

І.О. Мороз

Сумський державний педагогічний університет імені А.С.Макаренка

ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМІ ФОРМУВАННЯ НАУКОВОГО СВІТОГЛЯДУ МАЙБУТНЬОГО ВЧИТЕЛЯ ФІЗИКИ

Розглядається роль законів збереження в формуванні наукового світогляду майбутніх вчителів фізики. Аналізуються можливі методичні підходи розгляду закону збереження енергії.

Ключові слова; закони збереження імпульсу, моменту імпульсу, енергії, рівняння Лагранжа.

Постановка проблеми. Формування наукового світогляду майбутніх вчителів фізики відбувається на протязі всього періоду навчання. Але не всі теми, навіть не всі курси фізики, вносять однаковий внесок у цей процес. На наш погляд, серед тем, які найбільшою мірою впливають на формування цілісних уявлень про сучасну фізичну картину світу, на світоглядні, соціальні та навіть етичні погляди людей, в процесі навчання потрібно виділити теми, пов'язані з розглядом законів збереження. Викладання цих тем на основі сучасних уявлень теоретичної фізики є особливо актуальною проблемою в підготовці майбутніх учителів фізики, оскільки засвоєні ними наукові концепції та ідеї будуть надалі багато разів тиражуватися і, зрештою, у найближчій перспективі визначать інтелектуальний рівень випускників шкіл, і, як наслідок, - світоглядний настрій у суспільстві. Тому зазначені питання в системі підготовки вчительських кадрів з фізики повинні мати достатньо повне і сучасне науково-методичне обґрунтування, основане на загальних теоріях, які є фундаментом усієї теоретичної підготовки.

Аналіз актуальних досліджень [1-3], навчальних програм і навчальних посібників [4-6] показує, що при підготовці студентів педагогічних університетів розвитку світогляду відводиться достатньо велика увага, але, тим не менш, потенціал у формуванні наукового стилю

мислення студентської молоді, який міститься у вивченні законів збереження, не вичерпано. Значною мірою поза увагою залишається не лише їх зв'язок з властивостями простору та часу, але й взаємозв'язок законів збереження і законів руху. Це значно звужує можливості загальноосвітнього і світоглядного впливу законів збереження і тому методичні розробки, що стосуються як власне цих законів, так і їх використання у різних розділах фізики та посилення методологічної спрямованості їх навчання є дуже важливими, а в останній час - особливо актуальним. Це пов'язано з тим, що, як справедливо зазначають Л.Ю. Благодаренко і М.І. Шут, «...сьогодні внаслідок проникнення релігійних ідей та лженаук у всі сфери суспільного життя суттєво змінився світогляд людей. Ставиться під сумнів роль науки у системі культури, духовного життя суспільства. Людина почала вірити в те, що не все можна пояснити з позицій природничих наук, що єдина наукова картина світу не є абсолютною і може бути перебудована. Набули поширення прогностичні дослідження, ідеї проектування майбутнього, але не на основі наукової методології, а з використанням антинаукових догм, які по суті проголошують ідеалістичну філософію. Все це ускладнює формування у молоді діалектико-матеріалістичного світогляду і взагалі знижує інтерес до фізики як провідної природничої науки. Цьому необхідно рішуче протидіяти. Отже, у процесі навчання фізики слід розкривати зв'язок між фізикою і розвитком суспільної свідомості, між фізикою та сприйняттям оточуючого середовища» [7].

Зрозуміло, що в одній статті неможливо навіть перерахувати невирішені методичні проблеми, що стосуються методологічної ролі законів збереження в формуванні наукового світогляду майбутнього вчителя фізики. Тому основною метою даної статті є висвітлення окремих, але важливих і не повністю вирішених методичних питань, пов'язаних із законом збереження енергії та його зв'язку з властивостями простору та часу і рівнянням руху.

Виклад основного матеріалу. Завдання фізичної науки полягає в пошуку загальних законів природи і поясненні з їх допомогою різних явищ і процесів природи. Такими законами є, наприклад, закони Ньютона, що описують рух макроскопічних тіл, які при розв'язанні конкретної задачі можна розглядати як безструктурні частинки (матеріальні точки), рівняння Максвелла, що описують електромагнітні та оптичні явища, або закони квантової механіки - це закони руху частинок мікросвіту.

