 \sqrt{1-\beta^2}. \quad (12)$$

Такою ж буде і залежність еталона довжини від швидкості руху середовища:

$$l_{et} = l_{0et} \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (13)$$

Релятивістські співвідношення та постулати СТВ. Розглянемо рухому систему відліку, на яку ми перетворили описане вище рухоме середовище, обладнавши його еталонами основних фізичних одиниць: еталонам маси та атомарними еталонами довжини та часу. Проаналізуємо здатність спостерігача цієї системи відліку щодо фіксації тих змін, які виникають в системі при зміні її швидкості руху.

Зрозуміло, що найпростіші спостереження за часом, розмірами твердих тіл та їх масами не дають змоги визначитись, рухається система чи знаходиться в спокої. Тому що хід часу – незмінний, зростання маси тіл відбувається за тим же законом, що і зростання маси еталона (1), скорочення розмірів тіл (9) – аналогічно скороченню еталона довжини (13). Можна показати, що й дифракційні та інтерференційні експерименти, проведені в рухомій системі відліку, співпадуть за результатами з аналогічними експериментами експертної системи відліку, бо всі розміри, включаючи і довжини хвиль випромінювання (12), змінюються за однаковими законами. Навіть експеримент по прямому вимірюванню часу, за який світло в рухомій системі відліку проходить однакову відстань (виміряну еталонам довжини в даній системі) з очевидністю дасть однаковий результат: виміряна еталонами довжини відстань буде коротшою у скільки разів (13), у скільки разів меншою за величиною є швидкість світла (3а).

Таким чином, можна вказати цілу низку *механічних та оптичних експериментів, проведення яких всередині системи відліку не спроможне встановити, рухається вона чи ні.* Це і є підґрунтям для формулювання *принципу відносності*, який, в межах СТВ [2], поширено на *всі* фізичні експерименти.

Крім того, експеримент по вимірюванню часу, за який світло проходить однакову відстань, може привести і до уявлень про *інваріантність швидкості світла в вакуумі*. Але тут є особливість. Так, якщо в експертній системі відліку за час t світло проходить відстань $L_0 = c_0 t$, то ця відстань, виражена в одиницях довжини нерухомої системи, буде мати числове значення L_0 / l_{0et} одиниць довжини. Тоді число $\{c_0\}$, яким буде виражена швидкість світла в вакуумі c_0 :

$$\{c_0\} = \frac{L_0 / l_{0et}}{t}. \quad (14)$$

В рухомій системі відліку за той же проміжок часу t світло пройде меншу за величиною відстань $L = ct = c_0 \sqrt{1 - \beta^2} t$. Проте ця відстань, виражена в одиницях довжини рухомої системи (13), матиме теж саме числове значення $L_0 \sqrt{1 - \beta^2} / l_{0et} \sqrt{1 - \beta^2} = L_0 / l_{0et}$. Тобто, при будь-яких вимірюваннях швидкості світла ми отримуватимемо для неї одне й теж саме число:

$$\{c\} = \frac{L / l_{et}}{t} = \frac{L_0 / l_{0et}}{t} = \{c_0\} = \text{const}. \quad (15)$$

Підкреслимо, що число $\{c\} = \{c_0\}$, яким виражена швидкість світла в вакуумі, відповідає значенню швидкості світла в вакуумі c_0 , якщо б її виміряли в експертній системі відліку. Тобто, ми отримали правильне число для світової константи c_0 , не маючи змоги виміряти її величину безпосередньо: будь-яка спроба вимірювання c_0 по (3b) означає появу взаємодії світла з рухомою вимірювальною системою, та передбачає кінцевий результат в вигляді співвідношення (3а).

Однак за результатами подібних експериментів інваріантність швидкості світла в вакуумі могла бути сприйнята двояким чином. По перше, як збереження числа, яким виражена швидкість світла в вакуумі, при цьому величина швидкості світла в вакуумі, виміряної рухомою системою відліку, змінюється згідно (3а). По друге, як збереження

величини швидкості світла в вакуумі, незалежно від руху системи відліку чи джерела світла. За формою це уявлення співпало б з тим, що зафіксоване в формулі (3b).

Таким чином, двоякість чи своєрідний релятивістський дуалізм світла, відмічений формулами (3a) та (3b), проявив себе і на рівні тлумачення принципу інваріантності. Зокрема якраз друге тлумачення і стало відомим нам як *принцип інваріантності* швидкості світла в вакуумі, сформульований в СТВ [2]. Відмітимо, що і перше тлумачення принципу інваріантності, і майже в тому вигляді, який приведено нами, було представлено серед варіантів пошуку вирішення релятивістських проблем на рубежі 19-го та 20-го століть [6].

