



УДК 53.03

В.І. Клапченко, доцент КНУБА

КОРПУСКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНА МОДЕЛЬ МЕХАНІЧНОГО РУХУ

АННОТАЦІЯ. Розглянуто питання про доцільність розвитку корпускулярно-кінетичної моделі найпростішої форми руху матерії – механічного руху, в основу якої покладено ймовірнісну інтерпретацію механічного руху макротіл.

АННОТАЦИЯ. Рассмотрен вопрос о целесообразности развития корпускулярно-кинетической модели простейшей формы движения материи – механического движения, в основу которой положена вероятностная интерпретация механического движения макротел.

ABSTRACT. A question is considered about expedience of development of corpuscular-kinetic model of the simplest form of motion of matter - mechanical motion, probabilistic interpretation of mechanical motion of macrobodies is fixed in basis of that.

Вступ. Ймовірнісний характер лежить в основі описання багатьох форм руху матерії, які вивчає фізика. Причому, починаючи вже з молекулярного рівня будови такий характер руху всіх складових тіл вважається принциповим. Ще більш принципово ймовірнісною є поведінка систем, що описуються квантовою механікою. Залишалась лише одна область, своєрідний осередок детермінізму, де ймовірність виключена з розгляду - це описання механічного руху макротіл. Власне тому в роботі [1] здійснено спробу ймовірнісної інтерпретації і механічного руху макротіл. Аналізуючи результати цієї роботи, таку спробу потрібно визнати успішною.

В даній роботі розглядається питання про доцільність розвитку системних корпускулярно-кінетичних уявлень про механічний рух, аналогічним молекулярно-кінетичним уявленням про тепловий рух молекул. Головною задачею корпускулярно-кінетичної моделі є розгляд механічного руху будь-яких тіл та систем, коли в якості корпускули вибрано найдрібнішу складову на фундаментальному рівні будови матерії.

Основний положення та головні співвідношення. Початок формування корпускулярно-кінетичної моделі покладено в роботі [1]. Там розглянуто варіант найпростішого моделювання складних статистичних систем, оснований на зведенні сукупності подій до двох множин «так» і «ні». Тобто, щоб виразити швидкість рівномірного прямолінійного руху тіла як цілого через внутрішній хаотичний рух його складових, необхідно сформулювати дві множини *рівнозначних випадкових протилежно орієнтованих елементарних* подій. Елементарною подією в нашому розгляді є рух складового елемента тіла з певною масою m_{0el} в визначеному напрямі зі швидкістю V_{0el} . Фактично, мова йде про *елементарний імпульс* окремого елемента і він стає своєрідною одиницею вимірювання множин випадкових подій. Щоб відтворення цієї одиниці зробити однозначним, домовимось визначати масу m_{0el} і швидкість V_{0el} структурних елементів в момент, коли тіла нерухомі.

Вибір однакової швидкості структурних елементів тіла V_{0el} необхідний для того, щоб зробити всі елементарні події *рівнозначними*. Це передбачає певну статистичну процедуру визначення величини V_{0el} . Наприклад, на молекулярному рівні будови тіла таку статистичну процедуру потрібно застосувати двічі: при усередненні за величиною швидкості, що приводить до середньоквадратичної швидкості V_{rms} , та при усередненні за величиною проекції цієї швидкості на виділений напрям ($0 - V_{rms}$), що дає

$$V_{0el} = \sqrt{\frac{V_{rms}^2 + 0^2}{2}} = \frac{V_{rms}}{\sqrt{2}}. \quad (1)$$

Хоч таке усереднення і є досить грубим, для вибраного підходу це не так вже й важливо. Проте з (1) видно, що при необхідності для швидкості молекул можна вибрати найближчу

за значенням характерну швидкість – найбільш імовірну швидкість V_{mp} . За масу елемента m_{0el} необхідно обрати масу молекул.

Розглядаючи рух тіл при швидкостях, що наближаються до швидкості світла в вакуумі, необхідно застосувати аналогічне «подрібнення» їх на складові елементи, які відповідали б найбільш глибокому (фундаментальному) рівню будови. Це той рівень, якого, можливо, ми ще не досягли не тільки експериментально, але й теоретично. Але на цьому рівні складові елементи тіл не можуть мати іншої статистично визначеної швидкості, ніж швидкість світла в вакуумі c_0 :

$$V_{el0} = c_0 = \sqrt{\frac{c_{0rms}^2 + 0^2}{2}} = \text{const.} \quad (2)$$

В той же час маса структурного елемента є невідомою, з величиною якої можна визначитись так:

$$m_{0el} = \frac{m_0}{C_0} = \text{const} \quad (3)$$

де m_0 – маса спокою тіла, а C_0 – масовий множник.

