

### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРА

**Слободяник Ольга Володимирівна** - кандидат педагогічних наук, старший науковий співробітник відділу комп'ютерно орієнтованих засобів навчання Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України

*Коло наукових інтересів:* використання засобів ІКТ при проектуванні навчального середовища.

## КІНЕМАТИКА ВІДРІЗКА. МЕТОДОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

**Євгеній СОКОЛОВ**

*Показано, що кінематика відрізка є базисом і природним розширенням традиційної кінематики. Демонструється, що кінематика відрізка значно розширює область задач доступних для розв'язання школярам і студентам. Аналізується характер розумової діяльності при синтетичному погляді на природу фізичних об'єктів.*

*It is shown that the kinematics of segment is the basis and the natural extension of traditional kinematics. It is demonstrated that the kinematics of segment significantly expands the range of tasks available for the solution of pupils and students. The analysis of mental work under conditions of the synthetic view on the physical objects is made.*

Точка є головним геометричним образом сучасного фізичного універсуму. Матеріальна точка в механіці, точковий заряд в електродинаміці, точкове джерело світла в оптиці. У цих фізичних об'єктах ми, в першу чергу, виділяємо їхню найпростішу геометричну форму і лише потім звертаємося до їхніх специфічних фізичних властивостей. Бачення світу як сукупності точок уявляється нам настільки природним, що ми без усякого внутрішнього опору поширюємо його на об'єкти, які мають довжину. Тверде тіло, розподілену систему зарядів, рідину ми мислимо не інакше, як сукупність матеріальних точок, і виводимо їх властивості як сумарну властивість системи, використовуючи апарат інтегрування вищої математики. Міцне й непохитне підґрунтя нашому переконанню в правильності такого підходу дає атомістична теорія – головне досягнення сучасної науки (Р. Фейнман). А ті проблеми й парадокси, які були виявлені логіками (Б. Рассел, Ф. Рамсей і ін.) у теорії множин здаються нам далекими й надуманими й жодним чином не затьмарюють нашу віру в правильність «точкового» погляду на світ.

Віддаючи належне звичному «точковому» баченню світу, поставимо все-таки запитання: «А чи можливий інший погляд на природу речей?»

Безсумнівно, можливий. Так, у філософії Л. Вітгенштейн наголошує: «Світ – сукупність Фактів, а не Речей». Будучи філософом, він не дає точного визначення поняттю «Факт», але його думка зрозуміла: «Те, на що розпадається Світ, є щось більш складне за предмети. Це людське мислення розбиває Факти на предмети, які рухаються й взаємодіють». Велику кількість прикладів «неточкового» мислення ми знайдемо в математиці. Так, принцип подвійності Ж.В. Понселе в геометрії ставить знак рівності між точками й прямими і тем самим протиставляє твердженню здорового глузду: «Точка – головний об'єкт, тому що все складається з точок!» інше: «Точок немає! Точка – це

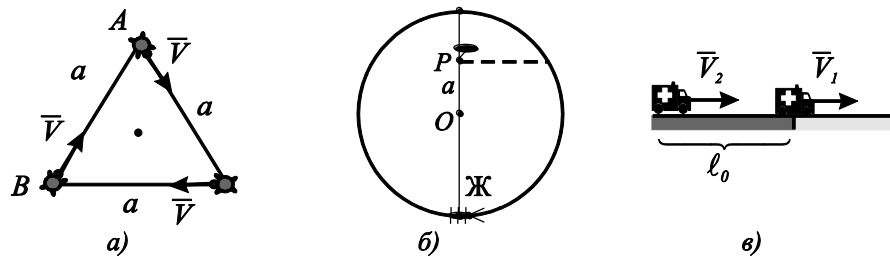
перетинання двох прямих!» А в диференціальному обчисленні ми можемо знайти, що математики часто замість «поточечної» побудови траєкторій, конструюють їх як перетин інтегральних многовидів більш високих розмірностей. І такий синтетичний підхід використовується не тільки для вивчення руху окремих предметів, але й для вивчення еволюції Всесвіту. А в теорії елементарних часток отримала поширення «теорія струн», яка трактує елементарні частки в цілком платонівському духу, – як видиме нами перетинання одномірного, неточкового об'єкта («струни») із тривимірним простором.

