

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ФІЗИЧНИХ ІДЕАЛІЗАЦІЙ ЯК МЕТОДИЧНА ТА МЕТОДОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМИ

Володимир ІВЧЕНКО

Розглянуто методичний і методологічний аспекти кількісного аналізу фізичних ідеалізацій в курсі фізики. Запропоновано алгоритм оцінки меж застосування моделей даного типу. Описану методику проілюстровано на прикладі моделей замкненої механічної системи та інерціальної системи відліку.

The methodical and methodological aspects of quantitative analysis of physical idealizations are considered. The algorithm of estimation of limits of application of models of this type is presented. The described method is illustrated on the example of models of the isolated mechanical system and inertial frame of reference.

Постановка проблеми. Вивчення і застосування моделей є невід'ємною складовою процесу навчання багатьом дисциплінам. Велику методичну і методологічну ролі відіграє метод моделювання і при викладанні фізики. Особливо важливим стає значення цього метода при вивченні фізики у студентів профільних спеціальностей вищих навчальних закладів.

Аналізуючи методологічний аспект професійної підготовки педагога, М.В. Опачко [1] серед інших операційних компонент методологічної компетентності майбутнього вчителя фізики виділяє вміння з'ясувати межі застосування фізичних моделей. Для його оволодіння необхідне глибоке знання не тільки законів фізики але і її математичного апарату та обчислювальних методів. Таким чином, розвиток цієї складової компетентності у студентів є важливою методичною і методологічною проблемою.

Аналіз досліджень і публікацій. Розвитку модельних уявлень при викладанні фізики присвячені праці Г.М. Голіна, С.Є. Каменецького, Н.А. Солодухіна, Б.Є. Будного, А.С. Кондраг'єва, М.В. Грибової, С.А. Живодробової, С.А. Тишковой та ін.

У цих роботах розглядається значення і роль моделей в шкільному курсі фізики, методика формування та використання модельних уявлень в учнів середньої ланки освіти, проте, проблема висвітлення аналогічних питань при підготовці майбутніх вчителів фізики зовсім не розглянута. Тому **мета цієї роботи** полягала у розробці методики формування у студентів вміння робити кількісну оцінку меж застосування фізичних ідеалізацій.

Під моделлю розуміють таку систему, яка, відображуючи або відтворюючи об'єкт дослідження, здатна заміщати його так, що її вивчення дає нам нову інформацію про цей об'єкт. Залежно від засобу побудови моделей, останні поділяють на матеріальні та ідеальні. На відміну від матеріальних моделей ідеальні конструюються мислено, в голові. Важливою

складовою ідеальних моделей є образні або іконічні моделі, які побудовані з наочних елементів, що сприймаються нами на рівні відчуття (пружні кулі, пружини, вихри, траєкторії руху тіла) [2, с.27].

До іконічних моделей, зокрема і відносяться ідеалізації – об'єкти, неіснуючі та нездійснені в реальному світі, але такі, що мають у ньому прообрази. Ідеалізації виникають в процесі абстрагування. При цьому відбувається як елімінація нескінченно великої кількості характеристик реального об'єкта (елімінативне абстрагування) так і (що головне) граничні переходи для обраного ряду характеристик до своїх максимальних або мінімальних значень (продуктивне абстрагування) [3].

Так, наприклад, при побудові моделі абсолютно твердого тіла відволікаються від його форми, температури, кольору і т. ін., а розглядаючи його твердість, поступово наближають її до нескінченності. У межах моделі ідеального газу не приймають до уваги природу внутрішньомолекулярних зв'язків, форму посудини, в якій він знаходиться і т. д., а розміри молекул та сили взаємодії між ними спрямовують до нуля.

