ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ”
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

На правах рукопису

МАРЧЕНКО Оксана Анатоліївна

УДК 531/534 (07)

ТЕХНОЛОГІЯ ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ З МЕХАНІКИ У КЛАСАХ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО ПРОФІЛЮ

13.00.02 — теорія та методика навчання (фізика)
Дисертація
на здобуття наукового ступеня
кандидата педагогічних наук

Науковий керівник:
Мінаєв Юрій Павлович,
кандидат фізико-математичних наук,
доцент

Запоріжжя 2009

ЗМІСТ

ВСТУП……4
РОЗДІЛ І
ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ЗАСАДИ ТЕХНОЛОГІЗАЦІЇ ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ ПОГЛИБЛЕНОМУ НАВЧАННІ ФІЗИКИ……11
1.1. Еволюція поглядів фізиків-методистів на вивчення учнями середньої школи теоретичного матеріалу курсу фізики ……11
1.2. Математичний апарат як необхідна складова поглибленого курсу фізики……26
1.3. Розвиток логічної пам'яті та мислення учнів у процесі вивчення ними теоретичного матеріалу з фізики……35
1.4. Проблеми технологізації вивчення теоретичного матеріалу поглибленого курсу фізики……45
Висновки до першого розділу……53

РОЗДІЛ ІІ
РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ З МЕХАНІКИ У КЛАСАХ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО ПРОФІЛЮ……55
2.1. Формулювання діагностично поставлених цілей вивчення теоретичного матеріалу з механіки ……58
2.2. Поєднання математики і теоретичного матеріалу з механіки в інтеграційному курсі "Мехматика" ……74
2.3. Створення "комп'ютерного помічника" як ефективного засобу запропонованої технології ……88
2.4. Організація проблемних ситуацій під час проведення демонстраційного експерименту з механіки……117
2.5. Використання учнями під час навчально-дослідної діяльності досвіду самостійної роботи з вивчення теоретичного матеріалу з механіки……121
Висновки до другого розділу……144
РОЗДІЛ ІІІ
ОРГАНІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ……146
3.1. Констатуючі експерименти з діагностики рівня володіння теоретичним матеріалом з механіки потенційними абітурієнтами фізичних факультетів університетів……146
3.2. Організація та результати формувального педагогічного експерименту ……154
Висновки до третього розділу……171
ВИСНОВКИ……172
ДОДАТКИ……175
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……204

ВСТУП

Актуальність теми. Перехід на 12-річний термін навчання, що вже відбувається згідно з реформою загальної середньої освіти в Україні, передбачає профільну диференціацію у старших класах школи. Відповідно до прийнятого Державного стандарту базової та повної середньої освіти [57] вивчення фізики у середній школі проходитиме за такою схемою: перші три роки (VII–IX класи) відводяться на засвоєння базового курсу, а останні три роки (X–XII класи) учні навчаються за програмами, які враховують профільну диференціацію старшої школи.

Реформа системи шкільної освіти сприяла проведенню нової серії дидактичних досліджень щодо визначення змісту шкільної фізичної освіти (О.І. Бугайов [25], С.У. Гончаренко [47], М.Т. Мартинюк [110], О.В. Сергєєв [183], Є.В. Коршак, М.І. Шут, В.Ф. Савченко [154] та інші).

Ґрунтовні дослідження стосовно формування в учнів фізичних понять на емпіричному та теоретичному рівнях, методологічних знань та фізичної картини світу були проведені О.І. Бугайовим [23, 26], Б.Є. Будним [27], Р.Ю. Волковиським [34], С.Л. Вольштейном [35], Г.М. Голіним [45], С.У. Гончаренком [48, 49], В.Ф. Єфіменком [64], Н.Г. Заволокою [66], Б.Г. Кремінським [94], О.І. Ляшенком [23, 49, 103, 104], В.В. Мултановським [141, 142], А.В. Усовою [203, 204] та іншими.

Проведення досліджень з методики вивчення певних тем поглибленого курсу фізики привели до створення спеціальних підручників та посібників для учнів (Л.Е. Генденштейн [43], О.Ф. Кабардін [206], Г.Я. Мякішев [208], А.А. Пінський [209] та інші). На допомогу вчителям були розроблені відповідні методичні рекомендації та посібники (О.Ф. Кабардін [33, 133], Л.І. Резніков [189] та інші).

Обсяг навчального матеріалу, який підлягає засвоєнню згідно з програмою поглибленого курсу фізики, з необхідністю потребує досить високого рівня розвитку мислення учнів. Проблема розвитку мислення та інших функціональних механізмів психіки учнів за допомогою навчання розглядалася у дослідженнях В.І. Андрєєва [2], П.П. Блонського [19], Л.С. Виготського [37], П.Я. Гальперіна [39, 40], В.В. Давидова [54, 55], Т.П. Зінченко [74], Г.С. Костюка [93], О.М. Леонтьєва [100], С.Л. Рубінштейна [170], Н.Ф. Тализіної [195], Л.М. Фрідмана [210], М.О. Холодної [211] та інших.

Сучасний розвиток дидактики середньої школи потребує переведення методик навчання на “технологічні рейки”. Методологічне дослідження технологізації навчального процесу проводилося В.П. Безпальком [15]. Дидактичному вивченню й узагальненню значного обсягу педагогічних технологій присвячені роботи П.С. Атаманчука [8], Л.Ю. Благодаренко [18], В.І . Бондаря [21], В.В. Гузєєва [53], М.В. Кларіна [87], Г.Ю. Ксензової [96], Г.К. Селевка [182], О.В. Сергєєва [184], С.О. Смірнова [157], О.К. Філатова, Д.В. Чернилевського [216] та інших. Сучасні технології навчання фізики в середній школі розглянуті у монографії О.І. Іваницького [77].

Одним із завдань диференціації старшої школи є підготовка учнів до вступу на відповідні факультети вищих навчальних закладів. Так, значна частина випускників фізико-математичних класів має на меті продовження освіти у вищих навчальних закладах, де фізика є дисципліною, на якій ґрунтується фахова підготовка. У цьому випадку важливим стає не стільки знання учнями фактичного матеріалу шкільного курсу фізики, скільки наявність у них розвинених здібностей до засвоєння та використання фізичних знань, які вони будуть отримувати у вищих навчальних закладах [135]. У зв'язку з цим набуває актуальності завдання розробки *технологій профільного навчання*, що забезпечували б розвиток таких здібностей.

Вивчення фізики у старшій школі буде розпочинатися з механіки. На прикладі цієї теорії можна продемонструвати учням загальну структуру фізичних теорій, надати їм певні методологічні знання, адже механіка вивчається у поглибленому шкільному курсі фізики у найбільш повному обсязі. Якість засвоєння учнями інших фізичних теорій значною мірою залежить від розуміння механіки.

У Державному стандарті базової і повної середньої освіти [57] зазначається, що у старшій школі учні мають засвоювати навчальний матеріал на рівні теоретичних узагальнень. Отже, механіку треба вивчати цілісно, як фізичну теорію. Здійснити це стає можливим лише за умови наявності у школярів відповідної математичної підготовки. Зміст та організація цієї підготовки потребують проведення спеціальних досліджень. Це питання пов'язане також із формуванням в учнів уміння самостійно опрацьовувати тео ретичний матеріал, яке є виключно важливим для продовження фізичної освіти.

Проблема вивчення механіки у класах фізико-математичного профілю є багатоаспектною. Потребують проведення окремих додаткових досліджень питання, пов'язані з експериментальною діяльністю школярів та з навчанням специфічних прийомів розв'язування фізичних задач. Ми обмежилися такою темою дисертаційного дослідження: "**Технологія вивчення теоретичного матеріалу з механіки у класах фізико-математичного профілю**".

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до тематичного плану наукових досліджень кафедри фізики та методики її викладання Запорізького національного університету, а тема дисертації затверджена на засіданні науково-технічної ради Запорізького національного університету (протокол №4 від 17 грудня 2001 р.) та узгоджена в Раді з координації наукових досліджень у галузі педагогіки та психології в Україні (протокол №1 від 28 січня 2003 р.).

Об'єкт дослідження — процес навчання фізики у класах фізико-математичного профілю.

Предмет дослідження — організація вивчення учнями фізико-математичних класів теоретичного матеріалу з механіки.

Мета дослідження: створити технологію вивчення теоретичного матеріалу з механіки у класах фізико-математичного профілю, в основу якої покладена ідея інтеграції знань з механіки та математики, а також ідея використання можливостей сучасних комп'ютерних технологій для активізації

самостійної пізнавальної діяльності учнів.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання дослідження**:

1. Виявити важливі для розкриття теми дисертації закономірності розвитку пам'яті і мислення учнів середньої школи, проаналізувавши методичну літературу, присвячену проблемам вивчення теоретичного матеріалу з механіки, зокрема у класах фізико-математичного профілю, та відповідну психолого-педагогічну літературу. За необхідності, провести власні уточнюючі дослідження.

2. Розробити програму курсу, в якому будуть інтегруватися механіка та відповідні розділи математики.

3. Запропонувати власний варіант технології вивчення теоретичного матеріалу з механіки у класах фізико-математичного профілю та продемонструвати хід навчального процесу на прикладі окремих тем.

4. Експериментально перевірити ефективність використання запропонованої технології.

Для розв'язання поставлених завдань використовувалися такі **методи дослідження**:

-спостереження за навчальним процесом (для з'ясування проблеми дослідження);

-синтез, аналіз, узагальнення, порівняння (для опрацювання психолого-педагогічної та методичної літератури);

-бесіда (для вивчення поглядів учителів середніх шкіл та викладачів вищих навчальних закладів на цілі вивчення механіки у класах фізико-математичного профілю та на зміст поглибленого курсу фізики);

-метод анкетування (для виявлення рівня розвитку здібностей учнів до самостійної роботи);

-аналіз результатів діяльності учнів (для удосконалення та відпрацювання технології навчання);

-педагогічний експеримент (для діагностики рівня володіння учнями теоретичним матеріалом з механіки та для апробації запропонованої технології).

Наукова новизна одержаних результатів полягає у такому:

- *Уперше* створено інтеграційний курс, в якому реалізована ідея поєднання механіки та відповідних розділів математики. Завдяки вчасному забезпеченню учнів необхідним математичним апаратом у них з'явилася можливість самостійно отримувати значну частину важливих фізичних результатів, засвоєння яких передбачається поглибленим курсом фізики. Інтеграція в одному курсі теоретичного матеріалу з механіки і відповідних розділів математики дозволила значною мірою зняти відому проблему, яка полягає в тому, що більшість учнів не вміє використовувати знайому математику при розгляді фізичних питань (існування цієї проблеми підтверджено і в нашому дослідженні).
- *Удосконалено* організацію самостійного вивчення учнями теоретичного матеріалу з механіки шляхом розробки спеціальних завдань на застосування математичного апарату для отримання нових для учнів фізичних

результатів. Під час виконання цих завдань вони могли скористатися дозованою допомогою.

- *Набула подальшого розвитку* ідея використання можливостей сучасних інформаційних технологій у ході вивчення теоретичного матеріалу. Для технологізації процесу отримання учнями дозованої допомоги з механіки був розроблений спеціалізований "комп'ютерний помічник". Цей навчальний засіб працює в інтерактивному режимі, спонукаючи учнів до самостійних інтелектуальних дій та надаючи, у разі необхідності, своєчасну дозовану допомогу.
- *Уперше* експериментально доведено, що інтеграція в одному навчальному курсі механіки та відповідних розділів математики в умовах належного методичного забезпечення та адекватного використання можливостей сучасних комп'ютерних технологій дозволяє школярам не лише отримувати дієві систематизовані знання з механіки, а й переходити на якісно новий рівень самостійності у засвоєнні та застосуванні теоретичного матеріалу з фізики.

Практичне значення одержаних результатів полягає у тому, що у навчальному процесі в класах фізико-математичного профілю можна безпосередньо використовувати:

- складену систему завдань, які у діагностичному вигляді визначають цілі вивчення теоретичного матеріалу з механіки у класах фізико-математичного профілю;
- розроблену для класів фізико-математичного профілю програму інтеграційного курсу "Мехматика";
- створений "комп'ютерний помічник", який допомагає технологізувати процес вивчення теоретичного матеріалу з механіки як на уроках фізики, так і у позаурочний час.

Окремі елементи технології впроваджувалися у середніх навчальних закладах м. Запоріжжя (ліцей "Перспектива" (довідка № 83 від 20.04.2007), "Технічний ліцей" (довідка № 01/053 від 26.03.2007), Запорізька гімназія №28 (довідка № 01/34 від 26.03.2007)) та на фізичному факультеті Запорізького національного університету (довідка № 01-25/17 від 30.03.07). Формувальний експеримент проводився у фізико-математичному ліцеї №105 (довідка № 174 від 10.05.2007), колегіумі № 98 (довідка № 98 від 28.03.2007) та у межах фізико-математичного гуртка Центру дитячої та юнацької творчості Жовтневого району м. Запоріжжя (довідка № 39 від 28.03.2007).

Особистим внеском здобувача є: проведення попередніх досліджень щодо стану розробки проблеми та її актуальності; теоретичне обґрунтування і розробка технології вивчення теоретичного матеріалу з механіки, в основу якої покладена ідея інтеграції знань з механіки та математики, а також ідея використання можливостей сучасних комп'ютерних технологій для активізації самостійної пізнавальної діяльності учнів; створення "комп'ютерного помічника", який допомагає технологізувати процес вивчення теоретичного матеріалу з механіки; організація і проведення педагогічного експерименту та обробка його результатів.

Апробація результатів дисертації. Теоретичні положення дослідження проходили апробацію під час виступів на міжнародних і всеукраїнських методичних читаннях, конференціях і семінарах: Міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні тенденції розвитку природничо-математичної освіти" (м. Херсон, 2002 р.); Міжнародній науково-методичній конференції "Методологічні проблеми формування фізичних знань учнів і професійних якостей майбутніх учителів фізики та астрономії" (м. Кам'янець-Подільський, 2003 р.); Міжнародному симпозіумі "Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника фізики в світлі сучасної освітньої парадигми" (м. Кам'янець-Подільський, 2006 р.); Чернігівських методичних читаннях з фізики (м. Ніжин, 2005 та 2007 рр., м. Чернігів, 2006 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції "Засоби реалізації сучасних технологій навчання" (м. Кіровоград, 2002 р.); III Всеукраїнській конференції "Сучасні технології в науці та освіті" (м. Кривий Ріг, 2003 р.); IX Всеукраїнській науковій конференції "Фундаментальна та професійна підготовка фахівців з фізики" (м. Київ, 2004 р .); Всеукраїнській науково-практичній конференції "Особливості підготовки вчителів природничо-математичних дисциплін в умовах переходу на профільне навчання" (м. Херсон, 2004 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції "Освітнє середовище як методична проблема" (м. Херсон, 2006 р.).

Публікації. Основні результати дослідження опубліковані у 22 наукових та науково-методичних працях загальним обсягом 8,2 друк. аркушів, з них 16 статей у провідних наукових фахових виданнях, серед яких 3 одноосібні, 6 статей у збірниках матеріалів конференцій, серед яких 4 одноосібні. Загальний обсяг особистого внеску — 4,7 друк. аркушів.

РОЗДІЛ І
ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГІЧНІ ЗАСАДИ ТЕХНОЛОГІЗАЦІЇ ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ ПРИ ПОГЛИБЛЕНОМУ НАВЧАННІ ФІЗИКИ

1.1. Еволюція поглядів фізиків-методистів на вивчення учнями середньої школи теоретичного матеріалу курсу фізики

Наше дослідження стосується певної частини навчального матеріалу з механіки, а саме — ***теоретичного матеріалу***. Не дивлячись на те, що у методичній літературі відсутнє чітке означення цього поняття, воно є широко вживаним. Так, у посібнику для вчителів [28] зазначається: "… разом з аналізом *теоретичного матеріалу* (тут і далі виділено нами — О.М.) при вивченні будь-якої теми необхідно на відповідному рівні, науковому та методичному, підготувати фізичний експеримент" [28, с. 5]. У підручнику з методики викладання фізики за редакцією О.В. Пьоришкіна [153], міститься фраза: "Скорочення навчального часу на вивчення *теоретичного матеріалу* здійснено за рахунок удосконалення розділів" [153, с. 68]. У навчальній програмі для загальноосвітніх навчальних закладів [165] є фраза: "… виконання контрольної роботи, яка включає *теоретичні питання* і задачі …" [165, с. 17].

Отже, можна вважати, що у процесі розвитку дидактики фізики зі шкільного курсу поступово виокремлювалися такі його складові як теоретичний матеріал, задачі та лабораторні роботи. Звичайно, оволодіння вмінням розв'язувати фізичні задачі унеможливлюється без знання певних теоретичних відомостей, проте це знання є лише необхідною, але не достатньою вимогою. Для успішного розв'язування задач потрібно також володіти певними специфічними прийомами. Те саме можна сказати і про лабораторні роботи, виконання яких (особливо без детально розроблених інструкцій) вимагає сформованості в учнів певних експериментальних умінь.

Поглиблений курс фізики з'явився в середній школі у 1967 році і був (і залишається) щільно пов'язаним з курсом фізики, який мають засвоїти всі учні, тому ми дещо розширимо наш аналіз. Основну увагу будемо приділяти підручникам та посібникам з методики навчання фізики, оскільки вони певною мірою узагальнено відображають погляди вчених-методистів на навчання фізики у той чи інший час.

Основні напрямки методичних пошуків наприкінці XIX — початку XX ст . були так чи інакше пов'язані з розробленням демонстраційних експериментів, впровадженню у шкільну практику дослідів та лабораторних робіт. Так, комісія з реформи викладання фізики під керівництвом проф. М.О. Умова у 1898 р. визнала фізичний експеримент провідним методом викладання: "… розвиток експериментальної сторони, пов'язаної зі скороченням математичної обробки висновків або із заміною математичних перетворень експериментом, який виправдовує закон, являє собою здобуток, а не втрату у викладанні" [153, с. 11].

На думку проф. О.Д. Хвольсона, "… викладання фізики, у якому експеримент не є основою та наріжним каменем, повинно бути визнано некорисним і навіть шкідливим" (1900 р.) [153, с. 12]. Ці ідеї отримали розвиток на першому Всесоюзному з'їзді викладачів фізики, хімії та космографії, де були чітко визначені принципи, на які мають спиратися вчителі під час навчання фізики [153, с. 13].

Розробленням програми-мінімуму з фізики для єдиної трудової школи I та II ступенів займалися проф. П.О. Знаменський та проф. І.І. Соколов. Згідно з цією програмою, курс першого ступеня є повністю експериментальним, на відміну від другого ступеня, де роль теорії у навчанні фізики посилюється.

У 20-их роках викладання фізики здійснювалося за комплексними програмами ДВР (Державної вченої ради), один із головних принципів яких проголошував: "система знань, а не система предметів". Однак результати навчання за цими програмами були визнані незадовільними, обсяг знань учнів з фізики — малим [22, с. 25]. Тому ці програми були визнані помилковими і замість них були розроблені нові систематичні програми з фізики. Зазначимо, що проф. О.Д. Хвольсон вказував на необхідність цих змін, мотивуючи це потребами вищих навчальних закладів.

У 1934 році вийшли друком перші підручники з методики викладання фізики П.О. Знаменського [75] та І.І. Соколова [191], які потім неодноразово перевидавалися.

На думку П.О. Знаменського, під час викладання фізики у школі теорії приділялося недостатньо уваги. "Ця сторона при вивченні фізики недооцінюється. А між тим науковий рівень викладання можна підняти тільки тоді, коли ми не будемо обмежуватись повідомленням та показом учням фактів, простим описом явищ, а будемо намагатись розкривати природу фактів та явищ , будемо всюди, де це можливо, давати пояснення, наводити теоретичні обґрунтування, причому будемо це робити не у відриві від викладання фактичного матеріалу, а у тісному контакті" [75, с. 23].

Крім цих загальних рекомендацій щодо викладання фізики, П.О. Знаменський також аналізує причини недооцінювання ролі теорії. Першою він називає недостатність часу для вивчення великого за обсягом програмного матеріалу, що і підштовхує викладачів до скорочення теоретичної частини. У вказаному підручнику наводиться наступна рекомендація щодо розв'язання цієї проблеми: "Не біда, якщо учень не вивчить деякі другорядні питання. Якщо добре засвоєне головне, учень, коли буде потрібно, без зусиль вивчить і все інше" [75, с. 34]. Другою причиною, що обмежує можливості теоретичних обґрунтувань, є недостатня математична підготовка школярів. Цікаво, що вже у ті часи П.О. Знаменський вказував на потребу узгодження програм з фізики та математики [75, с.33].

Про роль фізичних теорій ідеться й у "Нарисах з методики викладання фізики" О.К. Бабенка, М.Й. Розенберга: "У VIII-X класах вивчення фізики ‹...› передбачає певне узагальнення набутих відомостей. З цією метою учні в зазначених класах вивчають основи фізичних теорій. ‹...› Вже у курсі механіки слід робити узагальнення законів динаміки і глибше їх трактувати" [12, с. 5].

Однак, у підручнику “Методика викладання фізики в середній школі” Л.І. Резнікова, Е.Ю. Евенчик, В.Ф. Юськовича (1958 р.) [169] знов рекомендовано приділяти значно більшу увагу експериментам під час вивчення механіки. Ця рекомендація обґрунтовується тим, що “механіка у шкільному курсі фізики потребує не математизації, яка перетворює механіку на абстрактну для школярів науку, а у посиленні експериментальної основи її вивчення” [169, с. 33]. Якщо у 20-ті роки однією з причин зміни підходів до навчання фізики була невідповідність рівня підготовки школярів вимогам вищих навчальних закладів , то пізніше (у післявоєнні роки) важливою стала підготовка учнів до подальшої роботі на виробництві. У той час видатний учений А.Ф. Йоффе зазначав, що “… фізика в середній школі все ще розглядається як підготовка до вищої школи . Між тим все більше молоді одразу після десятирічки йде на виробництво. ‹...› Тому прийшов час переглянути вимоги до викладання фізики” [46, с. 5]. За таких умов автори згадуваного підручника [169] хоча і вказують на те, що “… недостатня підготовка учнів з математики ‹...› утруднює вивчення механіки” [169, с. 33], але вважають, що “… не настільки, щоб поступитися фізичними ідеями побудови курсу та необхідністю підготувати учнів до вивчення машинознавства та праці на виробництві” [169, с.33].

Стосовно організації вивчення наявного у програмах теоретичного матеріалу головним вважалося забезпечення активності учнів під час навчання. Так, П.О. Знаменський вважав, що “… великий, складний та різноманітний матеріал фізики може бути свідомо засвоєний учнями лише у тому випадку, коли вивчення фізики відбувається за активної участі самих учнів, якщо добре розвинута їхня самостійна робота. Ми повинні давати учням знання не у готовому вигляді, а формувати систему знань у процесі їхньої активної розумової праці” [75, с. 35].

У посібнику К.М. Єлізарова (1956 р.) [62] питання організації уроку фізики, на якому відбувається вивчення нового матеріалу, розглядається дуже детально. Автор вважає, що організація такого уроку за допомогою розповіді або бесіди, що супроводжується залученням до неї окремих учнів, не сприяє формуванню глибоко усвідомлених та міцно засвоєних знань. Для того, щоб це сталося, необхідна активна участь у класній роботі всіх учнів. “Активна участь класу у вивченні нового матеріалу може бути забезпечена такою побудовою занять, за якої вивчення відбувається у плані розробки нового матеріалу вчителем разом з учнями, у плані розв’язання тих питань, проблем, які виникають перед викладачем та учнями у зв’язку з матеріалом, що вивчався раніше” [62, с. 40].

К.М. Єлізаров зазначає: перш за все потрібно за допомогою проблеми, яка пов’язана з матеріалом, що вивчався раніше, створити в учнів перспективу у роботі. Висунути цю проблему можна разом з учнями, так само, як і намітити шляхи та способи її розв’язання. Для підготовки учнів до форм роботи, які характерні для вищих навчальних закладів, К.М. Єлізаров рекомендує періодично проводити уроки-лекції і вказує на певні організаційні особливості цих уроків [62, с. 41-43].

Окремий розділ у посібнику для вчителів М.С. Білого [16] присвячений проблемі забезпечення сприймання учнями нового навчального матеріалу. Автор зазначає, що повідомлення учням нових знань є найвідповідальнішою частиною уроку і наводить різноманітні прийоми активізації процесу сприймання нового матеріалу. Серед методів навчання М.С. Білий виділяє бесіду і називає одним з найкращих та найскладніших методів [16, с. 32]. Евристична бесіда, на його думку, має ту перевагу, що учні самі "відкривають" фізичні закони і при цьому "… вони мають велике задоволення від результатів своєї праці" [16, с. 33].

У посібнику за редакцією О.В. Пьоришкіна (1963 р.) [131] способи організації вивчення нового матеріалу були розглянуті з точки зору їх впливу на розвиток особистості учня. Автори зазначають, що від характеру діяльності учня на уроках у значній мірі залежить формування його особистості: "Якщо учні на уроках не працюють самостійно, а лише є пасивними слухачами, які тільки запам'ятовують матеріал, що викладається вчителем, то через це страждає не лише якість знань, а і процес формування особистості учня. І навпаки, якщо систематично здійснювати на учнів такий педагогічний вплив, який буде викликати в них активну роботу думки, примушувати їх самостійно діяти, це буде приводити до виникнення стійких рис характеру, таких як ініціативність та самостійність думок" [131, с. 24-25].

Основними методами вивчення нового матеріалу автори посібника вважають бесіду та монологічне пояснення вчителя. Досить велика увага приділяється способам активізації учнів. "Активність учнів повинна підтримуватись протягом всієї бесіди. Усю побудову бесіди бажано зробити проблемною, щоб перед учнями під час бесіди з'являлися питання, на які вони потім отримають відповіді з експерименту, спостережень або шляхом логічних міркувань" [131, с. 26]. Крім цих рекомендацій було також вказано на те, що бесіда як метод викладання нового матеріалу має певні обмеження, а саме бесіда може використовуватися лише у тих випадках, коли учні володіють необхідними попередніми знаннями або даними з особистого досвіду. Метод монологічного пояснення за умови правильного його використання розвиває вміння учнів слідкувати за викладом, сприймати, усвідомлювати факти, вловлювати та засвоювати основну думку вчителя [131, с. 26].

Методи усного викладу нового навчального матеріалу, а саме, бесіда, розповідь та шкільна лекція також докладно розглянуті у навчальному посібнику для студентів-заочників педагогічних інститутів "Методика викладання фізики у середній школі" (1968 р.) [132]. У цьому посібнику значна увага приділена способам активізації пізнавальної діяльності учнів, зокрема під час вивчення нового матеріалу; розглянуті способи створення на уроках проблемних ситуацій [132, с. 100-110].

Зазначимо, що одним із завдань викладання фізики у середній школі автори посібника вважають забезпечення глибокого та міцного засвоєння учнями теоретичних основ фізичної науки [132, с. 10].

У 1969 році виходить друком посібник "Методика навчання фізики у восьмирічній школі" за редакцією М.Й. Розенберга [128]. На той час у

восьмирічній школі вивчався перший ступінь курсу фізики, і метою цього навчання була підготовка учнів до поглибленого вивчення курсу фізики у старших класах середньої школи. І хоча словосполучення “фізична теорія” не зустрічається у переліку завдань, що ставилися перед учителями фізики, автори посібника вказують на необхідність ознайомлення учнів з елементами деяких фізичних теорій [128, с. 3-5].

Наприкінці 60-их років увагу вчених-методистів та вчителів все більше став привертати розрив між змістом науки та навчальним предметом “фізика”. І у 1967-1972 була проведена реформа шкільної фізичної освіти, яка призвела до значного зростання кількості статей, посібників та підручників, присвячених методиці викладання фізики [107, 144, 168, 202]. Деякі з них були присвячені викладенню окремих розділів шкільного курсу фізики без розгляду загальних питань організації навчання [20, 52, 137, 156, 174, 175, 177 181, 205, 214].

У результаті реформи було запропоновано організовувати факультативні заняття для учнів, які виявляють підвищену зацікавленість до фізики. Так, у 1967 році виник новий напрям — методика факультативних занять та поглибленого вивчення фізики у середній школі [22, с. 28].

Факультативні курси фізики можуть бути присвячені або додатковим до основного курсу розділам фізики, або бути окремими спеціальними курсами. Для першого виду факультативів були розроблені спеціальні типові програми [198]. Згідно з ними майже половина часу, що відводився на такі заняття, повинна бути присвячена експериментам та лабораторним роботам.

Розглядаючи факультативні заняття як засіб розвитку пізнавальних інтересів школярів, Л.С. Шубіна [223] пропонувала будувати вивчення певної теми факультативного курсу наступним чином: а) попереднє обговорення проблеми, що вивчається; б) самостійна робота учнів над темою; в) співбесіда або семінар [223, с. 182].

Спецкурси, як зазначав О.І. Бугайов [22], зазвичай побудовані так, що вони охоплюють окремий розділ фізики або питання прикладного характеру. Такі курси рекомендують проводити у класах і школах з поглибленим вивченням фізики та математики [22, с. 270-271].

О.І. Бугайов вказував на особливості таких спецкурсів:

1)більш глибоке та повне, ніж зазвичай, трактування основних понять, законів і теорій; чітке визначення границь, у межах яких “працюють” ті чи інші фізичні моделі та теорії, концепції та поняття; обов’язкове врахування під час аналізу фізичних явищ початкових умов та визначення можливих спрощень;

2)оскільки поглиблене вивчення фізики починається з 9-го класу (за старою нумерацією — О. М.), то у програму цього курсу вводиться повторювально-узагальнюючий розділ, присвячений механіці, мета якого — нагадати школярам її основні поняття та закони, розглянути деякі питання механіки більш докладно, вивчити ряд додаткових питань;

3)для того, щоб підвищити науковий та виховний рівень курсу фізики, у ньому посилена роль фізичного експерименту, який проводиться учнями самостійно (до 25% навчального часу);

4)завдяки додатковим знанням учнів з математики передбачається більш повне ознайомлення їх на уроках фізики з математичним методом, а також посилено дедуктивний характер викладання низки тем [22, с. 274].

Звичайно, виникла необхідність видання відповідних посібників з методики викладання поглибленого курсу фізики та проведення факультативних занять. Видається посібник для учнів "Факультативний курс фізики. 8 клас" [206], а пізніше і посібники для вчителів за редакціями Л.І. Резнікова [189] та О.Ф. Кабардіна [33, 133]. У першому з указаних посібників підкреслюється, що курс середньої школи знайомить учнів не тільки з експериментальним методом у фізиці, але і з математичним [33, с. 14]. Цей курс починається з повторювально-узагальнюючого розділу механіки. Автори зазначають, що для вивчення наступних розділів учням необхідні глибокі знання основних понять та законів механіки. Підкреслюється також великий вплив цієї теорії на розвиток мислення учнів. "При вивченні механіки відбувається перехід від наочних образів до понять. Не випадково вивчення механіки називають "школою мислення" [33, с. 19].

Згідно з посібником [133], факультативний курс фізики 8-го класу (за нумерацією до 1988 р.) складається з чотирьох етапів. На підготовчому етапі розглядаються питання вимірювання часу, відстаней та розмірів тіл; на наступному етапі відбувається поглиблення та розвиток основних понять механіки. На третьому етапі вводяться нові фізичні поняття та закони обертального руху твердого тіла. Особливість методики вивчення законів динаміки обертального руху полягає в тому, що вони не виводяться як наслідки із законів динаміки поступального руху, а розглядаються як самостійні закони. У зв'язку з цим експеримент та самостійні експериментальні дослідження учнів у цьому розділі є особливо важливими. На четвертому етапі проводиться узагальнення знань під час вивчення законів збереження в механіці та виконання фізичного практикуму. Поглиблене вивчення законів збереження імпульсу, енергії та моменту імпульсу пропонується проводити головним чином у формі розв'язування системи спеціально підібраних задач, що ілюструють особливості використання законів збереження під час розрахунків механічних явищ [133, с. 45-47].

Стосовно методів навчання зазначається, що у старших класах викладання нового матеріалу може наближатися до лекції (такої, як у вищих навчальний закладах), а замість опитування учнів можна використовувати систему семінарських занять [133, с. 15]. У підручнику з методики викладання фізики за редакцією О.В. Пьоришкіна [153] зазначається, що відсутність суворого регламенту у проходженні програми факультативу створює сприятливі умови для організації навчального процесу як *самостійної продуктивної творчої* діяльності учнів. З цією метою можна використовувати найбільш цікавий навчальний матеріал, більше, ніж на уроках, застосовувати такі методи навчання, які активізують розумову діяльність школярів. Факультативні заняття більш повно, ніж обов'язкові, дозволяють здійснювати дослідницький підхід до вивчення школярами фізичних явищ та творче застосування ними фізичних законів на практиці [153, с. 379].

Програма для класів з поглибленим вивченням фізики поєднує питання, що розглядаються в основному і факультативних курсах, тому вчителі можуть користуватися підручниками та методичними посібниками, які призначені для обох цих курсів. Отже, зміни підходів до навчання фізики, що стосувалися у першу чергу основного курсу фізики, впливали і на поглиблений курс.

У посібнику для вчителів, що вийшов за редакцією Л.І. Резнікова [163] після проведення реформи фізичної освіти у середній школі, було описано, як можна традиційний навчальний матеріал трактувати з точки зору сучасної науки та вводити у шкільний курс деякі закони та експерименти з теорії відносності та квантової механіки. Важливим для нашого дослідження є факт, що класична фізика не протиставляється сучасній. Роль механіки підкреслюється окремо. “Механіка є тим розділом фізики, який, завдячуючи строгості та логічності своєї побудови, значною мірою сприяє розвитку мислення учнів. Від його засвоєння певною мірою залежить успішність вивчення всіх розділів курсу фізики, оскільки в них широко використовуються поняття механіки” [163, с. 58]. На перших сторінках цього посібника автори цитують А. Ейнштейна: “... не слід думати, що велике творіння Ньютона може бути знецінено ‹...› будь-якою іншою теорією. Його ‹...› великі ідеї назавжди збережуть своє значення як фундамент усіх наших сучасних уявлень у природознавстві”.

Викладанню фізичних теорій у підручниках та посібниках з методики фізики почали приділяти значно більше уваги. Так, у підручнику з методики викладання фізики у 6-7 класах (1976 р.) за редакцією В.П. Орехова та А.В. Усової методиці вивчення фізичних теорій навіть присвячений окремий параграф [129, с. 60-61]. У ньому виокремлені вимоги до засвоєння учнями теоретичного матеріалу: “… знання основних положень теорії; знання експериментальних фактів, що підтверджують справедливість теорії, та фактів, які привели до її розробки; знання явищ, що пояснюються теорією і вміння застосовувати теорією на практиці для пояснення та передбачення деяких явищ” [129, с. 61].

Значна увага також приділяється питанню зв’язків курсів фізики та математики [129, с. 36-41], наголошується на важливості цих зв’язків. “Міжпредметні зв’язки між шкільними курсами фізики та математики містять великі можливості підвищення наукового рівня викладання кожної з цих дисциплін, тому взаємозв’язок між ними є необхідним з самого початку їх вивчення” [129, с. 36].

У першій частині посібника “Методика викладання фізики у 8-10 класах середньої школи”, який вийшов у 1980 році також за редакцією В.П. Орехова та А.В. Усової [130], звертається увага на необхідність формування в учнів узагальнених пізнавальних вмінь — вмінь, що ґрунтуються на розумінні наукових основ та структури діяльності, самостійному визначенні раціональної послідовності виконання операцій, з яких вона складається” [130, с. 14]. У зв’язку з цим автори посібника пропонують використовувати узагальнені плани пізнавальної діяльності і наводять такі плани для вивчення явищ, законів і теорій. Ними також були наведені декілька прикладів використання

проблемного викладу та пошукової бесіди під час вивчення фізичних явищ, законів та теорій. Вони вказують на зростання "питомої ваги" словесних методів викладання, а особливо пояснень, які містять строгі логічні доведення, висновки, використання теорій для пояснення або передбачення явищ. Можливостям використання за таких умов проблемного навчання присвячений окремий розділ книги [130, с. 48-54]. Проблема міжпредметних зв'язків також була розглянута, але взагалі, без докладного аналізу.

Теоретичним основам методики викладання фізики у середній школі був присвячений навчальний посібник О.І. Бугайова (1981 р.) [22]. Розглядаючи структуру курсу фізики, автор підкреслює, що "… система фізичних знань, що вивчається у школі, повинна забезпечувати формування фундаментальних наукових понять, засвоєння основних фізичних законів та теорій, розуміння методів фізики (експериментального та теоретичного)..." [22, с. 33]. Окремо розглядається взаємозв'язок фізики та математики, при цьому зазначається, що "… у фізиці математичний метод слугує одним із головних методів дослідження явищ" [22, с. 61]. Найважливішими для вивчення фізики автор вважає поняття функціональної залежності, похідної, дії з найменуваннями та наближеними числами і розглядає деякі випадки використання цих понять та дій на уроках фізики [22, с. 61-66]. Удосконалення міжпредметних зв'язків пропонується здійснювати шляхом узгодження трактування наукових понять та навчальних планів вчителів фізики і математики [22, с. 61].

У цьому посібнику окремий розділ присвячено розвитку мислення та творчих здібностей учнів. Оскільки автор під розвитком мислення розуміє саме розвиток понятійного мислення, цей розділ починається з аналізу структури фізичного знання, його емпіричного та теоретичного рівнів [22, с. 70-71]. Під час вивчення фізичної теорії у школі автор рекомендує "… ширше використовувати відносну самостійність фізичної концепції — вона на певному етапі (під час формулювання фізичної ідеї) не залежить від математичного апарату" [22, с. 76]. Зазначається, що використання останнього у школі досить обмежене.

Розглядаючи методи навчання фізики, О.І. Бугайов звертається до методів логічного мислення: індукції та дедукції, абстракції та узагальнення, аналізу та синтезу, аналогії, моделювання і демонструє їх значення під час вивчення фізичних теорій.

У підручнику з основ методики викладання фізики у середній школі за редакцією О.В. Пьоришкіна (1984 р.) [153] прямо вказується на те, що цілям фізичної освіти може відповідати лише курс, побудований на теоретичній основі. Наводяться слова академіка Л.І. Мандельштама: "Теорія ‹...› і знаряддя, яким вона користується, — математика — не є баластом і чимось, що штучно "пристебнуте" до науки ‹...›. Ні, вона є тим знаряддям, без якого ми не були б здатні подужати навколишній світ ‹...›. Тому я знаходжу — не вважайте це парадоксом, — що не можна вимагати знання лише дослідної фізики, але зовсім не тому, що це надто мало, а тому, що це надто важко. Більш-менш повне знання дослідної фізики без теорії людині не під силу ‹...›. Фізика без теорії є не наука, а лише доволі малоцінний конгломерат окремих фактів, розібратися у

яких неможливо” [1, с. 248-249].

На думку авторів згадуваного посібника, ці слова Л.І. Мандельштама, що у 1918 році стосувалися змісту та структури курсу фізики вищих навчальних закладів, є тепер повністю справедливими і стосовно курсу фізики у системі середньої освіти [153, с. 76].

У параграфі “Зв’язок курсу фізики з іншими навчальними предметами” [153, с. 104-118] зв’язкам курсів фізики та математики приділена найбільша увага. Щоправда, після ознайомлення з цим параграфом залишається враження, що ніяких неузгоджень між програмами цих предметів не існує, що усі необхідні математичні поняття та операції учні вивчають вчасно.

У навчальному посібнику Л.А. Осадчук “Методика викладання фізики” (1984 р.) [151] зазначається, що одним із завдань вчителя фізики є забезпечення глибокого вивчення учнями фізичних теорій [151, с. 20]. У цьому посібнику докладно розглянуті методи викладання нового матеріалу: пояснення, розповідь, шкільна лекція. Вказується, що “пояснення нового матеріалу проводиться зазвичай шляхом послідовного викладення вчителем понять і законів з використанням демонстраційного експерименту” [151, с. 35]. Для активізації сприйняття пояснень та розповідей учителя пропонується використовувати елементи проблемного навчання [151, с. 35-39]. Шкільні лекції рекомендується проводити на початку вивчення нової теми, а також на заключних оглядових уроках після вивчення великої за обсягом теми або розділу. Автором пропонується поступово залучати учнів до самостійного складання плану лекції, а потім — до узагальнення матеріалу, що був викладений вчителем, та запису його основного змісту своїми словами [151, с. 39-42]. Також зазначається, що гарні результати під час вивчення учнями нового матеріалу можна отримувати, використовуючи метод бесіди одночасно з демонстрацією дослідів [151, с. 42].

Отже, аналіз широкого кола літератури з методики навчання фізики демонструє поступове зростання ролі фізичної теорії у шкільному курсі фізики. У програмі поглибленого курсу фізики [166] зазначається, що “… викладання такого курсу має бути орієнтоване на досить високий рівень теоретичних узагальнень” [166, с. 11]. Важливе місце, як у поглибленому курсі, так і у звичайному, займає механіка, поняття та закони якої часто використовуються в інших фізичних теоріях. Ще однією особливістю викладання поглибленого курсу є, як зазначається у програмі, те, що воно передбачає “… широке використання математичного апарату (підвищеної складності)” [166, с. 11]. Щодо організації навчання, вказано, що слід ширше використовувати шкільні лекції, семінари, заліки та практичні заняття різного типу [166, с. 96].

Наш попередній аналіз охоплює переважно посібники та підручники з методики навчання (викладання) фізики, але проблемі організації навчання під час вивчення учнями фізичних теорій присвячені деякі окремі теоретичні та експериментальні дослідження, до яких також необхідно звернутися.

Зміст та структура теоретичного матеріалу у курсі фізики середньої школи розглядалися з різних точок зору. Так, структурні аналогії у механіці були виокремленні Г.О. Бугаєнком [24], основні принципи фізики у шкільному

курсі розглядалися Р.Ю. Волковиським [34], проблемі вивчення фундаментальних фізичних теорій у середній школі присвячений посібник І.С. Карасової [80], методологічні та логіко-гносеологічні основи навчально-пізнавального процесу були закладені М.Г. Заволокою [66], особливості формування понять про фізичні явища і величини розглядає О.І. Бугайов [26].

Наукові основи шкільного курсу фізики, у тому числі і механіки були розглянуті у [143]. Автори підкреслюють, що механіка є базисним розділом усього курсу фізики, і саме тому під час проведення реформи фізичної освіти у середній школі цьому розділу фізики була приділена особлива увага. У результаті було прийнято наступне: 1) вивчення основних понять та законів механіки повинно проходити відповідно до їх розуміння у сучасній науці; 2) механіку у середній школі необхідно вивчати на векторній основі, яка забезпечує її викладення у найбільш узагальненій формі; 3) основні закони механіки повинні вивчатися у взаємозв'язку як єдина теорія; 4) введення основних понять та законів механіки повинно бути обґрунтовано їх необхідністю для розв'язання її основної задачі; 5) відбір та систематизація навчального матеріалу на основі розв'язування цієї задачі повинні привести до засвоєння учнями методу механіки, який дозволяє отримувати з теорії необхідні наслідки, розв'язувати задачі, важливі як у науці, так і у практичній діяльності [143, с. 12-13].

Окремий параграф у [143] присвячений математичній основі викладання механіки [143, с. 17-21]. Розглядаючи шляхи удосконалення викладання механіки, автори вказують, що учні все ж зазнають певних труднощів при вивченні фізики. Особливо це стосується кінематики [143, с. 54]. Однією з причин такого становища автори називають недостатню математичну підготовку учнів [143, с. 55].

Досліджуючи можливості розвитку мислення учнів засобами курсу фізики, В.В. Мултановський [141] підкреслює велике значення фізичних теорій: "За структурою теорії стоїть дещо невимірно більш важливе, ніж проста сума фактичних знань, — теорія відображає гносеологічний цикл пізнання, що був пройдений людством у процесі його історичного розвитку, та приписує людині певний спосіб мислення у його індивідуальному пізнанні" [141, с. 4]. Автор також вважає механіку основою фізичної освіти у школі [141, с. 38] та зазначає, що шкільному курсу механіки більшою мірою, ніж іншим курсам, притаманні характеристики фізичної теорії [141, с. 62].

Аналізуючи знання як категорію педагогіки, В.І. Гінецинський [44] підкреслює, що основною формою розвитку сучасного наукового знання є теорія [44, с. 15]. Він також зазначає, що передати знання можна, лише подавши їх як спосіб упорядкування певного предметного різноманіття та організувавши активну пізнавальну діяльність учнів з оперування цим різноманіттям [44, с. 11].

Ґрунтовне дослідження проблеми формування фізичного знання в учнів середньої школи було проведене О.І. Ляшенком [104]. Автор зазначає, що "… у сучасному шкільному курсі фізики спостерігається підвищення ролі фізичної теорії, однак цей процес відбувається стихійно, без належного обґрунтування,

організація пізнавальної діяльності учнів нерідко підпорядковується неадекватним теоретичному мисленню формам і методам пізнання, її логіка не відповідає психологічним механізмам емпіричного та теоретичного мислення" [104, с. 71]. Результати дослідження проблеми взаємозв'язку емпіричного та теоретичного у навчальному пізнанні дозволили автору монографії створити методичну систему навчання фізики в середній школі та ПТУ. Стосовно поглибленого вивчення фізики О.І. Ляшенко зазначає, що у цьому випадку основна увага зосереджується на висвітленні ядра фундаментальних фізичних теорій та осягненні їх глибинної суті. При цьому акцент робиться на вивідне знання з ядра фізичної теорії [104, с. 51].

Різноманітні підходи до навчання теоретичного методу пізнання у середній школі розглядає Н.І. Одінцова [150]. Автор вказує, що завдання створення відповідної методики ще не розв'язане, і зазначає, що найбільш ефективним для цього є використання діяльнісного підходу.

Як бачимо, важливою, з точки зору педагогічних досліджень, у викладанні фізичних теорій виявляється така організація навчального процесу, яка могла б забезпечити активне оволодіння учнями цими теоріями, а особливо — вивідними знаннями з їх ядер. Якщо говорити про механіку, то той факт, що навіть у шкільному курсі вона зберегла усі ознаки фізичної теорії, вимагає саме такої організації процесу її вивчення. При поглибленому вивченні фізики зростають, з одного боку, вимоги до знань учнів, а з іншого — обсяг матеріалу, який вони мають засвоїти. Після того, як у навчанні фізики була введена диференціація, значення математики стало визнаватися на рівні програм з фізики принаймні для поглибленого курсу.

1.2. Математичний апарат як необхідна складова поглибленого курсу фізики

Розгляд цього питання ми почнемо з посилання на видатного фізика, академіка Я.Б. Зельдовича, який наголошував, що учні не здатні розуміти фізику, якщо вони не володіють необхідним математичним апаратом [73, с. 235]. І не тільки наголошував, але і написав книгу [72], яку досі із задоволенням читають учні.

Звичайно, проблема використання математики у курсі фізики неодноразово ставала темою досліджень. Є.Д. Маргулис [109] наводить чимало прикладів, щоб переконати читачів у доцільності більш широкого, але водночас доречного і раціонального використання математичного апарату при вивченні шкільного курсу фізики. На думку автора, цілком виправдало б себе видання відповідного посібника. Питання, пов'язані з векторними рівняннями в курсі механіки середньої школи, розглядаються у [7] та [102]; про необхідність домовленості між вчителями фізики й математики говорять І.І. Ращинський [167] та М.Т. Донченко [60]; міжпредметні зв'язки з математикою під час вивчення деяких тем фізики розглядають Г.В. Самсонова [176], А.Г. Конфорович [88]. Можливість використання поняття похідної у курсі фізики

середньої школи розглядає О.З. Сіняков [187]. На необхідності навчання учнів аналізу систем рівнянь у шкільному курсі фізики наголошує І.І. Гордєєв [50]. Він зазначає, що системи рівнянь зустрічаються як при вивченні теоретичного матеріалу, так і під час розв'язування задач. Г.Г. Кордун та А.М. Сабо у [89] повідомляли, що педагогічний експеримент дозволяє їм стверджувати таке: "використання математичного виведення формул ‹…›, а також застосування графіків і векторних діаграм у шкільному курсі фізики доцільно розширити, оскільки це допомагає розвитку творчого мислення учнів, розвантажує пам'ять, а також допомагає встановити органічні міжпредметні зв'язки" [89].

Окремо хочемо виділити посібник Ф.П. Нестеренка [145]. Він присвячений міжпредметним зв'язкам шкільних курсів фізики й математики, у ньому докладно розглядаються різні математичні методи та їх застосування у викладанні фізики. Автор зазначає, що, наприклад, метод дослідження функції на екстремум за допомогою першої похідної найбільш доцільно застосовувати для розв'язування задач з фізики на максимум і мінімум [145, с. 57]. Ф.П. Нестеренко зазначає, що застосування поняття границі функції для дослідження фізичних формул допомагає глибше зрозуміти їхній зміст [145, с. 93-94].

У вже згадуваному посібнику за редакцією С.Я. Шамаша та Е.Ю. Евенчик [143] окремий пункт має назву "Посилення міжпредметних зв'язків з математикою та внутрішньопредметних зв'язків як засіб вдосконалення методики вивчення механіки" [143, с. 60]. Автори зазначають, що в узгодженому вивченні питань механіки та математики містяться значні резерви вдосконалення знань учнів [143, с. 66-67].

На необхідності позитивного розв'язання проблеми забезпечення шкільного курсу фізики необхідним математичним апаратом наголошує і В.І. Нечет [146, с. 162]. На його думку "… не фізика повинна "пристосовуватися" до відсутності в учнів адекватних математичних знань, а математика повинна бути реформована відповідно до потреб наукового предметного циклу" [146, с. 162]. Автор зазначає, що "… труднощі вивчення фізики необхідно чітко диференціювати на два класи — труднощі фізичного і математичного характеру: виникнення останніх сигналізує про недостатню якість математичної освіти, адже математична мова є "природною" мовою фізики, тобто вона "призначена" для полегшення аналізу фізичних проблем, а не навпаки" [146, с. 164].

Хоча факт неузгодженості програм з фізики та математики відомий давно , становище досі не змінилося. Порівняльний аналіз програм з фізики та математики, що був проведений В.О. Швецем та Л.М. Бойко у [221] дозволяє побачити розміри цих розбіжностей. Автори зазначають, що значна частина існуючих зв'язків шкільних курсів фізики та математики втрачається.

