Каленик В.І., Каленик М.В.

Лекційно-практичні заняття з методики викладання окремих тем шкільного курсу фізики

Частина 1

МЕХАНІКА

Суми
СумДПУ ім. А.С.Макаренка
2005р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. А.С.МАКАРЕНКА

КАЛЕНИК В.І., КАЛЕНИК М.В.

Лекційно-практичні заняття з методики викладання окремих тем шкільного курсу фізики

Частина 1
Механіка

Навчальний посібник
для студентів фізико-математичних факультетів
педагогічних університетів

Суми
СумДПУ ім. А.С.Макаренка
2005

УДК
ББК
К 17

Друкується згідно з рішенням ученої ради Сумського
державного педагогічного університету ім. А.С. Макаренка

Рецензенти:

Жук Ю.О. – заступник директора з наукової роботи інституту засобів навчання Академії педагогічних наук України, кандидат педагогічних наук, доцент.

Павленко А.І. – завідувач кафедри дидактики природничо-математичних дисциплін Запорізького обласного інституту післядипломної педагогічної освіти, доктор педагогічних наук, професор.

К 17 В.І.Каленик, М.В.Каленик.

Лекційно-практичні заняття з методики викладання окремих тем шкільного курсу фізики Ч.!. Механіка /Навчальний посібник. – Суми: СумДПУ ім. А.С. Макаренка, 2005. – с., іл.

ISBN

У посібнику містяться конспекти лекцій з методики викладання окремих тем шкільного курсу фізики й інструкції до практичних занять, у які входять завдання до самостійної роботи студентів з підготовки до цих занять і їх плани.

Для студентів фізико-математичних факультетів педагогічних університетів, викладачів методики навчання фізики.

УДК
ББК

ISBN

Передмова

Складовою змісту методики навчання фізики – вузівського навчального предмета – є питання вивчення окремих тем шкільного курсу фізики (спеціальна методика навчання фізики).

Водночас, аналіз змісту посібників з методики навчання фізики, призначених для вчителів або студентів, указує на те, що найбільш проблемними є зміст й організація навчальних занять зі студентами, присвячених саме цій групі питань. Цьому є багато причин: періодичні зміни змісту й структури шкільного курсу фізики – його програм і відповідних навчальних посібників; різноманітність пропонованих систем уроків – способів вивчення питань програми з фізики, що є результатом творчого підходу їх авторів до організації навчального процесу; розбіжності у визначенні змісту окремих питань даної програми та інші. Проблемність цієї частини змісту методики навчання фізики в даний час зумовлена й невизначеністю багатьох питань, пов'язаних із впровадженням у загальноосвітніх навчальних закладах України профільного навчання й переходом на 12-річну загальну освіту.

У навчальних посібниках для студентів фізмат факультетів педагогічних університетів, в яких розкрито зміст лекцій й практичних занять зі спеціальної методики навчання фізики, пропонується один з варіантів подолання вказаних труднощів, який ґрунтується на досвіді роботи їх авторів.

Автори посібників даної групи виходили з наступного:

1. Істотна ознака методики навчання фізики – навчального предмета – це його спрямованість на безпосередню підготовку майбутніх учителів фізики до їх фахової професійної діяльності. Це означає, що будь-яка складова змісту даного навчального предмета повинна розглядатися в контексті організації навчального процесу з фізики в загальноосвітніх навчальних закладах і формування в студентів відповідних умінь.

2. У методиці навчання фізики – навчальному предметі – відсутня "автономізація" окремих складових її змісту. Так, питання вивчення компонентів змісту шкільного курсу фізики (одиниць цього змісту – явищ, понять, законів тощо) не тільки органічно пов'язані із загальною методикою навчання фізики, а й уміщені в зміст відповідних лекцій. У загальній методиці навчання фізики розкривається структура й зміст спільної діяльності вчителя й учнів під час вивчення будь-якого компонента змісту шкільного курсу фізики. Водночас, у ній визначені узагальнені плани цієї діяльності під час вивчення конкретних груп таких компонентів – стратегії в їх вивченні [10].

Провідною ідеєю в організації лабораторних занять зі шкільного фізичного експерименту є усвідомлення того, що кожний демонстраційний або лабораторний дослід, кожна фронтальна лабораторна робота мають сенс тільки в контексті діяльності з вивчення конкретного навчального матеріалу. Тому, під час лабораторних занять, у робочих групах проведення будь-якого досліду є елементом ділової гри – один зі студентів виконує роль вчителя, а інший – учня. У кінці кожного заняття, по-черзі кожна робоча група підготовлює і проводить із всією підгрупою студентів весь урок або його фрагмент з використанням фізичних дослідів [8, 9].

3. Студент повинен мати можливість скористатися описом будь-якого компонента змісту шкільного курсу фізики, поданого у вигляді повної системи тверджень про його істотні ознаки. Це стає підґрунтям пошуку способу введення істотних ознак [11].

Таким чином, під час лекцій із загальної методики навчання фізики, лабораторних занять з навчального фізичного експерименту студенти ознайомлюються з організацією сучасного навчального процесу, стратегіями у вивченні окремих груп компонентів змісту шкільного курсу фізики, набувають певний досвід підготовки й проведення навчальних занять – застосування стратегій вивчення окремих груп компонентів до введення вказаних систем істотних ознак.