Важливий клас ідеалізацій складають ідеальні фізичні моделі. Залежно від типу об'єкта фізичної ідеалізації останні поділяють на ідеалізації тіл (матеріальна точка, математичний маятник, невагомий блок і т. ін.), ідеалізації процесів (плоска хвиля, абсолютно пружний удар, ідеальний цикл Карно т. ін.) та ідеалізації умов (адіабатна оболонка, замкнена механічна система) [4]. У залежності від мети моделювання фізичні ідеалізації поділяють на такі, що вирішують задачі:

❖ спрямовані на розвиток гіпотез, теорій та їх перевірку (світлові промені, ідеальний газ, абсолютно чорне тіло і т. ін.);

❖ пов'язані з розв'язком практичних питань (вільне падіння, рідина, яка повністю змочує дане тіло і т. ін.).

Перший з цих видів ідеалізацій відіграє важливу методологічну роль, другий – методичну.

Фізичні ідеалізації, виражені у відповідній знаковій формі, стають абстрактно-математичними моделями, що дозволяє дослідити їх на кількісному рівні та зробити інтерпретацію отриманих результатів. Важливою характеристикою таких абстрактно-математичних моделей є інтервал модельованості. Під ним розуміють систему

умов, в межах якої досягається ототожнення об'єкта і моделі. Наприклад, механічні властивості частинки описуються класичним другим законом Ньютона, якщо її швидкість є набагато меншою від швидкості світла.

Треба відзначити, що записаний у вигляді нерівностей типу $a \ll b$, інтервал модельованості є доволі абстрактним і непрозорим. Для позбавлення цього недоліку слід розраховувати відносну похибку \mathcal{E} , яка виникає при нехтуванні величиною a у виразі для характеристики явища, що розглядається. При цьому достатньо вказати інтервал значень a , за якого похибка не перевищує значення, продиктованого необхідною точністю для знаходження даної характеристики (зазвичай, $\varepsilon_{\max} = 5\%$). Цей процес можна назвати кількісною оцінкою меж застосування даної абстрактно-математичної моделі a , отже, і відповідної до неї фізичної ідеалізації.

Таким чином, для кількісної оцінки меж застосування тої чи іншої фізичної ідеалізації необхідно:

1. визначити основні фактори, котрі не враховуються в даній моделі;
2. виділити коло явищ, для яких вказані фактори можуть істотно впливати на значення фізичних величин, які його характеризують;
3. провести розрахунки цих величин з урахуванням таких факторів;
4. шляхом обчислень (у тому числі комп'ютерних) оцінити похибки, що виникають при неврахуванні зазначених факторів та зробити відповідні висновки.

Найбільші утруднення у студентів під час реалізації цього алгоритму виникають з виокремленням групи явищ, які не завжди описуються даною ідеалізацією із задовільною точністю, оскільки вона, дуже часто, описує широке коло різноманітних за природою явищ. Так, наприклад, при аналізі моделі матеріальної точки потрібно розрізняти кінематичний та динамічний підходи; у межах останнього слід розмежовувати інертні і гравітаційні властивості тіла [5].

Визначення факторів, котрі не враховуються даною моделлю, як правило, не викликає жодних ускладнень, оскільки в більшості випадків сама назва вказує на них. Наприклад, для абсолютно нестискуваної рідини стискуваність $\beta \rightarrow 0$; для нескінченно довгої рівномірно зарядженої нитки її довжина $l \rightarrow \infty$ а лінійні густина заряду $\tau = \text{const}$ і т.д.

Проведення розрахунків характеристик явища з урахуванням знехтуваних факторів вимагає від студентів знання теорії диференціальних рівнянь (модель вільного падіння з урахуванням сили лобового опору

повітря), вміння розраховувати визначений інтеграл (модель матеріальної точки і точкового заряду) і т.д. Окрім суто математичних знань студент повинен володіти методами теоретичної фізики.

Для обчислення похибок моделювання доцільно використовувати математичні програмні засоби, такі як Matlab, Mathematica або Maple. Так, наприклад, у випадку декількох неврахованих у моделі факторів можна візуалізувати область (двовимірну чи тривимірну) значень цих факторів, в межах якої похибка моделювання не перевищує певного значення.