Зрозуміло, що за поглибленого вивчення фізики вимоги до математичної підготовки учнів зростають. Так, І.В. Манкусь пропонує знайомити учнів з теоретичними основами електродинаміки, з рівняннями Дж. Максвелла [108]. Нагадаємо, що у цих рівняннях використовується, наприклад, криволінійний інтеграл вздовж замкненого контуру, вивчення якого взагалі не входить до

програми поглибленого курсу математики. Застосування диференціальних рівнянь у фізичних задачах значно спрощує процес їх розв'язування, як було показано В. Огурцовим та Ф.М. Гарєєвою [149]. Але у їхній статті наведені приклади задач з механіки, яка вивчається у 9-му класі, коли учні ще не знайомі навіть з поняттям похідної. Роль математики під час вивчення механічних рухів у курсах фізики та астрономії підкреслює Л.Б. Осауленко [152]. Стаття Н.В. Стучинської присвячена математичним методам у курсі фізики сучасної середньої школи [194].

Отже, складається досить своєрідна ситуація. На уроках фізики вчителі часто позбавлені можливості використовувати відповідний математичний апарат і змушені вилучати виведення певних фізичних формул. У результаті учні намагаються механічно запам'ятати досить значну кількість формул і при цьому, у багатьох випадках, зовсім не розуміють, як вони пов'язані між собою. За таких обставин формули зникають з пам'яті школярів вже через кілька уроків.

Те саме стосується і текстів підручників, з яких вилучили виводи формул. Іноді необхідний математичний апарат розміщують у підручниках фізики у скороченому вигляді. Такі доповнення більш характерні для навчальних посібників для вищих навчальних закладів. На жаль, як показує практика, це не впливає на загальну ситуацію, оскільки необхідний математичний апарат потрібно не лише прийняти до відома, а навчитися користуватися ним вільно, як своєрідною мовою науки.

У проблемі математичної підготовки учнів до вивчення фізики існує, крім неузгодженості програм, ще одне питання. Припустимо, що колись ці програми все ж таки будуть узгоджені і необхідні для розуміння фізики математичні поняття та операції учні вивчатимуть вчасно. Чи означатиме це, що всі "математичні" проблеми, які виникають в учнів під час вивчення фізики, автоматично зникнуть? Чи можна стверджувати, що учні, які міцно засвоїли певні математичні поняття та операції, зможуть використовувати їх для успішного виконання завдань, пов'язаних з фізикою?

Аналізуючи методичну літературу, можна зробити висновок, що формування в учнів навичок використання математичних знань в інших галузях є завданням вчителя математики. Відомий математик і педагог Л.Д. Кудрявцев зазначав, що "… дуже часто, пояснюючи математичні поняття, що використовуються у фізиці (або в будь-якій іншій галузі знань), не перекидають містка, який пов'язує ці знання з їх традиційними застосуваннями, а це необхідно робити" [97, с. 106]. Згідно з підручником З.І. Слєпкань з методики навчання математики, однією з цілей навчання математики є "… формування навичок математизації під час досліджень явищ природи" [188, с. 9].

Проте наш досвід роботи у середній школі свідчить, що вказана мета у багатьох випадках не досягається. Але особистий досвід — річ усе ж таки суб'єктивна, і для того, щоб дійсно мати право стверджувати, що успішне виконання учнями математичних завдань не обов'язково призводить до успішного виконання аналогічних завдань на фізичному матеріалі, необхідно було провести відповідне експериментальне дослідження.

Це дослідження ми проводили разом з А.М. Андрєєвим [4]. Ідея його полягала у такому: створити спеціальні завдання у “математичній” та “фізичній” формі і запропонувати їх учням. Якщо результати виконання цих різних за формою завдань не будуть істотно відрізнятися, то це означатиме, що ніяких проблем з перенесенням учнями математичних знань на інші галузі не існує й основну увагу потрібно приділити узгодженню програм з фізики і математики. Якщо ж успіхи школярів у виконанні цих завдань будуть помітно відрізнятися, то твердження, яке ми зробили, спираючись на досвід, буде мати експериментальне підтвердження і потрібно буде з’ясувати, у чому полягають причини такого становища.

Почати дослідження ми вирішили з випускників, які успішно склали вступні іспити з фізики і були студентами першого курсу фізичного факультету Запорізького національнго університету (ЗНУ). Зрозуміло, що у випадку виявлення істотної різниці між результатами виконання ними “фізичних” та “математичних” завдань наш експеримент уже можна буде не продовжувати. Навряд чи випускники середніх шкіл, які і не готувалися до продовження своєї фізичної освіти, будуть успішніше застосовувати набуті математичні знання при виконанні завдань з фізичним змістом.

Треба зазначити, що “фізична” форма запису завдань відрізнялася від “математичної” тільки тим, що перші відповідали певним фізичним ситуаціям і були записані з використанням фізичних позначень. Ці завдання наведені у Додатку В, а тут ми лише зазначимо, що випускники повинні були побудувати графіки залежностей кількох функцій; знайти похідні за вказаними змінними; розв’язати системи алгебраїчних рівнянь, що зустрічаються під час розв’язування фізичних задач, та проаналізувати конкретну залежність координати тіла, що здійснює гармонічні коливання, від часу.

Як вже вказувалося вище, завдання ми запропонували студентам першого курсу фізичного факультету. Спочатку вони розв’язували завдання, записані у “математичній”, а потім — у “фізичній” формі. Виконання роботи кожним студентом оцінювалося кількістю правильних відповідей, максимально можлива кількість балів дорівнювала дев’ятнадцяти.

Результати дослідження подані на рис. 1.1. Різниця між результатами виконання студентами “фізичних” і “математичних” завдань є досить помітною . Значна частина першокурсників не змогла побудувати графіків функцій, записаних за допомогою “фізичних” символів. Вони не впізнали навіть гіперболічну та параболічну залежності.

Завдання, у якому потрібно було розв’язати систему рівнянь, що була записана на основі законів збереження імпульсу та енергії, правильно виконали лише два студенти. І це за умови, що відповідна задача є стандартною і зустрічається майже у кожному збірнику задач зі шкільного курсу фізики.

Але, крім гістограм, існують і аналітичні способи перевірки правильності висунутих гіпотез. Обробка результатів з використанням непараметричного критерію Вілкоксона [51] дозволила зробити висновок, що дійсно існує невідповідність у рівнях використання випускниками середніх шкіл математичних знань під час розв’язування прикладів з математики і

аналогічних завдань з фізики.

Зрозуміло, що таке становище зовсім не сприяє належному засвоєнню як шкільного, так і університетського курсів фізики. Наше дослідження показує, що вміння застосовувати знання з математики у фізиці не формується в учнів саме по собі.

Вивчення похідних, інтегралів, а також показникових, логарифмічних і тригонометричних функцій у 10-их та 11-их класах мало впливає на знання учнями фізики. Навіть більшість з тих, хто вступив до фізичного факультету, не вміє застосовувати ці математичні поняття у фізичних ситуаціях. І можливостей навчитися цьому у школі в учнів практично немає. Вчитель фізики не може звертати на це увагу, бо у той час, коли це було б логічніше (під час вивчення механіки) школярі ще навіть не знайомі з указаними вище поняттями та функціями.

Підручники з математики містять приклади застосування математичних понять у фізичних ситуаціях та задачі з фізичним змістом (наприклад, [31, 32, 222]), але у збірнику завдань для підсумкової атестації з математики [68] подібні завдання відсутні. Отже, на екзамені з математики не перевіряється, чи вміють школярі застосовувати свої знання для аналізу фізичних явищ.

Таким чином, вчителі фізики позбавлені можливості показати учням, що усі формули механіки пов’язані між собою, що вони утворюють цілісну систему. Оскільки механіка є фактично єдиною теорією, яку учні могли б вивчити більш-менш у повному обсязі, то за таких обставин і не дивно, що після закінчення школи вони не розуміють, що ж таке фізична теорія. Ще у 1986 році А.А. Пінський, Т.С. Самойлова та В.В. Фірсов зазначали, що “… епізодичне використання знань одного предмета під час вивчення іншого здатне лише частково відпрацювати синтезовані знання та вміння. Особлива роль у розв’язанні цього питання належить формуванню загальних понять на міжпредметній основі. ‹…› Саме при паралельному вивченні основ механіки і математичного аналізу відкриваються найбільші можливості для формування як фізичних понять — миттєвої швидкості, миттєвого прискорення, переміщення, роботи, миттєвої потужності тощо, так і математичних — похідної, первісної та інтегралу” [159].

На жаль, перехід на 12-річну освіту не розв’язує, як можна побачити з Державного стандарту [57], проблеми математичної підготовки учнів до вивчення фізики. Розглядаючи проблеми викладання фізики у контексті 12-річної освіти, С.В. Мельнічук та П.Ф. Пшенічка [127] наголошують, що це дуже ускладнює вивчення фізики, оскільки остання активно використовує математичний апарат як технічно для розрахунків, так і на рівні логічно-лінгвістичної системи.

Один із шляхів подолання вказаної проблеми — перебудова курсу математики таким чином, щоб необхідні для фізики теми вивчалися вчасно.

У кандидатській дисертації О.І. Єфремової [65] був запропонований підхід, що отримав назву “математизація фізичних знань”. Під цим терміном автор розуміє підвищення рівня викладання фізики у відповідності до нових концепцій та стандартів освіти на основі альтернативних програм через значне зростання математичної підготовки школярів. Мова йде не про математизацію шкільного курсу фізики (у розумінні насичення математичним апаратом змісту шкільного курсу фізики), а про психолого-педагогічний процес навчання учнів фізики через адекватне використання математичних знань, через математичне мислення [65, с. 28]. У цій роботі докладно розглянуті такі питання: “Формування поняття функції і функціональна залежність між фізичними величинами”, “Формування поняття вектор і векторна величина у шкільному курсі фізики”, “Використання апарату математичного аналізу у шкільному курсі фізики”; по кожному з них розроблені відповідні завдання та надані методичні рекомендації.

Однак необхідно зауважити, що питання міжпредметних зв’язків між курсами фізики та математики було розглянуто без урахування специфіки профільних класів.

Зазначимо, що на важливості розв’язання проблеми математичної підтримки курсу фізики наголошує і С.Ю. Білоус [17]. На її думку, дослідницький підхід до навчання фізики потребує залучення до використання у розв’язуванні творчих задач ще й матеріалу суміжних дисциплін [17, с. 30].

Ю.П. Мінаєвим та А.К. Приварніковим була розроблена і апробована програма з математики для профільних (фізико-математичних) класів, в якій особливу увагу приділено математичній підтримці поглибленого курсу фізики [138]. Ця програма вимагає від вчителя серйозної та специфічної підготовки: він повинен однаково вільно володіти обома предметами. Крім того, у фізико-математичних класах вчаться і такі учні, які пов’язують свою майбутню діяльність саме з математикою, а не з фізикою. Для них зміна порядку вивчення математичних тем може бути не дуже корисною, оскільки математика як наука має свою внутрішню логіку.

Існує ще один шлях розв’язання проблеми математичної підтримки шкільного курсу фізики — створення окремого курсу, метою якого буде вчасне навчання школярів математичних понять і операцій, володіння якими є необхідним для розуміння фізики [6]. Цей курс повинен відрізнятися за своєю структурою від систематичних курсів фізики та математики, істотною вадою яких, на думку Ю.П. Мінаєва, І.К. Кенєвої, А.М. Андрєєва [139] є те, що кожне

твердження або формула доводиться тільки один раз.

На користь саме таких курсів говорить дослідження стосовно укрупнення дидактичних одиниць, проведене П.М. Ерднієвим та Б.П. Ерднієвим [225]. По-перше, автори прямо вказують на те, що сподіваються на створення найближчим часом підручника, який би об'єднував математику, механіку та креслення [225, с. 119]. По-друге, досліджуючи систему укрупнення дидактичних одиниць на матеріалі математики, вони зазначають, що поєднання предметів, які раніше вивчалися окремо, але були логічно пов'язані між собою (наприклад, тригонометрія та алгебра) сприяє кращому розумінню учнями навчального матеріалу. "Поєднання" предметів означає не просто об'єднання їх під однією назвою, а специфічне їх викладання, що спирається на певні вимоги. Наприклад, автори вказують, що понятійне оточення математичного терміна повинне розширюватися не тільки у межах певного формально-логічного означення (наприклад, "… колом називається ..."), але і за допомогою понять з деяких інших розділів математики, іноді без строгих доведень [225, с. 34].

Спираючись на ці ідеї, ми розробили курс, що поєднує механіку та математику. Використовуючи як прототип класичну скорочену назву механіко-математичного факультету університету, ми назвали цей курс "Мехматика" [112]. Він дозволяє істотно змінити процес отримання знань учнями, про що докладніше йтиметься у другому розділі нашої роботи.

1.3. Розвиток логічної пам'яті та мислення учнів у процесі вивчення ними теоретичного матеріалу з фізики

За сучасними уявленнями головною метою загальної освіти є всебічний розвиток особистості. Автори навчального посібника з теорії та методики навчання фізики [196] виокремлюють чотири групи соціально-особистісних цілей такої освіти:

- ♦ засвоєння особистістю досвіду попередніх поколінь;
- ♦ розвиток функціональних механізмів психіки;
- ♦ формування узагальнених типологічних властивостей особистості;
- ♦ розвиток позитивних індивідуальних властивостей особистості — здібностей, інтересів, схильностей [196, с. 31].

Розвиток пам'яті входить до групи розвитку функціональних механізмів психіки. Однак, у вище згаданому посібнику [196] немає відповіді на запитання: яким чином можна сприяти розвитку пам'яті учнів на уроках фізики ? Термін "запам'ятовування" зустрічається лише там, де йдеться про сучасну систему рівнів засвоєння фізики, а саме у параграфі "Формування глибоких і міцних знань". Автори наводять систему рівнів засвоєння знань, яка ґрунтується на таксономії Блума і в застосуванні до фізики представлена Карпінчиком. Відповідно до неї виокремлюють: I рівень — запам'ятовування знань; II рівень — розуміння знань; III рівень — застосування знань у знайомій ситуації; IV рівень — застосування знань у новій ситуації.

Автори зазначають, що "… по-перше, IV рівень засвоєння є індивідуальним, засвоєння знань усіма учнями на цьому рівні неможливе і не вимагається, і, по-друге, переведення знань з I рівня на більш високі здійснюється поступово. Зокрема, одразу після пояснення нового матеріалу він засвоюється на I рівні, потім настає розуміння, а після цього формуються вміння" [196, с. 39].

Однак, спостереження дозволили нам зробити висновок, що в учнів, які успішно засвоюють фізику, запам'ятовування зазвичай йде після розуміння. Що ж до тих учнів, які спочатку запам'ятовують, то для них переходи на більш високі рівні — швидше виняток, ніж правило [125].

Отже, виникла потреба звернутися до психологічних досліджень стосовно пам'яті і з'ясувати, як саме відбувається процес запам'ятовування, і яка організація навчального процесу забезпечує найбільш тривале запам'ятовування.

У психології розрізняють принаймні два типи пам'яті, розвиток та функціонування яких якісно відрізняються. Так, О.М. Леонтьєв виокремлював біологічну та власне людську пам'ять. На його думку, остання є продуктом складного історичного, культурного розвитку людини [100, с. 31]. Біологічна ж пам'ять притаманна людині з народження, а її основна функція полягає у безпосередній фіксації інформації. Л.С. Виготський, говорячи про цей вид пам'яті, зазначав, що вона є надзвичайно сильною у ранньому віці, а з розвитком дитини слабшає [37, с. 389].

Коли людина намагається організувати своє запам'ятовування і використовує для цього допоміжні засоби, починається перехід до власне людської пам'яті. Завдяки допоміжним стимулам-засобам пам'ять сучасної людини багато в чому перевершує описане етнографами дивовижне безпосереднє запам'ятовування. Опосередковане запам'ятовування властиве лише людині, але воно може з'явитися та сформуватися лише за умови участі у продуктивній суспільній діяльності. Якщо потреби у розвитку цього виду пам'яті, а також відповідних умов, немає, то власне людська пам'ять може і не розвинутися [100, с. 40-41].

О.М. Леонтьєв зазначав, що розвиток опосередкованої пам'яті відбувається за двома окремими, але взаємопов'язаними лініями: за лінією розвитку і вдосконалення засобів запам'ятовування, що залишаються у формі діючих іззовні подразників, і за лінією перетворення цих засобів запам'ятовування на засоби внутрішні. Ця друга лінія є лінією розвитку власне вищої логічної пам'яті [100, с. 41]. Саме цей вид пам'яті на думку П.П. Блонського є найвищім етапом її розвитку. Особливістю логічної пам'яті є те, що її досить важко відрізнити від мислення. Розвиваючись, пам'ять готує заміну себе мисленням [19, с. 241].

Взаємозв'язок цих двох психічних функцій — пам'яті та мислення — Л.С . Виготський описав наступним чином: "Для молодшого школяра мислити — означає пригадувати, а для підлітка пригадувати — означає мислити. Його пам'ять настільки логізована, що запам'ятовування зводиться до встановлення та відшукання логічних відносин" [38, с. 393].

Вчасний розвиток логічної пам’яті повинен істотно впливати на результативність навчання. Дійсно, вивчаючи питання про те, як учні запам’ятовують навчальний матеріал з фізики, ми з’ясували, що учні, які успішно оволодівають фізикою, користуються вже логічною пам’яттю, пам’яттю дорослої культурної людини. А невстигаючі намагаються обійтися тим, що в них є — дитячою, біологічною пам’яттю, яка добре їм слугувала у молодших класах. Тут ми не розглядаємо випадків, коли учні з якихось причин просто не хочуть учитися. Ми мали справу з такими невстигаючими, які непогано вчилися у молодших класах, але не встигли ще перебудувати свою пам’ять, щоб зробити її більш придатною для вивчення фізики.

Численні психологічні дослідження виявили, що механічне запам’ятовування шкодить розвитку логічної пам’яті [74, с.117]. Крім того, було показано, що найважливішою умовою запам’ятовування будь-якого матеріалу є його розуміння, а також встановлена велика перевага осмисленого запам’ятовування над механічним заучуванням [74, с.116].

До того ж, як зазначає Ф. Барлетт [212], “займатися зубрячкою завжди не вигідно ‹…›. Для звичайних цілей дуже точне відтворення матеріалу фактично відіграє скоріше негативну, ніж позитивну роль. Зазвичай нам доводиться використовувати те, що ми запам’ятали, як допоміжний матеріал для того, щоб виконати якусь іншу задачу ‹…›. Частіше за все ми намагаємося перетворити минуле, а не відтворити його” [212, с. 94-101].

У зв’язку з цим постає питання: чи має сенс наполягати на тому, щоб невстигаючі учні (у яких ще не сформована логічна пам’ять) засвоїли фізику на першому (за таксономією Карпінчика) рівні? Вимагаючи від таких учнів запам’ятовування навчального матеріалу, ми б лише гальмували розвиток їхньої логічної пам’яті. Отже, позитивно оцінювати бездумне запам’ятовування не варто.

П.І. Зінченко зазначав, що на основі розуміння навчального матеріалу є можливість сформувати в учнів спеціальні логічні прийоми запам’ятовування, а саме — виокремлення смислових частин, складання плану, поєднання смислових частин між собою та з раніше відомим. Формування прийомів смислової, логічної обробки матеріалу, що запам’ятовується, є основним засобом розвитку пам’яті [74].

Проблемі розуміння навчальних текстів присвячена робота Л.П. Доблаєва [59]. На основі спеціальних експериментальних досліджень автор робить висновок, що для розуміння нового матеріалу необхідно не тільки мати знання, але ще й володіти прийомами їх використання. Основним засобом для досягнення розуміння є, на думку автора, саме використання окремих прийомів встановлення нових зв’язків на основі залучення раніше набутих знань [59, с. 25, с. 84].

Виявлення впливу рівня розвитку логічної пам’яті на вибір способу (стратегії) засвоєння навчального матеріалу з фізики було метою дослідження, проведеного Н.І. Афанасьєвою, І.П. Кенєвою, Ю.П. Мінаєвим [11]. Автори виявили факт, який, на нашу думку, заслуговує на особливу увагу. Виділені групи учнів і студентів — які отримали умовні назви “встигаючі” і

“невстигаючі” — мають свої характерні прийоми запам’ятовування навчального матеріалу та особливості його відтворення.

Учні та студенти з першої групи, розпочинаючи процес вивчення, роблять попередній перегляд літератури, яку мають з даної теми. При цьому вони звертають увагу на структуру тексту, наявність незнайомих слів і формул. Виходячи з цього — обирають прийоми, якими будуть користуватися для більш успішного засвоєння матеріалу. Потрібно зазначити, що набір улюблених прийомів запам’ятовування у кожного учня чи студента може бути свій, але вони всі спрямовані на встановлення причинно-наслідкових зв’язків. Зазначимо , що ці прийоми мають багато спільного з прийомами логічного запам’ятовування, на які вказував П.І. Зінченко [74].

Спостереження показали також, що процес відтворення навчального матеріалу має свої характерні особливості. Оскільки представники цієї групи “тримають у голові” основну думку, вони без проблем можуть її розвивати за допомогою умовиводів. При цьому вони відкидають деталі, що істотно не впливають на зміст думки, яку потрібно викласти. Характерною рисою цих учнів та студентів є вміння пояснювати матеріал “по-різному”, що сприяє кращому розумінню слухачами. Вони можуть оцінити правильність своїх відповідей, тому безглузді твердження у них практично не зустрічаються. Ще одна особливість полягає у тому, що учні й студенти з цієї групи оцінюють якість запам’ятовування безпосередньо в процесі запам’ятовування. Це надає їм можливість своєчасно усунути свої недоліки.

Учні та студенти, у яких виникають проблеми із засвоєнням навчального матеріалу з фізики, при запам’ятовуванні спираються на механічне заучування тексту. Тому незнайомі слова, терміни, громіздкі формули викликають чималі труднощі і небажання вивчати матеріал. Прийоми запам’ятовування у таких учнів і студентів однотипні: багаторазове читання, переказування, відтворення на папері. Оскільки вони при запам’ятовуванні не встановлюють смислових зв’язків, доводиться “зазубрювати” все. Як письмові, так і усні відповіді представників цієї групи часто складаються з окремих, непов’язаних фактів, невпорядкованого набору слів та тверджень. Причому вони частіше звертають увагу на неістотні деталі, а тому в більшості випадків не можуть сформулювати основну думку матеріалу.

Наступна особливість, виявлена авторами [11], полягає у тому, що такі учні та студенти не контролюють процес пригадування, тому дають багато неправильних відповідей, не підозрюючи про наявність помилок. У своїх звітах деякі представники групи “невстигаючих” зазначають, що не можуть оцінити якість запам’ятовування в процесі вивчення. Отже, доводиться визначати її на тематичних атестаціях, заліках чи екзаменах [11]. Це дослідження, проведене на матеріалі фізики, підтверджує висновки психологів та вказує на необхідність такої організації навчального процесу під час вивчення теоретичного матеріалу, яка б спонукала учнів до розвитку логічної пам’яті і не заохочувала б до механічного заучування.

Т.П. Зінченко зазначає, що на сьогоднішній день немає досить точних даних стосовно фактичних меж збереження матеріалу — використання логічної

, а не біологічної пам’яті дозволяє людині зберігати матеріал дуже тривалий час [74, с. 143]. На думку Д. Нормана, такому тривалому запам’ятовуванню сприяє спеціальна організація цього процесу, за якою матеріал включається у систему зв’язків зі знаннями, що були отримані раніше [147, с. 12].

Тут необхідно зазначити, що для фізики необхідним інструментом налагодження зв’язків між елементами знання є математичний апарат.

Оскільки розвиток логічної пам’яті щільно пов’язаний з розвитком мислення, розглянемо деякі питання, пов’язані з останнім, тим більше, що зі зміною цілей і завдань освіти проблема розвитку у школярів цієї психічної функції, зокрема засобами фізики як навчального предмета, набула особливої значущості [196, с. 53].

Наразі зазначена проблема має чимало аспектів і знаходиться у полі зору як психологів, так і педагогів. Кількість досліджень, проведених з цього приводу є настільки значною, що їх розгляду та аналізу можна присвячувати окремі наукові роботи. Ми зупинимось детальніше на єдиній теорії психічних процесів Л.М. Веккера [29]. На нашу думку, ця теорія пояснює механізм виникнення думки і підказує шлях розроблення дидактичних засобів розвитку мислення учнів.

Досліджуючи мислення як процес, який розпочинається з проблемної ситуації, Л.М. Веккер доводить, що цей процес на всіх його етапах повинен поєднувати просторово-предметні та символьно-операторні (мовленнєві) компоненти [29, с. 132]. Такий висновок підтверджується дослідженнями О.М. Соколова [190]. Результати теоретичного дослідження дозволили Л.М. Веккеру сформулювати таку тезу: “… специфічність організації мислення полягає у тому, що воно є процесом оборотного перекладу, що неперервно здійснюється, з психологічної мови просторово-предметних образів на символьно-операторну мову, яка представлена мовленнєвими сигналами” [29, с. 134].

У застосуванні до дидактики фізики це тлумачення мислення було використано у роботах [140, 200] та у кандидатській дисертації Н.І. Тихонської [199] при створенні методики навчання мови фізики учнів середньої загальноосвітньої школи. Там під мовою фізики розуміється система знаково-символічних засобів, які використовуються у навчальному процесі, пов’язаному з вивченням фізики.

Проведений Н.І. Тихонською аналіз психологічної літератури дозволив їй сформулювати таку гіпотезу: оскільки процес мислення протікає як процес неперервного оборотного перекладу інформації з мови одновимірних мовленнєвих структур на мову просторових образів, врахування двомовності розумових процесів через виконання учнями спеціальних завдань на перекодування фізичної інформації у різні форми сприятиме розвитку їхніх розумових здібностей та формуванню в них дієвих фізичних знань. Тут знов потрібно зауважити про неабияку роль математики, яка у багатьох випадках дозволяє здійснювати цей оборотний переклад інформації.

Якщо звернутися до дидактичних досліджень І.Я. Лернера [101] стосовно методів навчання, то можна побачити, що найбільш пристосованими для засвоєння знань він вважає інформаційно-рецептивний та репродуктивний

методи. І.Я. Лернер обґрунтовує це тим, що такі методи забезпечують найбільшу швидкість оволодіння відповідним змістом освіти [101, с. 96-98].

Натомість деякі психологічні дослідження дозволили вченим робити зовсім інші висновки. Наведемо висловлювання академіка Г.С. Костюка: “Здавалося б, найекономніше просто повідомити знання учням. Однак це не так . Дані передового педагогічного досвіду і спеціальних психологічних експериментів свідчать про те, що більш ефективними є такі методи керування, які забезпечують поступове зростання самостійності учнів у набуванні знань, у виконанні мислительних завдань. При таких методах учні засвоюють знання глибше і краще навчаються думати” [93, с. 393].

Розглядаючи проблеми розвивального навчання, В.В. Давидов в [55] зазначає, що зміст навчальних предметів та способи його розгортання у навчально-виховному процесі суттєво визначають тип свідомості та мислення, який формується у школярів під час засвоєння відповідних знань [55, с. 83]. Посилаючись на Є.В. Ільєнкова автор підкреслює, що навчання у школі необхідно організувати так, щоб воно у скороченій формі все ж відтворювало реальний історичний процес народження та розвитку знань [55, с. 147].

Р.І. Малафєєв, досліджуючи можливості організації проблемного навчання [105, 106] зазначає, що таке навчання вимагає розкриття логіки розвитку фізичних ідей, а зовсім не вивчення фізичних теорій з точки зору історії [105, с. 8]. Розглядаючи навчальні проблеми, які можуть бути поставлені перед учнями, автор виділяє декілька їх типів, серед яких є і такий, що передбачає виведення учнями нових закономірностей [106, с. 11]. Р.І. Малафєєв не розглядає цей тип докладно, але все ж вказує, що виведення нових закономірностей завжди передбачає актуалізацію наявних в учнів знань з фізики плюс використання математичного апарату [106, с. 11].

Самостійне виконання учнями частини теоретичних викладок Н.М. Зверєва [71] розглядає як один з варіантів частково-пошукового методу і вважає, що його перш за все слід використовувати там, де доводиться мати справу з математичними перетвореннями, що ґрунтуються на вже відомих учням положеннях [71, с. 59].

Прийомам розвитку творчого мислення учнів під час вивчення нового матеріалу присвячена окрема глава в [76]. Автор наводить приклади деяких задач, які пропонує розв’язувати під час вивчення нового матеріалу. Певні аспекти цієї проблеми, тобто проблеми розвитку мислення школярів, розглядає Б.І. Коротяєв [90]. Автор зазначає, що існуюча структура навчального матеріалу не дозволяє цей матеріал ані ущільняти, ані згортати. Учень повинен весь цей матеріал (досить великий за обсягом) тримати у пам’яті. Суттєвим, на думку Б.І. Коротяєва, є той факт, що навіть учень обдарований пам’яттю від природи не може зв’язати цей матеріал як єдине ціле [90, с. 18]. Б.І. Коротяєв вказує на необхідність виведення школярів на рівень теоретичного бачення, тобто на рівень бачення окремих розділів та тем, з яких складається навчальний матеріал, у їх взаємозв’язках та взаємовідносинах. Вивести учнів на цей рівень можливо лише за допомогою теорії [90, с. 18-19].

Цікавим для нашого дослідження є також аналіз деяких усталених точок зору вчителів, проведений В.І. Андрєєвим [2]. Автор зазначає, що більшість педагогів вважає, що спочатку в учнів необхідно сформувати глибокі знання, а вже потім пропонувати їм розв'язувати творчі завдання. Натомість він вважає за необхідне використання таких завдань на всіх етапах навчання [2, с. 17].

На думку Я.А. Пономарьова [160], процес, коли учень отримує нове знання за допомогою формул, що вже були йому відомі, не можна ототожнювати з творчим мисленням, проте цей процес не є репродуктивним. Автор зазначає, що він є своєрідною формою продуктивного мислення [160, с. 117].

Таким чином, ми можемо зазначити, що психолого-педагогічні дослідження вказують на необхідність такої організації навчального процесу під час вивчення теоретичного матеріалу, за якої б учні активно оволодівали новим знанням.

Звичайно, що для забезпечення такої організації необхідна наявність спеціальних завдань. Якщо звернутися до теорії навчальних задач Г.О. Балла [14], то такі завдання можна назвати завданнями з удосконалення знань суб'єкта — пізнавальними завданнями [14, с. 73]. Пізнавальні завдання, які використовуються у шкільній практиці, здебільшого є такими, що торкаються відомостей, викладених вчителем або у підручнику у явному вигляді. На думку Г.О. Балла, за такого навчання можливе формальне засвоєння навчального матеріалу. Збільшення ж частки мислительних завдань сприятиме підвищенню частки усвідомлених знань.

Одержання висновків з ядра теорії (див., наприклад, [155, с. 29-30]) відбувається фактично шляхом постановки та розв'язування задач. До речі, на думку А. Ейнштейна, необхідну підготовку до цієї діяльності повинні одержувати ще у школі [224, с. 5].

Спроба побудувати навчальний процес з фізики як модель процесу створення наукової теорії, але за умов, що його полегшують, була реалізована у посібнику з фізики О.Л. Каміна та О.О. Каміна для 7-го класу [79].

Зазначимо також, що самостійне одержання учнями висновків з ядра фізичної теорії як один з способів організації навчальної діяльності у системі "школа — МАН" розглядається С.Ю. Білоус [30, с. 46].

Однією з особливостей фізичних теорій є те, що їх дуже важко вивчити, якщо ставити за мету тільки запам'ятовування найважливіших висновків. Для того, щоб мати хоч якусь змогу застосувати теорію необхідно запам'ятати дуже велику кількість цих висновків. Ми вважаємо встановленим той факт, що кращі учні успішніше виконують репродуктивне, на перший погляд, завдання з відтворення відомих фізичних формул не стільки за рахунок кращої біологічної пам'яті, скільки за рахунок розвинених здібностей до правильних умовиводів, тобто за рахунок власне людської, логічної пом'яті.

Оскільки такі здібності є дуже важливими, постає питання, чи не можна їх розвивати за допомогою спеціальних завдань на одержання висновків з ядра фізичної теорії? У нас також виникла гіпотеза, що використання вказаних завдань не призведе до зниження рівня навичок розв'язування звичайних задач,

але покращить знання учнями теоретичного матеріалу. Експериментальне дослідження цієї гіпотези було проведене спільно з М.М. Циганком під керівництвом Ю.П. Мінаєва [117]. Докладніше про це йтиметься у третьому розділі. Тут лише зазначимо, що відповідь на поставлене запитання є позитивною, а висунута гіпотеза підтвердилася.

1.4. Проблеми технологізації вивчення теоретичного матеріалу поглибленого курсу фізики

Не зупиняючись на аналізі всіх спроб дати коректне означення поняттю “***технологія навчання***” ([53], [96], [182], [216], [227 230] та ін.), зауважимо, що ґрунтовний аналіз цього поняття був проведений О.І. Іваницьким [77, 78]. Спираючись на його дослідження, ми будемо розглядати технологію навчання як ***системний спосіб організації діяльності вчителя і учнів, за якого реалізація навчальної мети досягається узгодженим поєднанням організаційних форм, методів і засобів навчання*** [77, с. 29]. Далі ми зосередимося на тих вимогах до організації навчального процесу, які висуваються у зв’язку з його технологізацією.

Досить чітко відмінності між методикою навчання та педагогічною технологією були визначені С.О. Смирновим [157]. Автор вказує, що однією з характерних рис педагогічної технології є наявність чітко визначених цілей навчання. Спробуємо співставити цю тезу з інформацією з інших джерел.

У програмах з фізики [164, 165, 166] та у Державному стандарті базової і повної освіти [57] зазначено, що повинні знати та вміти учні. Отже, здавалося б цілі навчання поставлені. Але як можна буде перевірити, чи були вони досягнуті? Що означають, наприклад, слова “творчо використовувати”? Навіть вимога “знати поняття ...” не є повністю зрозумілою. Якщо учень відтворює означення поняття, це ще не означає, що він його розуміє. Досвід роботи з учнями, які серйозно займаються фізикою, показує, що вони ніколи не вдаються до зубрячки. А якщо попросити їх навести означення того чи іншого фізичного поняття, то вони намагаються придумати це означення самостійно. Оскільки ця діяльність є досить складною, вона може закінчитися невдачею, особливо, якщо відповідати треба негайно. Але той самий учень може абсолютно правильно використовувати це поняття під час розв’язування задач або пояснення фізичних явищ. До речі, саме таку ситуацію описував С.Л. Рубінштейн: “Можна відносно добре володіти поняттям і мати труднощі у його словесному визначенні. З іншого боку, можна засвоїти словесне означення поняття, але не вміти їм оперувати” [170, с. 330]. Л.С. Виготський також зазначає, що в експериментах було помічене глибоке розходження між утворенням поняття та його словесним означенням, яке спостерігається не тільки у підлітків, але і у дорослих з високим рівнем інтелектуального розвитку [37, с. 381].

Проблема цілепокладання у навчанні була докладно розглянута В.П. Беспальком [15]. Він вказує, що “… у хрестоматійній педагогічній літературі

ми не знайшли конкретного опису цілей загальної освіти ні у цілому для всієї шкільної системи, ні для якоїсь її частини" [15, с. 29].

Стосовно педагогічних технологій В.П. Беспалько зазначає, що вони характеризуються у відношенні до цілепокладання принципом діагностичної цілеспрямованості. Цей принцип означає, що для існування реальної педагогічної технології необхідна така постановка цілей навчання, яка б дозволяла об'єктивно та однозначно контролювати ступінь досягнення мети [15 , с. 30]. Серед існуючих методів поточного та екзаменаційного контролю за якістю знань учнів В.П. Беспалько виділяє, як найбільш поширені, усне опитування та письмові контрольні роботи. Він зазначає, що, як правило, ці види контролю та матеріали для його здійснення не співвіднесені з діагностичними цілями навчання [15, с. 57].

Цілі вивчення фізики, у тому числі і теоретичного матеріалу, принаймні приблизно, визначені як у відповідних програмах [165, 166], так і у спеціальному збірнику різнорівневих завдань [69]. Отже, можна вважати, що за допомогою цього збірника [69] цілі вивчення фізики у середній школі є, певною мірою, діагностично поставленими.

Нами було проаналізовано цей збірник з метою виявлення завдань, за допомогою яких можна було б здійснювати перевірку засвоєння учнями теоретичного матеріалу з механіки. У результаті цього аналізу ми дійшли висновку, що всі завдання з механіки *початкового*, *середнього* та *достатнього* рівнів можна вважати такими, що перевіряють володіння учнями саме теоретичним матеріалом.

Однак, якщо порівняти вимоги програми з механіки для класів фізико-математичного профілю та відповідні завдання початкового, середнього та достатнього рівнів згадуваного вище збірника, то неважко побачити, що завдань недостатньо — вони не охоплюють всіх тем, що зазначені у програмі. Отже, така ситуація потребує проведення певного дослідження, метою якого має бути аргументоване доповнення банку завдань збірника [69].

На нашу думку, найкращим шляхом для створення завдань є виокремлення *смислових елементів* у навчальному матеріалі. Поняття "смисловий елемент" досить давно відоме у дидактиці і неодноразово використовувалися науковцями. Так, І.С. Попов, досліджуючи засвоєння учнями нового матеріалу [161], зазначав таке: "Ми виходимо з того, що обсяг будь-якого матеріалу, який підлягає вивченню (поняття, правила, закони), незалежно від змісту можна представити у вигляді певної системи конкретних суджень, тобто смислових елементів" [161].

Під смисловим елементом навчального матеріалу І.І. Нурмінський та Н.К. Гладишева [148] розуміють такі його найменші складові частини, які ще зберігають самостійний зміст. Саме завдяки аналізу смислових елементів у шкільному курсі фізики автори [148] виявили певні статистичні закономірності формування знань та умінь учнів.

І.І. Нурмінським та Н.К. Гладишевою було виявлено, що при формуванні в учнів знання певного елементу навчального матеріалу, а також вміння застосовувати це знання, однакового результату можна досягти *різним*

поєднанням засобів навчання. Дуже цікавим є експериментально виявлений факт [148], який полягає в тому, що частина учнів взагалі не звертає уваги на смислові елементи, доки вони не зустрінуться їм певну кількість разів у тексті підручника, задачах, поясненнях та запитаннях вчителя. На основі цих досліджень І.І. Нурмінський та Н.К. Гладишева приходять до висновку, що вже на етапі розроблення підручників та методик необхідно чітко розділити навчальний матеріал на основний та другорядний, причому кількість основних елементів навчального матеріалу повинна бути відносно невеликою. Важливе значення цих елементів має бути доведене до учнів за допомогою багаторазового та різноманітного використання у навчальній діяльності на уроці та при викладенні матеріалу у підручнику [148, с. 131].

Зауважимо також, що, як свідчить педагогічна практика, проголошені цілі не безпосередньо впливають на поведінку вчителів і учнів у навчальному процесі. Важливим виявляється те, як декларовані цілі відбиваються у системі оцінювання навчальних досягнень. І якщо існує невідповідність між системою оцінювання та проголошеними цілями навчання, то у більшості випадків орієнтація буде йти саме на те, як оцінюватимуться результати навчальної діяльності [123].

Тут ми вважаємо за необхідне звернути увагу на результати досліджень, описаних у [123] та [134]. За допомогою математичних моделей авторами були розглянуті процеси накопичення і забування знань при традиційному та розвивальному навчанні. Математичне моделювання дозволило не лише довести, що розвивальне навчання може, якщо є певний запас часу, краще впоратись із завданням накопичення знань, але також показало, що сучасна система оцінювання навчальних досягнень спонукає вчителів до переважної орієнтації на традиційні методи навчання [123].

Таким чином, система завдань для перевірки засвоєння учнями теоретичного матеріалу з механіки має орієнтувати учнів на активну роботу з цим матеріалом, на розуміння його, на використання саме логічної пам’яті [113, 115, 116].

Серед трьох основних вимог до педагогічної технології (перша вимога — наявність діагностично поставлених цілей) С.О. Смирнов називає дотримання принципу завершеності навчання: “Досягнення кінцевого результату з точністю не менше 70% (за даним рівнем засвоєння)” [157, с. 326]. При цьому він спирається на результати досліджень, згідно з якими при засвоєнні певного досвіду з коефіцієнтом менше 0,7 учні у подальшій діяльності роблять систематичні помилки і не здатні їх виправляти. Якщо з такими учнями не проводити додаткової роботи з повторення матеріалу, то цей матеріал вони дуже швидко забудуть. Матеріал можна вважати засвоєним, лише у тому випадку якщо коефіцієнт засвоєння, який визначають як відношення правильно виконаних учнем операцій тесту до загальної кількості операцій у тесті, дорівнює або більше 0,7 [157, с. 325].

Автор впевнений, що вчитель під час навчального процесу може використовувати цей критерій. Але, як саме це робити? За допомогою яких тестів? Чому вказаний коефіцієнт має дорівнювати принаймні 0,7?

Аналіз методичної літератури стосовно контролю та оцінювання знань учнів не дає чіткої відповіді на ці питання. Так, у дисертаційному дослідженні Г.В. Єльникової [63], присвяченому вдосконаленню контролю та обліку знань учнів, зазначається: “Як відомо, кількість виконаних дій у процесі відповіді на запитання відповідає певній мірі засвоєння. Якщо обрати конкретні межі параметра засвоєння, можна провести його нормування відповідно до п’ятибальної шкали оцінок. Ми прийняли такі межі параметра засвоєння:

відповідає оцінці “5”; відповідає оцінці “4” і т.д.” [63].

В.Л. Рисс [171], досліджуючи можливості кількісного оцінювання знань учнів зазначає, що *зазвичай* пропонується наступна шкала: при виконанні від 96 до 100% робота оцінюється балом “5”; від 76 до 95% — балом “4” і т.д. [171, с. 73]. Будь-які пояснення стосовно того, чому саме такі межі параметра засвоєння були обрані, також відсутні.

Про критерій повного засвоєння згадується у монографії О.І. Іваницького [77], коли автор описує технологію повного засвоєння. У цій технології критерій повного засвоєння визначається шляхом опису еталонних дій учня або кількістю правильних відповідей при виконанні діагностичного тестового завдання. Засвоєння вважається повним, коли частка правильних відповідей досягає значення 80-90% [77, с. 129].

Отже, точного значення коефіцієнта засвоєння не існує. І це зрозуміло, адже він безпосередньо залежить від конструкції тесту, яким перевіряються знання. Однак сам факт можливості поділу учнів на тих, у кого знання довго зберігаються в пам’яті, та тих, хто швидко їх забуває [157], що підтвердився і у наших дослідженнях [125], безумовно має враховуватися при складанні завдань , за допомогою яких буде перевірятися рівень досягнення цілей навчання.

Тести, використовуючи які можна виявляти завершеність навчання, повинні бути спеціально сконструйовані. За допомогою цих тестів різниця між тими, хто буде здатний удосконалювати свої знання, і тими, у кого засвоєння нетривке, має чітко фіксуватися. Зазначимо, що звичайні тести дають одномодальний розподіл результатів і тому не пристосовані для цього. Такі тести спеціально розробляються таким чином, щоб отримувати розподіл близький до розподілу Гаусса, оскільки існує добре розроблений математичний апарат для обробки статистичних даних, які підкорюються такому закону. Але якщо потрібно фіксувати *якісну* різницю між учнями, то необхідно побудувати такі тести, які будуть давати принаймні двомодальний розподіл. У статті [9] описується процес створення певного типу тестів, мета яких — виявлення якісної різниці у рівнях розвитку мислення респондентів.

Крім вимог до формулювання цілей та дотримання принципу завершеності навчання технологічний спосіб організації навчання відрізняється наявністю налагодженої системи зворотного зв’язку. Саме з розробленням цієї системи С.О. Смирнов [157] пов’язує процес переведення сучасних методик на технологічні рейки.

Бесіди з вчителями свідчать, що у багатьох випадках вони чекають від технологій навчання саме інструкцій, тобто докладного опису порядку дій на усі можливі випадки. Але навіть серед промислових технологій уже існують такі, де знання інструкцій замало. Колись широке використання конвеєрної системи привело до промислової революції, оскільки ця система дозволила використовувати некваліфікованих робітників для виробництва досить складних речей. Але зараз ситуація зовсім інша: технологічні процеси стали настільки складними, що поділяти їх на прості операції (які міг би виконувати некваліфікований робітник) стало практично неможливо. Отже, вигідніше стало надавати робітникам певну освіту, вчити їх приймати самостійні рішення [10].

На думку С.О. Смирнова [157] специфіка соціальних технологій (у тому числі і педагогічних) полягає у тому, що вони є технологіями більш високого рівня організації, тобто не можуть бути зведені до певної послідовності операцій.

Повернемося до розгляду проблеми розробки засобів зворотного зв'язку. Зазначимо, що на існування цієї проблеми вказувала і Н.Ф. Тализіна: "На жаль, шкільна практика досі не забезпечує систематичного зворотного зв'язку" [195, с. 138]. Крім того, зазначається, що зворотний зв'язок повинен не тільки нести відомості про правильність або неправильність кінцевого результату, а й надавати можливість здійснювати контроль за окремими діями учнів.

Ґрунтовний аналіз організації контрольно-оцінної діяльності у навчанні був проведений Л.М. Фрідманом [210]. Автор зазначає, що навчально-пізнавальна діяльність невіддільна і неможлива без контрольно-оцінної [210, с. 64]. Л.М. Фрідман виділяє дев'ять вимог до контрольно-оцінної діяльності і вказує, що існуюча система контролю та оцінки навчальної роботи учнів не відповідає цим вимогам [210, с. 199].

Інструментом для здійснення пооперaційного контролю є спеціальні завдання. Порівняємо підручники з алгебри та з фізики стосовно завдань, які пропонуються учням. Одразу помітно, що у підручниках алгебри дуже велика кількість вправ. Підкреслимо — саме вправ, а не змістовних задач (хоча, звичайно, і вони присутні). Це дозволяє спочатку відпрацювати до автоматизму певні операції і лише потім переходити до розв'язування змістовних задач. Звичайно, у таких умовах пооперaційний контроль організувати значно легше. На жаль, у підручниках та збірниках задач з фізики подібних вправ, за допомогою яких можна було б відпрацьовувати окремі операції, майже немає.

Таким чином, навчання алгебри організувати значно легше, оскільки складні завдання можна розкласти на прості (і вони вже розкладені авторами підручників). Окремі операції після відпрацювання інтегруються у певну дію. А під час подальшого навчання ця дія може розглядатися як окрема операція у складі іншої дії. Як правило, у підручниках алгебри досить багато однотипних вправ. Це звільняє вчителя від вигадування додаткових завдань, якщо конкретному учню для формування певної операції буде потрібно виконати більшу кількість вправ. Крім того, така ситуація дозволяє здійснювати контроль засвоєння певної операції на вправах, які не виконувалися раніше.

Оскільки подібні вправи майже відсутні у підручниках та збірниках задач з фізики, відпрацювання окремих операцій не відбувається, від учнів одразу вимагається виконання складних дій.

Дуже важливо також забезпечувати своєчасний перехід з одного етапу процесу засвоєння операції (або дії) на наступний. Для того, щоб розв'язувати складні фізичні задачі, необхідно спочатку навчитися розв'язувати прості. Причому розв'язувати їх швидко та подумки. Тут необхідно зауважити, що вимоги вчителів щодо дуже докладного розписування окремих кроків у розв'язках простих задач не тільки призводять до зайвих витрат часу, але є навіть шкідливими для учнів, які вже вміють робити ці кроки подумки [10].

Приклади майже усних завдань для забезпечення зворотного зв'язку під час вивчення кінематики, які були розроблені та експериментально перевірені нами спільно з А.М. Андрєєвим, опубліковані в [3]. Запропоновані завдання можуть допомогти вчителю фіксувати помилки та дозволяють визначити напрямки корекційної роботи як з окремим учнем, так і з класом у цілому. Неабиякі можливості у налагодженні зворотного зв'язку відкриває використання нових інформаційних технологій. У певному розумінні саме завдяки їм стало можливим зробити технологію, яку ми представляємо у цій роботі, помітно ефективнішою.

Розглянуті вище психологічні закономірності формування знань учнів та певні особливості організації навчання дозволяють на їх основі будувати конкретну технологію навчання.

Висновки до першого розділу

1. Аналіз літературних джерел показав, що у методиці навчання фізики поступово виокремилися три великі напрямки, пов'язані з теоретичним матеріалом, розв'язанням задач і лабораторними роботами. При цьому у різні роки пріоритети розставлялися по-різному. Особливо неоднозначним було відношення до ролі математики під час викладання теоретичного матеріалу. Лише після того, як у навчанні фізики була введена диференціація, значення математики стало визнаватися на рівні програм з фізики принаймні для поглибленого курсу.

2. Експериментально доведено, що існує проблема переносу математичних знань і навичок на завдання з фізики. Серед методичних ідей щодо розв'язання цієї проблеми на особливу увагу заслуговує ідея П.М. Ерднієва про створення інтеграційного курсу, що поєднував би механіку і математику.

3. Рівень розвитку логічної пам'яті, яку, за словами П.П. Блонського, важко відрізнити від мислення, істотно впливає на результативність навчання фізики. Механічне запам'ятовування теоретичного матеріалу лише гальмує розвиток логічної пам'яті. З іншого боку, розвитку логічної пам'яті сприяє виконання завдань на одержання висновків з ядра фізичної теорії за допомогою відповідного математичного апарату.

4. Технологізація навчального процесу передбачає виконання таких основних вимог: 1) наявність чітких, сформульованих у вигляді конкретних завдань, цілей навчання; 2) дотримування принципу завершеності навчання; 3) налагодження зворотного зв’язку, що дозволяє здійснювати навіть пооперaційний контроль під час формування в учнів розумових дій.

Необхідною умовою для забезпечення виконання цих вимог є наявність банку відповідних завдань. Існуючі збірники завдань мають бути доповнені завданнями, орієнтованими на теми, які вивчаються лише в поглибленому курсі фізики.

Для налагодження оперативного зворотного зв’язку треба використати можливості новітніх інформаційних технологій.

РОЗДІЛ ІІ
РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ З МЕХАНІКИ У КЛАСАХ ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНОГО ПРОФІЛЮ

Розпочинаючи опис процесу розроблення запропонованої нами педагогічної технології, окреслимо спочатку загальні ідеї, що стали її підґрунтям.

Обрання учнями фізико-математичного профілю для навчання у старшій школі має накладати на них певні зобов'язання щодо підвищення самостійності у вивченні фізики. Дійсно, якщо молода людина планує пов'язати своє життя з тими професіями, які вимагають дієвих знань з фізики, а також розвинутих здібностей до їх поповнення і використання, то вже у шкільні роки треба прийняти на себе значну частину відповідальності за свою фізичну освіту.