Тому, під час лекцій зі спеціальної методики навчання фізики, доцільно узагальнити зміст компонентів змісту шкільного курсу фізики, поданого в навчальній та методичній літературі.

При такому підході зміст лекцій з методики вивчення окремих тем шкільного курсу фізики не залежить від тих впливів, які пов'язані з розвитком змісту й структури навчального предмета й суб'єктивними поглядами на предмет і процес навчання авторів навчальних і методичних посібників.

На цих лекціях доцільно розглянути логічні зв'язки між питаннями окремих тем шкільного курсу фізики, які впливають на послідовність їх вивчення.

Уміння організації спільної діяльності вчителя й учнів на всіх етапах циклу навчального процесу [10] продовжує формуватися і на практичних заняттях з методики вивчення окремих тем шкільного курсу фізики. На відміну від лабораторних занять [8, 9], на яких більше уваги приділяється методиці і техніці шкільного фізичного експерименту, на цих практичних заняттях, поряд з накопиченням у студентів досвіду в організації навчального процесу, необхідно підготувати майбутніх учителів до організації навчальної діяльності учнів, пов'язаної з розв'язуванням практичних задач.

Навчальна, пізнавальна, практична задачі – назви типів задач, що є результатом їх класифікації за ознакою – їх роллю в структурі циклу навчального процесу. Одна й та сама задача може відігравати роль навчальної, пізнавальної або практичної задачі. Практичні задачі, які традиційно називають фізичними, – це задачі, для розв'язку яких в учнів є необхідні теоретичні знання й треба змогти ними скористатися в конкретній практичній ситуації.

Формування вмінь розв'язувати практичні задачі певного типу розпочинається з вивчення відповідного компоненту змісту шкільного курсу фізики, на що вказує особливість структури і змісту циклу навчального процесу – у ньому, одночасно з вивченням нового матеріалу, формуванням пізнавальних умінь здійснюється пошук способу розв'язку навчальної задачі з наступною його демонстрацією і застосуванням у різних практичних ситуаціях.

Навчальна задача орієнтована на загальний спосіб діяльності з розв'язування практичних задач, у яких застосовується компонент змісту курсу фізики, що вивчається. Це вказує на необхідність опису тієї системи дій, яка є спільною для задач цієї групи.

Отже, практичні заняття з методики вивчення окремих тем шкільного курсу фізики мають на меті:

а) продовжити формування в студентів умінь вибору дидактичного матеріалу для введення істотних ознак понять;

б) продовжити формування в студентів умінь організації спільної діяльності вчителя й учнів у циклах навчального процесу;

в) досягти усвідомлення студентами взаємозв'язку між введенням понять й формуванням в учнів способів діяльності з їх застосування до конкретних ситуацій;

г) ознайомити студентів з методичними рекомендаціями, зокрема, з алгоритмічними приписами до розв'язування окремих типів практичних задач;

д) закріпити знання студентами змісту головних понять шкільного курсу фізики.

Дані практичні заняття поділяються на дві групи:

1) заняття, головна мета яких – визначення логіки вивчення певного компонента змісту шкільного курсу фізики;

2) заняття, головна мета яких – ознайомлення студентів з методами розв'язування груп практичних задач.

Головною особливістю організації цих занять є приділення великої уваги самостійній роботі студентів, вважаючи, що вони мають певні знання з організації навчального процесу і розв'язування практичних задач, отримавши їх на попередніх заняттях з методики навчання фізики і під час вивчення фізики в школі та загальної фізики у ВНЗ.

В організації практичних занять, на відміну від традиційної, самостійна робота студентів з теми заняття, передує їх проведенню.

Це стає можливим при наявності даної групи навчальних посібників, у яких у першій їх частині викладено зміст лекцій, у другій – містяться інструкції до практичних занять.

Предметом діяльності на практичному занятті першої групи є методика вивчення вибраних понять з певної теми, з якими пов'язані типи практичних задач, уміння розв'язувати які доцільно сформувати в учнів.

У завданні до самостійної роботи студентів з підготовки до заняття вказано:

1. Пригадати зміст понять: …………

2. Запропонувати способи введення істотних ознак, того поняття, логіка вивчення якого розглядається, розв'язуючи такі пізнавальні задачі: …………

До понять, зміст яких повинні знати студенти, належать поняття, що входять у дану тему курсу фізики, зокрема, і те поняття, процес вивчення якого буде розглядатися.

Отже, повторюючи зміст останнього поняття, студенти усвідомлюють мету спільної діяльності вчителя й учнів у відповідному циклі навчального процесу.

Пізнавальні задачі формулюються у вигляді запитань, відповіді на які і є твердженнями про істотні ознаки, компоненту змісту курсу фізики, що вивчається. Для того щоб студенти змогли запропонувати способи діяльності з введення даних істотних ознак, їм пропонується ознайомитися з відповідними параграфами підручника з фізики. Викладач, виходячи з наявних у даному університеті методичних посібників, рекомендує додаткову літературу, яка сприятиме виконанню поставлених перед студентами завдань.