Про поздовжній ефект Доплера та діаграму випромінювання. Нехай маємо рухоме середовище, швидкість якого u , яке випромінює світло, та інше рухоме середовище, що має швидкість V , в якому проводять фіксацію цього випромінювання. Тобто, перше середовище є джерелом світла, в той час як друге є системою реєстрації. Враховуючи, що фізичний вакуум можна вважати абсолютною системою відліку, а швидкості руху середовищ задані відносно такої системи, формула для поздовжнього ефекту Доплера повинна мати такий же вигляд, як і для звукових хвиль:

$$\omega = \omega_0 \frac{1 + (V/c_0) \cos \gamma}{1 - (u/c_0) \cos \alpha_0} = \omega_0 \frac{1 + \beta_V \cos \gamma}{1 - \beta_u \cos \alpha_0}, \quad (16)$$

де $\beta_u = u/c_0$, $\beta_V = V/c_0$, кут α_0 є тим кутом, який утворює напрям випромінювання з напрямом швидкості середовища u в системі відліку рухомого спостерігача. Кут γ є тим кутом, який утворює швидкість системи спостереження V відносно світлового променя в напрямі на джерело. Цей кут достовірно можна визначити лише тоді, коли стане відомим кут α , під яким випромінювання виходить за межі рухомого середовища. Skorиставшись формулою додавання швидкостей (7) знайдемо формулу для розрахунку цього кута:

$$\sin \alpha = \sin \alpha_0 \frac{\sqrt{1 - \beta_u^2}}{\sqrt{1 + 2\beta_u \cos \alpha_0} \sqrt{1 - \beta_u^2}}. \quad (17)$$

Обидва кути α_0 та α є діаграмними кутами: α_0 визначений відносно рухомої системи (системи джерела), тоді як α є кутом, вимірним в експертній системі відліку. Наприклад, теплове випромінювання для спостерігача, що знаходиться в рухомій системі відліку, є ізотропним. І тоді з однаковою ймовірністю кут α_0 приймає будь-яке значення в межах від 0 до π . Тобто, кут α_0 стає незалежною рівноймовірною змінною в означених межах. Легко бачити (17), що при всіх кутах α_0 кути α завжди менші за α_0 , тобто діаграма випромінювання є спотвореною, витягнутою вперед в напрямку руху середовища.

При реєстрації випромінювання рухомою системою виникає специфічний ефект спостереження - аберація світла: орієнтація оптичної осі вимірювального пристрою може не співпадати з напрямом променя. Проте аберація світла цікавитиме нас менше, ніж діаграма випромінювання рухомого джерела світла. Єдине, що ми вкажемо - максимальний кут аберації світла θ_{\max} . Він відповідає випадку, коли система реєстрації рухається перпендикулярно променю:

$$\sin \theta_{\max} = \frac{V}{\sqrt{c^2 + V^2}} = \frac{V}{c_0} = \beta_V. \quad (18)$$

А надалі зосередимось на формулі (17), що зв'язує кути діаграм випромінювання. Привертає увагу така обставина: в правій частині (17) знаменник може набувати нульового значення (тобто, виникає особливість) при певних значеннях параметра β_u , найменше з яких:

$$\beta_u = \frac{1}{\sqrt{2}}. \quad (19)$$

Це вказує на те, що існує деяка критична швидкість руху джерела світла $u_{кр}$, яка розділяє всю область швидкостей (від 0 до c_0) на дві області: докритичну та закритичну. Критична швидкість визначається з умови рівності швидкості світла в рухомому середовищі (3а) швидкості руху самого середовища:

$$u_{кр} = c = c_0 \sqrt{1 - \frac{u_{кр}^2}{c_0^2}}, \quad (20)$$

звідки

$$u_{кр} = \frac{c_0}{\sqrt{2}}, \quad (21)$$

що підтверджує співвідношення (19).

Це найбільш цікава особливість, яку ми розглянемо детальніше.

Закритична релятивістська область. Визначимо закритичну область як таку, що задовольняє єдину умову:

$$u \geq u_{кр} = \frac{c_0}{\sqrt{2}}. \quad (22)$$

Найголовнішою її ознакою є те, що у всіх тіл, які досягли цієї області, *повністю зникає будь-яке електромагнітне випромінювання в задню напівсферу*. Тіла перетворюються на своєрідні чорні діри, які вважатимемо за правильне називати *частковочорними*. На відміну від гравітаційних чорних дір, випромінювання в яких відсутнє в усіх напрямках, частковочорні діри випромінюють в межах вузького конуса, орієнтованого виключно в напрямі руху.