Рух, як макроскопічних тел. так і частинок мікросвіту, і всі явища природи здійснюються в часі та просторі. Тому закони, що описують явища та рухи, зумовлені властивостями простору і часу, найважливішими з яких є однорідність часу, ізотропність та однорідність простору. Весь накопичений у фізиці експериментальний і теоретичний матеріал показує, що до цих пір не виявлено жодного факту, який ставив під сумнів зазначені властивості простору та часу.

Рівняння руху в будь-якому випадку - це диференціальні рівняння, інтегрування яких, як правило, пов'язане зі значними математичними труднощами. А у випадку багатьох частинок (гази і конденсовані системи), або - коли закони взаємодії тіл або частинок взагалі невідомі, підхід до опису явищ і процесів на основі законів руху стає нездійсненним в принципі. Тому в таких випадках актуальним є використання альтернативних підходів до розв'язання задач, тобто використання не законів руху, а інших загальних законів, які впливають із властивостей простору та часу, але не зводяться до диференціальних рівнянь руху. Такими альтернативними шляхами до дослідження фізичних явищ є підходи, засновані на законах збереження, які стверджують наявність деяких фізичних величин, що зберігаються в процесі руху. Пошуки величин, які залишаються постійними є надзвичайно важливим напрямком наукових досліджень.

Закони збереження, на відміну від законів руху, не дають детальних вказівок на те, як повинен протікати той чи інший процес. Вони володіють

лише функцією заборони: якщо якийсь процес суперечить цим законам, то всі спроби його здійснити є безперспективними, тому що такий процес неможливий. Підтвердженням цьому є численні історичні факти про те, як багато навіть дуже талановитих людей намагалися побудувати вічний двигун, але всі такі «винаходи» були невдалими, оскільки суперечили закону збереження енергії.

Наукове і методологічне значення законів збереження визначається їх винятковою загальністю і універсальністю. Вони діють у фізиці мікросвіту і застосовні до космічних тіл. На їх основі виконується багато найважливіших технічних розрахунків. З ними пов'язано введення в сучасну фізику цілого ряду фундаментальних ідей, що мають принципове значення. Закони збереження певною мірою служать критерієм істинності будь-якої фізичної теорії. У законах збереження відбивається найважливіший діалектико-матеріалістичний принцип незнищенності матерії та її руху, взаємозв'язок і взаємоперетворюваність відомих форм руху матерії.

Рівняння руху є рівняннями, які описують зміни фізичних величин у часі і просторі. Перед уявним поглядом дослідника проходить нескінченна послідовність фізичних ситуацій. В сутності, фізика не цікавить якась одна ситуація в конкретний момент часу, яка не містить в собі руху, а цікавить саме послідовність ситуацій, за посередництвом якої здійснюється рух. При розгляді послідовності ситуацій важливим є не лише те, чим вони відрізняються, але й те, що в них спільне і що в них зберігається. Закони збереження відповідають на питання про те, що в послідовності фізичних ситуацій, які описуються рівняннями процесу, залишається незмінним, постійним. Зрозуміло, що фізична теорія повинна сформулювати це у вигляді постійних чисельних значень відповідних фізичних величин і вказати при яких умовах дані фізичні величини зберігаються.

У механіці, наприклад, закони збереження в математичному сенсі зводяться до так званих інтегралів руху. Однак наявність величин, які

зберігаються, виходить далеко за межі механіки - вони відіграють найважливішу роль у всіх розділах природознавства. Закони збереження, є фундаментальними законами природи, а не просто результатом математичних вправ з перетвореннями рівнянь руху.

Величинами, які з часом не змінюються, для замкнутих систем є імпульс, момент імпульсу, енергія, електричний заряд. Закони їх збереження дозволяють зробити деякі висновки про характер поведінки фізичної системи навіть у тих випадках, коли для цієї системи інші закони невідомі. Крім названих, існують закони збереження, справедливі лише для обмеженого класу фізичних систем і явищ. Такі численні закони збереження в теорії елементарних частинок.