У другій частині інструкції до практичного заняття описується план діяльності викладача і студентів.

До другої групи відноситься заняття, головна мета якого – ознайомлення студентів з методами розв’язування практичних задач.

У завданні до самостійної роботи студентів з підготовки до заняття вказано:

1. Повторити зміст понять: ....

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв’язування практичних задач з теми: ....

3. Ознайомитися з методами розв’язування окремих типів задач: ....

4. Самостійно розв’язати задачі: ....

У другому завданні, як правило, міститься алгоритмічний припис до розв’язування задач з даної теми і приклади, які допоможуть виконати завдання із самостійного розв’язування задач під час підготовки до даного заняття і до контрольної роботи.

Після проведення практичних занять з декількох тем шкільного курсу фізики студенти виконують контрольну роботу. У цю контрольну роботу входять задачі, перелік яких наведено перед описом практичних занять даного циклу під рубрикою "Студент повинен уміти розв’язувати наступні задачі: ....". У цей перелік входять задачі основних типів, зокрема, підвищеної складності.

У третьому завданні наведені приклади розв’язування задач основних типів.

У четвертому завданні вказані задачі, які студенти повинні вміти розв’язувати й продемонструвати цей розв’язок у відповідності з методичними рекомендаціями.

У другій частині інструкції вказаний план проведення заняття:

1. Повторення понять: ....

2. Колективний аналіз вибраних задач, що входили до завдань з підготовки до заняття.

3. Розв’язування задач з теми.

На третьому етапі заняття використовуються різні форми організації розв’язування задач: колективна, індивідуальна, змішана, коментовані вправи на місцях.

Кількість практичних занять зі спеціальної методики навчання фізики залежить від навчального часу, що виділено навчальним планом у даному університеті, але не менша тієї їх кількості, яка є в цьому навчальному посібнику.

Відсутність науково обґрунтованих загальнодержавних рекомендацій щодо мінімуму навчальних годин, які треба виділити на викладання фахового навчального предмета – методики навчання фізики, може негативно вплинути на результати відповідної навчальної діяльності студентів.

У даному навчальному посібнику наведено кількість навчальних годин, відведених на лекції й практичні заняття зі спеціальної методики навчання фізики в СДПУ ім. А.С.Макаренка. Цей час визначений навчальним планом з підготовки бакалаврів за спеціальністю "фізика і математика".

Розділ курсу фізики	Семестр	Лекції	Практичні заняття
Механіка	6	12	30
Молекулярна фізика	7	10	20
Електродинаміка	7	14	20
Оптика. Атом.	8	12	20

Указана кількість навчальних годин обмежує можливості фахової підготовки вчителів фізики. Але, і за таких умов, використовуючи запропоновані зміст й організацію навчальних занять зі спеціальної методики навчання фізики, ефективність таких занять достатньо велика.

ЛЕКЦІЇ
Основні поняття, закони механіки у шкільному курсі фізики

МЕХАНІКА В ШКІЛЬНОМУ КУРСІ ФІЗИКИ

Класична механіка і межі її застосування. Місце механіки в шкільному курсі фізики. Тенденції розвитку змісту основ механіки. Головні частини розділу й логічний зв'язок між ними.

1. Під механікою (у широкому смислі) розуміють науку про машини, мистецтво створення машин, науку про механічний рух матеріальних тіл та взаємодії, що відбуваються між ними.

Водночас, під механікою розуміють так звану *класичну механіку*, в основі якої лежать закони Ньютона, а предметом її вивчення є повільний рух макроскопічних тіл.

Макроскопічними називають звичайні тіла, які оточують нас, тобто тіла, що складаються з величезної кількості молекул та атомів.

Під повільними або нерелятивістськими рухами розуміють рухи, швидкості яких дуже малі порівняно зі швидкістю світла у вакуумі $c = 300000$ км/с. Так, рух супутника або космічного корабля зі швидкістю 8км/с є повільним.

На відміну від класичної механіки релятивістська механіка або механіка теорії відносності застосовується до руху тіл, швидкості яких близькі до швидкості світла у вакуумі. До таких рухів тіл нерелятивістська механіка Ньютона не застосовується.

Теорія відносності встановила межі застосування класичної механіки з боку великих швидкостей. Друге обмеження, причому не тільки ньютонівської, а й релятивістської макроскопічної механіки, було отримано в результаті вивчення мікросвіту – світу атомів, молекул, електронів та інших мікрочастинок. Опис явищ мікросвіту дає квантова механіка.

Релятивістська і квантова механіка являють собою більш загальні фізичні теорії, ніж механіка Ньютона. Остання міститься в них як наближений граничний випадок. Квантова механіка переходить у механіку Ньютона у випадку тіл достатньо великих мас, які рухаються в силових полях, що достатньо плавно змінюються. Релятивістська механіка переходить у механіку Ньютона у випадку повільних рухів.

У шкільному курсі фізики вивчаються основи класичної механіки. Водночас, у старшій школі учні ознайомлюються з елементами релятивістської механіки.

