

Міністерство освіти і науки України

Департамент освіти і науки Полтавської облдержадміністрації

Відділ освіти Кобеляцької міської ради Полтавської області

**Опорний заклад «Кобеляцький ліцей №1» Кобеляцької міської ради
Полтавської області**

Несуперечливі фізичні основи механічного руху

**(методичні рекомендації щодо вивчення проблемних
теоретичних питань шкільного курсу фізики)**

***Носко Юрій Анатолійович,**
вчитель фізики і астрономії опорного закладу
«Кобеляцький ліцей №1» Кобеляцької міської
ради Полтавської області.*

м. Кобеляки
2022

Носко Ю.А. Несуперечливі фізичні основи механічного руху (методичні рекомендації щодо вивчення проблемних теоретичних питань шкільного курсу фізики). Кобеляки: опорний заклад «Кобеляцький ліцей №1», 2022, 84 с.

Носко Юрій Анатолійович – вчитель фізики і астрономії опорного закладу «Кобеляцький ліцей №1» Кобеляцької міської ради Полтавської області.

Рецензенти: *Хома Л.В.*, консультант комунальної установи «Кобеляцький центр професійного розвитку педагогічних працівників»;

Постольник Я.Г., директор опорного закладу «Кобеляцький ліцей №1».

Схвалено педагогічною радою опорного закладу «Кобеляцький ліцей №1» Кобеляцької міської ради (протокол № 2 від 12.01.2022 року).

Від автора:



Яким чином з'являються відкриття у фізиці? Як і коли із звичайного учня формується майбутній науковець і дослідник?

Головна місія загальної середньої освіти на сьогодні саме й полягає в тому, щоб створити умови для розвитку творчої, критично мислячої особистості, здатної знайти своє місце в житті, адаптуватися в суспільстві і бути рушійною силою його прогресу.

Проте якщо поглянути очима дитини на зміст написаного в шкільних підручниках з фізики, то притаманна цій науці специфічна складність, помножена на значний постулативний догматизм її багатьох теоретичних положень, з року в рік тисне на підсвідомість учня, створюючи в нього враження, що для занять фізикою потрібні виключні здібності, а всі головні відкриття в ній вже зроблені.

Але при цьому сама фізика як наука знаходиться в глибокій кризі, у якій є багато ознак і подолати її можна лише при умові, що в теоретичну і прикладну галузі придуть науковці з принципово іншим складом мислення, рівнем наукової сміливості і здатністю до об'єктивної критики догматичних основ фізики, запропонують альтернативні рішення, що спиратимуться на реально існуючі фундаментальні основи природи, а не абстрактно-математичну їх імітацію.

Але де ж їх знайти? І чи не потрібно їх готувати ще зі школи? На сьогодні існує багато можливостей для учнівських наукових пошуків в фізиці. Допитливий учень може виявити далеко не одну суперечність в підручниках, оскільки всі розділи шкільної фізики містять неправомірно ідеалізовані моделі фізичної реальності, а окремі фізичні поняття і величини мають значні методичні і дефініційні труднощі. Проте самотужки йому розірвати це замкнене коло догм та стереотипів всіх «звичних і непорушних» фізичних положень, перебуваючи всередині нього та граючи за його правилами, майже неможливо. Потрібно вийти за його межі і ця відповідальна місія сьогодні лягає на плечі вчителя. Але спочатку сам вчитель має дати собі чесну відповідь на питання: чи відповідає його фаховий рівень володіння теоретичним матеріалом з фізики для вирішення таких задач? І чи готовий він вдосконалювати його шляхом самоосвіти та знаходити шляхи інтеграції набутих знань в практику своєї педагогічної діяльності?

Саме для таких вчителів та з такою метою й написані ці методичні рекомендації.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ТРИ ВИКЛИКИ, В УМОВАХ ЯКИХ ДОВОДИТЬСЯ ПРАЦЮВАТИ СУЧАСНОМУ ВЧИТЕЛЕВІ ФІЗИКИ	6
РОЗДІЛ 2. ВНУТРІШНЯ СУПЕРЕЧЛИВІСТЬ ФІЗИЧНОЇ СУТНОСТІ ПОНЯТТЯ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ	13
РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЧНА ОБМЕЖЕНІСТЬ ПОНЯТТЯ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ	26
РОЗДІЛ 4. ФАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДІВ ПО ВИЯВЛЕННЮ СВІТОВОГО МАТЕРІАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА (ЕФІРУ)	33
РОЗДІЛ 5. РОЛЬ «НАЧАЛ» НЬЮТОНА У ФОРМУЛЮВАННІ ПОНЯТТЯ СИЛИ ТА РЕВІЗІЯ СУЧАСНИХ ПОГЛЯДІВ НА МЕХАНІЗМ ЇЇ ВИНИКНЕННЯ В ПРОЦЕСІ ВЗАЄМОДІЇ	38
РОЗДІЛ 6. РОЗКРИТТЯ ПРИРОДИ ГРАВІТАЦІЙНИХ СИЛ ТА СИЛ ІНЕРЦІЇ НА ОСНОВІ МОДЕРНІЗАЦІЇ МОДЕЛІ ФІЗИЧНОГО ТІЛА	49
РОЗДІЛ 7. АЛЬТЕРНАТИВНА ТЕОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ ПОТЕНЦІАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ГРАВІТАЦІЙНО ВЗАЄМОДІЮЧИХ ТІЛ	65
ВИСНОВКИ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ВСТУП

Пропонована нижче робота «Фізичні основи механічного руху» є спробою критичного переосмислення ряду усталених положень, що мають місце в теоретичній фізиці (і, зокрема, в механіці), з якими вчителю фізики сучасної української школи так чи інакше доводиться зустрічатися у практиці своєї професійної діяльності.

Мета написання даної роботи зумовлена необхідністю дати повні і вичерпні відповіді на значну кількість проблемних теоретичних питань, які до цього часу залишаються спірними або взагалі нерозв'язаними, *однак мають пряме відношення до шкільного курсу фізики.*

Необхідно зазначити, що наявність таких питань часто не визнається сучасною наукою, тому одним із завдань представленої роботи є висвітлення більшості тих типових проблем і прорахунків, існування яких є наслідком глибокої системної кризи в теоретичній фізиці. У роботі сформульовано ознаки цієї кризи та проаналізовано її об'єктивні причини, що є прямим наслідком тієї методології, яку використовує сучасна фізична теорія. Встановлено, що в її основі лежить не розкриття глибинної фізичної сутності явищ природи, а побудова їх формально несуперечливого, феноменологічного опису із застосуванням складного математичного апарату.

Стратегічним же завданням даної роботи є уточнення існуючих і побудова альтернативних теоретичних моделей фізичних об'єктів і процесів, що дало б змогу усунути частину існуючих теоретичних труднощів і суперечностей.

Робота має на меті розкрити методологічну обмеженість та абстрактно-математичний характер фізичних моделей матеріальної точки, абсолютно твердого тіла, інерціальної системи відліку, які не дають можливості з'ясувати об'єктивну картину фізичних процесів, є внутрішньо суперечливими і приводять до існування ряду парадоксів, пов'язаних з нескінченними значеннями енергії взаємодії.

Приведено факти не тільки направлених або спотворених трактувань сучасною теоретичною фізикою результатів ряду важливих фізичних експериментів, але й свідомого їх замовчування. Мова йде про наслідки дослідних пошуків світового матеріального середовища в кінці XIX - на початку XX століть.

Значну увагу в роботі приділено розгляду законів динаміки Ньютона, зроблено порівняльний аналіз оригінальних та сучасних їх формулювань, в результаті якого виявились суттєві розбіжності в трактуваннях окремих положень цих законів щодо механізму формування контактних сил в процесі взаємодії. При цьому

встановлено ключову роль сил інерції в цьому механізмі, що фактично означає неприпустимість їх ігнорування чи присвоєння їм статусу «фіктивних».

Показано, що врахування факту можливої присутності світового матеріального середовища дає можливість не тільки кардинально модернізувати існуючу модель фізичного тіла, але й глибше зрозуміти природу інертної та гравітаційної мас, сформулювати підхід до розуміння якісної картини феномену гравітаційного тяжіння, з'ясувати фізичну сутність та механізм виникнення сил інерції.

Також у роботі запропоновано альтернативну теоретичну модель потенціальної енергії гравітаційно взаємодіючих тіл, причому це вдалося зробити з використанням методів математичного аналізу, які не виходять за рамки шкільного курсу. Правильність представленої фізичної моделі частково підтверджена відомими на сьогодні астрономічними даними розподілу орбітальних висот внутрішніх супутників ряду планет Сонячної системи.

Дана робота має характер теоретичного дослідження і є результатом багаторічних наукових пошуків та власних напрацювань автора, ідеї для яких з'являлися в тому числі і в процесі викладання фізики в школі. Як слідує із власних педагогічних спостережень, загострення уваги учнів на проблемних, недосліджених питаннях курсу фізики, ознайомлення з можливими шляхами їх вирішення, формування в них усвідомлення того, що ще далеко не всі відкриття у фізиці вже здійснені, дозволяє значно підвищити рівень пізнавального інтересу учнів, розвинути глибину і масштабність їх критичного мислення, мотивувати на проведення власних досліджень.

У цьому контексті актуальність і практична спрямованість представлених у роботі науково-методичних рекомендацій щодо вирішення проблемних питань курсу дає можливість вчителю фізики не тільки покращити власний фаховий рівень володіння теоретичним матеріалом, але й значно розширити арсенал педагогічних засобів мотивації до учнів до вивчення предмету, знайти ідеї для написання наукових робіт під егідою МАН.

РОЗДІЛ 1. ТРИ ВИКЛИКИ, В УМОВАХ ЯКИХ ДОВОДИТЬСЯ ПРАЦЮВАТИ СУЧАСНОМУ ВЧИТЕЛЄВІ ФІЗИКИ

Вчитель фізики сучасної української школи знаходиться в умовах щонайменше трьох викликів, які вимагають від нього постійного професійного вдосконалення.

Першим (і найголовнішим) з них є очікування того семикласника, який вперше переступивши поріг фізичного кабінету і опинившись в чаруючій аурі численних лабораторних приладів, експериментальних установок, під поглядами видатних вчених-фізиків з портретів на стіні та в якийсь момент увібравши в себе весь той тисячолітній дух фізичної науки, уявляє себе науковцем, дослідником-експериментатором, першовідкривачем нової істини. Його очі в цей момент палають живою і непідробною жагою пізнання, а мотивація до навчання є максимально можливою. І дивлячись з надією на вчителя фізики, що стоїть перед ним, він очікує від нього дива і продовження казки. У цей момент істини на вчителеві лежить велика відповідальність і він не має права розчарувати або не виправдати дитячих очікувань. І хоч попереду нелегка багаторічна робота, він мусить разом з учнем пройти цим шляхом і відкрити для нього таємничий, але неперевершено цікавий світ фізики. Немає сумніву в тому, що кожній дорослій людині, хто так чи інакше пов'язав своє життя з цією наукою, доля подарувала таку першу зустріч з вчителем фізики. Але подібні історії успіху є абсолютно неможливими без професійної майстерності вчителя.

Проте в сучасному, швидкозмінному світі фахова компетентність вчителя фізики вже не є константою, вписаною в додаток до його диплома про вищу освіту, і на сьогодні дуже часто знань та вмінь, здобутих у свій час в університетських аудиторіях, є критично недостатньо. Ця проблема є особливо актуальною в контексті *другого виклику*, перед яким життя ставить сучасного вчителя фізики. Представляючи молодому поколінню свою навчальну дисципліну в умовах, коли зазнають кардинальних змін не тільки освітні парадигми, але й сама філософія освіти, - зуміти не втратити власну актуальність, вміння дивувати, здатність переконувати, що отримані під час навчання знання та практичні вміння можуть реально знадобитися в майбутньому, стати справою всього життя і принести успіх; нести учням світло науки як основний засіб розвитку їх інтелекту, критичного мислення, формування креативних здібностей.

Представлена нижче робота присвячена огляду напрямків вдосконалення науково-теоретичної бази знань сучасного вчителя фізики, яка, поряд з методичною та психолого-педагогічною, є однією з трьох головних компонент в структурі його професійної компетентності. У ній автор, на основі власного, майже тридцятирічного, досвіду роботи на посаді вчителя фізики, виходить з того, що в силу особливої, притаманної виключно фізиці, специфіки формування її теоретичного фундаменту, ця складова професійної навченості вчителя є досить занедбаною і дуже далекою до досконалості.

Якими ж є ці особливості, на основі яких базуються такі переконання автора?

Справа в тому, що, не дивлячись на значні та безсумнівні успіхи в поясненні багатьох фізичних закономірностей природи, сучасна академічна теоретична фізика знаходиться в стані глибокої і системної кризи, в якій є чимало ознак. Причини цієї кризи є абсолютно невинними і зумовлені її методологією та поставленими цілями.

Як відомо, теоретичним фундаментом сучасної фізики є спеціальна і загальна теорії відносності та квантова механіка, які з'явилися початку ХХ століття через труднощі при поясненні ряду нових на той час експериментальних фактів. Відтоді і до сьогодні незвичність та парадоксальність висновків цих теорій розглядається як свідчення об'єктивних фізичних властивостей матерії, простору і часу, а самі теорії введені в ранг канонічних і завдяки популяризаторам науки вважаються революційними та непорушними. На противагу емпіричному духу класичної фізики та за мовчазної згоди філософії природознавства, вказані теорії принесли у фізику нові принципи, положення та методи розрахунків, що базуються на постулативних припущеннях, уявленнях про фізичні процеси як результати просторово-часових викривлень, імовірнісні трактування поведінки об'єктів мікросвіту, їх безструктурність та нібито об'єктивну неможливість визначення їх кінематичних характеристик, ототожнення маси з енергією та ін. Не дивлячись на відмінності базових положень теорій відносності та квантової механіки, їх об'єднує уявлення про принципову відсутність в природі світового матеріального середовища (ефіру) як першооснови всього суцього.

Метою розвитку теорії в різних галузях сучасної фізики є не розкриття внутрішнього механізму природних явищ, не відслідковування причинно-наслідкових зв'язків між їх елементами, не спроби пояснення непізнаного на основі принципів взаємодії відомих і вже досліджених компонентів, не вироблення рекомендацій прикладним напрямкам фізики, а лише створення їх внутрішньо несуперечливого феноменологічного опису з використанням все більш ускладненого математичного апарату, кінцевим стратегічним пунктом якого є Теорія великого об'єднання (ТВО).

При цьому математика вже давно витіснила фізичні методи формування нових знань і фактично введена в ранг нової релігії, а фізики-теоретики всерйоз думають, що з абстрактних математичних побудов і співвідношень можуть випливати реально діючі закони природи. П. Діраку, одній з найвідоміших постатей в теоретичній фізиці ХХ століття, належить таке висловлювання: *"Неевклідова геометрія і некомутативна алгебра в свій час розглядались як чиста гра розуму, а тепер стали абсолютно необхідними для опису загальних фактів фізичного світу. Тому потрібно використовувати всі ресурси чистої математики в спробах завершити і узагальнити математичний формалізм, який утворює суттєву основу теоретичної фізики, і після кожного успіху в цьому напрямку намагатися інтерпретувати нові математичні явища в термінах фізичної реальності"* [16]. Як бачимо, власне фізика відтоді відіграє другорядну роль, і на жаль, дуже часто вона зводиться до того, щоб шляхом відповідної корекції експериментальних результатів чи направленою їх трактування, підтверджувати

"передбачення нової математичної реальності". Внаслідок цього фізика давно і всерйоз оперує термінами "сингулярність", " n -вимірний простір", "викривлений час", "калібровочне поле", "суперструни", "суперсиметрія", "глюонний клей", "колір та аромат елементарних частинок"... При цьому фізиків-теоретиків, схоже, мало хвилює, чи реалізуються в природі подібні абстрактні розумові побудови, але вони вперто продовжують їх шукати, витрачаючи на це чималі бюджети, іноді порівнянні з бюджетами малорозвинених країн.

Все описане вище викликає обгрунтовані сумніви в правомірності підходів, прийнятих в сучасній фізичній теорії, і змушує думати про хибність обраного сучасною фізикою шляху розвитку.

Було б помилкою вважати, що класична фізика XVIII-XIX століть була позбавлена суперечностей чи не використовувала потужний математичний апарат. Проте фізики того часу будували свої теорії строго на основі фізичних моделей, розуміючи всю їх обмеженість і вказуючи шляхи подальшої модернізації. І попри те, що на той час були невідомими багато фактів з електромагнетизму, фізики твердого тіла, атомної та ядерної фізики, теоретична і прикладна фізика все ж таки йшли поруч.

Яких же важливих і суттєвих компонентів не вистачає сучасній фізичній теорії, що дає підстави говорити про існування в ній кризи?

Перш за все, в ній відсутнє розуміння істинної сутності процесів, які відбуваються всередині речовини, що в принципі неможливо при використанні імовірнісних уявлень про поведінку об'єктів мікросвіту та їх безструктурність. Не вистачає конкретики в питаннях фізичного змісту багатьох понять і величин, які фізика використовує. Що таке електричний заряд і чим фізично відмінні заряд позитивний і негативний? Чому існує тільки два їх види і не існує третього? Що різнить електрон і позитрон та в результаті якого механізму їх анігіляція приводить до утворення високочастотного фотона? Що таке спін частинки і завдяки чому він зберігається незмінним впродовж довгого часу? В чому суть магнітного моменту атома? Якщо він зумовлений коловим струмом електрона навколо ядра атома, то чому тоді загальна енергія цих струмів не перетворюється в тепло, адже всім відомо, що постійні магніти мають таку саму температуру, що й ненамагнічені тіла? Чому в атомі електронів рівно стільки ж, скільки й протонів? Як і чи пов'язаний окремий протон в ядрі атома зі своїм "візаві"-електроном на периферії атома в умовах дії ядерних сил? Яка дійсна природа ядерних сил і чому вони мають такі специфічні властивості? Яка функція нейтронів у ядрі? Як зрозуміти, що таке дефект мас атомного ядра без використання енергетичних одиниць? Яке відношення має швидкість світла в формулі $E = mc^2$ до енергії взаємодії нуклонів в ядрі, якщо вважається, що природа цієї взаємодії фундаментально відмінна від природи електромагнітної взаємодії? Як взагалі утворилися атоми періодичної системи елементів та їх ізотопи без використання високих тисків, температур та надпотужних магнітних полів? Наприклад, як в природі із атома водню (протію) утворюється його ізотоп дейтерій? Здавалося б,

розгадай фізика цю таємницю і проблема глобального дефіциту енергії для людської цивілізації буде назавжди розв'язаною. Сучасна теоретична фізика не в змозі запропонувати дієвого варіанту, але ж природа якимось чином це робить! Що забезпечує існування стаціонарних станів в атомі і яка фізична природа хвиль Де-Бройля, ціле число яких на атомній орбіталі є умовою їх стабільності? Як взагалі розібратися з природою утворення хімічних зв'язків та причинами сил Ван-дер-Ваальса, коли електрично нейтральні молекули притягуються одна до одної?

В електродинаміці є відсутніми наочні моделі для багатьох явищ і понять. Що, скажімо, являє собою струм зміщення? Який фізичний зміст векторного потенціалу? Це реальна фізична величина чи тільки зручний математичний прийом, покликаний забезпечити симетрію рівнянь Максвелла? Чи в змозі сучасна офіційна фізика представити якісну, наочну, і головне, несуперечливу модель електропровідності, у якій було б чітко визначено, який механізм виникнення електричного опору, так само як і причини його зникнення в явищах надпровідності? Чим фізично відрізняються постійний і змінний електричний струм?

Практично відсутня якісна картина польової взаємодії. Яка фізична сутність і механізм дії заряду чи маси на інший заряд (масу) за посередництвом електричного і гравітаційного полів відповідно? Формули законів Кулона та всесвітнього тяжіння не дають відповіді на це питання, більше того, містять ознаки концепції далекодії, оскільки в них ніяким чином не враховано те, що заряд чи маса знаходяться в одній області простору, а відповідні напруженості полів розглядаються в інших, віддалених точках. І з якого боку не приглядайся, але сучасна теорія електромагнітного поля не може пролити світло істини - ні яким чином струм провідності генерує кільцевий коаксіальний магнітний вихор навколо себе, ні внаслідок яких динамічних перетворень матерії при зміні магнітного поля з індукцією \vec{B} народжується вихрове електричне поле з напруженістю \vec{E} .

Між тим, далеко не всім вчителям фізики на сьогодні відомо, що Максвелл вивів свої рівняння електромагнітного поля на основі уявлення про принципову присутність ефіру в природі та з припущення, що останній являє собою ідеальну нев'язку і нестисковну рідину, використовуючи при цьому гідродинамічну модель вихрових рухів Гельмгольца [15]. Сказане вище становить інтерес в контексті питання - яким же чином ефір, що був присутній в усіх концепціях природознавства, починаючи з античних часів, тим не менше став "персоною нон-грата" у фізиці ХХ століття?

На глибоке переконання автора, нинішній кризовий стан в теоретичній фізиці не в останню чергу зумовлений суттєвою незавершеністю класичної фізики, зокрема, механіки, чому є ряд об'єктивних факторів, серед яких слід виділити метафізичний характер багатьох теорій ХІХ століття, наявність в них численних

ідеалізацій фізичної реальності, відсутність багатьох необхідних дослідних даних в той час, низький рівень практичних знань в галузі гідро- та аеродинаміки. Саме це є однією з причин того, що феномен гравітації є нез'ясованим до цього часу, а також не встановлена природа сил інерції, які фізика або ігнорує, або вважає "фіктивними".

Зазначений вище великий, проте далеко не повний перелік невирішених в сучасній фізиці теоретичних питань приведений не тільки з метою показати критичний масштаб проблеми, але й висловити здивування тим, як такий стан речей впродовж досить довгого часу може залишати представників офіційного вченого світу спокійними і бездіяльними. Між тим, нагальні вимоги щодо розв'язання багатьох практичних задач приводять до того, що науково-дослідницькі центри передових технологій "змінюють прописку" і переміщуються з академічних інституцій в приватні компанії (Google, Samsung, Apple, SpaceX та ін.), де над вказаними проблемами працюють інженери та науковці-«прикладники», яким немає потреби милуватися красою абстрактних математичних побудов, а необхідно знаходити практичні рішення і за найкоротший час інтегрувати їх у відповідні бізнес-процеси. Втрата лідерських позицій і сили прогнозування нових відкриттів є, таким чином, ще однією ознакою глибокої системної кризи в теоретичній фізиці.

"Ну то й що?", - може подумати прискіпливий читач, - "Хіба раніше не існувало криз в природознавстві? А головне, яке відношення має криза нинішня до викладання фізики в школі?"

Справа якраз і є в тому, що має, причому- пряме й безпосереднє. Значна частина приведених вище проблемних питань знайшла своє втілення в шкільному курсі фізики, особливо старшої школи, змушуючи вже далеко не одне покоління шкільних вчителів транслювати ці теоретичні догми, а учнів - звикнути зазубрювати їх як «давно і добре встановлені істини» та перебувати у тій сліпій впевненості, що всі відкриття у фізиці вже зроблені.

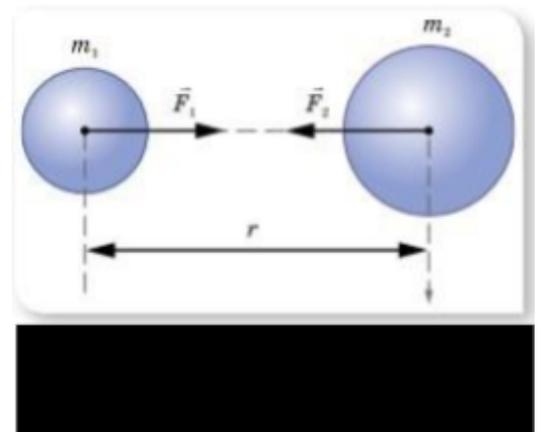
Слід сказати, що шкільні підручники з фізики, видані в Україні починаючи з 2015 року, зробили великий крок вперед у порівнянні з попередниками, стали чітко структурованими, гарно ілюстрованими, використовують оптимальну дидактичну модель, враховують психолого-педагогічні особливості учнів і, загалом, відповідають вимогам часу. Але, на превеликий жаль, успадкувавши методологію сучасної теоретичної фізики, також дуже часто не дають відповідей на багато проблемних питань, які здаються абсолютно доречними та логічними і, що називається, "лежать на поверхні". Ілюстративний матеріал, який приведений в підручниках, нерідко формує в учнів фізично неправильні уявлення, що ніяк не можна записати в актив, враховуючи високий процент сприйняття інформації через зір. Прикладна цінність розв'язуваних на уроках задач часто буває близькою до нуля.

І ось саме тут ми приходимо до усвідомлення сутності *третього виклику*, перед яким опиняється сучасний вчитель фізики. Кількість кричущих теоретичних

прорахунків у всіх розділах фізики досягла такої критичної позначки, що в допитливого учня при наявності певного базового рівня володіння навчальним матеріалом, за умови уважного, осмисленого сприйняття та озброєного здоровим глуздом, обов'язково виникнуть питання, які, зрозуміло, будуть поставлені і вчителю фізики. Актуальність цього виклику підсилюється тим, що за останні два десятиліття сформувалася численна спільнота фізиків, які не погоджуються з офіційною точкою зору, проводять експерименти, що не вписуються в існуючі положення, висувають альтернативні теоретичні моделі, оприлюднюють факти, які сучасна фізика вважає за доцільне замовчувати. Завдяки відкритості інтернету згаданий вище учень може знайти (на відповідних форумах, в сервісі YouTube тощо) підтвердження своїм сумнівам, а непідготовлений вчитель буде ніби як "затиснутий в лещатах" необхідності, з однієї сторони, дати об'єктивну відповідь на поставлені питання, а з іншої - не суперечити тому, про що він розповідає на уроках у відповідності з рекомендованою методикою подачі програмового матеріалу.

Як же тоді бути вчителю фізики в даній ситуації? По перше, не боятися подібних питань. По-друге, постійно дбати про підвищення свого фахового рівня володіння теоретичними матеріалом шляхом самоосвіти.

Перечитати уважно і критично підручники з фізики, скажімо, 10-11 класів, і спробувати самому знайти проблемні теоретичні моменти. Автор глибоко переконаний, що такі знайдуться. Ось один із далеко не поодиноких прикладів. На мал.1 зображено фрагмент сторінки діючого підручника з фізики профільного рівня для 10 класу одного поважного авторського колективу [9]. Він містить щонайменше один суттєвий



методичний прокол навіть з точки зору офіційної академічної теорії (далі в роботі буде показано, як мав би виглядати належний варіант). Бути чесним перед собою: хіба ніколи не відчувався певний емоційний дискомфорт при поясненні, наприклад, чому природні чи штучні супутники обертаються, але не падають на планету, яка їх притягує? Чи як, скажімо, детально і наочно пояснити, яким чином сторонні сили *не кулонівської природи* працюють над переміщенням *зарядів* крізь джерело струму? Або завдяки чому змінний струм проходить через конденсатор, а постійний - ні? І по-третє, працювати над власними, а також стимулювати та заохочувати учнівські спроби теоретичних пошуків, хай навіть на початку вони виглядатимуть примітивно і непереконаливо. Усвідомити, що кращого матеріалу для успішного розвитку критичного мислення учня годі й шукати. Користуючись правом академічної свободи, поступово вводити в практику власної педагогічної діяльності елементи проектів дослідницького характеру, піднімаючи таким чином рівень і результативність учнівських наукових робіт в МАН. І хто знає, може саме в цей момент формується майбутній вчений-дослідник з принципово іншим складом мислення, рівнем наукової сміливості і здатністю запропонувати нові

підходи, що спиратимуться на реальні, а ненав'язані фундаментальні основи природи.

Починати пошуки відповідей на існуючі проблемні питання слід з аналізу та переосмислення теоретичних основ класичної фізики, зокрема, механіки. Що й пропонується в представленій нижче роботі, хоча автор далекий від думки, що вона є завершеною, а зміст написаного в ній - істиною останньої інстанції. Але, як показує тисячолітній досвід науки, Істина народжується тільки в ході конструктивної дискусії.

Саме для таких вчителів, які не побояться стати на цей непростий шлях її пошуку та пройти ним до кінця, і написаний цей посібник.

РОЗДІЛ 2. ВНУТРІШНЯ СУПЕРЕЧЛИВІСТЬ ФІЗИЧНОЇ СУТНОСТІ ПОНЯТТЯ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

Під «матеріальною точкою» в сучасній теоретичній механіці розуміють тіло, що має масу, але при цьому його розмірами, формою, обертанням та внутрішньою структурою можна знехтувати в умовах поставленої задачі.

Остання вимога має принциповий характер, оскільки вважається, що одне і те ж матеріальне тіло в залежності від постановки задачі, може розглядатися або як матеріальна точка, або ж як тіло скінченних розмірів. Мотивується така заміна реального тіла в даній фізичній моделі деякою зручністю при вивченні поступального руху, коли вважають, що всі точки тіла рухаються з однаковими за величиною і напрямом швидкостями, а рівняння кінематики такого руху мають «простий і зручний» вигляд.

При цьому маса тіла розглядається повністю зосередженою в матеріальній точці і такою, що не змінюється в часі і не залежить від жодних особливостей її руху та взаємодії з іншими тілами.

Матеріальні тіла і середовища при такому підході представляються як сукупність («ансамбль») зв'язаних матеріальних точок. При цьому вважається, що при поступальному русі центр мас такої механічної системи (на основі відповідної теореми) рухається так само, як би рухалася матеріальна точка, що розташована в центрі мас і має сукупну масу всієї системи ([1],[21]).

Поняття матеріальної точки дає можливість побудувати абстрактно-математичну модель механіки. Цитата з Вікіпедії: *«При аксіоматичному підході до побудови класичної механіки в якості однієї з аксіом приймається наступне: матеріальна точка – це геометрична точка, якій поставлено у відповідність скаляр, що називається масою, а положення задається радіусом-вектором \vec{r} у евклідовому просторі, віднесеному до будь-якої декартової системи координат».*

Питання застосовності (чи незастосовності) моделі матеріальної точки до конкретного протяжного тіла вирішується в механіці не стільки в залежності від розмірів, скільки від умов його руху і взаємодії та характеру поставленої задачі. В якості прикладу часто приводиться аргумент, що при вивченні орбітального руху Землі навколо Сонця вона може бути прийнятою за матеріальну точку, але при аналізі її добового обертання використання такої моделі є неприпустимим. Також дуже часто в багатьох, в тому числі й шкільних, підручниках приводиться як ідея, що коли відстань до розглядуваного тіла або переміщення, яке воно здійснює, значно перевищує середні розміри самого тіла, то це дає підстави вважати його матеріальною точкою.