Кожен закон збереження можна розглядати як конкретний прояв загального абсолютного закону збереження матерії і руху. Але не можна бути впевненим у тому, що той чи інший закон або його формулювання залишаться непорушними завжди. З розвитком науки і розширенням меж людського досвіду відбувається уточнення законів збереження. Так, у зв'язку з появою теорії відносності виявилось, що інертні властивості тіл залежать від енергії, а енергію слід визначати так, щоб вона не оберталася в нуль, коли тіло покоїться відносно обраної системи відліку. З розвитком фізики елементарних частинок виник цілий ряд нових законів збереження (баріонів заряду, лептонного заряду, дивності, ізотопічного спіну, парності) [8].

Із законами збереження молода людина вперше стикається ще при вивченні фізики в школі. На даному етапі вивчення фізики існує дуже мало можливостей обґрунтування цих законів, тому школярі сприймають закони збереження догматично - як свого роду заклинання. Та, на жаль, ситуація змінюється мало і після вивчення класичної механіки, тобто після того, як повинен бути здійснений детальний аналіз законів збереження та застосування їх для вивчення інших питань, наприклад, задач Кеплера, Ньютона, процесів розпаду та злиття часинок тощо.

Можна впевнено стверджувати, що всі студенти після вивчення класичної механіки готові, як заклинання, формулювати: «Імпульс, момент імпульсу та механічна енергія ізольованої системи не змінюються з часом». Але з такою ж впевненістю можна стверджувати, що через семестр після вивчення класичної механіки, лише незначна частина студентів згадає і не переплутає з якою конкретно властивістю простору та часу пов'язаний той чи інший закон збереження, а обґрунтувати своє міркування зможуть лише поодинокі студенти. Можливим поясненням такого стану речей є те, що обмаль аудиторного часу не дозволяє викладачу зосередити увагу на методологічній стороні питання, а в навчальних посібниках, за якими 50% навчального часу студенти повинні самостійно опрацьовувати матеріал, методологічним питанням теж приділяється мало уваги. Це теж має пояснення: для надання посібнику грифу МОН України існує дивна норма – кількості годин за навчальним планом повинна відповідати цілком певна кількість сторінок тексту посібника, що, зрозуміло, звужує можливості та ініціативу авторів посібників у розкритті методологічних аспектів.

Закон збереження імпульсу та його релятивістське узагальнення нами детально проаналізовано в статті [9], а закон збереження моменту імпульсу в посібнику [10]. Закон збереження механічної енергії зазвичай розглядається наступним чином.

Нехай задана система із N тіл, кожне з яких можна розглядати як безструктурну частинку (матеріальну точку). На кожну частинку можуть діяти інші частинки системи (внутрішні сили), а також тіла, які не входять в систему – це зовнішні сили. Оскільки для кожної матеріальної точки можна застосувати другий закон Ньютона, то можемо записати систему диференціальних рівнянь, які описують рух кожної частинки системи:

$$m_k \frac{d\vec{V}_k}{dt} = \vec{F}_k^i + \vec{F}_k^e + \vec{F}_k^{\partial uc} = -\frac{\partial U^i}{\partial \vec{r}_k} - \frac{\partial U^e}{\partial \vec{r}_k} + \vec{F}_k^{\partial uc}, \quad k = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (I)$$

де \vec{F}_k^i і \vec{F}_k^e - результуюча внутрішніх і відповідно зовнішніх консервативних сил, що діють на k -те тіло, U^i і U^e - потенціальна енергія внутрішніх і зовнішніх взаємодій, $\vec{F}_k^{\text{дис.}}$ - результуюча сил тертя, опору (дисипативних) сил, що діють на k -те тіло. Кожна частинка системи під дією потенціальних зовнішніх і внутрішніх та дисипативних сил за нескінченно малий проміжок часу dt здійснить переміщення $\vec{V}_k dt = d\vec{r}_k$, $k = 1, 2, \dots, N$. Помноживши вектор переміщення частинки на її рівняння руху (I), просумувавши потім одержані вирази за всіма частинками, після елементарних перетворень в лівій частині, одержимо:

$$dK = - \sum_{k=1}^N \frac{\partial U^i}{\partial \vec{r}_k} d\vec{r}_k - \sum_{k=1}^N \frac{\partial U^e}{\partial \vec{r}_k} d\vec{r}_k + dA^{\text{дис.}}, \quad (\text{II})$$

де K – кінетична енергія системи, $dA^{\text{дис.}}$ - робота всіх дисипативних сил на нескінченно малому переміщенні всіх частинок системи.