Але, як свідчить досвід, лише заклики до учнів стосовно того, що треба проявляти більшу самостійність у вивченні профільного предмета, не багато чого варті, бо більшість учнів не має на момент переходу до старшої школи власної результативної технології вивчення поглибленого курсу фізики.

З іншого боку, вчителі не можуть допомогти учням у короткий термін розробити такі власні технології, які б враховували їхні індивідуальні особливості, оскільки існує загальна *суперечність*. Вона полягає в тому, що для вивчення фізики, зокрема механіки, конче потрібне володіння відповідним математичним апаратом, а за існуючими шкільними програмами з математики його вивчення відкладається на визначений, але далекий термін. Отже, учні залишаються без необхідного інструментального забезпечення, наявність якого надала б їм можливість проявити самостійність у вивченні теоретичного матеріалу з механіки і побачити, що значну частину важливих фізичних результатів, які треба засвоїти за програмою поглибленого курсу фізики, можна отримати власноруч.

Таким чином, потрібно запропонувати учням, які обиратимуть у старшій школі фізико-математичний профіль, такий "нульовий" варіант технології вивчення теоретичного матеріалу з механіки, який принаймні ліквідує загальну для всіх суперечність. А вже потім, відштовхуючись від цього "нульового" варіанту, кожен учень буде вибудовувати свою власну технологію вивчення не лише механіки, а й подальших розділів поглибленого курсу фізики.

Наша технологія призначена для навчання учнів фізико-математичних класів самостійному вивченню теоретичного матеріалу з механіки. Цю технологію ми будемо називати *технологією вивчення теоретичного матеріалу з механіки*. При її розробці ми спиралися, по-перше, на закономірності та особливості розвитку логічної пам'яті та мислення учнів (див. підрозділ 1.3)., при цьому не випадково зупинившись саме на єдиній теорії психічних процесів Л.М. Веккера. Адже ця теорія пояснює механізм виникнення думки і підказує шляхи розробки дидактичних засобів розвитку мислення учнів.

По-друге, під час конструювання технології ми враховували три вимоги до технологізації навчального процесу: наявність діагностично поставлених

цілей навчання; дотримання принципу завершеності навчання; налагодження зворотного зв’язку.

По-третє, для надання учням можливості самостійно працювати з теоретичним матеріалом був запропонований варіант вирішення проблеми математичної підтримки курсу фізики, а саме — інтеграційний курс “Мехматика”.

І, насамкінець, для створення навчального середовища, за допомогою якого учні зможуть навчитися самостійно вивчати теоретичний матеріал, були використані інформаційні технології і створений так званий “комп’ютерний помічник”.

Зауважимо, що наш підхід у загальних рисах схожий на підхід, що був запропонований В.В. Гузєєвим, який, спираючись на аналіз методологічної, педагогічної, науково-методичної та психологічної літератури, зробив висновок , що найбільш перспективними напрямками дидактики є: укрупнення дидактичних одиниць; планування результатів навчання; психологізація освітнього процесу; комп’ютеризація [53, с. 89].

На рис. 2.1 подана схема, що відрбражає найважливіші особливості запропонованої нами технології та сферу її застосування.

Рис. 2.1. Головні риси запропонованої технології вивчення теоретичного матеріалу з механіки та сфера її застосування.

Методи, форми і засоби навчання, що використовуються у розробленій нами технології, такі:

методи навчання (за класифікацією І.Я. Лернера) — евристична бесіда, частково-пошуковий, дослідницький;

форми навчання — урок, заняття у фізико-математичному гуртку, конференції Малої академії наук;

засоби навчання (крім вже існуючих) — “комп’ютерний помічник”, який допомагає технологізувати процес вивчення теоретичного матеріалу з механіки як на уроках фізики, так і у позаурочний час, та система завдань, які у діагностичному вигляді визначають цілі вивчення теоретичного матеріалу з механіки у класах фізико-математичного профілю.

Перейдемо до докладнішого розгляду складових запропонованої технології.

2.1. Формулювання діагностично поставлених цілей вивчення теоретичного матеріалу з механіки

У першому розділі було зазначено, що теоретичний матеріал складається з досить неоднорідного навчального матеріалу: фізичні поняття та закони, історичні відомості, факти з життя вчених, опис різноманітних дослідів, фундаментальних експериментів, відомості про політехнічне значення фізичних знань, про принципи дії та будову різноманітного технічного обладнання тощо.

Зрозуміло, що проблема створення відповідних методик вивчення цього навчального матеріалу неодноразово привертала до себе увагу вчених-методистів та вчителів, і тому вже існують декілька варіантів таких розробок. Проте у сучасних умовах деякі з них мають бути суттєво змінені, адже реформа загальної середньої освіти, що передбачає перехід на 12-річний термін навчання, суттєво вплине на структуру шкільного курсу фізики. Вивчення цього предмета буде відбуватися протягом шести років, причому перші три з них відводяться на базовий курс, що є однаковим для всіх, а наступні три роки учень буде вивчати відповідний до обраного ним у старшій школі профілю курс фізики.

Як вже зазначалося вище, невід’ємною складовою технології навчання мають бути цілі вивчення певного матеріалу. Причому цілі повинні бути сформульовані у діагностичному вигляді, тобто шляхом створення спеціальних завдань. Наявність завдань не лише спрощує для вчителя процедуру перевірки ступеня досягнення задекларованих цілей навчання, але і певним чином спрямовує всю його роботу [114].

У підрозділі 1.4 вказувалося, що нами були співставлені вимоги програми з механіки для класів фізико-математичного профілю та відповідні завдання початкового, середнього та достатнього рівнів збірника завдань для державної підсумкової атестації [69] і виявлено, що завдань недостатньо — вони не охоплюють всіх тем, що зазначені у програмі. Зауважимо, що завдання цих рівнів (початкового, середнього і достатнього) ми вважаємо такими, що перевіряють засвоєння саме теоретичного матеріалу.

Далі, на прикладі двох тем, продемонструємо методику створення додаткових завдань, що мають перевіряти засвоєння учнями відповідного теоретичного матеріалу.

Тема “Обертальний рух твердого тіла навколо нерухомої осі”. Програма з механіки для класів фізико-математичного профілю [164, 166] надає

можливість скласти певний перелік понять та законів, що мають засвоїти учні, вивчаючи обертальний рух твердого тіла. Будемо мати на увазі такий перелік:

- кінетична енергія тіла, що обертається навколо нерухомої осі;
- момент інерції тіла відносно осі;
- момент імпульсу тіла відносно осі;
- момент сили відносно осі;
- основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла для випадку нерухомої осі обертання.

Важливо підкреслити, що динаміка обертального руху твердого тіла навіть у класах фізико-математичного профілю вивчається у спрощеному варіанті. Розглядається лише обертання навколо нерухомої осі, причому вплив тіла на вісь обертання не досліджується. У цьому випадку одновимірного руху не має сенсу користуватися векторними позначеннями для кутової швидкості, бо напрямок обертання цілком задається знаком її числового значення. Замість

векторних величин моменту сили і моменту імпульсу які визначаються відносно нерухомої точки (центра, полюса), вводяться *скалярні* величини — момент сили і момент імпульсу відносно нерухомої осі. Вони можуть набувати як додатних, так і від'ємних значень.

Такий підхід дозволяє записати *скалярні* рівняння динаміки твердого тіла

для випадку нерухомої осі обертання: ; . Тут — момент інерції тіла відносно осі, який є скалярною додатною величиною. Нагадаємо, що і можуть бути і від'ємними. Тут легко простежити аналогію з поступальним прямолінійним рухом. Обидва рухи є одновимірними, і для їх опису цілком вистачає скалярних величин. У скалярних рівняннях динаміки

прямолінійного руху і маса *m* (аналог) додатна, а імпульс і сила (аналоги і відповідно) можуть набувати і від'ємних значень.

Учнів **треба попередити**, що при такому підході до розгляду одновимірних рухів (поступального вздовж прямої і обертального навколо

нерухомої осі) існує певна проблема з позначеннями. Як
позначені **не** модулі відповідних векторів, а їх проекції на відомий напямок, хоча звичні для позначення проекцій нижні індекси відсутні.

Рівняння одновимірного поступального руху легко узагальнюються на

тривимірний випадок. Замість скалярних рівнянь і з'являються

векторні і . На жаль, для обертального руху такого простого переходу не існує, принаймні для одного з розглянутих рівнянь. **Не можна просто замінити і відповідними векторними величинами у рівнянні , залишаючи без змін** (по аналогії з масою при переході

EMBED Equation.DSMT4 EMBED Equation.DSMT4). Це пов’язано з тим, що і *завжди* мають однаковий напрямок, а і — ні. А тому, щоб коректно записати зв’язок між і , потрібен математичний об’єкт, який не є ані скаляром, ані вектором. Якщо його позначити Î, то можна записати , але розтлумачення цього загадкового запису залишається на університетський курс фізики, де Î назвуть тензором інерції, а правила, за якими він діє на вектор, з’ясуються у відповідних математичних курсах.

Зрозуміло, що поняття тензора далеко виходить за межі навіть поглибленого шкільного курсу математики, тому має сенс обмежитися розглядом обертального руху тіла навколо нерухомої осі, де цілком вистачить скалярних величин. Зауважимо, що такий підхід неодноразово використовувався у підручниках та посібниках з фізики (див., наприклад, [43, 208, 226]). У запропонованій нами технології вивчення теоретичного матеріалу з механіки теж використовується саме такий підхід.

Зазначеного вище переліку понять для створення завдань, якими буде перевірятися рівень їх засвоєння, недостатньо. Необхідно конкретизувати його, виокремивши у матеріалі *смислові елементи*, які мають засвоїти учні. Під смисловими елементами навчального матеріалу ми будемо, спираючись на дослідження І.І. Нурмінського та Н.К. Гладишевої [148], розуміти найменші складові частини матеріалу, які ще зберігають самостійний фізичний зміст.

Для виокремлення смислових елементів були проаналізовані не тільки підручники [43, 208, 209,], збірники задач [67, 158] з фізики для шкіл фізико-математичного профілю, а також збірник запитань для вищих навчальних закладів [180]. Аналіз дозволив виокремити 10 смислових елементів:

1. Момент інерції твердого тіла відносно заданої осі визначається за формулою: де — відстань від осі до диференціально малого елемента тіла, який має масу .
2. Кінетична енергія твердого тіла, що обертається навколо нерухомої осі, може бути обчислена за формулою: .
3. Момент інерції твердого тіла відносно початку прямокутної системи координат визначається за формулою: .
4. Можна довести, що , де — момент інерції відносно точки перетину координатних осей, а — відносно відповідних осей.
5. Можна довести, що для тонкої пластини, яка розташована у площині *XY* виконується рівність:

.

6. З означення моменту інерції відносно осі випливає, що для системи матеріальних точок він не змінюється при такому їх переміщенні, при якому відстань від цих точок до осі залишається сталою.

7. Для моментів інерції твердого тіла відносно паралельних осей, одна з яких проходить через центр мас, виконується теорема Гюйгенса – Штейнера

, де *a* — відстань між осями.

8. Для зручності розгляду руху твердого тіла навколо нерухомої осі вводять дві скалярні величини, які є проекціями відповідних векторних величин

на напрямок кутової швидкості : момент сили відносно осі і

момент імпульсу тіла відносно осі , де і визначаються відносно нерухомої точки, що належить осі обертання.

9. Момент імпульсу тіла відносно осі, навколо якої воно обертається, може бути обчислений за формулою .

10. Основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла у

випадку обертання навколо нерухомої осі можна записати так: .

З цього переліку смислових елементів видно, що введення поняття моменту інерції твердого тіла відносно заданої осі (1) дозволяє записати кінетичну енергію обертального руху навколо нерухомої осі (2) у вигляді,

схожому на відповідну формулу для поступального руху . Смислові елементи 3-7 дозволяють полегшити процес обчислення у багатьох важливих випадках. Смисловий елемент 8 звертає увагу учнів на те, що у школі вони вивчають обертальний рух твердого тіла лише навколо нерухомої осі. А у цьому випадку має сенс увести поняття моменту сили і моменту імпульсу *відносно осі*. Це дозволяє записати для цього окремого, але важливого, випадку скалярні рівняння 9 і 10, які нагадують відповідні рівняння для прямолінійного

руху (і).

Перейдемо до розгляду прикладів завдань на перевірку знання учнями виділених нами смислових елементів.

Завдання *початкового* рівня мають перевіряти, чи “впізнає” учень смисловий елемент. Наведемо приклади завдань для деяких з перелічених елементів:

Смисловий елемент №2 (Кінетична енергія твердого тіла, що обертається …).

Завдання: Кінетична енергія обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі визначається формулою…

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Смисловий елемент №4 (Можна довести, що ...).

Завдання: Враховуючи, що через , , позначені моменти інерції тіла відносно координатних осей, а через — момент інерції відносно точки перетину цих осей, оберіть правильне твердження:

А) ; Б) ;

В) ; Г) .

Смисловий елемент №7 (Для моментів інерції твердого тіла відносно паралельних осей, одна з яких ...).

Завдання: Оберіть правильне твердження:

А) через у теоремі Гюйгенса – Штейнера ( ) позначений момент інерції тіла відносно будь-якої заданої осі, що паралельна осі відносно якої момент інерції дорівнює *I*; відстань між осями позначена через *a*.

Б) через у теоремі Гюйгенса – Штейнера ( ) позначений момент інерції тіла відносно осі, що проходить через центр мас тіла і паралельна осі відносно якої момент інерції дорівнює *I*; відстань між осями позначена через *a*.

В) через та у теоремі Гюйгенса – Штейнера ( ) позначені моменти інерції тіла відносно двох перпендикулярних осей; відстань між осями позначена через *a*.

Г) через *a* у теоремі Гюйгенса – Штейнера ( ) позначений максимальний лінійний розмір тіла.

Перейдемо до розгляду створених нами завдань *середнього* рівня. До цього рівня включені завдання, які вимагають застосування смислових елементів у нескладних ситуаціях, а також завдання, що містять певні комбінації елементів. Саме комбінації дозволяють складати необхідну кількість завдань і перевіряти кожен з елементів декількома способами. Наведемо приклади.

Смислові елементи №9 (Момент імпульсу тіла ...) і №10 (Основне рівняння динаміки обертального руху ...).

Завдання: При умові незмінності моменту інерції рівняння, що описує обертальний рух тіла навколо нерухомої осі, може бути записаним через кутове

прискорення ( ) так:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Смислові елементи №1 (Момент інерції твердого тіла ...) і №2 (Кінетична енергія тіла, що обертається ...).

Завдання: Кінетична енергія обертального руху тонкого кільця радіусом R і масою m, яке розкручено до кутової швидкості ω навколо його осі, що перпендикулярна до площини кільця, дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Смисловий елемент №1 (Момент інерції твердого тіла ...).

Завдання: Момент інерції гантелі, що складається з точкових мас m_1 і m_2, які знаходяться на кінцях легкого стержня, якщо вісь її обертання перпендикулярна стержню та знаходиться на відстанях r_1 та r_2 від точкових мас , дорівнює:

А) ; Б) ;

В) ; Г) .

Смислові елементи №1 (Момент інерції твердого тіла ...) і №9 (Момент імпульсу тіла ...).

Завдання: Обруч масою m і радіусом R обертається з кутовою швидкістю навколо нерухомої осі, що проходить через центр обруча перпендикулярно до його площини. Момент імпульсу обруча відносно цієї осі дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Складаючи завдання середнього рівня, можна використовувати смислові елементи не тільки вказаної теми, а і такі, що відносяться до раніше вивченого учнями матеріалу. Наприклад:

Смисловий елемент №2 (Кінетична енергія твердого тіла ...) і закон збереження енергії.

Завдання: До маховика з моментом інерції I, що обертається з кутовою швидкістю ω_1, приклали гальмівну колодку. Через деякий час кутова швидкість маховика зменшилася до значення ω_2. Яка кількість теплоти виділилася за цей час?

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Зауважимо, що ці завдання спеціально створювалися такими, щоб їх можна було виконувати *усно*. Ми спиралися на давно існуючу у педагогічній психології думку про необхідність поступового згортання розумових дій з метою включення їх у складніші розумові дії. У застосуванні до організації вивчення учнями фізики це означає, що необхідно сприяти поступовому переходу від письмового розв’язування завдань до усного, причому це стосується завдань усіх рівнів складності. Як показує досвід, в результаті цілеспрямованої роботи у цьому напрямку школярі навчаються обмірковувати і обговорювати доволі складні теоретичні питання, що і є бажаним [121].

Тому і завдання *достатнього* рівня ми будемо формулювати у такому вигляді, щоб було можливим їх *усне* розв'язування, принаймні для *достатньо* підготовлених учнів. Один з варіантів методики ознайомлення учнів фізико-математичних класів з поняттям моменту інерції, використання якого дозволяє навчити школярів усно розв'язувати подібні і навіть складніші завдання, буде описаний у підрозділі 2.3.

Завдання достатнього рівня повинні містити більш складні комбінації смислових елементів і вимагати від учнів більш вільного володіння математичними перетвореннями. Наведемо приклади завдань достатнього рівня та продемонструємо, яким чином їх можна розв'язати усно.

Завдання (смислові елементи №1 і №2): Два подібних маховика зроблені з однакового металу, причому лінійні розміри другого вдвічі більші лінійних розмірів першого. Як відносяться кінетичні енергії маховиків за їх однакової кутової швидкості обертання?

А) кінетичні енергія першого маховика більша у 4 рази;
Б) кінетична енергія першого маховика більша у 8 разів;
В) кінетична енергія першого маховика більша у 16 разів;
Г) кінетична енергія першого маховика більша у 32 рази.

Для виконання цього завдання учні мають знати, що кінетична енергія тіла, яке обертається навколо нерухомої осі, пропорційна моменту інерції цього тіла (відносно тієї ж осі), і розуміти, що момент інерції пропорційний масі тіла та квадрату лінійних розмірів. Врахувавши, що маса тіла пропорційна кубу лінійних розмірів, можна прийти до висновку, що кінетична енергія тіла пропорційна п'ятому степеню лінійних розмірів тіла. Отже, відповідь:

кінетична енергія першого маховика більша у рази.

Завдання (смислові елементи №1, №9 і №10): Горизонтальна платформа масою m і радіусом R обертається з кутовою швидкістю ω. На краю платформи стоїть людина масою m_1. З якою кутовою швидкістю буде обертатися платформа, якщо людина перейде від краю платформи до її центра? Людину можна вважати матеріальною точкою, а платформу — однорідним диском.

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Це завдання потребує від учнів застосування закону збереження моменту імпульсу — кутова швидкість обертання платформи збільшиться у стільки ж разів, у скільки зменшиться момент інерції системи "платформа — людина" в результаті переходу людини до центра платформи. Момент інерції системи до пересування людини дорівнює сумі моментів інерції однорідного диска масою m і радіусом R та матеріальної точки масою m_1, що знаходиться на відстані R

від осі . Після переходу людини до центра платформи момент

інерції системи дорівнюватиме моменту інерції диска . Отже, відповідь: платформа буде обертатися зі швидкістю

.

Завдання (смислові елементи №1, №5 і №6):
Знайти момент інерції тонкої прямокутної пластинки
відносно осі *Z*, яка перпендикулярна до пластини.
Відомі маса пластинки *m* та її розміри *a* і *b.*

А) ; Б) ; В) ; Г) .

При виконанні цього завдання стане у пригоді формула для тонких

пластин, що розташовані у площині *XY* ( ), та ідея про те, що момент інерції твердого тіла не змінюється при переміщенні його точок за умови, що відстань від цих точок до осі залишається сталою. Якщо розташувати осі *X* та *Y* так, щоб вони проходили вздовж бокових сторін пластини, то неважко буде помітити, що моменти інерції пластини відносно цих осей будуть дорівнювати

відповідно та . Отже, відповідь: .

У Додатку А завдання для перевірки знання учнями теоретичного матеріалу теми "Обертальний рух твердого тіла навколо нерухомої осі" наведені повністю.

Тема "Механічні коливання". За сучасними програмами (для 11-річної школи) ця тема вивчається в 11-му класі, але серед вчених-методистів немає узгодженої думки щодо правильності такого рішення: у відносно нових підручниках з фізики [91, 92] зазначена тема розглядається як в 9-му, так і в 11-му класі.

Якщо говорити про поглиблене вивчення фізики, то ми вважаємо, що тема "Механічні коливання" має вивчатися у курсі механіки, виконуючи при цьому і пропедевтичні функції. Тому далі розглянемо, за допомогою яких завдань можна перевіряти засвоєння теоретичного матеріалу цієї теми.

У навчальному матеріалі цієї теми також була виділена певна сукупність смислових елементів. Для цього були проаналізовані Державний стандарт [57], програми поглибленого вивчення фізики [164, 166], шкільні підручники [43, 91, 92] та посібники для вищої школи [126, 172, 185, 193].

У результаті аналізу підручників стало зрозумілим, що кожний автор чи авторський колектив обирали певні фізичні поняття та пов'язували їх між собою, створюючи відповідну *систему* понять. Звичайно, що ці системи дещо різняться між собою. Але цілі вивчення навчального матеріалу необхідно сформулювати таким чином, щоб результати виконання діагностичних завдань учнями не залежали від підручника, за яким вони навчалися.

Наведемо список смислових елементів з теми "Механічні коливання", який ми склали з урахуванням того, що далі нами буде запропонований варіант розв'язання проблеми математичної підтримки поглибленого курсу механіки:

1. Диференціальне рівняння гармонічних коливань пружинного маятника, включаючи випадок руху у полі тяжіння (

;).

2. Кругова (циклічна) частота гармонічних коливань пружинного маятника .

3. Загальний вигляд залежності координати від часу для пружинного маятника, який здійснює гармонічні коливання (,).

4. Загальний вигляд графіка залежності координати тіла, що здійснює гармонічні коливання, від часу.

5. Амплітуда коливань.

6. Фаза коливань. Початкова фаза.

7. Зв’язок між круговою (циклічною) частотою, періодом та частотою коливань (, ,).

8. Той факт, що малі коливання математичного маятника ( ) є гармонічними.

9. Диференціальне рівняння гармонічних коливань математичного маятника, який здійснює гармонічні коливання біля положення рівноваги ( ).

10. Кругова (циклічна) частота гармонічних коливань математичного маятника .

11. Загальний вигляд залежності координати від часу для математичного маятника, який здійснює гармонічні коливання біля положення рівноваги (,).

12. Той факт, що малі коливання фізичного маятника ( ) є гармонічними.

13. Диференціальне рівняння гармонічних коливань фізичного маятника, який здійснює гармонічні коливання біля положення рівноваги ( ).

14. Кругова (циклічна) частота гармонічних коливань фізичного маятника .

15. Загальний вигляд залежності координати від часу для фізичного маятника, який здійснює гармонічні коливання біля положення рівноваги (,).

16. Ідея про те, що диференціальне рівняння коливань можна отримати як із законів динаміки, так і за допомогою закону збереження механічної енергії .

17. Той факт, що кінетичну енергію тіла, що здійснює гармонічні коливання завжди можна подати у вигляді .

18. Той факт, що потенціальну енергію тіла, що здійснює гармонічні коливання завжди можна подати у вигляді .

19. Власна частота коливань системи , якщо , .

20. Диференціальне рівняння згасаючих коливань ( ).

21. Загальний вигляд залежності координати від часу для тіла, що здійснює згасаючі коливання біля положення рівноваги ( ).

22. Загальний вигляд графіка залежності від часу координати тіла, що здійснює згасаючі коливання біля положення рівноваги .

23. Зв’язок між , і для згасаючих коливань ( ).

24. Умова, за якої спостерігаються згасаючі коливання ( ).

25. Амплітуда згасаючих коливань ( ).

26. Період згасаючих коливань ( ).

27. Час релаксації ( ).

28. Логарифмічний декремент згасання .

29. Диференціальне рівняння вимушених коливань ( ).

30. Загальний вигляд залежності координати від часу для тіла, що здійснює усталені вимушені коливання біля положення рівноваги ( ).

31. Загальний вигляд графіка залежності від часу координати тіла, що здійснює усталені вимушені коливання біля положення рівноваги .

32. Залежність амплітуди усталених вимушених коливань від циклічної частоти зовнішньої сили

.

33. Той факт, що при деякому співвідношенні між , і

спостерігається явище резонансу амплітуди координати (при).

34. Загальний вигляд графіка залежності амплітуди вимушених коливань від циклічної частоти зовнішньої сили.

35. Той факт, що за наявності сили опору середовища резонанси амплітуди координати і амплітуди швидкості відбуваються при різних

значеннях (резонанс амплітуди координати при , а резонанс амплітуди швидкості — при).

Тепер перейдемо до розгляду завдань, за допомогою яких перевіряється засвоєння учнями виділених смислових елементів. Зауважимо, що існуючий збірник різнорівневих завдань для державної підсумкової атестації з фізики [69] містить певну кількість завдань (21), присвячених цій теми. Тому нижче ми наведемо приклади завдань *початкового*, *середнього* та *достатнього* рівнів, які , на нашу думку, мають доповнити завдання згадуваного збірника.

Як і у випадку створення завдань до теми “Обертальний рух твердого тіла навколо нерухомої осі”, ми вважатимемо, що завдання *початкового* рівня мають перевіряти, чи “впізнає” учень смисловий елемент.

Смисловий елемент №1. (Диференціальне рівняння ...).

Завдання: Диференціальне рівняння гармонічних коливань пружинного

маятника після введення позначення має вигляд …

А) ; В) ;

Б) ; Г) .

Смисловий елемент №2. (Кругова (циклічна) частота ...).

Завдання: Кругова частота гармонічних коливань пружинного маятника залежить від …

А) … маси тягарця та жорсткості пружини;

Б) … початкової швидкості тягарця;

В) …. маси тягарця та прискорення вільного падіння;

Г) … довжини пружини та прискорення вільного падіння.

Смисловий елемент №3. (Загальний вигляд залежності координати від часу...).

Завдання: Залежність координати тягарця пружинного маятника, що здійснює гармонічні коливання, від часу **не** може мати вигляд:

А) ; В) ;

Б) ; Г) .

Смисловий елемент №4. (Загальний вигляд графіка залежності ...).

Завдання: Графік залежності координати тіла, що здійснює гармонічні коливання, від часу може мати вигляд:

А) В)

Б) Г)

t

Смисловий елемент №8. (Той факт, що малі коливання …).

Завдання: За якої умови коливання математичного маятника є гармонічними?

А) Якщо довжина нитки маятника більша за 1 м.

Б) Якщо кут відхилення маятника від положення рівноваги набагато менше одного радіану.

В) Якщо кут відхилення маятника від положення рівноваги не перевищує 90°.

Г) Якщо маса тягарця не перевищує 1 кг.

Далі розглянемо завдання *середнього* рівня. До цього рівня віднесені завдання, що містять більш складні запитання або запитання щодо простих комбінацій смислових елементів. Наведемо приклади.

Смисловий елемент №3. (Загальний вигляд залежності координати від часу…).

Завдання: Виберіть **не**правильне твердження:

А) Залежність $x(t)=2\cos 5t+3\sin 5t$ описує гармонічні коливання.

Б) Залежність $x(t)=5\sin 3t+6\sin 4t$ не може описувати гармонічні коливання.

В) Залежність $x(t)=4\sin^2 5t+2$ описує гармонічні коливання.

Г) Залежність $x(t)=7\sin 2t-7\cos 3t$ описує гармонічні коливання.

Смисловий елемент №19. (Власна частота коливань системи…).

Завдання: Власна частота коливань пружинного маятника, що здійснює вимушені коливання …

А) … дорівнює циклічній частоті зовнішньої сили;

Б) … залежить від коефіцієнта опору середовища;

В) … залежить лише від жорсткості пружини та маси тягарця;

Г) … залежить від маси тягарця та прискорення вільного падіння.

Наступні завдання ми відносимо до завдань *достатнього* рівня.

Завдання: Диференціальне рівняння згасаючих гармонічних коливань

при певному співвідношенні між β та ω_0 має розв’язок

. Знайдіть .

А) ; В) ;

Б) ; Г) .

Завдання: Функція є частинним розв’язком диференціального рівняння вимушених коливань

. Виразіть *A* через .

А) ; В) ;

Б) ; Г) .

На відміну від завдань до теми “Обертальний рух твердого тіла навколо нерухомої осі”, тут, зрозуміло, не вимагається усне розв’язування. Також зауважимо, що перед учнями не ставиться завдання запам’ятати усі формули, що відносяться до цієї теми. Важливо навчити їх застосовувати математичний апарат та самостійно одержувати частину висновків (повний перелік створених нами завдань з цієї теми наведений у Додатку Б).

Зрозуміло, що для цього має бути розв’язана проблема математичної підтримки поглибленого курсу фізики. Аналізу цієї проблеми присвячений наступний підрозділ.

2.2. Поєднання математики і теоретичного матеріалу з механіки в інтеграційному курсі “Мехматика”

Математичні знання учнів після закінчення 9-го класу (у майбутній 12-річній школі) будуть явно недостатніми для вивчення механіки у класах фізико-математичного спрямування. Так, Стандартом [57] передбачається вивчення в основній школі, наприклад, лише трьох видів функцій — лінійної, оберненої пропорційності та квадратичної. Але курс фізики основної школи і не передбачає широкого використання математичних знань. Характеризуючи його , М.Т. Мартинюк [110], як співавтор курсу фізики основної школи, вказує, що у ньому використання математичного апарату в описі фізичних явищ, законів і теорій зведено до мінімуму. Перевагу надано логічним міркуванням, образному та предметно-наочному моделюванню [110, с. 20].

Але зрозуміло, що у старшій школі фізико-математичного профілю ситуація повинна бути принципово іншою [5, 119].

Які саме математичні поняття мають засвоїти учні для розуміння механіки? На нашу думку, це:

—елементарні функції, оскільки за їх допомогою описуються різні випадки механічного руху;

—поняття похідної, яке корисно вводити під час розгляду поняття миттєвої швидкості;

—поняття інтегралу, за допомогою якого здійснюються розрахунки шляху, роботи та ін.;

—ряд Маклорена, оскільки це допомагає учням перевіряти отримані самостійно формули на граничні випадки;

—деякі види диференціальних рівнянь, які отримують, застосовуючи другий закон Ньютона для окремих видів сил.

Всі ці питання входять до поглибленого курсу математики, але вивчаються значно пізніше. Зазначимо, що у курсі математики поняття похідної та інтегралу вводять, розглядаючи задачі на знаходження миттєвої швидкості тіла та пройденого шляху відповідно. Щодо елементарних функцій, то кожну з них можна продемонструвати певними фізичними процесами, що сприятиме не тільки засвоєнню фізики, але і математики.

У Додатку Д подана розроблена нами програма курсу “Мехматика”, в якій математичним питанням поставлені у відповідність фізичні питання, під час розгляду яких вони використовуються. Саме за цією програмою були організовані заняття у фізико-математичному гуртку районного Центру дитячої та юнацької творчості (м. Запоріжжя, Жовтневий р-н) протягом 2003-2006 років .

Як можна побачити, цей курс розділений на дві частини: “Прямолінійний рух” та “Рух у тривимірному просторі”. Необхідність саме такої побудови курсу була викликана наступними міркуваннями: просте додавання до звичайного курсу механіки усього необхідного математичного матеріалу призведе до перевантаження початкового періоду навчання досить складними математичними поняттями, адже вже у кінематиці необхідно використовувати і вектори, і похідні, і інтеграли. З метою більш рівномірного розподілу навантаження спочатку (з використанням відповідної математики) вивчається механіка прямолінійного руху, тобто кінематика та динаміка цього руху, а потім вводиться поняття вектора та розглядається рух під дією декількох сил, обертальний рух, закон збереження моменту імпульсу, рух твердого тіла.

Зазначимо принагідно, що такий підхід має нагадати проблему розподілу теоретичного матеріалу про обертальний рух твердого тіла між шкільним і університетським курсами фізики. У випадку з механікою прямолінійного руху також можна обійтися без векторів за допомогою знаків “+” і “ ”, які будуть визначати напрямок руху. Але відмінність порівнюваних проблем полягає в тому, що механіка поступального руху (механіка матеріальної точки) буде в школі вивчатися не лише на найпростішому рівні прямолінійного руху.

Результати учнів, які навчалися за наведеною програмою представлені у третьому розділі. Тут лише зазначимо, що ми переконалися у дієвості такого підходу.

Однак, якщо говорити про профільний курс фізики, який буде вивчатися у 10-му класі 12-річної школи, то наведену програму необхідно дещо переробити, оскільки курс “Мехматика” призначений для вивчення теоретичного матеріалу і у ньому не передбачені, наприклад, лабораторні роботи. У межах фізико-математичного гуртка це є цілком припустимим, оскільки учні паралельно вивчають курс фізики за шкільною програмою. Крім того, складаючи програму з фізики для 10-го класу фізико-математичного профілю 12-річної школи, необхідно врахувати, що учні в основній школі вже ознайомляться, на пропедевтичному рівні, з багатьма фізичними поняттями. І тому може і можна буде *не* розділяти курс на дві частини (“Прямолінійний рух”

та “Рух у тривимірному просторі”). Але така гіпотеза потребує окремої експериментальної перевірки.

Курс “Мехматика” може бути включений у навчальний процес різними шляхами. По-перше, вчитель може зробити цей курс частиною курсу фізики 10-го класу 12-річної школи і використовувати запропоновану нами технологію під час проведення занять. По-друге, за програмою цього курсу можуть проводитися заняття фізико-математичного гуртка. Керівниками таких гуртків можуть бути не тільки вчителі, що працюють у даній школі, а і викладачі вищих навчальних закладів.

Далі перейдемо до розгляду особливостей математичної складової курсу “Мехматика”.

Інколи вчителі фізики намагаються забезпечити математичну підтримку курсу механіки у такий спосіб. Після короткої розповіді про фізичний і геометричний зміст похідної функції дають таблицю похідних елементарних функцій і вимагають від учнів завчити її напам’ять. З інтегралами — та сама історія. Ми принципово проти такого підходу. Хоча він може на початковому етапі дати деяку економію навчального часу, проте у подальшому ця економія обертається значними втратами. Бездумно завчене напам’ять не піддається свідомому контролю. А формули зовні такі схожі, якщо не заглиблюватись у їхній зміст! Через деякий час вони в голові переплутуються, і учні стають цілком безпорадними.

Ми йдемо іншим шляхом. Багато часу виділяємо на початкове знайомство з елементарними функціями, з їхніми властивостями, з графіками, з фізичними процесами, які вони описують. Докладно обґрунтовуємо необхідність уведення поняття похідної функції, детально розбираємо її фізичний і геометричний зміст. Пропонуємо учням будувати за графіками функцій ескізи графіків їх похідних. Аналогічний підхід використовуємо і при знайомстві з інтегралами, рядами, диференціальними рівняннями. Це привчає учнів усвідомлювати, а не механічно запам’ятовувати формули і алгоритми дій. У результаті — інколи учні придумують такі підходи до виконання запропонованих нами завдань, які цікавіші від тих, що ми збиралися їм показати, якщо б вони не впоралися самостійно. А головне — учні навчаються критично мислити і під час виконання завдань орієнтуються на внутрішні, істотні ознаки проблемної ситуації, а не починають бездумно відпрацьовувати алгоритм дій, що був би доречним в інших умовах, які лише на вигляд нагадують запропоновані.

Проблема математичної підтримки шкільного курсу фізики, особливо поглибленого, полягає не лише у надто пізньому знайомстві учнів з необхідним для вивчення фізики математичним матеріалом. Деякі важливі теми або взагалі не вивчаються, або їм не приділяється належної уваги. Серед таких тем — ряд Тейлора, зокрема його найпростіший випадок — ряд Маклорена [118, 120].

Як показує досвід, ознайомлення учнів дев’ятих-десятих класів фізико-математичних шкіл з цією темою не стикається з непереборними труднощами і дає суттєвий виграш в економії навчального часу за рахунок значного підвищення самостійності учнів у подальшому вивченні як фізики, так і

математики. Основні ускладнення в роботі були пов’язані з відсутністю текстів з викладом відповідного матеріалу.

З іншого боку, необхідно зазначити, що вміння застосовувати ряд Маклорена для аналізу фізичних ситуацій далеко не завжди сформоване навіть у студентів старших курсів фізичного факультету. Однією з причин такого становища може бути і сама методика вивчення цього поняття у вищій школі. Студенти знайомляться з рядом Маклорена у курсі математичного аналізу, де, у кращому випадку, наводиться лише кілька прикладів його використання у фізиці. Звичайно, у подальшому навчанні ряд Маклорена неодноразово використовується, але формування в студентів уміння самостійно його застосовувати відбувається стихійно, а отже — не завжди успішно.

Іноді у математичних додатках до посібників з фізики, які адресовані учням шкіл і вчителям, наводять наближені вирази для деяких функцій у вигляді одного-двох перших доданків ряду Маклорена, але без будь-яких пояснень [13, 42]. У результаті — навіть учасники учнівських олімпіад з фізики не завжди усвідомлюють походження формул, якими їм доводиться користуватися при розв’язуванні фізичних задач і перевірці відповідей на граничні випадки.

Для того, щоб запобігти створенню подібних ситуацій ми приділяли вивченню ряду Маклорена декілька занять. Крім того, при подальшому навчанні під час проведення разом з учнями невеличких досліджень це математичне поняття неодноразово застосовувалося.

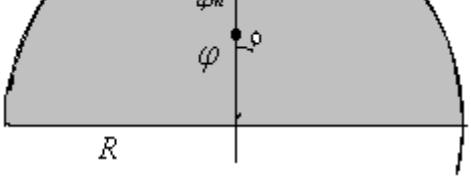
Однією з головних особливостей вивчення ряду Маклорена має бути відсутність поспішності у цьому процесі. Наші заняття були організовані таким чином, щоб учні мали змогу самостійно отримати всі необхідні формули після того, як їм розповіли основні ідеї.

До того ж, на цих заняттях були використані можливості комп’ютерних програм, завдяки яким вдалося наочно показати учням, наскільки відрізняється функція від її розвинення в ряд залежно від кількості доданків.

Методичні рекомендації щодо процесу вивчення ряду Маклорена. наведені у Додатку Е.

При подальшому вивченні фізики виникає чимало ситуацій, коли вміння застосувати ряд Макорена стає у пригоді. Наведемо конкретні приклади.

***Задачі, що стають усними*.** Перевірку засвоєння учнями шкільного курсу фізики, особливо у фізико-математичних класах, МОН України рекомендовано проводити у письмовій формі [56] за “Збірником різнорівневих завдань для державної підсумкової атестації з фізики” [69]. Для складання іспиту на *високому* рівні школярі повинні вміти виконувати відповідні завдання , а для цього недостатньо знати певні алгоритми для розв’язування стандартних задач: завдання високого рівня *якісно* від них відрізняються. У статті [121] розповідалося про багаторічний позитивний досвід залучення учнів до *усного* розв’язування досить складних за звичайними мірками фізичних задач. Уміння застосовувати ряд Маклорена значно розширює коло задач, що розв’язуються усно. Наведемо приклад.



Задача №3.40 [09]. Дві маленькі кульки масами 20 г *та 30* г *підвішені на закріплених в одній точці нитках однакової довжини. Кульку масою 20* г *відводять на відстань, при якій нитки утворюють кут , і відпускають. Визначте, на який кут відхиляться нитки від вертикалі після абсолютно непружного удару кульок.*

Цю задачу можна швидко розв'язати усно, якщо врахувати малість початкового кута відхилення нитки з кулькою. Швидкість кульки, що відводили, безпосередньо перед ударом можна знайти за законом збереження

енергії: . При малих кутах (два ненульових доданки ряду Маклорена). Отже, стає очевидним, що згадана швидкість

пропорційна значенню максимального кута відхилення , а коефіцієнт пропорційності виражається через довжину нитки та прискорення вільного падіння, але не залежить від маси кульки. Після абсолютно непружного удару обидві кульки рухатимуться як одне тіло з сумарною масою, а початкова швидкість їхнього сумісного руху визначиться з закону збереження імпульсу і буде у 2,5 рази менша за швидкість першої кульки безпосередньо перед

зіткненням, бо у стільки разів її маса менша за сумарну . Враховуючи пропорційність між максимальним кутом відхилення (якщо він малий) і максимальною швидкістю (у положенні рівноваги), а також незалежність коефіцієнта пропорційності від маси тягарця, робимо висновок, що нитки

відхиляться на кут (= :2,5). Корисно розв'язати цю задачу в загальному вигляді без обмеження на малість початкового кута відхилення нитки, а потім порівняти відповідь з тією, яку ми отримали усно. Зауважимо, що зробити таке порівняння для кута в за допомогою калькулятора можна без проблем. А ось аналітично довести, що кінцева формула для загального випадку

переходить при малих кутах у формулу

, для багатьох виявляється не такою вже і простою справою.

Знаходження центра мас. Один з методів знаходження центра мас однорідного тіла пов'язаний з підрахунком зміни потенціальної енергії при повороті на малий кут навколо горизонтальної осі. Проілюструємо цей метод на прикладі знаходження положення центра мас тонкої однорідної пластини, що має форму половини круга.

Повернемо пластину на малий кут (див. рис. 2.2). Знайдемо зміну висоти її центра мас і відповідну зміну потенціальної енергії, вважаючи, що спочатку діаметр *AC* був горизонтальним. З міркувань симетрії центр мас повинен знаходитись на відрізку *OB*, і при

повороті пластини він опуститься на

, де $x_{ц.м.}$ — відстань від нього до т. O.

Потенціальна енергія при цьому зменшиться на .

Якщо скористатися тим фактом, що кут малий, та розвинути функцію cos у ряд Маклорена, обмежуючись двома першими ненульовими доданками, то

можна записати: .

Тепер спробуємо знайти ту ж саму величину, виходячи з інших міркувань . Якщо уважно подивитися на рисунок, то, скориставшись однорідністю пластини, можна сказати, що пластина не рухалась, а лише сектор OAA' "перейшов" у сектор OCC'. Оскільки кут малий, то ми можемо вважати названі сектори трикутниками. Враховуючи, що центр мас трикутника знаходиться на перетині медіан, знаходимо, що цей "перехід" спричинив зміну

висоти центра мас малого трикутника на . Отже, зміну потенціальної

енергії можна записати так: , де — маса сектора, що відповідає куту .

Зрозуміло, що знайдені нами зміни потенціальних енергій повинні бути

однаковими. Таким чином, **EMBED Equation.3** , звідки

.

Задачі, пов'язані з квазігармонічними коливаннями. Як відомо, у тих випадках, коли коливання механічної системи біля положення рівноваги є гармонічними, потенціальну енергію можна представити у вигляді , а кінетичну — у вигляді , де — так звана узагальнена координата, яку для кожної конкретної ситуації обирають із міркувань зручності (це може бути, наприклад, кут повороту), а — узагальнена швидкість. Після знаходження виразів для вказаних енергій можна записати закон збереження енергії і далі використовувати його в залежності від вимог задачі. Але знаходження цих виразів, як правило, потребує розвинення функцій у ряд Маклорена, оскільки частіше за все мова йде про квазігармонічні коливання, які наближаються до гармонічних при малих амплітудах. Розглянемо задачу, що у збірнику за редакцією О.Я. Савченка [67] віднесена до задач підвищеної складності.

Задача [67, №3.1.14]. *На нитках довжиною h, що знаходяться на відстані l одна від одної, висить невагомий стержень довжиною L >l з тягарцями масою m на кінцях. Стержень розташований горизонтально (див. рис.2.3). Знайдіть максимальну кутову швидкість стержня, якщо його відпустили, повернувши перед тим на малий кут у горизонтальній площині.*

З умови задачі зрозуміло, що після виведення з положення рівноваги система буде здійснювати коливання. Як узагальнену координату зручно обрати кут , на який стержень повернений у горизонтальній площині відносно положення рівноваги.

У результаті повороту стержень, залишаючись горизонтальним, буде підніматись угору, його потенціальна енергія у гравітаційному полі Землі буде зростати зі збільшенням кута повороту. Знайдемо цю залежність.

З рис. 2.4 (“вид зверху”) видно, що при повороті на малий кут відстань, на яку зміститься у горизонтальній площині кожна з точок закріплення

нитoк до стержня дорівнює .

З наступного рисунку (“вид з боку”, рис. 2.5) можна визначити, що стержень при цьому підніметься

вгору на висоту , де — кут відхилення ниток від вертикалі. Цей кут можна також визначити за

допомогою рисунка: .

Далі скористаємося розвиненням функцій синуса і косинуса у ряд Маклорена, враховуючи малість кута :

, відповідно ; , отже

.

Тепер ми можемо записати у потрібному вигляді вираз для потенціальної енергії системи, вважаючи її нульовою в положенні рівноваги:

.

Тут враховано, що сумарна маса тягарців дорівнює .

Кінетична енергія без проблем виражається через кутову швидкість :

. Якщо у початковий момент часу стержень був повернений у горизонтальній площині на кут , то відповідно до закону збереження енергії отримуємо:

.

Отже, максимальна кутова швидкість складатиме ,

оскільки при цьому . Можна розглянути додаткове запитання: який буде період малих коливань стержня? Як відомо з теорії гармонічних коливань,

максимальна узагальнена швидкість (у даному випадку) дорівнює добутку максимального значення координати (у даному випадку) та кругової частоти гармонічних коливань (що пов'язана з періодом *T*:). Отже, , звідки .

На початку цього розділу зазначалося, що процес вивчення навчального матеріалу у запропонованій нами технології має змінюватися з часом: невелика на початку швидкість засвоєння знань має поступово зростати. Це стає можливим, якщо на початку навчання приділяти багато уваги вказаним у програмі курсу "Мехматика" математичним поняттям та їх фізичному змісту. Необхідно витратити достатньо часу, якщо треба — навіть більше, ніж зазначено у програмі, але сформувати в учнів поняття похідної, первісної та інтеграла. З методичної точки зору така робота вчителя не є надто складною, адже у навчальних посібниках з математики міститься чимало відповідних вправ; щодо фізичного змісту зазначених понять, то можна звернутися, наприклад, до посібника [83]. На цьому етапі головне — не поспішати, не намагатися "вичитати" матеріал.

А ось далі робота вчителя стає складнішою, у першу чергу, через відсутність відповідних методичних розробок. Тому у цьому підрозділі ми також покажемо, яким чином при вивченні теми "Гравітаційна взаємодія" можна здійснювати пропедевтику таких понять як "напруженість поля", знайомство з яким зазвичай відкладають до того часу, коли за програмою будуть проходити електростатику.

Гравітаційна взаємодія. Що мають знати учні про гравітаційну взаємодію? У чинних програмах наведений такий перелік: гравітаційні сили; закон всесвітнього тяжіння; визначення мас небесних тіл; рух штучних супутників Землі; розрахунок першої космічної швидкості [166]. Як бачимо, поняття гравітаційного поля навіть не виокремлюється. Про поле, щоправда електростатичне, буде йти мова лише у наступному класі — при вивченні теми "Електричне поле". Саме тоді учні мають познайомитися з теоремою Остроградського – Гаусса та її застосуванням для розрахунку електричних полів [164]. Для систематизації знань про електричне поле рекомендується проводити аналогії між електричним та гравітаційним полями і крім того наголошується: "…треба пам'ятати, що в учнів ще недостатньо теоретичних і експериментальних фактів для формування цілісних уявлень про електричне поле" [164].

То, може, необхідно допомогти учням і дещо ближче познайомити їх з властивостями гравітаційного поля, дію якого вони постійно відчувають? Можливо, тоді термін "поле" не викликатиме паніки і у студентів [86, с. 17].

Розглянемо, як в умовах фізико-математичного класу, де вже розв'язана проблема з математичною підтримкою курсу фізики, може відбуватися вивчення властивостей гравітаційного поля [111].

Відмінності від матеріалу звичайного курсу почнуться зі знайомства з поняттям напруженості гравітаційного поля та з'ясування зв'язку цього поняття з поняттям прискорення вільного падіння. А далі можна спробувати знайти вираз для напруженості гравітаційного поля планети у формі кулі, користуючись лише законом всесвітнього тяжіння. Цей закон, як відомо, був сформульований для випадку взаємодії двох точкових мас, і буде корисним обговорити з учнями, яким чином його можна застосовувати для інших тіл.

Тут логічним буде запитання: навіщо йти таким складним шляхом? Значно простіше розповісти учням про теорему Гаусса, а потім вивести з її допомогою всі необхідні формули. Так, цей шлях дійсно простіший, але тоді учні не матимуть можливості впевнитися в тому, наскільки теорема Гаусса у деяких випадках спрощує розрахунки, і крім того у кращому випадку будуть володіти лише одним прийомом для знаходження напруженості гравітаційного (або електростатичного) поля. Більш виграшною, на наш погляд, є стратегія, за якої учні познайомляться з декількома способами отримання певної формули, після чого вони матимуть вибір. Зазначимо, що при розв'язуванні задачі на знаходження напруженості гравітаційного (або електростатичного) поля однорідної (за характером розподілу маси або заряду) кулі можна використовувати закон всесвітнього тяжіння (або закон Кулона), можна застосовувати теорему Гаусса, а можна згадати про поняття потенціалу поля і використати його зв'язок із напруженістю. Крім того, у тих випадках, коли необхідно здійснювати поділ тіла на диференціально малі частини, а потім проводити інтегрування, ці операції також можна виконувати декількома способами. Таким чином, вибір доволі широкий, і принаймні на одному прикладі, це необхідно продемонструвати учням.

Повертаючись до задачі про напруженість гравітаційного поля планети-кулі, зазначимо, що у випадку розв'язування її за допомогою лише закону всесвітнього тяжіння необхідно спочатку отримати вираз для напруженості поля, що створюється матеріальною точкою. А далі — надати учням можливість висунути пропозиції щодо способу поділу кулі на частини. Скоріше за все, спочатку вони запропонують поділити її на матеріальні точки. Тут можна зупинитися та спробувати записати цю ідею математичною мовою. Можливо, учні і самі зрозуміють, що краще придумати інший спосіб розбиття. Однією з вдалих ідей, на якій можна зупинитися та використати для подальшого розв'язування задачі, є ідея про розбиття кулі на диски (див. рис. 2. 6). Якщо знайти напруженість гравітаційного поля, що створюється одним таким диском у точці A, то залишиться лише виконати інтегрування, яке просумує внески всіх дисків.

Однак вираз для напруженості поля диска учням поки що не відомий. Для його виведення знов потрібно визначитися із способом поділення тіла. Цього разу пошук найзручнішого варіанту —поділити на кільця — зазвичай займає в учнів зовсім небагато часу. Таким чином, разом з учнями, можна дійти до порівняно нескладної задачі (у збірнику [42] аналогічна задача помічена однією "зірочкою"): знайти напруженість поля, що створюється кільцем масою m та радіусом a у точках, що знаходяться на осі, яка проходить через центр

кільця і перпендикулярна до його площини.