2. Механіка тісно пов'язана з багатьма іншими розділами фізики. Ряд понять і методів механіки при відповідних узагальненнях знаходять застосування в оптиці, статистичній фізиці, квантовій механіці, електродинаміці, теорії відносності тощо. Це впливає і на побудову змісту шкільного курсу фізики.

Відомий вчений-фізик С.І.Вавилов у своєму відзиві на одну з програм з фізики для середніх навчальних закладів підкреслював, що вся фізика, у всіх її розділах побудована в термінах і поняттях механіки. Не знати ці поняття й вивчати фізику – це приблизно те ж саме, як намагатися читати, не засвоївши азбуку.

Дійсно, для вивчення механізму природи теплових явищ необхідно мати відомості з молекулярно-кінетичної теорії, в якій широко використовуються поняття й закономірності механіки – кінетична і потенціальна енергія молекул, кількість руху й закони їх збереження та інші. При вивченні властивостей електричного й магнітного полів необхідно знати що таке сила, маса, робота, енергія тощо. Ці поняття потрібні також для розгляду електронних, іонних, атомних процесів.

Механічний рух, з усіх форм руху матерії, є найбільш наочним. У класичній фізиці, отже і у шкільному курсі фізики, моделювання фізичних явищ пов’язано зі створенням переважно механічних образів структур фізичних систем і процесів, що в них відбуваються.

3. Розвиток змісту розділу "Механіка" шкільного курсу фізики, що вивчається в старшій школі, у останні десятиріччя 20-го століття відбувався в таких напрямах: 1) приведення у відповідність змісту понять і законів шкільного курсу механіки його розумінню в сучасній науці-фізиці; 2) вивчення змісту цього розділу на векторній основі; 3) обґрунтування введення основних понять і законів необхідністю розв’язку основної задачі механіки.

Під основною задачею механіки розуміють визначення положення рухомого тіла в будь-який момент часу.

Дотримання цих тенденцій розвитку змісту розділу "Механіка" у шкільному курсі фізики вважалося ознакою його сучасності і було наступним кроком в удосконаленні цього змісту, підвищенні його науковості та освітньої значущості.

4. При вивченні руху матеріальних тіл у механіці вводять ряд абстрактних понять, які відображають ті чи інші властивості реальних тіл: матеріальна точка, абсолютно тверде тіло, суцільне середовище. У відповідності з цим механіку поділяють на: механіку матеріальної точки, механіку системи матеріальних точок, механіку абсолютно твердого тіла і механіку суцільного середовища. Остання, у свою чергу, поділяється на теорію пружності, теорію пластичності, гідродинаміку та інші. У кожному із зазначених підрозділів, у відповідності з характером задач, що розв’язуються, виокремлюють: статику – вчення про рівновагу тіл під дією сил; кінематику – вчення про геометричні властивості руху; динаміку – вчення про рух тіл під дією сил. Розділами механіки, які мають самостійне значення є теорія коливань, механіка тіл змінної маси, теорія удару та інші.

У шкільному курсі фізики, поряд з підрозділами "Кінематика" і "Динаміка", виокремлюється підрозділ "Закони збереження в механіці". Механічні коливання і хвилі входять у розділ "Механіка", як самостійна його частина.

Між групами питань, що належать підрозділам "Кінематика", "Динаміка", "Закони збереження в механіці" (незалежно від того, чи виділено останній окремо) можна встановити логічний зв’язок, що дозволить зрозуміти учням необхідність і послідовність їх вивчення. Цей зв’язок можна встановити, виходячи з основної задачі механіки.

У кінематиці з’ясовується, що положення рухомої матеріальної точки в будь-який момент часу, можна виявити знаючи рівняння руху – залежності координат (переміщення, шляху) від часу.

У динаміці з’ясовується, що для користування зазначеними рівняннями треба знати прискорення. Способи розв’язування цієї наступної навчальної задачі і є предметом вивчення у динаміці.

Наступний крок у вивченні питань "Механіки" пов’язаний з розв’язуванням основної задачі у випадках, коли не можна визначити всі сили, які діють на рухоме тіло, або коли невідомі закони зміни цих сил. Розв’язуються такі задачі за допомогою законів збереження – закону збереження імпульсу і закону збереження механічної енергії.

РОЗДІЛ 1. КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

Кінематикою називається розділ механіки, який вивчає способи опису механічного руху тіл без урахування взаємодій між тілами, що зумовлюють характер даного конкретного руху.

Найпростішим об'єктом, рух якого вивчає класична механіка, є матеріальна точка.

Механіка однієї матеріальної точки в класичній фізиці є основою для вивчення механіки взагалі. З класичної точки зору довільне макроскопічне тіло або систему тіл можна мислено розбити на малі макроскопічні частинки, що взаємодіють між собою. Кожну з таких частинок можна розглядати як матеріальну точку. Тим самим вивчення руху довільної системи тіл зводиться до вивчення системи матеріальних точок – точок, які взаємодіють між собою. Тому природно вивчення механіки в загальній фізиці, у шкільному курсі фізики старшої школи розпочинати з кінематики матеріальної точки.