Потенціальна енергія, як внутрішніх, так і зовнішніх взаємодій, залежить від розташування частинок системи, тобто є функцією \vec{r}_k , $k = 1, 2, \dots, N$. Тут потрібно зробити наголос на тому, що між U^i і U^e існує принципова відмінність: потенціальна енергія зовнішніх взаємодій U^e може у явному вигляді залежати від часу, а потенціальна енергія внутрішніх взаємодій U^i , в силу однорідності часу, не може у явному вигляді залежати від часу, тобто можемо записати:

$$U^e = U^e(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N, t), \quad U^i = U^i(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \dots, \vec{r}_N) \Rightarrow$$

$$dU^e = \sum_{k=1}^N \frac{\partial U^e}{\partial \vec{r}_k} d\vec{r}_k + \frac{\partial U^e}{\partial t} dt; \quad dU^i = \sum_{k=1}^N \frac{\partial U^i}{\partial \vec{r}_k} d\vec{r}_k. \quad (\text{III})$$

Тому, з урахуванням (III), вираз (II) набуває вигляду:

$$dE = dA^{\text{дис.}} + \frac{\partial U^e}{\partial t} dt, \quad (\text{IV})$$

де $E = K + U^e + U^i$ - повна механічна енергія системи. Вираз (IV) за змістом – є законом зміни повної механічної енергії, який показує, що повна механічна енергія системи тіл, які можна розглядати як матеріальні точки, може змінюватись лише при наявності дисипативних сил і зовнішніх нестационарних силових полів. Зрозуміло, що у випадку відсутності дисипативних сил та в стаціонарному зовнішньому силовому полі, або за його відсутності (ізолювана система) повна механічна енергія системи є константою. Тут потрібно особливо підкреслити, що якби час не володів властивістю однорідності, то у виразі (IV), навіть у ізолюваній системі, в якій не діють дисипативні сили, повна механічна енергія не була б константою – у виразі (IV) у правій частині був би доданок $\frac{\partial U^i}{\partial t} dt$.

Зазначимо, що дефіцит аудиторного часу, на жаль, дуже часто спонукає викладачів в лекційній практиці закінчити розгляд закону збереження енергії висновками, які витікають з наведених вище міркувань та математичних викладень, що є великою методичною й методологічною помилкою. Ця помилка має декілька аспектів.

По перше, якщо обмежитись лише наведеними міркуваннями, то у студентів складеться враження, що проведені математичні викладення - це аналітичне доведення закону збереження повної механічної енергії в ізолюваній системі. Насправді закон збереження енергії не потребує доведення. Дійсно, як уже зазначалось, такі властивості як однорідність та ізотропність простору та однорідність часу є загально визнаними і підтверджуються всім досвідом природничих наук. Тому зміна з часом повної механічної енергії ізолюваної системи матеріальних точок, між якими існує лише потенціальна взаємодія, або при переносі чи повороті системи, як цілого, свідчило б про неоднорідність часу і простору та не ізотропність

простору. Отже, існування законів збереження – це наслідок властивостей простору та часу.

По-друге, оскільки в проведених математичних викладеннях та наведених міркуваннях, які призвели до висновку про збереження (за відсутності дисипативних сил) повної механічної енергії ізольованої систем, використано другий закон Ньютона, то останній є більш фундаментальним, ніж закон збереження енергії. Насправді проведені викладення лише ілюструють, що і другий закон Ньютона, і закон збереження механічної енергії є фундаментальними законами природи, обумовленими властивостями простору та часу. Але за широтою своїх застосувань вони незрівнянні. Закон збереження енергії – це загальний закон природи, а другий закон Ньютона застосовний лише для тіл, які можна розглядати, як матеріальну точку. Тут доцільно показати, що другий закон Ньютона можна легко довести, якщо закон збереження енергії застосувати до матеріальної точки, яка знаходиться у стаціонарному силовому полі. Дійсно, у такому

