

## ЛОГІЧНА ОПЕРАЦІЯ РУХУ. ГРУПА ФОРМИ

*У роботі розглядається група логічних операцій, результатом виконання яких є зміна форми предмета навчальної фізичної задачі. Показується важливість таких операцій для формування логічного мислення учнів.*

**Ключові слова:** психологія розв'язування задач, логічна операція руху, навчальна фізична задача.

**Вступ.** "Фізичні" розв'язання навчальних задач із фізики (на відміну від формально-математичних розв'язань) містять у собі специфічну розумову дію, що полягає в зміні (модифікації, перетворенні) предмета задачі. Цю розумову дію ми будемо називати *логічною операцією руху предмета задачі*.

На важливість для мислення феномену руху (зміни) предмета мислення вказували багато дослідників. Так, Л.П. Добраєв [1] трактує явище розуміння учнями навчального тексту, як здатність *змінювати* текстовий суб'єкт (здатність задавати питання). А. Ф. Есаулов [2] думає, що головним елементом успішної винахідницької діяльності є здатність інженера *змінити* умову винахідницького завдання (виконати переформулювання). А. І. Павленко [3] бачить одним з обов'язкових елементів фізичної освіти вміння учня *змінити* роль предмета вивчення й зробити його предметом фізичної задачі (скласти нову задачу).

На цей час ми виділяємо біля двадцяти видів логічної операції руху (зміни) предмета навчальної фізичної задачі. Ці види ми об'єднуємо у п'ять груп. У представленій роботі розглядається перша група логічних рухів – *група форми*. До неї входять логічні рухи, пов'язані зі зміною *форми* предмета задачі. Це такі види руху: 1) позбавлення форми; 2) зміна форми; 3) зміна форми зі зміною топології; 4) зміна форми, пов'язана зі зміною масштабу; 5) додавання предмету задачі декількох форм. Нижче ми наведемо приклади виконання кожного з перелічених видів руху (це буде доказом зробленого нами твердження про існування логічної операції руху); розглянемо взаємодію в цьому процесі наївно-побутового мислення, що ґрунтується на чуттєвому сприйнятті й логічного (наукового) мислення, а також обговоримо пропедевтичну функцію кожного виду логічного руху.

**1. Позбавлення форми.** Найпростіша зміна форми тіла – це позбавлення його форми. У курсі фізики такий логічний рух ми виконуємо тоді, коли заміняємо предмет, описаний в умові задачі, *матеріальною точкою*, тобто тілом, яке не має форми.

З психологічної точки зору цей логічний рух не викликає в нас ніякої протидії. Наше мислення має тут непохитну опору в чуттєвому досвіді – кожен із нас багаторазово простежував, як зникають із чуттєвого сприйняття деталі предмета при його видаленні. Характеризувати тут відношення чуттєвого досвіду й логічного мислення можна як союзне. Однак, цей союз не абсолютний. Справа в тому, що розглянутий логічний рух можна трактуватися двома способами: як виконання наближення і як виконання регулярної, абсолютно точної дії.

Чуттєве сприйняття підштовхує нас до першого варіанта. "Дивися, – каже воно нам, – коли предмет віддаляється, ми перестаємо розрізняти його деталі, ми втрачаємо інформацію про нього". Логічне мислення може заперечити: "Немає ніякої логічної необхідності переносити на розумову дію всі властивості реального процесу спостереження. Залишимо реальному процесу роль психологічної опори, а розумовій дії, навіть якщо воно народилася з чуттєвого досвіду, надамо строгу логічну форму".

Нам у цій суперечці залишається роль судді. І звичайно, ми повинні визнати, що вибір першого варіанта нераціональний. По-перше, він не має методичного продовження. По-друге, звертатися до світу наближених розв'язань на перших етапах вивчення фізики некорисно – мистецтво канатохідця заслуговує поваги, але вчити дитину ходити треба по твердій підлозі.