У редакціях підручників з механіки щонайменше за останні 50 років переважає парадигма представлення тіл матеріальними точками. Спробуємо критично проаналізувати перелічені вище підходи, прийняті в сучасній теоретичній фізиці. Поняття матеріальної точки походить від деформованого і обмеженого способу

вивчення фізичної реальності, яким є основна задача механіки – знайти закон руху тіла, тобто визначити положення тіла в просторі в будь-який момент часу. З такої точки зору формально-математичний і феноменологічний опис руху тіла чи не найкраще підходить для цього, але помилково вважається достатнім для того, щоб вивчити всю сукупну сутність фізичних процесів. Безумовно, в ряді окремих задач спрощена фізична модель реального тіла як матеріальної точки має свої переваги. Не заперечуючи корисності зовнішнього опису явищ, тим не менш доводиться констатувати її безумовну поверховість і недостатність при вивченні фізичних процесів взагалі. Глибинні причини явищ, їх внутрішню логіку і сутність описово-феноменологічний підхід розкрити не може, звідси і його обмеженість. З огляду на це, динамічний підхід, який має на меті виявити внутрішній механізм явищ, має необмежені можливості, оскільки спирається на невичерпність матерії і абсолютно для кожного явища розглядає наявність деякого глибинного і часто прихованого руху матерії.

Можна привести конкретні приклади обмеженості або й неможливості розуміння сутності фізичних явищ, коли використовується парадигма безструктурності матеріальних об'єктів, до якої відноситься й поняття матеріальної точки.

1. Нехтування реальними розмірами тіла, що має місце при застосуванні поняття матеріальної точки, попри те, що маса m в рівняннях динаміки часто є тільки коефіцієнтом, все ж ставить питання про те, якою ж тоді буде густина тіла? Адже зрозуміло, що вона в такому випадку прямує до нескінченності, тобто до абсурду. Запитаємо себе, – чому природні тіла, що нас оточують, мають саме такі, а не інші розміри? Чому зорі не бувають величиною, скажімо, з лампу, а навіть найбільша молекула не порівнянна навіть з крупинкою пшона? Очевидно, що природа керується своїми міркуваннями, хай нам часто й незрозумілими, але в основі них, без сумніву, лежить тривимірність простору, вічність часу, матеріальність Всесвіту, рух всіх без виключення його об'єктів на всіх рівнях «ієрархії» матерії та енергія як загальний еквівалент такого руху. Тому між тим, яка саме маса тіл, які в них розміри і форма, інші фізичні параметри та тим, який характер руху цих тіл і причинами, що його викликали, є принциповий зв'язок. Задачею дослідника природи є відшукання відповідей на питання про її закономірності, але при цьому поняття «матеріальної точки» суттєво звужує горизонт можливостей для таких пошуків.
2. Тіло, яке розглядається як матеріальна точка, за логікою цього поняття має бути абсолютно жорстким, а тому не може зазнавати деформацій. Та як відомо, абсолютно жорстких тіл в природі не існує в принципі. Деформації відіграють важливу роль у виникненні нового руху чи перетворенні існуючого в новий стан тіла. При деформаціях твердих тіл виникають сили, які діють як всередині тіл з боку одних частин на інші, так і між тілами, що дотикаються. У випадку деформацій, пов'язаних зі зміною об'єму, це справедливо і для рідин та газів. Статичні деформації однозначно визначаються діючими силами, але загальному випадку і головне: *коли деформоване тіло рухається, його*

деформації не визначаються однозначно прикладеними силами, оскільки одні й ті ж сили можуть в залежності від характеру руху викликати різні деформації. Тому задача пояснення походження деформацій є надзвичайно важливою, оскільки її розв'язання дає можливість розуміння тих рухів, які привели до зміни взаємного розміщення частин тіла. З огляду на це стає очевидним, що використання матеріальної точки як моделі реального протяжного тіла, є причиною усунення фізики від розгляду цілого пласту механічних рухів, які можуть включати в себе рухи прихованої, ще не вивченої, матерії. Це в свою чергу означає, що відшукання математичного закону руху матеріальної точки як основної задачі механіки є тільки частковим і далеко не повним способом вивчення фізичної реальності.

3. Апологети концепції матеріальної точки часто приводять такий рятівний для них аргумент, як «в залежності від умов поставленої задачі...», що дає їм простір для певних маніпуляцій. Так, наприклад, від них можна почути [25], що коли відстань до об'єкта, закон руху якого встановлюється, чи відстань, яку він проходить, набагато більші за його власні розміри, то це дає підстави вважати його матеріальною точкою. Така аргументація не витримує критики. Як можна оцінювати відстань, яку долає тіло, не знаючи (поки що) закону його руху? І чи опиниться воно у певній точці простору в наперед заданий момент часу? Тут має місце неправомірна екстраполяція, адже тіло може туди і не потрапити. У липні 1994 року короткоперіодична комета Шумейкерів-Леві 9 (D/1993 F2), наблизившись до Юпітера на критичну відстань, була розірвана його гравітацією на 22 фрагменти, які потім протягом тижня падали на планету зі швидкістю приблизно 64 км/с. Чи можна було вважати цю комету (з часу досить неочікуваного її відкриття у 1992 році до початку моменту фрагментації) матеріальною точкою? Формально – так, всі необхідні умови для цього виконані. А після? Ні! Тому що причиною руйнування комети стали припливні сили, а вони прямо пов'язані з деформаціями, яких в матеріальній точці бути не може. Перед нами суперечність. Так де ж тоді чіткий критерій, який дозволяв би розрізняти випадки, коли тіло є матеріальною точкою, а коли – ні? Розглянемо такий приклад. Припустимо, літак рухається до спостерігача і знаходиться від нього достатньо далеко для того, щоб вважатися матеріальною точкою. З часом відстань між ними буде зменшуватися. Виникає питання: де ж знаходиться той пункт чи координата, що визначає відстань, до якої тіло є матеріальною точкою, а після якої – ні? Які мають бути при цьому співвідношення середніх розмірів і відстані? І що тоді означає описати рух літака згідно основної задачі механіки та чи однаковий вигляд матимуть закони руху $r = r(t)$ до та після такої точки поділу? Відповідь очевидна: закони руху будуть різними. *По-перше*, спостерігач, вивчаючи рух літака як матеріальної точки і ставлячи за мету відшукання закону, який би описував рух літака на умовах матеріальної точки, неминуче повинен врахувати, зокрема, всі можливі сили опору повітря, які діють так чи інакше. Питається, як можна їх розрахувати, не цікавлячись при цьому його розмірами, формою крил,

фюзеляжу тощо? Тоді ці дані спостерігачеві треба взяти з інших джерел, де вони визначені з умови існування літака як протяжного тіла, а не матеріальної точки, інакше він не отримає закону, що більш-менш адекватно описує його рух. *По-друге*, знехтувавши розмірами і формою літака, зосередивши його масу в одній точці, не розглядаючи деформацій, що виникають в корпусі літака під час польоту (зокрема, завдяки дії сил інерції), абстрагуючись від факту, що різні точки тіла завдяки неоднорідним механічним напругам рухатимуться неоднаково, спостерігач знову не отримає вірного з фізичної точки зору закону руху. Таким чином, істинний закон руху може бути отриманий тільки при умові розгляду взаємодії реальних тіл, а не спрощених і відірваних від реальності абстракцій, якими є матеріальні точки.

4. Вся обмеженість і штучність поняття матеріальної точки проявляється при розгляді тіл як системи матеріальних точок в мікросвіті. Це добре видно на прикладі ідеального газу, уявлення про який були вперше запропоновані у 1847 році англійським фізиком Герпатом для теоретичного пояснення експериментально встановлених раніше газових законів Бойля-Маріотта, Гей-Люссака, Шарля, Авогадро. Модель ідеального газу має достатньо добре узгодження для одноатомних газів при невисоких тисках та не низьких температурах, тобто приблизно за умов, що близькі до нормальних. Проте, при порівняно більших тисках і нижчих температурах, спостерігаються суттєві відхилення поведінки реальних газів, які частково пояснюються за рахунок поправок на внутрішній тиск і власний об'єм молекул у напівемпіричному рівнянні Ван-дер-Ваальса. Але й при високих температурах, в умовах, коли відбувається дисоціація молекул на атоми з послідуною іонізацією останніх, модель ідеального газу є не застосовною. В силу цих та інших труднощів теоретичній фізиці доводиться вводити різні розширені припущення, що мають штучний, привнесений характер. Наприклад, для багатоатомних молекул розглядається не тільки поступальний, але й обертальний і коливальний рухи, а також нецентральний удар частинок. У навчально-методичній літературі з молекулярної фізики і термодинаміки модель ідеального газу є досить популярною, що зумовлено математичною простотою співвідношень, що

слідують з рівняння Клапейрона $\frac{pV}{T} = const$ та можливістю графічної візуалізації поведінки величин, що туди входять [22]. Але здійснений автором аналіз широкого кола джерел з даного питання показує, що існує певна двозначність та завуальованість у деяких трактуваннях положень даної моделі, а подекуди і абсолютна безглуздість. Так, в [23], книзі, що витримала не одне видання, говориться наступне: *«У випадку ідеального газу нехтують не самою взаємодією молекул, а енергією їх взаємодії.»* У відповідній статті Вікіпедії йдеться про таке: *«...вважається, що частинки, з яких складається газ, не взаємодіють одна з одною, тобто їх розміри знехтувано малі, а тому в об'ємі, зайнятому ідеальним газом, немає взаємних зіткнень частинок. Частинки ідеального газу зазнають зіткнень тільки зі стінками посудини.»* Виникають одразу питання: як можна знехтувати енергією взаємодії, не

знехтувавши при цьому самою взаємодією, адже якщо вона є, то є і сила як міра (в даному випадку – польової) взаємодії? Якщо молекули взаємодіють шляхом прямого зіткнення тільки із стінками посудини, а між собою – ні, то як тоді формується поле швидкостей молекул газу в усьому його об'ємі в кожний момент часу? Як тоді бути з розподілом Максвелла для швидкостей і яким чином виникає макроскопічна температура газу? Зустрічаються й інші неправомірні інтерпретації «класичної» моделі ідеального газу, що мають маніпулятивний характер.

В основі канонічної моделі ідеального газу лежать такі базові положення [25]:

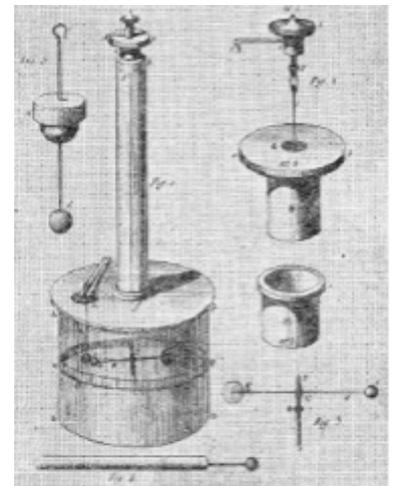
а) частинки ідеального газу є матеріальними точками; б) між частинками відсутні сили притягання чи відштовхування, і таким чином, потенціальною енергією їх взаємодії можна знехтувати; в) співудари частинок між собою та стінками посудини мають абсолютно пружний характер; г) сумарний власний об'єм частинок є несуттєво малим; д) час зіткнень частинок між собою або стінками посудини є несуттєво малим у порівнянні з часом між зіткненнями. Спробуємо проаналізувати фізичну правомірність такої моделі. Відомо, що діаметри молекул більшості газів лежать в межах від $2 \cdot 10^{-10}$ м до $3 \cdot 10^{-10}$ м. При рівні стиснення, близькому до нормальних умов, як слідує з [22], середня відстань між молекулами складає $3 \cdot 10^{-9}$ м. Нехтування розмірами і перехід до ідеології матеріальної точки мотивується тим, що середній діаметр молекул значно менший усередненої довжини їх вільного пробігу $(d \ll \lambda)$, через що їх загальний власний об'єм є зникаюче малим у порівнянні з об'ємом газу в посудині. Саме це є формальним поясненням правомірності нехтування потенціальною енергією міжмолекулярної взаємодії. Таким чином, внутрішня енергія ідеального газу складається виключно з сумарної кінетичної енергії його частинок, яка за умови абсолютно пружних зіткнень, не перетворюється в інші види енергії. Остання обставина є далеко неочевидною і перевірити її справедливості не так просто. І чи можна вважати в такому разі, що співвідношення $\frac{\lambda}{d} \approx 10 \div 15$ є достатньо великим, щоб знехтувати силами міжмолекулярної взаємодії?

З іншого боку, з першого закону термодинаміки слідує, що зміна внутрішньої енергії системи дорівнює сумі виконаної над нею роботи A' зовнішніх макроскопічних сил та переданої кількості теплоти Q : $\Delta U = A' + Q$. Якщо $A' = 0$ і $Q = 0$, тобто над газом не виконується ніяка механічна робота і система є теплоізолюваною, то процеси, що відбуватимуться в ідеальному газі будуть адіабатними, а тому внутрішня, а отже, і середня кінетична енергія поступального руху молекул (внаслідок аксіоматики моделі) змінюватися не можуть. Але в такому разі при адіабатному

процесі в силу формули $\langle E_{\text{кін}} \rangle = \frac{3}{2} kT$ абсолютна температура теж має залишатися незмінною, що суперечить дослідним даним! Тоді виникає питання: за рахунок чого можна пояснити в рамках існуючої моделі газу адиабатне охолодження газу при розширенні? Адже ж з курсу механіки відомо, що під час абсолютно пружних співударів взаємодія має реактивний характер і при цьому робота не виконується, але молекули ідеального газу взаємодіють саме так! Очевидно, що ресурс для такого пояснення можна взяти тільки з припущення про факт присутності в процесі потенціальної енергії взаємодії молекул. *Тоді температура газу зменшилася через те, частина кінетичної енергії молекул перетворилася в потенціальну енергію їх взаємодії шляхом виконання внутрішньої роботи, наприклад, по деформації стиснення польових оболонок молекул.* Не виключено, що в даному контексті й сам механізм тиску молекул на стінки посудини має інший характер, а формула та межі застосування основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії мають бути уточнені. Таким чином, модель ідеального газу є обмеженою і внутрішньо суперечливою і, по крайній мірі, не може бути застосованою для пояснення явищ, що мають місце в адиабатних процесах. А головне в тому, що причиною такої суперечливості є «реінкарнація» ідеї нехтування власними розмірами в об'єктів мікросвіту, що перейшла сюди з механіки матеріальної точки.

5. Апофеозом же академічної недоброчесності є застосування ідеології матеріальної точки до поняття точкового заряду в електростатиці. Під точковими зарядами розуміють такі заряджені тіла, власні розміри яких є малими у порівнянні з відстанню, на якій вони взаємодіють, і тому ними можна знехтувати. Вважається, що експериментально встановлений Ш. Кулоном у 1785 році закон є справедливим для взаємодії саме таких зарядів. Крім цього покладають, що будь-яке заряджене тіло може розглядатися як сукупність скінченного числа точкових зарядів [19].

Навчально-методична література, підручники з фізики, видані в різні роки і навіть десятиліття, містять дуже мало інформації і не дають відповіді на принципове питання: чому ж виключно точкові заряди слід розглядати в законі Кулона? *І чи були вони такими в експериментах Кулона?* Як відомо, закон взаємодії заряджених тіл Кулон встановив, на основі вимірювань, виконаних за допомогою крутильних терезів. Детальний опис їх конструкції приведений Кулоном у першому з семи присвячених дослідженню електрики і магнетизму мемуарів під назвою «Конструкція і застосування електричних терезів, заснованих на властивості металевих дротів мати силу кручення, пропорційну куту кручення» [24]. Нижче (мал.2) відтворена ілюстрація з цього мемуару схеми експериментальної установки, на якій показані самі терези, а також окремі їх деталі у



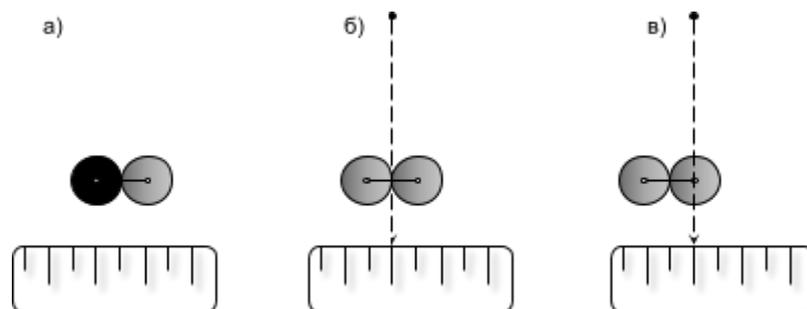
збільшеному масштабі. Основу конструкції складала тонка срібна дротина, яка розміщувалася всередині двох скляних циліндрів. Верхній її кінець утримувався спеціальним фіксатором, який був з'єднаний з поворотним лімбом із вказівником. До нижнього кінця було прикріплене легке коромисло з шеллаку - матеріалу з високими ізолюючими властивостями. До одного кінця коромисла була приєднана легка бузинова кулька А, до протилежного – цупкий паперовий диск G, який був противагою, що урівноважувала кульку і послаблювала коливання. По периметру більшого циліндра була приклеєна паперова шкала, одна поділлка якої відповідала повороту коромисла на кут $1^{\circ}1^{\circ}$, а через спеціальний отвір всередині циліндра розміщувався ізольований стрижень з бузиновою кулькою Г на кінці, рівною за розміром кульці А. Параметри елементів конструкції були слідуєчими: довжина дротини – 75,8 см, діаметр більшого циліндра – 32,5 см, довжина коромисла терезів – 21,7 см, діаметр кульок – варіювався від 4,5 до 6 мм. Діаметр срібної дротини був дуже малий, Кулон не зміг його визначити безпосередньо і вказав лише масу одиниці довжини дротини – приблизно $0,01 \text{ г/м}$ $0,01 \text{ г/м}$, що після обчислення з урахуванням циліндричної форми дротини дає досить неймовірний результат – приблизно 40 мкм! Як стверджує сам Кулон, для закручування такої дротяної нитки на 360° 360° потрібна сила в «1/340 грана», тобто $1,5 \cdot 10^{-6}$ $1,5 \cdot 10^{-6}$ Н, тому чутливість терезів при повороті на $1^{\circ}1^{\circ}$ складає $4,2 \cdot 10^{-9}$ $4,2 \cdot 10^{-9}$ Н, що є унікальним для кінця XVIII ст.

І ось тут починається найцікавіше. Кулон застосовує таку методику вимірювання: *«Щоб почати працювати з цим приладом, я поступав приблизно так: розташовував кришку таким чином, щоб отвір т відповідав початковій поділці або точці О шкали zoQ, накресленої на посудині. Я встановлював вказівник мікрометра оі в точку О, або на початковій поділці цього мікрометра; потім я змушував увесь мікрометр повертатися у вертикальній трубці fh доти, поки голка ag не розміщувалася навпроти початкової поділки круга zoQ, якщо дивитися на вертикальну нитку, на якій підвішена голка, і центр кульки. Потім через отвір т я вводив іншу кульку t, підвішену на циліндрі тФt, таким чином, щоб вона доторкнулася до кульки а і щоб при погляді через центр нитки підвісу і кульку t остання відповідала початковій поділці круга zoQ. (тут і вище виділено Ю.Н.) Тепер терези готові до всіх операцій. [...]*»

Далі йде опис експериментальної частини. *«Електризується маленький провідник (Fig.5), який є простою булавкою, що ізольована шляхом встромляння її вістря в кінець палички з іспанського воску; ця булавка вводиться в отвір т і нею дотикаються до кульки t, що знаходиться в контакті з кулькою а; після видалення булавки дві кульки виявляються зарядженими електрикою одного й того ж роду, і вони розходяться на відстань, яка визначається по спостереженню відповідної поділки шкали zoQ*

при погляді на нитку підвісу і центр кульки *a*. Повертаючи потім вказівник мікрометра в напрямку *р*по закручують нитку підвісу *l*р і створюють силу, пропорційну до кута кручення, яка намагається наблизити кульку *a* до кульки *t*, *i*, порівнюючи сили кручення з відповідними відстанями між двома кульками, визначають закон відштовхування. [...] У нашому першому досліді, коли вказівник мікрометра був встановлений на точці *O*, ми знайшли, що кульки віддалилися на $36^{\circ}36^{\circ}$; в другому досліді відстань між кульками дорівнює $18^{\circ}18^{\circ}$, але оскільки мікрометр було закручено на $126^{\circ}126^{\circ}$, то в результаті для відстані $18^{\circ}18^{\circ}$ сила відштовхування була $144^{\circ}144^{\circ}$, таким чином, на середині першої відстані відштовхування кульок вчетверилось. У третьому досліді нитку підвісу закрутили на $567^{\circ}567^{\circ}$ і кульки знаходилися на віддаленні всього тільки вісім з половиною градусів. Тоді загальне закручування було $576^{\circ}576^{\circ}$, тобто дорівнювало учетвереному закрученню другого досліді, і звідси слідує, що в третьому досліді відстань між кульками всього лише на півградуса менша за половину відстані другого досліді. Це означає, що відштовхувальна дія, якою дві кульки, наелектризованих електрикою одного роду, чинять одна на одну, є обернено пропорційною квадратам відстаней».

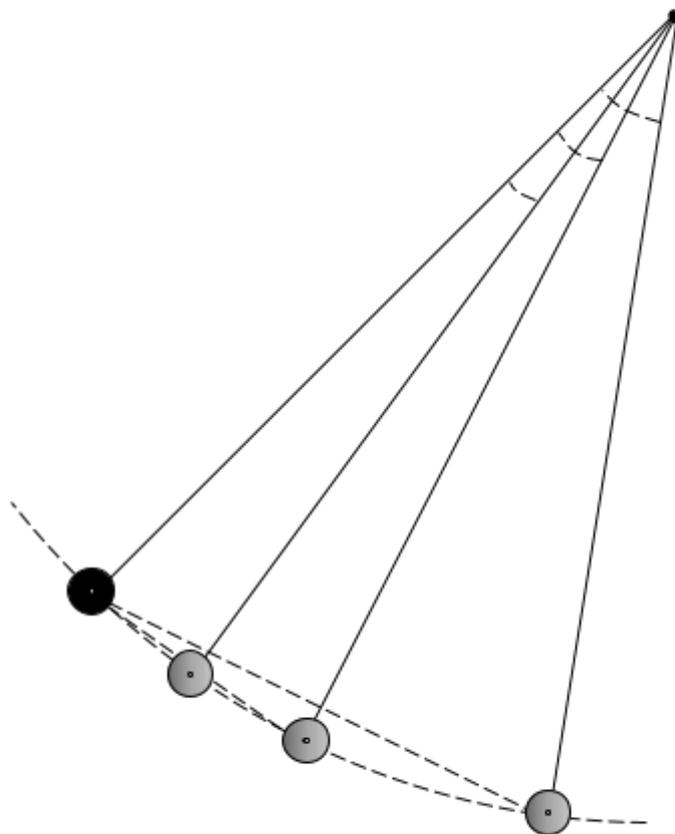
А тепер спробуємо з'ясувати: чи були відстані між кульками у трьох описаних вище досліді значно переважаючими їх власні розміри. Перші питання виникають при осмисленні можливості одночасного розміщення центрів кульок *a* і *t* навпроти нульової позначки шкали *zoQ* і візуального співпадіння з вертикаллю нитки до надання їм заряду. Є тільки три можливих, і при цьому взаємно виключних варіанти (мал.3):



- а) центр кульки *t* та вертикальний підвіс лежать на промені зору спостерігача і навпроти нульової позначки шкали;
- б) точка дотику кульок *t* і *a* та вертикальний підвіс лежать на промені зору спостерігача і навпроти нульової позначки шкали;
- в) центр кульки *a* та вертикальний підвіс лежать на промені зору спостерігача і навпроти нульової позначки шкали;

Тобто Кулон *внаслідок існування власних розмірів кульок* не міг розмістити їх впритул одна до одної перед наданням їм заряду так, щоб центри обох кульок одночасно були суміщеними з вертикальною ниткою по променю зору. Таке було б можливим, якби заряди були справді точковими. Але ж насправді кульки хоч і були невеликих розмірів, але все ж не нульових, і як слідує з геометрії малюнка, при будь-якому з варіантів розміщення кульок ще до початку в експерименті присутня похибка у відстані між кульками, що дорівнює двом їх радіусам $2R$ $2R$. Звичайно, коли кульки після отримання рівних однойменних зарядів відштовхнуться, то ця похибка прямуватиме до нуля, бо центри кульок будуть рознесені на певну відстань і з'явиться можливість зафіксувати їх положення окремо. Не виключено, що ця проблема стала однією з причин того, що Кулон, використовуючи крутильні терези, дослідив саме відштовхування кульок, а не їх притягання, для чого ним була використана зовсім інша експериментальна установка, про що в підручниках з фізики пишуть чомусь дуже неохоче.

Ми наближаємося до відповіді на ключове питання: чи були розміри кульок в трьох описаних вище дослідах Кулона зникаюче малими у порівнянні з відстанями, на яких відбувалася їх взаємодія? Нижче на мал.4 представлена *графічна реконструкція дослідів у реальному масштабі із збереженням всіх фактичних розмірів тіл, відстаней і кутів*.



При вказаних Кулоном значеннях кутів $\alpha_1 = 36^\circ, \alpha_2 = 18^\circ, \alpha_3 = 8,5^\circ$ та діаметрах кульок $d = 6 \text{ мм}$ у трьох дослідах пряме вимірювання відстаней між центрами кульок відповідно дає такі результати:

$r_1 \approx 67 \text{ мм}; r_2 \approx 34 \text{ мм}; r_3 \approx 17 \text{ мм}$. При цьому абсолютна похибка вимірювання $\delta \leq 0,5 \text{ мм}$. Таким чином, відношення відстані між центрами кульок до їх сумарних діаметрів відповідно складають:

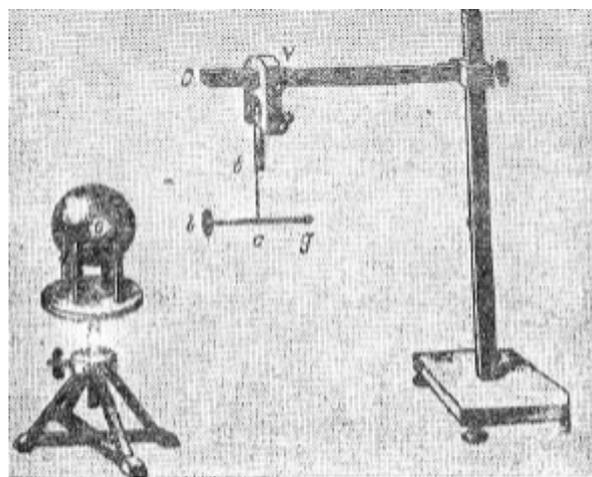
$$\frac{r_1}{2d} \approx 5,58; \frac{r_2}{2d} \approx 2,83; \frac{r_3}{2d} \approx 1,42$$

(1) (1)

Очевидно, що числові значення відношень не дозволяють вважати «власні розміри носіїв зарядів несуттєво малими у порівнянні з відстанями, на яких вони взаємодіють», а тому немає жодних підстав вважати заряди в законі Кулона точковими! Зрештою, він і сам не вважав їх точковими, сформулювавши закон таким чином: «Сила відштовхування двох маленьких кульок, наелектризованих електрикою однієї природи, обернено пропорційна квадрату відстані між центрами кульок». Автор прямо говорить про маленькі, але аж ніяк не точкові кульки!

Але ще більш показовим маркером замовчувань і фальсифікацій є історія з експериментами Кулона по притяганню зарядів. В експериментах по вивченню взаємодії різнойменно заряджених тіл Кулон змушений був відмовитися від використання крутильних терезів. Причиною цього стало те, що в процесі зміни рівноважної відстані між кульками, що досягається закручуванням дротини, незмінно відбувається дотик кульок, а отже їх заряд перерозподіляється.

Саме відсутність стійкої рівноваги кульок і змусила Кулона використати іншу експериментальну установку, в якій велика (!) мідна куля G діаметром 34,5 см встановлювалася на ізолюваній підставці з можливістю регулювання положення по висоті, а основною деталлю іншої частини установки було легке солом'яне коромисло, на одному кінці якого знаходився диск із позолоченого паперу діаметром $d = 2 \text{ см}$, на іншому була закріплена кулька-противага. Коромисло висіло на дуже тонкій шовковій нитці довжиною $L = 1,8 \text{ см}$, верхній кінець якої був затиснутий в муфті VV , яка могла пересуватися вздовж горизонтальної консолі O штативу EE (мал. 5).



Для проведення вимірювань Кулон використав таку ідею: після того, як кулі G і диску ll надати зарядів різних і між ними виникне притягання, потрібно трохи відхилити коромисло від кулі, але так, щоб воно залишилося в горизонтальній площині. Якщо потім коромисло відпустити, то воно почне коливатися, подібно до математичного маятника в полі земного тяжіння. (При цьому дуже принципово, щоб заряд диска не був дуже великим і не порушував симетрію поля кулі G , яке має бути якомога більш однорідним, саме тому вона й вибрана досить великого радіуса, щоб кривизна поверхні, а отже, і неоднорідність поля були по можливості найменшими.) І якщо виявиться, що період коливань прямо пропорційний до відстані між центрами кулі G і диска ll , то закон «обернених квадратів» є справедливим і для сил електростатичного відштовхування. Кулон приводить результати дослідів, що підтверджують зазначений вище закон (табл.1):

$r, \text{см}$	Тривалість 7,5 коливань	r/r_0	T/T_0
24,36	20	1	1
48,72	40	2	2
64,97	60	2,67	3

Але знову ж таки звертає на себе увагу принципова «неточковість» фізичної картини взаємодії; більше того, при збільшенні відстані між зарядженими тілами, як слідує з третього досліду, пропорційність дещо порушується, що може непрямо свідчити про виконання закономірності саме в області, де власні розміри носіїв є суттєвими у порівнянні з відстанню. Склавши відношення, аналогічні (1), приходимо до висновку, що ні про яку «точковість» зарядів не може бути й мови:

$$\frac{r_1}{D+d} \approx 0,67; \quad \frac{r_2}{D+d} \approx 1,33; \quad \frac{r_3}{D+d} = 1,78$$

Ці відношення є ще більш «жорсткими», ніж у дослідах по відштовхуванню зарядів. У першому випадку поверхня кулі і край диска були на відстані всього лише приблизно 5 см при діаметрі кулі 34,5 см!