Для прикладу розглянемо описаний вище алгоритм для моделей замкненої механічної системи та інерціальної системи відліку. Під замкненою механічною системою розуміють сукупність матеріальних об'єктів, для яких рівнодійна зовнішніх сил дорівнює нулю. Оскільки імпульс, момент імпульсу і повна механічна енергія такої системи зберігаються, варто розглянути випадки, коли дія зовнішніх сил може призводити до зміни цих величин.

Розглянемо насамперед удар двох тіл. Нехай швидкість першого тіла масою m відносно другого до удару дорівнює v . У цьому випадку дією зовнішніх сил можна знехтувати, якщо імпульс цих сил є набагато меншим від імпульсу першого тіла: $F\tau \ll mv$. Для оцінки часу зіткнення приймемо до уваги, що при реальному ударі макроскопічних тіл відбувається їхня і деформація і розповсюдження по ним пружних хвиль. Якщо зіштовхуються приблизно однакові за розміром тіла, то час зіткнення буде порядку $2L/v_{\text{зв}}$, де L – характерний розмір тіла; $v_{\text{зв}}$ – швидкість розповсюдження звукових хвиль в тілі. Через те, що швидкість звуку є дуже великою (порядку 1000 м/с), проявом сили тяжіння та тертя під час удару можна знехтувати. Такий самий висновок стосується вибуху, оскільки там час τ також є дуже малим.

Зовсім інакшою є ситуація, при якій відбувається неперервна взаємодія частин системи протягом тривалого проміжку часу. Наприклад, при реактивному русі ракети в однорідному полі тяжіння Землі її швидкість в довільний момент часу може бути визначена за формулою [6]:

$$x = u \ln \left(\frac{m_0}{m} \right) - gt, \quad (1)$$

де u – відносна швидкість витоку газів; m_0/m – відношення початкової маси ракети до маси ракети в момент часу t .

Для характеристик транспортної ракети, запропонованої фон Брауном [7], перший

доданок у виразі (1) на момент закінчення роботи двигуна першої ступені має порядок декількох $\hat{\epsilon}$ і / $\hat{\epsilon}$. При цьому тривалість роботи двигуна складає порядку 100 с, що для другого доданку дає порядок 1 км/с. Отже, врахування «зовнішньої» сили тяжіння Землі суттєво впливає на значення її кінематичних характеристик.

При застосуванні закону збереження імпульсу велике значення має співвідношення між кутовою швидкістю системи у кутовою швидкістю осі обертання системи, обумовленої наявністю зовнішніх сил. Наприклад, у звичайних дослідах з гіроскопами диск обертається з частотою приблизно рівною декільком десяткам обертів в секунду, а обертання самої осі відбувається повільніше ніж один оберт за 10 секунд. При таких рухах напрямок вектору моменту імпульсу буде відрізнятися від напряму осі менше ніж на один градус.

Незамкненість системи може у багатьох випадках помітно впливати на значення кінцевих результатів при застосуванні закону збереження повної механічної енергії. Розглянемо, наприклад, таку задачу: гиря, покладена на верхній кінець спіральної пружини, стискає її на величину, рівну x_0 . На скільки стисне пружину ця ж гиря, кинута вертикально вниз з висоти h зі швидкістю v_0 ?