Логічну операцію руху, яка полягає в позбавленні предмета задачі форми, ми пропонуємо розглядати як строгу логічну операцію, яка складається із трьох етапів. Перший етап – усвідомлення того факту, що для відновлення поступального руху твердого тіла досить розглянути рух лише однієї, довільно обраної точки. Другий етап – установлення того факту, що поданий в умові задачі опис руху тіла (наприклад, "тіло рухається рівномірно") можна перенести на рух усіх його точок, у тому числі, й на

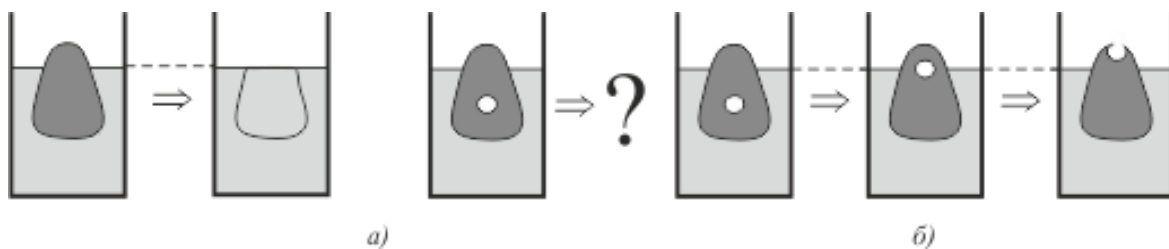
обрану. І, нарешті, третій етап полягає у виконанні самого логічного руху – вилучення з розгляду всіх інших точок як несуттєвих предметів задачі.

Пропедевтична функція розглянутої логічної дії полягає в тому, що вона дає нам метод для розгляду більш складних випадків: поступального руху тіл, чії розміри є істотними якостями, руху системи матеріальних точок, руху обертового твердого тіла.

**1.2. Зміна форми.** Ми розширимо поняття форми тіла й будемо нижче розуміти під цим поняттям не тільки геометричну форму зовнішньої межі тіла, але й розподіл маси по об'єму тіла.

Логічну операцію руху, що полягає в зміні форми предмета задачі, ми знаходимо у "фізичному" розв'язанні наступної відомої задачі гідростатики.

**Задача 1.** Відомо, що коли плаваючий у воді лід розтане, то рівень води в посудині не зміниться (мал. 1, а). Як зміниться рівень води після того, як лід розтане, якщо всередині нього знаходиться бульбашка повітря?



Мал. 1

**Розв'язання.** Перемістимо бульбашку до самого краю льоду, щоб вона торкнулася його межі (мал. 1, б). Після цього ми можемо сказати, що предмет нашої задачі не шматок льоду з бульбашкою повітря, а шматок льоду складної форми (зі щербинкою). Тепер ми можемо відразу дати відповідь (вирішити силогізм). Відповідно до засновку, поданого в умові задачі, рівень води в посудині при плавленні льоду не змінюється, яку б форму не мав лід. Отже, він не зміниться й при таненні льоду зі щербинкою (льоду з бульбашкою повітря).

Обговоримо тепер роботу чуттєвого сприйняття й логічного мислення при виконанні такої логічної дії.

Хоча наївно-побутове мислення й визнає мінливість форми твердих предметів (це можна спостерігати й при плавленні, і при механічній обробці предметів), воно, на нашу думку, воліє вважати форму якоюсь якістю тіла, що зберігається. Таке двоїсте відношення проявляється в тому, що самостійно учні ніколи не пропонують описаного вище "фізичного" розв'язання, але досить легко приймають його після розповіді вчителя. Наприклад, якщо замінити бульбашку повітря крапелькою води, вони досить легко знаходять рух, що розв'язує цю задачу. Іноді, хоча це відбувається й дуже рідко, учні пропонують узагальнення запропонованого розв'язання – замість переміщення бульбашки вони пропонують провести до нього тонкий канал від поверхні тіла.

Для логічного мислення наведене розв'язання не є аргіогі припустимим. Логічний закон тотожності вимагає від нас, щоб у процесі мислення предмет мислення залишався незмінним, щоб не відбувалася підміна поняття. У зв'язку з цим виникає питання: а чи не відбувається в наведеному розв'язанні підміна поняття?

Для закону тотожності дуже важливо те, що він говорить не про реальний предмет, чії властивості невичерпні, а про предмет мислення (поняття), що є сукупністю лише декількох істотних властивостей. Тому цілком припустимі зміни властивостей, які хоча й згадуються в умові задачі, але не є істотними.

Для таких фізичних законів, як другий закон Ньютона або закон Архімеда, несуттєвою властивістю є форма тіла. Тому в тих фізичних ситуаціях, які керуються такими законами, виконання логічної операції руху, що змінює форму тіла, є логічно припустимими й не приводять до зміни предмета мислення.