1.1. Способи опису механічного руху

Матеріальна точка. Система відліку. Координатний спосіб опису руху. Координати. Векторний спосіб опису руху. Переміщення. Природний спосіб опису руху. Шлях.

1. Фізичні об'єкти мають велику кількість властивостей, які, в залежності від цілей вивчення, поділяються на суттєві і несуттєві. Для того щоб виявити певну закономірність, необхідно відволіктись від усього несуттєвого, а розглядати об'єкт, який нібито має тільки визначені суттєві властивості. Такий об'єкт є ідеалізованим, який, якщо точно говорити, у природі не існує, але здійснюваний наближено. Вивчати такий об'єкт – це означає вивчати модель, у якій властивості реального об'єкта, що нас цікавлять, не затемнені другорядними властивостями та явищами.

Прикладами ідеалізованих об'єктів є матеріальна точка, інерціальна система відліку, абсолютно тверде тіло та інші.

У шкільному курсі фізики доцільніше дати таке визначення: *Матеріальною точкою* називають тіло, розмірами якого в умовах даної задачі можна нехтувати.

Якщо матеріальна точка – це модель реального тіла, то треба встановити межі її використання.

Учням на конкретних прикладах пояснюється, що розмірами тіла під час його механічного руху можна знехтувати в таких випадках: 1) коли розміри тіла набагато менші за відстані, яке це тіло проходить; 2) коли тіло рухається поступально.

Ознакою поступального руху є те, що всі точки тіла рухаються однаково – мають однакові швидкості – за один і той самий час проходять однакові шляхи. Виявити поступальний рух можна, використовуючи такий прийом: на тілі проводять довільний відрізок прямої; під час поступального руху цей відрізок прямої переміщується паралельно самому собі.

Вправи з метою усвідомлення учнями коли одне й те саме тіло можна розглядати як матеріальну точку, а коли не можна, є обов'язковим елементом процесу формування даного поняття.

<u>До відома.</u>

У теоретичній механіці під матеріальною точкою розуміють геометричну точку, наділену певними механічними властивостями.

Зустрічається й таке визначення поняття: матеріальною точкою називається макроскопічне тіло, розміри якого настільки малі, що в русі, який розглядається, їх можна не приймати до уваги.

У другому визначенні підкреслюється, що закони класичної механіки застосовуються до макроскопічних тіл. Ця ознака уявно міститься й у першому визначенні.

Але друге визначення може створити помилкове уявлення, що пов'язані з наявністю в ньому слів "розміри якого настільки малі…". Справа не в розмірах тіла. Дійсно малі за розмірами елементарні частинки не можна розглядати як матеріальні точки, до їх руху закони механіки не застосовні. Тіло, яке можна розглядати як матеріальну точку, може мати і великі розміри. Наприклад, при розгляді руху Землі по орбіті її можна вважати матеріальною точкою.

Наведене вище визначення матеріальної точки, яке доцільно формулювати в шкільному курсі фізики, уявно містить в собі твердження про те, що до таких тіл закони механічного руху мають наближений характер. Ці закони сформульовані до руху геометричної точки.

2. Одним із важливих понять, без якого не можна характеризувати механічний рух, є поняття про *систему відліку*.

У фізичному енциклопедичному довіднику сказано: Система відліку в механіці – це сукупність системи координат і годинників, пов'язаних з тілом, по відношенню до якого вивчається рух (або рівновага) інших матеріальних точок або тіл.

У даному визначенні посилаються на три об'єкта: тіло, по відношенню до якого розглядається рух інших тіл; пов'язані із цим тілом система координат і годинник.

Із визначення механічного руху – зміни положення тіла відносно інших тіл – випливає наступне: для того щоб отримати можливість описувати рух будь-якого тіла, перш за все, необхідно умовитися відносно якого іншого тіла розглядатиметься цей рух.

Тіло, відносно якого розглядається рух даного тіла, називається тілом відліку. Тіло відліку умовно вважається нерухомим.

Визначивши тіло відліку треба вибрати на ньому точку – початок відліку, відносно якої судитимемо про положення тіла. Щоб однозначно визначити місце перебування матеріальної точки відносно тіла відліку, слід увести точні кількісні співвідношення. Для цього з тілом відліку пов'язують систему координат.

Використовуючи тіло відліку і пов'язану з ним систему координат визначають положення тіла у просторі. Водночас, необхідно знати час, у який тіло перебуває саме в цьому місці простору. А це можна визначити, вибравши спосіб вимірювання часу.

Отже, можна дати таке визначення системи відліку: Тіло відліку, пов'язану з ним систему координат і вибраний спосіб вимірювання часу прийнято називати *системою відліку.*

Таке визначення міститься в шкільних підручниках з фізики.

Вибір системи відліку у кінематиці довільний і залежить від цілей дослідження.

У кінематиці не можна встановити ніякої принципової відмінності між різними системами відліку. Всі вони рівноправні. Тільки в динаміці, при вивченні законів руху, виявляється принципова відмінність між деякими системами відліку й переваги одного класу систем порівняно з іншим.