Після попередніх обговорень учні можуть і самі здогадатися про те, що потрібно розбити кільце на матеріальні точки масами *dm*, знайти напруженість поля , що створюється однією такою масою у точках на вказаній осі, а потім — модуль результуючої напруженості (напрямок очевидний з міркувань симетрії).

Після отримання відповіді (, де *z* — відстань до центра кільця) можна знов зупинитися і запропонувати учням дослідити отриману залежність. Цікавим, наприклад, є те, що графік залежності *g*(*z*) має максимум у точці, яка знаходиться на відстані

від площини кільця.

Тепер можна перейти до розв'язування задачі з тонким диском. Тут має сенс ввести поняття поверхневої густини. Тоді отримання відповіді потребуватиме лише обчислення нескладного інтегралу.

Важливо звернути увагу учнів на те, що формули для визначення напруженості гравітаційного поля були знайдені *лише* для точок, що лежать на певній осі, а отримання аналогічних формул у загальному випадку є значно складнішою задачею.

Тепер учням відоме все, що необхідно для розв'язання основної задачі — знаходження напруженості гравітаційного поля планети у формі однорідної кулі. Можливо, у них виникнуть певні труднощі у зв'язку з обчисленням інтегралу.

Необхідно зазначити, що навіть у найсприятливіших умовах, коли учні отримують формули майже самостійно, а вчитель відіграє роль консультанта, цілком ймовірно, що матеріал належним чином засвоять лише досить здібні учні. Досвід показує, що зарадити тут може неодноразове повернення до цього матеріалу, організувати яке можна, використовуючи відомий прийом В.Ф. Шаталова [219], а саме — запропонувати учням відтворити математичні перетворення. Це змусить їх замислюватися над зв'язками між формулами і навчить відрізняти те, що дійсно зрозуміле й усвідомлене, від того, що лише здається таким.

Далі перейдемо до розгляду наступної складової запропонованої технології навчання — "комп'ютерного помічника".

2.3. Створення "комп'ютерного помічника" як ефективного засобу запропонованої технології

Як вже неодноразово зазначалося, наші попередні дослідження [REF _ Ref150519239 \r \h 124] показали, що найкраще засвоєння теоретичного матеріалу учнями фізико-математичних класів відбувається, коли вони самостійно отримують висновки з вихідних положень фізичної теорії. Що стосується

виведення певних формул, то за умови вирішення проблеми з математичною підтримкою курсу фізики, це можна організувати за допомогою спеціальних завдань. Але, як знов-таки свідчать проведені нами експерименти, виконання завдань на самостійне виведення формул має чергуватися з обговоренням здобутих результатів. Організувати на уроці роботу, у якій поєднується самостійне виконання учнями певних завдань та колективне обговорення, значно легше за можливості використання мультимедійних засобів.

Сучасний рівень розвитку комп'ютерної техніки дозволяє досить широко використовувати у навчальному процесі новітні інформаційні технології. У галузі дидактики фізики кількість відповідних досліджень є досить великою. Були створені не тільки програми для перевірки знань учнів, але і комплексні програми, які містять у собі навчальні тексти, що супроводжуються анімацією, "конструктори" для виконання лабораторних робіт та підготовки демонстрацій. Можливості комп'ютерних технологій, зокрема створення гіпертекстового середовища, сприяли розвиткові та поширенню ідеї про заміну традиційного підручника з фізики його електронним варіантом.

Але застосування комп'ютера у навчальному процесі має певні обмеження. Ми поділяємо думку І.О. Теплицького та С.О. Семерікова [197], про те, що комп'ютерний підручник у загальній системі засобів навчання фізики — це доповнення до традиційного підручника, яке найкраще проявляє себе в умовах самостійної позаурочної роботи.

Розглянемо особливості використання комп'ютерної техніки під час знайомства учнів з теоретичним матеріалом двох конкретних тем.

Момент інерції. Можливості програми Microsoft® Office PowerPoint® дозволили нам створити "комп'ютерний помічник" [117], який стане у пригоді вчителю фізики як для роботи на уроці, так і для організації домашньої роботи учнів.

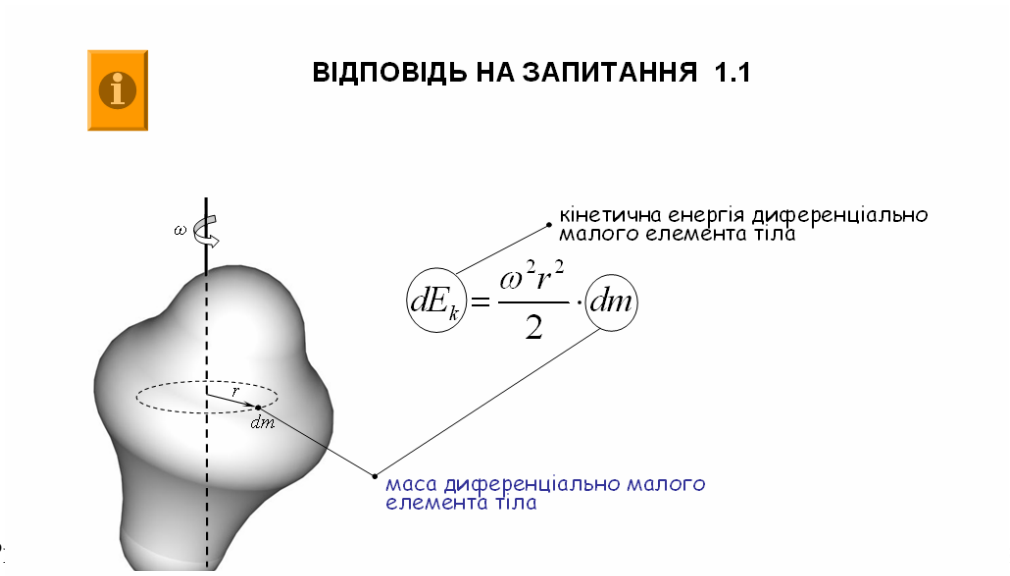
З теми "Момент інерції" наш "комп'ютерний помічник" містить 12 основних та 31 допоміжний слайд. На основних слайдах, крім необхідних теоретичних відомостей, є також завдання для учнів. А на додаткових — подані відповіді та підказки до запитань, що запропоновані на основних слайдах. Відпові ання.

П огою
кнопок
передба еться до
основн
Н поняття
момент цо
обертає ги на два
запитан циліндра
масою ; или вони
формул

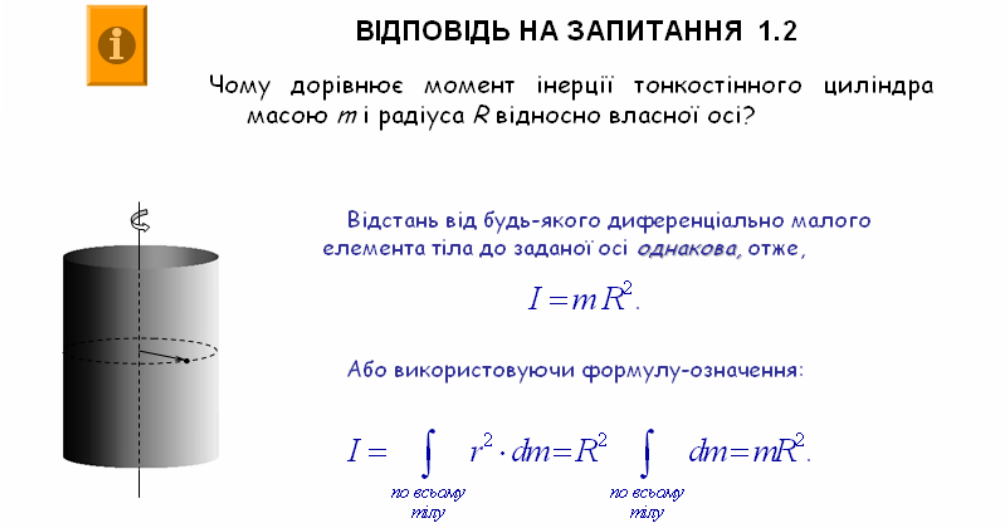


Рис. 2.7. Слайд №1 комп’ютерного помічника з теми “Момент інерції”.

Якщо, як вже зазначалося вище, “натиснути” на знаки запитання, то на екрані монітора з’явиться відповідний допоміжний слайд, на якому відповідь на запитання буде виділено синім кольором (див. рис 2.8, 2.9.)



Р омічника.

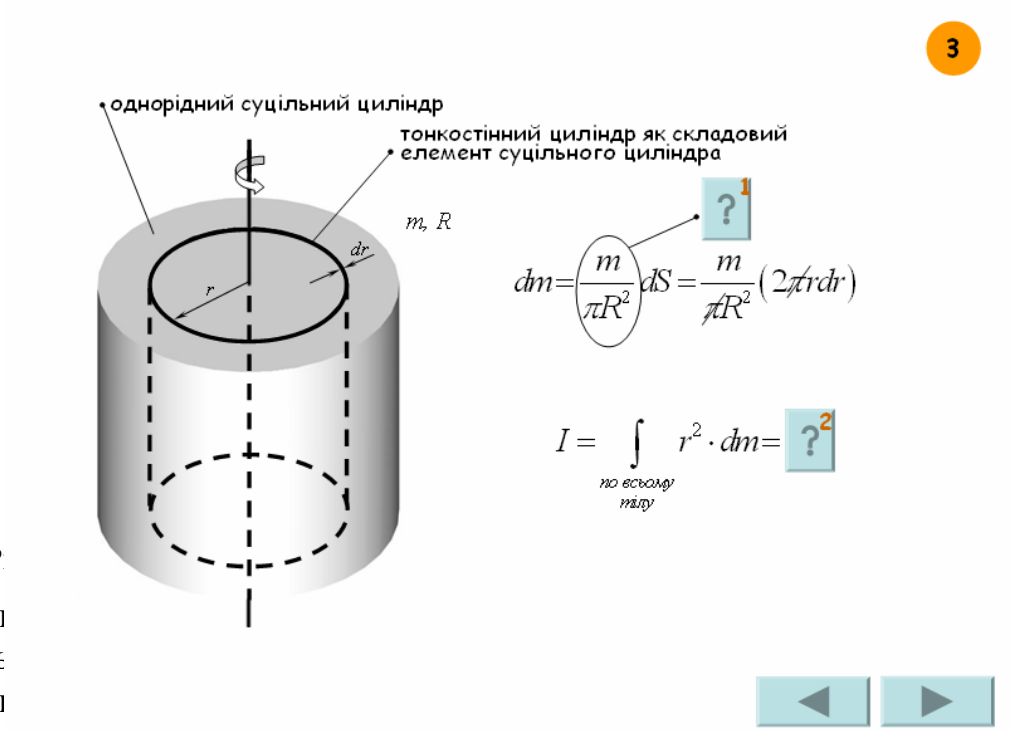


Р мічника.

Г ціально
для тог стійно
знайти ь активної
роботи магають

від учнів застосувати формулу-означення, причому пояснення настільки

Рис. 2.10. Слайд №2 комп'ютерного помічника з теми "Момент інерції".



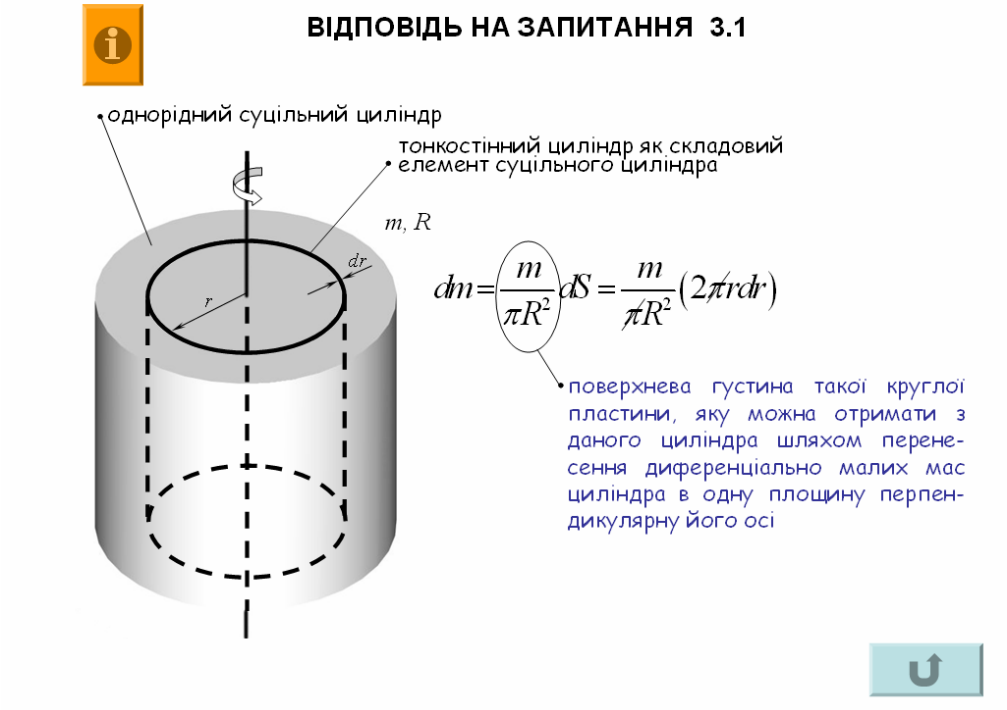
Р

докладн ня. Крім

завданн тання, що

вимага ачає *dm*?

?

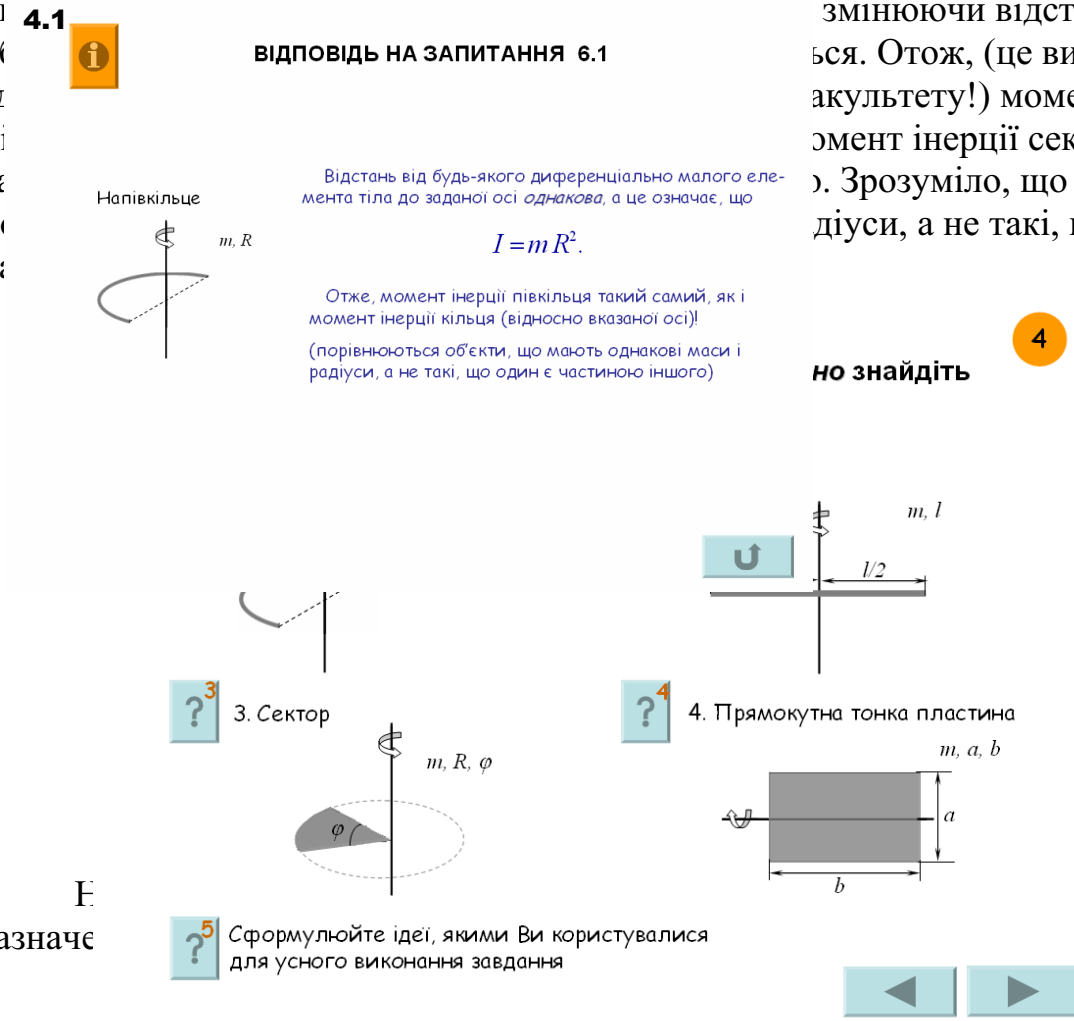


слайду 3.

Рис. 2.12. Слайд-відповідь на перше запитання слайду №3 комп'ютерного помічника.

Зауважимо, що вчитель, виходячи з власних міркувань, завжди може поставити учням додаткові запитання або зробити відповідні коментарі та пояснення. А завдання на слайдах допоможуть учням зрозуміти, що теоретичний матеріал не потрібно заучувати напам'ять, адже значну його частину вони можуть отримати самостійно.

На слайді 4 (рис. 2.13) , представлені завдання, які треба виконати самостійно і *усно*. Для цього учні мають усвідомити таку ідею: якщо



ді змінюючи відстані до осі
об ься. Отож, (це викликає
зд акультету!) момент інерції
пі омент інерції сектора такий
са ». Зрозуміло, що тут
по діуси, а не такі, що один є
ча

”.

Н ь, що
зазначе

Рис. 2.14. Слайд-відповідь на перше запитання слайду №4 комп'ютерного помічника.

Рис. 2.15. Слайд-відповідь на друге запитання слайду №4 комп’ютерного помічника.

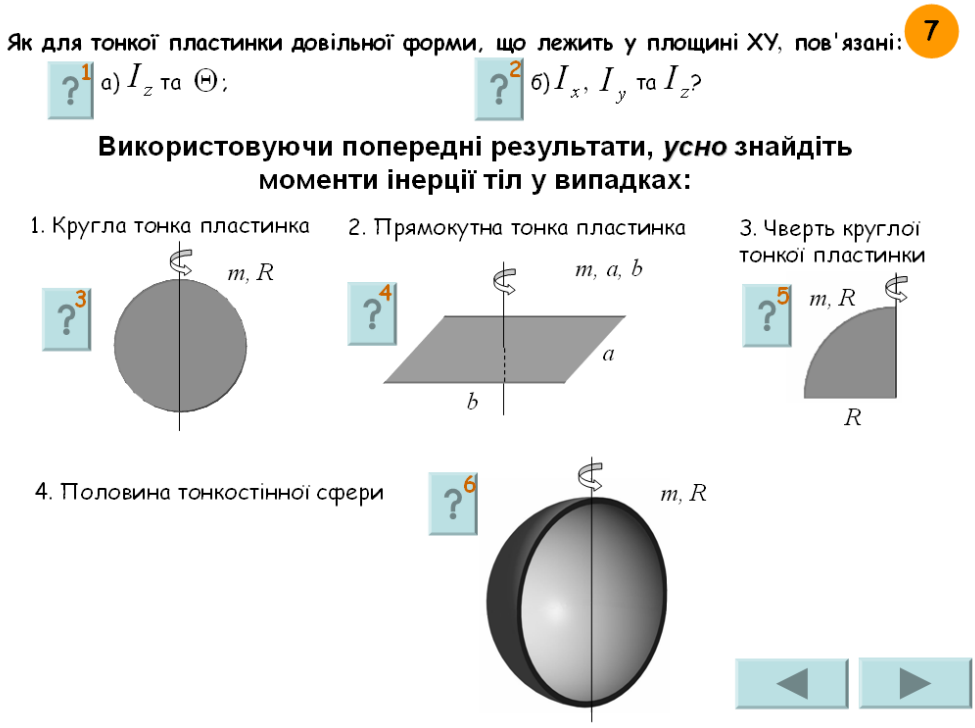
Наступні два слайди (рис. 2.16, 2.17) присвячені теоремі, яку ми умовно назвали “Корисна теорема”, адже у навчальній літературі спеціальна назва для неї відсутня.

Рис. 2.16. Слайд №5 комп’ютерного помічника з теми “Момент інерції”.

Перед тим, як навести доведення теореми, ми пропонуємо учням спробувати зробити це самостійно.

Рис. 2.17. Слайд №6 комп’ютерного помічника з теми “Момент інерції”.

Далі учням пропонується, знов-таки усно, знайти моменти інерцій тіл з використанням зазначеної теореми (рис. 2.18).

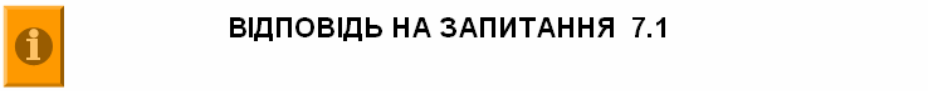


Я ”.

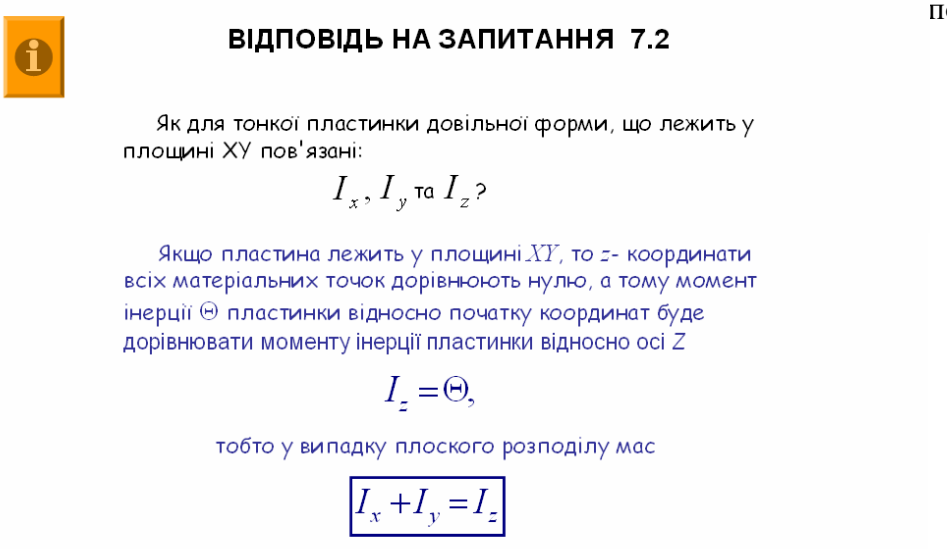
відпові атку довільної

форми, ”.

Відпов зволять



Р помічника.



Р ломічника.

учням знайти моменти інерції тіл у перших двох випадках (див. рис. 2.21, 2.22).



Р омічника.

Р го

помічни

Т школярів

застосу ційти

виснов ії круглої

пластини з такими самими *R* та *m* (перший випадок). Цю ідею необхідно застосувати і для знаходження моменту інерції половини тонкостінної сфери (він дорівнює моменту інерції цілої сфери з такими самими масою і радіусом).

Слайд 8 (рис. 2.23) пропонує учням майже самостійно знайти момент інерції однорідної кулі відносно осі, що проходить через її центр.

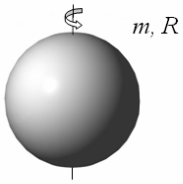
Як можна помітити, слайди сконструйовані таким чином, що ступінь самостійності школярів в оволодінні теоретичним матеріалом має поступово зростати.

Коли настане черга 9-го слайду (рис. 2.24), учні мають вже досить вільно застосовувати ідею про перенесення диференціально малих мас і завдання на знаходження моменту інерції половини однорідної кулі виконати досить

швидко. Наступне завдання (про прямокутний паралелепіпед) дещо складніше.

Розрахуйте момент інерції однорідної кулі відносно осі, що проходить через її центр, заповнюючи пропуски

8

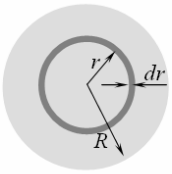


Момент інерції кулі відносно вказаної осі (I) пов'язаний з моментом інерції відносно її центра (Θ) так:

$$I = ?^{1} \cdot \Theta$$

Для знаходження Θ уявимо, що куля складається з концентричних тонких сферичних шарів. Маса шару радіуса r і завтовшки dr визначиться так:

$$dm = ?^{2} \cdot dr,$$



Отже, $\Theta = \int_{?^{3}}^{?^{3}} ?^{3} \cdot dr = ?^{3}$. З урахуванням зв'язку між I та Θ отримуємо:

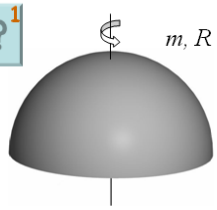
$$I = ?^{4}$$

С ься, якщо
паралел у площині
XY, яки буде
входит , яке

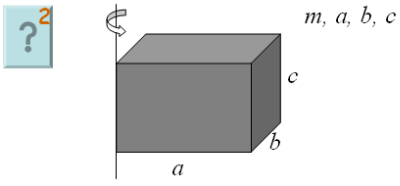
Використовуючи попередні результати, *усно* знайдіть моменти інерції тіл у випадках:

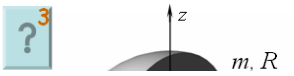
9

1. Половина однорідної кулі



2. Однорідний прямокутний паралелепіпед



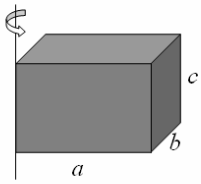


3. Частина однорідної суцільної кулі

має міс моменти
інерції ретворив-

ВІДПОВІДЬ НА ЗАПИТАННЯ 9.2

Однорідний прямокутний паралелепіпед



Момент інерції тіла не зміниться, якщо паралелепіпед "стиснути" у тонку прямокутну пластинку, що лежить у площині *XY*, якщо вважати вісь обертання віссю *Z* (висота *c* паралелепіпеда не буде входити до відповіді!).

Тепер згадаємо співвідношення , яке має місце для будь-якої тонкої пластини, що лежить у площині *XY*:

$$I_x + I_y = I_z.$$

Моменти інерції пластини відносно осей *X* і *Y* можна знайти "перетворивши" по черзі пластину у стержні з довжинами *a* і *b*. Використовуючи попередні результати, маємо:

$$I_x = \frac{ma^2}{3} \qquad I_y = \frac{mb^2}{3}$$

Отже, відповідь:

$$\boxed{I = I_z = \frac{m\left(a^2 + b^2\right)}{3}}$$

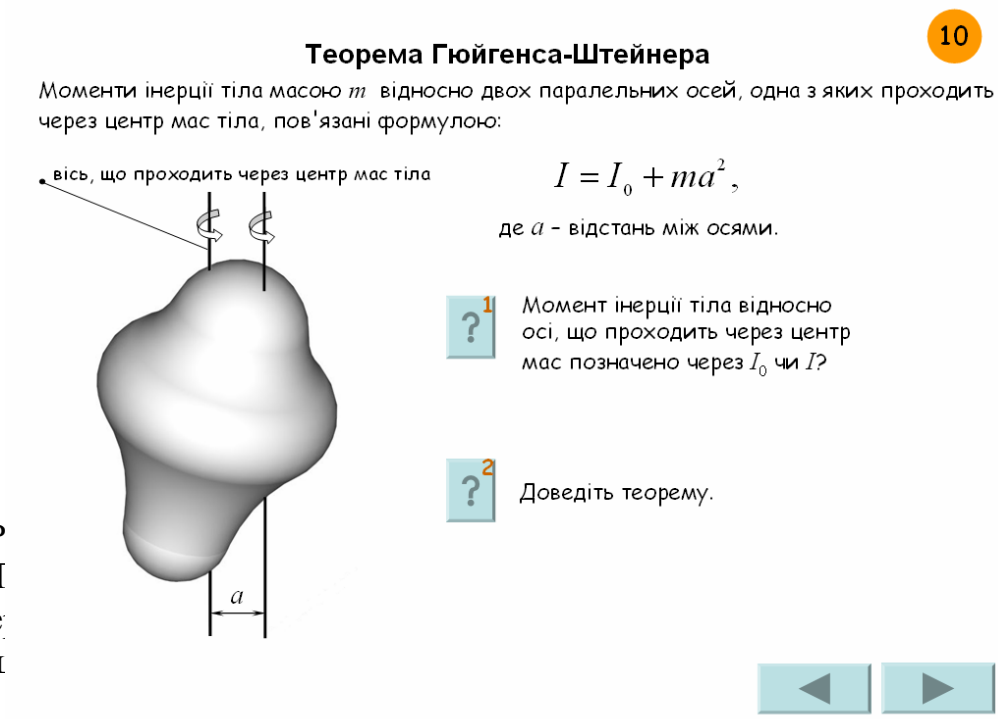
Рис. 2.25. Слайд-відповідь на друге запитання слайду №9 комп’ютерного помічника.

ши” по черзі пластину у стержні з довжинами a і b (використовуючи попередні

результати, маємо: ,). Отже, відповідь така: .

Третє завдання на цьому слайді може складати враження дуже складного. Однак і воно виконується усно. Використовуючи ідею про переміщення диференціально малих мас, можна збагнути, що моменти інерції зображеної частини кулі відносно кожної із запропонованих осей дорівнюють моменту інерції цілої кулі з такими самими m і R. Учні можуть запропонувати інший шлях виконання цього завдання. До цього вчитель має бути готовим.

Теорема Гюйгенса-Штейнера (див. слайд 10 на рис. 2.26), яка часто вважається необхідною частиною теоретичного матеріалу з обговорюваної теми, теж може бути доведена учнями самостійно, принаймні після підказки, що подана на слайді 11 (рис. 2.27).



Р

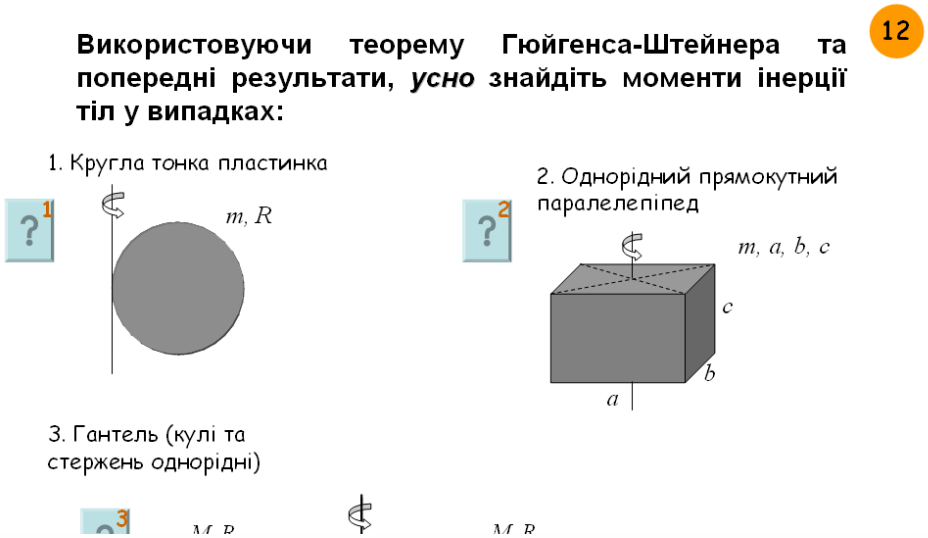
Т ють учні,

які впе означення

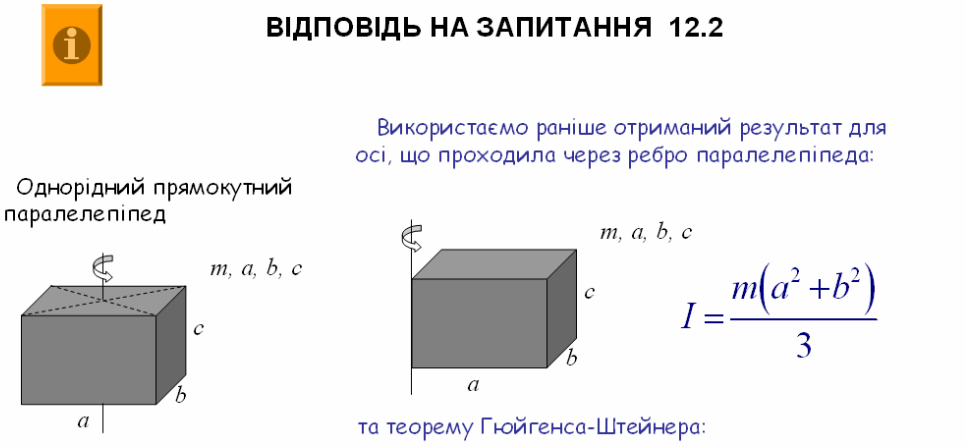
примуі

Рис. 2.27. Слайд №11 комп'ютерного помічника з теми "Момент інерції".

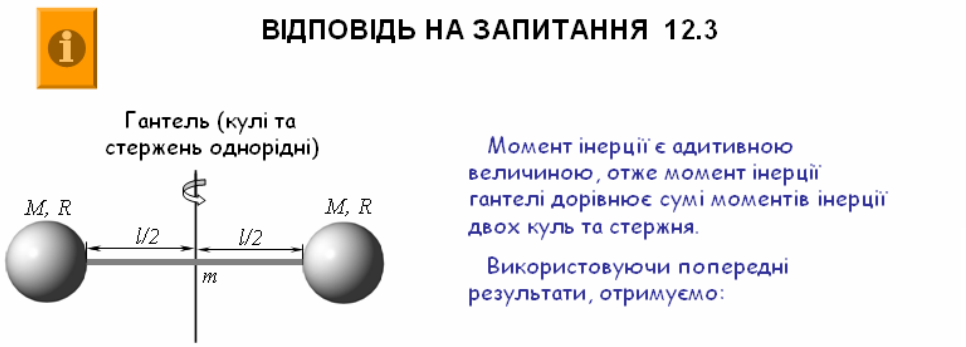
Завдання на використання теореми Гюйгенса-Штейнера (слайд 12 на рис. 2.28) пропонується виконати, як і значну частину попередніх завдань, усно. Така вимога є принциповою [REF _Ref161725122 \r \h 121]. На рис. 2.29, 2.30 подані слайди-відповіді на деякі запитання дванадцятого слайду.



і".



Р помічника.



Р помічника.

$$\left.\begin{aligned} I_{стержня} &= \frac{ml^2}{12} \\ I_{кулі} &= \frac{2}{5}MR^2 + M\left(R+\frac{l}{2}\right)^2 \\ I &= I_{стержня} + 2I_{кулі} \end{aligned}\right\} \Rightarrow I = \left(M+\frac{m}{6}\right)\frac{l^2}{2} + 2MR^2\left(\frac{7}{5}+\frac{l}{R}\right)$$

Іноді вчителі навіть фізико-математичних шкіл висловлюють думку, що таке детальне знайомство з методами обчислення моментів інерції є зайвим. Мовляв, що ж вони (учні) будуть робити в університеті?

Тут треба звернути увагу на дві обставини. По-перше, такі поняття як тензор інерції і еліпсоїд інерції, з якими доведеться знайомитися в університеті, незрівнянно складніші порівняно з поняттям моменту інерції відносно заданої осі. Отже, буде чим зайнятися!

По-друге, з переходом українських вищів на Болонську систему, кількість аудиторних занять у студентів істотно зменшується. Відповідно збільшується частка навчального матеріалу, що має бути опрацьована студентами самостійно. Отже, навички самостійної роботи треба набувати вже у шкільні роки. Причому йдеться не про навички самостійного заучування текстів, а про навички самостійного одержування суб'єктивно нових результатів з тієї інформації, що надається. А розглянута тема дуже зручна для відповідних тренувань.

Іноді у вчителів виникає і таке запитання: "А чи не забагато витрачається часу на самостійне виведення учнями формул? Може краще, щоб це зробив учитель під час лекційного викладу матеріалу?"

У відповідь на подібні запитання ми процитуємо думку академіка С.У. Гончаренка, яку він висловив у статті [REF _Ref161590854 \r \h 47]: "Сучасна освіта — це передача знань, умінь, технік, технологій, вироблених стандартів і поведінки. Мертвих знань. Живе знання, тобто розуміння (тому що лише у випадку розуміння воно стає живим), передати не можна, воно досягається самою людиною, коли вона намагається зрозуміти, пережити, вперше побачити по-своєму." Від себе лише додамо, що використаний нами підхід дає затримку у часі лише на початкових етапах навчання, поки учні не звикнуть усно робити необхідні розрахунки. За належної математичної підтримки курсу фізики вивчення теми, пов'язаної з моментом інерції тіла, вже проходить у досить високому темпі.

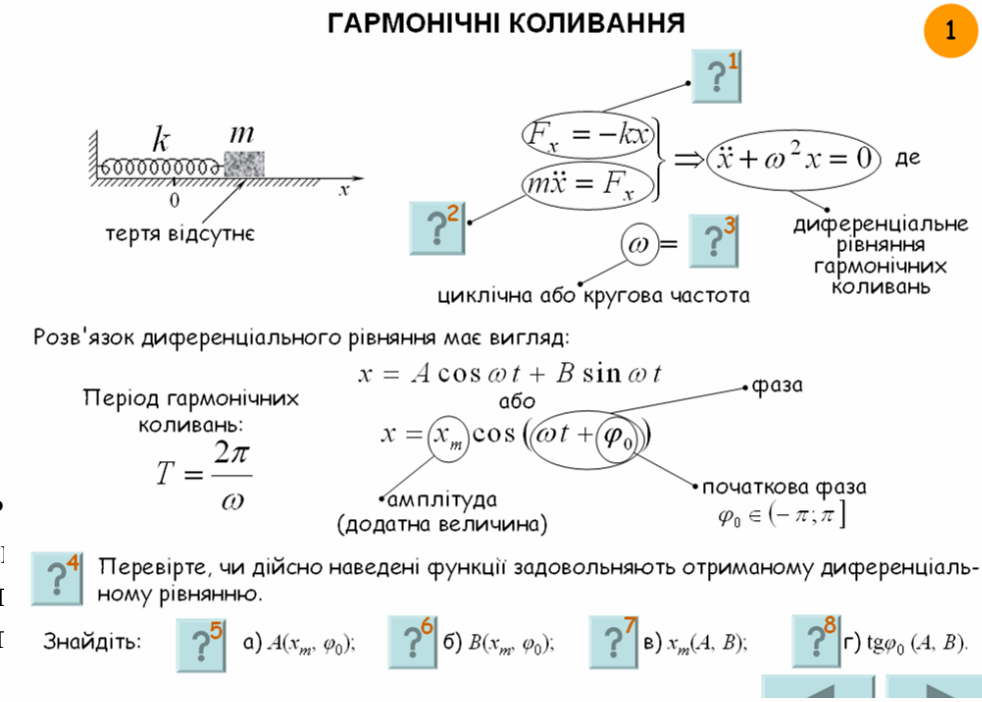
Механічні коливання. Попередня розглянута нами тема "Момент інерції" була обрана нами з метою показати, що докладні математичні розрахунки необхідно застосовувати там, де в них є потреба, а у багатьох випадках для знаходження моментів інерції достатньо розуміти певну ідею, що дозволяє зробити відповідну операцію *усною*.

Тема "Механічні коливання" є, у деякому сенсі, антиподом попередньої. Тут намагання без докладних розрахунків зробити висновки щодо окремих питань, наприклад, пов'язаних із поняттям резонансу, може призвести до хибних тверджень, неправильно побудованих графіків (див. [58], [217]).

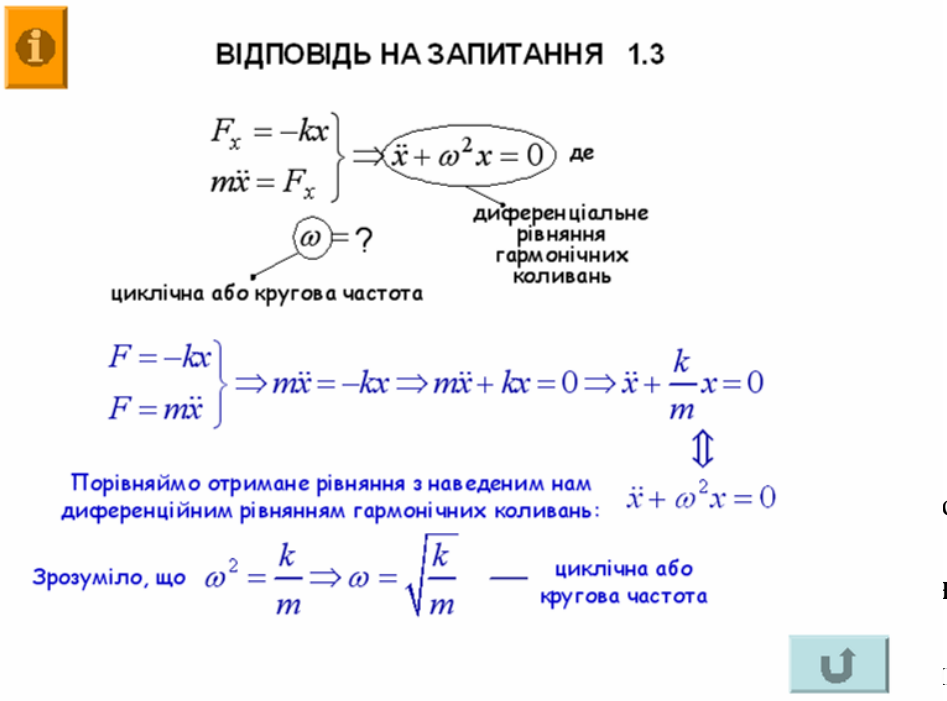
Під час вивчення цієї теми ми також пропонуємо використовувати наш "комп'ютерний помічник", який з цієї теми містить 13 основних і 65 допоміжних слайдів [122].

Розгляд теми "Механічні коливання" ми розпочинаємо зі знайомства учнів із поняттям гармонічних коливань. Спочатку розглядаються незгасаючі коливання пружинного маятника. На першому слайді (див. рис. 2.31) показано

як за допомогою закону Гука та другого закону Ньютона можна отримати диференціальне рівняння гармонічних коливань. Розв’язок цього диференціального рівняння наводиться у готовому вигляді, але у двох формах.



Р ня”. На цьо мати самост нь першог



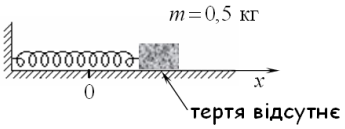
Р омічника.

Н ого випадк тягарця. Щоб це м апарат , формули тотожних перетворень).

На третьому слайді (див. рис. 2.34) розглядаються коливання пружинного маятника у полі тяжіння. У готовому вигляді наведений другий закон Ньютона для цього випадку, а учням пропонується здогадатися, яку заміну необхідно зробити для отримання диференціального рівняння гармонічних коливань. Рисунок, що наведений на слайді, грає роль підказки: коливання будуть відбуватися відносно нового положення рівноваги. Після того, як буде

отриманий загальний вираз для залежності координати тягарця від часу, учням треба буде записати цю залежність для декількох конкретних випадків початкових умов. На рис. 2.35, 2.36 наведені деякі слайди-відповіді до третього слайду.

Використовуючи попередні результати, знайдіть величини, позначені знаками запитання, якщо відома залежність координати тіла від часу: 2



$$x = \cos 2t + \sqrt{3}\sin 2t$$

(вважайте, що коефіцієнти подані в SI)

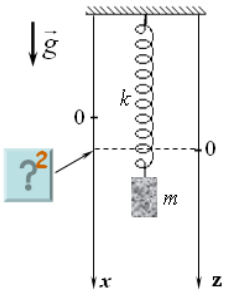
Початкова координата тіла ?1 Амплітуда ?2

Початкова фаза коливань ?3 Початкова швидкість тіла ?4

Період коливань ?5 Жорсткість пружини ?6

Р ня".

Пружинний маятник у полі тяжіння 3



$$m\ddot{x} = -kx + mg$$

$$\Downarrow \quad x = z + ?3$$

$$\ddot{z} + \omega^2 z = 0, \quad \text{де} \quad \omega = ?4$$

$$\Downarrow$$

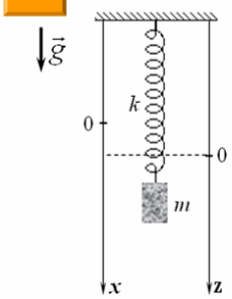
$$z = a\cos(\omega t + \varphi_0)$$

Знайдіть $x(t)$ у наступних випадках:

?1 З яких міркувань обрані точки відліку на осях? ?5 а) $x(0) = 0, \ \dot{x}(0) = 0;$?6 б) $x(0) = \frac{mg}{k}, \ \dot{x}(0) = 0;$

Р ня".

ВІДПОВІДЬ НА ЗАПИТАННЯ 3.1



З яких міркувань обрані точки відліку на осях?

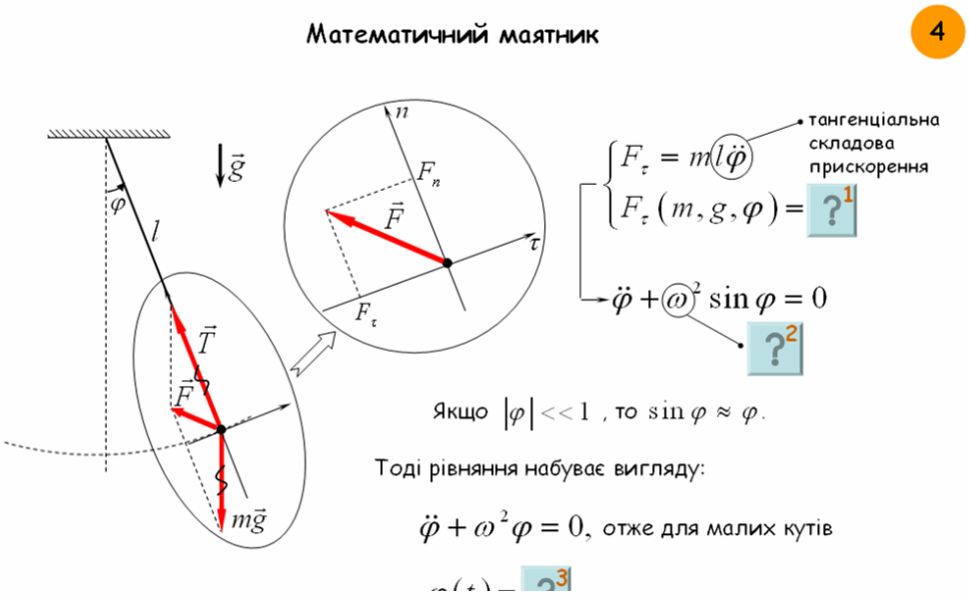
Пружина з вантажем під дією сили тяжіння розтягнулась на величину $\frac{mg}{k}$.

Тому гармонічні коливання тягарця будуть здійснюватися відносно нового положення рівноваги. Для опису цих коливань зручно використовувати координатну вісь, нуль якої співпадає з положенням рівноваги.

Рис. 2.35. Слайд-відповідь на перше запитання слайду №3 комп'ютерного помічника.

На слайді 4 (див. рис. 2.37) розглянуто випадок гармонічних коливань математичного маятника. Як можна побачити, він потребує знайомства учнів із рядом Маклорена [118].

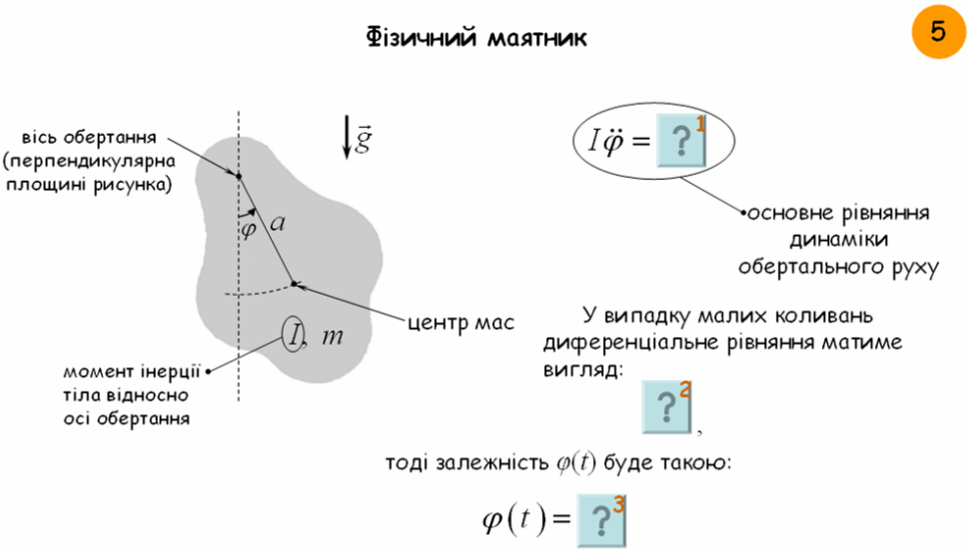
Рис. 2.36. Слайд-відповідь на шосте запитання слайду №3 комп'ютерного помічника.



Р ня".