Підбиваючи підсумок, ми можемо стверджувати, що ініціатором виконання розглянутого логічного руху є логічне мислення. Наївно-побутове мислення легко погоджується з ним, оскільки легко може знайти основу для цього в чуттєвому досвіді.

Пропедевтична функція розглянутої логічної операції полягає в тому, що після знайомства з нею можна сформулювати для учнів наступний методологічний принцип – корисно з'ясовувати, які властивості, можливо дуже значимі в інших ситуаціях, є несуттєвими в розв'язуваній фізичній задачі.

**1.3. Зміна форми зі зміною топології.** Термін топологія має кілька значень. Найбільш загальний смисл цьому терміну надає теорія математичних структур [4]. Вона називає топологічною структурою одну із трьох універсальних математичних структур – структуру сусідства. (Дві інші – це структура групи й структура порядку). Як розділ математики, топологія вивчає властивості геометричних фігур, які залишаються незмінними при найбільш загальних безперервних перетвореннях (наприклад, розмірність і компактність). У психології до топологічних властивостей відносять такі відносини, як відношення "перебуває усередині", "перебуває зовні", "мають точки перетинання" і такі властивості фігури як замкнутість і компактність.

При розвитку дитини першими формуються сприйняття топологічних властивостей предметів [5]. Це, на наш погляд, дає пояснення тому факту (його легко спостерігати в навчальній діяльності), що учні завжди розглядають топологічні властивості предмета фізичної задачі, як щось найбільш істотне, фундаментальне, що не підлягає ніяким змінам. З цієї причини іноді навіть сама зміна топологічних властивостей може стати предметом задачі.

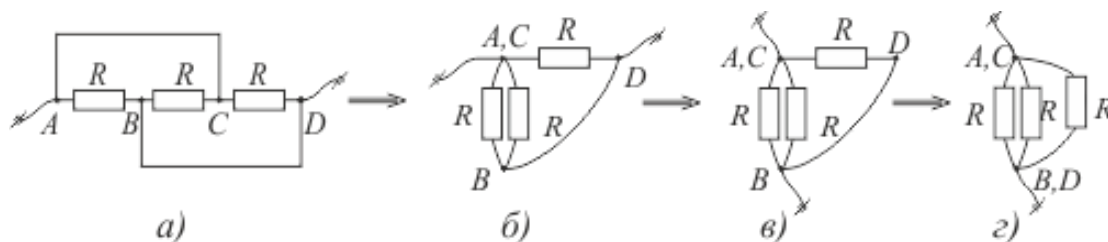
**Задача 2.** Рибалка опускає якір, що лежить у човні, у воду (якір не торкається дна). Чи змінюється при цьому рівень води в озері?

**Розв'язання.** Звичайно, відповідь до цієї задачі очевидна – рівень води в озері не зміниться, тому що описана в умові задачі дія є зміною форми складного тіла "човен, рибалка, якір", а форма тіла є несуттєвою властивістю для задач про плавання тіла. Однак тому, що тут відбувається зміна топологічного відношення між якорем і човном (відношення "А усередині В" змінюється на відношення "А зовні В"), учням завжди психологічно дуже складно визнати зміну, що відбулася, несуттєвою. Потрібна певна робота, щоб навчити учнів сприйняти такі факти як очевидні.

Сказане пояснює те, чому ми виділили в окремий вид логічні рухи, що супроводжуються зміною топології.

Приклад "фізичного" розв'язання, в якому виконується логічна операція руху, що приводить до зміни топології, нам дає розв'язання наступної задачі.

**Задача 3.** Знайти опір електричного ланцюга (мал. 2, а). Опори всіх резисторів однакові й дорівнюють  $R$ .



Мал. 2

**Розв'язання.** Стягнемо дріт  $AC$  в точку  $A,C$  (мал. 2, б). Після цього кардинального кроку схему легко привести до стандартного вигляду (мал. 2, в-г), перемістивши вихідну клему з точки  $D$  в точку  $B$ , й отримати відповідь:  $R_{\text{сн}} = R/3$ .

Ключовою дією наведеного розв'язання є логічна операція руху предмета задачі (електричної схеми), що супроводжується зміною її топології (одномірний об'єкт був змінений нульмірним об'єктом). І щоразу, розв'язуючи на уроці цю задачу, ми переконуємося, що цей логічний рух зовсім "невидимий" для учнів. Вони не тільки ніколи самі не ініціюють цього руху, але й не можуть його виконати навіть після прямої вказівки вчителя, що схему варто перемалювати, стягнувши дріт  $AC$  в точку.