Тому вимога про справедливість закону виключно для точкових зарядів є прямою і цілеспрямованою фальсифікацією авторами сучасних підручників з електродинаміки отриманих Кулоном результатів. І до того ж не єдиною. Так, наприклад в [19] говориться про те, що кульки, використані Кулоном в крутильних терезах, були металевими, хоч насправді вони були виготовлені з сухої серцевини бузини. І як не парадоксально, але навіть таке, на перший погляд, дрібне спотворення історії відкриття, знову пов'язане з вимогою точковості зарядів. Очевидно, справа тут полягає тому, що електричне поле металевої зарядженої сферичної поверхні радіусом R вважається повністю еквівалентним полю точкового заряду, поміщеного в її центрі, що, таким чином, на думку авторів, і має формально підкреслювати значення точкових зарядів в законі Кулона.

Слід сказати, що направлені на догоду домінуючій парадигмі трактування отриманих експериментальних результатів, а іноді і їх замовчування або навмисне

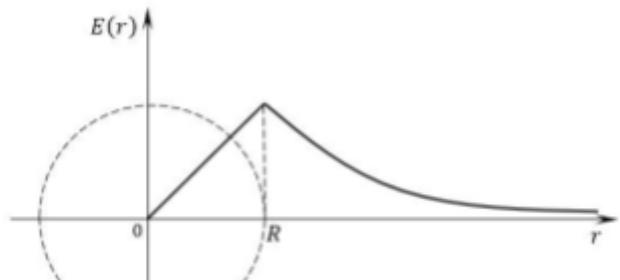
спотворення, є досить розповсюдженим у фізиці явищем. Наприклад, експерименти по вивченню відхилення променів світла при проходженні біля Сонця трактуються на користь загальної теорії відносності Ейнштейна. Експериментальні результати розподілу заряду всередині атома вважаються такими, що підтверджують імовірнісний характер хвильової функції у рівнянні Шредінгера, хоча можливі і інші варіанти трактувань, наприклад, як масової щільності електронної хмари. Сказане вище у повній мірі стосується і закону Кулона. Історія фізики зберегла факт того, що на Кулона справив велике відкриття Ньютоном «закон обернених квадратів» для гравітаційно взаємодіючих тіл. Ні в якому разі не ставлячи під сумнів наукову порядність Кулона, все ж доводиться визнати те, що приведені ним дані є узагальненням результатів великого числа експериментів, представлених як підсумок одиничного досліду, а утворення співвідношень для сил $F_1 \div F_2 \div F_3 = 1 \div 4 \div 16$ при відштовхуванні кульок, очевидно, неможливо добитися без попереднього підбору кута закручування дротини, що побічно свідчить бажання Кулона отримати закономірність, аналогічну закону всесвітнього тяжіння.

У чому ж причина такої принципової зятятості фізиків-теоретиків у питанні точковості заряду в законі Кулона? Автор далекий від думки, що ніхто раніше не звертав уваги на факт того, що закон виведено на основі використання протяжних тіл. Тоді ж з якою стратегічною метою робляться ними всі ці навмисні спотворення?

Робиться це, очевидно, через намагання отримати закон Кулона з формальної аксіоматики електростатики на основі теореми Гауса. Вважається, що таким чином закон «обернених квадратів» можна вивести з геометрії простору, що повністю відповідає концепції сучасної теоретичної фізики, згідно якої всі фізичні процеси є наслідком просторово-часових викривлень і нелінійностей, хоча дуже часто при цьому повністю ігнорується сутність і механізм цих процесів.

Для того, щоб з теореми Гауса вивести закон Кулона знаходять потік вектора напруженості електричного поля через замкнену поверхню, який чисельно дорівнює алгебраїчній сумі зосереджених всередині цієї поверхні точкових зарядів, поділений на електричну сталу ϵ_0 [19]. Але для цього потрібна сферична симетрія електричного поля і принцип суперпозиції напруженостей електричних полів, які постулюються в електростатиці саме для точкових зарядів!

При цьому нікого не хвилює, що сама теорема Гауса не дає відповідей на багато принципових питань. Наприклад, завдяки якому саме фізичному механізму кількість ліній напруженості поля, які виходять із окремого точкового заряду, чисельно дорівнює $N = 4\pi q$ (в системі СГС)? Що взагалі представляє собою лінія напруженості? З якої матерії вона складена і як саме пов'язана з генеруючим її зарядом? Що забезпечує рівномірність розташування силових ліній і неможливість їх перетину? Чи забезпечується ця умова під час



дипольної взаємодії різнойменних зарядів? Чому замкнуту поверхню можна проводити як завгодно далеко від заряду? І чи не є це далекодією? На якій (фізичній, а не формально-математичній) підставі до розрахунку потоку не включені лінії напруженості, що створені зарядами, розміщеними зовні виділеної замкнутої поверхні? На основі чого вважається, що напруженість всередині об'ємно зарядженої кулі у деякій точці створюється лише тією частиною загального заряду, яка розташована глибше неї, що дає теоретикам говорити, що всередині неї $(0 \leq r \leq R)$ напруженість електричного поля зростає лінійно (мал.6)? Де тоді локалізована енергія поля, створеного тією частиною зарядів, яка розташована вище, і який в такому разі механізм її розсіювання?

Слід сказати, що енергія виступає чи не єдиним способом розірвати коло замкнутої самої на себе логіки прихильників точковості та безструктурності. Відсутність фізичного змісту в багатьох аспектах теоретичної моделі електродинаміки приводить до багатьох енергетичних парадоксів, розв'язання яких фізики здійснюють не за рахунок наближення її до дійсної фізичної реальності, а йдучи шляхом введення різних нормуючих коефіцієнтів та інших виключно математичних прийомів. Це в повній мірі стосуються і розрахунку енергії поля точкового заряду. Будемо шукати повну енергію поля рівномірно зарядженої сфери радіусом R , розміщеної у вакуумі. Відповідний інтеграл енергії має вигляд:

$$W = \frac{1}{2} \int_V \epsilon_0 E^2 dV$$

Так як напруженість поля сфери, розрахована на основі теореми Гауса, при $r > R$ становить $E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, а елемент об'єму $dV = 4\pi r^2 dr$, то енергію поля сфери в усьому об'ємі отримуємо, проінтегрувавши енергії всіх елементарних об'ємів:

$$W = \frac{1}{2} \int_R^\infty \epsilon_0 \left(\frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \right)^2 4\pi r^2 dr = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0} \int_R^\infty \frac{dr}{r^2} = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 R}$$

Але якщо заряд буде точковим ($R \rightarrow 0$), то його загальна енергія прямує до нескінченності, чого насправді бути не може. Наприклад, відомо, що енергія, яка виділяється при анігіляції електрон-позитронної пари становить **511 кеВ**

В умовах абсолютно порожнього вакууму, не застосовуючи ніяких наочних моделей для розуміння природи електричного заряду і поля, цей парадокс розв'язати неможливо.

Таким чином, використання концепції матеріальної точки в різних розділах теоретичної фізики має значну методологічну обмеженість, яка приводить до суперечностей і енергетичних парадоксів та суттєво звужує простір для пізнання істинної сутності природи фізичних процесів.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДОЛОГІЧНА ОБМЕЖЕНІСТЬ ПОНЯТТЯ ІНЕРЦІАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ

Інерціальні системи відліку (ІСВ) - ще одна ідеалізована математична абстракція, яка займає визначне місце в системі теоретичної фізики.

Поняття інерціальної системи відліку було запропоноване у 1885 році німецьким фізиком Ланге і мало на меті замінити поняття ньютонівського абсолютного простору, яке в цей період зазнавало серйозної критики, головним чином, через його концепцію Творця, що було ключовою філософською ідеєю його роботи. Саме Ланге запропонував під ІСВ розуміти таку систему відліку, відносно якої тіла рухаються прямолінійно і рівномірно або знаходяться в стані спокою [21].

Дане означення одразу привертає до себе увагу своєю замкнутою логікою і дефініційною недосконалістю по причині відсутності незалежного означуючого елемента: інерціальною є система, в якій виконується закон інерції, а сам він апріорно виконується (точніше, постулюється) відносно системи відліку, яка знаходиться в стані спокою або рівномірного руху, тобто є інерціальною. Фактично таке означення ІСВ не містить чогось нового, чого немає в законі інерції Галілея і певною мірою перегукується з ідеями Лобачевського-Ейнштейна щодо простору, який може викривлятися під дією внесених в нього мас тіл.

Слід зазначити, що поняття інерціальної системи відліку є повністю відсутнім в ньютонівських «Началах». Роль «праінерціальної» системи відліку в нього відведена абсолютному простору і часу. Приведемо кілька характерних цитат класика науки і генія думки, які проливають світло на справжню суть його концепції [14].

«I. Абсолютний, істинний математичний час сам по собі і за своєю сутністю, без всякого відношення до чого-небудь зовнішнього, протікає рівномірно. [...]

II. Абсолютний простір за своєю природою безвідносний до чого б то не було зовнішнього, залишається завжди однаковим і нерухомим.

Відносний є його міра або яка-небудь його обмежена рухома частина, яка визначається нашими відчуттями по положенню його відносно деяких тіл. [...]

III. Місце є частина простору, зайнята тілом, і по відношенню до простору буває або абсолютним, або відносним. [...]

IV. Абсолютний рух є переміщення тіла із одного абсолютного місця в інше, відносний – із відносного у відносне ж. [...]

В часі все розташовується в розумінні порядку послідовності, в просторі – в розумінні порядку положення.

Може виявитися, що в дійсності не існує тіла в спокої, до якого можна було б віднести місця і рухи інших тіл.»

Уважний аналіз приведених цитат показує, що Ньютон вибирає одну, істинно нерухому систему відліку, яка, очевидно має нескінченну протяжність Всесвіту в цілому і пропонує відносити до неї всі рухи і на цій основі спробувати визначити ті закономірності, які є спільними для всіх цих рухів. Знайшовши такі закономірності, можна дати відповідь і на питання, чи треба і як саме змінити їх, щоб вони були справедливими і в інших системах відліку. При цьому Ньютон говорить, що тілами відліку в такій системі можуть бути лише ті, які є в абсолютному спокої. Але оскільки всі об'єкти Всесвіту знаходяться в русі, то вибір тіла відліку може бути здійснений лише з певною допустимою мірою точності.

В якості системи відліку, з якою пов'язуються три закони руху і закон всесвітнього тяжіння, Ньютон використовує центр Сонця і три напрямлених на віддалені зорі осі координат, тобто фактично використовує «копернікову» систему, проте зауважує, що хоча в більшості випадків ця система й дає можливість отримати задовільні практичні розрахунки, але вона не може вважатися абсолютною.

Це прямо підтверджує текст цитати, приведеної нижче:

«[...] Абсолютний і відносний рух та абсолютний і відносний спокій відрізняються один від одного: властивостями, причинами походження та проявами.

Властивість спокою полягає в тому, що тіла, які в істинному спокої, будуть в спокої і одне відносно одного. [...]

Властивість руху полягає в тому, що частини, які зберігають постійне положення по відношенню до цілого, беруть участь і в русі цього цілого. [...] Таким чином, коли рухаються оточуючі тіла, то рухаються й ті, по відношенню до них знаходяться в спокої, тому не можна визначити істинний абсолютний рух по переміщеннях відносно сусідніх тіл, які розглядаються як нерухомі. (Тут і далі виділено – Ю.Н.) [...]

Тіло, що рухається в рухомому просторі, бере участь і в русі цього простору. [...]

Причини походження, якими відрізняються істинні рухи і ті, що такими здаються, суть ті сили, які треба прикласти до тіл, щоб ці рухи відбулися. Істинний абсолютний рух не може ні відбутися, ні змінитися інакше, як від дії сил, прикладених безпосередньо до самого тіла, що рухається, тоді як відносний рух тіла може відбутися і змінитися без прикладення сил до цього тіла, достатньо, щоб сили були прикладені до тих тіл, по відношенню до яких цей рух визначається. [...]

Прояви, якими відрізняються абсолютний і відносний рух, полягають в силах намагання віддалитися від осі обертального руху, бо у відносному обертальному русі ці сили рівні нулю, в істинному і абсолютному ж вони більші або менші, відповідно до кількості руху. [...] Істинний круговий рух

якого-небудь тіла може бути лише один у повній відповідності з силою віддалення його від осі, відносних же рухів тіло може мати незчисленну кількість.

*Пізнання істинних рухів окремих тіл і точне їх розмежування від тих, що такими здаються є дуже важким, оскільки **частини того нерухомого простору, в якому відбуваються істинні рухи, не розрізняються нашими відчуттями.***»

Як бачимо, концепція Ньютона передбачає, що абсолютний простір і час є первинними, істинними і фундаментальними інваріантами по відношенню до законів фізики, а не навпаки. Абсолютний простір у Ньютона є вмістилищем для об'єктів Всесвіту у вигляді тіл і середовищ, що перебувають у вічному і незнищенному русі, абсолютний час же виступає мірою тривалості процесів, в яких приймає участь вся матерія в усьому різноманітті форм її руху і існування. Існування ефіру в природі як фундаментальної матеріальної першооснови всього суцього просто і органічно вписується в цю концепцію і зовсім не означає, що ефір теж має бути, як і простір, абсолютно нерухомим. Це в свою чергу означає, що ньютонівський абсолютний простір не є абсолютно порожнім, і на відміну від сучасних тлумачень в теоретичній механіці, має реальні фізичні, а не просто математичні властивості.

Ньютон підкреслює, що істинний абсолютний рух може виникнути чи змінитися тільки за умови дії сил і звертає увагу на виключну роль відцентрової сили обертальних рухів як критерію встановлення факту руху по відношенню до абсолютного простору.

Звідси слідує два важливих і пов'язаних між собою висновки:

1. Виконання закону інерції не має принципового значення для ньютонівської системи світу, що в свою чергу робить поняття інерціальної системи відліку зайвим в стратегічному аспекті;
2. Ньютон міг сформулювати три свої закони руху, виходячи з принципової неінерціальності світу.

Методологія матеріальної точки має пряме відношення до поняття інерціальної системи відліку. Внаслідок значної віддаленості зір їх формально можна вважати матеріальними точками, видимі кутові величини їх рухів є досить малими, що створює ілюзію їх нерухомості чи рівномірності руху. Така ілюзія буває і не тільки для далеких космічних об'єктів. Наприклад, швидкість автомобіля, що перебуває в полі зору спостерігача на відстані 1-1,5 км і рухається йому назустріч, здається незначною і незмінною, проте по мірі його наближення (і «перетворення» з матеріальної точки в протяжне тіло) вона починає здаватися все більшою й більшою, а рух- нерівномірним. Така аналогія повністю справедлива і по відношенню до віддалених зір, хоча самі зорі та можливі їх системи при цьому можуть рухатися з дуже великими швидкостями. Так, галактична швидкість Сонця за даними NASA складає 252 км/с. Також науці відомі так звані гіпершвидкісні зорі (HVS), швидкість яких складає не менше 1000 км/с, що може перевищувати

швидкість ядер галактик. Так, у нейтронної зорі RX JO822-4300 швидкість відносно точки вибуху наднової складає рекордні 1300 км/с. Наявність таких швидкостей зір з урахуванням їх мас свідчить про існування колосальних гравітаційних сил, дій яких вони зазнають, і в кінцевому результаті, рухаються прискорено. Чому ж ми в повсякденному житті не відчуваємо таких гігантських швидкостей? Чи можна рухатися прямолінійно і рівномірно з такими великими швидкостями?

Логіка, за якою сучасна теоретична механіка продукує на основі мисленого (!) експерименту необмежену кількість нібито рівноправних з точки зору фізичних умов інерціальних систем відліку, є приблизно такою. Припустимо, що ми спостерігаємо окреме тіло, яке розташоване наскільки віддалено від усіх інших тіл, що вони на нього зовсім не діють. Тоді його прискорення відносно «копернікової» системи відліку дорівнює нулю і воно має рухатися прямолінійно і рівномірно з тією швидкістю, яка була надана йому в початковий момент часу. Отже, для цього тіла виконується закон інерції і деяку систему відліку K , пов'язану з ним, можна вважати інерціальною, а всі інші тіла, на які теж не діють ніякі сили і рухаються зі сталою швидкістю відносно K , теж будуть інерціальними системами.

Така логіка не витримує щонайменшої критики. Практика ніколи не має справи з тілами, які були б усамітненими і не були б під впливом інших тіл. На всі тіла поблизу Землі діє сила її тяжіння. Всі об'єкти в Сонячній системі, включаючи пояс Койпера, який віддалений на 50 а.о., перебувають під дією сили тяжіння Сонця і взаємних гравітаційних впливів. Сонце, Земля, інші планети, їх супутники здійснюють осьове обертання, що виключає їх повну інерціальність. Тому встановити за допомогою прямих експериментів, що геліоцентрична система є інерціальною, неможливо. Тільки непрямі досліди і спостереження за віддаленими небесними тілами дозволяють встановити дією яких інших небесних тіл зумовлені їх прискорення відносно «нерухомої» системи відліку, а висновок про те, що за відсутності таких дій вони рухалися б прямолінійно і рівномірно, є апіорним і постулативним. Такі досліди і спостереження мають певну степінь точності, і саме з такою її мірою є й справедливим висновок про те, є система інерціальною чи ні. У такому контексті для деяких практичних задач, скажімо, космічної навігації чи небесної механіки, слід говорити про «практично», але не «принципово» інерціальну систему відліку. Для фундаментальних же досліджень Всесвіту прикладна цінність ІСВ є нульовою і від цієї методології слід відмовитися та шукати підтвердження проявів принципової неінерціальності геліоцентричної системи.

Насправді такі прояви існують і є давно відомими, проте інтерпретуються сучасною теоретичною фізикою виключно з позицій релятивістської теорії гравітації (ЗТВ). Мова йде про аномальне обертання перигелію Меркурія. Згідно з законами Кеплера траєкторіями руху планет є еліпси, проте в реальних умовах через збурення інших планет виникає поступовий поворот самих орбіт, внаслідок чого їх перигелії здійснюють прецесію. Виявилось, що теоретичне зміщення,

розраховане на основі закону всесвітнього тяжіння, відрізняється від спостережуваного, яке складає приблизно $43'' 43''$ за століття. Пошуку причин аномального зміщення перигелію Меркурія присвячено немало публікацій і наукових дискусій [8]. У загальній теорії відносності Ейнштейна даний ефект розглядається як свідчення викривлення простору, зумовлене гравітацією Сонця. Проте існують і класичні пояснення. Наприклад, існують розрахунки, які показують, що достатньо сплющення поверхні Сонця на 1/1900, щоб викликати аномалію. Причиною також може бути нецентральність маси Сонця і нерівномірність його густини або осьове обертання Сонця, що приводить до асиметрії його гравітаційного поля.

Проте в аномальній прецесії перигелію Меркурія може бути й інше пояснення. Як відомо Сонце і планети рухаються в складі одного із спіральних рукавів нашої Галактики в напрямку від її ядра, описуючи криволінійну траєкторію. Можна припустити, що даний феномен зумовлений нерівномірністю швидкості Сонячної системи по відношенню до центру Галактики, неінерціальним характером такого руху, внаслідок чого потрібно враховувати сили інерції, зокрема, відцентрову силу і силу Коріоліса. Для Меркурія дія цих сил буде найбільшою, оскільки він розташований найближче до Сонця і при цьому має місце принципово неточковий характер їх взаємодії. Дана гіпотеза публікується вперше.

Можна зустріти в літературі і більш «потужні» висловлювання. Наприклад, в [25]: «Система відліку називається інерціальною, якщо по відношенню до неї будь-яка вільна від взаємодій з іншими об'єктами Всесвіту матеріальна точка рухається прямолінійно і рівномірно».

Запитаємо себе: чи може таке бути насправді в реальності? Наскільки правомірним є припущення, що фізичне тіло (а не безструктурна матеріальна точка) може бути зовсім позбавленим взаємодії з іншими об'єктами? Як же тоді пояснити все те численне різноманіття форм існування матерії і способів обміну енергією між ними? Чому в одних випадках дія гравітаційних і електромагнітних полів в теорії простягається до нескінченності, а в контексті інерціальних систем відліку це вже не має значення? І чи може фізичний вакуум, який сучасна теоретична фізика, хоча й уникає назвати його «ефіром», проте все ж визнає, що він не є абсолютно порожнім і містить «віртуальні пари» і «нульові коливання полів», при цьому не бути тим об'єктом Всесвіту, який проникатиме всюди і в принципі не залишить місця в фізиці для такого абстрактно-математичного поняття як «замкнена система»?

І.Є. Іродов в [10] пише: *«Важливою особливістю інерціальних систем відліку є те, що по відношенню до них час і простір мають певні властивості симетрії: дослід показує, що в цих системах відліку час однорідний, а простір однорідний і ізотропний. Однорідність часу полягає в тому, що протікання фізичних процесів (в одних і тих же умовах) в різний час їх спостереження є однаковим.*

Однорідність і ізотропність простору полягає в тому, що властивості простору однакові в різних точках (однорідність) і в кожній точці однакові по всіх напрямках (ізотропність).

Зазначимо, що по відношенню до неінерціальних систем відліку простір є неізотропним і неоднорідним. Це означає, що якщо яке-небудь тіло не взаємодіє ні з якими іншими тілами, то тим не менше його різні положення в просторі і його різні орієнтації в механічному відношенні не еквівалентні».

Хотілося б запитати у відомого професора-теоретика: які конкретні досліди він тут має на увазі і завдяки чому один і той самий простір для інерціальних систем є однорідним і ізотропним, а для неінерціальних – ні? Що робить різні точки тіл, наприклад, тих, що обертаються, фізично нееквівалентними?

Звичайно, в даному контексті не можна обійти увагою й принцип відносності Галілея/Ейнштейна, який стверджує, що всі механічні/фізичні явища за однакових умов протікають однаково в будь-яких інерціальних системах відліку, інакше - ніякими механічними/фізичними дослідженнями неможливо виявити рух лабораторії, яка рухається прямолінійно і рівномірно відносно деякої вибраної системи відліку.

Тут знову виникають питання стосовно того, в якій мірі це твердження відповідає об'єктивній реальності, в чому полягає його теоретичне обґрунтування та якими експериментами зазнавало перевірки. Стосовно останнього, то опрацьовані автором впродовж досить довгого часу джерела абсолютно нічого не говорять про результативні спроби, що свідчили б підтвердження даного постулативного положення. Адже зрозуміло, що в розпорядженні Галілея в першій третині XVII ст. не було ні гіроскопів, ні акустичних інтерферометрів, ніяких інерційних датчиків, акселерометрів, гравітометрів тощо - всього того, що входить до сучасної лабораторії, а механіки як окремої теоретичної дисципліни в цілому ще не існувало взагалі. Сучасні трактування принципу відносності Галілея базуються на ідеалізованих і надуманих умовах, коли зовнішнє середовище не чинить ніякого впливу на протікання процесів, а такого бути не може. Що означає однаковість умов протікання явищ? Як можна гарантувати, що сам факт руху лабораторії не заперечує рівність цих умов і як при цьому врахувати степінь впливу заважаючих факторів? У якому діапазоні швидкостей перевірялося виконання цього принципу? Невже швидкість переносу системи не має значення? Адже відомо, що жодне тіло не може збільшити свою швидкість миттєво, і перед тим, як рухатися з певною сталою швидкістю, потрібно протягом певного часу набирати її величину від 0 до v , а цей розгін приведе до інертних деформацій, які зберігаються при даному значенні сталої швидкості. Ці деформації і будуть свідченням руху, оскільки в стані відносного спокою можна попередньо зафіксувати їх відсутність.

Схоже, що догматизм, що лежить в основі понять інерціальної системи відліку та принципу відносності Галілея, потрібен як наріжний камінь для спеціальної теорії відносності, де дія цього принципу вже не обмежується тільки механічними явищами, а й розповсюджується на всі без виключення фізичні явища. Така

смільва екстраполяція відображає принцип відносності Ейнштейна, який є одним з двох базових положень СТВ, хоча насправді це наслідок головного її постулату - про принципову відсутність ефіру в природі.

А найголовніше полягає в тому, що *існують експериментальні методи, які доводять кінематичну нееквівалентність двох систем відліку, що рухаються одна відносно одної з певною сталою швидкістю*. Ці методи базуються на основі ротаційного ефекту Саньяка[2]. Сутність ефекту полягає в наступному: на платформі інтерферометра встановлюються дзеркала таким чином, щоб промені світла після роздвоєння вихідного променя від джерела рухалися по замкнутому контуру і потім накладалися разом, утворюючи інтерференційну картину. При обертанні платформи з постійною кутовою швидкістю спостерігається зміщення інтерференційних смуг, а відповідна різниця ходу хвиль пропорційна кутовій швидкості та площі, яку описують промені світла. *Інтерферометр Саньяка може вимірювати свою власну кутову швидкість по відношенню до локальної системи відліку, і таким чином, доводити факт відносного руху лабораторії, з ним пов'язаної*. Сам ефект на сьогодні знайшов широке промислове застосування в безплатформенних лазерних інерційних системах навігації, що відкидає всі сумніви в його існуванні.

Таким чином, інерціальні системи відліку та їх рівноправність згідно принципу відносності є ще одними абстрактно-математичними та постулативними моделями, які в реальності проявляються тільки в окремих, зовсім нечисленних випадках і впродовж лише певного короткого часу, а тому є обмеженими і такими, що не відображають дійсну сутність фізичних процесів.

РОЗДІЛ 4. ФАКТИЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДІВ ПО ВИЯВЛЕННЮ СВІТОВОГО МАТЕРІАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА (ЕФІРУ)

Те, з якою легкістю науковий світ прийняв ідеї Ейнштейна, є однією з найбільших загадок в історії фізики, а фактична сторона цього питання є дуже повчальною та показує, наскільки далеко можуть зайти фальсифікації в природничих науках і, без сумніву, має бути відомою кожному вчителю фізики в Україні. Детальний огляд приводиться в [2], нижче ж приведено його адаптований варіант.

Як відомо, вирішальний вплив на відмову сучасної фізики від ефіру як ариетичної причини всіх фізичних процесів, спричинила спеціальна теорія відносності Ейнштейна, основні постулати якої полягають в наступному:

1. У будь-яких інерціальних системах відліку всі фізичні явища (механічні, оптичні, теплові і т. д.) протікають однаково;

2. Швидкість розповсюдження світла у вакуумі не залежить від швидкості руху джерела світла і є однаковою в усіх напрямках.

З першого постулату випливає неможливість виявити факт рівномірного і прямолінійного руху за допомогою будь-яких фізичних експериментів, що проводяться всередині рухомої лабораторії. З другого постулату випливає неможливість отримання швидкостей, що перевищують швидкість світла, і незалежність швидкості світла від способів спостереження і вимірювання.

Наслідок цих двох постулатів – існування залежності лінійних розмірів, часу і маси тіла від швидкості його руху. Обидва постулати можливі лише в тому випадку, якщо світове матеріальне середовище – ефір не існує в природі, бо існування такого всепроникаючого середовища відразу ж методологічно обґрунтовує пошуки способів виявлення його руху крізь лабораторію і, отже, виявлення факту руху самої лабораторії крізь ефір без виходу за її межі. Таким чином, питання існування ефіру в природі найтіснішим чином переплітається з питанням правомірності ухвалення основних постулатів спеціальної теорії відносності.

До думки про відсутність ефіру в природі Ейнштейн прийшов на основі зіставлення результатів експериментів Фізо і Майкельсона. Фізо, в результаті проведення експерименту в 1851 році, встановив, що світло частково захоплюється рухомим середовищем (водою). Але результати експериментів по виявленню ефірного вітру, проведених в 1881 р. Майкельсоном та в 1887 р. Майкельсоном і Морлі, виявилось, що на поверхні Землі ефірний вітер відсутній, принаймні, саме так тлумачили результати цих дослідів. Насправді ефірний вітер був виявлений ще в першому досліді Майкельсона, хоча швидкість його виявилася меншою, ніж очікувалося (3 км/с замість 30 км/с), що знаходилося в суперечності з теорією Лоренца про абсолютно нерухомий ефір.

Детальне обґрунтування принципів, покладених в основу спеціальної теорії відносності, Ейнштейн привів у статті «Принцип відносності і його наслідки» (1910). Він зазначає, що часткове захоплення світла рухомою рідиною (експеримент Фізо) «...відкидає гіпотезу повного захоплення ефіру. Отже, залишаються дві можливості:

1) ефір повністю нерухомий, тобто він не приймає абсолютно ніякої участі в русі матерії ;

2) ефір захоплюється рухомою матерією, але він рухається з швидкістю, відмінною від швидкості руху матерії.

Розвиток другої гіпотези вимагає введення яких-небудь припущень щодо зв'язку між ефіром і рухомою матерією. Перша ж можливість є **дуже простою** (виділено - Ю.Н.) , і для її розвитку на основі теорії Максвелла не потрібно ніякої додаткової гіпотези, що може ускладнити основи теорії».

Вказавши далі, що теорія Лоренца про нерухомий ефір не підтверджується результатом експерименту Майкельсона-Морлі і, таким чином, має місце суперечність, Ейнштейн зробив висновок про необхідність відмовитися від середовища, що заповнює світовий простір, бо інакше, як він вважає, «не можна створити задовільну теорію, не відмовившись від існування середовища, що заповнює весь простір» !

Уважний аналіз логіки теорії відносності приводить до висновку, що постулатів, на яких базується СТВ, є не два, а п'ять:

1. Відсутність в природі ефіру, яка обґрунтовується виключно тим, що визнання ефіру веде до складної теорії, тоді як заперечення ефіру дозволяє зробити теорію простішою;

2. Принцип відносності, який свідчить, що всі процеси в системі відліку, яка знаходиться в стані рівномірного і прямолінійного руху, відбуваються за тими ж законами, що й в системі, яка знаходиться в стані спокою (раніше стосовно механічних процесів цей принцип був сформульований Галілеєм);

3. Принцип сталості швидкості світла (незалежність швидкості світла від швидкості джерела та приймача);

4. Інваріантність чотиривимірного інтервалу, в якому простір через координати пов'язаний з часом через швидкість світла;

5. Принцип одночасності, згідно якого спостерігач судить про протікання подій в часі по світловому сигналу, який доходить до нього від місця цих подій.