випадку її повна енергія є константою:
$$\frac{mV^2}{2} + U(x, y, z) = const.$$

Виконаємо диференціювання за часом даного виразу:

$$mV \frac{dV}{dt} + \frac{\partial U}{\partial x} \dot{x} + \frac{\partial U}{\partial y} \dot{y} + \frac{\partial U}{\partial z} \dot{z} = 0.$$

Використовуючи очевидні перетворення $\vec{V} \cdot \vec{V} = V^2 \Rightarrow VdV = \vec{V}d\vec{V}$, останній вираз можна записати у вигляді:

$$m \frac{dV_x}{dt} \dot{x} + m \frac{dV_y}{dt} \dot{y} + m \frac{dV_z}{dt} \dot{z} = -\frac{\partial U}{\partial x} \dot{x} - \frac{\partial U}{\partial y} \dot{y} - \frac{\partial U}{\partial z} \dot{z}.$$

Звідки й витікає другий закон Ньютона, тобто при застосуванні закону збереження енергії і другого закону Ньютона до однієї матеріальної точки ці закони виступають як рівноправні закони.

По-третє, зважаючи на загальність закону збереження енергії, і пов'язану з цим методологічну значимість, до нього потрібно звертатись у всіх можливих випадках і аналізувати його з усіх можливих точок зору. У зв'язку з цим, доцільно показати зв'язок закону збереження енергії з рівняннями Лагранжа, які можна одержати, як узагальненням механіки Ньютона на зв'язані системи, так і - як наслідок принципу найменшої дії, тобто без використання другого закону Ньютона.

Із класичної механіки відомо, що функція Лагранжа $L=L(q_s, \dot{q}_s, t)$ несе в собі всю інформацію про рух системи тіл (q_s і \dot{q}_s - узагальнені координати й швидкості відповідно, функція Лагранжа це різниця між кінетичною й потенціальною енергіями $L=K-U$ системи). Виконаємо диференціювання функції Лагранжа за часом: $\frac{dL}{dt} = \sum_{s=1}^l \left(\frac{\partial L}{\partial q_s} \dot{q}_s + \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \ddot{q}_s \right) + \frac{\partial L}{\partial t}$. Використовуючи рівняння Лагранжа $\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} - \frac{\partial L}{\partial q_s} = 0, s = 1, 2, \dots, l$ (l - кількість ступенів вільності),

перепишемо останній вираз у наступному вигляді:

$$\frac{dL}{dt} = \sum_{s=1}^l \left(\dot{q}_s \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial q_s} + \ddot{q}_s \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} \right) + \frac{\partial L}{\partial t} = \sum_{s=1}^l \frac{d}{dt} \dot{q}_s \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} + \frac{\partial L}{\partial t},$$

або

$$\frac{d}{dt} \left(\sum_{s=1}^l \dot{q}_s \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} - L \right) = - \frac{\partial L}{\partial t}.$$

Якщо зовнішні силові поля і в'язі стаціонарні (або відсутні), то функція Лагранжа у явному вигляді не може залежати від часу. Тому величина

$$H = \sum_{s=1}^l \dot{q}_s \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_s} - L = const$$

є інтегралом руху. Її називають функцією Гамільтона (гамільтоніан). Легко впевнитись, що для механічної системи, яка складається із матеріальних точок, гамільтоніан дорівнює сумі їх кінетичної й потенціальної енергій $H=K+U$, а для термодинамічної системи - це внутрішня енергія. Для того щоб впевнитись, що функція Гамільтона дійсно збігається з повною

механічною енергією достатньо розглянути систему, яка містить лише одну частинку з повною механічною енергією $E = \frac{m}{2}(\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2) + U_{(x,y,z)}$.

Елементарний розрахунок функції Гамільтона дає такий самий результат.

Наступними кроками у розгляді закону збереження механічної енергії при підготовці майбутнього вчителя фізики є узагальнення методики подання цього закону на випадок релятивістських швидкостей, на термодинамічну систему, що нами частково зроблено в окремих дослідженнях [10,11], та аналіз методичних і методологічних питань застосувань законів збереження при вивченні квантової фізики, нанотехнологій, при вивченні вдосконалення методів перетворення і передавання енергії, збільшенні масштабів використання відновлюваних джерел енергії, при проведенні наукових робіт в космосі тощо. І тут методичну науку, очевидно, очікують дуже цікаві не лише методичні, але й методологічні результати, які, в силу швидкого розвитку фізики цих нових напрямів, навіть важко передбачити.