Д див. рис. 2

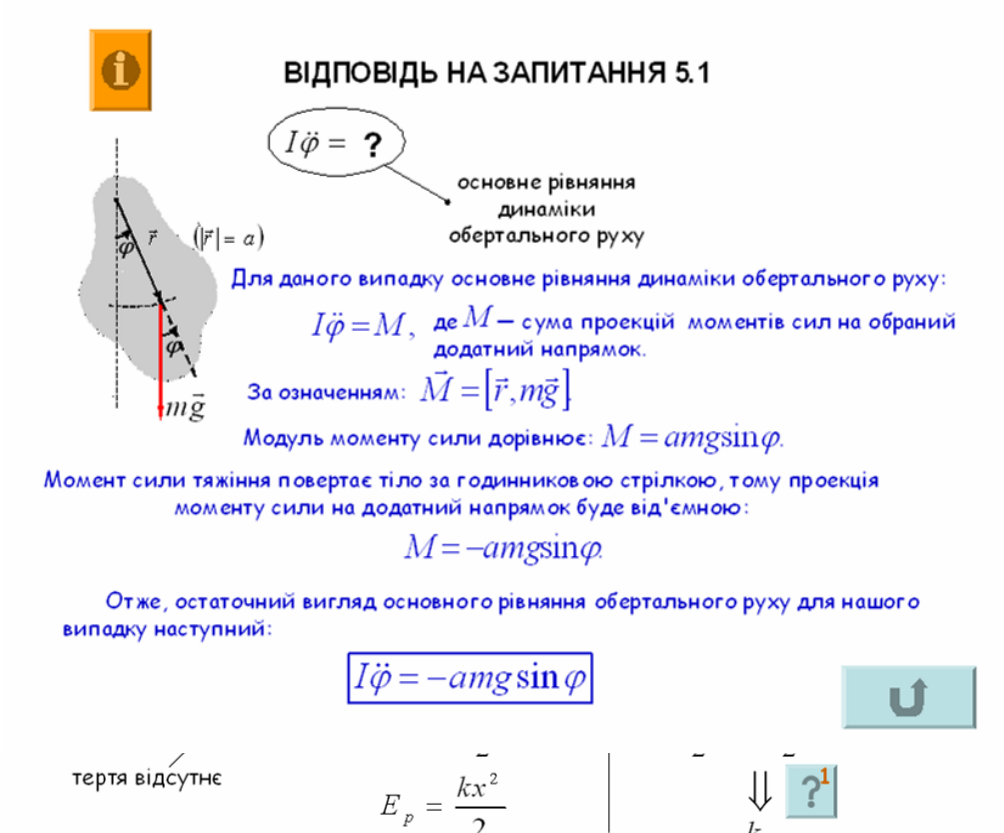
.38). Д



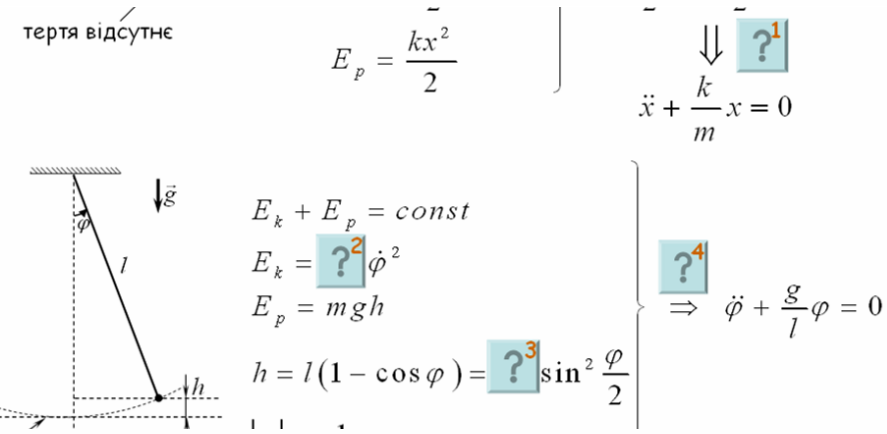
Р ня".

Період малих коливань фізичного маятника $T(a,m,I) =$?4

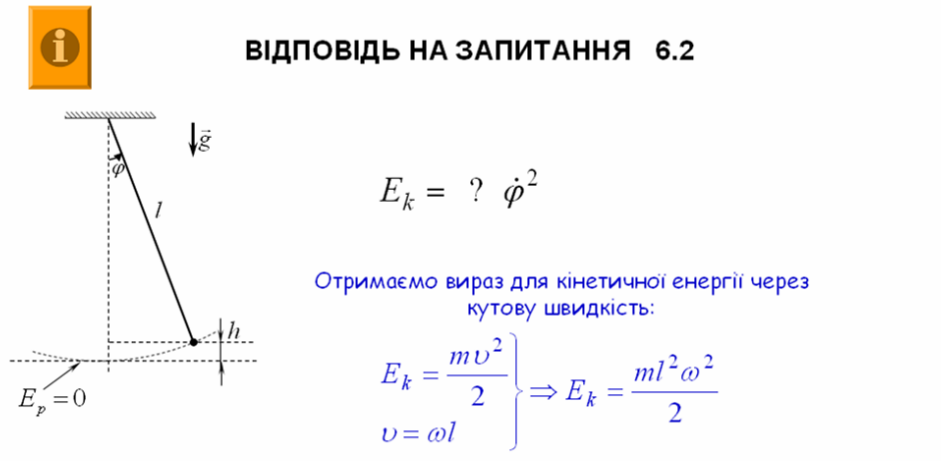
основне рівняння динаміки обертального руху , записавши відповідний вираз для моменту сили тяжіння (див. рис. 2.39).



Р помічника.
Н ипадків
колива оєння



Р ня”.
учнями опонуємо
показа закону
збереж



Р ломічника.
Н коливань
фізичн я записати

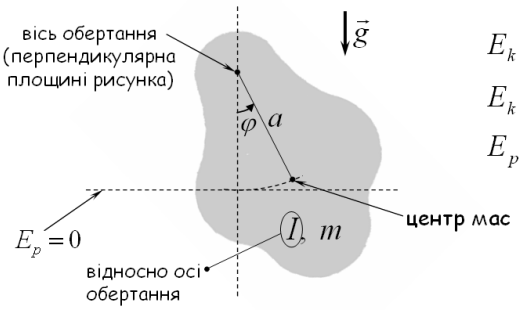
вирази для кінетичної та потенціальної енергії у вигляді та , розвинувши у ряд Маклорена відповідні функції.

На восьмому слайді (див. рис. 2.43) розглядається більш складна механічна система, період коливання якої треба обчислити, скориставшись “енергетичним” підходом.

Наступні два слайди присвячені згасаючим коливанням. На слайді 9 (див. рис. 2.44) подано диференціальне рівняння, яке отримане з урахуванням сили опору. Учні мають з’ясувати, при якому співвідношенні між константами у рівнянні його розв’язок буде описувати згасаючі коливання.

Розв’язок цього диференціального рівняння поданий у готовому вигляді (див. слайд 9), але учні мають самостійно визначити циклічну частоту коливань та знайти співвідношення між і , при якому коливання будуть згасати за наведеним законом (див. рис. 2.45).

7



Для $|\varphi| << 1$:

$$\left.\begin{aligned} E_k + E_p &= const \\ E_k &= \boxed{?^1}\,\dot{\varphi}^2 \\ E_p &= \boxed{?^2}\,\varphi^2 \end{aligned}\right\} \boxed{?^3} \Rightarrow \ddot{\varphi} + \frac{mga}{I}\varphi = 0$$

Р **Висновок:** якщо потенціальну енергію тіла можна звести до вигляду $E_p = \beta q^2$, (q — узагальнена координата), а кінетичну енергію — до вигляду $E_k = \alpha \dot{q}^2$ ($\dot{q}$ — узагальнена швидкість), то це означає, що тіло здійснює гармонічні коливання з періодом ня”.

$$T = \boxed{?^4}$$

8

9

ЗГАСАЮЧІ КОЛИВАННЯ

справедливо для невеликих швидкостей

$$\left.\begin{aligned} F_{опору} &= -\gamma \upsilon_x \\ F_{пруж} &= -kx \\ m\ddot{x} &= F_{пруж} + F_{опору} \end{aligned}\right\} \Rightarrow \ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$$ де

$$\beta = \boxed{?^1} \qquad \omega_0 = \boxed{?^2}$$

власна частота коливань системи

При деякому співвідношенні між β та ω_0 розв'язок диференціального рівняння має вигляд:

$$x(t) = a_0 e^{-\beta t}\cos(\omega t + \varphi_0), \quad \text{де } a_0 \text{ і } \varphi_0 -$$

Р дві довільні константи загального розв'язку диференціального рівняння другого степеня. Значення цих констант можна визначити лише за наявності додаткової інформації. Зазвичай такою інформацією слугують початкові умови (значення $x(0)$ і $\upsilon_x(0)$). А ось ω можна визначити через ω_0 і β, підставивши вираз для $x(t)$ у диференціальне рівняння. ня”.

Отже, $\omega = \boxed{?^3}$

$\boxed{?^4}$ При якому співвідношенні між ω_0 і β коливання будуть згасати за наведеним законом?

Рис. 2.44. Слайд №9 комп'ютерного помічника з теми "Механічні коливання".

На десятому слайді (див. рис. 2.46) поданий графік залежності координати тіла, яке здійснює згасаючі коливання, від часу. На цьому ж графіку пунктирною лінією показана залежність амплітуди коливань від часу.

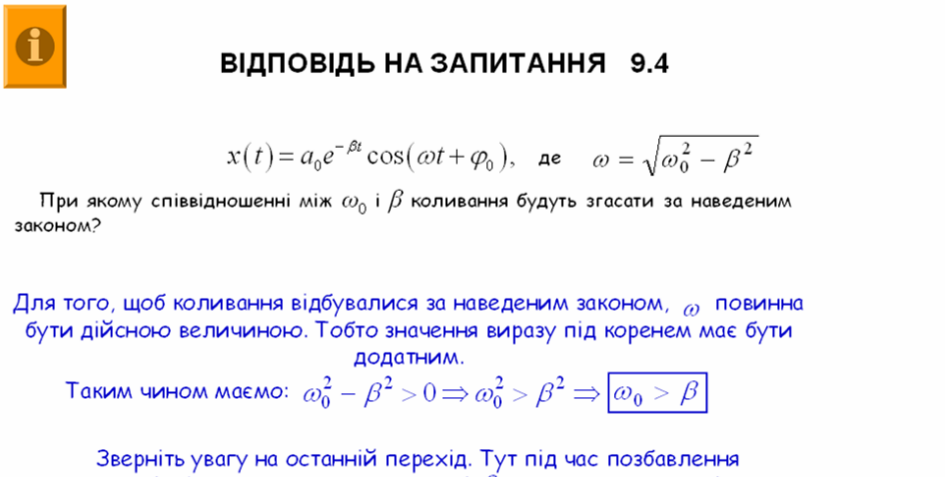
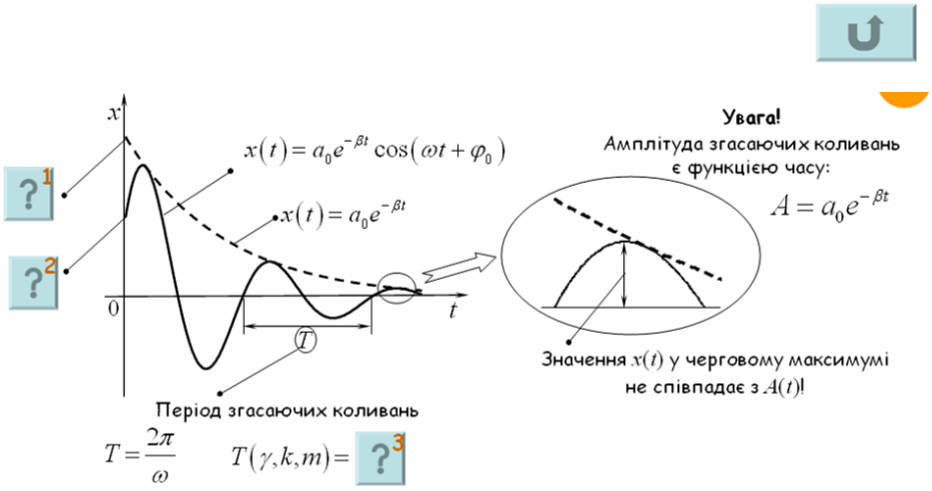


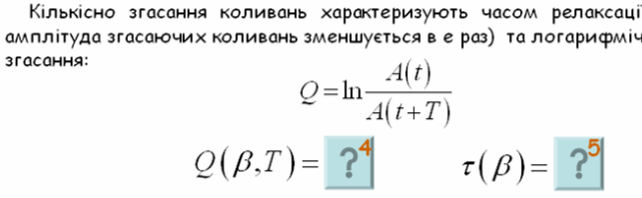
Рис помічника.

Т ивань.

Також н ічного декреме



Р ння".



Далі розглядаються вимушені коливання. На слайді 11 (див. рис. 2.47) показано, як відповідне неоднорідне диференціальне рівняння можна отримати із законів Ньютона, а учням пропонується знайти константи, використані у рівнянні.

Загальний розв'язок цього рівняння також поданий у готовому вигляді, але амплітуду вимушених коливань та тангенс початкової фази необхідно визначити самостійно. Ці завдання складніші за попередні.

На рис. 2.48 наведений один з відповідних слайдів-відповідей.

На 12 і 13 слайдах (див. рис. 2.49, 2.50) звертається увага на поняття резонансу. Зауважимо, що завдання на цьому слайді можуть здатися учням ще складнішими за попередні, оскільки вимагають значного обсягу математичних перетворень.

ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ 11

$$\left.\begin{aligned} F_{зовн.} &= F_0\cos\omega t \quad \left(\begin{smallmatrix}\text{зовнішня}\\ \text{гармонічна}\\ \text{сила}\end{smallmatrix}\right)\\ F_{опору} &= -\gamma\upsilon_x\\ F_{пружності} &= -kx\\ m\ddot{x} &= F_{зовн.} + F_{пружності} + F_{опору}\end{aligned}\right\} \Rightarrow \quad \ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}\cos\omega t, \quad \text{де}$$

$\beta =$?1 $\qquad \omega_0 =$?2

Загальний розв'язок цього неоднорідного диференціального рівняння являє собою суму частинного розв'язку неоднорідного рівняння та загального розв'язку відповідного однорідного рівняння ($\ddot{x} + 2\beta\dot{x} + \omega_0^2 x = 0$), який відіграє помітну роль лише на початку коливального процесу, до установлення вимушених коливань. Отже, усталені вимушені коливання будуть описуватися частинним розв'язком, який має вигляд:

$$x(t) = A\cos(\omega t - \alpha), \text{ де}$$

$A(F_0, m, \beta, \omega, \omega_0) =$?3 $\qquad \operatorname{tg}\alpha(\beta, \omega, \omega_0) =$?4

Зверніть увагу на те, що отриманий вираз для $x(t)$ не залежить від початкових умов! Його можна використовувати лише для великих значень t, коли вимушені коливання дійсно можна буде вважати усталеним.

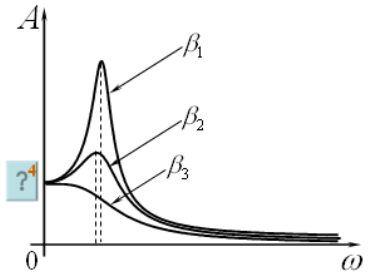
ання".

РЕЗОНАНС 12

Амплітуда усталених вимушених коливань залежить від циклічної частоти зовнішньої сили:

$$A(\omega) = \frac{F_0}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \omega^2\right)^2 + 4\beta^2\omega^2}}$$

При певному значенні ω амплітуда коливань досягає максимального значення. Явище різкого зростання амплітуди вимушених коливань при поступовій зміні частоти ω зовнішньої сили ($F = F_0\cos\omega t$) називають **резонансом**, а відповідну циклічну частоту - резонансною.



$\omega_{рез}(\omega_0, \beta) =$?1

$A_{рез}(F_0, m, \omega_0, \beta) =$?2

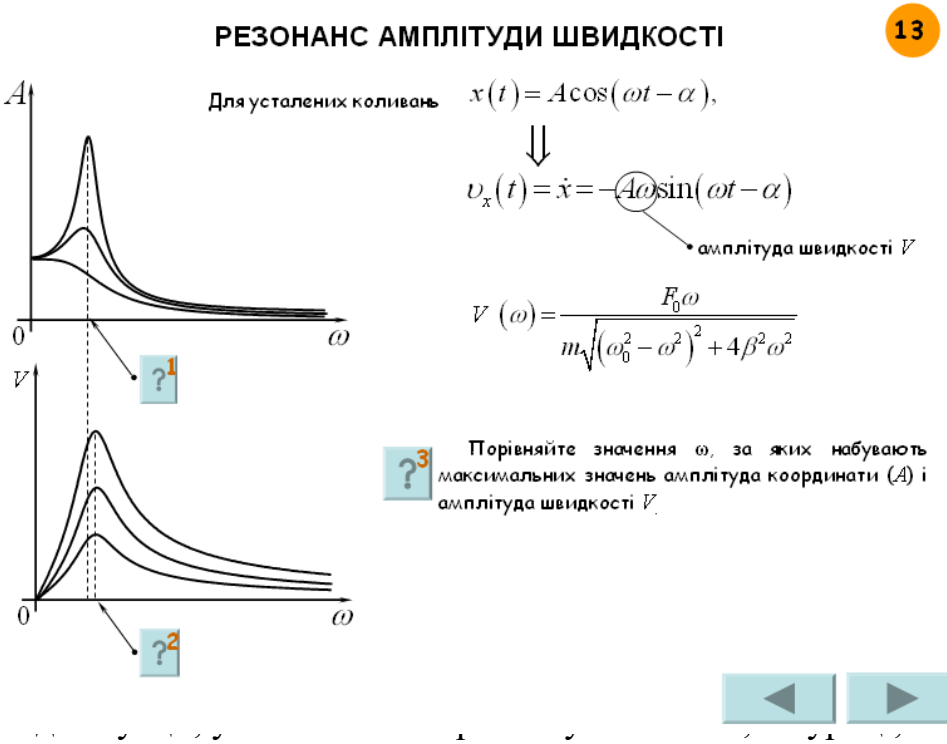
?3 Розташуйте значення β у порядку зростання (див. рис.)

Р помічника.

?5 Доведіть, що графіки $A(\omega)$, побудовані для різних β, мають одну спільну точку при $\omega = 0$.

Рис. 2.49 Слайд №12 комп'ютерного помічника з теми "Механічні коливання".

Слайд 13 присвячений матеріалу, який не часто можна зустріти на сторінках підручників, — порівнянню резонансу швидкості і резонансу координати. Завдання на цьому слайді мають допомогти учням побачити різницю між залежностями амплітуди координати та амплітуди швидкості від циклічної частоти коливань .



Р ння".
Я виявився
корисн
матема
М хоча і
залежи ія
демонстрації певного слайду, вчитель може організувати обговорення з учнями того матеріалу, що на ньому зображений, та надати їм можливість виконати наведені на слайді завдання. Правильність виконання цих завдань учні зможуть перевірити самі, коли вчитель продемонструє їм слайди-відповіді. Те, що відповіді на кожне запитання подані на окремих слайдах дозволяє надавати школярам дозовану допомогу — нам доволі часто доводилося спостерігати, як, переглянувши відповідь на запитання, з яким були ускладнення, учень успішно виконував подальші завдання. Зрозуміло, що стосовно учнівських помилок також корисно провести обговорення. Корисною є також самостійна робота учня з цим помічником (наприклад, вдома).

Для нас було важливим отримати експертну оцінку створеного комп'ютерного навчального засобу від фахівців, які мають чималий досвід роботи з учнями фізико-математичних класів. Копії трьох таких позитивних рецензій представлені у Додатку И.

Отже, у цьому підрозділі дисертації ми розглянули вивчення за допомогою "комп'ютерного помічника" теоретичного матеріалу з двох доволі складних, на нашу думку, тем поглибленого курсу фізики.

Однак увага, яку ми приділяємо вивченню фізичних понять, самостійному отриманню учнями формул, не означає, що необхідно нехтувати експериментальною частиною механіки. Наступний пункт присвячений питанню проведення демонстраційних експериментів під час вивчення теоретичного матеріалу з механіки.

2.4. Організація проблемних ситуацій під час проведення демонстраційного експерименту з механіки

Описуючи технологію вивчення теоретичного матеріалу, необхідно вказати, яке місце у ній займає демонстраційний експеримент.

Ми підтримуємо думку про те, що під час вивчення теоретичного матеріалу з фізики в цілому, і зокрема з механіки, демонстраційний експеримент відіграє важливу роль, яку складно переоцінити (див., наприклад, [201]). Щодо методики та техніки його проведення, то тут ми вважаємо більш ніж доцільним використання існуючих методичних посібників [136, 218, 220].

Однак, на нашу думку, у випадку вивчення теоретичного матеріалу у класах фізико-математичного профілю, необхідно більшу увагу приділити постановці експерименту у *проблемній* формі, тобто коли учні мають самостійно пояснити явище або ще до демонстрації сказати, що саме буде відбуватися. Досвід показує, що за таких умов і результат експерименту, і його пояснення запам'ятовуються школярами краще, ніж у випадку, коли той самий експеримент є підтвердженням певних теоретичних відомостей, щойно наведених вчителем.

Продемонструємо на конкретних прикладах, як відомі досліди можна подати у проблемній формі.

Демонстраційний експеримент з теми "Закони збереження імпульсу та енергії у зіткненнях тіл". Наведемо спочатку методику підготовки і проведення цього експерименту за посібником [136, с. 122-123]:

"*Обладнання*: дві металеві кульки з гачками, дві пластилінові кульки, дві дерев'яні планки, штатив з лапкою і муфтою, нитки, невеликі цвяхи.

У бічні грані дерев'яних планок, ширина яких дорівнює діаметру кульок, забивають по два цвяхи, до яких прикріплюють біфілярний підвіс кульок. Підвішені кульки повинні дотикатись одна до одної (рис. 2.51).

Демонструють такі досліди із стальними кульками. Одну з кульок відхиляють на деякий кут і відпускають. Спостерігають, що під час зіткнення рухомої кульки з нерухомою рухома зупиняється, а нерухома починає рухатись , відхиляючись на такий самий кут. ‹…›

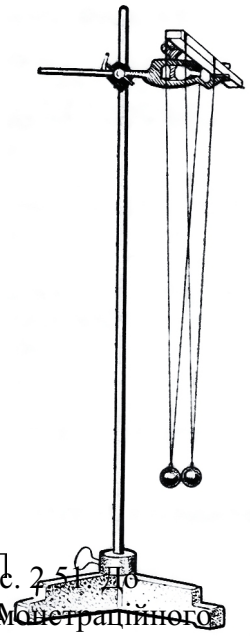


Рис. 2.51. До демонстраційного експерименту

Взявши кульки руками, розводять їх так, щоб кути відхилення їх підвісів були однаковими, і відпускають. Зіткнувшись, кульки майже з незмінними швидкостями, знову розходяться в протилежні боки і піднімаються на однакову висоту. ‹…›

Такі самі досліди проводять з пластиліновими кульками. Але результати дослідів будуть іншими: у першому випадку після взаємодії обидві кульки рухатимуться разом у тому ж напрямку, що і кулька, яка рухалася до удару, але зі швидкістю вдвічі меншою; у другому випадку кульки після зіткнення зупиняться” [136, с. 122-123].

П уємо дещо інший підхід до демонстрації цих експериментів. відповідного теоретичного матеріалу на закони збереження ії демонструємо учням описаний вище прилад з двома кульками. Відхиляємо одну з них на деякий кут і запитуємо учнів: “Що відбудеться, якщо відпустити кульку?”. Відповіді учнів бувають неочікувано різноманітними і надають важливу інформацію про те, як школярі зрозуміли попередній матеріал. Іноді виявляється, що до деяких моментів необхідно повернутися.

Після того, як учні висловляться, проводимо дослід і з’ясовуємо, чия гіпотеза виправдалася. Далі переходимо до розгляду законів збереження імпульсу та енергії і надаємо учням можливість самостійно довести, що під час пружного зіткнення сталевих кульок однакової маси рухома кулька повинна зупинитися, а нерухома — почати рухатися. Обговорюємо гіпотези щодо непружного зіткнення двох однакових пластилінових кульок, одна з яких до зіткнення була нерухомою.

Після цього обговорення пропонуємо таку демонстрацію. На біфілярних підвісах знаходяться дві *на вигляд* пластилінові кульки однакового розміру. Одну з них відхиляють на деякий кут і відпускають. Як і очікувалося, після зіткнення кульки рухаються разом.

Потім відхиляють другу кульку, а перша залишається у нижньому положенні. Результат зіткнення несподіваний: обидві кульки після зіткнення залишаються майже на місці! Учні мають пояснити: як таке може бути?

Потрібен деякий час, а іноді і невеличкі підказки для того, щоб в учнів закралися сумніви щодо однаковості мас кульок. Дійсно, одна з кульок справді була пластилінова, а от інша — всередині металева, а зверху вкрита тонким шаром пластиліну.

Демонстраційний експеримент з теми “Обертальний рух твердого тіла”. Мова піде про експеримент, у якому демонструється скочування суцільного та тонкостінного циліндрів похилою площиною. Наведемо спочатку методику проведення цього експерименту за посібником [99]:

“На похилу площину ‹…› кладуть два циліндри однакової маси. Щоб показати аудиторії рівність мас циліндрів, їх ставлять на чашки технічних вагів. Один з циліндрів (дерев’яний) суцільний, інший зроблений з відрізка металевої

труби. Радіуси циліндрів мають бути однаковими. Циліндри кладуть так, щоб їхні осі були розташовані одна на продовженні другої. Пустивши циліндри скочуватися одночасно похилою площиною, спостерігають більш швидке скочування суцільного циліндра, оскільки його момент інерції менше моменту інерції тонкостінного циліндра. Чим більше момент інерції , тим менша лінійна швидкість при однакових масах і радіусах. Можна взяти кулю таких самих маси та радіуса, як і тонкостінний циліндр; їх швидкості будуть відрізнятися ще більше" [99, с. 69-70].

Як бачимо, за допомогою цього експерименту учні можуть впевнитися, що з двох циліндрів (суцільного і тонкостінного) з однаковими масами та радіусами швидше буде скочуватися суцільний циліндр. А що буде відбуватися за умови різних мас та радіусів циліндрів? Це питання не розглядається.

Ми вважаємо, що демонстраційний експеримент необхідно доповнити. Тим більше, що під час розгляду скочування похилою площиною тіл, які мають симетрію обертання, розв'язується задача про прискорення, з яким рухається тіло:

,

де — кут нахилу площини, — маса тіла, — радіус тіла, — момент інерції тіла відносно геометричної осі.

З цієї формули видно, що визначальним для величини прискорення є коефіцієнт, який знаходиться біля у виразі для моменту інерції тіла. Для тонкостінного циліндра цей коефіцієнт дорівнює одиниці, для суцільного

циліндра — , для кулі — . Маса та радіус тіла не впливають на величину прискорення, а отже — і на час , за який тіло скочується з площини. Цей факт, на нашу думку, корисно проілюструвати за допомогою демонстраційного експерименту.

Ще до розгляду відповідного теоретичного матеріалу пропонуємо учням визначити, який з циліндрів (тонкостінний чи суцільний) скотиться швидше у наступний випадках:

- циліндри мають однакові маси та радіуси;
- тонкостінний циліндр має більші масу та радіус, ніж суцільний;
- тонкостінний циліндр має менші масу та радіус, ніж суцільний.

Після того, як учні запропонують власні варіанти розвитку подій, проводимо відповідні демонстраційні експерименти.

Як правило, деякі припущення учнів виявляються помилковими і тепер перехід до теоретичного розгляду цього явища буде необхідним і з точки зору учнів, оскільки в них природно виникне запитання "чому?".

Можна також провести демонстраційний експеримент з кулями різної маси і різного діаметру. Той факт, що кулі скотяться одночасно учні добре

запам’ятовують.

Подібним чином можна проводити й інші демонстраційні експерименти, навчаючи школярів застосовувати теоретичний матеріал до аналізу конкретних ситуацій, тим самим додатково сприяючи кращому засвоєнню цього матеріалу.

2.5. Використання учнями досвіду самостійної роботи з вивчення теоретичного матеріалу з механіки під час навчально-дослідної роботи

У “Критеріях оцінювання навчальних досягнень учнів...” [95] вказується: “Навчальна діяльність у кінцевому підсумку повинна не просто дати людині суму знань, навичок та умінь, а сформувати її компетентність як загальну здатність, що базується на знаннях, досвіді, цінностях, здібностях, набутих завдяки навчанню” [95, с. 2]. Виокремлюють декілька груп компетентностей, яких, на думку науковців, вимагає сучасне життя. Одну з таких груп складають компетентності, що реалізуються у прагненні й здатності до раціональної продуктивної, творчої діяльності.

Поняття компетентності ще не є усталеним у дидактиці, тому звернемося до досліджень психологів та спробуємо з’ясувати його зміст. Особливо важливими для нас будуть відомості про умови формування компетентностей.

Дослідженню цієї проблеми присвячена робота [162]. Автори зазначають, що компетентність — це не лише володіння знаннями, але і можливість їх гнучкого застосування [162, с. 13]. Серед людей, які працюють у певній галузі, можна умовно виокремити “експертів” (“фахівців”) і “новачків”. Психологи з’ясували, що головною відмінністю між цими групами людей є постійні розбіжності у баченні проблем. Характерною особливістю тверджень, які висловлюють “фахівці ”, є те, що ці твердження були б неможливими без широкої та добре організованої бази знань [162, с. 15].

Подібні висновки робить і М.О. Холодна [211]. Вона підкреслює, що факти свідчать про те, що інтелектуальні досягнення “експертів” є наслідком особливої форми організації їх індивідуальних знань. Автор, посилаючись на дослідження Р. Глейзера, зазначає, що “експерти”, по-перше, спираються на узагальнені категоріальні знання, причому ці загальні принципи та категорії виводяться зі знань самого суб’єкта; по-друге, їх знання включають знання про можливості застосування власних знань; по-третє, складові частини наявного знання впливають одна на одну.

“Експерти”, таким чином, знають більше, хоча це і не найголовніше. Вони краще знають, що саме вони знають, їх наявні знання пронизані різноманітними зв’язками між окремими поняттями, нове знання оперативно співвідноситься різними шляхами з попереднім знанням [211, с. 175]. Зазначимо, що ці факти говорять на користь обраного нами підходу до вивчення теоретичного матеріалу: завдання на самостійне отримання формул механіки різноманітними шляхами повинні сприяти утворенню зв’язків між поняттями.

Розглядаючи відмінності між “новачками” та “експертами”, Р.Дж. Стернберг також зазначає, що останні володіють певними “неявними

знаннями", які неможливо отримати безпосередньо від інших людей [162, с. 115]. Формування таких знань є дуже важливою проблемою. Академічні задачі зазвичай вже сформульовані кимсь іншим, вони добре визначені, відносно них є повна інформація, вони передбачають лише один правильний розв'язок [162, с. 39]. Але такі задачі мало схожі на реальні фізичні проблеми. Учням, які навчаються у класах фізико-математичного профілю, необхідно мати певний досвід і у розв'язуванні так званих "непоставлених" фізичних задач [81].

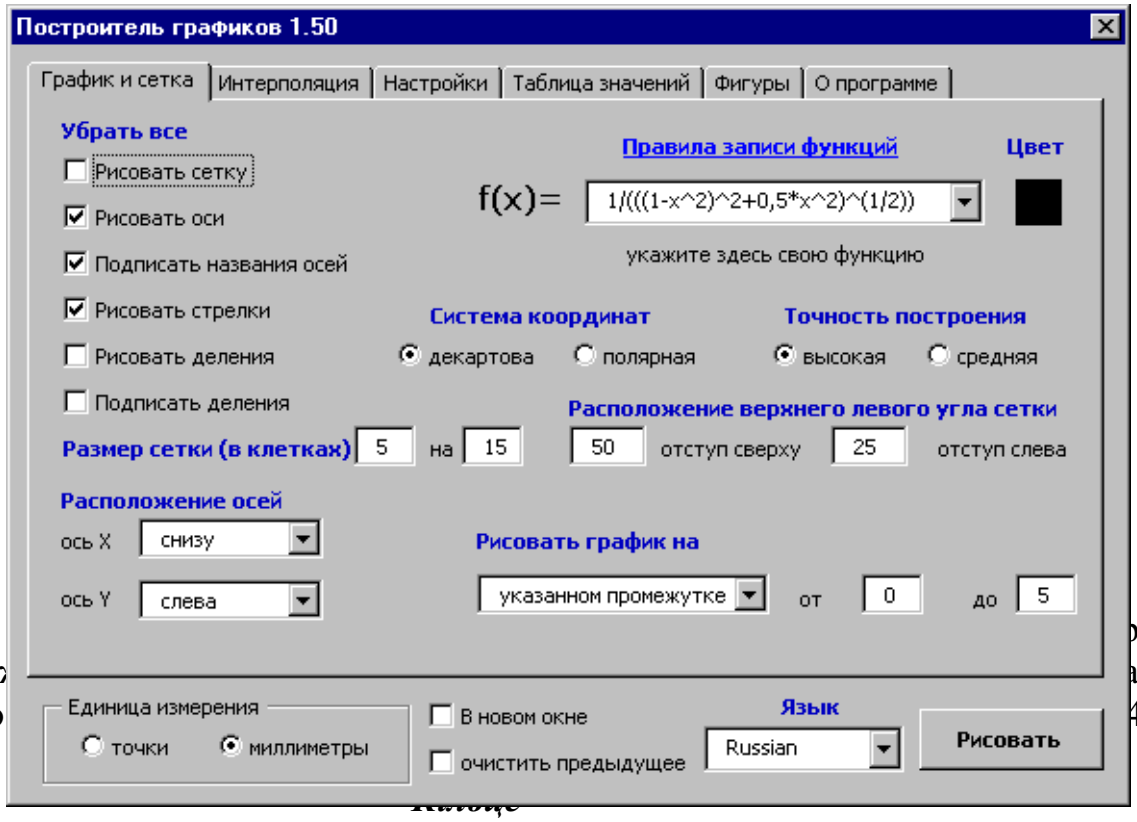
Як зазначає М.О. Холодна [211], неявні, предметно-специфічні знання, які відіграють критичну роль у інтелектуальній успішності "експертів", є результатом інтенсивної практики. Автор підкреслює роль "цілеспрямованої практики", до якої особистість залучається свідомо і яка потребує від неї неабияких вольових зусиль, напруження сил та витрат часу [211, с. 176]. Залучення школярів до навчально-наукової роботи може сприяти формуванню в них відповідних неявних знань. Тут необхідно підкреслити два важливі, на наш погляд, моменти. По-перше, у наведених нами дослідженнях під "експертами" зовсім не обов'язково розуміти дорослих. Учні також можуть бути фахівцями у певному колі питань. Звичайно, це коло буде не дуже великим. Але тут важливий той досвід, зокрема, емоційно-ціннісний, якого набуде учень під час проведення власного дослідження. Друге зауваження стосується того, що компетентність — це результат достатньо довготривалого процесу, який заповнений враженнями, подіями, роздумами [211, с. 184]. Зазначимо, що існуючі конкурси учнівських дослідницьких робіт передбачають проведення саме довготривалих досліджень.

Необхідною вимогою до робіт, що подають на конкурс, який проводить Мала академія наук, є оформлення їх у редакторі Microsoft Word for Windows. Отже, учасникам конкурсу необхідно, як мінімум, навчитися працювати з текстом та формулами у цьому редакторі, за допомогою комп'ютера будувати графіки, діаграми та ін. Треба зазначити, що в цілому учні мають уявлення про те, як виконуються відповідні дії, однак під час виконання дослідження і оформлення його результатів часто виявляється, що загального уявлення все ж недостатньо. Так, певні проблеми виникають при форматуванні тексту, деякі учні не мають досвіду роботи з редактором формул.

Окремою проблемою є побудова графіків та перенесення їх у документ, виконаний в редакторі Microsoft Word. Справа у тому, що графік, побудований, наприклад, у редакторі Microsoft Excel або Mathcad при перенесенні у зазначений документ стає "ступінчастим", крім того, неможливо змінити формат осей (див. рис. 2.52).

Пошук програм, у яких не було б вказаного недоліку, пройшов успішно. Один з учнів запропонував використовувати "Построитель графиков для Word" (див. рис. 2.53). Ця програма дозволяє будувати "гладенькі" графіки, регулювати тип ліній, обирати масштаб, здійснювати інтерполяцію.

Рис. 2. 52. Вигляд графіка функції, побудованого у програмі Mathcad і перенесеного у текстовій документ.



(вздовж осі Z)

Рис. 2.54. Ілюстративний матеріал з МАНівської роботи А. Костюшка, де графік залежності , виконаний за допомогою програми “Построитель графиков для Word”.

Розглянемо коротко зміст деяких досліджень учнів — членів Малої академії наук, виконаних під нашим керівництвом, і покажемо, як відповідна математична підготовка та досвід самостійної роботи над теоретичним матеріалом розширює можливості школярів під час власних досліджень і

допомагає їм будувати власну освітню траєкторію. Поняття “освітня траєкторія” докладно розглянуте у “Сучасній дидактиці” А. Хуторського [213].

Закони Кеплера. Виконана під нашим керівництвом робота учня фізико-математичного ліцею №105 м. Запоріжжя Малінки Євгена була присвячена законам Кеплера — важливій темі, яка відноситься і до курсу фізики, і до курсу астрономії. Не дивлячись на важливість цієї теми, кількість задач, що потребують використання законів Кеплера, є досить невеликою як у задачниках , так і у підручниках з фізики та астрономії ([36, 41, 84] та ін.). Винятком є збірник задач за редакцією О.Я. Савченка [67], де, на відміну від інших посібників, темі “Закони Кеплера” присвячений цілий параграф. Специфіка цього збірника полягає, по-перше, у відсутності розв’язків задач та, по-друге, у наявності задач підвищеної складності, які майже відсутні у згадуваних вище навчальних посібниках. Ми вирішили розв’язати ці задачі та з’ясувати, чи потрібні для цього специфічні прийоми або додаткові теоретичні відомості.

Не будемо тут докладно описувати хід дослідження, однак зазначимо, що розв’язання складних задач у багатьох випадках було неможливим без знання закону збереження моменту імпульсу, а отже і самого поняття моменту імпульсу як векторного добутку радіус-вектора та імпульсу тіла.

Ще одне дослідження на астрономічну тему з використанням теоретичного матеріалу з механіки було присвячене розробці дидактичних матеріалів, які б допомогли учням фізико-математичних класів розібратися, як дедуктивним шляхом отримати закони Кеплера, виходячи з законів механіки. Доведення цих законів не наводиться ні у підручниках з фізики, ні у підручниках з астрономії. Навіть у поглибленому курсі розглядається тільки випадок колових орбіт.

Однак, при більш детальному розгляді виявилось, що процес доведення не вимагає чогось неймовірного та недоступного для свого розуміння, оскільки майже всі необхідні математичні та фізичні формули і поняття учні вивчають у школі.

У результаті проведеного дослідження учениця фізико-математичного ліцею №105 Шутова Олександра розробила під нашим керівництвом адаптований, тобто з докладними поясненнями та прикладами, варіант викладу доведення законів Кеплера.

Ми розпочали це дослідження із запитання: “Чому траєкторія руху планети навколо Сонця лежить в одній площині?”. Відповідь на це запитання є тривіальною, якщо учню знайоме поняття векторного добутку і відповідний матеріал поглибленого курсу механіки: на планету діє лише гравітаційне поле Сонця і момент цієї сили дорівнює нулю, оскільки радіус-вектор та вектор сили лежать на одній прямій (рис. 2.55).

Отже, причин для зміни моменту імпульсу і, відповідно, положення площини обертання планети у просторі немає (,).

Наступне запитання (“Чому орбітами планет є еліпси?”) вимагало більш складного дослідження. Рівняння траєкторії ми спробували отримати із закону збереження енергії. Потенціальну енергію знайшли, скориставшись законом всесвітнього тяжіння:

.

Кінетична енергія планети визначається за відомою формулою:

.

Для того, щоб проаналізувати закон збереження енергії, ми, скориставшись співвідношенням , де — кут, у полярній системі координат, яким задається положення планети, записали повну енергію планети у такому вигляді:

.

Але за цим рівнянням поки що неможливо безпосередньо визначити траєкторію планети, оскільки до рівняння входить час (похідні від r та α беруться за часом). Для того, щоб позбавитись залежності від часу у цьому рівнянні, необхідно використати закон збереження моменту імпульсу. Ми вже з’ясували, що момент сили дорівнює нулю, а отже момент імпульсу

повинен зберігатися . Модуль моменту імпульсу .

До речі, величину називають секторіальною швидкістю планети. Оскільки момент імпульсу не змінюється, то ця величина також залишається сталою. Саме це твердження і складає зміст другого закону Кеплера.

Але повернемось до закону збереження енергії. Використавши

співвідношення , а також , закон можна записати у такому вигляді:

або

.

Ми отримали диференціальне рівняння, але розв’язувати його у такому вигляді надто складно. Це буде набагато легше, якщо зробити заміну

. Оскільки , отримуємо:

.

Якщо це рівняння продиференціювати ще раз по , то його можна буде звести до знайомого вигляду, а саме:

.

Вираз, що стоїть у дужках, має дорівнювати нулю. Отже, отримуємо неоднорідне лінійне диференціальне рівняння другого порядку:

.

Зауважимо, що з подібними рівняннями учні вже зустрічалися, коли

розглядали коливання тіла на пружині у полі тяжіння: .
Скориставшися тим самим прийомом можна зробити заміну та розв’язати рівняння.

Нехай , тоді рівняння матиме вигляд , звідки

, а .

Тепер знайдемо коефіцієнти *A* та *B*. Координати зручно обирати так, щоб при довжина радіус-вектора була або мінімальною, або максимальною

, тобто . Оскільки , то для виконання умови мінімуму (або максимуму) коефіцієнт *B* повинен дорівнювати нулю. Тоді

або .

Якщо порівняти цей вираз з рівнянням еліпсу у полярних координатах

, де *a* — велика піввісь, — ексцентриситет, то отримуємо, що

коефіцієнт *A* повинен дорівнювати . Відповідно, .
Отже, перший закон Кеплера можна вважати доведеним. Якщо продовжити дослідження, то можна виявити, за яких умов орбітою є еліпс, парабола або гіпербола.

Доведення третього закону Кеплера є набагато простішим: ми вже з’ясували, що секторіальна швидкість планети може бути виражена через момент імпульсу:

. З іншого боку, , де S — площа еліпса, T — період обертання планети. Використовуючи математичні формули для еліпса:

, отримуємо

.

Якщо згадати співвідношення , то можна записати:

.

Права частина цієї формули — стала величина для Сонячної системи. Отже, ми отримали третій закон Кеплера:

.

Зазначимо, що матеріали описаних досліджень були використані під час вивчення відповідної теми в курсі астрономії (11-Б клас фізико-математичного ліцею №105 м. Запоріжжя, 2003/04 навч. рік).

Простір швидкостей. Три дослідницькі роботи були присвячені прийому переходу до простору швидкостей. У першій з них (її виконував учень 10-го класу ліцею №105 м. Запоріжжя Ворона Анатолій) розглядався випадок зіткнень тіл за умови, що їх швидкості є набагато меншими за швидкість світла. Спочатку коротко розглянемо цю роботу.

Отже, нерелятивістський випадок. У звичайному просторі положення тіла можна задати, наприклад, за допомогою декартових координат. Якщо вважати тіло матеріальною точкою, то тоді йому буде відповідати геометрична точка з координатами *x, y, z.* Якщо тіло буде рухатися, то, звичайно, змінюватиметься і положення відповідної геометричної точки.

Простір швидкостей, як і звичайний простір, є тривимірним. У ньому кожному тілу (матеріальній точці) буде відповідати певна так звана *швидкісна* точка з координатами V_x, V_y, V_z. “Поведінка” цієї *швидкісної* точки буде відрізнятися від “поведінки” відповідної матеріальної точки у звичайному просторі. Якщо тіло рухатиметься зі сталою швидкістю, то відповідна *швидкісна* точка не змінюватиме свого положення у просторі швидкостей. Коли швидкість тіла почне змінюватися, відповідна швидкісна точка почне рухатися. Швидкість її руху буде визначатися прискоренням тіла у звичайному просторі.

Зіткнення двох частинок у просторі швидкостей виглядає так: до зіткнення (частинки рухаються без прискорення) швидкісні точки знаходяться у стані спокою, у момент зіткнення вони дуже різко змінюють своє положення, а потім знову залишаться у спокої вже на новому місці.

Із закону збереження імпульсу випливає, що швидкість центра мас частинок не повинна змінюватись. У просторі швидкостей це означатиме, що швидкісна точка центра мас не повинна змінювати своє положення, яке визначається початковими швидкостями і масами частинок. Закон збереження

енергії накладає обмеження на положення швидкісних точок частинок після удару — відстані від них до швидкісної точки центра мас не зміняться. Останнє твердження стосується лише пружних зіткнень, у яких зберігається сумарна кінетична енергія, а у системі відліку, пов'язаній з центром мас, будуть зберігатися і кінетичні енергії кожної з двох частинок, що беруть участь у зіткненнях.

Ця ситуація (пружного зіткнення)
показана на рис. 2.56, де
V_A, V_B — швидкісні точки тіл до удару,
V'_A, V'_B — швидкісні точки тіл після удару,
$V_{ц.м.}$ — швидкісна точка центру мас.

Одна з переваг простору швидкостей — значне спрощення процесу переходу з однієї системи відліку в іншу. Відстані між швидкісними точками – це відносні швидкості тіл. Тільки ці відстані, а не конкретні значення V_x, V_y, V_z мають значення при розв'язуванні задач. Крім того, у задачах, як правило, розглядається рух частинок на площині, що надає можливість зображати зіткнення у просторі швидкостей рисунками на зразок рис. 2.56.

Якщо, наприклад, в умові задачі сказано, що тіло A рухалося зі швидкістю υ до зіткнення з тілом B, яке знаходилося у стані спокою, а після зіткнення змінило напрям свого руху на кут φ, то за допомогою елементарної планіметрії можна знайти швидкості обох тіл після удару (якщо маси обох тіл відомі). Дійсно, знаючи маси частинок можна знайти положення швидкісної точки центру мас, а отже і відстань $V_AV_{ц.м.}$, яка дорівнює відстані $V'_AV_{ц.м.}$. Далі потрібно лише застосувати теорему косинусів і відповідь буде готова.

Зазначимо, що звичайний розв'язок подібних задач, які, до речі, відносяться до задач підвищеної складності, потребує від школярів розв'язування не дуже простих систем рівнянь. Складність цих систем полягає, у більшості випадків, у необхідності виконувати довгі математичні перетворення. Після запису законів збереження імпульсу та енергії починається не дуже цікава діяльність, що потребує від учня не стільки роздумів, скільки неабиякої уваги, оскільки саме під час таких перетворень імовірність механічної помилки є дуже високою.

Звичайно, учні повинні вміти розв'язувати такі системи рівнянь, але можливість побачити у просторі швидкостей процес зіткнення дозволить їм краще проаналізувати отриману відповідь.

МАНівська робота А. Ворони була, фактично, присвячена демонстрації можливостей застосування поняття простору швидкостей до розв'язування задач на пружні зіткнення нерелятивістських частинок.

У другій роботі, яку виконував Юрій Селезньов (учень 11-го класу ліцею №105 м. Запоріжжя), досліджувався релятивістський простір швидкостей. Цей випадок вимагав не тільки достатньої математичної підготовки, але і вміння працювати з доволі складними текстами з фізики та математики. Ми дозволимо собі більш докладно зупинитися на цьому дослідженні, оскільки воно дуже

яскраво ілюструє переваги вміння “бачити” фізичні ситуації.

У релятивістському випадку на відносні швидкості тіл (на відстані між швидкісними точками) накладаються обмеження — вони не повинні перевищувати швидкість світла. Тому простір швидкостей дещо змінюється і його вже не можна описувати геометрією Евкліда. Це можна зробити за допомогою геометрії Лобачевського [61].

Учень, який виконував це дослідження, не був знайомий з цією геометрією, але він знав функції, які в ній використовуються — гіперболічні синус, косинус, тангенс, і розумів, що за своєю структурою ця геометрія буде подібною до геометрії Евкліда: є кілька аксіом та численні теореми, які можна довести і самостійно. У процесі дослідження ми довели лише ті, які нам були потрібні, але важливим було відчуття можливості це зробити.

Оскільки під час роботи над дослідженням учню необхідно було опрацювати певну літературу, ми організовували індивідуальні заняття, на яких докладно розбирали усі виникаючі в нього проблеми. Ці заняття мали безпосереднє відношення до навчання школярів самостійно опрацьовувати фізико-математичну літературу, тому далі ми опишемо, як це відбувалося.

Під час підготовки до проведення дослідження стосовно релятивіського простору швидкостей було необхідно опрацювати певний теоретичний матеріал зі спеціальної теорії відносності за навчальним посібником [193].

Протягом двох тижнів учень самостійно працював з цим посібником, а потім відбулося обговорення. Спочатку розбиралися запитання, що виникли в самого учня. Як правило, вони були пов’язанні із виведенням формул: процес отримання нових формул у посібнику був розписаний не надто докладно і деякі зв’язки учень не міг відновити самостійно. Після декількох занять, коли за питань у школяра вже не залишилося, йому було запропоновано розповісти цей навчальний матеріал.

Це був один з найскладніших етапів роботи, адже потрібно було звертати увагу не тільки на правильність формул та висновків, що наводилися учнем, але і слідкувати за логічністю викладу матеріалу, адекватністю слів, у тому числі і фізичних термінів, які використовував учень. Робота на цьому етапі просувалася дуже повільно, бо спочатку виправляти доводилося майже кожне речення. Так, для опрацювання 49-ти сторінок [193, с. 511-559] знадобилося більше місяця.

У межах дослідження потрібно було також прочитати книгу В.Н. Дубровського, Я.А. Смородинського, Є.Л. Суркова “Релятивіський світ” [61]. У передмові автори цієї книги зазначають, що вона не є легкою для читання, і що з нею необхідно працювати з олівцем у руках. Саме це і довелося нам зробити.

Уявити простір швидкостей навіть у випадку руху зі швидкостями, що набагато менші за швидкість світла, не дуже просто. Щодо релятивіського простору швидкостей, то це ще складніше, адже цей простір є викривленим і уявити рух швидкісних точок у ньому ще важче. Крім того, потрібно було розібратися з усіма доведеннями теорем, що стосуються геометрії цього простору, а їх у [61] не так вже і мало. Оскільки для наукового керівника (

дисертанта) ця ідея також була новою, то робота з учнем частіше велася у режимі рівноправного партнерства, коли обидві сторони намагалися якнайкраще пояснити процес отримання тієї чи іншої формули, доведення теореми та ін.

Найцікавішим та найприємнішим був етап, коли ідея релятивіського простору швидкостей та усі доведення стали повністю зрозумілими, та роз почалася побудова певної логічної послідовності, яка повинна була слугувати основою для проведення учнем власного дослідження, адже опрацювання літератури є лише частиною дослідження. Ми намагалися створити власну розповідь про простір швидкостей, яка б найкраще відповідала меті дослідження. А вже після цього можна було безпосередньо звернутися до розв'язування задач на зіткнення частинок, що рухаються з релятивістськими швидкостями.

Тут хотілося б зазначити, що у традиційній методиці навчання якось не прийнято говорити про отримання задоволення від інтелектуальної праці. Зазвичай йдеться про сумлінне ставлення до своїх обов'язків. Але згадаємо дослідження І.Я. Лернера [101], у якому автор наголошує на необхідності засвоєння учнями емоційно-ціннісного досвіду. Саме відчуття задоволення від процесу дослідження буде спонукати учня до продовження роботи. Якщо говорити про підготовку до вивчення наступних розділів фізики і взагалі до продовження освіти у фізико-математичному напрямку, то цей досвід є дуже важливим.