Взаємодія логічного й наївно-побутового мислення при виконанні таких операцій можна характеризувати як відношення ведучого й веденого. Логічне мислення дозволяє виконання певних розумових рухів, наївно-побутове мислення "боїться" їх виконувати й залишається в такому самому положенні доти, доки не зможе змінити себе, знайшовши нові точки опори в почуттєвому досвіді.

Пропедевтичну функцію виконання таких рухів ми бачимо, насамперед, у тім, що тут відбувається формування *пріоритету* логічного мислення над стереотипами наївно-побутового мислення.

**1.4. Зміна форми як наслідок зміни масштабу.** У розглянутих вище прикладах ми змінювали форму предмета задачі на свій розсуд, слідуючи наявному в нас задуму. Однак, буває так, що зміна форми диктується не нашим задумом, а нашими діями. Якщо, наприклад, ми захочемо досліджувати

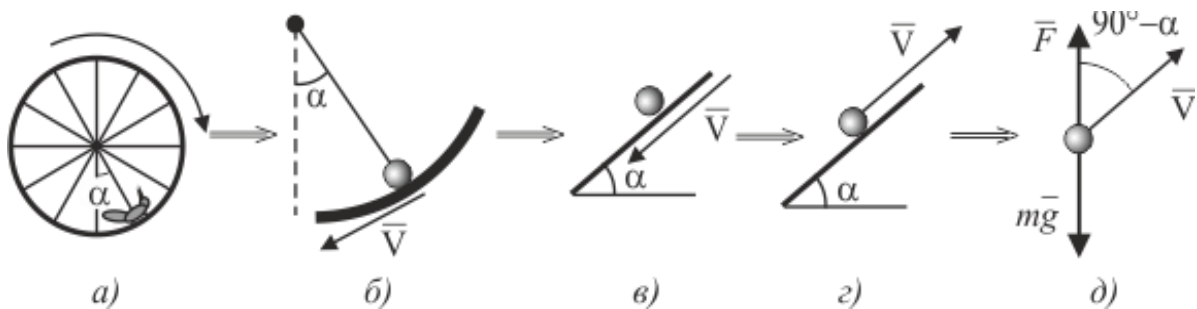
деякі локальні властивості предмета задачі й почнемо необмежено збільшувати масштаб, то всі геометричні фігури у фокусі нашого розгляду перетворяться в найпростіші геометричні форми – прямі й площини.

Приклад "фізичного" розв'язання, у якому відбувається кардинальна зміна форми предмета задачі внаслідок зміни масштабу, ми знайдемо в розв'язанні наступної задачі.

**Задача 4.** Білка біжить в обертовому колесі так, що увесь час залишається на одному місці (мал. 3, а). Яку потужність вона розвиває, якщо її маса дорівнює  $m$ , лінійна швидкість точок колеса дорівнює  $V$ , а лінія, що з'єднує білку із центром колеса, становить кут  $\alpha$  з вертикаллю?

*Розв'язання.* Для розв'язання цієї задачі у нас є два шляхи. Перший – розглянути "мікроруки" лап білки. Другий – спробувати знайти еквівалентну ситуацію, для якої відповідь очевидна. Залишимо перший шлях робототехніці, а самі підемо іншим шляхом.

Виконуємо ідеалізацію предметів задачі – замінюємо білку матеріальною точкою, а колесо – дугою кола (мал. 3, б). Тепер ми можемо необмежено збільшити масштаб малюнка. Матеріальна точка (білка) залишиться при цьому матеріальною точкою, а дуга перетвориться у відрізок прямої (мал. 3, в). Отже, наша задача еквівалентна задачі, у якій білка біжить (залишаючись нерухомою відносно землі) по *прямої*, що рухається вниз, ескалатору. Перейшовши в систему відліку, пов'язану з ескалатором (потужність білки не залежить від системи відліку), ми зводимо задачу до ще більш простої задачі про пасажера, що йде вгору по нерухомому ескалатору (мал. 3, г). Потужність, що він розвиває, така сама, яку розвивала б вертикальна сила  $F = mg$ , що забезпечує його переміщення зі швидкістю  $V$  під кутом  $\alpha$  до горизонту. Звідси відповідь  $P = FV \cos \varphi = mgV \sin \alpha$ .



Мал. 3

Іншим прикладом, у якому відбувається такий самий логічний рух, є наступна задача.