На закінчення, у **якості висновків**, зазначимо, що основним завданням сьогоденних студентів у своїй майбутній діяльності у якості вчителя фізики є позитивний вплив на формування світогляду учнів, їх ставлення до освітньої та трудової діяльності, на формування і розвиток принципово нових комфортних та адекватних способів взаємодії між людьми та способів діяльності в особистому і суспільному житті, на правильне самовизначення учня, формування в нього наукових, соціальних та психологічних передумов майбутнього професійного розвитку. Це означає, що сучасна фізична освіта в педагогічних університетах вимагає оновлення й фундаменталізації, розробки таких підходів до її організації й змісту, за яких буде відбуватись формування сучасного наукового світогляду та належних професійних орієнтацій випускників, які відповідають потребам суспільства та перспективам його розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шарко В.Д. Методологічні знання як важливий компонент методичної підготовки вчителя фізики. /В.Д. Шарко. // Збірник наукових праць: Спеціальний випуск. – К. : Наук. світ, 2003. – С. 312-319.
2. Кух А.М. Методологічні та теоретичні засади формування інноваційних навчальних систем фахової підготовки вчителя фізики. /Кух А.М. // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. – Чернігів, 2006. – Вип. 36(2). – С.3-9.
3. Сергієнко В.П. Теоретичні і методичні засади навчання загальної фізики в системі фахової підготовки вчителя: дис... д-ра пед. наук: 13.00.02 / Сергієнко Володимир Петрович; Національний педагогічний ун-т ім. М.П.Драгоманова. – К., 2004. – 516 с.
4. Жирнов Н.И. Классическая механика. /Н.И. Жирнов. – М.: Просвещение, 1980. – 302 с.
5. Айзерман М.А. Классическая механика. / М.А. Айзерман. – М.: Наука, 1980. – 368 с.: ил.
6. Федорченко А.М. Теоретична фізика. Т.1. Класична механіка і електродинаміка, навчальний посібник. / А.М. Федорченко. – Київ: «Вища школа», 1992. – 525 с.
7. Благодаренко Л. Ю. Перспективи оновлення фізичної освіти в основній школі / Л. Ю. Благодаренко, М. І. Шут // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського національного університету. – Кам'янець-Подільський, К-ПНУ, 2008. – Вип. 14. – С. 14.
8. Гельфер Я.М. Законы сохранения. / Я.М. Гельфер. – М.: Издательство НАУКА, 1967. – 264с.
9. Мороз І.О. Особливості розгляду закону збереження імпульсу в курсі фізики педагогічних університетів / І.О. Мороз, В.С. Іваній, Р.І. Холодов //

Вісник Чернігівського національного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. – Чернігів, 2011. – Випуск 89. – С. 338 – 347.

10. Мороз І.О. Спеціальна теорія відносності: навчальний посібник (гриф МОН України лист №1/11-3525 від 11.05.11) / І.О. Мороз, В.С. Іваній, Р.І. Холодов. – Суми: Видавництво «МакДен», 2011. – 336 с.

11. Мороз І.О. Теоретико-методичні засади вивчення термодинаміки і статистичної фізики в педагогічних університетах: монографія / І.О. Мороз; Міністерство освіти і науки України; Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова. – Суми: ТОВ «Друкарський дім «Папірус», 2013. – 380 с.

Summary

The role of laws of maintenance is examined in forming of scientific world view of future teachers of physics. Possible methodical approaches of consideration of conservation of energy are analyses.

Keywords: *last of maintenance of impulse, moment of impulse, energy, equalization of Lagrange.*

Мороз І.О. - завідуючий кафедрою експериментальної і теоретичної фізики, доктор педагогічних наук, доцент;

Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка, (робочий) вул. Роменская, 87, м. Суми, Україна, 40002;
е - mail: mofozetf@mail.ru;