Повернемося до релятивіського простору швидкостей. Для тіл, швидкість яких має лише дві складові, релятивістський простір швидкостей являє собою поверхню з від'ємною кривизною. Отже, швидкісні точки будуть розташовані на поверхні, яка показана на рис. 2.57.

Якщо, згідно з умовою задачі, швидкісні точки утворюють трикутник, то необхідно скористатися певними формулами, щоб "розв'язувати" такі трикутники. До речі, у геометрії Лобачевського є, на відміну від планиметрії, дві теореми косинусів.

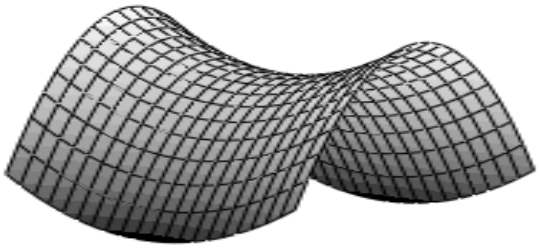


Рис. 2.57. Поверхня, на якій розташовані швидкісні точки у релятивістському просторі швидкостей.

Розв'язування задач з теорії відносності входить до шкільної програми, але через значну громіздкість основних формул в учнів виникають значні труднощі. Використання простору швидкостей є одним з методів, який не дозволяє губитися за складністю формул головній ідеї розв'язування задачі.

Пізніше, учень 11-го класу Куземко Андрій, опрацювавши під нашим керівництвом матеріал, що стосувався прийому переходу до простору швидкостей, створив серію слайдів, які утворили “комп’ютерний помічник” з цієї теми, і стали основою його роботи ***“Простір швидкостей у картинках”***, яка і була третьою у цьому циклі.

Ряд Маклорена. Розглянемо роботу, яка була присвячена використанню ряду Маклорена у фізичних задачах (її виконав під нашим керівництвом Дмитро Барсуков, учень 9-го класу ліцею “Перспектива” м. Запоріжжя). Одним з методів перевірки правильності відповіді фізичної задачі є її перевірка на граничні випадки, коли, наприклад, одна з величин, що входить до даної формули, прямує до нуля. Цей прийом є складовою частиною дуже важливого виду діяльності — критичного аналізу здобутих результатів, оволодіння якою вкрай необхідне для тих учнів, які прагнуть серйозно вивчати фізику.

На останніх сторінках збірника “1001 задача з фізики з розв’язками” [42], у “Математичному додатку” наведені наближені формули обчислення деяких функцій поблизу нуля.

Формули наближеного обчислення, про які йдеться, є першими членами розвинення певної функції у ряд Маклорена. У розглядуваній роботі було показано, як володіння цим математичним поняттям розширює можливості аналізу фізичних формул. Тут ми наведемо лише один з прикладів, що яскраво ілюструє таке “розширення”.

Розглянемо задачу, яка полягає у знаходженні центра мас “газового стовпа”, якщо молярна маса газу , а висота “газового стовпа” — *H*. Крім того відомо, що газ знаходиться у земному полі тяжіння при температурі *T* (див. рис. 2.58).

Ця задача дещо виходить за межі традиційного шкільного курсу фізики, але, на нашу думку, у фізико-математичних класах, за умови розв’зання проблеми математичної підтримки профільного курсу, розгляд подібних задач був би корисним.

Наведена задача розв’язується за допомогою означення центра мас:

(2.1)

де *h* відстань від нульового рівня (поверхня землі) до шару газа завтовшки *dh*, маса якого *dm*, а інтегрування ведеться по всьому об’єму стовпа. Використовуючи відому залежність густини газу від висоти над поверхнею землі можна обчислити інтеграли, що входять в (2.1). Позначивши через *S* площу поперечного

перерізу стовпа, а через густину газу біля поверхні землі, маємо:

;

.

Отже, центр мас “газового стовпа” можна знайти за формулою:

. (2.2)

Отримавши таку досить громіздку кінцеву формулу, хотілося б перевірити її на очевидні граничні випадки. Зрозуміло, що при

висота центра мас має прямувати до нуля, бо за такої умови всі молекули (в моделі ідеального газу) опиняться на землі. Якщо ж

положення центру мас має бути на висоті , оскільки у цьому випадку густина газу буде практично однаковою по всьому об’єму стовпа.

Перевірку на граничний випадок для низьких температур наша кінцева

формула (2.2) легко витримує. Дійсно, якщо (відповідно,), то .

Тепер проаналізуємо її для випадку високих температур .

Скориставшись тим, що за малих *x*, отримуємо:

,

а висота центра мас у розглядуваному випадку

.

Але ж такий результат не співпадає з тим, який ми очікували. Де ж помилка?

Виявляється, що використане нами наближення було надто грубим і необхідно врахувати ще один член розвинення, тобто скористатися формулою

. Тоді матимемо:

,

.

Тут доведеться ще раз скористатися розвиненням у ряд Маклорена:

,

.

Підстановка у (2) дає:

,

як і повинно було бути.

Після отримання правильної відповіді постає запитання: чи не можна було заздалегідь передбачити, що обмеження першими двома ненульовими членами розвинення у ряд Маклорена призведе до непорозуміння?

Дійсно, коли ми замість підставляємо **EMBED**

Equation.3 , а потім порівнюємо між собою дві великі (адже)

величини, одна з яких точно дорівнює , а інша — приблизно, то не має ніякої гарантії, що різниця між цими величинами буде набагато меншою за одиницю. Коли ми враховуємо ще один член розвинення, то знаходимо, що вказана різниця приблизно дорівнює за абсолютним значенням 0,5 (тобто того ж порядка, що і одиниця).

Отже, цей приклад яскраво ілюструє ускладнення, які можуть виникнути під час перевірки відповіді фізичної задачі на граничні випадки.

Гравітаційне поле. У межах вивчення гравітаційного поля можна запропонувати учням провести невеличкі власні дослідження, деякі з яких, можливо, матиме сенс представити на конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України.

Розглянемо одне з таких учнівських досліджень, яке виконав Костюшко Андрій (учень 10-го класу гімназії №28 м. Запоріжжя). Воно розпочалося зі спроби розв’язати задачу, яка у свій час була запропонована на заочному турі Соросівської олімпіади з фізики: “Маленький принц зібрався перебудувати свою планету таким чином, щоб у тому місці, де росте Троянда, було найсильніше гравітаційне поле. Яку форму необхідно надати планеті?”

Спочатку було зовсім не зрозумілим, з чого розпочинати розв’язувати задачу, і ми спробували розглянути деякі вигадані нами конкретні форми планет та дослідити, як буде змінюватися напруженість поля у певній точці на поверхні планети, якщо змінювати геометричні параметри планети, залишаючи сталими масу планети M і густину речовини ρ.

Одна з розглядуваних планет складалася з двох однорідних куль радіусів R та r та сумарною масою M, що були розташовані так, як показано на рис. 2.59а. Досліджувалося, як напруженість поля у точці A залежить від співвідношення між радіусами цих куль. Як і треба було очікувати, з’ясувалося, що

залежність набуває максимального значення при

та . Стало зрозумілим, що на поверхні планети такої форми неможливо отримати напруженість поля більшу, ніж на поверхні планети-кулі.

Далі розглядалася планета у формі циліндра, і досліджувалася залежність напруженості поля у точці A від співвідношення між діаметром та висотою

циліндра (див. рис. 2.59б). Однак максимальне значення функції виявилося меншим, ніж у випадку планети-кулі. Зазначимо, що такі допоміжні задачі виявилися дуже корисними: учень, який їх розв’язував, мав ретельно перевіряти отримані формули, оскільки правильна відповідь не була відома заздалегідь. І він намагався придумати якнайбільше окремих та граничних випадків, щоб виявити можливі помилки.

Ідея розв’язання основної задачі полягає у тому, щоб почати розв’язувати її з кінця. Припустимо, що форма планети вже відома. Із загальних міркувань зрозуміло, що це буде тіло обертання. Чим саме шукана форма буде вирізнятися серед усіх інших? Вона буде кращою у тому сенсі, що в одній із двох точок, де вісь обертання перетинає поверхню планети, спостерігатиметься найбільше значення напруженості гравітаційного поля (позначимо цю точку через A). Це означає, що будь-яке змінення такої форми *не може* призвести до збільшення значення максимальної напруженості. Тобто, якщо точкову масу m, що є маленьким шматочком ґрунту планети, перемістити в інше місце (див. рис. 2.60), то при такому переміщенні проекція на вісь Z (вісь обертання) вектора напруженості поля, що створюється цією масою m у точці A, не повинна збільшитися. Йдеться про проекцію, бо зсув ґрунту має відбуватися так, щоб планета залишалася тілом обертання, тобто виділена точкова маса m буде однією з тих, що складають кільце, площина якого перпендикулярна до осі обертання.

Тепер залишилося застосувати відповідні формули: спочатку маса *m* створювала у т. *A* гравітаційне поле напруженістю , а після переміщення — . Проекції вектора напруженості на вертикальну вісь мають бути, у граничному випадку, однаковими, тобто .

А це означає, що у полярних координатах рівняння кривої, яка задає форму планети у перерізі, є таким: , де — поки що невідома стала. Вигляд цієї кривої показаний на рис. 2.42.

Далі залишається виконати стандартні розрахунки: знайти сталу *C* та з'ясувати, у скільки разів на такій планеті напруженість поля у точці *A* буде більшою, ніж у випадку "звичайної" планети, що має форму кулі. У результаті виявилося, що напруженість поля у цій точці буде лише трохи більшою, ніж на звичайній планеті (приблизно, у 1,03 рази), тож Маленькому Принцові практично немає сенсу перебудовувати свою планету.

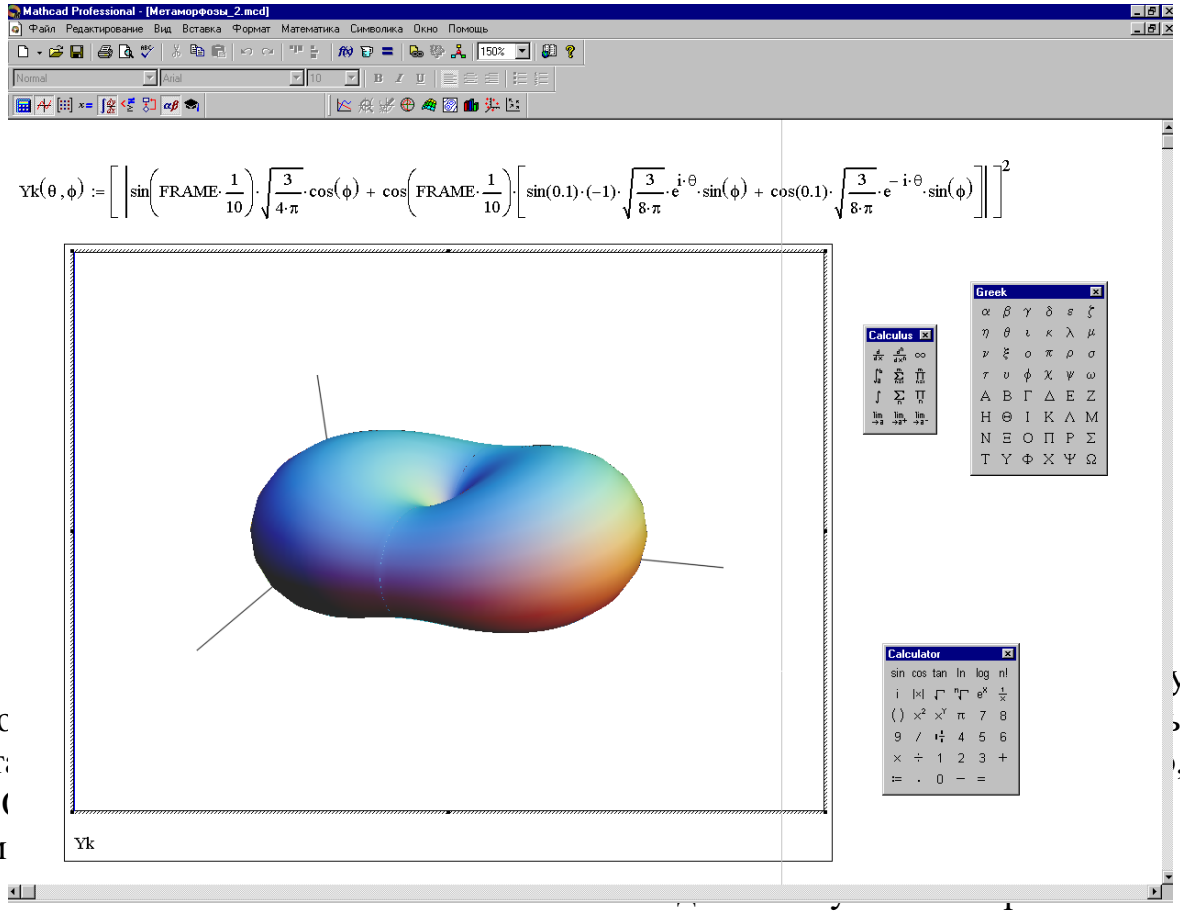
Зазначимо, що учень, який виконував цю роботу посів призове місце не тільки на конкурсі-захисті МАН, а і на конкурсі "Всеукраїнській тиждень науки , техніки, винахідництва і раціоналізаторства", що відбувся у Києві у січні 2007 року.

Квантовий ротатор. Одна з проблем, яку довелося розв'язувати під час виконання роботи "Просторові форми *p*-станів квантового ротатора", полягала в отриманні просторового зображення різних станів квантового ротатора — частинки, яка може рухатися лише по сфері певного радіуса (модель одного з випадків руху під дією центральних сил). Використовуючи можливості програми Mathcad у створенні анімацій та принцип суперпозиції (якщо система може знаходитися у станах, що описуються хвильовими функціями та , то вона може знаходитися і в стані, що описується хвильовою функцією , де , — будь-які комплексні числа [98, с.486]) ми змогли "побачити" на екрані монітора принаймні ті стани, що відповідають дійсним значенням коефіцієнтів та .

Основним принципом анімації у Mathcad є покадрова анімація. Ролик анімації — це послідовність кадрів, які є певною ділянкою документа, що виділяється користувачем. Розрахунки здійснюються окремо для кожного кадру , причому формули та графіки мають бути функцією номера кадру, який задається системною змінною FRAME, що може приймати лише натуральні значення [85, с. 450]. На рис. 2.61 показаний вигляд екрану монітора на стадії підготовки анімації.

У своїй другій роботі (“***Електронна хмара***”) Дмитро Барсуков розробив комп’ютерну програму, яка дозволяє побачити перерізи електронних хмар атома водню у станах з визначеними значеннями квантових чисел. Для цього була використана мова Object Pascal у середовищі Delphy.

У результаті цього дослідження були виявлені істотні помилки у тих параграфах підручників хімії, де розглядається поведінка електрона у воднеподібних атомах, а саме: ілюстрації, що наводяться під час викладу цього матеріалу відповідають станам ротатора, а не електрона.



набуванню ними досвіду самостійної роботи над теоретичним матеріалом призводить до успішних виступів наших учнів на обласному та загальнодержавному етапах конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук.

Завершуючи цей розділ, зауважимо, що тенденції розвитку сучасної дидактики призводять до зміни загальних уявлень про ролі вчителя і учня у навчальному процесі. Так, говорячи про роль вчителя, підкреслюють, що вона значною мірою полягає в організації роботи учнів з навчальним матеріалом, а не у викладанні певних відомостей.

Зазначимо також, що з входженням України у Болонський процес відбувається різке зменшення аудиторних занять у вищих навчальних закладах, що призводить до підвищення вимог до самостійності студентів. Формування навичок самостійної роботи має відбуватися ще у школі.

Головною особливістю запропонованої нами технології вивчення теоретичного матеріалу з механіки є її спрямованість на організацію самостійної роботи учнів. Завдяки забезпеченню належної математичної підготовки школярів та створенню спеціальних завдань, стає можливим самостійне вивчення учнями теоретичного матеріалу. Вчитель у такому випадку виконує роль консультанта.

Висновки до другого розділу

1. Запропоновано формулювати діагностично поставлені цілі навчання на основі аналізу смислових елементів відповідного матеріалу. На прикладі тем “Обертальний рух твердого тіла навколо нерухомої осі” та “Механічні коливання” була продемонстрована методика виокремлення смислових елементів та створення відповідних завдань для перевірки їх засвоєння учнями.

2. Розроблено інтеграційний курс “Мехматика”, що поєднує теоретичний матеріал з механіки та відповідні розділи математики. Головна спрямованість курсу — максимально сприяти розвитку самостійності учнів в отриманні нових для них фізичних результатів, використовуючи при цьому можливості відповідного математичного апарату.

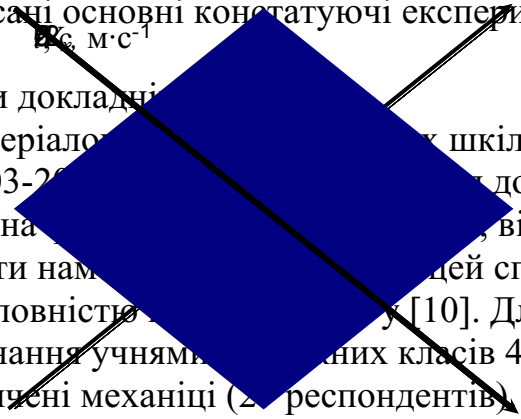
3. Для активізації самостійної роботи учнів з теоретичним матеріалом створено “комп’ютерний помічник”. Структура “помічника” та особливості його використання розглянуті на прикладі тем “Момент інерції” та “Механічні коливання”. Створений “комп’ютерний помічник” працює в інтерактивному режимі й дозволяє забезпечити своєчасну допомогу учням під час самостійної роботи з теоретичним матеріалом. Теоретичний матеріал подається таким чином, що учні спонукаються до власної інтелектуальної активності.

4. На конкретних прикладах продемонстровано, як досвід самостійної роботи з теоретичним матеріалом використовувався учнями під час навчально-дослідної діяльності. Теми пошукових робіт учнів стосувалися не лише механіки. Саме при розробці учнями тем далеких від механіки можна було відчути ефект переносу досвіду самостійної роботи з теоретичним матеріалом, тобто відсутність жорсткої прив’язки цього досвіду до конкретики механіки.

РОЗДІЛ ІІІ
ОГРАНІЗАЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Констатуючі експерименти з діагностики рівня володіння теоретичним матеріалом з механіки потенційними абітурієнтами фізичних факультетів університетів

Експериментальні дослідження, які надали можливість говорити про створення технології вивчення теоретичного матеріалу з механіки для класів фізико-математичного профілю, тривали декілька років. Перші з них були присвячені діагностиці рівня володіння учнями теоретичним матеріалом з механіки. У цьому підрозділі описані основні констатуючі експерименти, у яких брав участь 251 респондент.



Розглянемо ці експерименти докладні

Володіння теоретичним матеріало шкільного курсу фізики перевірялося протягом 2003-2 до олімпіад для абітурієнтів, що проводилися на відповідних завдань. Розглянемо, які результати нам дей спосіб.

Текст однієї з олімпіад був повністю у [10]. Для нас важливими були результати виконання учнями них класів 4-го та 6-го завдань, що були повністю присвячені механіці (2 респондентів).

... 4. Координата матеріальної точки масою m змінюється за законом:

.

а) Як залежить від часу швидкість $V_x(t)$ матеріальної точки?
б) Як залежить від часу прискорення $a_x(t)$ матеріальної точки?
в) Як залежить від координати сила $F_x(x)$, що діє на матеріальну точку?
г) Яка початкова координата матеріальної точки $x|_{t=0}$?
д) Яка початкова швидкість матеріальної точки $V_x|_{t=0}$?

... 6. За графіком залежності x-ої проекції швидкості від часу $V_x(t)$ знайдіть:
а) прискорення $a_x|_{t=5\ c}$;
б) швидкість $V_x|_{t=4,2}$ с;
в) проекцію переміщення $S_x|_{t=4\ c}$;
г) при яких значеннях t проекції швидкості V_x та прискорення a_x були протилежні за знаками;
д) через який час τ координата x повернулася до початкового значення.

Перше з наведених завдань було спрямоване на перевірку вміння майбутніх студентів застосовувати математичні знання у фізиці. Розуміння підручника, розв'язування задач — усе це з необхідністю потребує вміння



Кількість учасників, які правильно виконали завдання

103

правильно та швидко аналізувати зв’язки між фізичними величинами. Наведені завдання перевіряють досить прості математичні вміння, відсутність яких значно ускладнює продовження навчання у природничо-науковому напрямку.

Друге з наведених завдань присвячене кінематиці. Звісно, можна було запропонувати більш складні завдання, наприклад, побудувати графіки залежностей $x(t)$, $a_x(t)$. Але виконання подібних завдань вимагає чимало часу і, якщо графіки не будуть побудовані, то неможливо визначити: абітурієнт не вміє їх будувати чи він просто не встиг це зробити. Наведені ж завдання є простими і не потребують значних витрат часу.

Як видно з рис. 3.1, ці завдання викликали чималі труднощі в участників олімпіади, хоча майже всі вони були учнями фізико-математичних шкіл.

Найскладнішими з наведених завдань для абітурієнтів виявилося завдання 6д — його виконали менше 20% учасників. Біля 70% не змогли правильно виконати завдання 4в.

У наступній олімпіаді (60 респондентів), що проводилася через кілька місяців у тому ж навчальному році, також містилося завдання, пов’язане з графіками кінематичних величин. За його допомогою планувалося більш детально вивчити проблеми, що виникають в учнів під час “читання” цих графіків.

Рис. 3.1. Результати виконання учасниками олімпіади 4-го та 6-го завдань.

Учням були запропоновані 10 ескізів графіків (див. рис. 3.2) і декілька запитань до них. Нижче наведений текст цього завдання.

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10

Рис. 3.2. Ескізи графіків залежностей кінематичних величин від часу.

1.1. Залежність при деяких ненульових значеннях параметрів графічно представлена на рис. _____. 1.2. Початкова координата

___0. 1.3. Початкова швидкість ___0. 1.4. Прискорення ___0. 1.5.

Враховуючи, що , маємо =_____. 1.6. Графік поданий на рис. ____. 1.7. Максимальне значення досягається при _____. 1.8. Максимальне значення _____. 1.9. При _____, координата . 1.10. Дотична до графіка в точці (0;) задається формулою _____.

Це завдання не було простим для учнів. Розподіл учасників за кількістю правильних відповідей подано на рис. 3.3.

Зазначимо, що повністю правильно виконати це завдання вдалося лише 3 -ом із 60-ти учасників олімпіади.

Рис. 3.3. Розподіл учасників олімпіади за кількістю правильно наданих відповідей.

Досить цікавими, на наш погляд, виявилися результати заочної олімпіади з фізики, яка проводилася у 2003/04 навчальному році і була заочною у тому сенсі, що учні не приходили до університету, а писали її у своїх школах під наглядом студентів-практикантів нашого факультету.

Завдання мали такий вигляд (див. рис. 3.4 і бланк для відповідей):

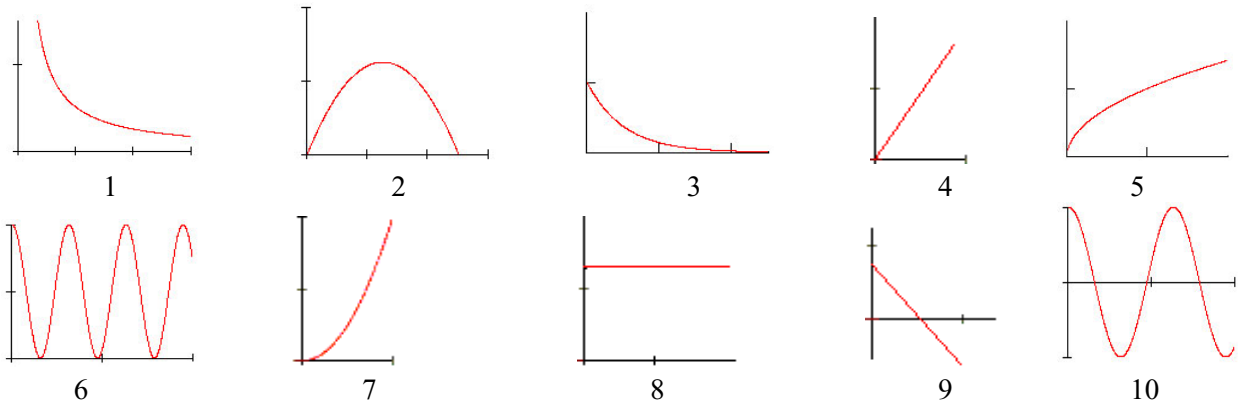


Рис. 3.4. Ескізи графіків до завдань заочної олімпіади.

Вкажіть номери рисунків з графіками (рис. 3.4) і запишіть формули, які можуть відповідати таким залежностям:

		Рис.	Формула
1	координати від часу для тіла, що здійснює гармонічні коливання;		

2	проекції швидкості тіла від часу, якщо відповідна проекція сили, що діє на тіло, є додатною та незмінною;		
3	кута відхилення від вертикалі нитки математичного маятника від часу;		
4	вертикальної проекції швидкості від часу для тіла, кинутого під кутом до горизонту;		
	...		
6	проекції імпульсу тіла від часу при рівноприскореному русі, якщо відповідна проекція прискорення від'ємна;		
7	потенціальної енергії розтягнутої пружини від сили, яка її розтягує;		
	...		
10	доцентрового прискорення тіла від радіусу кривизни траєкторії при незмінному значенні лінійної швидкості;		
	…		
12	повної механічної енергії математичного маятника від часу при гармонічних коливаннях;		
13	кінцевої швидкості тіла від висоти, з якої воно падає з нульовою початковою швидкістю;		
14	горизонтальної проекції швидкості від часу для тіла, кинутого під кутом до горизонту;		
	…		
16	кінетичної енергії матеріальної точки від її імпульсу;		
17	кінетичної енергії тягарця пружинного маятника від часу при гармонічних коливаннях;		
18	потенціальної енергії пружини від її видовження;		
19	вертикальної координати від горизонтальної для тіла, кинутого під кутом до горизонту;		
20	періоду коливань математичного маятника від його довжини.		

[-15;-7] [-6;2] [3;11] [12;20] [21;30]

Відсоток учасників

Кількість набраних учасниками олімпіади балів

Ми навели лише завдання, що стосувалися саме механіки. За кожну правильну відповідь (формулу або номер рисунка) нараховувалося по 1 балу, а за неправильну — по 0,5 штрафного бала. Таким чином, результат учня мав

належати інтервалу (за завдання з механіки, яких було 15).

На рис. 3.5 подані результати виконання наведених завдань учнями шкіл м. Запоріжжя (130 респондентів).

Зауважимо, що 41 зі 130 учасників олімпіади набрали нуль або менше балів.

Рис. 3.5. Результати виконання учасниками наведених завдань заочної олімпіади.

Цікаво також дослідити, скільки учнів змогли *повністю правильно* виконати кожне окреме завдання, тобто правильно вказали і формулу, і номер рисунка. На рис. 3.6 показані результати виконання школярами конкретних завдань.

Рис. 3.6. Результати виконання учасниками заочної олімпіади відповідних завдань.

Як можна побачити, найкраще учні виконали завдання №№1, 10, 18, 20. Три з них стосуються теми “Механічні коливання”, яка вивчається в 11-ому класі, тобто на момент написання олімпіади — порівняно нещодавно. Однак разом з цим, лише 7 учасників зі 130 правильно відповіли на запитання №3 (залежність кута відхилення від вертикалі нитки математичного маятника від часу) та лише 11 зі 130 — на запитання №12 (залежність повної механічної енергії тягарця математичного маятника від часу при гармонічних коливаннях). Звернемо також увагу на той факт, що лише 20% учасників написали, що залежність кінетичної енергії матеріальної точки від її імпульсу визначається

формулою: .

Результати описаних вище досліджень, на жаль, свідчать про те, що через деякий час у багатьох школярів майже нічого не залишається від фізичних знань, які в них намагалися сформувати у школі.

Якщо звернутися до книги М.Є. Савченка [173], яка вийшла друком у 1975 р. і була присвячена аналізу помилок, яких припускаються абітурієнти на вступних екзаменах з фізики, то можна побачити, що багато недоліків, наприклад:

мають труднощі у визначенні типу руху за графіками залежності координати від часу [173, с. 10];

не можуть побудувати графіки залежності прискорення від часу при $a_x > 0$ та $a_x < 0$ [173, с. 18];

не виправлені і сьогодні. Зрозуміло, що така ситуація є неприйнятною, особливо, коли такими нетривкими знаннями володіють учні, які збираються продовжити свою фізичну освіту у вищому навчальному закладі.

Необхідно зазначити, що результати, отримані нами під час олімпіад для абітурієнтів у 2003-2004 рр., не були для нас несподіваними. Вони лише

підтвердили, що наукова тема, якою ми займалися, залишилася актуальною для шкільної практики. Ще у травні 1998/99 навчального року нами був проведений експеримент, у якому перевірялися знання учнями формул за весь шкільний курс фізики. У дослідженні взяли участь два випускних класи фізико-математичного ліцею №105 м. Запоріжжя. Учням було запропоновано записати 62 фізичні формули, які вони вивчали у курсі фізики. Аналіз результатів цього експерименту показав, що правильно та найбільш повно відтворити формули вдалося лише тим учням, які серйозно займалися фізикою і про яких заздалегідь було відомо, що вони не мають звички зазубрювати навчальний матеріал.

З першого погляду такий результат не здається дивним: завдання на відтворення формул не можуть бути складними для тих, хто присвячує фізиці чимало часу. Але може здивувати той факт, що жоден з учнів, які під час навчання користувалися інформаційно-рецептивним методом, не зміг добре впоратися із цим завданням. Здавалося б, що складного? Лише запам'ятати формули! Треба врахувати, що йдеться про учнів фізико-математичного ліцею, про яких ми точно знали, що вони дійсно вчили ці формули і витрачали на підготовку до наступного уроку фізики чимало часу. Саме такі факти примушують узяти під сумнів твердження, яке можна зустріти у відомого дидакта І.Я. Лернера, що для засвоєння знань найбільш пристосованим є саме інформаційно-рецептивний метод [101]. Але чому тоді ми отримали явно *двомодальний розподіл* результатів відтворення учнями великої кількості формул? Тобто респонденти поділилися на два класи: ті, хто добре впорався із завданням, і ті, хто погано. Тих, хто показав би середні результати, фактично не було.

Подальші дослідження дозволили нам зробити висновок, що це пов'язано з відмінностями в організації запам'ятовування. Справа у тому, що для запам'ятовування великої кількості формул не вистачає механічної пам'яті і різниця між учнями стає помітною. Учень, який намагається зрозуміти, пояснити для себе та пов'язати формулу з тим, що він знав раніше, і учень, мета якого — лише підготуватися до наступного уроку, запам'ятовують по-різному.

У першого формула включається у певні зв'язки з іншими знаннями і, пригадуючи її, він може отримати її за допомогою власних міркувань. У цьому випадку ймовірність помилки досить мала. Процес запам'ятовування формул другим учнем швидше нагадує "фотографування" картинок. З часом ці картинки переплутаються, а учень навіть не помітить цього. Такі учні роблять багато помилок, якщо треба відтворити велику кількість формул, які вивчали протягом кількох років.

Вже ці перші дані підштовхнули нас до розробки технології, у якій би розвиткові мислення та логічної пам'яті учнів приділялася постійна увага. Результатам впровадження запропонованої нами технології присвячений наступний підрозділ.

3.2. Організація та результати формувального педагогічного експерименту

У нашому дослідженні формувальний експеримент проводився протягом шести років у декілька етапів. О.І. Бугайов [22] зазначав, що *зазвичай* для оцінки успішності такого експерименту порівнюють результати учнів експериментального та контрольного класів [22, с. 17]. Однак у нашому випадку необхідно було йти іншим шляхом. Ми порівнювали результати наших учнів (54 респонденти) із результатами учнів, які були на один-два роки старші та з результатами студентів (267 респондентів). Тобто порівняння відбувалося з такими групами респондентів, результати яких мали б бути вищими за результати учнів, які брали участь у формувальному експерименті. Дійсно, якщо дев'ятикласники пишуть контрольну роботу з механіки гірше за студентів фізичного факультету, то цей факт не викликає здивування. А ось якщо учні отримують в середньому такі самі бали, як і студенти або навіть більші, і цей результат є стабільним, то це можна вважати експериментальним підтвердженням запропонованої технології.

Спочатку проводився *пошуковий* експеримент з невеликою групою учнів. До експериментальної групи ввійшли 9 учнів, які закінчували 8 клас фізико-математичного ліцею №105 (травень 2000 р.) і побажали додатково у позаурочний час вивчати кінематику. Треба зазначити, що група не складалася з найсильніших учнів класу, до неї ввійшли і такі, які просто хотіли покращити свою успішність з фізики у наступному дев'ятому класі за рахунок попереднього знайомства з навчальним матеріалом. Крім того, тільки троє учнів були присутні на кожному з занять. Домашні завдання не задавалися. Але слід врахувати, що протягом року в цьому класі читався математичний спецкурс, де учні знайомилися з поняттям похідної і графіками елементарних функцій.

Нами були створені спеціальні завдання для самостійного вивчення теоретичного матеріалу. Гіпотеза полягала у тому, що використання вказаних завдань не призведе до зниження рівня навичок розв'язування звичайних задач, але покращить знання учнями теоретичного матеріалу. Дидактичні матеріали складалися з двох частин: стисло викладених вихідних положень теорії та завдань на одержання висновків з них. Ці матеріали охоплювали теми "Прямолінійний рівноприскорений рух", "Графіки кінематичних величин при рівноприскореному русі", "Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту", "Відносність руху", "Криволінійний рух".

Для вивчення названих вище тем були проведені 7 занять по 2 години. Виконуючи завдання, учні самостійно виводили майже всі співвідношення між кінематичними величинами, що вивчаються у 9 класі.

Щоб визначити рівень засвоєння учнями кінематики, була складена контрольна робота, яка містила тільки звичайні задачі зі збірника тестових завдань для перевірки знань, навичок і умінь випускників загальноосвітніх шкіл , ліцеїв і гімназій, який був затверджений свого часу (1993 р.) Міністерством освіти України [70]. Таку ж саму контрольну роботу ми дали десятьом кращим учням, що закінчили 10 клас цього ж ліцею і були слухачами літньої фізико-математичної школи. Те саме завдання виконували і 38 студентів третього курсу фізичного факультету нашого університету.

Максимально за роботу можна було отримати 24 бали. Більше 15 балів було у 4 (з 9) восьмикласників, 2 (з 10) десятикласників і 2 (з 38) третьокурсників. Щоправда, 6 десятикласників і 2 третьокурсники отримали від 8 до 15 балів. Кількість балів, набраних кожним з інших виконавців запропонованої роботи, була нижче восьми (див. рис. 3.7).

Як бачимо, значна частина восьмикласників добре впоралася зі звичайними задачами, хоча на заняттях вони виконували інші види завдань, які більше, здавалося б, орієнтовані на засвоєння теоретичного матеріалу.

З іншого боку, результати свідчать про те, що розв'язування задач контрольної роботи викликали значні труднощі навіть у тих, хто вивчав механіку неодноразово.

Звернемо увагу на те, що в експериментальній групі розподіл балів є двомодальним: п'ять учнів отримали менше 8 балів, четверо — більше 15, але жоден не набрав між 8 і 15 балами. Ми спробували пов'язати таку форму розподілу з якісно різними рівнями розвитку здібностей до самостійної роботи, а не тільки з пропуском частини занять. Для перевірки цієї гіпотези була складена анкета, яка, на нашу думку, мала дати інформацію про рівень самостійності учня при вивченні фізики. Ця анкета складалася з трьох питань, до кожного з яких пропонувалося по п'ять варіантів відповідей.

Рис. 3.7. Результати виконання учнями та студентами контрольної роботи.

Наводимо її повністю.

1. Як Вам подобається розв'язувати задачі?

а) самостійно;

б) з товаришами;

в) коли можна звернутися за допомогою;

г) під керівництвом учителя;

д) після того, як пояснили розв'язування аналогічної задачі.

2. Як Вам подобається вивчати теоретичний матеріал?

а) читаючи підручник, де все пояснюється;

б) слухаючи докладну розповідь учителя;

в) максимально самостійно виводячи наслідки з основних теоретичних положень, які повідомляє вчитель;

г) самостійно обмірковуючи проблемну ситуацію, тобто те, що викликає здивування і на перший погляд не має пояснення;

д) беручи участь в обговоренні проблемної ситуації.

3. В якому випадку у Вас довше зберігається у пам’яті теоретичний матеріал?

а) коли вивчив напам’ять;

б) коли розібрався у доведеннях та виводах формул за допомогою підручника або розповіді вчителя;

в) коли значну частину виводів провів самостійно;

г) коли виконав багато вправ на цей матеріал;

д) коли бачив відповідні експерименти та виконав лабораторні роботи.

Учень, відповідаючи на кожне запитання, повинен був на перше місце поставити найбільш прийнятний для нього варіант відповіді, на друге — найбільш прийнятний серед тих, що залишилися, і т. д. Тобто, результатом відповіді на запитання анкети були три послідовності по п’ять літер. На нашу думку, найбільш самостійний учень має дати такі послідовності: 1) абвгд; 2) гвдаб; 3) вбгда.

За кожну невідповідність між послідовністю відповідей учня та вказаними еталонними послідовностями нараховувалися штрафні бали. Кожній літері привласнювався її порядковий номер у послідовності. Штрафний бал за одну літеру дорівнював модулю різниці порядкових номерів цієї літери у відповіді учня та у послідовності, яка вважалася нами характерною для учнів, що виявляють самостійність у вивченні фізики. Результатом обробки анкети було число, яке дорівнювало сумі штрафних балів за всі 15 відповідей учня. Анкетування проходили тільки школярі (16 осіб).

Коефіцієнт кореляції між кількістю штрафних балів та результатом виконання контрольної роботи був розрахований за формулою:

,

де, у нашому випадку, — штрафні бали конкретного учня; — середнє значення штрафних балів, отриманих учнями; — результат контрольної роботи конкретного учня; — середнє значення результатів контрольної роботи [30, с. 179]; і склав – 0,67.

Той факт, що в описаному вище дослідженні коефіцієнт кореляції дорівнює – 0,67 означає наступне: більш самостійні (за результатом нашої анкети) учні отримали вищі оцінки за контрольну роботу.

Після оголошення результатів контрольної роботи та результатів анкетування з учнями експериментальної групи була проведена неформальна співбесіда. У її ході обговорювалися такі питання: чи подобається такий спосіб вивчення нового матеріалу? Чому? Що і як треба змінити?

Учням, які добре впоралися з контрольною роботою, такі заняття сподобались, їм було цікаво. Деяким учням з тих, хто впорався лише з невеликою кількістю завдань контрольної роботи, цей спосіб також сподобався,

але вони скаржилися на те, що для виконання завдань їм було замало часу. Двоє сказали, що їм більше подобалося розв'язувати задачі після пояснень учителя.

Як бачимо, задачний підхід до навчання фізики дає найвищі результати при роботі з учнями, які добре володіють математичними знаннями й уміннями, а також вміють працювати самостійно. Але можна сподіватися, що виконання завдань на одержання правильних умовиводів з ядра фізичної теорії буде мати і зворотний вплив на розвиток самостійності учнів.

Зважаючи на результати цього дослідження було вирішено продовжити його наступного року, але вже з усім класом (2000/2001 навч. рік, фізико-математичний ліцей №105 м. Запоріжжя).

Спеціальні завдання були створені з інших тем курсу механіки, а саме: "Закони Ньютона", "Закон всесвітнього тяжіння", "Закон збереження імпульсу" , "Робота. Закон збереження енергії", "Механіка рідини. Закон Бернуллі", "Рух космічних кораблів".

За погодженням з учителем заняття тривалістю 2 години проводилися протягом року щотижня. Оскільки учні цього класу вже мали певну математичну підготовку, то ми мали можливість використовувати у текстах завдань похідні, інтеграли та ін. Зазначимо, що дидактичні матеріали створювалися на основі існуючих навчальних посібників та підручників і складалися так само з двох основних частин: коротких теоретичних відомостей та низки запитань, відповідаючи на які учні самостійно отримували формули механіки.

Після завершення занять нами було проведено дві контрольні роботи як з учнями експериментального класу, так і зі студентами третього курсу фізичного факультету ЗНУ.

Перша контрольна робота, яка складалася з так званих задач з розвитком змісту [215], проводилася з учнями без попередження. Під час обговорення її результатів ми дійшли висновку, що наші заняття мали один істотний недолік — майже повну відсутність зворотного зв'язку. Кращі учні змогли самостійно, за допомогою інших навчальних занять усунути недоліки у своїх знаннях, а от основній частині учнів була потрібна допомога.

Для кращого вивчення ситуації ми запропонували учням написати невеликий твір про своє ставлення до тих завдань, які ми використовували під час формувального експерименту. У своїх творах переважна більшість учнів зазначала їхню корисність та цікавість. Деякі школярі зауважили, що потрібно скласти декілька рівнів підказок та проводити заняття групами, щоб запобігти звичці деяких учнів до списування.

Оскільки останнє зауваження мало безпосереднє відношення до достовірності результатів дослідження, ми спробували виявити, скільки і які учні списували під час контрольної роботи. Ми перевірили знання учнями фізичних формул зі шкільного курсу механіки, причому під час цієї перевірки у них не було можливостей списувати. Оскільки контрольна робота вимагала вільного володіння формулами, учень, який не знає цих формул або не вміє їх швидко виводити, не може добре її написати.

Виявилося, що деякі учні написали контрольну роботу краще, ніж вони знають формули. Порівняльний аналіз робіт учнів дав такі самі результати, але кількість учнів, що списували, була незначною, тобто це майже не вплинуло на результати дослідження.

Але на цьому дослідження не закінчилось. Ми вирішили перевірити, чи навчилися школярі самостійно розбиратися з теоретичним матеріалом. Якщо наша методика дієва, то учні повинні були через деякий час самостійно покращити свої результати. Через тиждень після першої контрольної роботи була проведена друга контрольна робота. Результати цієї роботи дійсно були кращими за попередні (див. рис. 3.8 та 3.9).

Рис. 3.8. Результати першої та другої контрольних робіт учнів та студентів (максимальна кількість балів в обох контрольних — 15).

Результати студентів були приблизно на 20% вищими, а результати учнів — на 70%.

Ще раз наголосимо, що учасники експериментальної групи мали необхідну математичну підготовку, яка виходила за межі, визначені програмою з математики для дев’ятого класу. Саме завдяки цій підготовці і стало можливим використання під час їхнього навчання завдань, за допомогою яких учні мали можливість самостійно отримувати значну кількість формул поглибленого курсу механіки.

Рис. 3.9. Гістограми результатів контрольних робіт учнів 9-Б класу фізико-математичного ліцею №105 (2000/2001 навч. р.)

Для того, щоб впевнитися, що одержані школярами у такий спосіб знання є міцними, через *два роки* було проведено додаткове дослідження.

На початку 2002/03 навчального року, коли учні були вже в 11-му класі, їм було запропоновано виконати невеличку контрольну роботу (зазначимо, що на початку 11-го класу ніякого повторення механіки за програмою з фізики не передбачається). Нижче наведений текст цієї контрольної роботи:

*Як знайти **A**, якщо відомо **B**? Запишіть остаточну формулу.*

1) ***A***: кінцева швидкість тіла, що рухається рівноприскорено в одному напрямку; ***B***: початкова швидкість, прискорення та пройдений шлях.
2) ***A***: імпульс матеріальної точки; ***B***: її кінетична енергія та маса.
3) ***A***: довжина математичного маятника; ***B***: частота його коливань та прискорення вільного падіння.
4) ***A***: кругова частота коливань гармонічного осцилятора; ***B***: амплітуда коливань та максимальне прискорення.
5) ***A***: радіус тонкостінної сфери; ***B***: маса сфери та момент інерції відносно осі, що проходить через центр.
6) ***A***: коефіцієнт жорсткості пружини пружинного маятника; ***B***: маса тягарця та кругова частота коливань.
7) ***A***: перша космічна швидкість; ***B***: радіус планета та прискорення вільного падіння на ній.
8) ***A***: кутове прискорення тіла; ***B***: момент інерції тіла та момент сили, що діє на нього.
9) ***A***: різниця тиску рідини у двох перетинах труби, по якій вона тече; ***B***: густина рідини, її швидкість у цих перетинах, висоти перетинів над рівнем землі, прискорення вільного падіння.
10) ***A***: радіус кола; ***B***: кутова швидкість та нормальне прискорення.
11) ***A***: кутова швидкість тіла; ***B***: момент імпульсу та момент інерції тіла.
12) ***A***: тангенціальне прискорення тіла; ***B***: радіус кола та кутове прискорення.
13) ***A***: відстань між двома матеріальними точками; ***B***: їх маси та потенціальна енергія гравітаційної взаємодії.
14) ***A***: відносне видовження тіла; ***B***: механічна напруга та модуль Юнга.
15) ***A***: об’єм частини тіла, що занурена у рідину; ***B***: густина рідини, виштовхувальна сила та прискорення вільного падіння.
16) ***A***: період обертання; ***B***: кутова швидкість.
17) ***A***: величина деформації пружини; ***B***: коефіцієнт жорсткості пружини та її потенціальна енергія.
18) ***A***: момент інерції фізичного маятника; ***B***: його маса, період коливань та відстань між центром мас і віссю обертання маятника.
19) ***A***: середня густина планети; ***B***: радіус планети та прискорення вільного падіння на ній.
20) ***A***: радіус кривизни траєкторії тіла, що кинуте під кутом до горизонту, у верхній її точці; ***B***: початкові швидкість та кут, прискорення вільного падіння.

Крім учнів цю роботу виконували студенти фізичного факультету (після вивчення загального курсу механіки). Результати її виконання подано на рис. 3. 10.

Зазначимо, що всі учні, закінчуючи 11 клас, обрали фізику як предмет, з якого вони мали складати державну підсумкову атестацію у *письмовій* формі. Троє учнів були звільненні від екзамену як переможці конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів МАН, для яких фізика була базовою дисципліною.

Рис. 3.10. Результати виконання учнями та студентами завдання типу "Знайти ***A***, знаючи ***B***" з механіки.

Результати проведення атестації і підсумкові оцінки наведені у табл. 3.1:

Таблиця 3.1

Оцінки з фізики учнів, які брали участь у педагогічному експерименті, наприкінці 11-го класу

Призвіще учня	Оцінка на екзамені	Підсумкова оцінка	Призвіще учня	Оцінка на екзамені	Підсумкова оцінка
Алдошин	10	8	Музляєв	10	8
Аршинніков	12	10	Носонова	10	8
Безверхий	10	8	П'янкова	—	12
Бондаренко	11	9	Рясной	11	11
Ворона	—	12	Сабо	10	10
Кенєва	12	12	Селезньов	—	12
Колпаков	10	8	Семененкова	7	7
Кудряшова	11	8	Чмихал	7	7
Малінка	12	11	Шишлов	12	12
			Шутова	7	7

У підрозділі 1.2 було показано, що математичний апарат є необхідною складовою поглибленого курсу фізики. Проте здійснення дієвої інтеграції між шкільними курсами фізики та математики є доволі непростим процесом, який додатково ускладнюється певними розбіжностями між навчальними програмами з цих предметів.

У фізико-математичному класі колегіуму №98 м. Запоріжжя за погодженням з адміністрацією навчального закладу нами був проведений педагогічний експеримент, що тривав два роки (2002-2004 навч. роки). Зміст цього експерименту полягав у такому.

У колегіумі був проведений набір у 10-ий фізико-математичний клас, переважна більшість учнів якого мала на меті вступ до вищих навчальних закладів на технічні спеціальності. За два роки школярі мали підготуватися до вступних іспитів з фізики. Зрозуміло, що завдання цих іспитів з необхідністю стосувалися не тільки матеріалу 10-11 класів, але і механіки, яку ці учнів вивчали у 9-му класі за програмами для загальноосвітніх шкіл, тобто не поглиблено.

Вхідний контроль, проведений на початку 10-го класу показав, що рівень знань з механіки у школярів доволі низький. І нам було дозволено дещо змінити навчальну програму з фізики для цього класу та приділити на початку навчання максимальну увагу найважливішим з точки зору курсу фізики розділам математики та теоретичному матеріалу з механіки. У подальшому навчанні були організовані неодноразові “повернення” до розгляду питань з механіки та математики, якщо це було виправдано логікою курсу.

У результаті учні мали дещо менше часу на вивчення безпосередньо матеріалу 10-11 класів. Проте ми сподівалися, що завдяки вирішенню проблеми з розумінням математичної складової курсу фізики та ґрунтовним повторенням теоретичного матеріалу з механіки, учні засвоять шкільний курс фізики на рівні , необхідному для вступу до вищого навального закладу.

Наприкінці навчання учні виконали діагностичне завдання, яке ми запропонували і студентам першого курсу фізичного факультету (після того, як вони прослухали загальний курс механіки). Респонденти мали погодитися чи не погодитися з певними твердженнями, що стосувалися теоретичного матеріалу з механіки. За кожну правильну відповідь нараховувалося по 1 балу, за кожну неправильну один бал віднімався. Оскільки завдання містило 50 тверджень

кінцева кількість балів мала належати інтервалу . Нижче наведена гістограма результатів учнів, які брали участь у педагогічному експерименті, і однієї з груп студентів першого курсу фізичного факультетів Запорізького національного університету (рис. 3.11).

Рис. 3.11. Результати виконання завдання “Чи вірні твердження?” студентами безпосередньо після вивчення розділу “Механіка” загального курсу фізики та випускниками

колегіуму №98, експериментальне навчання яких розпочалося лише з 10-го класу.

Як можна побачити з рис. 3.11, гістограма не дає чіткої відповіді на питання: “чи справді відмінності між результатами учнів і студентів відсутні?”. Отримані результати необхідно було проаналізувати за допомогою спеціальних методів.

Для такого аналізу ми обрали U критерій Манна-Уітні, який є одним з непараметричних критеріїв. Він дозволяє оцінити відмінності між двома вибірками за рівнем показника, що виміряний кількісно.

Емпіричне значення $U_{емп}$ відображає те, наскільки великою є зона перекриття результатів порівнюваних груп респондентів. Тому, чим менше $U_{емп}$ порівняно з критичним значенням $U_{кр}$, тим імовірніше, що відмінності достовірні. Значення $U_{кр}$ для вибірок, що порівнюються, визначається за спеціальною статистичною таблицею [186, с. 49]. Для застосування цього критерію необхідно виконати ранжирування результатів. Результати цієї операції подані у табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Розрахунок рангових сум за вибірками учнів та студентів

Учні		Студенти	
Результат	Ранг	Результат	Ранг
		26	28
		19	27
16	26		25
		14	
13	24		
10	21		
		10	21
		10	21
		10	21
		10	21
9	17.5		
9	17.5		
8	15.5		
8	15.5		
7	14		
		6	13
5	11.5		
		5	11.5
		2	10
1	8.5		
		1	8.5
0	6.5		
		0	6.5
		-1	5
-3	4		
-6	2.5		
		-6	2.5
-9	1		
Сума рангів	185		221

Розрахована сума рангів	

Сформулюємо гіпотези, які перевірялися.