Отже, поряд зі звичним для нас «точковим» поглядом на природу речей, можливий і «неточковий», синтетичний погляд. (Синтетичним ми далі будемо називати такий підхід, при якому ми мислимо об'єкти в категоріях, які властиві самим об'єктам, не розбиваючи їх на точки.) А головне, стверджувати, що один погляд «більш правильний» за інший не можна. У цьому полягає суть другої антиномії І. Канта: «Усяка складна субстанція у світу складається з простих частин, і взагалі існує тільки просте або те, що складене із простого» – «Жодна складна річ у світі не складається з простих частин, і взагалі у світі немає нічого простого».

Зі сказаного випливає висновок: було б корисним познайомити учнів із синтетичним поглядом на фізичний універсум. Одним із перших кроків у цьому напрямку ми бачимо включення в традиційний курс кінематики нового розділу, який був названий нами «Кінематика відрізка». Він був створений на факультеті довузівської підготовки ЗНТУ як результат багаточисленних спроб озброїти наших слухачів ефективним інструментом розв'язання деяких непростих задач кінематики. Опис самого заняття «Кінематика відрізка» можна знайти в [1], де наводиться запис лекції, яку автор прочитав кандидатам до збірної команди України для участі в IPhO-2014. У цій статті ми проаналізуємо розділ «Кінематика відрізка» з точки зору його змісту й місця, яке ми бачимо для нього в традиційній кінематиці. Для ясності викладу ми нижче будемо виділяти окремі тези нумерацією.

1. *Що ми називаємо кінематикою відрізка?* Кінематика відрізка – це частина кінематики, яка вивчає рух відрізка, який полягає в зміні його єдиного атрибута – довжини.

2. *Яким чином кінематика відрізка отримує об'єкт свого дослідження?* Питання має той зміст, що в умовах задач, які формулюються в натуральних термінах, слово відрізок відсутній, так само як відсутній у них термін матеріальна точка. Матеріальні точки з'являються в результаті роботи нашого мислення. Виконуючи операцію абстрагування, воно перетворює реальні предмети (а точніше елементи умови задачі, у яких є денотати в об'єктивному світі (машини, літаки, пішоходи)) в об'єкти позбавлений внутрішніх якостей – точки. Точно також, бажаючи знайти предмет вивчення для кінематики відрізка, ми повинні зуміти виділити в задачній ситуації кардинальні (які приводять до розв'язання) відрізки.



Мал. 1

У виділенні матеріальних точок і виділенні відрізків існує певна різниця. Прообрази матеріальних точок – це предмети, а прообрази відрізків – відношення між предметами. Відношення (двомісний предикат) логіка визначає як те, що можна сказати про два предмети. У кінематиці відрізка об'єктом розгляду є симетричне відношення «відстань між точками». Ми мислимо таке відношення як відрізок, що з'єднує дві точки, і беремо його довжину як чисельне вираження для відношення «відстань між двома точками». Розглянемо процес виділення відрізка в трьох задачних ситуаціях.

Задача 1. Три черепахи перебувають у вершинах рівностороннього трикутника зі стороною  $a = 1,8 \text{ м}$  (мал. 1, а). За сигналом кожна черепаха починає повзти в напрямку своєї сусідки зі швидкістю  $V = 0,5 \text{ см/с}$ . Через який час черепахи зустрінуться?

У цьому випадку сам опис задачної ситуації явно містить у собі вказівку на відрізок, який з'єднує двох черепах. А кінцева ситуація «черепахи зустрілися» має природне формулювання в термінах кінематики відрізка – «довжина відрізка стала дорівнювати нулю».