Відповідно до цих постулатів стверджується принципова неможливість яким-небудь фізичним експериментом, що проводиться всередині лабораторії (системи відліку), встановити - знаходиться ця лабораторія в стані спокої чи рухається рівномірно та прямолінійно, а також сталість швидкості світла в будь-якій інерціальній системі відліку.

Легко бачити, що наявність ефіру не дозволила б сформулювати жоден з перелічених постулатів. Якщо ефір є всепроникаючим, то всередині рухомої системи відліку повинен спостерігатися ефірний вітер і з'являється можливість, не виходячи за межі лабораторії, визначити факт її руху шляхом вимірювання швидкості ефірного вітру відносно неї.

Історія пошуків ефірного вітру є однією з найзагадковіших історій сучасного природознавства. Значення досліджень ефірного вітру виходить далеко за рамки досліджень якого-небудь окремого фізичного явища, оскільки результати перших робіт в цьому напрямі зробили вирішальний вплив на все природознавство ХХ століття. Так званий «нульовий результат» перших експериментів Майкельсона-Морлі, проведених ними у 1881 і 1887 роках, привів фізиків ХХ століття до думки не тільки про відсутність ефірного вітру на земній поверхні, але й до переконання, що ефіру – світового середовища, що заповнює весь простір, не існує в природі. Ніякі позитивні результати, отримані цими та іншими дослідниками в пізніші роки, вже не змінили цього становища.

Проте, як виявляється, в області дослідження ефірного вітру рядом учених була здійснена значна робота. У першу чергу потрібно відзначити дослідження, проведені американським вченим, професором Дейтоном Кларенсом Міллером, що затратив на них практично все життя. Але до 1933 р., коли дослідження Міллера і його групи були завершені, школа релятивістів – послідовників спеціальної теорії відносності Ейнштейна вже міцно стояла на ногах і пильно стежила за тим, щоб ніщо не могло поколивати її засади.

З чого ж починались пошуки ефірного вітру і чому вони мали таке винятково важливе методологічне значення?

Проблема ефірного вітру витікає з явища аберації світла в астрономії, яке було відкрито Дж. Брадлем у 1728 р. Для пояснення аберації були висловлені ряд гіпотез, найбільш плідною з яких виявилася гіпотеза О. Френеля про нерухомий ефір, висунута ним в 1825 р. і потім використана Х. Лоренцом в його електродинаміці рухомих середовищ.

Саме Максвелл передбачив, що при русі Землі крізь ефір на її поверхні повинен спостерігатися ефірний вітер, який відповідно повинен змінювати швидкість світла, яке розповсюджується в ефірі. При цьому він вказав, що всі методи вимірювання різниці часів проходження світла на відрізку оптичного шляху вимагають повернення світла в початкову точку й ця різниця опиняється залежною від відношення квадратів швидкостей ефірного вітру і швидкості світла та становить малу величину. Якщо ефір є нерухомим, то швидкість ефірного вітру має становити 30 км/с.

Не дивлячись на це, у 1880 р. Майкельсон розробив прилад – інтерферометр з двома перпендикулярними оптичними шляхами, за допомогою якого подібні вимірювання стали можливими. Однак виявилось, що отримані результати не відповідають очікуванню і відхилення знаходяться в межах величин помилок.

Не будучи впевненими в об'єктивності результатів експерименту 1881 р. у зв'язку з високою чутливістю приладу до вібраційних спотворень, Майкельсон і Морлі у 1886–1887 роках продовжили роботу та істотно удосконалили інтерферометр, помістивши його на поплавок, занурений в ртутну ванну. Результати знову були позитивними, але вони не відповідали очікуванім, оскільки знову давали значення швидкості ефірного вітру в 10 разів менші очікуваних. Виникло питання про причини такої невідповідності.

У 1892 р. Фітцджеральд і Лоренц, незалежно один від одного, висунули гіпотезу про те, що причиною відсутності зсуву інтерференційних смуг може бути скорочення плечей інтерферометра при русі речовини плечей крізь ефір. При цьому відбувається деформація поля кожного заряду, а оскільки всі зв'язки в речовині мають електричний характер, то атоми зближуватимуться (ширина тіла при цьому пропорційно збільшиться). В результаті було висловлено припущення про те, що різні речовини будуть, імовірно, зазнавати різного відносного скорочення, а тому можна буде знайти різницю в скороченні двох стержнів, виконаних з різних матеріалів. Перевірка цієї обставини не привела до позитивних результатів. Проте була висловлена думка про те, що неправильно проводити експерименти в підвальних кімнатах, оскільки поверхневі шари Землі можуть екранувати ефірні потоки, і що доцільно підняти інтерферометр на гору.

У 1905 р. Е. Морлі і Д.К. Міллером експерименти були продовжені на висоті 250 м над рівнем моря. Результат був твердо зафіксований: швидкість ефірного вітру склала 3–3,5 км/с.

Після цього роботи по дослідженню ефірного вітру були продовжені професором Д.К. Міллером, який витратив на проведення таких експериментів близько 30 років.

Дослідження проводилися в обсерваторії Маунт Вілсон, на висоті 1860 м за допомогою великого інтерферометра. Міллером і його групою була зібрана величезна статистика: тільки у 1925 р. було виконано більше 100 000 підрахунків. У результаті було виявлено, що швидкість ефірного вітру на цій висоті складає близько 10 км/с, а його напрям є не орбітальним, а галактичним. З урахуванням виявленої залежності швидкості ефірного вітру від висоти був зроблений висновок про часткове захоплення ефірного потоку Землею, що цілком відповідає сьогоdnішнім уявленням газової динаміки про закономірності граничного шару, в якому існує градієнт швидкостей та про обтікання кулі (Землі) газовим потоком. Тобто з'ясувалося, що існує чітка залежність швидкості ефірного вітру від висоти, причому на поверхні Землі, як це й було показано в 1881 і 1887 рр., відносна швидкість ефірного вітру була є ненульовою і на висоті 250 м над рівнем моря складає приблизно 3 км/с, а на висоті 1860 м – від 8 до 10 км/с. Таким чином, відносна швидкість ефірного вітру зростає з висотою.

У результаті обробки даних Міллер знайшов, що напрям ефірного вітру такий, ніби Земля в своєму русі в нерухомому ефірі переміщується в напрямку сузір'я Дракона. Імовірна похибка в експериментах Міллера не перевищувала 2%.

Про отримані результати Міллер доповів спеціальній конференції, зібраній в лютому 1927 р. в обсерваторії Маунт Вілсон, а потім опублікував велику оглядову статтю в 1933 р.

Отримані Міллером результати знаходяться в повній відповідності з теорією обтікання кулі потоком газу.

При обтіканні кулі газ утворює граничний шар, причому найближчі до поверхні тіла шари рухаються разом з тілом, а віддалені мають деяку проміжну швидкість, при цьому, починаючи з деякого значення, швидкість газу відповідає його швидкості у вільному просторі. Інакше кажучи, граничний шар має певну товщину, яка визначається параметрами як газу, так і кулі.

У 1929 р. А. Майкельсон спільно з Ф.Г. Пісом і Ф. Пірсоном повторив експерименти по виявленню ефірного вітру, що й в цьому випадку завершилися цілком успішно: на тій же висоті в обсерваторії Маунт Вілсон ними було отримано значення швидкості вітру 6 км/с. Зменшення швидкості в порівнянні з даними Міллера легко пояснюється тим, що на відміну від Міллера, Майкельсон проводив експерименти у фундаментальному будинку, стіни якого дещо понизили швидкість ефірних потоків.

Цікаво зазначити, що Міллером отримано напрям ефірного вітру, що не співпадає з очікуваним в площині орбіти Землі навколо Сонця. Його результати відображають навіть не стільки рух Землі разом з Сонцем і Галактикою в світовому просторі, скільки рух ефірних потоків усередині Галактики.

У 1998 році український науковець, кандидат технічних наук, співробітник Інституту радіофізики і електроніки ім. О.Я. Усикова НАУ України Ю.М. Галаєв в результаті 13 місяців неперервних цілодобових експериментів за допомогою радіоінтерферометра виявив систематичну анізотропію у поширенні радіохвиль міліметрового діапазону, що пояснюється впливом ефірного вітру і повністю відповідає результатам, отриманим Міллером. Так, на висоті 42 метра в радіодіапазоні виявлено ефірний вітер зі швидкістю **1414 м/с 1414 м/с**. Більше того, на основі отриманих результатів, вдалося розрахувати середню кінематичну в'язкість ефіру $\nu_{\text{еф}} = 6,24 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ $\nu_{\text{еф}} = 6,24 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2 \text{ с}^{-1}$ [4]. *На жаль, ця серйозна і визначна робота українського вченого виявилась зовсім не поміченою та належно не оціненою науковою спільнотою.*

Таким чином, не існує експериментальних підстав вважати відсутність ефірного вітру в природі твердо встановленим фактом. Навпаки, проведені експерименти показують, що ефірний вітер існує, що його швидкість збільшується з висотою і він має галактичний, а не орбітальний напрям. Це означає, що роботи по ефірному вітру мають бути продовжені, зокрема, з проведенням експериментів на вершинах гір та в космосі за допомогою супутників. Цей факт також незаперечно означає, що спеціальна теорія відносності Ейнштейна базується на сумнівних теоретичних засадах і є хибною.

РОЗДІЛ 5. РОЛЬ «НАЧАЛ» НЬЮТОНА У ФОРМУЛЮВАННІ ПОНЯТТЯ СИЛИ ТА РЕВІЗІЯ СУЧАСНИХ ПОГЛЯДІВ НА МЕХАНІЗМ ЇЇ ВИНИКНЕННЯ В ПРОЦЕСІ ВЗАЄМОДІЇ

Фундаментальна праця І. Ньютона «Математичні начала натуральної філософії» була опублікована влітку 1687 року, після чого при житті автора вона перевидавалася ще двічі. «Начала» Ньютона складають непорушний базис теоретичної механіки та астрономії, прикладна цінність її висновків і на сьогодні залишається значною. В історії фізики і філософії цей трактат був знаковим і зіграв визначну роль. Це була перша науково викладена теорія механіки в цілому, а не окремих її задач. Лагранж назвав «Начала» «величним творінням людського розуму». «Начала» складаються з трьох книг, у першій з яких Ньютон формулює основні закони руху, у другій розглядає рух тіл в середовищі, третя книга присвячена теорії руху небесних тіл. Метод наукового дослідження, обраний Ньютоном, спирається на нерозривну єдність теорії і практики, математики і прикладних наук (практичної механіки, астрономії). За висловом автора – «вся складність фізики полягає в тому, щоб за явищами руху розпізнати сили природи, а потім з цими силами пояснити інші явища». (Очевидно, що під «іншими явищами» Ньютон має на увазі подібні дослідженням, але на новому рівні організації матерії шляхом пояснення невідомого на основі взаємодії вже відомих і вивчених елементів.)

Книга викликала значну полеміку, зокрема з тієї причини, що погляди та ідеї, викладені в ній, суперечили деяким догмам і парадигмам тодішніх філософських шкіл, наприклад - «картезіанській».

Варто зазначити, що ще за життя Ньютона почалося спотворене розуміння висловлених ним ідей і цілеспрямована фальсифікація його поглядів. Наприклад, йому приписували уявлення про те, що тяжіння є притаманною матерії властивістю і пояснювати її немає необхідності; що тіла можуть взаємодіяти через порожнечу (далекодія), а наука повинна обмежитися тільки феноменологічним описом явищ природи.

Насправді не все так однозначно. Так, в листі до єпископа Бентлі від 25 лютого 1693 року Ньютон пише (тут і далі цитується [14]): «Припускати, що тяжіння є суттєвою, нерозривною і вродженою властивістю матерії, так що тіло може діяти на інше на будь-якій відстані в порожньому просторі, без посередництва чогось, що передає дію і силу,- це така нісенітниця, яка немислима ні для кого, хто розуміється в філософських предметах. Тяжіння повинно бути обумовлене агентом, що постійно діє за певними законами.»

Характерними є його висловлювання і про ефір. «Тепер треба було б дещо сказати і про дуже тонкий ефір (spiritus), силою і дією якого частинки тіл на дуже малих відстанях притягуються, а при дотику зчіпляються; наелектризовані тіла діють на великих відстанях, як відштовхуючи, так і притягуючи близькі малі тіла, світло випромінюється, відбивається, заломлюється. [...] Але це не можна викласти

коротко, до того ж і не має достатнього запасу дослідів, якими закони дії цього ефіру були б точно визначені і показані.» Також Ньютон підкреслював тимчасовий характер поняття сили, вважаючи її математичною фікцією, яка спрощує пізнання природи.

Деякою мірою підстави для таких інсинуацій дав сам Ньютон. При уважному читанні «Начал», як це буде показано далі, часто виникає думка про його певну недосказаність і непослідовність при висвітленні окремих положень «Начал». Складається враження, що Ньютон добре розуміє роль і місце прихованої матерії і спричинених нею сил, але свідомо уникає розгляду пов'язаних з цим питань в ім'я краси, логічності і формалізму обраного механіко-математичного, аналітично-синтетичного методу. Але так чи інакше в «Началах» прослідковується обережне, приховане бажання Ньютона сказати більше, ніж зазвичай розуміють.

Фактично наукова доктрина руху і взаємодії тіл сформульована Ньютоном у вигляді восьми вступних означень з поясненнями та трьох законів. Нижче приведено їх повний текст (виділення – Ю.Н.) за виключенням деяких фрагментів:

«ОЗНАЧЕННЯ I. Кількість матерії (маса) є її міра, що встановлюється пропорційно густині та об'єму її.[...] Однак при цьому я не беру до уваги те середовище, якщо таке існує, яке вільно проникає в проміжки між частинками. Цю ж кількість я маю на увазі в подальшому від назвою тіло або маса.»

«ОЗНАЧЕННЯ II. Кількість руху є його міра, що встановлюється пропорційно швидкості і масі. Кількість руху цілого є сума кількостей руху окремих частин його, отже для маси, більшої вдвічі, при рівних швидкостях вона подвійна, при подвійній же швидкості – учетвірена.»

«ОЗНАЧЕННЯ III. Вроджена сила матерії є притаманна їй властивість опору, за якою окремо взяте тіло, оскільки воно надане самому собі, утримує свій стан спокою або рівномірного прямолінійного руху. Ця сила завжди пропорційна масі, і якщо її відрізняється від інерції маси, то хіба що уявленням про неї.

Від інерції матерії відбувається те, що будь-яке тіло тільки з труднощами виводиться із свого стану спокою чи руху. Тому «вроджена сила» могла б бути зрозуміло названа «силою інерції». Ця сила проявляється тілом лише єдино, коли інша сила, що до нього прикладена, призводить до змін в його стані. Прояв цієї сили може бути розглянутий двояко: і як опір, і як натиск. Як опір – оскільки тіло чинить супротив діючій на нього силі, намагаючись зберегти свій стан; як натиск – оскільки те ж тіло, поступаючись силі перешкоди, що чинить йому опір, намагається змінити стан цієї перешкоди. Опір приписується зазвичай тілам, що знаходяться в спокої, натиск – тілам, що рухаються. Але рух і спокій, при звичайному їх розгляді, різняться лише по відношенню один до одного, адже не завжди знаходиться в спокої те, що уявляється таким на перший погляд.»

«ОЗНАЧЕННЯ IV. Прикладена сила є дія, яка чиниться над тілом, щоб змінити його стан спокою або рівномірного прямолінійного руху. Сила проявляється єдино тільки в дії, і по припиненню дії в тілі не залишається.

Тіло продовжує потім утримувати свій новий стан внаслідок однієї тільки інерції. Походження прикладеної сили може бути різним: від удару, від тиску, від доцентрової сили.»

«ОЗНАЧЕННЯ V. Доцентровою силою є та, з якою тіла до деякої точки, як до центру, звідусіль притягуються, зганяються чи як би там не було прагнуть.» Такою є сила тяжіння, під дією якої тіла прагнуть до центру Землі; магнітна сила, якою залізо притягується до магніту, і та сила, якою б вона не була, якою планети постійно відхиляються від прямолінійного руху і змушуються обертатися по кривим лініям.[...] В доцентровій силі розрізняються три роди величин: абсолютна, прискорююча і рушійна.»

«ОЗНАЧЕННЯ VI. Абсолютна величина доцентрової сили є мірою більшої чи меншої потужності самого джерела її розповсюдження від центру в оточуючий його простір. Так, магнітна сила, в залежності від величини магніта чи степені намагнічення, може бути в одному магніті більшою, в іншому – меншою.»

«ОЗНАЧЕННЯ VII. Прискорююча величина доцентрової сили є міра, пропорційна тій швидкості, яку вона виробляє на протязі даного часу.»

«ОЗНАЧЕННЯ VIII. Рушійна величина доцентрової сили є її міра, пропорційна кількості руху, яка нею виробляється на протязі даного часу. Таким чином, вага більшої маси більша, меншої – менша; для тієї ж самої маси чи того ж самого тіла вага є більшою поблизу Землі, меншою – в небесній далечині. Ця величина є направленою до центра прагнення всього тіла, яке й називається вагою. Рушійна сила розпізнається по силі, їй рівній і протилежній, яка могла б перешкодити опусканню тіла.»

«ЗАКОН I. Будь-яке тіло утримується в своєму стані спокою чи прямолінійного рівномірного руху, поки і оскільки воно не примушується прикладеними силами змінити цей стан.»

«ЗАКОН II. Зміна кількості руху пропорційна прикладеній рушійній силі і відбувається за напрямком тієї прямої, вздовж якої ця сила діє.»

«ЗАКОН III. Дії є завжди рівна і протилежна протидія, інакше – взаємодії двох тіл одне на одне рівні між собою і направлені в протилежні сторони[...]»

При уважному аналізі приведенного тексту звертає на себе увагу ряд важливих і логічно пов'язаних моментів.

Даючи означення маси, Ньютон не враховує світове матеріальне середовище, частинки якого можуть проникати в фізичне тіло і приймати участь у формуванні її величини. Немає сумніву в тому, що Ньютон розумів таку принципову можливість, але, в силу своїх поглядів на ефір, не бачив можливості будувати модель фізичного тіла з урахуванням цього факту. Ньютон називає кількістю руху ту величину, яку на сьогодні у фізиці називають імпульсом і яка, не дивлячись на більш сучасну термінологію, все ж не відображає всієї глибини фізичного змісту,

зкладеного в неї. У цьому розумінні ньютонівський термін «кількість руху», яка залежна від маси і швидкості тіла, є більш досконалим, оскільки пов'язує фізичний процес, у результаті якого ця кількість змінюється, не тільки з швидкістю, але й з масою як мірою інертності. Тому абсолютно не випадково Ньютон далі в тексті говорить про зв'язок маси з інерцією як «вродженою силою матерії», а по суті – силою інерції, яка сприймається подвійно: у вигляді «опору» при розгоні тіла або у вигляді «натиску» під час спроби його зупинки. Але ж ці сторони сили інерції ніяк не зможуть себе проявити доти, поки до тіла не буде прикладена ніяка сила. І далі Ньютон дає розгорнуте означення прикладеної сили і підкреслює той факт, що вона може проявити себе виключно у взаємодії: контактній динамічній («удар»), контактній статичній («натиск») та польовій («доцентрова сила»). І тільки після зведення такого теоретичного фундаменту, Ньютон приводить означення трьох законів руху, які органічно на ньому базуються.

Сьогодні можна тільки захоплюватися масштабом наукового мислення Ньютона і дивуватися, як мало кардинально нового було додано до законів його механіки за майже 350 років її існування. Та тим не менше, зміни були внесені і сучасні редакції цих змін, що увійшли в усі підручники фізики зі шкільними включно, далеко не факт, що є методологічно кращими, ніж у Ньютона і не деформують його істинну думку.

Нижче з метою порівняння з оригіналом приведено текстовий фрагмент параграфа вже знайомого нам діючого підручника [9] з фізики профільного рівня для 10 класу з офіційно прийнятими на сьогодні формулюваннями законів динаміки:

«Перший закон Ньютона: існують такі системи відліку, відносно яких матеріальна точка зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на неї не діють інші тіла або дія зовнішніх тіл скомпенсована. [...]

Другий закон Ньютона: в інерціальній системі відліку прискорення \vec{a} , якого набуває тіло масою m під дією сили \vec{F} , прямо пропорційне силі, обернено пропорційне масі тіла і має той самий напрямок, що й прикладена сила: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$
 $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ [...]

Третій закон Ньютона: в інерціальній системі відліку сили, з якими взаємодіючі тіла діють одне на одне, напрямлені вздовж однієї прямої, рівні за модулем і протилежні за напрямком.»

Як видно, співставлення явно не на користь сучасних редакцій означень законів.

Основний зміст нинішнього загальноприйнятого формулювання першого закону динаміки фактично полягає в постулаті існування інерціальних систем відліку, про низьку відповідність фізичній реальності і абстрактний характер яких вже йшлося в даній роботі. Також звертає на себе увагу певна непослідовність:

реальне протяжне тіло в даному означенні розглядається як *матеріальна точка*, але знаходиться в стані спокою чи прямолінійного рівномірного руху, коли дія зовнішніх *тіл* відсутня або є скомпенсованою. Очевидно, автори хотіли зробити наголос на забороні осьового обертання тіла. А головне в тому, що приведені осучаснені формулювання значно деформує зміст оригінального, який насправді є набагато глибшим.

Ньютонівське формулювання першого закону динаміки фактично складається з двох частин: «будь-яке тіло утримується в стані спокою *поки* воно не примушується прикладеними силами змінити цей стан» і «будь-яке тіло утримується в стані прямолінійного рівномірного руху *оскільки* воно не примушується прикладеними силами змінити цей стан», з яких прямо слідує, прикладені сили, а отже, і *зовнішні тіла діють, але всупереч цій дії досліджуване тіло все ж залишається в стані спокою або рухається зі сталою швидкістю*. Це, поза всяким сумнівом, означає те, що Ньютон хотів сказати *сили можуть бути прикладеними, але не рушійними*. Що ж може наскільки перешкоджати дії прикладених сил? Звісно, що це інертність і пов'язані з нею сили інерції. І тіло змінить стан свого руху ніяк не раніше, ніж коли потужність взаємодії стане наскільки значною, що величина прикладених сил стане більшою за величину сил інерції. А до того моменту для тіла буде стан спокою або рух з незмінною швидкістю. Саме в цьому і є істинний фізичний зміст закону інерції. На жаль, в сучасних версіях підручників з механіки цей зміст є не розкритим і викривленим.

Сюди слід додати ще одне важливе міркування. Сучасна теоретична модель механіки передбачає, що стан спокою і стан прямолінійного рівномірного руху є наслідком відсутності або зрівноваження дії зовнішніх сил і, як прояви явища *інерції*, є фізично еквівалентними. Проте обґрунтування правомірності цього (фактично ще одного) постулату в цій моделі не приводяться, але при цьому *інертність* тіла як неможливість миттєвої зміни його кінематичного стану розглядається як реакція на прискорюючу дію сил. Іншими словами, не дивлячись на лексичну подібність термінів, стверджується, що інерція і інертність не мають спільних рис з фізичної точки зору. «Ототожнювати інерцію та інертність – груба помилка!», - повчають студентів викладачі методики фізики педагогічних університетів. На думку автора, прийшов час покінчити з цим непорозумінням. Інерція як властивість збереження матерією стану свого руху не може існувати сама по собі, вона має бути вираженою не тільки по відношенню до певної системи відліку, але й до конкретних фізичних умов. Ці умови якраз і полягають у вигляді проявів сил інерції незалежно від того, спокій це чи рівномірний або прискорений рух. *Саме сила інерції робить інерцію як явище і інертність як властивість фізично спорідненими поняттями, в основі яких лежить однаковий фізичний процес*.

Але може виникнути запитання: як можуть проявити себе сили інерції, якщо не буде дії «звичайних» сил? Не дивлячись видиму доречність, таке чи подібне питання має ознаки некоректності: *по-перше*, матеріальні об'єкти принципово не можуть бути ізольованими від будь-яких впливів з боку інших, тому контактні

сили існують завжди; *по-друге*, сили інерції беруть безпосередню участь у формуванні «звичайних» сил через світове матеріальне середовище у формі, за висловом Ньютона, «опору і натиску». Ось саме через цей зв'язок, попри те, що силам інерції повністю присвячене Означення III, вони в явному вигляді не згадуються в жодному з трьох законів. Щоправда, «прив'язка» руху тіл, що описуються цими законами, до ньютонівського абсолютного простору і часу, на такий зв'язок прямо вказує.

Без уявлення про сили інерції другий і третій закони динаміки суперечать один одному, оскільки згідно другого закону – має місце прискорений незрівноважений рух, а в третьому законі сили дії і протидії зрівноважують одна одну. Саме рівність величин і протилежність напрямків «звичайних» сил і сил інерції $\vec{F} = \vec{F}_{\text{ін}} \vec{F} = \vec{F}_{\text{ін}}$ в кожному акті взаємодії робить можливим перехід тіла з одного кінематичного стану в інший, а його енергії – з однієї форми в іншу. Саме в цьому є глибинний фізичний зміст третього закону Ньютона, хоча логічніше було б присвоїти йому номер другого і навпаки.

Згадана суперечність не може бути вирішена, якщо вважати сучасне формулювання другого закону Ньютона повним, вичерпним і таким, що адекватно описує механізм виникнення сил і факт прискореного руху. Як і у випадку з першим законом, порівняння оригінального і осучасненого означень другого закону Ньютона виявляє ряд розбіжностей як в цілому, так і в деталях. Так, в оригінальному означенні закону йдеться про *прикладену рушійну* силу, що зайвий раз свідчить на користь того, що сила може бути прикладена, але не рушійна. Викликає деякий подив, що сучасні підручники віддають перевагу його

аналітичному запису у вигляді $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ або $\vec{F} = m\vec{a} \vec{F} = m\vec{a}$, проте рівняння

$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} \vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$, яке відповідає оригінальному формулюванню, використовують

тільки при виведенні закону збереження імпульсу. Вважається, що ці рівняння еквівалентні, оскільки фізики схильні думати, що інертна маса є сталою, не

залежить від часу і тому $\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t} = m \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = m\vec{a}$

, а отже кількість руху (імпульс) може змінитися виключно тільки за рахунок зміни швидкості в результаті того, що деяка абстрактна і не сформована в акті взаємодії постійна сила, рухаючись з тілом, на протязі всього часу руху рівномірно змінює його швидкість на одну й ту саму величину. От тільки навряд чи така теорія пояснить, завдяки чому прискорюване тіло не віддаляється «джерела» сили, а рухається синхронно з ним. Та й сам Ньютон в жодному місці «Начал» ніде не вказує на те, що інертна маса є виключно коефіцієнт і не може впливати на зміну імпульсу, змінюючись сама в деякому динамічному процесі, пов'язаному з інертністю за участі світового матеріального середовища.

Запитаємо себе: як би змінилося трактування законів динаміки, якби фізика мала тверді докази існування світового матеріального середовища? Відповідь досить проста: треба було б виходити з того, що це середовище може вільно проникати в тіла, приймати безпосередню участь в їх рухах. Його динамічні прояви у вигляді опору рухові тіл крізь нього або тиску фронту його ударних хвиль стали б основою уявлень про фізичну природу інертності та роль сил інерції у виникненні та перетворенні руху, дали б можливість глибше розібратися з сутністю енергетичних перетворень, які мають місце при взаємодії тіл. У наступному розділі буде показано, як подібний механізм може виглядати.

Необхідність розв'язання такої задачі змушує незалежного дослідника, долаючи конспірологічну недосказаність ньютонівських «Начал» та «кругову оборону» формально-постулативних, феноменологічних побудов сучасної теоретичної механіки, починати з детального аналізу того, яким же чином взагалі виникає сила і як вона пов'язана з рухом і взаємодією.

Поняття сили проходить наскрізно через увесь курс фізики. Не дивлячись на принципові відмінності в силах різної фізичної природи, вважається що кожна сила як векторна величина має три взаємно пов'язані компоненти – величину, напрям і точку прикладання. Але постановка критичного питання – куди, до якої точки прикладена, наприклад, сила нормальної реакції з механіки чи сила Ампера з магнетизму? – не залишає місця для математичного формалізму, оскільки фізична логіка і здоровий глузд підказують, що жодна точка не матиме переваг перед іншими і кожна із вказаних вище сил буде рівномірно розподілена і прикладена до кожної точки дотику тіла чи провідника зі струмом відповідно, причому вважати ці тіла матеріальними точками в даному контексті неприпустимо. Тому в означенні компонент сили має бути не точка, а *точки* її прикладання, а це вже серйозне уточнення, оскільки сукупність точок означає поверхню, а сила, віднесена до площі певної поверхні, вже еквівалентна тиску, а рівнодійна сил буде зумовлена різницею таких тисків.

Не все гаразд у фізиці і з абсолютними величинами сил. Сила, як повчає теоретична фізика, є кількісною мірою взаємодії тіл, тому перш ніж розглядати загальний фізичний зміст, природу і кількісний вимір тих чи інших сил, потрібно спочатку з'ясувати механізм взаємодій, що лежать в їх основі, і яким чином під час них виникає той чи інший некомпенсований прискорений рух.

В основі взаємодії будь-якої природи лежить рух матерії, який супроводжується не тільки зміною положення тіла чи його частин в просторі, але й переходами з однієї його кінематичної форми в іншу при відповідних перетвореннях енергії та імпульсу. Справедливим є й обернене твердження: перехід матерії з однієї форми руху в іншу реалізується через процес взаємодії. Це означає, попри всю складність питання, що розгляд взаємодії тільки на макрорівні, як це має місце в механіці, не дає можливості в повній мірі зрозуміти її сутність і структуру.

Розрізняють взаємодії, що відбуваються при безпосередньому контакті тіл і взаємодії на відстані за присутності поля як матеріального посередника.