Головним результатом відповідних статистичних розрахунків такого модельного представлення тіл в [1] став висновок про те, що при зростанні швидкості u тіла зростає відносна кількість подій в тілі, *орієнтованих в напрямі руху* i_{\parallel} :

$$i_{\parallel} = i_{\parallel}^+ + i_{\parallel}^- = 1 / \sqrt{1 - \frac{u^2}{c_0^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (4)$$

Відповідно зростає і відносна кількість переважно орієнтованих в напрямі руху подій δ :

$$\delta = i_{\parallel}^+ - i_{\parallel}^- = \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad (5)$$

яка, за фізичним змістом, пропорційна імпульсу тіла.

Легко бачити, що формула (5) переходить в формулу для релятивістського імпульсу тіла, якщо виконується лише одна умова – статистично визначена швидкість структурних елементів тіла в напрямі руху тотожно рівна c_0 :

$$c_{\parallel} \equiv c_0. \quad (6)$$

Так, дійсно, якщо (5) помножити на $C_0 m_{0el} c_{\parallel}$ отримаємо:

$$p = \delta C_0 m_{0el} c_{\parallel} = \frac{u}{c_0} \frac{m_0 c_{\parallel}}{\sqrt{1 - \beta^2}} = m u. \quad (7)$$

При умові (6) формула (4) зв'яже між собою тільки маси рухомого та нерухомого тіл:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}. \quad (8)$$

Співвідношення (8) в [2] названо основним законом (або глобальним релятивістським співвідношенням), тому що на сьогодні воно є багатократно підтвердженим фактом.

Таким чином, запропонований спосіб моделювання механічного руху, який має своїм безпосереднім та прямим наслідком співвідношення (8), можна вважати вдалим. Тоді слід чекати від даного способу моделювання підтвердження і інших наслідків, описаних в [2], а також можливості поглибленого розуміння отриманих наслідків. Спробуємо виділити кілька, найбільш важливих, обставин.

По перше, стосовно умови (6). Швидкість u для всього тіла (рухомого середовища) визначається з великою точністю, тобто, виступає його детермінованою характеристикою. В той же час для структурних елементів рухомого середовища вона є, всього навсього, статистичним показником. Таким же показником слід вважати і деяку статистичну швидкість елементів c , визначену відносно центра мас рухомого середовища. Тобто,



нерухомий спостерігач повинен розглядати швидкість елементів в напрямі руху як результат додаткового статистичного додавання:

$$c_{\parallel} = \sqrt{c^2 + u^2} = c_0. \quad (9)$$

Насправді формулу (9) слід розглядати навпаки: як спосіб визначення нерухомим спостерігачем швидкості елементів рухомого середовища в системі центра мас, бо реальної можливості для такого визначення не існує. Таким чином:

$$c = \sqrt{c_0^2 - u^2}. \quad (10)$$

Ця швидкість визначатиме і максимально можливу швидкість розповсюдження в рухомому середовищі, тобто швидкість світла в ньому. Зауважимо, що швидкість за формулою (10) не можна називати швидкістю світла, яку визначає спостерігач рухомої системи відліку – всі його визначення, як показано в [2], даватимуть одне й те ж саме число.

Формули (2), (3), (10), якщо додати до них аналогічну формулі (8) залежність маси фотона від швидкості руху середовища, створюють повну систему головних релятивістських співвідношень, приведених в [2]. Проте, на відміну від [2], розуміння формул і дещо інше, і глибше. Зокрема співвідношення $c_0 = \text{const}$ лежить в основі світобудови. Навіть якщо середовище набуває швидкості, що наближається до c_0 , структурні елементи його не проявляють більшої швидкості, ніж c_0 . Крім того, співвідношення (10) можна прокоментувати так: при зростанні швидкості руху середовища спостерігається своєрідний ефект охолодження в елементів структури середовища – їх швидкість відносно рухомого середовища спадає.

По друге, відносно явищ поперек напрямку руху. На перший погляд, ніякої додаткової інформації з цього приводу запропонований модельний підхід не дає [1]. Проте це не так. Відносна доля подій в напрямі, поперечному від напрямку швидкості рухомого середовища, повинна змінюватись хоч би тому, що в рухомому середовищі змінюється статистично визначена швидкість руху елементів структури c_{\perp} :

$$i_{\perp} = i_{\perp}^+ + i_{\perp}^- = \frac{C_0 m_{0el} c_{\perp}}{C_0 m_{0el} c_0} = \sqrt{1 - \beta^2}. \quad (11)$$

В (11) враховано, що в напрямі, перпендикулярному швидкості рухомого середовища, c_{\perp} співпадає за величиною з c і визначається за формулою (10). Тоді справедливо наступне:

$$\frac{i_{\parallel}}{i_{\perp}} = \frac{1}{1 - \beta^2} \quad (12)$$

що є яскравим вираженням анізотропії механічного руху. Цей результат використаний і в [1], але там він був запозиченим у Лоренца [4].