Задача 2. Легкий диск радіуса  $R$  підвішений на осі, що проходить на відстані  $a$  від його центру (мал. 1, б). У нижню точку диска сідає важкий жук і починає повзти по краю диска зі швидкістю  $V$ . Знайти, чому буде рівнятися максимальне значення швидкості жука.

У цій задачній ситуації явно вказуються три точки:  $O$ ,  $P$  і  $Ж$ , і тому можна виділити три відношення-відрізка. Кардинальним є відрізок  $PЖ$ . Слова «легкий диск» і «важкий жук» означають, що жук завжди залишається під точкою опори, і це виключає поступальний і обертовий рух відрізка  $PЖ$ . Залишається можливим лише його власний рух – зміна довжини. Швидкість зміни довжини цього відрізка і є шукана величина цієї задачі.

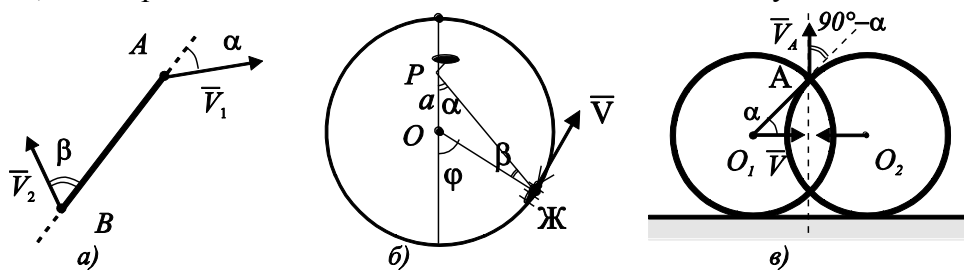
Задача 3. Колона машин довжиною  $l_0$  рухається по ґрунтовій ділянці дороги зі швидкістю  $V_{gp}$ . В'їжджаючи на асфальтовану ділянку, кожна машина збільшує свою швидкість до  $V_{асф}$ . Якою буде довжина колони, коли всі машини в'їдуть на асфальтовану ділянку?

Термін «колона» завжди є складним для сприйняття. Зв'язане це з тим, що він з'являється в мові в результаті явища еліпсису. Явище еліпсису – це явище, яке полягає в тому, що в природніх мовах існує тенденція виключати слова з виражень, якщо це не призводить до втрати змісту. Повністю термін колона повинен значити наступне: кілька машин, які послідовно розміщені на лінії. Скорочуючи це вираження до одного слова (іменника), ми заодно неявно приписуємо йому якість предмета, і тому питання про зміну довжини завжди носить трохи парадоксальний характер. Розкриваючи термін «колона»,

ми робимо очевидним, що колона – це відрізок, що з'єднує першу й останню машину, а довжина колони – відстань між ними. При цьому стає ясным і зміст задачі: довжина колони машин може змінюватися, коли швидкості першої й останньої машин різні.

Отже, виділення кардинального відрізка може відбуватися декількома способами: він може бути явно указано в умові задачі, його слід знайти в деякій системі відліку, він може бути «захований» за деяким звичним словом.

3. Який математичний апарат кінематики відрізка? Апарат кінематики відрізка становлять усього дві формули. Перша – визначення швидкості зміни довжини відрізка  $u \equiv \ell'$ . Це твердження є аналітичне твердження (за термінологією І. Канта), яке формально фіксує той факт, що відрізок має властивість змінювати свою довжину.



Мал. 2

Друга формула,  $u = V_1 \cos \alpha - V_2 \cos \beta$ , – це робоча формула кінематики відрізка. Вона зв'яже швидкість зміни довжини відрізка зі швидкостями його кінців (мал. 2, а). Це синтетичне твердження – місток між кінематикою відрізка й кінематикою матеріальної точки [2,3]. Продемонструємо роботу цієї формули на розв'язанні трьох сформульованих вище задач.