Якщо вважати систему «гиря-пружина» замкненою то розрахунок, проведений на основі закону збереження енергії дає:

$$x = x_0 \sqrt{\frac{x_0^2}{gx_0}}. \quad (2)$$

Насправді замкненою системою у даному випадку є система «гиря-пружина-Земля», оскільки тільки в цьому випадку сила тяжіння являє собою «внутрішню» силу. З урахуванням цього твердження дістанемо:

$$x' = x_0 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{x_0} + \frac{x_0^2}{gx_0}} \right]. \quad (3)$$

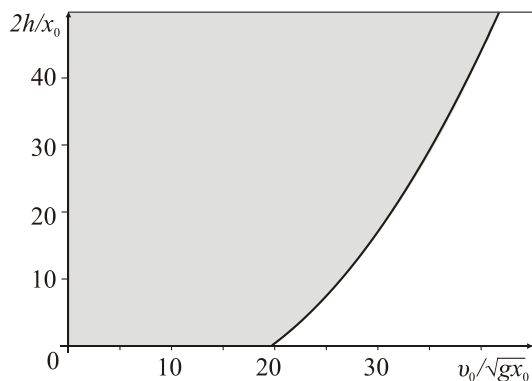


Рис. 1.

Співвідношення (2), (3) дозволяють виділити на площині $(x_0/\sqrt{gx_0}, 2h/x_0)$ область, для якої наближення замкнутої системи гиря-пружина коректним. На рис. 1 наведено результати числових розрахунків лінії рівня вздовж якої відносна похибка $\epsilon_x = (x' - x)/x'$ складає 5%. Области, які відповідають більшим значенням цієї величини, зафарбовано у сірий колір. Видно, що за малих значень $2h/x_0$ величина v_0 повинна складати приблизно $20\sqrt{gx_0}$, тобто відношення $x_0/\sqrt{gx_0}$ повинно бути набагато більшим від одиниці. За великих значень $2h/x_0$, $x_0/\sqrt{gx_0}$ має бути однакового порядку з нею (при цьому $x_0^2/gx_0 \gg 2h/x_0$).

Розглянемо тепер межі застосування моделі інерціальної системи відліку. Під інерціальною розуміють систему відліку, відносно якої будь-яке тіло рухається прямолінійно і рівномірно, якщо рівнодійна сил, прикладених до нього дорівнює нулю. Інколи, в якості прикладу інерціальної системи, наводять Землю. З іншого боку, відомо, що Земля приймає участь в обертанні навколо Сонця та власної осі.

Орбітальний рух Землі є набагато повільнішим ніж добовий, тому її неінерціальність пов'язана в першу чергу з обертанням навколо власної осі. Для оцінки ступеня неінерціальності в «гравітаційних» ефектах (визначення прискорення вільного падіння, ваги тіла) слід порівняти величину прискорення вільного падіння g з відцентровим прискоренням a_a тіл на поверхні Землі, пов'язаним з її добовим обертанням, та з коріолісовим прискоренням a_e .

Відцентрове прискорення $a_a = 4\pi^2 R_\oplus / T_a^2$ (R_\oplus – радіус Землі, T_a – її добовий період обертання) складає приблизно 3% від g . Максимальне коріолісове прискорення дорівнює $4\pi v / T_d$ (v – швидкість тіла на поверхні Землі). При швидкостях порядку 10 і / $\hat{\epsilon}$ її значення приблизно дорівнює $10^{-4} g$. Таким чином, неінерціальність Землі не впливає помітно на величину при скорення вільного падіння, хоча і відіграє суттєву роль при її прецизійних вимірюваннях.

Проведене у даній роботі дослідження дозволило сформулювати наступні **висновки**:

1. розвиток навичок у студентів робити кількісні оцінки меж застосування фізичних ідеалізацій є невід'ємною складовою навчання фізики у ВНЗ, оскільки він має важливе методичне і методологічне значення, Запропонована у даній роботі методика дозволяє формалізувати цей процес;

2. під час застосування моделі замкненої механічної системи потрібно розмежовувати випадки використання законів збереження імпульсу, моменту імпульсу та повної механічної енергії. В першому випадку слід розрізняти варіанти короткочасної і неперервної взаємодії тіл системи. У другому випадку основну роль відіграє співвідношення між кутовою швидкістю системи у кутовою швидкістю осі обертання системи, обумовленої наявністю зовнішніх сил.