нульова гіпотеза H_0: результати виконання завдання групою учнів не перевищують результати виконання цього ж завдання групою студентів;

альтернативна гіпотеза H_1: результати виконання завдання групою учнів перевищують результати виконання цього ж завдання групою студентів.

Результати розрахунків подані у таблиці 3.3:

Таблиця 3.3

Перевірка гіпотез за допомогою U - критерія Манна-Уітні

Дії, що виконуються	“учні — студенти 1-го курсу”
Розрахунок рангової суми	, де — кількість респондентів у групі з більшою ранговою сумою, — більша з двох рангових сум.
Пошук критичного значення параметру (за таблицею)	для ,
Прийняття рішення	Той факт, що емпіричне значення критерію більше за означає, що необхідно прийняти нульову гіпотезу.

Таким чином, можна стверджувати, що між результатами виконання цього завдання учнями та студентами немає статистично достовірних відмінностей. Тобто, навіть одного місяця на початку 10-го класу, протягом якого відбувалося повторення механіки та найнеобхіднішої математики, а також приділення постійної уваги до зв’язків між фізикою та математикою протягом подальшого навчання дозволили учням цього класу виконати завдання на рівні студентів 1-го курсу фізичного факультету, які вже пройшли загальний курс механіки.

Додамо також, що й інші розділи фізики були засвоєні школярами на відповідному рівні, про що свідчать їхні успіхи під час вступних екзаменів з фізики.

Далі перейдемо до розгляду результатів навчання за програмою курсу “Мехматика”. Як було показано у підрозділі 2.2, програма курсу “Мехматика”

істотно відрізняється від діючих навчальних програм з фізики, тому провести формувальний експеримент у загальноосвітній школі ми не мали можливості.

З іншого боку, заняття у фізико-математичних гуртках системи позашкільної освіти можуть відбуватися за авторськими програмами. Так, за програмою курсу “Мехматика” проводилися заняття фізико-математичного гуртка Центра дитячої та юнацької творчості Жовтневого р-ну м. Запоріжжя.

По закінченню навчання за вказаною програмою учні виконували серію діагностичних завдань, які відображали певні вимоги до знання теоретичного матеріалу з механіки. Такі самі завдання ми пропонували виконати і студентам фізичного факультету Запорізького національного університету.

На рис. 3.12 наведена гістограма результатів виконання вже описаного завдання “Чи вірні твердження?” учнями експериментальної групи і студентами
.

Рис. 3.12. Результати виконання завдання “Чи вірні твердження?” учнями, які займалися за програмою курсу “Мехматика”, і студентами 5-го і 1-го курсів (після вивчення розділу “Механіка” університетського курсу загальної фізики).

З гістограми видно, що наші учні впоралися з цими завданнями краще за студентів, але ми провели додатковий аналіз.

Для такого аналізу ми також обрали U критерій Манна-Уітні. [186, с. 49]. Результати ранжирування представлені у табл. Ж.1 Додатку Ж.

Сформулюємо гіпотези, які перевірялися:

нульова гіпотеза H_0: результати виконання завдання групою учнів не перевищують результати виконання цього ж завдання групою студентів;

альтернативна гіпотеза H_1: результати виконання завдання групою учнів перевищують результати виконання цього ж завдання групою студентів.

Перевірку цих гіпотез ми будемо виконувати окремо для двох пар “учні — студенти 1-го курсу” та “учні — студенти 5-го курсу”. Результати розрахунків подані у таблиці 3.4.

Таким чином, можна стверджувати, що учні, які навчалися за програмою курсу “Мехматика” виконали завдання “Чи вірні твердження?” *краще* за студентів 1-го курсу фізичного факультету ЗНУ (1%-ий рівень статистичної значущості ( ), а також краще за студентів 5-го курсу фізичного факультету (також 1%-ий рівень статистичної значущості ( ).

Знання учнів з механіки виявилися кращими за знання студентів, яким цей матеріал неодноразово пояснювався вчителями та викладачами. Також зауважимо, що студенти 1-го курсу виконували наведені завдання наприкінці навчального року, тобто вже після вивчення курсів, необхідних для надання правильних відповідей на запитання, що містилися в завданні. Таким чином, кількість часу на опанування відповідним теоретичним матеріалом у студентів була більшою, ніж в учнів. Проте важливим, виходячи з результатів дослідження, виявився час самостійної роботи із зазначеним матеріалом.

Зауважимо також, що застосування запропонованої нами технології вивчення теоретичного матеріалу з механіки істотно вплинуло на професійний вибір учнів. Більшість них (85%) вступили до тих факультетів вищих навчальних закладів, де фізика та математика є базовими дисциплінами.

Таблиця 3.4

Перевірка гіпотез за допомогою U - критерія Манна-Уітні

Дії, що виконуються	“учні — студенти 1-го курсу”	“учні — студенти 5-го курсу”
Розрахунок першої рангової суми	, де — кількість респондентів у групі з більшою ранговою сумою, — більша з двох рангових сум.	
Розрахунок другої рангової суми (виконується у випадку різної кількості респондентів у групах)	, де — кількість респондентів у групі з меншою ранговою сумою, — менша з двох рангових сум.	
Вибір меншого значення		
Пошук критичного значення параметру (за таблицею)	,	,
Прийняття рішення	У цьому випадку емпіричне значення критерію менше за .	У цьому випадку також емпіричне значення критерію менше за .

	Це означає, що можна прийняти альтернативну гіпотезу та стверджувати, що відмінності між групами достовірні.	Це означає, що можна прийняти альтернативну гіпотезу та стверджувати, що відмінності між групами достовірні.

Також необхідно зазначити, що навички, отримані учнями під час самостійного вивчення теоретичного матеріалу з механіки, дозволили їм отримати низку перемог на конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук (див. довідки № 01/34 від 26.03.2007, № 174 від 10.05.2007, № 83 від 20.04.2007, № 39 від 28.03.2007, № 52 від 03.05.2007). Результати учнів, які виконували роботи під нашим безпосереднім керівництвом, подані у Додатку З.

Висновки до третього розділу

1. Шляхом проведення серії констатуючих експериментів було виявлено, що випускники шкіл, які брали участь в олімпіадах для абітурієнтів, зазнають чималих труднощів під час виконання доволі простих завдань з механіки. Окремо вивчалося питання, пов’язане з переносом математичних знань на фізичні ситуації. Виявлено, що без спеціальної роботи такий перенос належним чином не відбувається навіть в учнів фізико-математичних класів.

2. Експериментально доведено, що забезпечення своєчасної математичної підготовки учнів дозволяє організувати практично самостійне вивчення ними теоретичного матеріалу з механіки за допомогою спеціально розроблених завдань.

3. Навички, отримані учнями під час майже самостійного вивчення теоретичного матеріалу з механіки, дозволили їм прискорено засвоїти наступні частини шкільного курсу фізики, успішно скласти іспити до вищих навчальних закладів, а також отримати низку перемог на конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук.

4. Найкращі результати математичної підтримки поглибленого курсу механіки досягаються при поєднанні теоретичного матеріалу з механіки та відповідних розділів математики в одному інтеграційному курсі.

ВИСНОВКИ

1.Перехід України на Болонську систему організації вищої освіти супроводжується істотним зменшенням часу, який витрачається студентами на аудиторні заняття. Відповідно зростають вимоги до абітурієнтів щодо їхньої готовності самостійно здобувати знання. А самостійність у здобуванні фізичних знань щільно пов'язана з вільним володінням необхідним математичним апаратом і наявністю навичок його застосування до фізичних питань.

Існуюча ***суперечність*** між зростаючими вимогами до самостійності випускників середніх навчальних закладів у здобуванні знань з фізики і наявною системою шкільної фізико-математичної освіти має бути подоланою. Мається на увазі, перш за все, неузгодженість програм з фізики і математики навіть для фізико-математичних класів, а також інерційна спрямованість дидактики фізики майже повністю на розробку технологій *навчання учнів*, хоча настав уже час і для розробок технологій *вивчення учнями* окремих розділів фізики.

Розпочата в Україні реформа середньої освіти передбачає профільність старшої школи. Цей процес відкриває перспективу подолання зазначеної суперечності в умовах класів фізико-математичного профілю, до яких мають прийти майбутні абітурієнти тих факультетів вищих навчальних закладів, де фахова підготовка студентів вимагає міцного підґрунтя фізико-математичних дисциплін. Особливої ***актуальності*** у зв'язку з вищезазначеним набуває проблема розроблення технології вивчення учнями старшої школи фізико-математичного профілю теоретичного матеріалу першого великого розділу поглибленого курсу фізики — механіки. Саме тут необхідно закласти фундамент самостійності для подальшого вивчення фізики як у старшій профільній школі, так і у вищому навчальному закладі.

2.У руслі реформи загальної середньої освіти в Україні, що передбачає профільну диференціацію у старших класах школи і надає можливість уведення інтеграційних курсів, нами був створений курс "Мехматика" для учнів фізико-математичних класів старшої профільної школи, який поєднує теоретичний матеріал з механіки та необхідний математичний апарат. Такий курс не лише забезпечує своєчасну математичну підготовку учнів, необхідну для свідомого засвоєння теоретичного матеріалу з механіки, а й дає їм можливість отримати навички застосування математики до фізичних питань.

3.Експериментально доведено, що забезпечення своєчасної математичної підготовки учнів дозволяє організувати самостійне вивчення ними теоретичного матеріалу з механіки із застосуванням спеціально розроблених дидактичних матеріалів, під час роботи з якими учні отримують індивідуалізовану допомогу.

4.Можливості сучасних інформаційних технологій були використані для створення спеціалізованого "комп'ютерного помічника", який допомагає технологізувати процес вивчення учнями теоретичного матеріалу з механіки як на уроках фізики, так і у позаурочний час. Учні працюють з "комп'ютерним

помічником” в інтерактивному режимі, перевіряючи правильність своїх дій і вносячи необхідні корективи.

5.Проведений формувальний експеримент довів: інтеграція в одному курсі механіки та відповідних розділів математики за умови належного методичного забезпечення та адекватного використання можливостей сучасних комп’ютерних технологій дозволяє учням не лише отримати дієві систематизовані знання з механіки (про що засвідчили результати перевірок, проведених через два роки після вивчення механіки), а й перейти на якісно новий рівень самостійності у засвоєнні та використанні теоретичного матеріалу з фізики (на користь чого свідчать їхні успіхи у подальшому вивченні фізики, реалізована орієнтація на продовження фізичної освіти у вищих навчальних закладах, а також їхні результати на обласному та республіканському етапах конкурсу-захисту науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук).

Вірогідність результатів дослідження забезпечується аналізом значної кількості наукових, психолого-педагогічних і навчально-методичних праць з теми дослідження; адекватністю методів дослідження його меті та завданням; коректним використанням статистичних методів обробки експериментальних даних; тривалою дослідно-експериментальною роботою; обговоренням результатів дослідження на численних науково-методичних і практичних конференціях та семінарах.

Отримані у дисертаційній роботі результати дають нам підстави рекомендувати включити до поглибленого курсу фізики старшої профільної школи запропонований нами інтеграційний курс. Його ми умовно назвали “Мехматика”, бо він об’єднує теоретичний матеріал механіки і відповідний математичний апарат. Як показали наші дослідження, запропонований курс дозволив максимально налаштувати учнів на самостійну роботу та поступово переконав їх у можливості власноруч здобути більшу частину тих фізичних результатів, які передбачені програмою для фізико-математичних класів.

Перспективи своєї подальшої роботи ми вбачаємо, по-перше, у написанні пов’язаних з темою дисертації методичних посібників як для учителів, так і для учнів. А по-друге — у дослідженні можливості розроблення таких технологій, що не лише були б спрямовані на ліквідацію *загальних* проблем, які виникають в учнів під час вивчення фізики, а й враховували їхні *типологічні особливості* щодо сприйняття і переробки інформації.

Додаток А

Завдання для перевірки засвоєння учнями теоретичного матеріалу теми “Обертальний рух твердого тіла навколо нерухомої осі”

Початковий рівень

1. Кінетична енергія обертального руху твердого тіла навколо нерухомої осі визначається формулою…

А) ; Б) ; В) ; Г) .

2. Враховуючи, що через , , позначені моменти інерції тіла відносно координатних осей, а через — момент інерції відносно точки перетину цих осей, оберіть правильне твердження:

А) ; Б) ;

В) ; Г) .

3. Оберіть правильне твердження:

А) через у теоремі Гюйгенса – Штейнера ( ) позначений момент інерції тіла відносно будь-якої заданої осі, що паралельна осі відносно якої момент інерції дорівнює I; відстань між осями позначена через a.

Б) через у теоремі Гюйгенса – Штейнера ( ) позначений момент інерції тіла відносно осі, що проходить через центр мас тіла і паралельна осі відносно якої момент інерції дорівнює I; відстань між осями позначена через a.

В) через та у теоремі Гюйгенса – Штейнера ( ) позначені моменти інерції тіла відносно двох перпендикулярних осей; відстань між осями позначена через a.

Г) через a у теоремі Гюйгенса – Штейнера ( ) позначений максимальний лінійний розмір тіла.

4. Момент інерції матеріальної точки масою m, що обертається навколо нерухомої осі на відстані l від неї, дорівнює …

А) ; Б) ; В) ; Г) .

5. Момент інерції твердого тіла відносно заданої осі дорівнює …

А) ; Б) ; В) ; Г) .

6. У Міжнародній системі фізичних величин момент інерції вимірюється у …

А) ; Б) ; В) ; Г) .

7. Враховуючи, що через , , позначені моменти інерції тонкої пластини, що лежить у площині *XY*, відносно координатних осей, оберіть правильне твердження:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

8. Момент інерції тонкого кільця маси *m* і радіуса *R* відносно осі, що проходить через його центр перпендикулярно до площини кільця …
А) … дорівнює моменту інерції напівкільця (*m*, *R*) відносно тієї ж осі;
Б) … у два рази більший, ніж момент інерції напівкільця (*m*, *R*) відносно тієї ж осі;
В) … у два рази менший, ніж момент інерції напівкільця (*m*, *R*) відносно тієї ж осі;
Г) … дорівнює моменту інерції диска (*m*, *R*) відносно тієї ж осі.

9. Тонкостінний циліндр має масу *m*, радіус *R* і висоту *h*. Момент інерції циліндра відносно його осі дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Середній рівень

1. При умові незмінності моменту інерції рівняння, що описує обертальний рух тіла навколо нерухомої осі, може бути записаним через кутове

прискорення ( ) так:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

2. Кінетична енергія обертального руху тонкого кільця радіусом *R* і масою *m*, який розкручено до кутової швидкості ω навколо його осі, дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

3. Момент інерції гантелі, що складається з точкових мас m_1 і m_2, які знаходяться на кінцях легкого стержня, якщо вісь її обертання перпендикулярна стержню та знаходиться на відстанях r_1 та r_2 від точкових мас , дорівнює:

А) ; Б) ;

В) ; Г) .

4. Обруч масою *m* і радіусом *R* обертається з кутовою швидкістю навколо нерухомої осі, що проходить через центр обруча перпендикулярно до його площини. Момент імпульсу обруча відносно цієї осі дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

5. До маховика з моментом інерції *I*, що обертається з кутовою швидкістю ω_1, приклали гальмівну колодку. Через деякий час кутова швидкість маховика зменшилася до значення ω_2. Яка кількість теплоти виділилася за цей час?

А) ; Б) ; В) ; Г) .

6. Кінетична енергія тонкого кільця радіусом R і масою m, який розкручено до кутової швидкості ω навколо його осі …

А) більша за кінетичну енергію суцільного диска радіусом R і масою m, який також розкручено до кутової швидкості ω навколо його осі;

Б) менша за кінетичну енергію суцільного диска радіусом R і масою m, який також розкручено до кутової швидкості ω навколо його осі;

В) дорівнює кінетичній енергії суцільного диска радіусом R і масою m, який також розкручено до кутової швидкості ω навколо його осі;

Г) іноді може бути меншою, а іноді — більшою за кінетичну енергію суцільного диска радіусом R і масою m, який також розкручено до кутової швидкості ω навколо його осі.

7. До диску з моментом інерції I прикладений обертальний момент M. Диск може вільно обертатися. Його кутове прискорення дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

8. Тонкостінний циліндр має масу m, радіус R і висоту h. Момент інерції циліндра відносно нерухомої осі z, що співпадає з однією з твірних циліндричної поверхні, дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

9. Якщо тіло здійснює і обертальний (навколо певної осі), і поступальний рух, то його загальну кінетичну енергію можна визначити за формулою:

А) (знак обирається в залежності від напрямку обертання);

Б) ; В) ; Г) .

Достатній рівень

1. Два подібних маховика зроблені з однакового металу, причому лінійні розміри другого вдвічі більші лінійних розмірів першого. Як відносяться кінетичні енергії маховиків за їх однакової кутової швидкості обертання?

А) кінетичні енергія першого маховика більша у 4 рази;

Б) кінетична енергія першого маховика більша у 8 разів;

В) кінетична енергія першого маховика більша у 16 разів;

Г) кінетична енергія першого маховика більша у 32 рази.

2. Горизонтальна платформа масою m і радіусом R обертається з кутовою швидкістю ω. На краю платформи стоїть людина масою m_1. З якою кутовою швидкістю буде обертатися платформа, якщо людина перейде від краю платформи до її центра? Людину можна вважати матеріальною точкою, а платформу — однорідним диском.

А) ; Б) ; В) ; Г) .

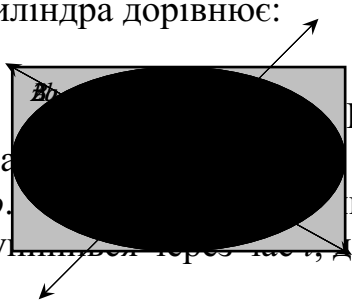
3. Знайти момент інерції тонкої прямокутної пластинки відносно осі *Z*, яка перпендикулярна до пластини. Відомі маса пластинки *m* та її розміри *a* і *b.*

А) ; Б) ; В) ; Г) .

4. Суцільний циліндр масою *m* і радіусом *R* обертається з кутовою швидкістю навколо нерухомої осі *z*, що співпадає з однією з твірних циліндричної поверхні. Момент імпульсу циліндра відносно осі обертання дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

5. Суцільний циліндр масою *m* і радіусом *R* обертається з кутовою швидкістю навколо нерухомої осі *z*, що співпадає з однією з твірних до циліндричної поверхні. Кінетична енергія циліндра дорівнює:



А) ; Б) ; В) ; Г) .

6. Маховик у вигляді тонкого кільця ма невагомими спицями розкрутили до кутової швидкості ω. нився. Момент сили тертя, за умови, що маховик зуп орівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

7. Тонке кільце радіусом *R* розкрутили навколо його осі кутової швидкості ω і поклали пласом на горизонтальний стіл. Через який час кільце зупиниться, якщо коефіцієнт тертя між столом та кільцем дорівнює μ?

А) ; Б) ; В) ; Г) .

8. Тонкостінна сфера має масу *m* і радіус *R*. Скільки енергії необхідно для того, щоб розкрутити її до частоти ω?

А) ; Б) ; В) ; Г) .

9. Момент інерції однорідного тонкого диска масою *m* і радіусом *R* відносно осі, що проходить через його центр і знаходиться у площині диска, дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

10. Однорідна пластинка (див. рис.) зі сторонами *2a* і *2b* має момент інерції I_B відносно осі *z*, що проходить через точку *B* перпендикулярно площині

пластинки. Знайти момент інерції пластинки I_A відносно осі, що проходить через точку A і паралельна осі z.

А) ; Б) ; В) ; Г) .

11. Знайти момент інерції однорідної кулі масою m і радіусом R відносно осі, що проходить через її центр.

А) ; Б) ; В) ; Г) .

12. Знайти момент інерції I_x половини однорідної кулі масою m і радіусом R (див. рис.).

А) ; Б) ; В) ; Г) .

13. Знайти момент інерції I_z сферичного шару малої товщини $b<<R$, де R — середній радіус шару. Маса сферичного шару дорівнює m.

А) ; Б) ; В) ; Г) .

14. Розгляньте дві механічні системи (див. рис.). Перша являє собою тягарець масою m, що закріплений на горизонтально розташованому невагомому стержні довжиною l, а друга — горизонтально розташований однорідний стержень масою m і довжиною l. Кінці стержнів з'єднані з вертикальними осями, що обертаються з кутовою швидкістю . Оберіть правильне твердження:

А) кінетична енергія тягарця більша за кінетичну енергію стержня у 2 рази;
Б) кінетична енергія тягарця більша за кінетичну енергію стержня у 3 рази;
В) кінетична енергія тягарця менший за кінетичну енергію стержня у 3 рази;
Г) кінетична енергія тягарця більший за кінетичну енергію стержня у 4 рази.

15. Момент інерції тонкого однорідного стержня масою m і довжиною L відносно осі, що перпендикулярна до нього і проходить через його центр мас, дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

16. Однорідний диск масою m і радіусом R обертається з кутовою швидкістю навколо нерухомої осі, що проходить через його центр перпендикулярно площині диска. Кінетична енергія диска дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

17. Супутник має орбіту, найближча до поверхні планети точка якої (перигей) знаходиться на висоті , а найдальша (апогей) — на висоті над поверхнею цієї планети, радіус якої дорівнює R. Яке відношення кутових швидкостей обертання супутника у цих точках?

А) ; Б) ; В) ; Г) .

18. Знайти момент інерції прямокутної пластинки відносно осі *y* (див. рис.). Відомі маса пластинки *m* та її розміри *a* і *b.*

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Додаток Б
Завдання для перевірки знання учнями теоретичного матеріалу теми “Механічні коливання ”

Початковий рівень

1. Диференціальне рівняння гармонічних коливань пружинного маятника

після введення позначення має вигляд …

А) ; В) ;

Б) ; Г)

2. Кругова частота гармонічних коливань пр ика залежить від …



та жор
идкос
та при
кини та адіння.

3. Залежність координати тягарця пружинного маятника, що здійснює гармонічні коливання, від часу **не** може мати вигляд:

А), ; В) ;

Б) ; Г) .

4. Графік залежності координати тіла, що здійснює гармонічні коливання, від часу може мати вигляд:

А) В)

Б) Г)

t

5. За якої умови коливання математичного маятника є гармонічними?

А) Якщо довжина нитки маятника більша за 1 м.

Б) Якщо кут відхилення маятника від положення рівноваги набагато менше одиниці.

В) Якщо кут відхилення маятника від положення рівноваги не перевищує 90°.

Г) Якщо маса тягарця не перевищує 1 кг.

6. Другий закон Ньютона, записаний для пружинного маятника у полі тяжіння (див. рис., початок координат відповідає положенню тіла при нерозтягнутій пружині) має вигляд:

А) ; Б) ;

В) ; Г) .

Середній рівень

1. Виберіть **не**правильне твердження:
А) Залежність $x(t)=2\cos 5t+3\sin 5t$ описує гармонічні коливання.
Б) Залежність $x(t)=5\sin 3t+6\sin 4t$ не може описувати гармонічні коливання.
В) Залежність $x(t)=4\sin^2 5t+2$ описує гармонічні коливання.
Г) Залежність $x(t)=7\sin 2t-7\cos 3t$ описує гармонічні коливання.

2. Власна частота коливань пружинного маятника, що здійснює вимушені коливання …
А) … дорівнює частоті зовнішньої сили;
Б) … залежить від коефіцієнту опору середовища;
В) … залежить лише від жорсткості пружини та маси тягарця;
Г) … залежить від маси тягарця та прискорення вільного падіння.

3. Знайдіть амплітуду коливань, якщо залежність координати тіла від часу має вигляд .

А) ; Б) ; В) ; Г) .

4. Період гармонічних коливань фізичного маятника дорівнює:

А) ; Б) ; В) ; Г) .

Достатній рівень

1. Диференціальне рівняння згасаючих гармонічних коливань при певному співвідношенні між β та ω_0 має розв'язок . Знайдіть .

А) ; Б) ; В) ; Г) .

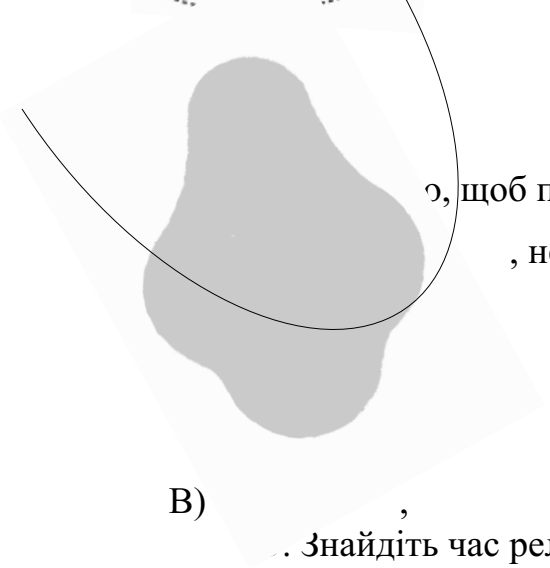
2. Функція є частинним розв'язком диференціального рівняння вимушених коливань . Виразіть A через .

А) ; В) ;

Б) ; Г) .

3. Знайдіть початкову фазу коливань (величину у виразі), якщо залежність координати тіла від часу має вигляд .

А) ; Б) ; В) ; Г) .



о, щоб перейти від диференціального рівняння до

, необхідно зробити такі заміни:

; Б) , ;

В) , ; Г) , .

. Знайдіть час релаксації для згасаючих коливань, що описуються

рівнянням .

А) ; Б) ; В) ; Г) .

6. Основне рівняння динаміки обертального руху для фізичного маятника (див. рис.) має вигляд:

А) ; Б) ;

В) ; Г) .

7. Потенціальну та кінетичну енергії математичного маятника (див. рис.) можна записати у такому вигляді:

А) Б) ;

В) Г)

8. Потенціальну та кінетичну енергії фізичного маятника (див. рис.) можна записати у такому вигляді:

А) Б)

В) Г)

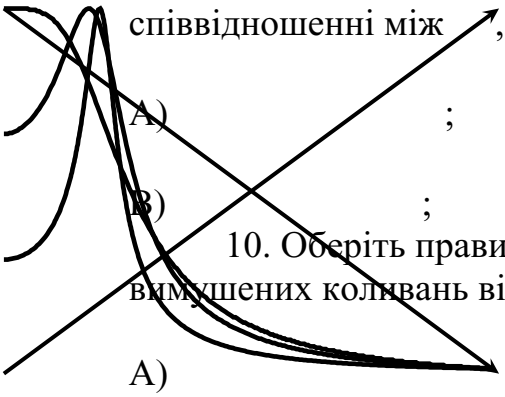
9. Явище резонансу амплітуди координати спостерігається при такому співвідношенні між , і :

А) ; Б) ;

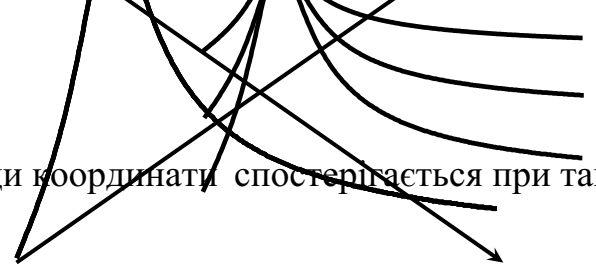
В) ; Г) .

10. Оберіть правильне зображення графіків залежності амплітуди вимушених коливань від циклічної частоти зовнішньої сили.

А)



Б)



В)

Г)

Додаток В

Завдання у “фізичній” та “математичній” формах запису

“Фізична” форма запису	*“Математична” форма запису*
1. Побудувати графіки функцій:	
а) , $h \geq 0$	а) ;
б) , $r \geq R$	б) ;
в) , $t \geq 0$	в) ;
Примітка: p_0,	г) *d вважати додатними сталими.*
г)	д) $0 \leq x \leq l$
2. Знайти похідні від функцій за вказаною змінною:	
а)	а) x
д) , $t \geq 0$,	б)
б)	в)
в)	$r < R$
г)	$r \geq R$ г)
	д)
д)	
	е)
е)	
де *постійний вектор*	
3. Розв’язати системи, виразивши вказану величину через ті, що стоять у дужках :	
а)	а)
б)	б)

EMBED Equation.3

в)

Equation.3

4. Тіло масою *m*, що закріплене на пружині з коефіцієнтом жорсткості *k*, здійснює коливання вздовж осі *x* за законом

Знайти:

а) швидкість тіла ;

б) прискорення тіла ;

в)момент часу, коли прискорення перший раз набуває максимального значення ;

г) максимальну кінетичну енергію частинки ;

д) координату частинки в початковий момент часу.

Примітка: , , .

в) EMBED

4. За функцією

знайти:

а) першу похідну ;

б) другу похідну ;

в) значення x, за якого друга похідна перший раз набуває максимального значення;

г) максимальне значення квадрату першої похідної;

д) значення функції при

.

Додаток Д
Програма курсу “Мехматика”
(*3 год* на тиждень, всього *102 год*)

Частина 1. Прямолінійний рух	
1. Рух зі сталою швидкістю (6 год)	
Умови прямолінійного рівномірного руху. Координата, шлях, швидкість. Графіки залежності координати, шляху та швидкості від часу.	*Графіки лінійної залежності. Лінійні рівняння. Системи лінійних рівнянь.*
Середня швидкість.	*Гіпербола. Парність і непарність функції. Асимптоти.*
2. Рух під дією сталої сили (4 год)	
Миттєва швидкість. Прискорення. Умови рівноприскореного руху. Графіки залежності прискорення, швидкості, координати і шляху від часу. *Вільне падіння тіл.*	*Парабола. Корені квадратного рівняння. Знаходження координат вершини параболи.*
3. Отримання рівнянь, що описують рух тіла під дією змінних сил (16 год)	
Другий закон Ньютона. Визначення швидкості за графіком і рівнянням залежності від часу координати тіла.	*Похідна функції. Похідна степеневої функції (, де). Дотична до кривої. Зростання та спадання, мінімум та максимум функції. Похідна суми функцій. Похідна оберненої функції. Складна функція. Похідна добутку функцій.*
Визначення шляху, який пройдений тілом, за графіком і рівнянням залежності швидкості руху від часу.	*Первісна. Невизначений інтеграл. Визначений інтеграл. Формула Ньютона-Лейбніца.*
Отримання диференціальних рівнянь, що описують рух тіла за наявності сили тяжіння, опору середовища, пружної сили.	*Поняття диференціального рівняння.*
4. Рух тіла за наявності сили опору середовища (10 год)	
Розв’язок диференціального рівняння для випадку сили опору середовища. Побудова графіків залежності швидкості, прискорення і координати від часу. Отримання цих залежностей для випадку падіння тіла у в’язкій рідині.	*Показникова функція. Число e. Логарифмічна функція. Графіки показникової та логарифмічної функцій. Похідні та первісні показникової та логарифмічної функцій. Показникові та логарифмічні рівняння.* *Розв’язування найпростіших диференціальних рівнянь.*

5. Рух тіла за наявності пружної сили (18 год)	
Розв'язок диференціального рівняння для випадку пружної сили. Побудова графіків залежності швидкості, прискорення і координати від часу. Пружинний маятник у полі сили тяжіння. *Згасаючі вільні коливання. Вимушені коливання. Явище резонансу. Умови виникнення резонансу.*	*Тригонометричні функції та їх графікою Похідні та первісні цих функцій. Тригонометричні рівняння та нерівності.* *Розв'язування найпростіших диференціальних рівнянь.*
Частина 2. Рух у тривимірному просторі	
6. Векторний запис рівнянь руху (6 год)	
Закони Ньютона у векторній формі. *Опис рівномірного руху за допомогою векторів. Відносність руху . Система відліку. Принцип відносності Галілея.* *Опис рівноприскореного руху за допомогою векторів. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту.* *Рух тіла по колу. Доцентрове (нормальне) та тангенціальне прискорення.* *Загальний випадок нерівномірного руху.*	*Види ситем координат на площині (декартові, полярна) та у тривимірному просторі (декартова, циліндрична, сферична). Знаходження відстані між точками.* *Вектори. Скалярні та векторні величини у фізиці. Дії над векторами (додавання, віднімання, множення на число). Розкладання вектора за неколінеарними векторами. Проекції векторів на вісі координат, одиничні вектори. Знаходження модуля вектора, теорема косинусів.* *Знаходження похідної від векторної функції.*
7. Закони збереження імпульсу та енергії (8 год)	
Імпульс. Закон збереження імпульсу. Зіткнення. Простір швидкостей. *Реактивний рух. Рівняння Мещерського для прямолінійного руху. Формула Ціолковського.* *Робота.* *Кінетична енергія. Потенціальна енергія для сили тяжіння та пружної сили. Закон збереження енергії.*	*Скалярний добуток векторів.* *Градієнт.* *Криволінійний інтеграл.*
8. Рух під дією гравітаційної сили (22 год)	
Момент сили. Момент імпульсу. Закон збереження моменту імпульсу. Рівняння руху тіла під дією гравітаційної сили. Рух планет та штучних супутників Землі.	*Векторний добуток векторів.* *Рівняння конічних перетинів (еліпсу, параболи, гіперболи).*

Рух тіла під дією декількох постійних сил. Похила площина. Блоки.	
Рух математичного маятника. Додавання коливань. Фігури Ліссажу.	*Комплексні числа. Формула Ейлера.*
9. Обертальний рух твердого тіла навколо нерухомої осі (12 год)	
Абсолютно тверде тіло, види його рухів. Центр мас. Знаходження центра мас однорідних тіл. *Кінетична енергія тіла, що обертається навколо нерухомої осі. Момент інерції. Обчислення моментів інерції деяких тіл. Теорема Гюйгенса – Штейнера.* *Момент сили і момент імпульсу твердого тіла відносно осі обертання. Закон динаміки обертального руху відносно осі обертання. Умови рівноваги твердого тіла, що має нерухому вісь.* *Коливання фізичного маятника.*	*Ряд Маклорена. Ряд Тейлора. Кратні інтеграли.*

Додаток Е
Методичні рекомендації до вивчення ряду Маклорена у класах фізико-математичного профілю

Вивчення ряду Маклорена доцільно починати з обговорення ідеї та необхідності такої математичної "конструкції". Дійсно, іноді є необхідність знати наближене значення функції або її наближений вигляд в околі певного значення аргументу (x). У фізиці досить часто постає питання про вигляд функції біля нуля. Якщо цей наближений вираз шукають у вигляді такого

нескінченого ряду: , то це називають розвиненням функції у ряд Маклорена. Для того, щоб записати цей ряд для конкретної функції необхідно знайти значення коефіцієнтів C_0, C_1, C_2, … C_n.

Тут доцільно зупинитися і запропонувати учням отримати самостійно

коефіцієнти розвинення для такої, наприклад, функції . Така наша пропозиція ґрунтується на сумному досвіді спілкування з багатьма старшокурсниками фізичного факультету, які відмовлялися виконувати це завдання, посилаючись на те, що ряд Маклорена вони вивчали дуже давно (аж на першому курсі!) і не пам'ятають загальну формулу для коефіцієнтів. Їм і на думку не приходить, що для виконання цього завдання не має потреби пам'ятати формулу для коефіцієнтів ряду Маклорена. Достатньо знати, що розвинення у ряд Маклорена — це розвинення за невід'ємними цілими степенями аргументу. І тоді залишається лише згадати шкільну формулу

, або навіть просто правильно розкрити дужки у

виразі .

Ще до отримання загальної формули для коефіцієнтів розвинення у ряд Маклорена треба обговорити з учнями геометричний зміст апроксимації функції поліномом, разом з учнями встановити, що поліном першого степеня

— це вираз для дотичної до графіка вихідної функції у точці з .

Після цього стає зрозумілим, що , а .

Тепер можна запропонувати знайти закономірність у виразах для похідних:

;

.

Після отримання виразу для похідної n-го порядку:

доцільно запитати учнів: "А чи не можна тепер записати кінцеву формулу для ряду Маклорена?"

Дійсно, залишилося лише покласти , і тоді отримаємо, що:

.

Отже, ряд Маклорена матиме вигляд:

.

Використовуючи цю формулу, можна досить легко, практично усно, отримати розвинення таких важливих функцій:

;

;

.

Тут знову треба дати учням можливість проявити свою кмітливість. Хай самостійно отримають розвинення у ряд Маклорена таких, наприклад, функцій:

; , . Чи потрібно у цьому завданні робити обчислення, користуючись загальною формулою для коефіцієнтів розвинення?!

Дійсно, у запропонованих прикладах можна безпосередньо скористатися щойно отриманими розвиненнями функцій , :

;

;

.

Не треба поспішати скористатися загальною формулою і у деяких інших

випадках. Розглянемо функцію . Звичайно, знайшовши похідні, можемо записати:

.

Але значно швидше можна отримати наведене розвинення, згадавши про суму нескінченної спадної геометричної прогресії, модуль знаменника якої менше за

одиницю . Якщо , а , то . Отже,

Має сенс запропонувати учням довести правильність відповіді, не спираючись безпосередньо на формулу для суми прогресії. Один з можливих варіантів доведення такий:

;

.

Із цього рівняння отримуємо: .

Розглянемо випадки, коли допомагає інтегрування. Нехай необхідно знайти розвинення функції . Ми знаємо похідну від цієї функції:

. Розвинемо її у ряд Маклорена: . Тут ми скористалися щойно отриманою формулою, замінивши x на $-x^2$ (тобто b_1 у відповідній геометричній прогресії, як і у попередньому випадку, буде дорівнювати одиниці, але). Тепер проінтегруємо це рівняння:

. Знайти значення сталої можна з тих міркувань, що . Отже, отримуємо ряд Маклорена для функції у вигляді: .

Той самий прийом можна використати для знаходження розвинення функції .

;

.

Як і у попередньому випадку . Отже, .

Іноді для практичних цілей достатньо знати лише перші доданки ряду. Для функції можна їх отримати, скориставшись загальною формулою , але є інший шлях.

Зрозуміло, що ряд, про який ідеться, буде мати однаковий вигляд для будь-яких m. Але для натуральних m перші доданки отримати легко, бо для добутку коефіцієнти при перших степенях x без проблем знаходяться із комбінаторних міркувань (...скількома способами можна...):

. Доречно тут згадати і про біном Ньютона, і про трикутник Паскаля.

Якщо ж m не є натуральним числом, то це не робить наведену формулу невірною. Отже, перші доданки розвинення для функції, наприклад, легко отримати, поклавши

: .

А як швидко знайти хоча б перші доданки розвинення у ряд Маклорена для функції ?

Якщо відома похідна від цієї функції, то можна розмірковувати наступним чином:

.

У цьому випадку , а x було замінено на $-x^2$. Скориставшись інтегруванням, отримуємо:

.

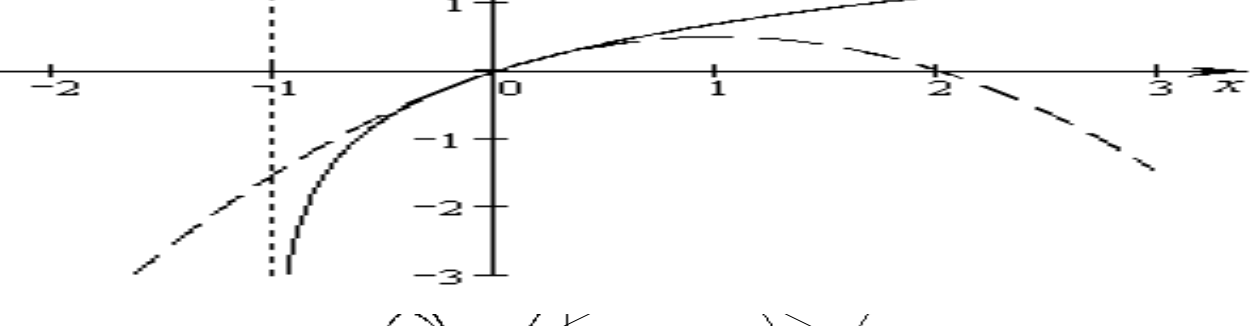
Враховуючи, що , остаточна відповідь така:

.

Нагадаємо ще раз, що ознайомлення учнів з рядом Маклорена треба проводити так, щоб вони не боялися забути якусь формулу, не боялися імпровізувати. Для цього корисно оголошувати невеличкі конкурси на кращий спосіб отримання декількох перших ненульових доданків апроксимуючого поліному. Наприклад, як швидко відновити перші два ненульових доданки у розвиненні в ряд Маклорена для функції ?

Наведемо можливий варіант розв'язку. Функція — непарна, отже, ненульовими будуть доданки лише з непарними степенями x. Будемо шукати апроксимуючий поліном у вигляді: . Зрозуміло, що , бо , , а . Залишилося знайти . Знайдемо наближені вирази для похідної з двох міркувань і порівняємо їх між собою. З одного боку, . А з іншого, . Отже, . Відповідно, .

Для практичного застосування у фізичних задачах розвинень функцій у ряд Маклорена необхідно знати, якою кількістю ненульових членів можна обмежитись у тій чи іншій ситуації. Простим у сучасних умовах і наочним шляхом для пошуку відповіді на це питання є побудова графіків (для цього можна використати найрізноманітніші програмні засоби, наприклад MathCad).



ереконати
Е.1 Е.4).

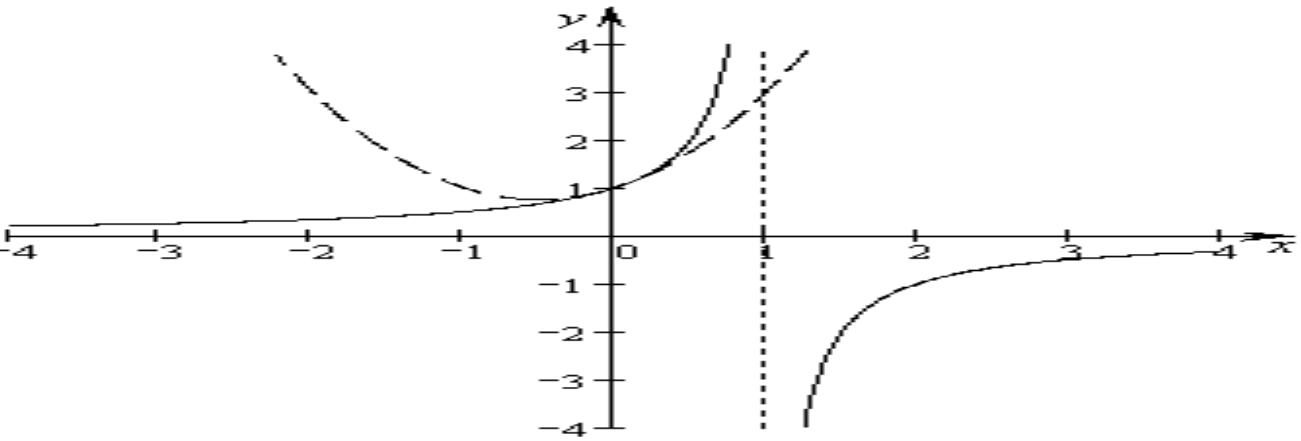
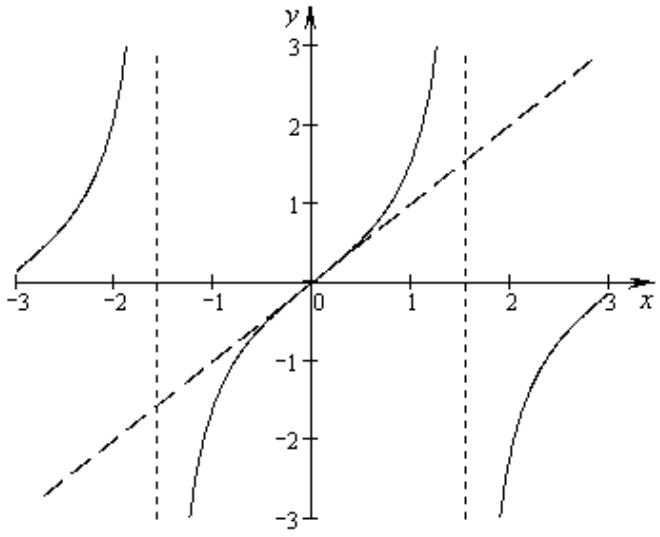


Рис. Е.1. Апроксимація функції поліномами різних степенів.

Рис. Е.2. Апроксимація функції поліномами різних степенів.



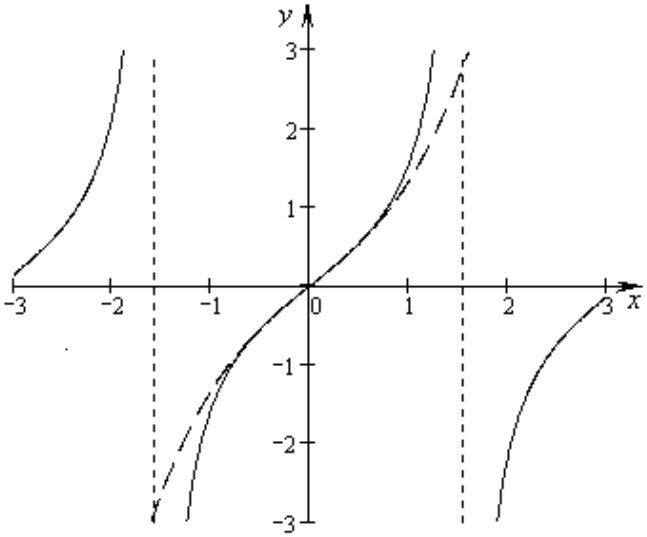


Рис. Е.3. Апроксимація функції поліномами різних степенів.

Рис. Е.4. Апроксимація функції поліномами різних степенів.

Ці графіки дають можливість швидко оцінити кількість доданків ряду Маклорена, якою можна обмежитися залежно від необхідної точності.

Нижче наведені приклади вправ, які ми використовуємо під час знайомства учнів з поняттям “ряд Маклорена”.

1. Розвинути у ряд Маклорена до 2-х ненульових доданків:

1) ; 2) ; 3) ; 4) ; 5) .

2. Обчислити без калькулятора з точністю до 0,01:

1) ; 3) ; 5) ; 7) ;

2) ; 4) ; 6) ; 8) .

Додаток Ж
Розрахунок рангових сум за вибірками учнів та студентів

Таблиця Ж.1

Розрахунок рангових сум за вибірками учнів та студентів

Учні		Студенти 1-го курсу		Учні		Студенти 5-го курсу	
Результат	Ранг	Результат	Ранг	Результат	Ранг	Результат	Ранг
42	25						
41	24			42	34		
38	23			41	33		
37	21,5			38	32		
37	21,5			37	30,5		
34	20			37	30,5		
		26	19	34	29		
24	18					28	28
		19	17			26	27
18	16					25	26
		14	15	24	25		
10	12			18	23,5		
		10	12			18	23,5
		10	12			17	22
		10	12			13	21
		10	12			12	20
6	8,5					11	19
		6	8,5	10	18		
		5	7			8	16,5
		2	6			8	16,5
		1	5			7	14,5
		0	4			7	14,5
-1	2,5			6	12,5		
		-1	2,5			6	12,5
		-6	1			5	11
						4	10
						3	9
						0	7,5
						0	7,5
				-1	6		
						-5	4,5
						-5	4,5
						-7	2,5
						-7	2,5
						-9	1
Сума рангів	192		133	Сума рангів	274		321
Розрахована сума рангів				Розрахована сума рангів			

Додаток З
Результати учнів, які виконували роботи під нашим безпосереднім керівництвом, на конкурсі-захисті науково-дослідницьких робіт учнів — членів Малої академії наук України

Таблиця 3.1

№	Навч. рік	П.І. учня	Тема роботи	Результат
1.	2001/02	Ворона Анатолій	“Запрошення у простір швидкостей”	ІІІ місце на обласному етапі МАН
2.	2002/03	Малінка Євген	“Методика розв’язування задач на закони Кеплера”	ІІІ місце на обласному етапі МАН
3.	2002/03	Шутова Олександра	“Задачі Кеплера”	ІІІ місце на обласному етапі МАН
4.	2002/03	Селезньов Юрій	“Релятивістський простір швидкостей”	ІІІ місце на Всеукраїнському етапі МАН
5.	2003/04	Барсуков Дмитро	“Ряди Маклорена у фізичних задачах”	ІІ місце на обласному етапі МАН
6.	2004/05	Барсуков Дмитро	“Просторові форми *p*-станів квантового ротатора”	І місце на обласному етапі МАН
7.	2005/06	Барсуков Дмитро	“Електронна хмара”	І місце на обласному етапі МАН
8.	2005/06	Костюшко Андрій	“Незвичайні планети”	ІІІ місце на обласному етапі МАН
9.	2006/07	Куземко Андрій	“Простір швидкостей у картинках”	ІІ місце на обласному етапі МАН
10.	2006/07	Казанцева Ольга	“Мультимедійний помічник з теми “Механічні коливання”	ІІІ місце на обласному етапі МАН

Додаток И

РЕЦЕНЗІЯ

на комп'ютерні помічники з тем
"МОМЕНТ ІНЕРЦІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА" і **"МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ"**,
розроблені творчою групою у складі:
О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв, А.О. Носонова

Подані комп'ютерні помічники призначені для організації роботи учнів фізико-математичних класів та студентів із відповідним теоретичним матеріалом. Кожен із помічників складається з серії слайдів двох типів, а саме: слайдів, на яких наведені мінімально необхідні теоретичні відомості та завдання для учнів і слайдів-відповідей.

Матеріал, поданий на слайдах, структуровано таким чином, що учні отримують можливість самостійно одержувати важливі теоретичні результати, а потім перевіряти правильність власних міркувань.

Використання таких помічників дозволяє не лише збільшити ефективність позааудиторної роботи учнів із відповідних тем, а й так організувати навчальний процес, щоб самостійне виконання учнями певних завдань поєднувалося з колективним обговоренням.

Необхідно також відмітити деякі цікаві особливості викладеного у помічниках теоретичного матеріалу. Так, під час розгляду теми "Момент інерції" автори пропонують ознайомлювати учнів із методами усного підрахунку моментів інерції тіл у деяких важливих випадках. А під час розгляду механічних коливань звертають увагу на резонанс швидкості.

Вважаю, що розробка подібних комп'ютерних помічників є вельми актуальною справою, як у світлі реформи системи середньої освіти, так і у зв'язку з переходом українських вищих навчальних закладів на Болонську систему.