Розв'язання задачі 1. Застосовуємо нашу формулу до однієї зі сторін «трикутника черепах», наприклад, до відрізка  $AB$ . Для нього  $\alpha = 120^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$  (мал. 1, а), так що швидкість зменшення довжини відрізка  $AB$  рівна  $|u| = |V \cdot \cos(120^\circ) - V \cdot \cos(0^\circ)| = 3 \cdot V / 2$ . Зменшуючись із такою швидкістю, довжина відрізка звернеться в нуль (черепахи зустрінуться) через час  $t = a / |u| = 2a / 3V = 4 \text{ хв}$ .

Розв'язання задачі 2. Розглядаючи рух жука в системі відліку, пов'язаній з диском (мал. 2, б), для швидкості зменшення довжини відрізка  $PЖ$  отримуємо  $u = V \cos(90^\circ - \beta) = V \sin \beta = \frac{a}{R} \cdot V \sin \alpha$ . Максимальне значення швидкості буде дорівнювати  $u_{\max} = a / R \cdot V$  (при виконанні умови  $\sin \alpha = 1$ ).

Розв'язання задачі 3. Довжина відрізка-«колони» почне змінюватися з тої миті, як тільки перша машина в'їде на гарну ділянку дороги і її швидкість збільшиться. Швидкість зміни довжини відрізка-«колони» буде дорівнювати  $u = V_{\text{асф}} - V_{\text{зр}}$ . Відрізок-«колона» буде подовжуватися з цією швидкістю доти, поки остання машина не в'їде на асфальтовану ділянку, тобто протягом часу  $\Delta t = \ell_0 / V_{\text{зр}}$ . Усього відрізок подовжиться на  $\Delta \ell = u \Delta t$ , і його довжина стане рівною  $\ell = V_{\text{асф}} / V_{\text{зр}} \cdot \ell_0$ .

4. Розділи кінематики відрізка. Сьогодні ми виділяємо в кінематиці відрізка п'ять розділів. Перший розділ розглядає рухи, що полягають у зміні довжини відрізка. Задачі, характерні для цього розділу, ми розглянули вище.

Другий підрозділ розглядає окремий випадок власного руху відрізка, при якому його довжина залишається незмінною. Хоча у світі відрізків цей випадок є «абсолютним спокоєм», у реальному світі йому може відповідати достатньо широкий клас рухів. У традиційній кінематиці цей випадок називається рухом абсолютно жорсткого стрижня. Для цього випадку робоча формула перетворюється в інструмент для визначення швидкостей його кінців  $u = V_1 \cdot \cos \alpha - V_2 \cdot \cos \beta = 0$  [4].

Задачі 4. Два кільця однакового радіуса котяться назустріч один одному з однаковими швидкостями  $V$  (мал. 2, в). Знайти швидкість верхньої точки перетинання кілець у ту мить, коли кут  $AO_1O_2$  буде дорівнювати  $\alpha$ .

Розв'язання. У кінематиці відрізка об'єктом розгляду може бути не тільки реальний, але й уявлюваний відрізок. У цій ситуації таким відрізком є відрізок  $O_1A$ . У кожен мить часу цей відрізок збігається з одним із радіусів колеса, але немає жодного реального відрізка, який збігався б з відрізком  $O_1A$  протягом деякого інтервалу часу. Записуючи для цього відрізка наше рівняння  $u = V_A \cdot \cos(90^\circ - \alpha) - V \cdot \cos \alpha = 0$ , ми отримуємо відповідь –  $V_A = \operatorname{Ctg} \alpha \cdot V$ .

Відзначимо, що на важливість розгляду моделей (уявлюваних об'єктів) при розв'язанні й складанні фізичних задач було вказано А.І. Павленком [5].

Четвертий розділ є застосуванням кінематики відрізків до відшукування екстремальних конфігурацій. Ідея методу полягає в тому, що часто пошук екстремуму досліджуваної функції можна звести до пошуку екстремуму довжини деякої системи відрізків. Записавши формулу для швидкості зміни сумарної довжини цих відрізків і дорівнявши її до нуля, ми одержимо рівняння, яке визначає екстремальну конфігурацію.