По третє, відносно найголовнішої умови появи релятивістських співвідношень. Відповідно до вибраної моделі, зростання маси середовища по (8) при збільшенні швидкості руху середовища можна пояснити тільки збільшенням кількості структурних елементів, залучених в напрямлений рух всього середовища. Ця кількість додаткових структурних елементів нескінченно зростає при наближенні швидкості руху середовища до c_0 :

$$\Delta N = \frac{\Delta m}{m_{0el}} = \frac{m - m_0}{m_{0el}} = C_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right) \quad (13)$$

Тоді постає запитання: звідки з'явилися додаткові структурні елементи? Відповідь лише одна – з фізичного вакууму. В такому разі фізичний вакуум є матеріальним середовищем, складеним з таких же структурних елементів, як і будь-яке інше середовище (тіло, частинка, фотон і т.п.). Годі й говорити, що це тільки підкріплює нашу впевненість в єдності матеріального світу. Більш того, ці ідентичні структурні елементи, з яких складено *все*, є *універсальними*. І навіть якщо нам невідома структурна організація фізичного вакууму

та спосіб залучення додаткових елементів з фізичного вакууму в склад рухомих середовищ, висновок один: релятивістські співвідношення з'являються завжди тоді, коли рухоме середовище (взагалі будь-який об'єкт) рухається не ізольовано, а будучи *зануреним в нескінченну сукупність ідентичних структурних елементів фізичного вакууму*. І ця умова є необхідною і достатньою.

Так як всі тіла рухаються в фізичному вакуумі, то релятивістські співвідношення завжди є там, де відбувається механічний рух. Тобто, будь-який механічний рух породжує релятивістські співвідношення. Проте ми звикли на область застосовності релятивістських формул накладати певні обмеження. Насправді цього робити взагалі не потрібно. Наприклад, сумарна кінетична енергія нерухомого тіла маси m_0 :

$$W_0 = \sum_{i=1}^{c_0} m_{0el} \frac{c_{0rms}^2}{2} = \frac{C_0 m_{0el}}{2} \left(\sqrt{2c_0^2} \right)^2 = m_0 c_0^2 \quad (14)$$

співпадає з формулою Ейнштейна для енергії спокою тіла, а тоді його кінетична енергія:

$$W_K = W - W_0 = (m - m_0) c_0^2. \quad (15)$$

Тобто, вона визначається не швидкістю руху, а зміною маси тіла (15). На цю обставину вперше звернув увагу Толмен [5].

Псевдорелятивістські співвідношення. Дієвість модельного підходу, застосованого до описання механічного руху в цілому, може бути перевіреною на більш зрозумілому для нас рівні молекулярної будови. Зокрема при розгляді потоків газів та рідин, які складаються з ідентичних структурних елементів – атомів чи молекул. Необхідною та достатньою умовою застосовності релятивістських співвідношень є необмеженість (умовна або часткова [3]) множини ідентичних структурних елементів, частина яких залучена в напрямлений рух.

Тобто, відповідно до [3], якщо маємо порцію газу, ізольовану жорсткою оболонкою, то як би не змінювалась швидкість руху цього газу разом з оболонкою, всі термодинамічні параметри його залишаться сталими. Інакше буде, якщо в необмеженій газовій системі з допомогою локального пристрою (поршень, вентилятор і т. і.) організувати направлений потік. Тоді відразу почнуть змінюватися і параметри газу (зокрема тиск на стінку). Ми передбачаємо, що зміна параметрів відбуватиметься згідно релятивістських співвідношень. Щоб не виникало плутанини, пропонуємо такі співвідношення називати *псевдорелятивістськими*. Вони описують явища, в яких беруть участь ідентичні, але не універсальні елементи, швидкість яких відмінна від c_0 .

Нехай маємо необмежену кількість нерухомого ідеального газу, температура якого T_0 , концентрація n , густина ρ . Маса елемента структури газу (молекули) m_{0el} , а швидкість елементів структури V_{0el} , визначена за (1) для нерухомого газу, співпадає з його найбільш імовірною швидкістю V_{0mp} .

Таким чином, елементарною подією в такій необмеженій системі газу буде імпульс молекули, визначений через найбільш імовірну швидкість.