**Задача 5.** Нормальна складова прискорення дається формулою  $a_n = V^2 / R$ . Укажіть два випадки, у яких вона дорівнює нулю [6].

*Розв'язання.* Перший випадок знаходять усі. Це точка зупинки – точка, у якій  $V = 0$ . Другий випадок не знаходить ніхто. Доводиться вказувати, що це випадок, для якого  $R = \infty$ . Після цього виникає нове запитання – що являє собою траєкторія з радіусом кривизни, рівним нескінченності? Для того, щоб знайти відповідь на це запитання, виберемо довільну точку на зображенні звичайного кола й почнемо необмежено збільшувати масштаб зображення. Тоді, з одного боку, радіус кола буде необмежено зростати. З іншого боку, результатом такого логічного руху виявиться, як ми сказали вище, пряма. Звідси висновок: коло нескінченного радіуса є пряма. Таким чином, другий випадок, коли нормальна складова прискорення дорівнює нулю, є рух по прямій.

Як відомо, не завжди логічно правильне міркування сприймається нами як кристалево зрозуміле. Саме з таким випадком зіштовхується логічне мислення при виконанні логічних рухів такого типу. Занадто складно тут нам повністю абстрагуватися від очевидних відмінностей геометричних фігур, занадто важко бачити в описаних переходах не наближену, а точну дію. Допомогти тут мисленню може чуттєве сприйняття. Простежуючи процес зміни геометричних фігур при зміні масштабу (наприклад, за допомогою комп'ютера), ми раз за разом будемо переконуватися в тому, що дійсно, при збільшенні масштабу всі гладкі криві візуально перетворюються в прямі. Після цього логічному мисленню залишається зробити всього лише один крок – усвідомити цей факт як фундаментальну геометричну властивість нашого світу.

Пропедевтичну функцію цього логічного руху ми бачимо в тому, що воно є основою для роботи з нескінченно малими величинами при застосуванні математичного аналізу до розгляду фізичних об'єктів.

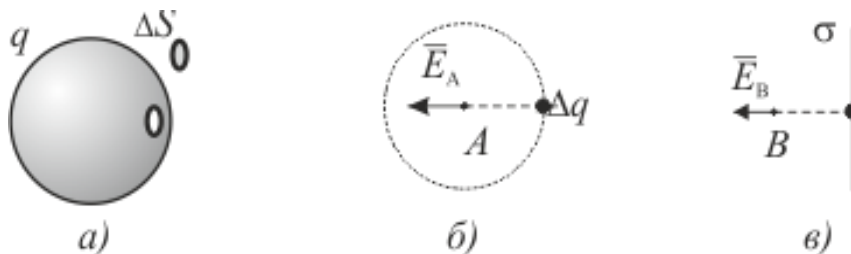
**1.5. Надання предмету задачі декількох форм.** Існують розв'язання, у яких предмету задачі надається декілька форм.

**Задача 6.** На поверхню тонкої діелектричної сфери радіусом  $R$  рівномірно наносять електричний заряд  $q$ . Потім з неї вирізують (і видаляють) невеликий сегмент площі  $\Delta S$  (мал. 4, а). Знайти напруженість електричного поля: а) у центрі сфери, б) у центрі утвореного отвору.

**Розв'язання.** Нам буде зручно за предмет задачі взяти не сферу з отвором, а вирізаний з неї сегмент. Можливість для такої заміни нам дає той факт, що в кожній точці усередині сфери електричне поле, створене сегментом, дорівнює за величиною (і протилежно за напрямком) електричному полю, створеному сферою з отвором. (Усередині повної рівномірно зарядженої сфери напруженість електричного поля дорівнює нулю). Тепер розв'язання.

а) Якщо ми знаходимося в центрі сфери (мал. 4, б), то далекий заряджений сегмент буде сприйматися нами як якесь маленьке тіло невизначеної форми (*точковий заряд*). З огляду на те, що заряд вирізаного сегмента дорівнює  $\Delta q = q\Delta S / 4\pi R^2$ , для напруженості електричного поля усередині

$$\text{сфери отримуємо } E_A = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\Delta q}{R^2} = \frac{1}{(4\pi)^2 \epsilon_0} \frac{q\Delta S}{R^4}.$$



Мал. 4

б) Якщо ми знаходимося дуже близько до поверхні сегмента (мал. 4, в), то він буде здаватися нам *нескінченною зарядженою площиною*. Тому для напруженості електричного поля в точці  $B$  ми можемо

$$\text{записати } E_B = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2}.$$

Отже, у наведеному розв'язанні ми приписали вирізаному шматочку сфери три різні форми: форму сегмента, форму точки і форму нескінченної площини. Для чуттєвого сприйняття тут немає проблеми, оскільки з досвіду спостережень йому відомо, що видимий образ будь-якого реального предмета змінюється при зміні точки спостереження, перетворюючись у граничних точках у два полярні образи – точку й нескінченну площину, які одне в одного ніколи не перетворюються.