Спробуємо закономірності закритичного релятивістського випромінювання показати та пояснити з допомогою рис. 1. Основою для побудови рис. 1 є формула (7) додавання швидкостей. Для цього в кінець вектора швидкості руху середовища \vec{u} прикладемо вектор швидкості світла в рухомому середовищі \vec{c} в усіх можливих напрямках (кінець вектора \vec{c} опише в просторі сферу, а на рис. 1 – коло). При цьому результуючий вектор швидкості \vec{c}' утворюватиме певні кути α з напрямом \vec{u} .

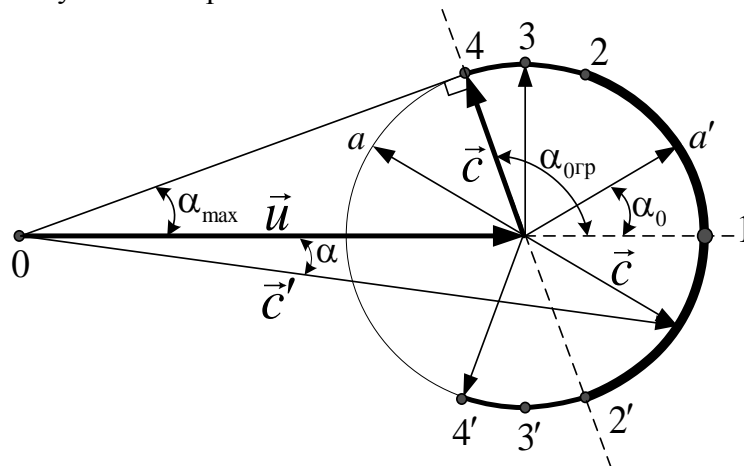


Рисунок 1. Застосування формули додавання швидкостей (5) для пояснення особливостей закритичного релятивістського випромінювання.

Максимальне значення цього кута α , як видно з рис. 1, не перевищує значення α_{\max} :

$$\sin \alpha_{\max} = \frac{c}{u} = \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{\beta}. \quad (23)$$

За межі конуса з кутом розхилу α_{\max} ніяке випромінювання не виходить. Для теплового випромінювання (ізотропного в рухомому середовищі) діаграма в межах розхилу буде



суцільною, зі збільшеною інтенсивністю випромінювання в секторі $2, 2'$. Для електричного та магнітного диполів діаграма суттєво залежить від орієнтації осі диполя відносно напрямку швидкості \vec{u} і може бути багатопелюстковою в межах кута α_{\max} .

В закритичній області спостерігається особливий ефект *релятивістського невилітання квантів світла*, аналогічний такому явищу в геометричній оптиці, як повне внутрішнє відбивання. При досягненні кутом α_0 граничного значення $\alpha_{0\text{гр}}$ (цей випадок на рис. 1 відмічено штриховою лінією), виконується умова:

$$c + u \cos \alpha_{0\text{гр}} = 0. \quad (24)$$

Тобто, результуюча швидкість світла в вакуумі, спроектована на напрям, помічений штриховою лінією, дорівнює нулеві. Подальше зростання цього кута (наприклад, випадок орієнтації вектора \vec{c} , позначений на рис. 1 літерою a) приведе до того, що проекція цієї швидкості на напрям a стане меншою нуля. Інакше кажучи, в цих напрямках світло не здатне покинути рухоме середовище. Тому на межі середовища для таких випадків спостерігається своєрідний ефект «відбивання світла від вакууму» і, як і в явищі повного внутрішнього відбивання, подальше розповсюдження світла відбувається в напрямі, позначеному на рис. 1 літерою a' .

Таким чином, світло з сектору між точками $4, 4'$ веде себе точно таким же чином, як і світло з сектору $2, 2'$. Тому ділянка $2, 2'$ на рис. 1 показана вдвічі товщою, ніж ділянки $4, 2$ та $4', 2'$. До речі, наявність ефекту невилітання світла обумовлює необхідність внесення уточнень в формулу (16) для ефекту Доплера, які б враховували і випадки випромінювання при кутах $\alpha_0 > \alpha_{0\text{гр}}$:

$$\begin{aligned} \omega &= \omega_0 \frac{1 + \beta_V \cos \gamma}{1 - \beta_u \cos(\alpha_0)}; & \alpha_0 \leq \alpha_{0\text{гр}} \\ \omega &= \omega_0 \frac{1 + \beta_V \cos \gamma}{1 - \beta_u \cos(\pi - \alpha_0)}; & \alpha_0 > \alpha_{0\text{гр}} \end{aligned} \quad (25)$$