Рецензент,
канд. фіз.-мат. наук,
заслужений вчитель України,
вчитель фізики УФМЛ — І.Л. Рубцова

11.06.2008

Рубцова

УФМЛ КНУ
Ідентифікаційний код 02125811

РЕЦЕНЗІЯ

на комп'ютерні помічники з тем
"МОМЕНТ ІНЕРЦІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА" і ***"МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ"***,
розроблені творчою групою у складі:
О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв, А.О. Носонова

В умовах переходу вищої школи України на Болонську систему актуальною є проблема організації самостійної роботи студентів із навчальним матеріалом. Неабиякі можливості у вирішенні цієї проблеми надає використання комп'ютерних засобів.

Комп'ютерні помічникі, розроблені О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєвим і А.О. Носоновою, дозволяють організувати самостійну роботу студентів з тем "Момент інерції твердого тіла" і "Механічні коливання". Навчальний матеріал викладено на слайдах так, що частину висновків та формул студенти мають отримати самостійно. Це дозволяє показати студентам, що чимало теоретичних результатів вони можуть одержати власними силами. А це, безумовно, позитивно впливає не лише на якість знань студентів, а і на їхню мотивацію до навчання.

Особливо важливою є розробка подібних комп'ютерних помічників з механіки, оскільки саме з неї розпочинається вивчення загального курсу фізики у вищому навчальному закладі. Використання таких помічників допоможе продемонструвати першокурсникам прийоми роботи із теоретичним матеріалом з фізики, сприятиме розвитку в них навичок самостійної роботи.

Рецензент,
канд. фіз.-мат. наук,
доцент, декан ФДП
Запорізького національного
технічного університету Є.П. Соколов

10.06.2008 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВІДДІЛ КАДРІВ

Підпис Соколова Є.П.
Засвідчую:
Начальник відділу кадрів
10.6.2008 р.

РЕЦЕНЗІЯ

НА КОМП'ЮТЕРНІ ПОМІЧНИКИ З ТЕМ
"МОМЕНТ ІНЕРЦІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА" і ***"МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ"***,

розроблені творчою групою у складі:
О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв, А.О. Носонова

Перехід на профільне навчання у старших класах школи, передбачений реформою середньої освіти, суттєво впливає на цілі, що постають перед учителем фізики. Якщо вести мову про фізико-математичний профіль навчання, то важливим є завдання підготовки учнів до вивчення фізики у вищих навчальних закладах. Мова йде не стільки про знання майбутніми абітурієнтами певних тем, скільки про наявність в них розвинутих здібностей до самоосвіти, адже відомо, що з переходом вищої школи України на Болонську систему кількість аудиторних занять значно зменшилася.

Комп'ютерні помічники, розроблені творчою групою у складі О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв і А.О. Носонова, дозволяють поєднати на уроці самостійну роботу учнів із колективним обговоренням отриманих ними результатів.

Матеріал, викладений на слайдах помічників, поєднується із запитаннями та завданнями, які звертають увагу учнів на істотні моменти, спонукають до власних роздумів і аналізу розглядуваної ситуації. За допомогою таких помічників вчителю значно легше організувати активну роботу учнів із теоретичним матеріалом.

Подібні комп'ютерні помічники можуть використовуватися учнями і під час самостійної роботи вдома, оскільки у структурі помічника передбачені слайди-відповіді.

Вважаю, що розробка подібних помічників є актуальною і потрібною справою.

Рецензент, відмінник
народної освіти України,
вчитель-методист,
Соросівський вчитель М.Б. Куліковський

10.06.2008 р.

СПИСОК ВКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Академик Леонид Исаакович Мандельштам. К 100-летию со дня рождения. — М.: «Наука», 1979. — 312 с.

2. Диалектика воспитания и самовоспитания творческой личности / В. И. Андреев. — Казань, 1988. — 238 с.

3.Андрєєв А.М. Завдання для забезпечення зворотнього зв'язку при поглибленому вивченні фізики / А.М. Андрєєв, О.А. Марченко // Сучасні технології в науці та освіті: Збірник наукових праць: В 3-х томах. — Кривий Ріг: Видавничий відділ КДПУ, 2003. — Т.2. — С. 3-8.

4.Андрєєв А.М. Застосування математичних знань для розв'язування фізичних задач / А.М. Андрєєв, О.А. Марченко // Фізика та астрономія в школі. — 2004. — №5. — С. 12-15.

5. Андрєєв А.М. Математична підтримка вивчення механічних коливань у курсі фізики середньої школи / А.М. Андрєєв, О.А. Марченко // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей вчителів фізики та астрономії. — Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський державний педагогічний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2003. — Вип. 9. — С. 82-84.

6.Андрєєв А.М. Програма математичної підготовки учнів до поглибленого вивчення механіки / А.М. Андрєєв, О.А. Марченко // Збірник наукових праць: Спеціальний випуск. — К.: Наук. світ, 2003. — С. 89-95.

7.Антоненко Є.І. Векторні рівняння в курсі механіки середньої школи / Є. І. Антоненко // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 8. — К.: Рад. шк, 1973. — С. 63-68.

8. Атаманчук П.С. Інноваційні технології управління навчанням фізики / П.С. Атаманчук. — Кам'янець-Подільський: К-ПДПУ, 1999. — 174 с.

9. Афанасьєва Н.І. Залежність якості засвоєння школярами і студентами навчального матеріалу з фізики від рівня розвитку їхнього формального мислення / Н.І. Афанасьєва, І.П. Кенєва, Ю.П. Мінаєв // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г Шевченка. Випуск 13. Серія: педагогічні науки: Збірник. У 2-х т. — Чернігів: ЧДПУ, 2002. — №13. — Т. 2. — С. 167-172.

10. Афанасьєва Н.І. Розробка засобів зворотного зв'язку для технологізації навчання фізики / Н.І. Афанасьєва, О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв // Наукові записки. — Випуск 51. — Серія: Педагогічні науки. — Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Вінниченка. — 2003. — Частина 2. — С. 3-8.

11. Афанасьєва Н.І. Психологічний аналіз стратегій засвоєння навчального матеріалу з фізики / Н.І. Афанасьєва, І.П. Кенєва, Ю.П. Мінаєв // Теорія та методика вивчення природничо-математичних і технічних дисциплін: Збірник науково-методичних праць. Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. Випуск 5. — Рівне: РДГУ, 2002. — С. 98-102.

12. Бабенко О.К. Нариси з методики викладання фізики. Ч. 1. Механіка / О.К. Бабенко, М.Й. Розенберг. — К.: Рад. школа. — 1955. — 328 с.

13. Балаш В.А. Задачи по физике и методы их решения: Пособие для учителя / В.А. Балаш. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Просвещение, 1983. — 432 с.

14. Балл Г.А. Теория учебных задач: Психолого-педагогический аспектт / Г.А. Балл. — М: Педагогика, 1990. — 184 с.

15. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии / В.П. Беспалько. — М.: Педагогика, 1989. — 192 с.

16. Білий М.С. Методика викладання фізики у восьмирічній школі / М. С. Білий. — К., "Рад. школа", 1962. — 380 с.

17. Білоус С.Ю. Як розвинути в учня якості дослідника, або методика "дослідницьких ланцюжків" (на матеріалі фізики). Навчально-методичний посібник / С.Ю. Білоус. — Запоріжжя, 2003. — 215 с.

18. Благодаренко Л.Ю. Особистісно-орієнтоване навчання фізики в педагогічних класах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : спец. 13.00.02 "Теорія і методика навчання фізики"/ Л.Ю. Благодаренко. — К., 2003. — 20 с.

19. Блонский П.П. Память и мышление / П.П. Блонский. — СПб.: Питер, 2001. — 288с.

20. Боков В.І. Формування поняття сили як векторної величини в 8-му класі / В.І. Боков // Преподавание физики в VI-VIII классах средней школы. Из опыта работы. Пособие для учителей. Под ред. В.А. Бурова. — М.: "Просвещение", 1976. — С. 52-54.

21. Бондар В.І. Модульно-рейтингова технологія вивчення навчальної дисципліни (на матеріалі дидактики) / В.І. Бондар. — К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 1999. — 49 с.

22. Бугаев А.И. Методика преподавания физики в средней школе: Теоретические основы: Уч пособие для студентов пед. институтов по физ.-мат. спец. / А.И. Бугаев. — М: Просвещение, 1981 — 288 с.

23. Бугаев А.И. Об определении физических понятий / А.И. Бугаев, А. И. Ляшенко // Физика в школе. — 1978. — №4. — С. 66-68.

24. Бугаєнко Г.О. Структурні аналогії і узагальнення знань з механіки: Посібник для вчителів / Г.О. Бугаєнко. — К.: Рад. школа, 1987. — 120 с.

25. Бугайов О.І. Концепція фізичної освіти у 12-річній загальноосвітній школі / О.І. Бугайов // Фізика та астрономія в школі. — 2001. — №6. — С. 6-13.

26. Бугайов О.І. Особливості формування понять про фізичні явища і величини / О.І. Бугайов // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 9. — К., 1974. — С. 111-119.

27. Будний Б.Є. Формування фундаментальних фізичних понять (теоретичні основи) / Б.Є. Будний. — К.: А.С.К., 1996. — 128 с.

28. Вагнеев А.А. Преподавание физики в 9 классе: Пособие для учителей / А.А. Вагнеев, Э.Д. Корж, В.П. Орехов. — 2-е изд., перераб. — М.: Просвещение, 1970. — 176 с.

29. Веккер Л.М. Психические процессы. Т. 2 / Л.М. Веккер — Ленинград, 1976. — 344 с.

30. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель.— М., 1969. — 576 с.

31. Виленкин Н.Я. Алгебра и математический анализ для 11 класса: Учеб. пособие для учащихся шк. и классов с углубл. изуч. математики / Н.Я. Виленкин, О.С. Ивашев-Мусатов, С.И. Шварцбурд. — 3-е изд. — М.: Просвещение, 1993. — 288 с.

32. Виленкин Н.Я. Математический анализ. Учеб. пособие для IX-X кл. сред. школ с матем. специализацией / Н.Я. Виленкин, С.И. Шварцбурд. — Изд. 2-е. — М., “Просвещение”, 1973. — 512 с.

33. Внеурочная работа по физике / [О.Ф. Кабардин, Э.М. Браверман, Г. Р. Глущенко и др.]; под ред. О.Ф. Кабардина — М.: Просвещене, 1983. — 223 с.

34. Волковыский Р.Ю. Определение физических понятий и величин / Р. Ю. Волковыский. — М.: Просвещение. — 1976. — 48 с.

35. Вольштейн С.Л. Методы физической науки в школе: Пособие для учителя / С.Л. Вольштейн, С.В. Позойский, В.В. Усанов; под ред. С.Л. Вольштейна. — Мн.: Нар. асвета, 1988. — 144 с.

36. Воронцов-Вельяминов Б.А. Астрономия: Учеб. для 10 кл. сред. шк. / Б.А. Воронцов-Вельяминов. — 17-е изд., перераб. — М.: Просвещение, 1987. — 159 с.

37. Выготский Л.С. Психология / Л.С. Выготский. — М.: Изд-во ЭКСМО-Пресс, 2000. — 1008 с.

38. Выготский Л.С. Собрание сочинений: В 6-ти т. Т. 2. Проблемы общей психологии / Л.С. Выготский. — М.: Педагогика, 1983. — 504 с.

39. Гальперин П.Я. Введение в психологию: Учебное пособие для вузов / П.Я. Гальперин. — 3-е изд. — М.: “Книжный дом “ Университет”, 2000. — 336 с.

40. Гальперин П.Я. Психология мышления и учение о поэтапном формировании умственных действий / П.Я. Гальперин // Исследования мышления в советской педагогике: Сборник статей. — М.: “Наука”, 1966. — С. 236-276.

41. Гельфгат И.М. Физика-9. Сборник задач / И.М. Гельфгат, И.Ю. Ненашев. — Харьков: “Гимназия”, “Ранок”, 2000. — 114 с.

42. Гельфгат І.М. 1001 задача з фізики з відповідями, вказівками, розв’язаннями / І.М. Гельфгат, Л.Е. Генденштейн, Л.А.Кирик. — Харків, 2001. — 352 с.

43. Генденштейн Л.Э. Физика. 9 класс: учебное пособие / Л.Э. Генденштейн. — Харьков: Гимназия, Ранок, 2000. — 240 с.

44. Гинецинский В.И. Знание как категория педагогики: Опыт педагогический когнитологии / В.И. Гинецинский. — Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1989. — 144 с.

45. Голин Г.М. Вопросы методологии физики в курсе средней школы: Кн. для учителя / Г.М. Голин. — М.: Просвещение, 1987. — 127 с.

46. Голин Г.М. Физики о преподавании физики / Г.М. Голин. — М., “Знание”, 1979. — 64 с.

47. Гончаренко С.У. Наука і навальний предмет / С.У. Гончаренко // Наукові записки. — Випуск 6. — Серія: Педагогічні науки. — Кіровоград: РВВ КДПУ ім. В. Вінниченка, 2006. — Частина 1. — С. 3-11.

48. Гончаренко С.У. Формування наукового світогляду учнів під час вивчення фізики: Посібник для вчителів / С.У. Гончаренко. — К.: Рад. школа, 1990. — 208 с.

49. Гончаренко С.У. Основні поняття і закони фізики / С.У. Гончаренко , О.І. Ляшенко. — К.: Рад. школа, 1986. — 286 с.

50. Гордеев И.И. О необходимости обучения анализу систем уравнений в школьном курсе физики / И.И. Гордеев // Преподавание физики в высшей школе. Научно-методический журнал. — №17. — М., 1999. — С. 5-6.

51. Грабарь Н.И. Применение математической статистики в педагогических исследованиях: непараметрические методы / Н.И. Грабарь, К.А. Краснянская. — НИИ содержания и методов обучения АПН СССР. — М.: Педагогика, 1977. — 136 с.

52. Гриденко О.І. До вивчення закону збереження імпульсу / О.І. Гриденко // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 12. — К., 1977. — С. 51-54.

53. Гузеев В.В. Образовательная технология: от приема до философии / В.В. Гузеев. — М.: Сентябрь, 1996. — 112 с.

54. Давыдов В.В. Виды обобщения в обучении (логико-психологические проблемы построения учебных предметов) / В.В. Давыдов. — М., “Педагогика”, 1972. — 424 с.

55. Давыдов В.В. Проблемы развивающего обучения: Опыт теоретического и экспериментального психологического исследования / В.В. Давыдов. — М.: Педагогика, 1986. — 240 с.

56. Державна підсумкова атестація в загальноосвітній навчальних закладах у 2004-2005 навчальному році. Фізика, 11 клас // Фізика та астрономія в школі. — 2005. —№1. — С. 2-4.

57. Державний стандарт базової і повної середньої освіти // Освіта України. — №5. — 20.01.04. — С. 1-13.

58. Дідович М.М. Систематизація знань учнів середньої школи про механічні та електромагнітні коливання / М.М. Дідович // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Випуск 36 (1). Серія: Педагогічні науки. — Чернігів, 2006. — С. 90-95.

59. Доблаев Л.П. Смысловая структура учебного текста и проблемы его понимания / Л.П. Доблаев. — М.: Педагогика, 1982. — 176 с.

60. Донченко М.Т. Про основні напрями взаємозв’язку фізики і математики в середній школі / М.Т. Донченко // З досвіду навчання фізики в школі. За ред. О.І. Бугайова. — К.: Рад. школа, 1980. — С. 38-50.

61. Дубровский В.Н. Релятивистский мир / В.Н. Дубровский, Я.А. Смородинский, Е.Л. Сурков. — М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. — 176 с.

62. Елизаров К.Н. Организация урока физики. Пособ. для учителей / К. Н. Елизаров. — Ленинград, 1956. — 208 с.

63. Ельникова Г.В. Совершенствование контроля и учета знаний учащихся в средней школе (на материале химии): дис. ... канд. пед. наук: 13.00. 02 / Ельникова Галина Васильевна. — Харьков, 1983. — 217 с.

64. Ефименко В.Ф. Методологические вопросы школьного курса физики / В.Ф. Ефименко. — М., “Педагогика”, 1976. — 224 с.

65. Ефремова А.И. Межпредметные связи физики и математики в 9-11 классах средней общеобразовательной школы: дис. … канд. пед. наук : 13.00.02 / Ефремова Александра Игоревна. — Одесса, 2001. — 223 с.

66. Заволока Н.Г. Методологические и логико-гносеологические основы учебно-познавательного процесса / Н.Г.Заволока. — Киев, “Вища школа”, 1986. — 228 с.

67. Задачи по физике. Учеб. пособие / [И.И. Воробьев, П.И. Зубков, Г.А . Кутузова и др.]; под ред. О.Я. Савченко. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1988. — 416 с.

68. Збірник завдань для державної підсумкової атестації з математики. Алгебра та початки аналізу. 11 клас. За редакцією З.І. Слєпкань. — Харків, “Гімназія”, 2002. — 160 с.

69. Збірник різнорівневих завдань для державної підсумкової атестації з фізики. — Харків: “Гімназія”, 2002. — 104 с.

70. Збірник тестових завдань для перевірки знань, умінь і навичок випускників загальноосвітніх шкіл, ліцеїв і гімназій (затверджений Міністерством освіти України 1993 р.)

71. Зверева Н.М. Активизация мышления учащихся на уроках физики: Из опыта работы. Пособие для учителей / Н.М. Зверева. — М.: Просвещение, 1980. — 112 с.

72. Зельдович Я.Б. Высшая математика для начинающих и ее приложения к физике / Я.Б. Зельдович. —М., 1968. — 576 с.

73. Зельдович Я.Б. Драма идей в познании природы (частицы, поля, заряды) / Я.Б. Зельдович, М.Ю. Хлопов. — М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. — 240 с.

74. Зинченко Т.П. Память в экспериментальной и когнитивной психологии / Т.П. Зинченко. — СПб.: Питер, 2002. — 320 с.

75. Знаменский П.А. Методика преподавания физики в средней школе. Пособие для учителей / П.А. Знаменский. — Ленинград, 1954. — 552 с.

76. Иванова Л.А. Активизация познавательной деятельности учащихся при изучении физики / Л.А. Иванова. — М., 1983. — 160 с.

77. Іваницький О.І. Сучасні технології навчання фізики в середній школі. Монографія / О.І. Іваницький — Запоріжжя: Прем’єр, 2001. — 266с.

78. Іваницький О.І. Тенденції технологізації навчання фізики в загальноосвітній школі / О.І. Іваницький, О.А. Марченко // Наукові записки. — Випуск 46. Серія: Педагогічні науки. — Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка. — 2002. — С. 62 -65.

79. Камин А.Л. Физика собственными силами. Часть I. (Программа развивающего обучения) / А.Л. Камин, А.А. Камин. — Харьков-Москва: ННМЦ “Развивающее обучение” — центр “ИНТОР”, 1996. — 88 с.

80. Карасова И.С. Изучение фундаментальных физических теорий в средней школе: Учебное пособие / И.С. Карасова. — Челябинск: ЧГПИ, 1991. — 103 с.

81. Касперський А.В. Розвиток інтелектуальних і творчих здібностей учнів / А.В. Касперський, Н.І. Поліхун // Збірник наукових праць. Педагогічні науки. Випуск 38. — Херсон: Видавництво ХДУ, 2005. — С. 80-84.

82. Кенєва І.П. Вимоги до математичної підготовки учнів для успішного оволодіння теоретичним матеріалом з механіки / І.П. Кенєва, О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Дидактики дисциплін природознавчо-математичної та технологічної освітніх галузей. — Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський державний педагогічний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2002. — Вип. 8. — С. 258-265.

83. Кенєва І.П. Фізико-математичні вправи на вступних іспитах до університету та олімпіадах для абітурієнтів: Навчальний посібник / І.П. Кенєва, Ю.П. Мінаєв, Н.І. Тихонська. — Запоріжжя: ЗНУ, 2005. — 98 с.

84. Кирик Л.А. Астрономия. Разноуровневые самостоятельные работы по 12-бальной системе с примерами решения задач / Л.А. Кирик, К.П. Бондаренко. — Харьков: "Гимназия", 2002. — 64 с.

85. Кирьянов Д.В. Самоучитель Mathcad 11 / Д.В. Кирьянов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 560 с.

86. Киттель Ч. Механика. Берклеевский курс физики. Т. 1 / Ч. Киттель, У. Найт, М. Рудерман. — Изд-е 2-е, стереотипное. Перевод с англ. М., Изд-во "Наука", 1975. — 480 с.

87. Кларин М.В. Педагогическая технология в учебном процессе. Анализ зарубежного опыта / М.В. Кларин. — М.: Знание, 1989. — 80 с.

88. Конфорович А.Г. Міжпредметні зв'язки при вивченні деяких тем з курсів фізики й математики / А.Г. Конфорович // Усовершенствование форм и методов изучения физики. Сб. статей. / Под ред. Е.В. Коршака. Сост. В.Г. Нижник. — К.: Рад. шк., 1982. — С. 5-14.

89. Кордун Г.Г. Використання математичного апарату для поглибленого вивчення фізики / Г.Г. Кордун, А.М. Сабо // Преподавание физики в школе. Сб. статей. Под. ред. Е.В. Коршака. Сост. В.Г. Нижник. — К: Радянська школа, 1980. — С. 9-13.

90. Коротяев Б.И. Учение — процесс творчекий: Кн. для учителя: Из опыта работы / Б.И. Коротяев. — 2-е изд., доп. и испр. — М.: Просвещение, 1989. — 159 с.

91. Коршак Є.В. Фізика, 11 кл.: Підручник для загальноосвіт.навч. закл. / Є.В. Коршак, О.І. Ляшенко, В.Ф. Савченко. — Київ; Ірпінь: ВТФ "Перун", 2004. — 288 с.

92. Коршак Є.В. Фізика, 9 кл.: Підручник для серед. загальноосвіт. шк. / Є.В. Коршак, О.І. Ляшенко, В.Ф. Савченко. — Київ; Ірпінь: ВТФ "Перун", 2000. — 232 с.

93. Костюк Г.С. Навчально-виховний процес: психологічний розвиток особистості / Г.С. Костюк / За ред. Л.М. Проколієнко. — К.: Рад. школа, 1989.

— 608 с.

94. Кремінський Б.Г. Формування сучасного наукового стилю мислення учнів в процессі навчання фізики: дис. … канд. пед. наук : 13.00.02 / Кремінський Борис Георгійович. — Київ, 1997. — 202 с.

95. Критерії оцінювання навчальних досягнень учнів у системі загальної середньої освіти // Освіта. — 31 січня7 лютого 2001 р. — С. 2-10.

96. Ксензова Г.Ю. Перспективные школьные технологии: Учебно-методическое пособие / Г.Ю. Ксензова. — М.: Педагогическое общество России, 2000. — 224 с.

97. Кудряцев Л.Д. Мысли о современной математике и ее изучении / Л. Д. Кудряцев. — М.: Наука, 1977. — 112 с.

98. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики / В.Е. Кузьмичев / Отв. ред. В.К. Тартаковский. — Киев: Наук. думка, 1989. — 864с.

99. Лекционные демонстрации по физике / [М.А. Грабовский, А.Б. Млодзеевский, Р.В. Телесин, М.П. Шаскольская , И.А. Яковлев]. — М., 1972. — 640 с.

100. Леонтьев А.Н. Избранные психологические произведения: В 2-х т. Т. 1 / А.Н. Леонтьев. — М.: Педагогика, 1983. — 392 с.

101. Лернер И.Я. Дидактические основы методов обучения / И.Я. Лернер. — М.: Педагогика, 1981. — 186 с.

102. Любимов К.В. Изучене векторных величин в VIII классе / К.В. Любимов, В.Н. Чувашов, А.А. Хорольский // Преподавание физики в VI-VIII классах средней школы. Из опыта работы. Пособие для учителей. Под ред. В.А. Бурова. — М.: “Просвещение”, 1976. — С. 43-52.

103. Ляшенко О.І. Взаємозв’язок теоретичного та емпіричного в навчанні фізики : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. пед. наук : спец. 13.00.02 “Методика навчання фізики” і 13.00.04 “Професійна педагогіка”/ О.І. Ляшенко. — К., 1979. — 24 с.

104. Ляшенко О.І. Формування фізичного знання в учнів середньої школи: Логіко-дидактичні основи / О.І. Ляшенко. — К.: Генеза, 1996. — 128 с.

105. Малафеев Р.И. Проблемное обучение физике в средней школе: Из опыта работы. Пособие для учителей / Р.И. Малафеев. — М.: Просвещение, 1980. — 127 с.

106. Малафеев Р.И. Развитие учащихся на основе проблемного обучения физике. Учебное пособие / Р.И. Малафеев. — Челябинск, 1975. — 158 с.

107. Малобродский Д.Л. Преподавание механики в 9 классе (Повт. – обобщающий раздел в класах и школах с угл. изуч. физики) / Д.Л. Малобродский, Л.С. Хижнякова. — М., «Просвещение», 1973. — 128 с.

108. Манкусь І.В. Узагальнення знань учнів з електродинаміки на основі рівнянь Максвелла / І.В. Манкусь // Фізика та астрономія у школі. — №2. — 2002. — С. 23-24.

109. Маргулис Є.Д. Математика на уроках фізики / Є.Д. Маргулис // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 8. — К.: Рад. шк, 1973. — С. 47-55.

110. Мартинюк М.Т. Науково-методичні засади навчання фізики в основній школі : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. пед. наук : спец. 13.00.02 “Теорія і методика навчання фізики”/ М.Т. Мартинюк. — Київ, 1999. — 34 с.

111. Марченко О.А. Вивчення гравітаційних сил у старшій школі фізико -математичного профілю / О.А. Марченко // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Випуск 36 (1). Серія: Педагогічні науки. — Чернігів, 2006. — С. 86-89.

112. Марченко О.А. Інтегративний курс «Мехматика» для старших класів фізико-математичного профілю / О.А. Марченко // Збірник наукових праць Кам’янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Дидактики дисциплін фізико-математичної та технологічної освітніх галузей. — Кам’янець-Подільський: Кам’янець-Подільський державний педагогічний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2004. — Вип. 10. — С. 117-119.

113. Марченко О.А. Розширення банку завдань для перевірки засвоєння учнями теоретичного матеріалу з механіки для урахування фізико-математичного профілю навчання у старшій школі / О.А. Марченко // Збірник наукових праць. Педагогічні науки. Випуск 43. — Херсон: Видавництво ХДУ, 2006. — С. 102 — 109.

114. Марченко О.А. Смислові елементи теоретичного матеріалу з механіки та методи їх вивчення у класах фізико-математичного профілю / О.А. Марченко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Особливості підготовки вчителів природничо-математичних дисциплін в умовах переходу на профільне навчання». Укладачі: Шарко В.Д. — Херсон: «Олді-Плюс», 2004. — С. 52-54.

115. Марченко О.А. Створення банку завдань для перевірки засвоєння учнями теоретичного матеріалу теми “Закон збереження моменту імпульсу” / О .А. Марченко // Освітнє середовище як методична проблема: збірник наукових праць. — Херсонський державний університет. Херсон: Видавництво ХДУ, 2006. — С. 123-124.

116. Марченко О.А. Формулювання цілей вивчення теоретичного матеріалу з механіки в поглибленому курсі фізики / О.А. Марченко // Вісник Запорізького національного університету: Збірник наукових статей. Педагогічні науки / Головний редактор Міщик Л.І. — Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2005. — С. 55-60.

117. Марченко О.А. Застосування мультимедійних засобів під час уведення поняття моменту інерції тіла / О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв // Збірник наукових праць Кам’янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника фізики в світлі сучасної освітньої парадигми. — Кам’янець-Подільський: Кам’янець-Подільський державний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2006. — Вип. 12. — С. 285-288.

118. Марченко О.А. Знайомство з рядом Тейлора і розвиток критичного мислення / О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв // Наукові записки. — Випуск 60.

Серія: Педагогічні науки. Частина 2. — Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка. — 2005. — С.77-84.

119. Марченко О.А. Інтеграція знань з механіки та математики в старшій школі фізико-математичного профілю / О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Випуск 30. Серія: Педагогічні науки. — Чернігів, 2005. — С. 142-146.

120. Марченко О.А. Про використання ряду Тейлора при вивченні поглибленого курсу фізики / О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного університету: Серія педагогічна: Дидактика фізики в контексті орієнтирів Болонського процесу. — Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський державний педагогічний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2005. — Вип. 11. — С.153-156.

121. Марченко О.А. Усні задачі високого рівня з механіки / О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв // Фізика та астрономія в школі. — 2005. —№1. — С. 36-41.

122. Марченко О.А. Комп'ютерний помічник для організації самостійної роботи учнів під час розгляду теми "Механічні коливання" / О.А. Марченко, Ю. П. Мінаєв, О.А. Носонова // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету. Випуск 46. Том 1. Серія: Педагогічні науки. — Чернігів, 2007. — С. 105-109.

123. Марченко О.А. Вплив системи оцінювання навчальних досягнень на вибір методів навчання / О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв, М.М. Циганок // Збірник наукових праць. Випуск 24. — Херсон: Айлант, 2001, — С. 37-44.

124. Марченко О.А. Застосування спеціальних завдань для активного оволодіння теоретичним матеріалом з фізики / О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв, М. М. Циганок // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Дидактики дисциплін природознавчо-математичної та технологічної освітніх галузей. — Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільський державний педагогічний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2000. — Вип. 6. — С. 165-169.

125. Марченко О.А. Проблема формування і розвитку в учнів середньої школи логічної пам'яті засобами фізики як навчального предмета / О.А. Марченко, Ю.П. Мінаєв, М.М. Циганок // Збірник наукових праць Кам'янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Модель середньої фізичної освіти в умовах переходу на 12-річний термін навчання. — Коломия: ВПТ "ВІК", 2001. Вип. 7. — С. 148-153.

126. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности: Учеб. пособие для физ. спец. Вузов / А.Н. Матвеев. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1986. — 320 с.

127. Мельничук С.В. Проблеми викладання фізики та астрономії в контексті 12-річної освіти / С.В. Мельничук, П.Ф. Пшенічка // "Стратегічні проблеми формування змісту курсів фізики та астрономії в системі загальної середньої освіти": Матеріали науково-практичної конференції. — Львів.: Видавничий центр Львівського національного університету імені Івана Франка, 2002. — С. 61-64.

128. Методика навчання фізики у восьмрчній школі / За ред. М.Й. Розенберга. — К.: Рад. школа, 1969. — 268 с.

129. Методика преподавания физики в 6-7 классах средней школы / Под ред. В.П. Орехова и А.В. Усовой. Изд. 3-е, перераб. — М., Просвещение, 1976. — 384 с.

130. Методика преподавания физики в 8-10 классах средней школы / Под ред. В.П. Орехова и А.В. Усовой. Изд. 3-е, перераб. — М., Просвещение, 1980. — 320 с.

131. Методика преподавания физики в восьмилетней школе. Пособие для учителей и студентов пед. вузов / Под ред. А.В. Перышкина. — М., 1963. — 318 с.

132. Методика преподавания физики в средней школе. Общетеоретические вопросы: Учеб. пособие для студ.-заочн. пед. институтов. — М., “Просвещение”, 1968. — 199 с.

133. Методика факультативных занятий по физике: Пособие для учителей / [О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов и др.]; под ред. О.Ф. Кабардина. — М.: Просвещене, 1980. — 191 с.

134. Минаев Ю.П. Максимизация знаний: выбор образовательной стратегии методом математического моделирования / Ю.П. Минаев, П.И. Самойленко, М.Н. Циганок // Приложение к ежемесячному теоретическому и научно-методическому журналу “Среднее профессиональное образование” №3 (май 2001 г.). — С. 147-160.

135. Минаев Ю.П. Проблема разработки таксономии требований к абитуриенту физического факультета университета / Ю.П. Минаев, Н.И. Тихонская // Збірник наукових праць Кам’янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей вчителів фізики та астрономії. — Кам’янець-Подільський: Кам’янець-Подільський державний педагогічний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2003. — Вип. 9. — С. 108-110.

136. Миргородський Б.Ю. Демонстраційний експеримент з фізики: Механіка. Посібник для вчителів / Б.Ю. Миргородський, В.К. Шабаль. — К.: Рад. Школа, 1980. — 144 с.

137. Мисечко Є.М. Формування понять ваги, невагомості і перевантаження в шкільному курсі фізики / Є.М. Мисечко // Усовершенствование форм и методов изучения физики. Сб. стетей. / Под ред. Е .В. Коршака. — К.: Рад. школа, 1982. — С. 64-71.

138. Мінаєв Ю.П. Математична підтримка поглибленого курсу фізики / Ю.П. Мінаєв // Збірка доповідей II Конференції Соросівських Учителів. — Київ , 1996. — С. 195-204.

139. Мінаєв Ю.П. Проблема навчального посібника для математичної підтримки поглибленого курсу фізики / Ю.П. Мінаєв, І.П. Кенєва, А.М. Андрєєв // Наукові записки Тернопільського державного педагогічного університету. Серія: Педагогіка. №6. — 2002. — С. 102-107.

140. Мінаєв Ю.П. Елементи методики ознайомлення учнів із синтаксичними засобами навчальних фізичних текстів / Ю.П. Мінаєв, Н.І. Тихонська // Збірник наукових праць. Педагогічні науки. Вип. 43. — Херсон: Видавництво ХДУ, 2006. — С. 114-121.

141. Мултановский В.В. Развитие мышления учащихся в курсе физики / В.В. Мултановский. — Киров, 1976. — 80 с.

142. Мултановский В.В. Физические взаимодействия и картина мира в школьном курсе. Пособие для учителей / В.В. Мултановский. — М., “Просвещение”, 1977. — 168 с.

143. Научные основы школьного курса физики / Под ред. С.Я. Шамаша, Э.Е. Эвенчик. — М.: Педагогика, 1985. — 240 с.

144. Ненюк Г.Ф. Уроки фізики у 8 класі / Г.Ф. Ненюк. — К.: Рад. школа, 1980. — 192 с.

145. Нестеренко Ф.П. Математика в шкільному курсі фізики / Ф.П. Нестеренко. — К., Рад. школа, 1981. — 104 с.

146. Нечет В.І. Основи теорії навчання фізики в загальноосвітній середній школі / В.І. Нечет. — Запоріжжя: АТ “Мотор Січ”, 1997. — 201 с.

147. Норман Д. Память и научение: Пер. с англ. / Д. Норман. — М.:Мир, 1985. — 160 с.

148. Нурминский И.И. Статистические закономерности формирования знаний и умений учащихся / И.И. Нурминский, Н.К. Гладишева. — М.: Просвещение, 1991. — 224 с.

149. Огурцов В. Використання математичних знань у процесі розв’язування задач з фізики” / В. Огурцов, Ф.М. Гарєєва // Фізика та астрономія у школі. — №1. — 2002. — С. 52-55.

150. Одинцова Н.И. Различные подходы к обучению теоретическому методу познания в средней школе / Н.И. Одинцова // Преподавание физики в высшей школе. Научно-методический журнал. — №17. — М., 1999. — С. 25-28.

151. Осадчук Л.А. Методика преподавания физики / Л.А. Осадчук. — К., 1984.

152. Осауленко Л.Б. Роль математики під час вивчення механічних рухів у курсах фізики та астрономії / Л.Б. Осауленко // Фізика та астрономія у школі. — №5. — 2005. — С. 20-22.

153. Основы методики преподавания физики в средней школе / [В.Г. Разумовский, А.И. Бугаев, Ю. И. Дик и др.]; под. ред. А.В. Перышкина и др. — М.: Просвещение, 1984. — 398 с.

154. Особливості структури вивчення фізики у 12-річній школі / [Є.В. Коршак, М.І. Шут, Г.П. Грищенко, В.Ф. Савченко] // Зб. наук. праць Кам’янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника фізики в світлі сучасної освітньої парадигми — Кам’янець-Подільський: Кам’янець-Подільський державний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2001. — Вип. 7. — С. 40-43.

155. Павленко А.І. Методика навчання учнів середньої школи розв’язуванню і складанню фізичних задач: (теоретичні основи) / А.І. Павленко

/ Наук. ред. С.У. Гончаренко. — К.: ТОВ “Міжнар. фін. агенція”, 1997. — 177 с.

156. Пастернак Н.В. До методики викладання теми “відносність руху” / Н.В. Пастернак, Є.С. Клос // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 16. — К., 1980. — С. 39-46.

157. Педагогика: педагогические теории, системы, технологии: Учеб. пособие для студ. сред. пед. учеб. заведений / [С.А. Смирнов, И.Б. Котова, Е.Н. Шиянов, Т.И. Бабаева и др.]; под ред. С.А. Смирнова. — М.: Академия, 1999. — 544 с.

158. Пинский А.А. Задачи по физике. Учебное пособие / А.А. Пинский. — Главная редакция физико-математической литературы издательства “Наука” . — М., 1977. — 288 с.

159. Пинский А.А. Формирование у учащихся общих физико-математических понятий / А.А. Пинский, Т.С. Самойлова, В.В. Фирсов // Физика в школе. — №2. — 1986. — С. 50-52.

160. Пономарев Я.А. Психология творческого мышления / Я.А. Пономарев. — Изд-во академии педагогич. наук РСФСР. — М., 1960. — 352 с.

161. Попов И.С. Об усвоении учащимися нового материала / И.С. Попов // Советская педагогика. — №7. — 1966. — С. 26-37.

162. Практический интеллект / [Р.Дж. Стернберг, Дж.Б. Форсайн, Дж. Хедланд и др.] — СПб.: Питер, 2002. — 272 с.

163. Преподавание физики и астрономии в средней школе по новым программам. Пособие для учителей / Под ред. Л.И. Резникова. — М., “Просвещение”, 1970. — 336 с.

164. Програма для профільних класів загальноосвітніх навчальних закладів з українською мовою навчання. Фізика, 10-11 класи. — Київ, “Педагогічна преса”, 2004. — 144 с.

165. Програми для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. Астрономія. 7-12 класи. — Київ, 2005. — 81 с.

166. Програми для загальноосвітніх навчальних закладів: Фізика, 7-11 класи. — К.: Шк. Світ, 2001.

167. Ращинський І.І. Узгодження вивчення курсів фізики й математики у VIII класі / І.І. Ращинський // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 9. — К.: Рад. шк, 1974. — С. 41-48.

168. Резников Л.И. Методика преподавания физики в средней школе / Л. И. Резников, С.Я. Шамаш, Э.Е. Эвенчик. — М.: “Просвещение”, 1974. — 238 с.

169. Резников Л.И. Методика преподавания физики в средней школе. Т. 1. Механика / Л.И. Резников, Э.Е. Эвенчик, В.Ф. Юськович. — М., 1958. — 288 с.

170. Рубинштейн С.Л. Основы общей психологии / С.Л. Рубинштейн. — СПб.: Питер Ком, 1999. — 720 с.

171. Рысс В.Л. Контроль знаний учащихся: Исследование на материале учебного пердмета химии / В.Л. Рысс. — М.: Педагогика, 1982. — 80 с.

172. Савельев И.В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х т. Т. 1. Механика. Молекулярная физика / И.В. Савельев. — 3-е изд., испр.— М.: Наука . Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. — 432 с.

173. Савченко Н.Е. Ошибки на вступительных экзаменах по физике / Н. Е. Савченко. — Минск, “Вышейш. школа”. 1975. — 160 с.

174. Самсонова А.В. Методика преподавания кинематики. Пособие для учителей / А.В. Самсонова. — К.: Рад. школа, 1987. — 80 с.

175. Самсонова Г.В. Вивчення законів динаміки в школі / Г.В. Самсонова. — К.: Рад школа, 1982. — 96 с.

176. Самсонова Г.В. Міжпредметні зв’язки з математикою під час вивчення кінематики / Г.В. Самсонова // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 16. — К.: Рад. шк, 1980. — С. 46-53.

177. Самсонова Г.В. Принципи відносності Галілея в курсі механіки середньої школи / Г.В. Самсонова // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. — К., 1973. — Вип. 8. — С. 68-74.

178. Самсонова Г.В. Про удосконалення методики вивчення першого закону динаміки / Г.В. Самсонова // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 11. — К., 1976. — С. 38-45.

179. Самсонова Г.В. Реалізація внутрішніх зв’язків навчального предмета при вивченні третього закону Ньютона / Г.В. Самсонова // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 12. — К., 1977. — С. 42-50.

180. Сборник качественных вопросов и задач по общей физике: Учеб. пособие для втузов / Е.И. Бабаджан, В.И. Гервис, В.М. Дубовик, Э.А. Нерсесов. — М: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. — 400 с.

181. Свитков Л.П. До вивчення реактивного руху в 8-му класі / Л.П. Свитков // Преподавание физики в VI-VIII классах средней школы. Из опыта работы. Пособие для учителей. Под ред. В.А. Бурова. — М.: “Просвещение”, 1976. — С. 55-56.

182. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии / Г.К. Селевко. — М.: Народное образование, 1998. — 256 с.

183. Сергеев А.В. Теория и эксперимент в историческом развитии физического познания / А.В. Сергеев // Збірник наукових праць Кам’янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Методологічні принципи формування фізичних знань учнів і професійних якостей вчителів фізики та астрономії. — Кам’янець-Подільський: Кам’янець-Подільський державний педагогічний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2003. — Вип. 9. — С. 68-70.

184. Сергєєв О.В. Підходи до тлумачення поняття “педагогічна технологія” і класифікацій педагогічних технологій / О.В. Сергєєв // Наукові записки. — Випуск 51. — Серія: Педагогічні науки. — Кіровоград: РВЦ КДПУ ім. В. Винниченка. — 2003. — Частина 1. — С. 72-77.

185. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 1. Механика / Д.В. Сивухин. — М., 1974. — 520 с.

186. Сидоренко Е.В. Методы математической обработки в психологии / Е.В. Сидоренко. — СПб.: Речь, 2006. — 350 с.

187. Синяков А.З. Об использовании понятия производной в курсе физики средней школы / А.З. Синяков // Физика в школе, 1976. — №4. — С. 37-41.

188. Слєпкань З.І. Методика навчання математики. Підруч. для студ. мат . спеціальностей пед. навч. Закладів / З.І. Слєпкань. — К.: Зодіак-ЕКО, 2000. — 512 с.

189. Содержание углубленного изучения физики в средней школе. Физико-математические и прикладные предметы / Под ред. Л.И. Резникова. — М., “Педагогика”, 1974. — 208 с.

190. Соколов А.Н. Внутренняя речь и мышление / А.Н. Соколов. — М., “Просвещение”, 1967. — 248 с.

191. Соколов И.И. Методика преподавания физики в средней школе / И. И. Соколов. — М., 1959. — 374 с.

192. Стадніченко С.М. Методика вивчення молекулярної фізики на основі особистісно-орієнтованої технології в умовах профільного навчання: дис . … канд. пед. наук : 13.00.02 / Стадніченко Світлана Миколаївна — Кіровоград , 2007. — 208 с.

193. Стрелков П.С. Механика / П.С. Стрелков. — 3-е изд., переработанное. — М.: Издательство «Наука», 1975. — 560 с.

194. Стучинська Н.В. Роль і місце математичних методів у курсі фізики сучасної середньої школи / Н.В. Стучинська // Збірник наукових праць Кам’янець-Подільського державного педагогічного університету: Серія педагогічна: Проблеми дидактики фізики та шкільного підручника фізики в світлі сучасної освітньої парадигми — Кам’янець-Подільський: Кам’янець-Подільський державний університет, інформаційно-видавничий відділ, 2006. — Вип. 12. — С. 79-82.

195. Талызина Н.Ф. Педагогическая психология: Учеб. для студ. сред. пед. учеб. Заведений / Н.Ф. Талызина. — 3-е изд., стереотип. — М.: Издательский центр «Академия», 2001. — 288 с.

196. Теория и методика обучения физике в школе: Общие вопросы: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. завадений / [С.Е. Каменецкий, Н.С. Пурышева, Н.Е. Важеевская и др.]; под ред. С.Е. Каменецкого, Н.С. Пурышевой. — М.: Издательский центр “Академия”, 2000. — 368 с.

197. Теплицький І.О. Необмежені можливості та можливі обмеження застосувань комп’ютера у фізичному лабораторному експерименті / І.О. Теплицький, С.О. Семеріков // Фізика та астрономія у школі. — 2004. — №2. — С. 47-50.

198. Типовые програмы факультативных курсов. Механика // Физика в школе, 1976 .— №4. — С. 46-48.

199. Тихонська Н.І. Методика навчання мови фізики учнів середньої загальноосвітньої школи: дис... канд. пед. наук : 13.00.02 / Тихонська Наталія Іванівна.— К., 2007. — 211 с.

200. Тихонська Н.І. Про розробку методики навчання мови фізики учнів середньої загальноосвітньої школи / Н.І. Тихонська // Вісник Чернігівського державного педагогічного університету імені Т.Г. Шевченка. — Вип. 30. Серія: педагогічні науки. Чернігів: ЧДПУ. — 2005. — С. 226-230.

201. Тищук В.І. Стан та перспективи розвитку системи навчального фізичного експерименту / В.І. Ти щук // Збірник наукових праць: Спеціальний

випуск / Гол. ред. В.Г. Кузь. — К.: Наук. світ, 2003. — С. 215-222.

202. Туришев І.К. Викладання фізики у 8 класі: Посібник для вчителів / І .К. Туришев, Ю.І. Лук'янов. — К.: Рад школа, 1979. — 174 с.

203. Усова А.В. Психолого-дидактические основы формирования у учащихся научных понятий: Учеб. пособие / А.В. Усова. — Челябинск, 1988. — 89 с.

204. Усова А.В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения / А.В. Усова. — М.: Педагогика, 1986. — 176 с.

205. Усова А.В. Об усвоении учащимися понятий динамики в VIII классе / А.В. Усова, В.В. Завьялов // Преподавание физики в VI-VIII классах средней школы. Из опыта работы. Пособие для учителей. Под ред. В.А. Бурова. — М.: "Просвещение", 1976. — С. 56-59.

206. Факультативный курс физики. 8 кл. Пособие для учащихся / [О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, А.В. Пономарева и др.]. — М., Просвещение, 1973. — 206 с.

207. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т.1 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. — М., 1976. — 440 с.

208. Физика: Механика: 9 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики / [М.М. Балашов, А.И. Гомонова, А.Б. Долицкий и др.]; под ред. Г.Я. Мякишева . — М.: Дрофа, 1996. — 496 с.

209. Физика: Учеб. пособие для 10 кл. шк. и классов с углубл. изуч. физики / [О.Ф. Кабардин, В.А. Орлов, Э.Е. Эвенчик и др.]; под ред. А.А. Пинского. — 2-е изд. — М.: Просвещение, 1995. — 415 с.

210. Фридман Л.М. Педагогический опыт глазами психолога: Кн. для учителя / Л.М. Фридман. — М.: Просвещение, 1987. — 224 с.

211. Холодная М.А. Психология интеллекта. Парадоксы исследования / М.А. Холодная. — 2-е изд., перераб. и доп. — СПб.: Питер, 2002. — 272 с.

212. Хрестоматия по общей психологии. Психология памяти / Под. ред. Ю.Б. Гиппенрейтер, В.Я. Романова. — М., Изд-во Моск. Ун-та, 1979. — 272 с.

213. Хуторской А.В. Современная дидактика. Учебник для вузов / А.В. Хуторской. — СПб: Питер, 2001. — 544 с.

214. Цеков Х. Логічна послідовність введення понять сили і маси та другого закону Ньютона / Х. Цеков // Методика викладання фізики. Респ. наук.-метод. збірник. Вип. 12. — К., 1977. — С. 34-42.

215. Циганок М.М. Розв'язування фізичних задач з динамічною структурою змісту в сучасній занальноосвітній школі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук : спец. 13.00.02 "Теорія і методика навчання фізики"/ М.М. Циганок. — К, 2001. — 19 с.

216. Чернилевский Д.В. Технология обучения в высшей школе. Учебное издание / Д.В. Чернилевский, О.К. Филатов / Под ред. Д.В. Чернилевского. — М.: «Экспедитор», 1996. — 288 с.

217. Чернявський В.В. Розвиток мислення учнів під час вивчення фізики за модульною технологією (на матеріалі електродинаміки): дис... канд. пед. наук : 13.00.02 / Чернявський Василь Васильович — К., 2007. — 217 с.

218. Шамало Т.М. Учебный эксперимент в процессе формирования физических понятий: Кн. для учителя / Т.М. Шамало. — М.: Просвещение, 1986. — 96 с.

219. Шаталов В.Ф. Куда и как исчезли тройки: Из опыта работы школ г. Донецка / В.Ф. Шаталов / Предисл. В.В. Давыдова. — М.: Педагогика, 1979. — 136 с.

220. Шахмаев Н.М. Физический эксперимент в средней школе: Механика. Молекулярная физика. Электродинамика / Н.М. Шахмаев , В.Ф. Шилов. — М.: Просвещение, 1989. — 255 с.

221. Швець В.О. Міжпредметні зв'язки математики і фізики: стан, проблеми, перспективи / В.О. Швець, Л.М. Бойко // Фізика та астрономія у школі. — №6. — 2002. — С. 21-25.

222. Шкіль М.І. Алгебра і початки аналізу: Проб. підруч. для 11 кл. шк. та кл. з поглибл. вивченням математики / М.І. Шкіль, Т.В. Колесник, Т.М. Хмара. — К.: Освіта, 1994. — 304 с.

223. Шубина Л.С. Факультативные занятия как средство развития познавательных интересов школьников / Л.С. Шубина // Активность школьников в процессе воспитания и обучения. Сб. статей. Том №81. — Пермь, 1971. — С. 177-187.

224. Эйнштейн А. Физика и реальность. Сборник статей / А. Эйнштейн. — М., 1965. — 360 с.

225. Эрдниев П.М. Укрупнение дидактических единиц в обучении математике: Кн. для учителя / П.М. Эрдниев, Б.П. Эрдниев. — М.: Просвещение, 1986. — 255 с.

226. Яворский Б.М. Основы физики. Т.1 / Б.М. Яворский, А.А. Пинский. — М., 1974. — 496 с.

227. Education and Technology. Reflection on Computing in Classrooms / Ed. by Charles Fisher, David C. Dwyer, Keith Yocam. — San Francisco, 1996. — 314 p.

228. Millarh J. Beyond 2000: Science education for the Future / J. Millarh, J. Osborne — London: King's college, 2000. — 65 p.

229. Phillip C. Schlechty. Schools for the 21st Century / C. Phillip. — San Francisco, 1990. — 164 p.

230. Reibel J. Institute for Learning Technologies: A Pedagogy for the 21st Century / J. Reibel. — New York: Institute for Learning Technologies, 1994. — 325 p.