Але видимий образ не предмет, а відношення (предмета й точки спостереження). Йому не заборонено мати кілька форм. А ось що стосується предмета задачі, то логічне мислення може поставити запитання: "Чи не порушується в цьому розв'язанні закон протиріччя, що забороняє мислити одночасно предмет як  $A$  і як  $\text{не-}A$ ?" Звичайно, закон протиріччя в цьому розв'язанні не порушується, оскільки предмет задачі мислиться як предмет, що має різні геометричні форми в різні моменти часу розв'язання.

Пропедевтичну функцію розглянутого логічного прийому ми бачимо тут у тому, ми формуємо в учнів новий методологічний принцип – форму предмета мислення можна змінювати в процесі розв'язання, порівнюючи її зі знову створеними обставинами.

**Висновки:** 1) Одним з елементів "фізичних" розв'язань навчальних задач із фізики є виконання спеціальної розумової дії, що полягає у зміні форми предмета задачі.

2) Процес виділення таких операцій у розв'язаннях фізичних задач й їхній аналіз є особливим видом навчальної діяльності, у якій відбувається формування наукового (логічного) мислення.

3) Пропедевтичне значення розглянутих логічних операцій полягає в тому, що вони є початковими елементами більш складних видів наукової діяльності.

**Використані джерела**

1. Добраев Л.П. Смысловая структура учебного текста и проблемы его понимания / Л.П. Добраев. – М.: Педагогика, 1982. – 176 с.
2. Эсаулов А.Ф. Психология решения задач. Методическое пособие / Анатолий Федорович Эсаулов. – М. : ВШ, 1972. – 216 с.
3. Павленко А.І. Методика навчання учнів середньої школи розв'язанню і складанню фізичних задач: (теоретичні основи) / Анатолий Иванович Павленко. – К. : ТОВ "Міжнар. фін. агенція", 1997. – 177 с.
4. Бурбаки Н. Очерки по истории математики / Николая Бурбаки. – М. : ИЛ, 1963. – 292 с.
5. Веккер Л.М. Психика и реальность. Единая теория психических процессов / Лев Маркович Веккер. – М. : Смысл, 1998. – 685 с.
6. Соколов Є. П. Екзаменаційна фізика. Лекції: навчальний посібник / Є. П. Соколов. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. – Т.1. – 184 с.

Socolov E.

**THE LOGICAL OPERATIONS OF MOVEMENT.  
GROUP OF FORM**

*The solutions of some training tasks on physics contain the special mental actions, which is to change (to modify, to transform) the object of task. We named such actions the logical operations of movement of the object of the task.*

*In this paper we consider a group of the logical operations which transform the shape of the object of the task. We named this group the group of form.*

*We include in the group of form five logical operations of movement. These are the following movements: a deprivation of form, a change of form, a change of form with the change of topology of the task object, a change of form due to a change of scale, a attaching the several forms to the object of the task.*

*The deprivation of form of the object we do every time when we turn it into the material point. The change of a shape we can find in the solutions of the tasks on hydrostatics and dynamics. The wordings of the laws of Archimedes and Newton do not contain the shape characteristics, so we can change the shape of a object of the tasks in the situations that are controlled by these laws. The changes of topology we can find in the solutions of the tasks of the electric circuits. The increasing of scale converts all smooth geometric shapes into the lines and the planes. This is the fourth kind of the logical operations of movement associated with a form. And finally, in the solutions of the problems, which operate with a visible profile, we can find examples in which the several forms are attached to object.*

*It is described the collaboration of logic and everyday thinking during carrying out of such logical operations. It is shown that the considered logical operations have essential propaedeutic value, since they are the starting points for more complex methods of scientific knowledge.*

**Key words:** *psychology of problem solving, logical operations of movement, training tasks on physics, methods of teaching, physics.*

*Стаття надійшла до редакції 16.05.2016*