У взаємодії беруть участь щонайменше два тіла ("Агент" і "Контрагент", назвемо їх умовно тіло А та тіло К). При цьому поділ взаємодіючих тіл на прискорююче і прискорюване є умовним, якщо з першим не пов'язані достатньо жорсткі і нерухомі зв'язки, при яких його власним прискоренням можна знехтувати.

Взаємодія будь-якої природи може бути охарактеризована за допомогою таких фізичних величин: енергія і потужність взаємодії, час взаємодії, площа зони взаємодії. Остання з приведених характеристик в ряді задач часто не береться до уваги в силу вже вище згаданих абстрактних моделей матеріальної точки і абсолютно твердого тіла, хоча характер виникнення взаємодії реальних тіл унеможливорює подібні теоретичні уявлення, що буде розглянуто нижче.

Так як маса є невід'ємна кількісна властивість матерії, а рух матерії пов'язаний з просторовим переміщенням маси і відповідним проявом її інертних властивостей, то звідси слідує принципова важливість інертності при виникненні взаємодії. Вона фактично й проявляє себе виключно при взаємодії. При цьому в залежності від умов та характеру взаємодії інертність як динамічний прояв має дуалістичні ознаки: у вигляді пружних або непружних деформацій та сухого або в'язкого тертя.

Перша ознака робить степінь і інтенсивність взаємодії залежними від координат, друга - від відносних швидкостей. У контексті такого дуалізму контактні взаємодії можна розділити на дві групи: а) пружний або непружний співудар; б) потокове зчеплення. Комбінованим варіантом обох взаємодій є тягова взаємодія.

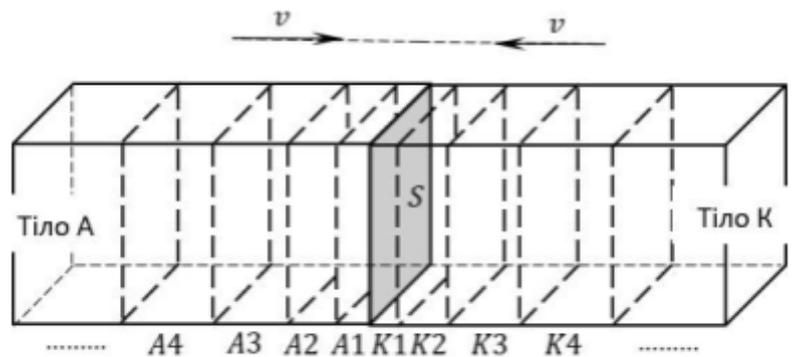
У контексті вище переліченого, приведене на початку розділу означення сили є не надто досконалим, оскільки не розкриває всіх сторін того, яким чином в процесі взаємодії "народжується" сила і яка просторово-часова динаміка її зміни. Що, наприклад, фізично означає часто вживане твердження "на тіло діє постійна сила", якщо фізично вона виникає з певного нульового значення і тільки потім за певний час зростає до певної величини? Що забезпечує стабільність значення сили в певному часовому інтервалі? В такому разі *більш точним словесним описом поняття сили є не "міра", а степінь чи інтенсивність взаємодії.*

Коли в навчально-методичній літературі вживається термін "сила", то він ототожнюється в дусі математичного формалізму з вектором певної абсолютної величини, напряму і прикладеного до певної точки, а також створюється враження, що існує деяке абстрактне джерело даної постійної сили, яке рухається разом з прискорюваним тілом ([20], [27]) Такий підхід у поєднанні з моделлю фізичного тіла як абсолютно твердої матеріальної точки повністю виключає розгляд фізичних процесів, що лежать в основі виникнення сили в результаті взаємодії. Наступною помилкою, яку можна зустріти в підручниках, є уявлення, що результатом дії сили є зміна швидкості тіл і (або) їх деформація. Уточнення даного положення полягає в тому, що згадані *деформація і зміна швидкості є результатом взаємодії, а сила є результатом динамічного перетворення (в тому числі й на рівні відповідних енергій) відносної швидкості (прискорення) руху тіл в їх деформацію і навпаки.* Тобто перетворення руху є джерелом сили, а не навпаки.

Тільки у випадку статичної взаємодії за умови відсутності руху тіла деформації однозначно залежать від прикладених сил.

Розглянемо механізм виникнення сили в процесі динамічної взаємодії. Максимально спрощуючи початкові умови з метою з'ясування її якісної картини, будемо вважати, що два вже згадуваних раніше однорідних тіла AA і KK з однакової речовини у формі прямокутних паралелепіпедів масами m кожне рухаються з нехтувано малим тертям назустріч одне одному із однаковими швидкостями v і в деякий момент часу $t_0 = 0$ зіштовхуються своїми торцевими гранями.

"Зупинимо кадр" у момент виникнення дотику тіл. На початку взаємодії, відносна швидкість тіл становить $2v$, а зоною їх взаємодії є торцеві грані кожного з тіл площею S . У першому наближенні будемо вважати ці площі такими, які не змінюються під час взаємодії. Розділимо умовно кожне з тіл перпендикулярно до напрямку їх руху на рівні шарові елементи масою m_0 . Так як тіла вважаються однорідними, то густина кожного елемента в момент часу $t_0 = 0$ теж є однаковою.



У наступний момент часу t_1 поверхні дотичних граней є взаємною опорною зоною, з якої починається поступове зменшення відносної швидкості тіл і яка робить можливою деформацію стиску перших шарів $A1-K1$ обох тіл, що до неї прилягають, будучи із зовнішньої сторони вже взаємно нерухомими (мал.7) У цей момент в обох шарах виникає однакова початкова механічна напруга σ_1 , яка, рівномірно розподілившись по всій площі S , стає «зародком» рівних за модулем пружних сил величиною $F_1 = \sigma_1 S$, кожна з яких діє на протилежне тіло назустріч напрямку його швидкості. Як бачимо, ці сили виникають одночасно, мають однакову природу і зрівноважують одна одну. При цьому їх поділ на "дію" і "протидію" (як і у випадку з "прискорюючим" і «прискорюваним» тілами) є умовним. Помічаємо, що ці сили прикладені не до якоїсь однієї точки, а до поверхні. Це означає, що загальноприйняте уявлення, що сила завжди прикладена до точки, є невірним і просто відображає векторний формалізм. (Можливо, у цьому був би фізичний зміст, якби йшла мова про точку прикладання сили як результат виродження в неї поверхні взаємодії чи було введено поняття силової

нитки або лінії механічної напруги.) Саме ці сили, діючи "перехресно", зумовлюють утворення початкового від'ємного прискорення цих шарів відносно нерухомої системи відліку в напрямку дії кожної з сил. Величина цього

прискорення становить $a_1 = \frac{F_1}{m_0} = \frac{\sigma_1 S}{m_0} a_1 = \frac{F_1}{m_0} = \frac{\sigma_1 S}{m_0}$. На кінець моменту $t_1 t_1$ відносна швидкість шарів А1-К1 є майже рівною нулю. "Майже" - тому що стиснення цих масових елементів ще не є остаточним, механічна напруга в них зростає, а формування фронту сил ще продовжується, оскільки шари А2-К2, які розташовані зовні відносно перших, зберігаючи за фактом інертності свої початкові швидкості, тиснуть на задні поверхні шарів А1-К1. Сили цього тиску направлені в сторону опорної зони проти напрямку пружних сил і є фактично є силами інерції. Але якби, наприклад, опорне тіло А було відсутнім, то ці сили ніяк би себе не змогли проявити, оскільки всі шарові елементи тіла К мали б однакову швидкість. У такому разі єдино можливий прояв цих сил міг би мати місце тільки через дію світового матеріального середовища.

Початок моменту $t_2 t_2$ супроводжується зменшенням відносною швидкості шарів А2-К2 і виникненням у них власних деформацій стиску, остаточні величини яких наприкінці цього моменту часу будуть меншими, ніж у шарах А1-К1. Цей факт можна пояснити так: за рахунок стиснення ззовні прискорення шарів А1-К1 дещо

зменшується від величини $a_1 = \frac{F_1}{m_0} = \frac{\sigma_1 S}{m_0} a_1 = \frac{F_1}{m_0} = \frac{\sigma_1 S}{m_0}$ до величини $a'_2 = \frac{F_1}{2m_0} = \frac{\sigma_1 S}{2m_0} a'_2 = \frac{F_1}{2m_0} = \frac{\sigma_1 S}{2m_0}$, а прискорення шарів А2-К2 зростає відповідно

від нуля до $a'_2 a'_2$. Але оскільки $a'_2 < a_1 a'_2 < a_1$, то й деформація шарів А2-К2 буде порівняно меншою, а отже величина виникаючої механічної напруги $\sigma_2 \sigma_2$ буде меншою за $\sigma_1 \sigma_1$. Сили пружності $F_2 = \sigma_2 S F_2 = \sigma_2 S$, що виникають в шарах А2-К2, мають той самий напрямок, що й сили $F_1 F_1$, а тому загальна абсолютна величина сил, що виникають в першому і другому масових елементах, становить $F_1 + F_2 = (\sigma_1 + \sigma_2) S F_1 + F_2 = (\sigma_1 + \sigma_2) S$. Проте відносні швидкості першого і другого шарів ще не однакові, шар А2-К2 ще наздоганяє попередній, та тепер він перебуває в потужнішому полі сил $F_1 + F_2 F_1 + F_2$. За рахунок певних

повздовжніх коливань на кінець моменту $t_2 t_2$ прискорення обох шарів стане однаковим і рівним $a_2 = \frac{F_1 + F_2}{2m_0} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2) S}{2m_0} a_2 = \frac{F_1 + F_2}{2m_0} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2) S}{2m_0}$, а їх відносні швидкості стануть майже рівними нулю.

"Майже..."- тому що існують шари А3-К3, у діють з аналогічною динамікою, але їх остаточні деформації є ще меншими, ніж у попередніх. В усьому іншому в момент часу $t_3 t_3$ в шарі А3-К3 фізичні процеси відбуватимуться за подібним алгоритмом.

Процес формування сили завершиться тоді, коли деформація всіх n масових елементів перестане зростати, а їх (і обох тіл в цілому) прискорення матимуть

однакову величину

$$a = a_n = \frac{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n}{nm_0} = \frac{(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \dots + \sigma_n)S}{nm_0}$$

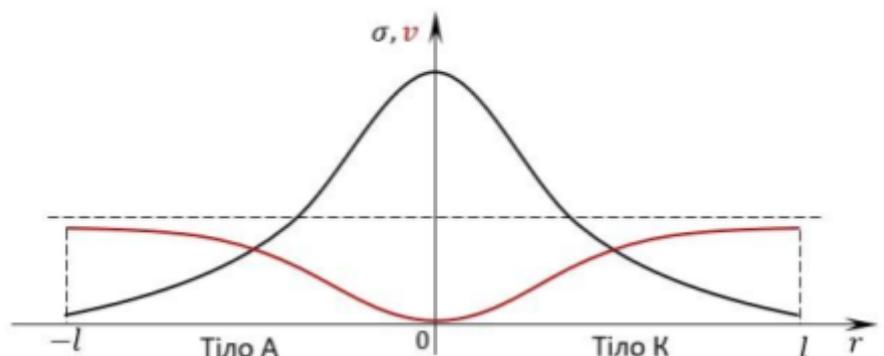
, а відносна швидкість стане рівною нулю.

Таким чином загальна сила $F = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \dots + \sigma_n)S$ залежить від розподілу в тілі елементарних механічних напруг і формується внаслідок перетворення кінетичної енергії руху в потенціальну енергію пружної деформації, іншими словами, в результаті перетворення динамічного тиску в статичний. Очевидно, що усереднена величина сили і є тим абстрактно-теоретичним значенням F , на яке спирається навчально-методична література. Розподіл напруг всередині тіл має нелінійно спадний характер, але дійсна картина фізичного механізму є набагато складнішою, і повністю може бути розкрита тільки за умови присутності світового матеріального середовища. Саме воно й усереднює значення сили за рахунок порушення реактивного характеру процесу, коли частина пружної енергії переходить в теплову.

Наступна фаза співудару починається в той момент, коли обидва неоднорідно деформовані тіла повертаються в недеформований стан. Сили величиною F , діючи в тих же напрямках, що й раніше, тепер надають шарам тіл додатного прискорення, напрям їх швидкостей цих змінюється на протилежний, а абсолютні величини збільшуються. Розподіл

Цей процес відбувається в просторі й часі теж поступово і починається з шарових елементів, що розташовані ближче до опорної зони і розвивається в напрямку периферійних шарів. Шари, що більше стиснуті, поступово долаючи інертний опір до розгону тих масових елементів, які стиснуті менше, поступово приводять їх в рух і цей механізм має всі ознаки ударної хвилі імпульсів.

При цьому на кожний внутрішній стиснутий i -ий шаровий елемент діють нерівні між собою сили, рівнодійна яких направлена і зменшується за абсолютною величиною в напрямку від опорної зони до периферії. Але в цьому ж напрямку поступово-періодично й зростає швидкість цих шарових елементів (мал.8). Таким чином, добуток величини цієї рівнодійної, що діє в i -му елементі на його швидкість в системі



центра маси, в ідеальному випадку є однаковою. Це означає, що рушійна сила має характер потужності $N = Fv$ $N = Fv$, а інертність є тим засобом, який робить можливим перехід механічної енергії з однієї форми в іншу. І коли потенціальна енергія деформації переходить в кінетичну енергію руху, то сила не рухається разом з тілом, а перетворившись у імпульс, зникає.

В кінці процесу тіла відриваються одне від одного з новими відносними швидкостями у відповідності з законом збереження імпульсу.

Таким чином, сучасні редакції формулювань законів динаміки не розкривають всіх особливостей виникнення прискорюючих сил, оскільки не враховують принципову присутність сил інерції під час взаємодії. Ігнорування цих сил чи присвоєння їм статусу «фіктивних» є неприпустимим.

РОЗДІЛ 6. РОЗКРИТТЯ ПРИРОДИ ГРАВІТАЦІЙНИХ СИЛ ТА СИЛ ІНЕРЦІЇ НА ОСНОВІ МОДЕРНІЗАЦІЇ МОДЕЛІ ФІЗИЧНОГО ТІЛА

Стан руху тіл, як свідчать досліди і спостереження, може змінитися тільки в результаті передачі цього руху від одного тіла до іншого в процесі взаємодії.

З філософської точки зору цей факт є наслідком того, що Всесвіт в цілому заповнений матерією, яка перебуває у вічному та невичерпному русі і при цьому існує нескінченна різноманітність не тільки форм її руху, але й способів її узгодженого існування. Незалежно від того, був акт творіння Всесвіту чи він існує вічно, всьому суцільному в ньому притаманний запас руху, який лежить в основі поняття енергії, а перехід його з однієї форми в іншу може відбуватися виключно у фізичних процесах і при цьому супроводжується збереженням енергії. Таким чином, науковою базою закону збереження енергії є матеріальна єдність руху всіх без виключення об'єктів Всесвіту, який фактично є гігантським резервуаром енергії, а сама вона проявляє себе на всіх рівнях організації матерії, маючи тенденцію зростання питомої її величини при переході до більш тонких структур. З цієї точки зору *в реальності принципово не можуть існувати ізольовані системи тіл*. Самоорганізація матерії — це результат прояву переходів її з однієї форми в іншу, а відповідні процеси супроводжуються при цьому не тільки

розсіюванням енергії, але й її концентрацією, наприклад, у вихрових процесах типу торнадо.

Звичайно, представляє неабиякий інтерес питання про базовий елемент матерії, який присутній повсюдно, адже абсолютно порожній Всесвіт не може бути ареною для фізичних процесів будь-якої природи. Не дивлячись на те, що на сьогодні сучасна офіційна фізична наука взагалі відмовилася від ефіру і це поняття взагалі зникло з підручників або подається як псевдонаукове, ідеї існування ефіру як першооснови всього матеріального, як посередника в усіх мислимих фізичних взаємодіях, існували з найдавніших часів і присутні в багатьох філософських концепціях. Наприклад, Демокрит, називаючи атом базовим елементом всього матеріального, вважав що "порожнеча" складається з "амерів". З урахуванням вищесказаного, поняття механічного руху набуває нового змісту, більш глибокого, ніж " зміна положення тіла або його частин в просторі з часом відносно інших тіл." Тоді поділ фізики на розділи (власне механіку, молекулярну фізику, електрику, оптику тощо) є абсолютно умовним, оскільки всі форми руху тонкої матерії, що лежать в основі відповідних фізичних явищ, є виключно механічними і задовольняють вже згадане означення механічного руху, а в основі всіх відомих на сьогодні фундаментальних взаємодій мають лежати відповідні форми механічного руху тонкої матерії. Тоді природньо, що будь-яке матеріальне утворення має ознаки об'єкту і процесу одночасно. Типовий приклад з макросвіту - кільця Сатурна і інших планет. Якщо припустити, що ця тонка матерія перебуває в стані газу, то тоді має існувати сім основних форм її руху, які можна об'єднати в три групи:

1. *Поступальний рух у вигляді:* а) - ламінарної течії; б) - повздовжніх коливань.
2. *Дифузійний рух у вигляді:* в) - перенесення густини; г) - перенесення імпульсу; д) - перенесення енергії.
3. *Обертальний рух у вигляді:* е) - розімкнутого обертання; є) - замкнутого обертання (типу тороїда).

Звичайно, що ці сім основних форм руху матерії можуть мати різні комбіновані варіанти, проте в основі всіх цих рухів має лежати найпростіша форма руху та взаємодії її базових елементів - пружний або непружний співудар.

Ось чому для розкриття всіх фундаментальних закономірностей природи потрібно мати чіткий, однозначний і не відірваний від реальності погляд на фізичну сутність таких механічних понять як маса, сила, імпульс і енергія.

У цьому контексті потребує суттєвої модернізації поняття фізичного тіла, під яким на сьогодні розуміють матеріальний об'єкт з речовини, який має форму, об'єм, масу і відділений чіткою зовнішньою межею від інших тіл. У такому вигляді поняття фізичного тіла використовується для спрощення теоретичних і математичних розрахунків, без урахування внутрішнього стану об'єкта, можливих змін його фізичних параметрів, деформацій, внутрішніх переміщень речовини тіла. Остання обставина, можливо, якраз і є тією перешкодою, яка не дає

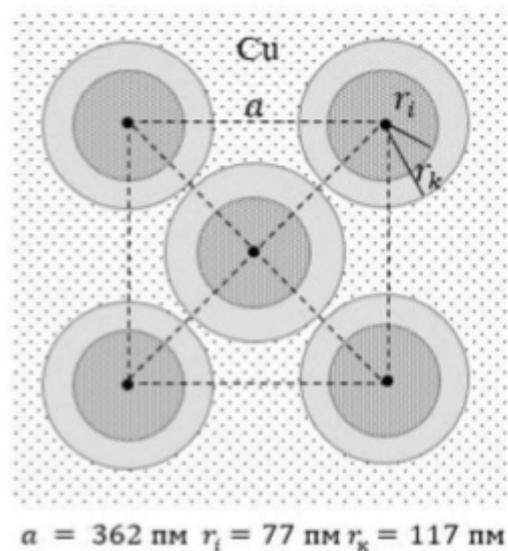
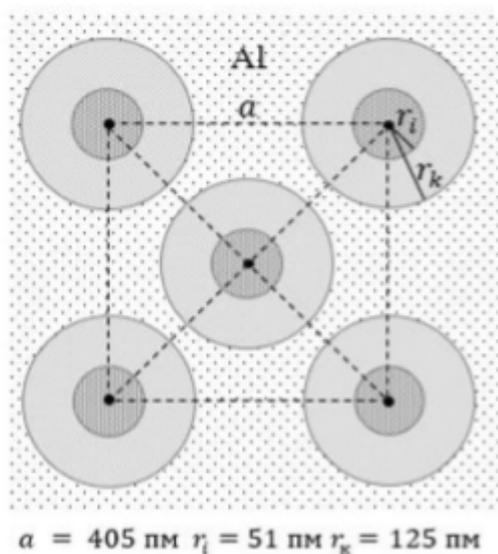
зрозуміти фізичну природу маси, заряду, якісну сутність сил, якими тіла взаємодіють між собою, наприклад, сили гравітації та інерції. Через це прикладна фізика є позбавленою якісної і чіткої теорії та змушена йти всліпу, що суттєво гальмує розвиток нових технологій.

Сказане вище означає, що моделю твердого тіла як основного об'єкта в механіці ні в якому разі не може бути ні точкове тіло, ні абсолютно тверде тіло. Ця модель повинна спиратися на реальні фізичні умови, які включають вже відомі дослідні факти, отримані з суміжних дисциплін, таких як атомна фізика, фізика твердого тіла, кристалографія тощо. Тільки за такої умови можливо зрозуміти фізичну природу сил гравітації та інерції, розв'язати ряд задач небесної механіки та астрофізики. При цьому така модель була б узгодженою з іншими розділами фізики (молекулярною фізикою, термодинамікою, електрикою) і давала б можливість глибше і з єдиної точки зору зрозуміти сутність фізичних явищ і процесів, які традиційно відносяться до різних галузей фізики.

На сьогодні фізика твердого тіла, нанотехнології, не дивлячись на домінування імовірнісних трактувань атомно-молекулярних процесів у квантовій механіці, досягли значних практичних успіхів. Фізичні властивості, внутрішня структура основних конструкційних матеріалів (металів, їх сплавів, композитних матеріалів, полімерів) сучасних технологій є досить добре вивченими. Дані рентгеноструктурного аналізу твердих кристалічних тіл свідчать, що в їх будові існує упорядкованість у взаємному розміщенні атомів чи молекул, яка спостерігається на десятки тисяч шарів до першого порушення симетрії. Тривимірна періодичність у розташуванні характерна як для кристалів з ковалентними зв'язками між атомами, так і для іонних кристалів. Щільна упаковка атомів можлива як у вигляді гексагональної (берилій, магній, цинк, кадмій), так і кубічної гранецентрованої структури (нікель, платина, мідь, золото, срібло, алюміній, свинець, залізо при високій температурі) Менш щільні упаковки реалізуються у вигляді кубічної об'ємноцентрованої структури, яка характерна для барію, вольфраму, заліза при невисокій температурі, а також для всіх лужних металів [27].

Разом з захопленням, яке викликає здатність природи утворювати такі прості і досконалі структури, подивом від того, що такі складні утворення як атоми, можуть вести себе подібно симетрично укладеним кулям, все ж не можна не звернути увагу й на ряд запитань. Наприклад, як і чому повністю зруйнована кристалічна структура в розплавленому металі під час тверднення "запрограмована" на відновлення щоразу однакового і характерного тільки для неї розміщення атомів? Який при цьому механізм виділення енергії? Як і за допомогою чого, вся ця величезна кількість атомів самоузгоджується і утримується як цілісна структура, адже ж поняття "кристалічна решітка" носить умовний характер та має цінність тільки для математичного опису просторової симетрії і класифікації і при цьому *ніяких жорстких ребер, що зв'язують атоми у "вузлах" насправді не існує?* Всі поставлені вище запитання не можуть бути вирішені без припущення про існування пружного матеріального середовища, яке

заповнює міжатомний простір і може вільно переміщуватися крізь речовину. Як вже зазначалося раніше, справа тут не в термінології і те, як буде назване це тонке матеріальне середовище - "ефір" чи "фізичний вакуум", не відмінє факту його безальтернативної присутності. Будь-яке тверде тіло буде пористим по відношенню до цього середовища, і воно може вільно проникати крізь міжатомні проміжки цього тіла.



Представлені вище на мал.9 моделі кристалічних структур, виконані на основі даних рентгеноструктурного аналізу в масштабі 100 пм на 1см, показують, що їх періоди перевищують не тільки ковалентний («ван-дер-ваальсівський») r_k r_k , але й іонний r_i r_i радіуси атомів, залишаючи, таким чином, досить великий простір для проникнення ефіру в об'єм зайнятий тілом, навіть для найщільніших упаковок атомів. Наприклад, відношення об'єму міжатомних проміжків до повного об'єму елементарної комірки для атома алюмінію, третього за розповсюдженістю

хімічного елемента на Землі, становить приблизно $1 - 8\pi \left(\frac{r_k}{a}\right)^3 \approx 0,259$

$1 - 8\pi \left(\frac{r_k}{a}\right)^3 \approx 0,259$. Тобто, приблизно чверть одиничного об'єму є незаповненою атомною матерією. Для графіту або води в твердому стані це відношення є ще більшим. Але ж цей вільний простір не може бути абсолютно порожнім. Звідси впливає принципова можливість того, що зовнішнє матеріальне середовище може проникати всередину тіла і впливати на кінематику його руху в цілому.

Щільність захопленої тілом ефірної матерії всередині нього може бути неоднаковою і відрізнятися від щільності даної тонкої матерії поза речовиною, а також буде залежною від характеру руху тіла, наприклад, поступальний він чи обертальний, а також матиме принциповий вплив на деформації тіла під час руху.

Якщо припустити, що атоми є вихровими утвореннями тонкої матерії, для яких характерним є понижені значення тиску і температури, то частина ефіру, що проникає в міжатомний простір, може навіть бути захопленою електронними оболонками атомів, залучена в їх ротаційно-динамічні процеси.

Сказане вище означає, що інертна маса тіла може бути принципово різною в стані спокою та в процесі руху і залежною від швидкості його руху, і таким чином, представлена модель твердого тіла допускає факт того, що інертна і гравітаційна маси можуть бути нееквівалентними, оскільки у фізичній сутності цих понять можуть лежати різні форми руху світового матеріального середовища.

Маса у сучасній фізиці має чотири ознаки і виступає як міра кількості матерії, як міра інертних і гравітаційних властивостей речовини, а також як певний енергетичний еквівалент.

Не існує ніяких підстав для сумнівів у справедливості першої ознаки маси. Матерія повинна мати загальну кількісну міру, якою і є маса, оскільки в протилежному випадку закони фізики будуть позбавленими змісту, якщо неможливо визначити кількість матерії. При цьому слід зазначити, що маса може бути, хоч і пропорційною, але все ж опосередкованою мірою кількості матерії і може бути пов'язана з нею не прямою, а функціональною залежністю, куди можуть увійти й інші величини. Тому дуже принциповим в даному контексті є степінь допустимого нехтування присутністю прихованої матерії, що завжди має місце. Порушень фундаментальних законів природи, до яких слід віднести і закон збереження кількості матерії, не може бути в принципі, і якщо таке нехтування певною мірою допустимим в класичній механіці, то у фізиці мікросвіту, де грань між матеріальним об'єктом і процесом, між власне речовиною і полем стає тонкою, це має винятково принципове значення. Важливість цього в свій час добре розумів ще Ньютон, коли, даючи в «Началах» означення кількості матерії як величини, пропорційної до густини і об'єму, зазначає окремо, що «...при цьому я не беру до уваги те середовище, якщо таке існує, яке вільно проникає в проміжки між частинками». Слід зазначити, розуміння маси як добутку густини речовини на її об'єм $m = \rho V$ є не тільки правильним з точки зору практики і здорового глузду, але й відображає той факт, що по крайній мірі у дослідженій наукою частині Всесвіту густини тих самих речовин є однаковими, а їх числові значення є результатом певних загальних закономірностей в утворенні речовини.

Тому принципово не повинно бути ніяких методологічних «дефектів мас», які мають місце у ядерній фізиці, яка не дає чіткої відповіді на питання, чому ж маса ядра як цілого і маса окремих його нуклонів відрізняються між собою? Що є носієм енергії зв'язку при розпаді чи синтезі ядер та який механізм лежить в основі ядерних сил? Тим більше, що розрахунок енергії зв'язку, проводиться на основі формули $E_{зв} = \Delta m \cdot c^2$, де c – швидкість світла у вакуумі. Дане співвідношення було отримане Ейнштейном при розгляді поширення світлових сигналів у СТВ, а потім вільно розповсюджене на всі види матерії і всі види взаємодій, хоча швидкість світла стосується виключно електромагнітної

взаємодії. Так як ніким і ніколи не була доведена правомірність застосування цієї формули в ядерній фізиці, то це дає обґрунтовані підстави для сумнівів у справедливості сучасних трактувань четвертої ознаки маси як міри енергії. Таке положення відповідає духу філософської концепції енергетизму, яка стверджує, що у Всесвіті існує тільки енергія, а матерія є тільки сконцентрованим еквівалентом енергії.

Проте найбільшу кількість питань викликають друга і третя ознаки маси – як міра інертних і гравітаційних властивостей речовини.

Вважається, що інертна маса характеризує природну здатність тіла чинити опір зміні його швидкості, інакше кажучи, чим більшою є інертна маса тіла, тим довше воно під час взаємодії при всіх інших рівних умовах збільшує свою швидкість під час виведення зі стану спокою або зменшує її при спробі його в цей стан привести. Крім того, як стверджують підручники з фізики саме ця маса фігурує в другому законі Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$ і є характеристикою того, якої величини прискорення набуватиме тіло під дією прикладених сил негравітаційної природи.

Звертає на себе увагу певна дефініційна недосконалість поняття маси як міри інертних і гравітаційних властивостей. Насамперед, говорячи про інерцію як "вроджену" здатність матерії чинити опір до зміни швидкості, фізиці треба нарешті дати відповідь на питання про фізичні причини такої поведінки тіл, прийняти до уваги принципову неможливість існування абсолютно жорстких тіл і необхідність врахування деформацій тіла під час взаємодії тіл, визнати значення середовища як чинника, що може впливати на інертні властивості речовини.