Відповідно до (25) найвища частота випромінювання буде в напрямі швидкості (точка 1 на рис. 1), а найнижча – в напрямі кутів α_{\max} , тобто, для точок $4, 4'$. При цьому для випадків $\beta \rightarrow 1$ різниця в частотах може складати кілька порядків. Наприклад, якщо в напрямі точки 3 в спектрі переважає ІЧ компонента, то в напрямі точки 1 – жорстке рентгенівське випромінювання. Характерно, що при випромінюванні світла в сектори $3, 4$ і $3', 4'$ поляризація світла змінюється на протилежну, в той час як повне внутрішнє відбивання (сектор $4, 4'$) зберігає поляризацію, змінюючи лише її ступінь.

Варто відмітити, що закритичне релятивістське випромінювання помічене досить давно, достатньо детально вивчене та знаходить все більше наукових і практичних застосувань. Воно відоме під назвами: магнітогальмівне (воно ж синхротронне та ондуляторне), випромінювання Черенкова, випромінювання космічних об'єктів – пульсарів. При цьому критична швидкість по (21) відділяє докритичну релятивістську область (циклотронне випромінювання) від закритичної (синхротронне випромінювання [7]). Це дає змогу перевірити перераховані вище закономірності в закритичній релятивістській області, зокрема на закономірностях синхротронного випромінювання [7].

Насамкінець, про фіксацію світла тілами, що мають закритичну швидкість. При поглинанні ними світла формули (18) та (19) для розрахунку ефекту Доплера та аберації світла залишаються в силі. Але найцікавішим є запитання про те, чи може взагалі відбиватись назад світло, яке наздоганяє тіло з закритичною швидкістю? Якщо процес відбивання розглядати як двохстадійний (спочатку поглинання, а потім перевипромінювання), то в задню напівсферу відбивання не повинно бути. Тобто, світло, що попадає на рухоме середовище в тілесний кут, обмежений векторами 4 та $4'$ на рис. 1, ніколи не відбивається назад (ефект чорної діри). При інших кутах падіння відбивання

можливе. Та навіть в цьому випадку відбите світло можна спостерігати лише в межах конуса випромінювання, який орієнтований вперед, а не назад. Тобто, тіла з закритичними швидкостями є частковочорними дірами.

Зауважимо, що випромінювання рухомим середовищем будь-яких частинок (зокрема нейтрино) матиме переважну орієнтацію в напрямі руху. В зв'язку з цією обставиною та враховуючи особливості закритичного релятивістського випромінювання, як здається автору, появилась змога пролити світло на темну матерію [8]. Ми не знаємо, яка доля космічних об'єктів попала в закритичну область швидкостей, але вона може бути значною. І всі вони, фактично, зникли з нашого поля зору, хоч «гравітаційна» присутність їх у всесвіті добре відчутна.

Висновки. Таким чином, макроскопічна модель розглядає появу цілої низки релятивістських співвідношень обов'язковим атрибутом такого фізичного явища, як механічний рух. Це дає більш широкі можливості для передбачення, аналізу та пояснення явищ навколишнього світу.

Література

1. Клапченко В.І., Тесля Ю.М. Ймовірнісна інтерпретація механічного руху. /Klapchenko, V.I. Teslya, Y.N. Probabilistic interpretation of mechanical motion. (<http://arxiv.org/find/all/1/all:+klapchenko/0/1/0/all/0/1>).
2. Einstein A. Zur Electrodynamik bewegter Körper. – Ann. d. Phys., 1905, Bd. 17, S. 891.
3. Паули В. Теория относительности. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1991. - 328 с. (Pauli, W. (1958). Theory of relativity, Pergamon Press, Oxford, (English)).
4. Ritz W. Ann. de chim. et phys., 1908, v. 13, p. 145.
5. Lorentz H. A. Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that light. Amst. Proc., 1904, v.6, h. 809.
6. Abraham M. Theorie d. Elektrizität. - Leipzig, 1908, t. 2.
7. Тернов И.М. Синхротронное излучение. – УФН, т. 165. №4, 1995. – с. 429-456.
8. Лукаш В.Н, Михеева Е.В. [Темная материя: от начальных условий до образования структуры Вселенной](#). – УФН, т. 177, № 10, 2007. – с. 1023 - 1028.