<u>До відома.</u>

Відомі й інші тлумачення поняття "система відліку". Системою відліку називають тіло або систему тіл, відносно яких розглядається рух даного тіла.

Одні автори підручників з такою системою відліку пов'язують систему координат, підкреслюючи: між системою відліку й системою координат є істотна відмінність – систему відліку утворюють реальні тіла, а система координат є математичною абстракцією, яка потрібна для строгого математичного опису руху.

Інші автори вважають: в однорідному й ізотропному просторі в якості абстракції тіл відліку може бути прийнята система трьох взаємно перпендикулярних площин; таку геометричну абстракцію називають системою відліку або системою координат.

Під час теоретичного аналізу механічного руху можна обійтися без визначення тіла відліку і скористатися тільки поняттям системи координат. У деяких випадках нас не цікавить система координат. Наприклад, стверджуючи, що форма траєкторії залежить від вибору системи відліку. Але, під час аналізу реального конкретного руху, вимушені вибрати тіло відліку, початок відліку часу і координат, пов'язати з тілом відліку систему координат.

3. Одним зі способів опису механічного руху є *координатний спосіб*.

З тілом відліку можна пов'язати різні системи координат, але найбільш поширеною є прямокутна (декартова) система координат.

У класичній фізиці простір неперервний, однорідний, ізотропний, трьохмірний.

Однорідність означає, що в будь-якому місці простору фізичне явище в даних умовах відбувається однаково.

Ізотропність означає, що якби система тіл, які взаємодіють, повернулися на деякий кут, то це не відбилося б на ході фізичних процесів у ній.

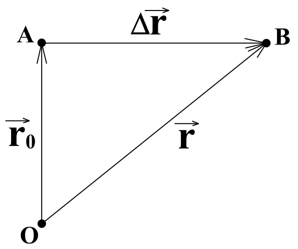
Трьохмірність простору вказує на те, що положення точки в ньому визначається трьома координатами. Ці координати під час руху тіла змінюються й, якщо відомі функціональні залежності їх від часу, то можна знайти положення матеріальної точки в будь-який момент часу.

Отже, координатний спосіб опису механічного руху полягає у визначенні залежності координат точки від часу: $x = x(t)$; $y = y(t)$; $z = z(t)$.

Під час руху точки в площині її положення визначається двома координатами, а у випадку прямолінійного руху – однією координатою.

4. Механічний рух точки можна описати за допомогою *векторного способу*.

Припустимо, що матеріальна точка М перемістилася з положення А в положення В. Положення точки М можна вказати за допомогою радіус-вектора $\vec{r}$ – ве-



ктора, що проводиться від фіксованої точки у просторі – полюса (точки O), до точки, положення якої визначається. Якщо відома функціональна залежність радіус-вектора $\vec{r}$ від часу t $\vec{r} = \vec{r}(t)$, то можна вказати положення точки M у будь-який момент часу. У даному випадку положення точки визначається відносно полюса O.

Одночасно з таким описом механічного руху використовується й інший.

Під час руху точки M змінюється напрям і довжина радіус-вектора $\vec{r}$. Так, при переході точки M з положення A у положення B, зміна радіус-вектора дорівнює $\Delta\vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$. Цю зміну радіус-вектора називають переміщенням і позначають $\vec{S}$.

Якщо відомі початкове положення точки M і функціональна залежність вектора переміщення від часу $\vec{S} = \vec{S}(t)$, то можна визначити положення рухомої точки у будь-який момент часу.

Введення поняття переміщення, як одного зі способів визначення положення матеріальної точки, дозволяє вже на початку вивчення механіки ввести поняття про векторні величини.

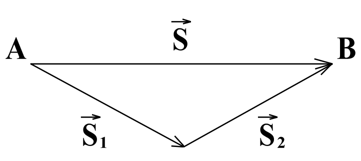
Переміщення (вектор переміщення) визначається як напрямлений відрізок прямої, що з'єднує початкове положення матеріальної точки з наступним її положенням.

Відомий випадок створення великих труднощів, пов'язаних з користуванням векторними величинами. У перший рік введення поняття про вектор (на прикладі переміщення) у підручнику з фізики для шкіл не була звернута увага на позначення вектора, його модуля і проекції, що вело до плутанини в записах цих понять у вигляді символів.

Необхідно, після введення поняття про вектор переміщення, домовитися про такі позначення понять: $\vec{S}$ – вектор переміщення, S – модуль вектора переміщення, S_x, S_y – проекції вектора переміщення на відповідні координатні осі.

Труднощі викликало й прагнення відразу повідомити учням про всі дії з векторами, враховуючи те, що на уроках математики цей навчальний матеріал вивчався пізніше. Необхідно вводити ті відомості про вектора, які потрібні в даний момент.

Під час введення вектора переміщення вказується на ознаку векторної величини: "характеризується не тільки числовим значенням, а й напрямом". Показу-



ється, що над векторами не можна виконувати звичайні математичні операції: числове значення результуючого переміщення $\vec{S}$ не дорівнює алгебраїчній сумі переміщень $\vec{S}_1$ і $\vec{S}_2$. Цей приклад, водночас, є підставою введення поняття проекції вектора на координатну вісь.