Крім того, строго кажучи, в оригінальному означенні другого закону динаміки, даного самим Ньютоном, не сказано жодного слова про масу, там мова йде про пропорційність зміни імпульсу, точніше, кількості руху тіла $\vec{p} = m\vec{v}$ до прикладеної рушійної сили, що математично виглядає як:

$$\vec{F} = \frac{d(m\vec{v})}{dt}$$

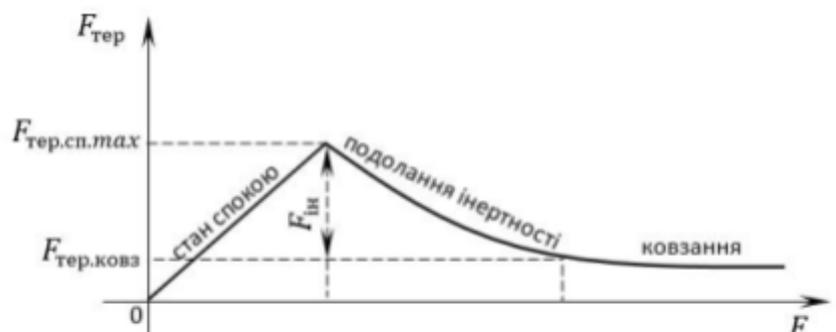
І тільки з постулативного припущення про те, що інертна маса не залежить від часу, слідує прийнята на сьогодні форма запису другого закону Ньютона у вигляді $\vec{F} = m\vec{a}$. Якщо ж припустити, що інертна маса є залежною від часу, то рівняння матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \vec{F} &= \frac{d(m\vec{v})}{dt} = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{dm}{dt}\vec{v} + m\vec{a} = \mu \frac{dm_c}{dr} \cdot \frac{dr}{dt} \vec{v} + m\vec{a} \\ &= \mu \frac{dm_c}{S \cdot dr} S\vec{v}^2 + m\vec{a} \\ \vec{F} &= \mu \frac{dm_c}{dV} S\vec{v}^2 + m\vec{a} = \mu \rho_c S\vec{v}^2 + m\vec{a} \end{aligned} \quad (2)$$

Вище враховано, що елемент маси $dm = \mu \cdot dm_c$ змінюється пропорційно з динамічною зміною маси dm_c середовища. Коефіцієнт пропорційності μ залежить від виду речовини і характеризує степінь взаємодії тіла з середовищем при русі, $\rho_c - \rho_c$ — динамічна густина середовища всередині тіла, S — площа перерізу тіла в напрямку, перпендикулярному до напрямку руху тіла. Перший доданок у правій частині останньої рівності за своїм фізичним змістом еквівалентний силі опору або силі динамічного тиску у відповідності з законом Бернуллі, що вказує на можливе існування масових потоків всередині тіла і їх зв'язок з деформаціями, а головне — на принципову присутність середовища в динамічному процесі. Саме так і проявляється ньютонівська сила інерції і тоді $\vec{F}_{ін} = -\mu\rho_c S\vec{v}^2$. Як тут не згадати про принцип Д'аламбера, який стверджує, що коли до заданих сил додати сили інерції, то закони динаміки будуть справедливими і в системах відліку, що рухаються з прискоренням [26].

У цьому контексті варто згадати про перехід тіла в рух зі стану спокою, коли сила тертя спокою переходить у силу тертя ковзання. Співвідношення між прикладеною силою і силами тертя для кожного тіла має емпіричний характер, і як відомо, ілюструється загальною графічною залежністю, представленою нижче (мал.10).

Стрибокподібне зниження сили тертя при переході зі стану спокою в рух у навчальній літературі з фізики пояснюється тим, що коефіцієнт тертя спокою є більшим за коефіцієнт тертя ковзання. Дане пояснення, на думку автора, не є бездоганним з точки зору фізики процесу, оскільки стан дотичних поверхонь тіл залишився незмінним. Справжня ж природа падіння значення сили тертя може бути іншою. Якщо припустити, що під час зрушення тіла зі стану спокою сила тертя весь час має однакове значення, яке за величиною дорівнює силі тертя ковзання, але на перебування тіла в стані спокою впливає ньютонівська сила інерції $F_{ін}$ і при цьому має місце рівність $F_{тер.сп.мах} = F_{тер.ковз} + F_{ін}$, то тоді все стає на свої місця і зайвий раз свідчить про присутність сил інерції в динаміці розгону і гальмування тіла.



З рівняння (2) (2) слідує ще один цікавий висновок. Оригінальне ньютонівське формулювання другого закону динаміки містить на перший погляд тавтологічне

словосполучення "прикладена рушійна сила", у якому слово "рушійна" є ніби як зайвим. Але це тільки на перший погляд. Не виключено, що Ньютон хотів цим підкреслити факт, що зміна імпульсу тіла є некомпенсованою і нерівноважною, на відміну від третього закону динаміки, який вказує на статичний характер взаємодії. Але це можливо тільки при умові, що прискорений рух вже почався. Але головне в тому, що цей рух може й не початися, якщо сила є прикладеною, але не рушійною. Сучасна теоретична механіка стверджує, що такого бути не може, і не в одному підручнику можна прочитати, що будь-яка як завгодно мала сила може прискорити тіло як завгодно великої маси, тільки видиме прискорення буде зникаюче малим і його важко визначити.

Якщо ж рівняння (**)(**) записати у вигляді $\vec{F} - \mu\rho_c S\vec{v}^2 = m\vec{a}$ $\vec{F} - \mu\rho_c S\vec{v}^2 = m\vec{a}$, то з нього слідує, що прикладена сила не спричинить руху тіла в цілому, якщо її величина менша за інерційну складову; при рівності матиме місце рух за інерцією з певною сталою швидкістю, а прискорений рух почнеться за умови, коли $\vec{F} > \mu\rho_c S\vec{v}^2$ $\vec{F} > \mu\rho_c S\vec{v}^2$.

Так це чи ні, може розсудити тільки практика. Як відомо [17], рухомий склад сучасних потягів може досягати маси до 6000 т і приводиться в рух за допомогою електровозів, наприклад, ВЛ-85 масою 276 т. Неважко підрахувати, що імпульс такого состава при рейсовій швидкості в 50 км/год може досягати приблизно **314 МН·с** **314 МН·с**. Це чи не найбільший показник для пристроїв силової тяги, створених людиною. Але при цьому на сьогодні не існує строгої теорії руху потягів, розрахунки важливих кінематичних параметрів руху, таких, наприклад, як коефіцієнт зчеплення колісних пар, визначаються за емпіричними формулами. Великий інтерес представляє фізика розгону і гальмування тіл такої маси. Пусковий електричний струм в момент старту потяга досягає 1000 А. Проте навіть такої значної величини сила струму ще не гарантує того, що старт відбудеться. Успіх досягається за рахунок не жорсткого, з наявністю деякого люфту зчеплення між вагонами. Машиністи локомотивів називають це терміном "пустити хвилю". Під цим розуміють процес послідовної передачі між вагонами стартового зусилля, створеного на осях колісних пар в момент пікового значення сили пускового струму. Спочатку вся розвинена механічна потужність буде прикладена до першого вагона і це дозволить привести його в рух на невелику відстань, подолавши його інертність. У результаті створений ним інерційний імпульс додається до імпульсу сили, прикладеної електровозом. Далі процес повторюється для наступного вагона і так далі. Головне в тому, що якби зчеплення між вагонами було жорстким, то раніше б відбувся зрив зчеплення колісних пар з рейками і розпочалося б їх холосте ковзання, а потяг не вийшов би зі стану спокою.

Уявлення про присутність і вплив міжатомного ефірного середовища на динаміку руху тіла дозволяє пояснити з єдиної точки зору фізичну природу не тільки ньютонівських, але й відцентрових сил інерції. Розглянемо деякий сферично-симетричної форми атом тіла, яке здійснює обертальний рух з центром



в деякій точці O і кутовою швидкістю ω . Нехай діаметр атома d , площа його екваторіального перерізу S , а ефірне середовище будемо вважати газоподібним. Тоді в такому випадку атом знаходиться в набігаючому ламінарному потоці газу, у якому існує розподілене навколо його поверхні поле лінійних швидкостей, величини яких послідовно збільшуються від значення v_1 у найближчій до центру обертання точці до значення $v_2 = v_1 + \omega d$ у найвіддаленішій відповідно (мал.11). Тоді згідно закону Бернуллі динамічний тиск газу $p_{ін1}$ у найближчій точці до центра обертання буде більшим за тиск $p_{ін2}$ у найвіддаленішій, а їх різниця буде направленою від центра обертання і прикладеною до екваторіального круга площею S , що, в свою чергу, приведе до виникнення відцентрової сили $F_{відц} = (p_{ін1} - p_{ін2})S$. Механізм дії відцентрової сили інерції є однаковим як для одного атома, так і для тіла в цілому. Таким чином, немає жодних підстав вважати сили інерції «фіктивними», про що можна часто прочитати у підручниках з теоретичної механіки [26]. Таке уявлення сформувалося в фізиці завдяки тому, що формально нібито не можна вказати, з боку яких тіл чи відомих полів ці сили діють. Описаний вище механізм, без сумніву, не відображає всієї повноти фізичної реальності, проте в принципі дозволяє ліквідувати це багаторічне хибне уявлення і вважати міжатомне ефірне середовище саме тим об'єктом, з боку якого виникають сили інерції, а також пролити світло на принцип дії пристроїв «безопорного» руху, так званих інерціодів, про які останнім часом багато розмов на різних фізичних форумах та в YouTube.

Не менш дискусійним, проте так само недостатньо вивченим і осмисленим, є питання про фізичну сутність гравітаційної маси. Гравітаційна маса виступає в сучасній теоретичній фізиці як міра властивості тіла вступати у гравітаційну взаємодію, іншими словами ж мірою "гравітаційного заряду", який створює відповідне поле тієї чи іншої інтенсивності ([8], [10]).

За сучасними уявленнями, гравітаційна маса є ключовою складовою гравітаційної взаємодії матеріальних точок, сила якої визначається за законом всесвітнього тяжіння і є пропорційною до добутку їх мас $m_1 m_2$ і обернено пропорційною до квадрату відстані r між ними: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$. Слід зазначити, що прийняте на сьогодні формулювання даного закону дещо відрізняється від сформульованого Ньютоном у III книзі «Начал». Різниця полягає в тому, що Ньютон говорить про взаємодію конкретних протяжних тіл в межах Сонячної системи і не вживає терміну «матеріальна точка», а саме означення в цілісному вигляді відсутнє і розкидане по окремих розділах третьої книги. «Тяжіння існує для всіх тіл взагалі і пропорційне масі кожного з них», - такими словами встановлюється зв'язок між силою тяжіння тіл та їх гравітаційними масами [14].

У контексті необхідності розуміння фізичної сутності гравітаційних властивостей маси не можна не привести й таке висловлювання Ньютона стосовно тяжіння: «Під словом «притягання» я розумію тут взагалі яке б то не було намагання тіл до взаємного зближення, чи відбувається це намагання завдяки дії самих тіл, які або стараються наблизитися одне до одного, або які приводять одне одного в рух шляхом випускання ефіру, або це стремління викликається ефіром чи повітрям, чи взагалі будь-яким матеріальним або нематеріальним середовищем, яке змушує занурені в нього тіла приводити одне одного в рух. У цьому розумінні я й вживаю слово «натиск» чи «напір», досліджуючи в цьому творі не види сил і фізичні властивості їх, а лише їх величини і математичні співвідношення між ними» [там же, виділено Ю.Н.]. Як бачимо Ньютон не ставить задачу з'ясування механізму передачі гравітаційної взаємодії, проте розуміє важливість такого знання, а також формулює імовірні варіанти, які виключають її передачу шляхом далекодії, і при цьому розглядає в однаковій мірі можливими причинами притягання як «випускання ефіру» тілами, що в сучасних термінах еквівалентно створенню взаємодіючими тілами гравітаційних полів навколо себе, так і зовнішнім примусом з боку ефіру, який просто спонукає взаємодіючі тіла до зближення.

Неважко зрозуміти, що такі варіанти є фізично взаємно виключними. За першим варіантом маси створюють власну тяжіючу дію, за другим – просто підкоряються зовнішньому тяжіючому впливу. За першим варіантом – поле є матеріальним посередником, який є відповідальним за передачу гравітаційної взаємодії і породжується масивними тілами, за другим - існує окремо від масивних тіл. А головне в тому, що в контексті даної суперечності поняття гравітаційної маси має принципово різний фізичний зміст і розкрити його неможливо без розуміння істинного механізму гравітаційної взаємодії.

Сучасна теоретична фізика розглядає виключно перший варіант.

Яким же є механізм гравітаційної взаємодії з точки зору теоретичної фізики? За сучасними уявленнями кожне з взаємодіючих тіл (які вважаються матеріальними точками або тілами сферично-симетричної форми) масами m_1 і m_2

створюють навколо себе гравітаційні поля з модулями напруженості $g_1 = G \frac{m_1}{r^2}$

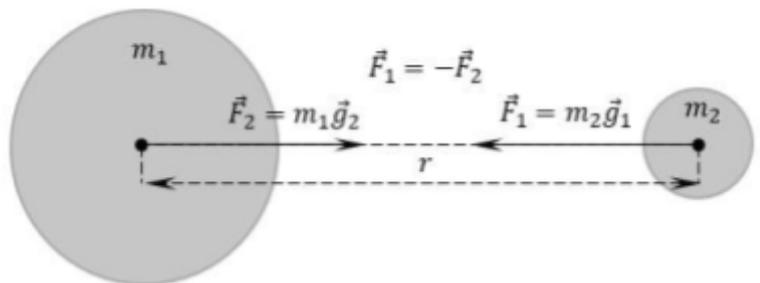
$$g_1 = G \frac{m_1}{r^2} \quad \text{та} \quad g_2 = G \frac{m_2}{r^2}$$

$$g_2 = G \frac{m_2}{r^2} \quad \text{відповідно, які}$$

діють перехресно: поле з напруженістю g_1 діє на тіло масою m_2 ,

а поле з напруженістю g_2 діє на тіло масою m_1 .

При цьому величина напруженості поля прямо пропорційна до маси тіла, яке створює



поле, обернено пропорційна до квадрата відстані від його центра і не залежить від маси іншого тіла. Якщо радіус-вектор направлено від джерела гравітаційного поля, то напрям вектора напруженості завжди направлений протилежно йому. Результируючий вектор напруженості знаходять геометрично за принципом суперпозиції, а сили є рівними за модулем, протилежними за напрямом і направленими вздовж прямої, проведеної через центри взаємодіючих тіл, що постулює справедливність третього закону Ньютона для гравітаційної взаємодії. Фактично йде мова про те, що існують дві гравітаційних маси: активна гравітаційна маса - та, що характеризує здатність тіла створювати навколо себе гравітаційне поле тієї чи іншої напруженості; пасивна гравітаційна маса - та, яка відповідає за реакцію на дію стороннього гравітаційного поля. Дана теоретична модель, як видно з мал.12, передбачає, що сила $\vec{F}_1 = m_2 \vec{g}_1$ прикладена до центра тіла масою m_2 і направлена до центра тіла масою m_1 , сила $\vec{F}_2 = m_1 \vec{g}_2$ прикладена до центра тіла масою m_1 і направлена до центра тіла масою m_2 . Саме так мала б виглядати ілюстрація зі шкільного підручника фізики для 10 класу, приведена в Розділі 1. Різниця полягає в тому, що сила \vec{F}_1 діє на тіло масою m_2 і навпаки. На цю обставину слід би було звернути увагу авторам підручника і пам'ятати вчителям фізики при поясненні відповідного матеріалу. В силу третього закону Ньютона: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ і, таким чином, співвідношення $\frac{m_1}{m_2} = \frac{g_1}{g_2} = \frac{m_1}{m_2} = \frac{g_1}{g_2}$ виражає пропорційність між гравітаційною масою і напруженістю як силовою характеристикою створеного нею поля.

Суттєва, принципова і парадигмальна зміна характеру поглядів на механізм гравітації відбулася в 1915 році у висунутій А. Ейнштейном загальній теорії відносності. Згідно цієї теорії, маса, внесена в деяку точку простору, змінює його фізичні властивості таким чином, що гравітаційна взаємодія є результатом просторово-часового викривлення, зумовленого наявністю маси. При цьому найкоротшою відстанню між гравітаційно взаємодіючими тілами буде не пряма, а деяка крива, форма якої залежить, зокрема, й від маси тіла. Одним із передбачень даної теорії є висновок про те, що масивні тіла при русі зі змінним прискоренням мають випромінювати гравітаційні хвилі, корпускулярним еквівалентом якої є гіпотетична частинка гравітон,- квант гравітаційної взаємодії. При цьому швидкість поширення гравітаційної взаємодії вважається рівною швидкості світла у вакуумі.

Слід сказати, що за більш ніж 300 років з моменту сформульованого Ньютоном закону тяжіння, теоретична фізика дуже мало наблизилася до розуміння природи гравітації і фактично, не дивлячись на існування офіційної та ряду альтернативних теорій механізму гравітації, не існує жодного достовірного і однозначного дослідного їх підтвердження, а в підручниках не знайти відповідей на багато важливих і принципових питань. А питань виникає немало.

Якщо маса генерує гравітаційне поле, то яким чином це відбувається на рівні окремих атомів речовини? Як гравітаційні поля, створені окремими атомами, самоузгоджуються, забезпечуючи при цьому утворення сферично-симетричного гравітаційного поля масивного тіла в цілому? Як далеко це поле простягається? За рахунок якої енергії гравітаційне поле існує і яким є енергетичний баланс між масою і гравітаційним полем, що нею створюється, адже ж емісія матерії поля мала б зменшувати повну енергію тяжіючої маси? Завдяки чому гравітаційні поля впродовж дуже довгого часу залишаються стабільними? Що можна сказати про природу матерії гравітаційного поля? Який механізм безпосередньої дії гравітаційного поля, створеного одним із взаємодіючих тіл на інше і навпаки? Що фізично означає активна і пасивна гравітаційна маса, одночасно зосереджена в одному тілі? Яке модельне представлення може мати місце при суперпозиції напруженості гравітаційних полів у деякій точці простору? Чи дійсно ця результуюча напруженість не залежить від маси «пробного» тіла? Останнє питання важливе з точки зору іншого – чи дійсно всі тіла, незалежно від їх мас, мають однакове прискорення при падінні? У якому діапазоні значень мас взаємодіючих тіл це перевірялося і чи підтверджується це даними планетно-сателітної динаміки в Сонячній системі? Який механізм забезпечує вертикальність напрямку гравітаційних сил і чи дійсно ці сили прикладені до центрів мас взаємодіючих тіл, а не, наприклад, елементів їх поверхонь? Як в такому разі пояснити існування значних припливно-утворюючих сил, адже при умові прикладення гравітаційних сил до центрів мас тіл ці сили не виникали б, а вони реально існують, в тому числі й в земних умовах? Чи виконується закон збереження імпульсу для дистанційно взаємодіючих тіл? Як пояснити фізичний зміст викривлення простору-часу тяжіючою масою? Якщо масивні тіла, рухаючись із змінним прискоренням, випромінюють гіпотетичні гравітаційні хвилі, то чому вони не втрачають при цьому енергію? Якщо гравітаційні хвилі випромінюються і відповідно зумовлений ними ударний вплив поширюється в напрямку *від* тіл як джерел цих хвиль, то чому тоді гравітаційно взаємодіючі тіла *притягуються, а не відштовхуються*? Чому швидкість поширення гравітаційної взаємодії вважається рівною швидкості світла у вакуумі, якщо остання є швидкістю поширення електромагнітної взаємодії?

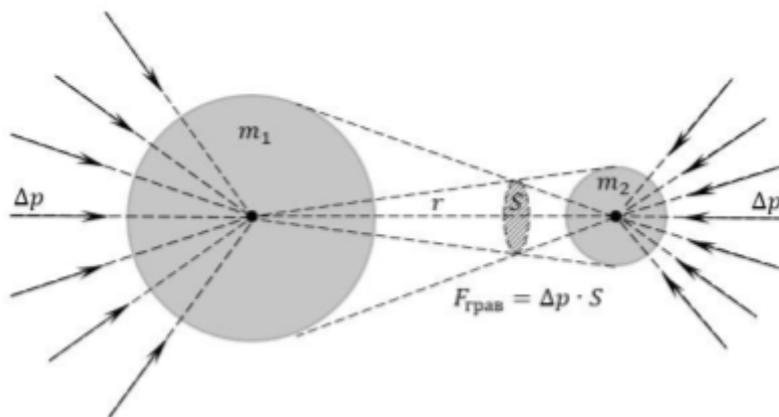
Питання про швидкість поширення гравітаційного процесу є виключно важливим і принциповим. Залежність сили гравітаційної взаємодії від координат означає, що при переміщенні принаймні одного з тіл має відбуватися і відповідна зміна величини сили. Тоді, враховуючи неможливість миттєвої передачі взаємодії на відстані, друге тіло має відчути ці зміни з деяким запізненням. Це приводило б до того, що орбіти небесних тіл мали б помітно еволюціонувати. Оскільки вікові зміни їх орбітальних параметрів руху є зникаюче малими і практично відсутніми, то це можливо тільки тоді, коли реальна швидкість поширення гравітації є дуже й дуже великою. Вперше в фізиці цю думку висловив Лаплас наприкінці XVIII ст., аналізуючи дані руху Місяця і планет. За його обчисленнями швидкість поширення гравітаційної взаємодії має щонайменше на сім порядків перевищує

швидкість світла! Викликає подив, що про це майже не згадується в підручниках з механіки.

Велика кількість приведених вище питань, які виникають при аналізі першого варіанту взаємодії, породжують сумніви в тому, що маси створюють власну тяжіючу дію у вигляді гравітаційного поля і змушують розглянути й альтернативну точку зору, згідно якої гравітаційне притягання тіл є результат зовнішньої дії на них.

Як виявляється, в історії фізики вже існували досить успішні спроби подібного пояснення механізму гравітації, щоправда, не всі вчителі фізики знають про це. Мова йде про теорію Ж. Лесажа, висунуту ним у 1784 році та її пізніші модифікації Кельвіном, Тейлором, Дарвіном та ін.

Суть гіпотези Лесажа полягає в наступному [18]. Він припустив, що гравітація зумовлена потоками частинок, так званих «замежних корпускул», які рухаються з глибин космосу прямолінійно в усіх напрямках з дуже великою швидкістю і мають однакову густину. Ці частинки мають дуже малі розміри й масу і тому можуть вільно проникати міжатомні «пори» речовини, взаємодіючи з нею за рахунок слабкого зчеплення з її атомами. Відстань слідування частинок є значно більшою за їх розміри і тому ця рухома субстанція не чинить видимого опору рухові тіл. Якщо на шляху потоків цих частинок з'являється окреме тіло, то внаслідок рівномірного тиску з усіх боків, воно не буде зазнавати дії ніякої сили. У



випадку ж двох чи більше тіл, за рахунок створення взаємної гравітаційної тіні, інтенсивність, і відповідно, тиск потоків частинок ззовні будуть більшими, ніж всередині (мал.13). Різниця тисків Δp Δp буде прикладена до поверхонь тіл в утвореному конусі взаємодії і зумовить притягання тіл з деякою силою, яка й буде силою гравітаційної взаємодії. Враховуючи колосальну швидкість та високу проникаючу здатність частинок, кожен атом тяжіючого тіла буде зазнавати гравітаційного впливу. Зрозуміло, що при цьому сила зчеплення частинок з атомами речовини буде пропорційна її масі, кількість частинок, які проходять через одиницю площі поверхні взаємодіючих тіл, буде зменшуватися обернено пропорційно квадрату відстані між ними, і таким чином, дана модель дозволяє отримати залежність, яка відповідає ньютонівському закону взаємного тяжіння.

В силу різних причин наукова спільнота того часу не дуже схвально сприйняла теорію Лесажа і вона не змогла кардинально вплинути на формування наукової парадигми відносно гравітації та була забутою більш ніж на сто років, поки

Кельвін на деякий час відновив інтерес до неї через схожість ідей, що лежали в основі його кінетичної теорії газів і вихрової теорії матерії взагалі. Головними об'єктами критики ідей Лесажа його сучасниками були походження «замежних» частинок, нечіткість термодинамічної моделі гравітаційного процесу, труднощі з поясненням характеру взаємодії корпускул з частинками речовини, теоретичні аспекти виникнення опору та ефекту гравітаційної аберації.

Тим не менше, навіть при наявності ряду теоретичних недоліків, теорія Лесажа досягла головного: вона змогла вперше у фізиці просто і наочно пояснити динаміку механізму гравітації. Ідея гравітаційної тіні як основної причини виникнення різниці тисків і результуючої сили притягання, направленої в сторону меншого тиску, виглядає достовірною і за умови належної модернізації базових положень теорії на основі сучасних знань з газової динаміки, яких не було в часи Ньютона і Лесажа, без сумніву, може розглядатися в якості фундаменту для пояснення феномену гравітації.

Хай і далекою до досконалості, але принципово можливою є така модернізована лезажівська модель гравітаційної взаємодії.

Напрямок, за якими є можливим вдосконалення даної теорії тяжіння, може бути декілька. Припущення про існування ефіру як всесвітнього матеріального середовища газоподібної форми з елементарними матеріальними частинками, названими Демокритом амерами, дає підстави провести аналогію між ними та лезажівськими "замежними корпускулами". Потрібно лише визначитись, яка з перелічених раніше семи основних форм руху матерії лежить в основі гравітаційної взаємодії. Існує велика кількість прямих і непрямих фактів, які вказують на те, що нуклони є ущільненими динамічними формами матерії, утвореними в результаті тороїдального вихрового процесу в ефірі. Як відомо з газової динаміки, вихрові процеси типу торнадо характеризуються заниженими порівняно з областями ламінарного руху значеннями температури і тиску, що зумовлює термодифузійне переміщення матерії з периферії до центру вихроутворення, в основі якого лежить пружний співудар частинок. Оскільки Всесвіт повсюдно заповнений речовиною, то саме така форма руху матерії є найбільш загальною і може лежати в основі гравітації. Зрозуміло, що чим більша маса тіла, тим більшою буде інтенсивність такого руху. При цьому загального підвищення температури тіла, що ставилося в вину теорії Лесажа, не буде, якщо обмін енергією при взаємодії частинок середовища з речовиною має реактивний характер і не переходить у теплову.

Подібний механізм дає можливість розв'язати давню проблему ньютонівської теорії тяжіння,- так званий гравітаційний парадокс Неймана-Зелігера, сутність якого в тому, що коли речовина в нескінченному Всесвіті розподілена з довільною густиною, то інтеграл гравітаційного потенціалу виявляється розбіжним, а відповідна йому енергія гравітації - нескінченною. Це приводить б того, що будь-яке тіло мало б зазнавати дії нескінченної гравітаційної сили, чого в реальності не спостерігається. А для того, щоб потенціал мав скінченне значення,

потрібно, щоб середня густина речовини у Всесвіті з ростом r спадала б швидше, ніж $\frac{1}{r^2}$, що суперечить класичній ньютонівській залежності. Якщо ж прийняти лєсажівську концепцію, то область поширення гравітаційної взаємодії буде скінченною і обмеженою довжиною вільного пробігу ефірних частинок в термодифузійному процесі і для гравітаційного парадоксу не залишається місця. А головне в тому, що скінченність гравітаційної дії відповідає реаліям природи і здоровому глузду.

Неважко бачити, що окреслена теоретична модель позбавлена переважної більшості тих теоретичних прорахунків, які властиві концепції гравітаційної взаємодії, що базується на уявленні про генерування гравітаційного поля тяжіючими масами. Вона, так само як і у випадку із силами інерції, підкреслює принципову неможливість побудови несуперечливої теорії гравітації без врахування присутності всесвітнього матеріального середовища, легітимізує погляд на сили будь-якої природи як результат дії різниці статичних чи динамічних тисків на одиницю поверхні тіла.

Більше того, вона дозволяє розглянути доцентрові сили гравітації та відцентрові сили інерції з єдиної точки зору і дати нарешті задовільне теоретичне пояснення тому факту, що сателіти обертаються навколо центрального тяжіючого тіла по стабільних орбітах і при цьому не падають на нього, а також чому існує стан невагомості.

Якщо повернутися до розглянутої вище моделі формування відцентрових сил інерції, то з урахуванням гравітаційного впливу взятий для прикладу атом, що

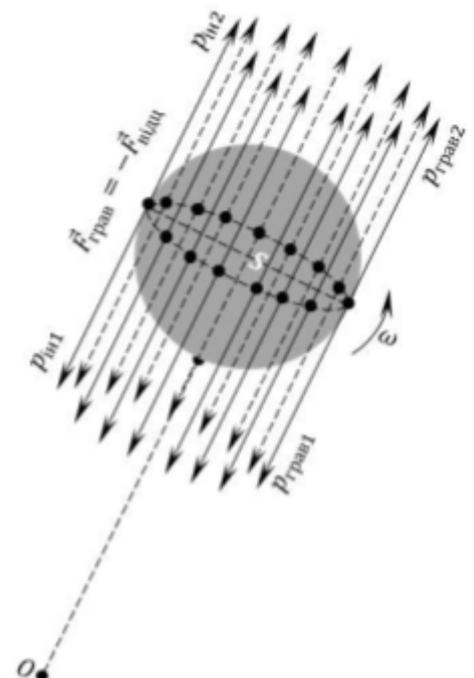
обертається з кутовою швидкістю ω , буде оточений міжатомним ефірним середовищем в газоподібному стані, у якому одночасно існують дві динамічно взаємодіючих форми руху його структурних частинок: термодифузійне перенесення густини з периферії до центру О обертання і набігаючий ламінарний потік, направлений назустріч напрямку обертального руху атома (мал.14) Перша форма руху спричинює гравітаційну силу

$$F_{\text{грав}} = (p_{\text{грав}2} - p_{\text{грав}1})S$$

у відповідності з теорією Лєсажа і зумовлену більшим значенням тиску $p_{\text{грав}2}$ на периферії, ніж $p_{\text{грав}1}$, що ближче до центру обертання. Друга форма руху спричинює відцентрову силу інерції

$F_{\text{відц}} = (p_{\text{ін}1} - p_{\text{ін}2})S$

$$F_{\text{відц}} = (p_{\text{ін}1} - p_{\text{ін}2})S,$$

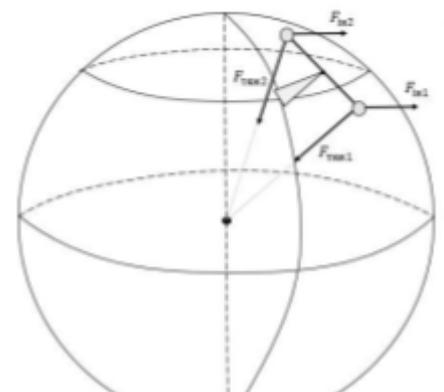


зумовлену більшим значенням динамічного тиску $p_{ін1}$ $p_{ін1}$ ближче до центру обертання, ніж $p_{ін2}$ $p_{ін2}$ на периферії. Ці сили рівномірно розподілені та прикладені до площі S S перерізу атома і можуть зрівноважувати одна одну, тому за третім законом Ньютона $F_{грав} = F_{відц}$ $F_{грав} = F_{відц}$. Неважко бачити, що за такої умови $p_{ін1} + p_{грав1} = p_{ін2} + p_{грав1} = const$ $p_{ін1} + p_{грав1} = p_{ін2} + p_{грав1} = const$, тобто сумарні тиски, що діють на кожен атом тіла будуть однаковими, а саме тіло буде перебувати в стані невагомості. Звичайно, представлена модель є надзвичайно спрощеною, а реальна фізична картина набагато складнішою. Наприклад, враховуючи, що густина електронних оболонок атома і речовини його ядра суттєво відрізняються, слід було б припустити, що відцентрові сили інерції та сили гравітації будуть взаємно скомпенсованими тільки в перерізі ядра, де твердість матерії набагато більша, а електронні оболонки зазнаватимуть додаткового деформуючого механічного впливу, що сучасною фізикою наразі взагалі не розглядається. Крім того, інтенсивність описаних процесів в протяжному фізичному тілі може бути неоднаковою поблизу центра маси і на його периферії, що потребує додаткових припущень стосовно механізму забезпечення цілісності тіла загалом.