Тиск нерухомого газу на стінки може бути виражений різним чином, зокрема через квадрат найбільш імовірної швидкості:

$$p_0 = nkT_0 = \rho \frac{V_{0mp}^2}{2} \quad (16)$$

інакше кажучи, тиск завжди пропорційний квадрату імпульсів молекул. Надавши газові напрямленого руху зі швидкістю u при незмінній його концентрації, можемо очікувати змін відносних множин подій, орієнтованих в напрямі руху (4), та поперек нього (11). Єдина відмінність – параметр β в цих формулах буде визначений через найбільш імовірну швидкість молекул: $\beta = u/V_{0mp}$.

Тоді тиск газу на бічну стінку, з урахуванням (11):



$$p_{\perp} = \rho \frac{V_{0mp}^2}{2} i_{\perp}^2 = \rho \frac{V_{0mp}^2}{2} (1 - u^2 / V_{0mp}^2) = p_0 - \rho \frac{u^2}{2} \quad (17)$$

зменшується в повній відповідності з рівнянням Бернуллі, а тиск в напрямі потоку (4):

$$p_{\parallel} = \rho \frac{V_{0mp}^2}{2} i_{\parallel}^2 = \rho \frac{V_{0mp}^2}{2} \frac{1}{1 - u^2 / V_{0mp}^2} \approx p_0 + \rho \frac{u^2}{2} \quad (18)$$

збільшений на величину динамічного тиску [6]. В (18) враховано умову $\beta \ll 1$, що виконується найбільш часто.

Крім того, легко уявити реальний ефект охолодження молекулярного потоку. Згідно (10), найбільш імовірна швидкість молекул газу в потоці зменшується:

$$V_{mp} = V_{0mp} \sqrt{1 - \beta^2} = \sqrt{V_{0mp}^2 - u^2} \quad (19)$$

так що і температура газу для спостерігача, що рухається разом з потоком, буде меншою:

$$T = T_0 (1 - \beta^2). \quad (20)$$

Відповідно меншим та однаковим у всіх напрямках буде й тиск, який виміряв би спостерігач, що рухається з газовим потоком:

$$p' = \rho \frac{V_{mp}^2}{2} = \rho \frac{V_{0mp}^2}{2} \left(1 - \frac{u^2}{V_{0mp}^2} \right) = p_0 - \rho \frac{u^2}{2}. \quad (21)$$

Співвідношення для температур (20) добре відоме [6], при цьому T носить назву термодинамічної температури, а T_0 – температури гальмування потоку. Мабуть приведених формул вже досить, що б підтвердити дієвість та корисність запропонованого модельного підходу до аналізу механічного руху. Виходить так: достатньо класифікувати явище як таке, що задовольняє модель виникнення релятивістських співвідношень, щоб отримати про нього значну інформацію. Зокрема в [3] показана можливість в межах розглянутого підходу визначити зміну ентропії потоку (точніше, зміну імпульсної складової ентропії):

$$\Delta S = \Delta S_p = \frac{3}{2} kN \ln(1 - \beta^2) \quad (22)$$

яка важлива при розгляді термодинаміки потоків.

Появу псевдорелятивістських співвідношень можна передбачати. Наприклад, рух квантових вихорів в рідкому гелії повністю задовольняє умову моделі, бо квантовий вихор є зануреним в нескінченну множину ідентичних структурних елементів, з яких складається і сам вихор. А тому поява псевдорелятивістських співвідношень там неминуча.

Висновки. Корпускулярно-кінетична модель механічного руху конкретизує наші загальні уявлення про єдність матеріального світу. Тобто, будь-яку частинку речовини, фотон та й сам фізичний вакуум можна розглядати як окремі сукупності універсальних структурних елементів. Тому найпростішу форму руху в природі – механічний рух – необхідно розглядати як переміщення окремих сукупностей універсальних структурних елементів, занурених в необмежену кількість таких же структурних елементів фізичного вакууму. Ця умова є необхідною і достатньою для появи релятивістських співвідношень.

Ці загальні уявлення про механічний рух стають корисними і при розгляді рухів на інших рівнях будови матерії, приводячи до аналогічних, псевдорелятивістських співвідношень для характеристик, що описують такий рух. Проте доцільність корпускулярно-кінетичної моделі не обмежується отриманими результатами. Можна надіятись, що подальший розвиток корпускулярно-кінетичних уявлень дасть змогу пролити світло і на інші загальні закономірності руху матерії.

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. Клапченко В.І. Макроскопічна модель механічного руху.
3. Клапченко В.І. Псевдорелятивізм. – Містобудування та територіальне планування, №39, 2011. – с. 123-128.
4. Lorentz H. A. Electromagnetic phenomena in a system moving with any velocity smaller than that of light. Amst. Proc., 1904, v.6, h. 809.
5. Tolman R. Relativity thermodynamics and cosmology, Clarendon Press, Oxford, 1969.
6. Овсянников Л. В. Лекции по основам газовой динамики. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. – 336 с.