Під час вивчення швидкості спочатку пояснюється математична дія: множення (ділення) вектора на скаляр. Під час вивчення додавання швидкостей і переміщень вводиться додавання (віднімання) векторів.

При введенні поняття проекції вектора на координатну вісь, треба врахувати існування різних способів його визначення.

Цю проекцію можна розглядати як скалярну величину, яка визначається виразом: $S_x = S \cdot \cos\alpha$, де S_x – проекція вектора $\vec{S}$ на ось X, S – модуль вектора, α – кут, що відраховується від позитивного напряму координатної вісі проти годинникової стрілки до напряму вектора. У залежності від кута α, S_x може бути додатною, від'ємною величиною і дорівнювати нулю.

Інший спосіб введення цього поняття: з початку і кінця вектора $\vec{S}$ опускаються перпендикуляри на відповідну координатну вісь; відстань між проекціями кінця і початку вектора і дорівнює проекції вектора на дану координатну вісь. Отже, проекція вектора на координатну вісь є скалярною величиною, яка дорівнює зміні (а не різниці) координат точок на осі, які являють собою проекції початку і кінця вектора.

У випадку прямолінійного руху координатна вісь збігається з траєкторією. Якщо це вісь X, то проекція вектора $\vec{S}$ на вісь X дорівнює $S_x = x - x_0$, де x – координата кінця, а x_0 – координата початку вектора.

Проекція вектору переміщення на координатну вісь визначає напрям руху точки вздовж даної осі й те, на скільки точка перемістилася вздовж даної вісі.

Якщо вектор переміщення напрямлений у бік позитивного напряму вісі, то $S_x = S$ – додатна величина, якщо у протилежний бік – то $S_x = -S$ від'ємна величина.

$S_x = x - x_0$. Звідси випливає що $x = x_0 + S_x$. Отже, знаючи початкову координату, величину і знак проекції вектора переміщення, можна знайти координату точки в певний момент часу.

До відома.

Слово "переміщення" вживається як фізична величина і як синонім слову "рух". Тому, треба пояснити відміну в застосуванні даного терміну. Водночас, треба пояснити відміну між фізичними величинами: "переміщення" і "шлях".

З поняттям переміщення учні зустрічаються і на уроках математики. Переміщенням у математиці називають відображення площини на себе, при якому зберігається відстань між точками. Іншими словами, воно визначається як деяке математичне перетворення. У механіці ж переміщення – це фізична величина, що характеризує певний результат руху, який переводить тіло (матеріальну точку) із початкової точки в кінцеву.

5. Поряд з координатним і векторним способами опису механічного руху, які одночасно використовують у старшій школі, існує *природний спосіб*.

Цей спосіб опису механічного руху застосовується за умови відомої траєкторії руху точки по відношенню до вибраної системи відліку.

Траєкторія – це лінія, яку описує під час свого руху матеріальна точка. Форма траєкторії залежить від вибору системи відліку.

Якщо форма траєкторії відома, то положення точки на ній у будь-який момент часу може бути знайдено так: вибирають початок відліку дугової координати; вибирають додатній напрям руху; знаючи закон руху точки по заданій траєкторії S = S(t), визначають дугову координату S, тобто положення точки M у даний момент часу t.

Дугова координата дорівнює довжині траєкторії, виміряної від початку відліку координати до положення матеріальної точки в даний момент часу. Дугова координата має знак "плюс", якщо вона вимірюється від початку її відліку у вибраному додатному напрямі руху, і знак "мінус" – якщо вона вимірюється в протилежному напрямі.

У вузівських і деяких шкільних підручниках з фізики можна зустрітися з різними назвами фізичної величини S, яка визначає положення матеріальної точки при природному описі механічного руху: дугова координата, відстань, шлях.

Чим відрізняються ці поняття? Чому не можна довільно користуватися їх назвами?

Зафіксуємо положення матеріальної точки M у момент часу t = 0, яке приймемо за початок відліку відповідних довжин. Розділимо траєкторію на такі малі ділянки, щоб кожну з них, із заданою точністю, можна буде замінити прямолінійним переміщенням ΔS. Виберемо додатний напрям руху точки M. Переміщення, які здійснюються у вибраному додатному напрямі, вважають додатними, а напрямлені в протилежний бік – від'ємними.

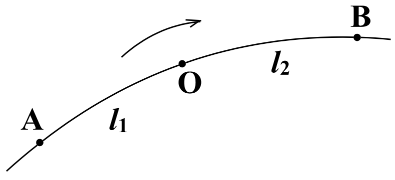
Абсолютне значення алгебраїчної суми переміщень ΔS, здійснених точкою M за даний інтервал часу, називається відстанню.

Сума абсолютних величин переміщень ΔS, здійснених точкою M за даний інтервал часу, називається пройденим шляхом (або просто шляхом).

Отже, спільним для всіх указаних понять є те, що вони вимірюються довжиною траєкторії. Вони чисельно співпадають у випадку прямолінійного руху тіла в один бік і дугова координата, відстань, шлях змінюються однаково. Тому, у цьому випадку під S можна розуміти будь-яку із указаних фізичних величин.