3. при розгляді «гравітаційних» ефектів можна вважати Землю інерціальною системою з належним ступенем точності.

Перспективи подальших пошуків у напрямку дослідження. У подальшому передбачається здійснити кількісний аналіз основних фізичних ідеалізацій в курсах механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електрики і магнетизму, оптики, квантової та ядерної фізики.

БІБЛОГРАФІЯ

1. Опачко М.В. Формування методологічної компетентності майбутнього вчителя фізики у системі професійної підготовки // Вісник Львівського університету. Серія педагогічна. – 2009. – вип. 25, Ч.1. – С. 271-278.
2. Штофф В.А. Моделирование и философия. – М.: Наука, 1966 – 301 с.
3. Моисеев В.И. Философия и методология науки. http://polbu.ru/moiseev_sciencephilo
4. Любичанковский В.А. Классический тип естественно-научной рациональности. <http://credonew.ru/content/view/73/23>
5. Івченко В.В. Кількісна оцінка моделі матеріальної точки // Збірник наукових праць Бердянського державного педагогічного університету (Педагогічні науки). – №3. – Бердянськ: БДПУ, 2009. – С. 134-139.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.І. Механика. – М.: Наука, – 1979. – 687 с.
7. <http://www.astronaut.ru/bookcase/books/ley/text/146.htm#05>

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

Івченко Володимир Валерійович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри природничо-математичної підготовки Херсонського державного морського інституту.

Наукові інтереси: ідеалізація у курсі фізики ВНЗ.

ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Майя КАДЕМІЯ, Людмила ШЕВЧЕНКО

У статті розглядаються деякі підходи до розробки та використання динамічних анімацій, комп'ютерних моделей у здійсненні фахової підготовки та підвищення якості знань випускників.

The article deals with the ways as to the development and usage of dynamic animations, computer models for the professional training and knowledge quality improvement of graduates.

Постановка проблеми. ХХІ сторіччя характеризується як інформаційне суспільство, що формується на підставі ознак науково-технічного прогресу, соціального накалу, процесів і соціально-економічних факторів.

Нині не має єдиного визначення інформаційного суспільства (ІС). Вчені з різних країн дають визначення ІС по-різному, проте майже в усіх характерно відзначається процес комп'ютеризації, який надає людям доступ до надійних джерел інформації, позбавляючи їх від рутинної роботи, забезпечує високий рівень автоматизації виробництва [1, с. 12].

Розглядаючи освіту в інформаційному суспільстві, необхідно виділити організацію інформаційних процесів, розвиток та застосування інформаційних освітніх технологій, які передбачають такі процеси: передавання, оброблення, організація, збереження і накопичення даних, формалізація та автоматизація знань.

Удосконалення методів розв'язання функціональних завдань, способів організації інформаційних процесів приводить до нових інформаційних технологій (ІТ), в яких до освітньої галузі можна віднести: комп'ютерні навчальні програми; навчальні системи на базі мультимедіа-технологій; інтелектуальні та навчальні експертні системи; розподілені бази даних; засоби телекомунікації; електронні бібліотеки, розподілені та централізовані видавничі системи; програмні та технічні засоби ІТ [3, с. 79].

Головним недоліком використання досягнень інформатизації в освіті нині є відсутність їх науково-методичного забезпечення, забезпечення ІТ.

Аналіз попередніх досліджень свідчить, що проблемами використання моделювання, інформаційних технологій в навчальному процесі опікуються вчені: М.Жалдак, І.Богданова, І.Теплицький, Е.Сарафанюк та ін. Зокрема, проблемою моделювання процесів, явищ займалися: В.Биков, І.Левіна, В.Пінькас, І.Теплицький та ін. Питанням професійної підготовки фахівців присвячені праці вчених: Р.Гуревича, І.Зязюна, І.Козловської, Н.Ничкало, О.Романовського, С.Сисоєвої та ін.