До п'ятого розділу ми відносимо «власні» задачі кінематики відрізків, які можуть бути повністю сформульовані в термінах довжин відрізків. Прикладом такої задачі може служити задача про черепах у загальній постановці (швидкості черепах довільні, симетрія початкового розташування відсутня).

5. *Зв'язок кінематики відрізка із традиційною кінематикою.* Розгляді руху відрізка в традиційній кінематиці й кінематиці відрізка можна характеризувати як непересічні й взаємодоповнювальні. У традиційній кінематиці рух відрізка розглядається в тій частині, яка розглядає рух твердого тіла (відрізок є частковий випадок твердого тіла). У цьому розділі вивчаються поступальний, обертальний і гвинтовий рух твердого тіла, тобто такі рухи, у яких усі відстані залишаються незмінними. Власний рух відрізка, зміна його довжини залишається за рамками традиційної кінематики. Тому кінематика відрізка є новою частиною кінематики й дає нове бачення класичних задач руху твердого тіла.

6. *Що первинне, кінематика відрізка чи кінематика матеріальної точки?* Первинна кінематика відрізка, традиційна кінематика матеріальної точки – її адаптований варіант. Хоча в традиційній кінематиці на першому плані завжди точка, яка рухається (машина, пішохід, літак), звичайно, не вона є об'єктом вивчення, оскільки точка – це такий об'єкт, який сам по собі має лише одну якість – відсутністю яких-небудь якостей. І в традиційній кінематиці завжди наявні відрізки. Тільки вони наявні імпліцитно (приховано), на другому плані. Але вони обов'язково виявляються на етапі складання рівняння задачі [3]. На наш погляд, така побудова стандартної кінематики (на першому

плані точки, на другому – відрізки) цілком виправдане. Поняття відносності формується в дитини досить пізно, на стадії абстрактних операцій, тому втримувати в мисленні кілька об'єктів дитині не під силу. У такій ситуації корисно розбивати розв'язання задачі на два етапи. На першому ми надаємо дитині можливість зображувати точки, які рухаються, на аркуші паперу (це природна система відліку), а на другому етапі звертаємося до пошуку й розгляду відрізків, які дають рівняння задачі.

Однак визнаючи правильність такої побудови вивчення руху для молодших школярів, ми вважаємо, що старшокласники повинні вміти бачити рух у цілому, як рух відрізків.

*7. Практичні результати вивчення кінематики відрізка.* Буває, що наші опоненти заперечують необхідність знайомства учнів з теорією, яка тут представляється. Аргументом для них служить твердження, що «школярі-олімпіадники здатні самі прийти до такого підходу, а студентам кінематику відрізка може замінити впевнене володіння диференціальним обчисленням». Багаторічний досвід автора щодо проведення фізичних олімпіад різних рівнів показує, що нові (не опубліковані раніше) задачі на кінематику відрізка школярі не розв'язують. Показовим є також результат наступного педагогічного експерименту. Проводячи заняття з учасниками відбірних зборів на міжнародну олімпіаду, автор запропонував учасникам завдання, яке містило десять завдань на кінематику відрізка. Незважаючи на те, що всі випробувані володіли апаратом вищої математики на високому рівні, повністю виконати завдання вони не змогли. Успішність розв'язання задач становила по всій групі всього 35%, а по підгрупі учнів, відібраних у команду (усе одержали срібні дипломи IPhO-2014), – 49%. Після знайомства з кінематикою відрізка додаткове завдання було виконано тими ж учнями на 100%.