Проте описана вище фізична модель в цілому проливає світло на природу сил гравітації та інерції, підкреслює важливість врахування ролі світового матеріального середовища у процесі їх формування, а також дозволяє подивитися під іншим кутом на співвідношення між інертною і гравітаційною масою, яке є предметом багаторічних наукових дискусій, оскільки воно на пряму пов'язане з принциповими питаннями механічного руху і причинами, що його зумовлюють [8].

Ще Ньютон, розуміючи виключну важливість даного питання, провів серію експериментальних дослідів по визначенню періодів маятників однакової довжини, виготовлених з різних речовин. Виходячи з результатів отриманих дослідів, він прийшов до висновку, що інертна і тяжіюча маси рівні з точністю, не більшою за $\epsilon = 10^{-3}$ $\epsilon = 10^{-3}$.

Сучасна теоретична фізика виходить з того, що інертна і гравітаційна маса є рівними (хоча правильніше було б говорити про пропорційність між ними), однак обґрунтування фізичних основ правомірності даного положення нею не приводяться і не розглядаються. Канонічною експериментальною ж основою для такого уявлення вважається дослід Етвеша 1894 року і подібні йому, проведені пізніше. Ідея досліду і методика його постановки полягають в наступному ([5],[25]). На поверхні земної кулі (мал.15) на широті φ φ встановлюються крутильні терези з коромислом довжиною l , розміщеним перпендикулярно до меридіана, до кінців якого



приєднуються два тіла з однаковими масами $m_{гр1}$ $m_{гр1}$ і $m_{гр2}$ $m_{гр2}$, виготовленими з різних речовин. На ці тіла діятимуть сили тяжіння $F_{гр1}$ $F_{гр1}$ і $F_{гр2}$ $F_{гр2}$, направлені до центра Землі та зумовлені їх гравітаційними масами, а також відцентрові сили інерції $F_{відц1}$ $F_{відц1}$ та $F_{відц2}$ $F_{відц2}$, що направлені від осі обертання терезів і зумовлені їх інертними масами $m_{ін1}$ $m_{ін1}$ і $m_{ін2}$ $m_{ін2}$. На початку досліду коромисло з тягарцями зрівноважуються в горизонтальному напрямку. Припускається, що у випадку, коли гравітаційна та інертна маси не пропорційні одна одній, то при повороті коромисла з тягарцями на 180° 180° воно має відхилитися від горизонталі. Стверджується, що в результаті експерименту відхилень, що перевищують $6 \cdot 10^{-4}$ $6 \cdot 10^{-4}$ дугових секунди не спостерігалося; відхилення мали місце, але носили випадковий характер; точність, з якою тяжіюча та інертна маси є пропорційними, є близькою до $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-9}$ $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-9}$.

Уважний аналіз даного експерименту дозволяє вказати щонайменше чотири суттєвих методологічних прорахунки, причому як з суто технічної сторони, так і з точки зору трактування отриманих результатів.

1. Коректність результатів експерименту не викликала б сумнівів, якби гравітаційні та інертні маси перед початком досліду були б виміряні незалежними способами. Але вибір рівних гравітаційних мас відбувався шляхом зважування тіл на тій самій широті Землі, що автоматично означає вплив ще до початку досліду сил інерції, при якому частина гравітаційної маси в межах кожного тіла могла бути скомпенсованою за рахунок маси інертної;

2. Суттєва різниця між тяжіючою та інертною масами не може бути виявлена в даному чи подібному досліді, оскільки фізичні властивості останньої пов'язані із зміною швидкості тіла-носія, а дослід проводився при взаємно нерухомих Землі та експериментальній установці. Звідси слідує, що методологічна легітимність дослідів Ньютона з маятниками є вищою і подібні досліді повинні мати динамічний, а не статичний характер;

3. Незмінність положення горизонтальної осі крутильних терезів, строго кажучи, зовсім не свідчить про пропорційність (а при певному виборі одиниць і рівність) інертної і гравітаційної мас. Мова може вестися тільки про існування взаємно компенсуючих силових факторів, при яких не спостерігається відхилення коромисла. Наприклад, оскільки будь-які крутильні терези містять всі елементи важільних терезів і додатковий обертальний момент, зумовлений можливою різницею інертних мас, міг бути скомпенсований не стільки моментом пружних сил в нитці підвісу, а скоріше моментом сили, який з'явився по причині зміщення центра маси установки при повороті коромисла на 180° 180° .

4. Запишемо умову рівноваги сил, що діють обидва тіла:

$$F_{\text{гр1}} + F_{\text{відц1}} F_{\text{гр1}} + F_{\text{відц1}} = F_{\text{гр2}} + F_{\text{відц2}} F_{\text{гр2}} + F_{\text{відц2}} ;$$

$$m_{\text{гр1}} g + m_{\text{ін1}} \omega^2 R \cos \varphi = m_{\text{гр2}} g + m_{\text{ін2}} \omega^2 R \cos \varphi$$

$$m_{\text{гр1}} g + m_{\text{ін1}} \omega^2 R \cos \varphi = m_{\text{гр2}} g + m_{\text{ін2}} \omega^2 R \cos \varphi ;$$

$$(m_{\text{гр1}} - m_{\text{гр2}}) g = (m_{\text{ін1}} - m_{\text{ін2}}) \omega^2 R \cos \varphi$$

$$(m_{\text{гр1}} - m_{\text{гр2}}) g = (m_{\text{ін1}} - m_{\text{ін2}}) \omega^2 R \cos \varphi$$

З останнього співвідношення слідує, що вибір за зважуванням рівних мас $m_{\text{гр1}} = m_{\text{гр2}}$ формально приводить до рівності й мас $m_{\text{ін1}} = m_{\text{ін2}}$. Але це зовсім не означає рівності чи пропорційності гравітаційної та інертної мас в межах одного й того ж тіла! Неважко бачити, що при умові $m_{\text{гр}} \neq m_{\text{ін}}$ для кожного з тіл умова рівноваги сил все рівно буде виконана, важливо щоб тільки $m_{\text{ін1}} = m_{\text{ін2}}$, а результат експерименту Етвеша свідчить не більш ніж про те, що $F_{\text{гр}} + F_{\text{відц}} = \text{const}$, що близько співвідноситься з розглянутим вище механізмом співвідношення між силою тяжіння та відцентровою силою інерції, де має місце сталість сумарних тисків середовища $p_{\text{грав}} + p_{\text{ін}} = \text{const}$.

РОЗДІЛ 7. АЛЬТЕРНАТИВНА ТЕОРЕТИЧНА МОДЕЛЬ ПОТЕНЦІАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ГРАВІТАЦІЙНО ВЗАЄМОДІЮЧИХ ТІЛ

Що ми знаємо про енергію?

Енергія – дуже поважна у фізиці величина. Вона має велике теоретичне і прикладне значення. Без її урахування неможливо створити будь-яку фізичну теорію, побудувати жодний технічний пристрій. Поняття енергії є ключовою частиною не менш поважного у фізиці закону збереження. Енергія проявляє себе на всіх рівнях організації матерії, маючи тенденцію зростання питомої її величини при переході до більш тонкої структури.

Чіткого означення енергії не існує. Але якщо матерія, існуючи у вигляді поля та речовини чи інших, ще не відомих видах, перебуває у вічному русі, то в масштабі Всесвіту енергія – це загальний запас такого руху. Перехід від одного виду руху до іншого супроводжується перетворенням енергії, причому при таких трансформаціях її видів у фізиці не повинно залишатися місця для ідеалізацій на кшталт ізольованих систем.

Енергія завжди має матеріального носія, існуючи як у вигляді речовини, так і у вигляді поля, проте змінюватись може тільки в процесах. Кількісною мірою зміни енергії в фізичних процесах є виконана робота. При цьому робота виступає й

засобом визначення енергії, оскільки вважається, що практичне значення має не сама енергія, а її зміна. Робиться така оцінка енергії надзвичайно спрощеним чином: початкове значення енергії умовно приймається за нуль, тоді кінцеве значення чисельно дорівнює отриманій корисній роботі. Але при такій методології визначення енергії дуже часто, як свідчить історія фізики, поза увагою залишалися приховані форми руху матерії, які впливають на енергетичний баланс фізичних процесів, що робить неможливим розуміння їх внутрішнього механізму. Це приводило і приводить до затяжних криз в природознавстві, коли начебто «матерія зникла, а залишилися одні рівняння.» Дуже часто фізики забувають, що процеси зміни енергії супроводжуються не тільки виконаною роботою, а ще й як розсіювання енергії, так і її концентрацією.

Розрізняють кінетичну енергію, пов'язану з рухом, та потенціальну, пов'язану із взаємодією. Слід зазначити, що так як в основі будь-якої польової взаємодії лежить певна форма руху «тонкої» матерії (структурних часток – «квантів поля»), то по мірі накопичення знань про цю матерію грань між кінетичною і потенціальною енергіями буде стиратися, з'явиться розуміння, що це прояви однієї, більш фундаментальної енергії. Фізичні тіла можуть мати одночасно як кінетичну, так і потенціальну енергію. Сума кінетичної і потенціальної енергії в

механічних процесах називається повною механічною енергією $W = W_k + W_n$. Повна механічна енергія системи залишається сталою в будь яких механічних процесах і може переходити з одного виду в інший. Кінетична, потенціальна і, відповідно, повна енергія залежать від маси. Кінетична енергія виражається через

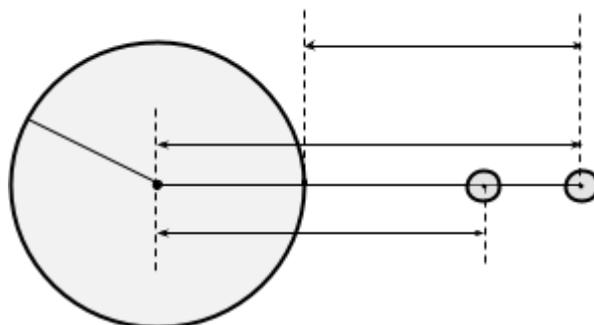
$$W_k = \frac{mv^2}{2}$$

квадрат швидкості за формулою, потенціальна ж енергія залежить від координат. Звідси слідує, що кінетична енергія залежить від вибору системи відліку в силу відносності швидкості, а потенціальна енергія залежить від вибору значення координати, при якій вона має нульове значення («нульовий рівень»).

Методологічні та дефініційні принципи, на яких базується поняття потенціальної енергії тіла під дією консервативних сил, можна розглянути (не застосовуючи при цьому апарату інтегрального числення з міркувань шкільного курсу фізики) на такому прикладі [20]. Нехай тіло масою m переміщується вниз під дією сили тяжіння з деякої точки, розташованої на відстані r_2 від центра Землі в відносно близьку до неї точку, що знаходиться на відстані r_1 від центра Землі (мал.16).

При переміщенні тіла змінна в залежності від координат сила тяжіння виконує роботу A_{21} , величину якої обчислюють за формулою:

$$A_{21} = F_c(r_2 - r_1) = \frac{GMm}{r_c^2}(r_2 - r_1), \text{ де } GG \text{ і } MM - \text{ гравітаційна стала і маса}$$



Землі відповідно. Оскільки точки 1 і 2 знаходяться порівняно недалеко одна від одної, то можна вважати, що $r_c^2 = r_1 \cdot r_2$, і тоді

$$A_{21} = \frac{GMm}{r_1 r_2}(r_2 - r_1) = \frac{GMm}{r_1} - \frac{GMm}{r_2} = W_{n1} - W_{n2} \quad (3)$$

Останній вираз в рівності (3) вважається різницею потенціальних енергій тіла в положеннях 1 і 2. Далі формулу для розрахунку роботи змінної сили тяжіння екстраполюють на будь-які дві довільно взяті точки і різницю висот відповідно та покладаючи, що на поверхні Землі $r_1 = R, r_1 = R$, де RR - середній радіус Землі та $r_2 = r = R + H, r_2 = r = R + H$, де HH - висота над поверхнею Землі, вважають, що $W_{n1} = 0$ (як нульовий рівень потенціальної енергії).

Тоді величина потенціальної енергії як функції висоти при умові, що нульовий рівень енергії взято на поверхні Землі, має вигляд:

$$W_n = \frac{GMm}{R} - \frac{GMm}{R + H} = \frac{GMmH}{R(R + H)}. \text{ При цьому } W_n > 0 \text{ і якщо висота є малою порівняно з радіусом Землі } (H \ll R) (H \ll R), \text{ то формула набуває звичного}$$

для шкільного курсу фізики вигляду: $W_n = \frac{GMmH}{R^2} = mgH$, а на значних висотах $(H \gg R) (H \gg R)$ потенціальна енергія в такому випадку, як слідує з аналізу

формули, не змінюється і становить $W_n = \frac{GMm}{R}$. Часто нульовий рівень потенціальної енергії вибирають не на поверхні Землі, а на нескінченності. Тоді, після підстановки в рівняння (1) $r_2 = \infty$ і $W_{n2} = 0$ та враховуючи, що $r_1 = R + H, r_1 = R + H$ і опускаючи індекс 1 із-за довільності у

виборі висоти, отримують: $W_n = -\frac{GMm}{R+H} = -\frac{GMm}{r}$. За цією формулою можна знайти потенціальну енергію тіла на висоті H над поверхнею Землі *при умові, що нуль потенціальної енергії тіла знаходиться на нескінченно великій відстані від неї*. При цьому $W_n < 0$ і вважається, що в такому разі при віддаленні тіла від поверхні Землі його потенціальна енергія буде зростати, залишаючись від'ємною (абсолютне значення потенціальної енергії при цьому зменшується). Враховуючи,

що прискорення сили земного тяжіння поблизу поверхні Землі $g = \frac{GM}{R^2}$, то часто

останню формулу записують у вигляді $W_n = -\frac{mgR^2}{r}$. Можна нульовий рівень навіть взяти в центрі Землі [3], тоді при такому виборі і

при $r \leq R$ потенціальна енергія обчислюватиметься за формулою $W_n = \frac{mgr^2}{2R}$, на

поверхні Землі вона матиме значення $W_n = \frac{mgR}{2}$, а на нескінченно великій

відстані від неї становитиме $W_n = \frac{3mgR}{2}$.

Курс теоретичної фізики взагалі доводить, що потенціальна енергія визначається з точністю до довільної сталої величини C , залежної від вибору нульового рівня енергії:

$$A = \int Fdr = \int \frac{GMm}{r^2} dr = -\frac{GMm}{r} + C$$

Таким чином у фізиці складається ситуація, що потенціальна енергія є невизначеною, оскільки залежить від вибору константи C , яка задає положення нульового рівня енергії. У цьому контексті окремий інтерес становить знак потенціальної енергії.

Таким чином, сучасна теоретична фізика, маючи ряд достатньо різних точок зору щодо пріоритетності допустимих моделей, трактує поняття потенціальної енергії тіла, що взаємодіє гравітаційними силами з центром тяжіння, на основі на таких методологічних і дефініційних принципів:

1. Потенціальна енергія тіла масою m на відстані r від центра тяжіння – це робота, виконана гравітаційною силою при переході тіла на нульовий рівень енергії;
2. Практичне значення має зміна потенціальної енергії, а не безпосередньо величина енергії;
3. Значення і знак потенціальної енергії залежать від вибору нульового рівня енергії, який, в принципі, може бути вибраний довільно;

4. З відстанню потенціальна енергія за модулем змінюється гіперболічно.

Як слідує з приведеного вище огляду, в основі поняття та методики розрахунку потенціальної енергії лежить теоретична модель, яка визначає її як величину механічної роботи, виконаної гравітаційними силами при певних крайових умовах, пов'язаних з вибором нульового рівня і переходу тіла з даної точки простору на цей вибраний рівень. Фактично ця модель побудована на достатньо примітивній логіці. Уявімо собі нескінченно простягнуту вгору драбину і щоразу, піднімаючись вгору на один щабель, ми дозволяємо падати вниз без початкової швидкості і тертя камінцям однакової маси. Далі вважаючи, що сили гравітації виконують роботу тим більшу і, відповідно, утворений в результаті падіння «кратер» (на що витратиться повністю «до нуля» набута енергія) буде тим більший, чим з вищого щабля кинуто камінь, то таким чином, вважається, що

$$A = W_n(H) - W_0 = W_n(H) - 0 = W_n(H)$$

Але тут буде доречним ряд критичних зауважень:

1. Фактично в прийнятій моделі потенціальна енергія як функція координат заміщена механічною роботою, яка, враховуючи обернено квадратичну залежність гравітаційної сили від координати, обчислюється як *сума добутків сили на елементарне переміщення*, вздовж якого сила мало змінюється. Проте потім задана таким чином потенціальна енергія фігурує в багатьох рівняннях і законах механіки (наприклад, в задачі двох тіл) у вигляді однозначної функції координати тіла $W_n = W_n(r)$. З цієї точки зору було б логічнішим дати незалежне означення потенціальної енергії, з якого б слідувало, зокрема, що механічна робота, виконана гравітаційною силою, є результатом зміни потенціальної енергії, а не навпаки. На сьогодні в фізиці немає такого незалежного означення. Враховуючи, що потенціальна енергія притаманна не тільки силам гравітації, але й кулонівським, міжмолекулярним, ядерним силам, таке незалежне означення могло б пролити світло на природу цих взаємодій;

2. Результатом дії сили може бути не тільки зміна швидкості тіла, а ще й його деформація. Наприклад, за основу визначення потенціальної енергії камінця можна було б, підвішуючи його нерухомо на кожному щаблі драбини, взяти викликану гравітацією деформацію каменя в залежності від висоти і вимірювати його потенціальну енергію цією роботою деформації. Така теоретична модель теж принципово можлива і, до речі, зовсім не позбавлена змісту в контексті реально існуючих, проте зовсім недосконало вивчених, припливних сил, механізм дії яких базується на аналогічних засадах;

3. Існують обгрунтовані сумніви в тому, що виконана робота і потенціальна енергія будуть весь час зростати, адже з кожним наступним щаблем *відбуватиметься не тільки зростання висоти H , з одного боку, але й обернено*

квадратичне зменшення гравітаційної сили, - з іншого. При цьому приріст величини механічної роботи, починаючи з якоїсь висоти, набуде нелінійного характеру і взагалі припиниться, коли тіло досягне висоти, при якій ефективна гравітаційна дія з боку центрального тяжіючого тіла зникає.

Уявлення про силу взаємодії та її потенціальну енергію істотно залежать від прийнятої моделі взаємодії, але природа гравітації не з'ясована. Існує багато непрямих ознак того, що сили гравітації і сили інерції діють сумісно, тому природньо, що цей зв'язок проявиться і в енергетичних складових відповідних механічних процесів. Баланс цих сил робить можливими різні форми орбіт космічних об'єктів, а шлях встановлення істинної фізичної природи потенціальної енергії лежить через необхідність постановки питання про середовище - носій енергії можливої граві-інерційної взаємодії та можливі форми його руху. Проте подібних питань сучасна фізика не ставить, обмежуючись формально-математичним описом фізичних процесів.

Вважається, що нульовий рівень потенціальної енергії можна вибирати довільно. У приведеному вище прикладі «нуль» потенціальної енергії було взято на поверхні Землі. Майже завжди, як слідує з розглянутих фізичних посібників, нульовий рівень вибирається на нескінченності. Можливість довільного вибору нульового рівня мотивується, знову ж таки, з міркувань математичного

$$A = -\frac{GMm}{r} + C = W_{\text{п}}(r) + C \quad (4)$$

формалізму, оскільки робота гравітаційних сил визначена з точністю до довільної сталої C , яка й визначає, де буде розташовуватись нульовий рівень, а також тим, що, як вважається, практичне значення має не сама потенціальна енергія, а її зміна. В основі приведеної вище логіки лежить, як і раніше, ідея, що механічна робота є ключовим критерієм для визначення потенціальної енергії. Слідуючи такою логікою, стає зрозуміло, що потенціальна енергія як функція, залежна від координати, втрачає фізичний зміст, поки не зроблено вибір нульового рівня. Така логіка абсолютно відірвана від фізичної реальності, оскільки одне й те ж саме тіло перебуває в одних і тих самих фізичних умовах, але чомусь має різні значення і навіть знак в залежності від того, де вибрано «нуль» потенціальної енергії. Такий підхід є неприпустимим. Досліджуване тіло фізично взаємодіє саме з центральним тяжіючим тілом, тому нульовий рівень треба пов'язувати саме з ним, і причому не з його центром тяжіння, а з його поверхнею, оскільки саме вона обмежує можливий рух падаючого тіла. Для Землі було б доцільно пов'язувати нульовий рівень потенціальної енергії з рівнем моря. Окремий інтерес представляє вибір нульового рівня в ситуації, коли космічні об'єкти обертаються відносно спільного центра мас (барицентру), як це має місце у подвійних зір чи планет (наприклад, у Плутона і його супутника Харона, барицентр яких розташований за межами Плутона).

Не виключено, що саме міркування зручності при математичних перетвореннях лежать в основі дуже важливого у фізиці положення про те, що знак потенціальної

енергії не тільки для гравітаційних сил, але й для будь-яких потенціальних сил притягання, вважається від'ємним. Дійсно, якщо у співвідношенні (4) нульовий рівень енергії вибрати нескінченно віддаленим, то стала $C=0$, а потенціальна

енергія стає від'ємною: $W_n(r) = -\frac{GMm}{r}$ або $W_n(H) = -\frac{GMm}{R+H}$. Один поважний курс фізики пояснює це так: «максимальною енергією маси, що зазнають тяжіння, володіють при нескінченній відстані між ними. У цьому положенні потенціальна енергія вважається рівною нулю. У всякому іншому положенні вона менша, тобто від'ємна» [21].

Приведемо деякі критичні зауваження з цього приводу.

1. Той факт, що потенціальна енергія на нескінченності дорівнює нулю, має в принципі достатньо просте пояснення: з віддаленням від тяжіючого центру його ефективна гравітаційна дія прямує до нуля і тому гравітаційне захоплення космічного об'єкта (наприклад, астероїда) потенційно може і не відбутися. Але які є фізичні підстави для того, щоб вважати, що при цьому його потенціальна енергія становитиме максимально можливе значення?

2. Приведений огляд містить певну невизначеність у питанні: що ж вважати аргументом функції в потенціальній енергії – відстань r від центра тяжіючого тіла до об'єкта чи висоту H його орбіти? Якщо це r , то тоді при $r=0$ потенціальна енергія набуває нескінченно великих зі знаком «-» значень; якщо це H , то при $H=0$ кожен кілограм тіла, що знаходиться, наприклад, на

$$W_n(0) = -\frac{GM}{R} \approx -6,28 \cdot 10^7 \text{ Дж}$$

поверхні Землі, має потенціальну енергію ! Який фізичний зміст цієї енергії? Слідуючи логікою загальноприйнятої теорії – це робота, яку треба виконати проти сили тяжіння Землі, щоб перемістити кожен кілограм тіла з її поверхні на нескінченність. Але чи може ця робота бути реально виміряною? Що означає «перемістити на нескінченність», це - як далеко? І чому, як би нескінченно ми не переміщували туди тіло, ця енергія завжди має одне й те саме значення? Чому для невеликих висот для розрахунку потенціальної енергії використовують привабливу за своєю простотою формулу $W_n = mgH \geq 0$, яка повертає невід'ємні значення, а наприклад, для обчислення повної механічної енергії сателіта, що обертається навколо планети, потрібна виключно від'ємна

$$W_n(r) = -\frac{GMm}{r}$$

потенціальна енергія у вигляді ? Що взагалі фізично означає від'ємна енергія? Вона нібито є, і в той же час її немає. Якщо в природі може існувати від'ємна потенціальна енергія, то повинно бути принципово інше фізичне обґрунтування її сутності. Проте нічого цього немає в означеній суто

математичними методами потенціальної зі знаком «-» енергії, яка входить в усі розрахункові щодо орбітальних параметрів рівняння!

Схоже, що методи, які використовує «офіційна» фізика в питанні потенціальної енергії базуються на замкнених самих на себе логічних побудовах, де кінцеві формули і висновки повертаються до початкових понять, а пізнання об'єктивної фізичної сутності гравітаційної взаємодії та її енергії обмежується поверховим формально-математичним описом. І чи не буде занадто сміливим поставити сучасній теоретичній механіці питання: а чи правильно вона взагалі розуміє базові принципи (не кажучи вже про глибинну природу) рухів небесних тіл?

Розглянуті вище теоретичні прорахунки можна усунути, якщо потенціальну енергію гравітаційної взаємодії розглядати як деяку потенціальну функцію $W_n(H) = F(H) \cdot H$, де H – висота, яка відраховується від поверхні планети, $0 \leq H < \infty$. Дана функція однозначно задає величину потенціальної енергії, враховує, що потенціальна енергія залежить як від величини сили гравітаційної взаємодії, так і від координати (висоти H) і утворена шляхом їх множення одна на одну. Найкраще таку ідею задання потенціальної енергії ілюструє такий приклад: потенційно небезпечний астероїд масою m попадає в поле тяжіння Землі і, перебуваючи на миттєвій висоті H від її поверхні, взаємодіє з нею з силою, миттєве значення якої становить $F(H)$. Така методологія не потребує обчислення роботи сили тяжіння по переходу тіла на нульовий рівень для знання величини його потенціальної енергії хоча б навіть з тих міркувань, що такий рух може і не відбутися (астероїд пролетить мимо Землі).

На основі закону всесвітнього тяжіння сила гравітаційної взаємодії супутника масою m та планетою масою M і радіусом R на висоті H задана

формулою: $F(H) = \frac{GMm}{(R+H)^2}$. Тоді потенціальну функцію супутника, що гравітаційно взаємодіє з планетою на висоті H потрібно обчислювати за

формулою: $W_n(H) = \frac{GMm}{(R+H)^2} H$.

Введемо позначення у формулі потенціальної функції: нехай $a = GMm$, $b = R$.

Тоді формула набуває вигляду $W_n(H) = \frac{aH}{(b+H)^2}$, зручного для застосування стандартної схеми дослідження функції і побудови її графіка.

Аналізуючи отриману формулу, отримуємо:

- При $H \rightarrow \infty$ маємо, що $W_n(H) \rightarrow 0$ і графік функції прямує до нуля;

- При $H = 0$ маємо, що $W_n(H) = 0$, тобто на нульовому рівні потенціальна енергія дорівнює нулю;
- Функція $W_n(H) > 0$ для всіх $H > 0$, таким чином, потенціальна функція є виключно невід'ємною величиною;
- Знайдемо похідну першого порядку функції і, прирівнявши її до нуля,

$$\begin{aligned} W_n'(H) &= \left(\frac{aH}{(b+H)^2} \right)' = \frac{(aH)'(b+H)^2 - aH((b+H)^2)'}{(b+H)^4} = \\ &= \frac{a(b+H)^2 - 2aH(b+H)}{(b+H)^4} = \frac{ab^2 + 2abH + aH^2 - 2abH - 2aH^2}{(b+H)^4} = \\ &= \frac{ab^2 - aH^2}{(b+H)^4} = \frac{a(b-H)(b+H)}{(b+H)^4} = \frac{a(b-H)}{(b+H)^3} = 0 \end{aligned}$$

отримуємо, що похідна дорівнює нулю в точці $H = b$ і при переході через неї змінює свій знак з «+» на «-». Таким чином, при $H = b$ має місце максимум

функції $W_n = W_n(H)$. Значення функції в точці екстремуму $W_n(b) = \frac{a}{4b}$.

Знайдемо похідну другого порядку функції і, прирівнявши її до нуля,

$$\begin{aligned} W_n''(H) &= \left(\frac{a(b-H)}{(b+H)^3} \right)' = a \frac{-(b+H)^3 - 3(b-H)(b+H)^2}{(b+H)^6} = \\ &= -a \frac{b^3 + 3b^2H + 3H^2b + H^3 + (3b - 3H)(b^2 + 2bH + H^2)}{(b+H)^6} = \\ &= -a \frac{b^3 + 3b^2H + 3H^2b + H^3 + 3b^3 - 3b^2H + 6b^2H - 6H^2b + 3H^2b - 3H^3}{(b+H)^6} = \\ &= -a \frac{-2H^3 + 6b^2H + 4b^3}{(b+H)^6} = 2a \frac{H^3 - 3b^2H - 2b^3}{(b+H)^6} = 2a \frac{(b+H)^2(H-2b)}{(b+H)^6} = \\ &= 2a \frac{H-2b}{(b+H)^4} = 0 \end{aligned}$$

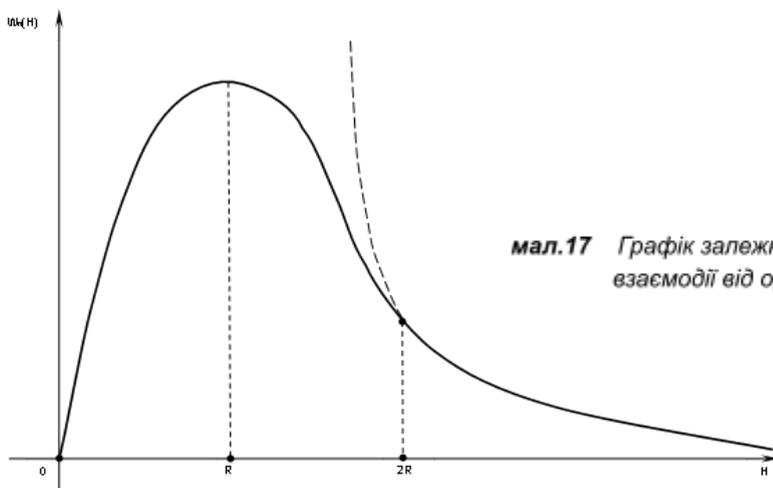
бачимо, що похідна другого порядку дорівнює нулю в точці $H = 2b$ і при переході через неї змінює свій знак з «-» на «+», тому при $H = 2b$ має місце точка перегину з випуклості графіка функції вгору до випуклості вниз. Значення

функції в точці перегину $W_n(2b) = \frac{2a}{9b}$.

Повертаючись до значень констант aa та bb , бачимо, що на висоті, рівній радіусу планети, має місце максимум потенціальної енергії супутника, а на висоті, рівній двом радіусам планети існує перегин, після якого потенціальна енергія спадає гіперболічно.

При $H = R$ потенціальна енергія становить $W_n(R) = \frac{GMm}{4R}$, при $H = 2R$ потенціальна енергія набуває значення $W_n(2R) = \frac{2GMm}{9R}$.

Приблизний графік потенціальної функції представлено нижче (мал.17)



мал.17 Графік залежності потенціальної функції взаємодії від орбітальної висоти

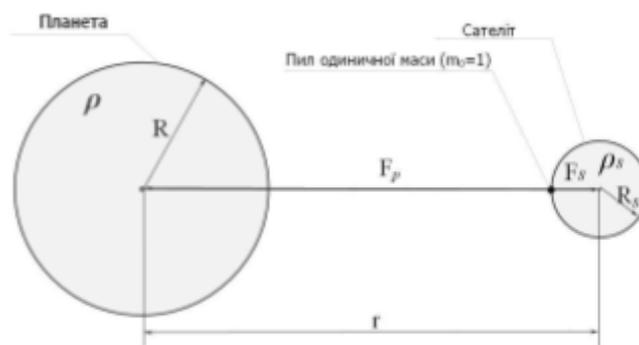
Аналіз запропонованої формули і графіка показує, що:

- при $H \ll R$ маємо $W_n(H \ll R) \approx \frac{GMm}{R^2} H = mgH$, що потенціальна енергія зростає лінійно з висотою і формула повертає відомий з шкільного курсу фізики вираз для обчислення потенціальної енергії;
- при $H \gg 2R$ маємо $W_n(H \gg 2R) \approx \frac{GMm}{H}$ і потенціальна енергія при зростанні висоти зменшується гіперболічно, у повній відповідності з кеплеровою задачею для фінітних та інфінітних рухів.

Наявність максимуму потенціальної енергії при $H = R$ може означати стан найбільшої гравітаційної нестабільності як самого супутника, так і його орбіти, після чого при подальшому зменшенні висоти супутник або його уламки гарантовано з часом упадуть на планету. При цьому зростання потенціальної енергії при зменшенні висоти до точки максимуму може не супроводжуватися зменшенням кінетичної енергії сателіта і, відповідно, його орбітальної швидкості, як того вимагає закон збереження повної механічної енергії, а витратиться на збільшення механічної напруги всередині сателіта, що в кінцевому випадку може призвести до його фрагментації або руйнування. Як відомо [13], супутник Марса Фобос, який обертається від нього на відстані 9,4 тис. км, що становить $H = 1,77R$ Марса з швидкістю 2 метри в століття по спіральній траєкторії наближається до Марса. В NASA дійшли

висновку, що гравітація Марса руйнує Фобос. Такі дані були представлені на щорічній нараді Відділення планетарної науки American Astronomical Society у 2006 році. Вивчивши канали і великі борозни на поверхні супутника, було висунуте припущення, що вони виникли під впливом гравітаційних сил, що розтягують Фобос. Надзвичайно низька середня густина Фобоса вказує на структуру супутника з порожнинами, що складають 25-45% його об'єму. Гравітаційний вплив призведе до того, що Фобос розвалиться на шматки протягом 30-50 мільйонів років.

Факт такого руйнування пов'язаний з так званою межею Роша. Нехай мале тверде космічне тіло (сателіт) сферичної форми радіусом R_s і густиною ρ_s рухається по круговій орбіті радіусом r , відраховуючи від центра тяжіння сферичного тіла (планети) радіусом R і густиною



ρ (мал.18), причому маса планети є набагато більшою маси сателіта [3]. Розглянемо нескінченно малі пробні частинки (пил) умовної одиничної маси $m_0 = 1$ на тій стороні сателіта, яка є ближчою до поверхні планети. Ці частинки притягуються до центра сателіта силами його самогравітації :

$$F_s = \frac{Gmm_0}{R_s^2} = [m_0 = 1] = \frac{G\rho_s V}{R_s^2} = \frac{4\pi\rho_s R_s^3}{3R_s^2} = \frac{4}{3} \pi G\rho_s R_s$$

і зазнають дії припливної

сили з боку центрального тіла:

$$\begin{aligned} F_p &= F_{нов} - F_{цен} = \frac{GMm_0}{(r - R_s)^2} - \frac{GMm_0}{r^2} = [m_0 = 1] = \frac{4\pi}{3} G\rho R^3 \left(\frac{1}{(r - R_s)^2} - \frac{1}{r^2} \right) = \\ &= \frac{4\pi}{3} G\rho R^3 \left(\frac{1}{r^2 - 2R_s r + R_s^2} - \frac{1}{r^2} \right) = [R_s \ll r] \approx \frac{4\pi}{3} G\rho R^3 \frac{r^2 - (r^2 - 2R_s r)}{r^4} = \\ &= \frac{4\pi}{3} G\rho R^3 \frac{2R_s}{r^3} \end{aligned}$$

Припливна сила перевищує силу самогравітації і приводить до руйнування сателіта, якщо

$$F_s < F_p, \text{ тобто } \frac{4\pi}{3} G\rho_s R_s < \frac{4\pi}{3} G\rho R^3 \frac{2R_s}{r^3}. \text{ Після ряду скорочень отримуємо:}$$

$$\rho_s < \frac{2R^3}{r^3} \rho, \text{ звідки } r = \sqrt[3]{\frac{2\rho}{\rho_s}} R \approx 1,26 \sqrt[3]{\frac{\rho}{\rho_s}} R$$

Припливна сила призведе до деформації сателіта вздовж осі, направленої до центра планети, і при відстані, меншій або рівній за деяку відстань r_{RL} , відомій як межа Роша, він зазнає саморуйнування, так як припливна сила перевищує силу самогравітації.

Приведена вище формула стосується твердих тіл, здатних зберігати свою форму під дією зовнішніх сил і називається «твердою» межею Роша. Якщо ж сателіт складається з ідеальної нестисковної рідини або з окремих фрагментів, що утримуються лише гравітацією, то «рідка» межа Роша майже подвоюється і розраховується за формулою:

$$r_{RL} \approx 2,44 \sqrt[3]{\frac{\rho}{\rho_s}} R$$

Оскільки $r = R + H$, то назвемо величину

$$a_{RL} = r_{RL} - R = \left(\sqrt[3]{\frac{2\rho}{\rho_s}} - 1 \right) R$$

орбітальною межею Роша.

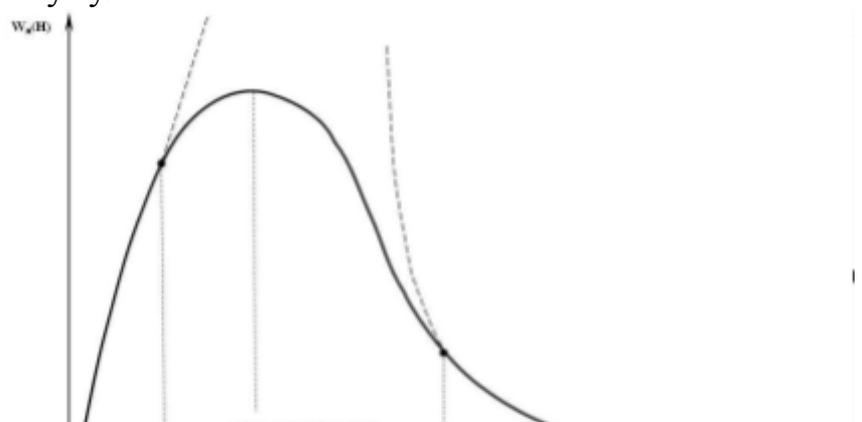
Але якщо відбудеться зіткнення сателіта з планетою, то $a_{RL} = 0$ і тоді

$$\sqrt[3]{\frac{2\rho}{\rho_s}} = 1 \Rightarrow \frac{2\rho}{\rho_s} = 1$$

Тому звідси слідує умова або критерій нефрагментації - якщо густина супутника, що перебуває нижче орбітальної межі Роша, не менш ніж в 2 рази перевищує густину центрального тяжіючого тіла ($\rho_s \geq 2\rho$), то він не зазнає руйнування припливними силами і цілком, а не окремими фрагментами, зіткнеться з цим тілом.

Межа Роша визначається різницею припливної сили і сили самогравітації, і тому вона має безпосередній стосунок до потенціальної енергії сателіта відносно центрального тіла тяжіння. Якщо нанести орбітальну межу Роша a_{RL} на отриманий вище графік потенціальної енергії, то вона приблизно відповідатиме на графіку переходу потенціальної енергії від нелінійної до лінійної зміни при зменшенні висоти орбіти сателіта. Так як положення орбітальної межі Роша a_{RL} визначається співвідношенням густин планети і сателіта, то, відповідно цей перехід може наступати при різних значеннях потенціальної енергії, в тому числі і достатньо близько до її максимуму.

Це означає, що при відстанях, менших за орбітальну межу Роша ($H \leq a_{RL}$), сателіт або його фрагменти (в



залежності від умови нефрагментації ($\rho_s \geq 2\rho$) зазнають неминучого зіткнення з планетою («зона падіння» на мал.19). З іншого боку, при висотах орбіт, більших за подвоєний радіус планети ($H \geq 2R$), сателіт перебуває на стабільній орбіті у повній відповідності з законами Кеплера («кеплерова» зона).

Діапазон висот орбіт $a_{RL} \leq H \leq 2R$ відповідає зоні макроквантових [7] процесів в системі «планета-сателіт», причому точка максимуму потенціальної енергії ($H = R$) належить цій зоні і розбиває її на два інтервали: $(R \leq H \leq 2R)$, де при зменшенні висоти орбіти потенціальна енергія зростає і $(a_{RL} \leq H \leq R)$, в якому потенціальна енергія сателіта зменшується при зменшенні висоти. Це область гравітаційної нестабільності і саме в ній розташовуються кільця планет, які є продуктами руйнування супутників, які в минулому оберталися на вищих орбітах. При цьому частина супутників рухаються всередині кілець планет і є для них супутниками-«пастухами» або джерелом речовини. У цій області має місце певна взаємна синхронізація періодів обертання, – так звані резонанси.

Нижче в табл.2 приведено порівняльну таблицю деяких фізичних та орбітальних характеристик супутників Марса та внутрішніх супутників планет-гігантів Сонячної системи.

Марс (R=3390 км, $\rho = 3,933 \frac{г}{см^3}$)					
Супутник	Радіус орбіти r, км	Висота орбіти H,		Густина $\rho_s, \frac{г}{см^3}$	Орбітальна межа Роша a_{RL} , R
		км	R		
Фобос	9377	5987	1,77	1,876	0,61
Деймос	23458	20068	5,92	1,471	0,75
Юпітер (R=70000 км, $\rho = 1,326 \frac{г}{см^3}$)					
Супутник	Радіус орбіти r, км	Висота орбіти H,		Густина $\rho_s, \frac{г}{см^3}$	Орбітальна межа Роша a_{RL} , R
		км	R		
Метида	128000	58000	0,83	0,86	0,46
Адрастея	129000	59000	0,84	0,86	0,46
Амальтея	181365	111365	1,59	0,86	0,46
Фіва	221889	151889	2,17	0,86	0,46
Іо	421700	351700	5,02	3,53	-0,09
Сатурн (R=58230 км, $\rho = 0,687 \frac{г}{см^3}$)					
Супутник	Радіус орбіти r, км	Висота орбіти H,		Густина $\rho_s, \frac{г}{см^3}$	Орбітальна межа Роша a_{RL} , R
		км	R		
S/2009 S 1	117000	58770	1,01	?	?
Пан	133600	75370	1,29	0,60	0,32
Дафніс	136500	78270	1,34	0,53	0,37

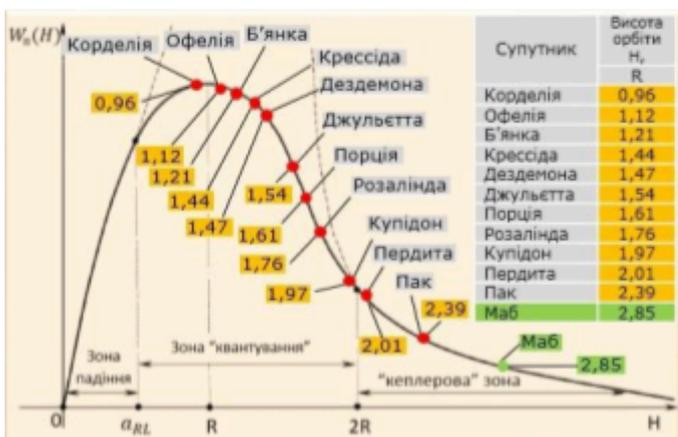
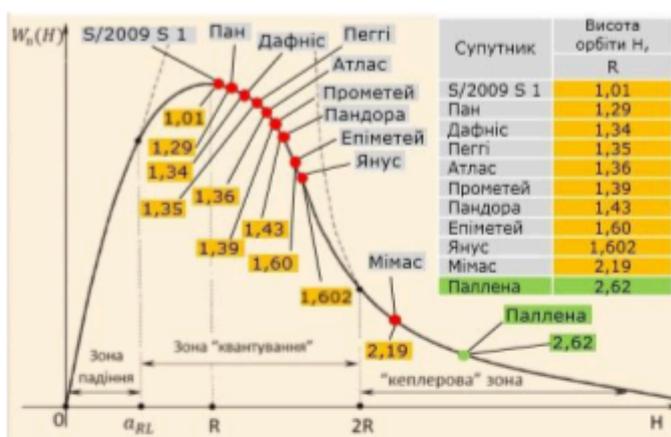
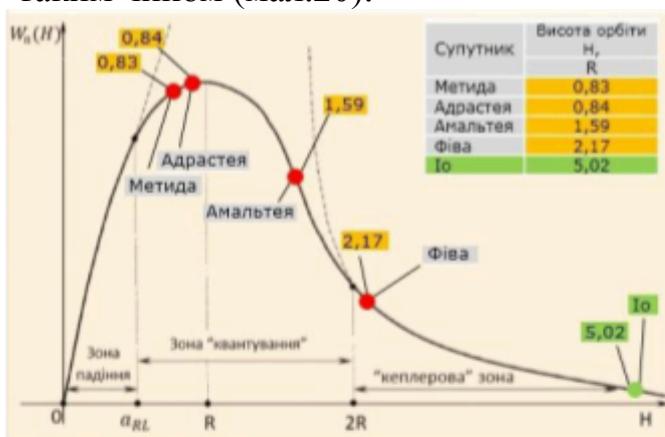
Пеггі	137000	78770	1,35	?	?
Атлас	137700	79470	1,36	0,63	0,30
Прометей	139400	81170	1,39	0,60	0,32
Пандора	141700	83470	1,43	0,60	0,32
Епіметей	151400	93170	1,60	0,69	0,26
Янус	151500	93270	1,602	0,64	0,29
Мімас	186000	127770	2,19	1,15	0,06
Мефона	194000	135770	2,33	?	?
Анфа	197700	139470	2,39	?	?
Паллена	211000	152770	2,62	1,25	0,03
Уран (R=25360 км, $\rho = 1,27 \frac{г}{см^3}$)					
Супутник	Радіус орбіти r, км	Висота орбіти H,		Густина $\rho_s, \frac{г}{см^3}$	Орбітальна межа Роша a_{RL} , R
		км	R		
Корделія	49752	24392	0,96	1,3	0,25
Офелія	53763	28403	1,12	1,3	0,25
Б'янка	59166	30806	1,21	1,3	0,25
Крессіда	61767	36407	1,44	1,3	0,25
Дездемона	62658	37298	1,47	1,3	0,25
Джультетта	64358	38998	1,54	1,3	0,25
Порція	66097	40737	1,61	1,3	0,25
Розалінда	69926	44566	1,76	1,3	0,25
Купідон	75256	49826	1,97	1,3	0,25
Пердита	76417	51057	2,01	1,3	0,25
Пак	86004	60644	2,39	1,3	0,25
Маб	97736	72376	2,85	1,3	0,25
Нептун (R=24620 км, $\rho = 1,638 \frac{г}{см^3}$)					
Супутник	Радіус орбіти r, км	Висота орбіти H,		Густина $\rho_s, \frac{г}{см^3}$	Орбітальна межа Роша a_{RL} , R
		км	R		
Наяда	48227	23607	0,96	1,3	0,36
Таласса	50075	25455	1,03	1,3	0,36
Деспіна	52526	27906	1,13	1,3	0,36
Галатія	61953	37333	1,51	0,75	0,63
Ларісса	73548	48928	1,99	1,3	0,36
Поліфем	105283	80663	3,28	?	?

До внутрішніх супутників відносяться природні супутники, орбіти яких повністю лежать всередині орбіт інших великих супутників та відносно близько до «батьківської» планети, маючи при цьому короткі орбітальні періоди, малу масу і неправильну форму. У таблиці виділено висоти орбіт супутників та їх «тверді» орбітальні межі Роша, виражені в радіусах R планети.

Якщо нанести висоти орбіт внутрішніх супутників на отриманий графік потенціальної енергії, то виявляється, що всі супутники перебувають на орбітах, висоти H яких є більшими, ніж радіус планети-«господаря», тобто їх

потенціальна енергія не перевищує максимального значення, або знаходяться поблизу точки максимуму енергії $H = R$ і їх потенціальна енергія близька до максимальної.

Виключення становлять Метида ($H = 0,83R$) і Адрастея ($H = 0,84R$) (система Юпітера), Корделія ($H = 0,83R$, система Урана) і Наяда ($H = 0,96R$, система Нептуна), які є найближчими до своїх планет і орбіти яких поступово знижуються, як вважається, із-за дії припливних сил, внаслідок чого ці супутники можуть бути в майбутньому поглинуті планетами. У розрізі кожної з планет розподіл орбітальних висот внутрішніх супутників по відношенню до умовного максимуму та точки перегину потенціальної енергії при $H = 2R$ виглядає таким чином (мал.20):



Як видно з представлених вище графіків, переважна більшість внутрішніх супутників знаходяться в зоні «квантування», а значна їх частина поблизу своїх

максимумів потенціальних енергій. При цьому Метида, Адрастея, Корделія є ще й супутниками-«пастухами» і, як показуються дослідження, основним джерелом речовини для кілець Юпітера і кільця ϵ Урана, а Наяда, як припускається, утворить кільце Нептуна при досягненні своєї межі Роша.

Як видно з таблиці, висоти H орбіт всіх супутників є більшими за їх орбітальні межі Роша, причому супутники Метида і Адрастея знаходяться найближче до своїх меж і як вже зазначалось, наближаючись до Юпітера, зазнають поступової фрагментації і дають матеріал для його кілець. Також звертає на себе увагу факт, орбітальні висоти більшості внутрішніх супутників вказаних планет не перевищують або знаходяться поблизу точки перегину $H = 2R$, висоти їх орбіт нарастають поступово, а більш масивні супутники, що несуть на собі основний орбітальний момент, розташовані *значно* далі (їх виділено в останніх рядках таблиць). Особливо добре ця різка межа орбітальних висот помітна для систем Юпітера (Фіва, $H = 2,17R$, далі Іо, $H = 5,02R$), частково Урана (Пердита, $H = 2,01R$, далі Пак, $H = 2,39R$), Нептуна (Ларісса, $H = 1,99R$, далі Поліфем, $H = 3,28R$).

Всі приведені вище особливості орбітальних висот внутрішніх супутників та пов'язані з ними макроквантові процеси не можуть бути пояснені в рамках прийнятої від'ємно-гіперболічної залежності потенціальної енергії від висоти

$$W_n(H) = -\frac{GMm}{R+H}.$$

Запропонована потенціальна функція залежності потенціальної енергії від висоти орбіти у вигляді

$$W_n(H) = \frac{GMm}{(R+H)^2} H$$

існуючими у ній максимумом потенціальної енергії при $H = R$ та гіперболічним спадом після $H = 2R$ проливає світло в цьому питанні, в крайньому випадку не суперечить реально існуючому розподілу орбіт внутрішніх супутників планет Сонячної системи.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного в роботі дослідження:

1. Встановлено, що виклики, в умовах яких вчителю фізики сучасної української школи доводиться здійснювати свою професійну діяльність, вимагають від нього не тільки постійного вдосконалення педагогічного інструментарію власної фахової майстерності, але й змушують переглянути рівень своєї підготовки в силу існування значної кількості проблемних та недосліджених питань теоретичного характеру в шкільному курсі фізики. Існування труднощів з поясненням сутності цілого ряду фізичних явищ, що мають відношення до механіки, термодинаміки, електромагнетизму, фізики атомного ядра є наслідком глибокої системної кризи в теоретичній фізиці, у якій є багато ознак, і яка є логічним наслідком прийнятої на сьогодні методології, в основі якої лежить не з'ясування внутрішнього механізму фізичних процесів, а лише створення формального феноменологічного їх опису з використанням складного і абстрактного математичного апарату. Представлено перелік проблемних питань та проаналізовано характер і загальні причини теоретичних труднощів, які виникають при їх розгляді;

2. Проаналізовано загальноприйняті теоретичні аспекти, що лежать в основі фізичних моделей матеріальної точки, абсолютно твердого тіла, інерціальної системи відліку. Встановлено їх принципову методологічну обмеженість, яка значно звужує простір для розгляду якісної сторони фізичних процесів та механізму взаємодій, які лежать в їх основі. Критерії, що встановлені при допустимості розгляду тіл в якості об'єктів даних моделей, є нечіткими, внутрішньо суперечливими та відірваними від реальних фізичних умов і, зокрема, приводять до існування ряду парадоксів, пов'язаних з нескінченними значеннями енергій взаємодії. Показано можливість розгляду механічних явищ з позиції принципово неінерціального їх характеру, на основі чого сформульовано гіпотезу, що пояснює факт аномального руху перигелію Меркурія;

3. Приведено факти не тільки направлених чи спотворених трактувань сучасною теоретичною фізикою наслідків ряду важливих фізичних дослідів, але й свідомого їх замовчування. Мова йде про позитивні результати експериментів, проведених з метою виявлення світового матеріального середовища в кінці XIX - на початку XX століть. Виявляється, що факт існування ефіру був *беззаперечно* встановлений не тільки в дослідях Майкельсона-Морлі, Міллера, але й в ряді проведених пізніше, в числі яких і експерименти, здійснені українським фізиком Ю.М. Галаєвим за допомогою радіоінтерферометра у 1998 і наступних роках. Ці факти, без сумніву, мають бути відомими не тільки представникам наукової спільноти, але й кожному вчителю фізики, оскільки існування ефіру ставить питання про фізичну неправомірність постулатів спеціальної теорії відносності, основи якої вивчаються і в шкільному курсі фізики;

4. Розглянуто концептуальне значення роботи І. Ньютона «Математичні начала натуральної філософії» у встановленні законів динаміки, зроблено порівняльний аналіз оригінальних та сучасних їх формулювань, в результаті якого виявились суттєві розбіжності в трактуваннях окремих положень цих законів щодо механізму формування контактних сил в процесі взаємодії. При цьому встановлено ключову роль сил інерції в цьому механізмі, що фактично означає неприпустимість їх ігнорування чи присвоєння їм статусу «фіктивних». Уточнено фізичний зміст одного з ключових атрибутів сил, місцем прикладення яких аж ніяк не може бути абстрактна точка, а лише поверхня певної, хай навіть і малої, площі;

5. Показано, що врахування факту можливої присутності світового матеріального середовища дає можливість не тільки кардинально вдосконалити існуючу модель фізичного тіла, але й глибше зрозуміти природу інертної та гравітаційної мас, сформувані підхід до розуміння якісної картини феномену гравітаційного тяжіння, з'ясувати фізичну сутність та механізм виникнення сил інерції. Вказано на можливість пояснення механізму взаємного гравітаційного тяжіння за рахунок модернізації теорії Лесажа, а також розглянуто динамічну модель балансу гравітаційних сил та відцентрових сил інерції як основного фактору, що робить можливим існування стабільних орбіт планет та їх супутників;

6. Здійснено аналіз теоретичної бази, що лежить в основі сучасних поглядів на потенціальну енергію тіла, що гравітаційно взаємодіє з деяким центральним тілом. Встановлено, що в багатьох підручниках, монографіях, довідниках існує ряд суттєвих різночитань та фізично неправомірних висновків і трактувань щодо поняття потенціальної енергії, які часто є наслідком математичного формалізму в даному питанні. Зокрема, це стосується знаку потенціальної енергії. При цьому показано, що прийнята на сьогодні методика означення потенціальної енергії як величини роботи сили тяжіння при певних крайових умовах, пов'язаних з вибором нульового рівня, є недосконалою, оскільки не враховує природу гравітаційної взаємодії і приводить до появи нескінченних значень потенціальної енергії. Вказано на неприпустимість довільного вибору нульового рівня потенціальної енергії та методологічну невизначеність сутності її від'ємної величини при виборі такого рівня на нескінченності;

7. Запропоновано альтернативну теоретичну модель потенціальної енергії гравітаційно взаємодіючих тіл, в основі якої лежить відмова від розгляду роботи сил тяжіння як основного критерію задання величини потенціальної енергії. Розрахунок її значення пропонується проводити на основі потенціальної функції, яка залежить від висоти H орбіти супутника відносно деякого встановленого середнього рівня поверхні центрального тяжіючого тіла, який і є нульовим рівнем енергії. Зокрема, запропоновано для Землі цей рівень вважати рівнем моря. З дослідження запропонованої функціональної залежності слідує наявність максимуму потенціальної енергії сателіта на висоті, рівній радіусу центрального тяжіючого тіла, існування фізично означає стан найбільшої гравітаційної

нестабільності його орбіти. Запропонована теоретична модель і формула потенціальної функції належно описує динаміку гравітаційного процесу при зміні висоти, позбавлена всіх суперечностей, що мають місце в офіційно прийнятій моделі, а також не суперечить реально існуючому розподілу орбіт внутрішніх супутників планет Сонячної системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Архангельский М.М. Курс физики. Механика: Учебн. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. М. : Просвещение, 1975. 424 с.: ил.;
2. Ацюковский В.А. Логические и экспериментальные основы теории относительности: аналитический обзор. М. : Изд-во МПИ, 1992. 56 с.: ил.;
3. Балк М.Б. Элементы динамики космического полёта. М. : Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит., 1965. 338 с.;
4. Галаев Ю.М. Измерение скорости эфирного ветра и кинематической вязкости эфира оптическим интерферометром. Харьков : ООО «Инфобанк», 2007. 44с.;
5. Голин Г.М., Филонович С.Р. Классики физической науки (с древнейших времен до начала XX в.): Справ. пособие. М.: Высш. шк., 1989. 576 с.: ил.
6. Гончаренко С.У. Формування наукового світогляду учнів під час вивчення фізики: посібник для вчителя. Київ : Рад. шк., 1990. 208 с.;
7. Гулак Ю.К. (Упорядн. Федій П.М., Дичко І.О.) Вибрані праці: Полтава : ПДПУ, 2002. 68 с.;
8. Дикке Р. Гравитация и вселенная. (Пер. с англ. Н.В. Мицкевича). М.: Изд-во «Мир», 1972. 102 с.;
9. Засекіна Т.М., Засекін Д.О. Фізика (профільний рівень): підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти. Київ : УОВЦ «Оріон», 2018. 304 с.: іл.
10. Иродов И.Е. Основные законы механики: Учебн. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. М. : Высш. школа, 1978. 240 с., ил.;
11. Кабардин О.Ф. Физика. Справочные материалы / Кабардин О.Ф. - М. : Изд-во «Просвещение», 1988. – 368 с.;
12. Ковальська Н. Ф. Роль самоосвіти в підвищенні професійної компетентності учителя / Н. Ф. Ковальська // Завучу. Усе для роботи. 2011. – № 9/10. – С. 14–16.
13. Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. Изд. 6-е, испр. и доп. М.: URSS, 2009. 697 с. : ил., табл.;
14. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М. : Наука, 1989. 687с.;
15. Максвелл Д.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. . М. : Гос. изд-во техн.-теорет. литературы, 1952. 685 с.;
16. Медведев Б.В., Спириков Д.В. П. Дирак и становление основных представлений квантовой теории поля. / УФН, 1989. – Т.153. Вып.1 – с.54.;
17. Осипов С.И., Осипов С.С. Основы тяги поездов. Учебник для студентов техникумов и колледжей ж/д тр-та. М.: УМК, 2000. 592с.;

18. Поиски механизма гравитации: сборник статей /под редакцией М.А. Иванова. Нижний Новгород: изд. Ю.А. Николаев, 2004. 304 с;
19. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.2: Электричество. М.: Наука, 1964. 335 с.;
20. Селезнев Ю.А. Основы элементарной физики. М. : Наука, 1969. 494 с.;
21. Сивухин Д.В. Общий курс физики: Учебное пособие в 5 томах. / Сивухин Д.В. - М. : Изд-во ФИЗМАТЛИТ, 2005. – Т.1: Механика. – 520 с.;
22. Сичевська З.В. Вивчення основ молекулярно-кінетичної теорії і термодинаміки в середній школі: посібник для вчителів. Київ : Рад. школа, 1979. 160 с.
23. Тарасов Л.В., Тарасова А.Н. Вопросы и задачи по физике (анализ характерных ошибок поступающих во втузы): учебное пособие. М.: Высш. шк., 1984. 256 с.;
24. Филонович С.Р. Судьба классического закона. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 240с.
25. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики. Т.1. Механика, молекулярная физика, колебания и волны. М. : Гос. изд-во техн.-теорет. литературы, 1951. 574с.
26. Хайкин С.Э. Силы инерции и невесомость. М. : Наука, Глав. ред. физ.-мат. лит., 1967. 312 с.
27. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. Том 1. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. 496 с.