*8. Кінематика відрізка – можливе підґрунтя глобальної освітньої лінії.* Однією з ідей, покладених в підґрунтя проектування єдиного курсу фізики для безперервної системи підготовки інженерних кадрів у системі «школа – факультет довузівської підготовки – технічний університет», є ідея про «глобальні освітні лінії», що проходять через увесь курс і дають йому природню опору. «Глобальна освітня лінія» – це така частина навчального матеріалу, яка: 1) має загальний характер, 2) цікава, 3) розширює практичні можливості учнів, 4) допускає можливість природнього розвитку в процесі безперервного навчання. На наш погляд, кінематика відрізка має всі необхідні якості для того, щоб стати основою глобальної освітньої лінії, пов'язаної з синтетичним поглядом на фізичний універсум.

### **Висновки.**

1. Традиційну кінематику слід доповнити новим розділом – кінематикою відрізка. Кінематика відрізка є основою традиційної кінематики матеріальної точки й природнім доповненням кінематики руху твердого тіла.

2. Кінематика відрізка суттєво розширює коло задач, доступних для розв'язання школярам. Для студентів технічних спеціальностей вона є додатковим ефективним інструментом для розв'язання задач теоретичної механіки.

3. Кінематика відрізка може бути природньою основою глобальної освітньої лінії єдиного курсу фізики, яка призначена для знайомства учнів із сучасними методами розв'язання фізичних задач.

#### БІБЛІОГРАФІЯ

1. Соколов Є. П. Кінематика відрізка / Є. П. Соколов // Фізика в школах України. – 2015. – № 1 (269). – С. 10-17.
2. Соколов Є. П. Екзаменаційна фізика. Лекції: навчальний посібник [для студ. вищ. навч. закл.]: в 2 т. / Є.П. Соколов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2009. – Т.1. – 184 с.
3. Соколов Є.П. Кінематика. Практикум. Факультатив. Фізичний гурток : навчальний посібник : / Є. П. Соколов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 164 с.
4. Соколов Е. П. Волшебная формула, или движение со связями / Е. П. Соколов // Квант. – 2012. – № 1. – С. 34-35.
5. Павленко А.И. Методика навчання учнів середньої школи розв'язанню і складанню фізичних задач / А.И.Павленко. – К. : ТОВ «МФА», 1997. – 177 с.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Соколов Євгеній Петрович** – канд. фіз.-мат. наук, доцент, декан загальнотехнічного факультету Запорізького національного технічного університету.

*Коло наукових інтересів:* проблеми методики навчання фізики.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИЧНОЇ СИСТЕМИ РОЗВИТКУ ПІЗНАВАЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ СТУДЕНТІВ У ПРОЦЕСІ НАВЧАННЯ ФІЗИКИ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Дмитро СОМЕНКО**

*У статті відображаються результати експериментальної перевірки ефективності методики розвитку пізнавальної активності студентів педагогічних університетів у процесі навчання фізики з використанням інформаційно-комунікаційних технологій.*

*The paper shows the results of experimental techniques to test the effectiveness of cognitive activity of students of pedagogical universities in teaching physics using information and communication technologies.*

**Постановка проблеми.** Запровадження ефективних сучасних технологій та новітніх досягнень і, зокрема, засобів інформаційних комунікативних технологій (ІКТ) у методичному забезпеченні навчального процесу є одним з найбільш вагомих сучасних напрямків та завдань поліпшення й удосконалення системи освіти. Процес навчання фізики має формувати в студентів уміння досліджувати, інтегрувати знання, бачити і розуміти практичні застосування отриманих знань та відшуковувати шляхи нових застосувань набутих теоретичних знань, практичних умінь і навичок. Це вимагає удосконалення усіх аспектів процесу навчання.

Відтак, у ході вивчення студентами педагогічних університетів фізичних дисциплін, зокрема: методика навчання фізики, шкільний фізичний експеримент, загальна фізика, теоретична фізика, ряд практикумів з фізики, активно запроваджуються засоби ІКТ. Основними напрямками використання ІКТ при цьому є: математичне моделювання фізичних процесів; обробка інформації, отриманої під час лабораторних робіт; підбір дидактичних мультимедійних матеріалів. Проте аналізуючи навички роботи з ЕОТ, які