Але це різні поняття. Так, дугова координата може мати додатне й від'ємне значення, а відстань і шлях завжди додатні величини. Якщо рухома точка пройшла від початку відліку деяку ділянку траєкторії l двічі (від початку відліку й назад), то за інтервал часу, який точка витратила на цей рух, пройдений шлях дорівнює $2l$, а відстань дорівнює нулю.

Припустимо, що точка M рухається не з початку відліку дугової координати O, а з деякої точки A. Додатний напрям руху вказано на малюнку. Точка M рухається з точки A в точку B і повертається назад. Довжини ділянок траєкторії відповідно дорівнюють: AO = l_1, OB = l_2. За весь час руху, від точки A до точки B і назад, матеріальна точка M пройшла шлях $2(l_1 + l_2)$, відстань від початку руху до кінцевого положення точки M дорівнює нулю, а дугова координата дорівнює $-l_1$.



6. Залежність координат, радіус-вектора, переміщення, дугової координати являють собою кінематичні рівняння руху точки.

У шкільному курсі фізики розглянуті способи опису механічного руху не виокремлюються, навіть не називаються, а використовуються в різних їх сполученнях.

Але врахування самого існування цих способів надає можливість такої побудови змісту розділу "Кінематика", яка сприяє розумінню учнями необхідності і послідовності вивчення окремих його питань.

У загальному вигляді логіка вивчення кінематики в старших класах може бути такою:

А. Розглядається поняття механічного руху. Дається визначення розділу "Кінематика". Формулюється основна задача механіки.

Б. Будь-яке тіло має розміри. Тому різні точки даного тіла в кожний момент часу перебувають у різних місцях, що створює труднощі в розв'язуванні основної задачі механіки.

Для того щоб визначити положення тіла можна поступити так: указати положення кожної точки тіла. Але таких точок величезна кількість і положення всіх їх практично не можливо визначити.

Самий простий спосіб розв'язку поставленої задачі полягав би у відмові від урахування форми і розмірів тіла.

З'ясуємо, чи не можна під час опису механічного руху нехтувати формою і розмірами реального тіла.

Розглядається поняття "Матеріальна точка".

В. Ми з'ясували, що в деяких задачах можна нехтувати формою і розмірами рухомого тіла, спрощуючи задачу визначення положення цього тіла.

Виникає нова задача: З'ясувати, що означає вираз "вказати положення тіла".

Розглядаються поняття: "система відліку", "координата", "зміна координат".

Г. Як уже було з'ясовано, положення матеріальної точки визначають за допомогою координат. Для цього вибирають тіло відліку, зв'язують з ним систему координат і вибирають спосіб вимірювання часу. Але, якщо змінити початок відліку координат, то змінюються й координати точки.

Виникає нова задача: З'ясувати, як можна вказати положення тіла, щоб виключити вплив можливих змін початку відліку координат?

Розглядаються поняття шляху (відома траєкторія руху) і переміщення (не відома траєкторія руху). Вводяться поняття: переміщення, модуля вектора переміщення і його проекції на координатну вісь, зв'язок між проекцією вектора на вісь координат і зміною відповідної координати, рівність модуля вектора переміщення шляху у випадку прямолінійного руху в один бік.

Д. Таким чином, для розв'язування основної задачі механіки у випадку прямолінійного руху треба скористатися формулою $S_x = x - x_0$. Звідси випливає, що для того щоб визначити координату матеріальної точки, треба знати: її початкову координату; проекцію вектора переміщення на сполучену з траєкторією координатну вісь, яке було здійснене матеріальною точкою за даний інтервал часу; $x = x_0 + S_x$.

Для того щоб знайти проекцію вектора переміщення точки необхідно знати залежність переміщення від часу. А це можна з'ясувати, розглядаючи конкретний вид механічного руху.

Розглядаються прямолінійні рівномірний і рівноприскорений рухи.

При викладі загальної логіки вивчення розділу вживалося слово "розглядається". Це пояснюється тим, що деякі із зазначених понять вивчатимуться в основній і старшій школах. Тоді під словом "розглядається" слід розуміти такі слова: вивчається, повторюється, уточнюється, поглиблюється.

1.2. Види механічного руху, їх характеристики і закони

Рівномірний і рівноприскорений рухи. Швидкість. Додавання швидкостей. Прискорення. Логіка вивчення прямолінійних рухів.

1. Питання про те, які *види механічного руху* доцільно вивчати в шкільному курсі фізики, пов'язані з рівняннями руху.

Загальна логіка розв'язування основної задачі механіки наступна: закони Ньютона і закони сил – функціональні залежності сил від координат і швидкостей дозволяють знайти прискорення матеріальної точки в інерціальній системі відліку: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$; визначивши прискорення $\vec{a} = \vec{a}(t)$, можна знайти швидкість і переміщення у будь-який момент часу: $\vec{\upsilon}(t) = \vec{\upsilon}_0 + \int_0^t \vec{a}(t)dt$ і $\vec{S}(t) = \int_0^t \vec{\upsilon}(t)dt$.

Рівняння кінематики мають простий вигляд у двох випадках, коли: а) прискорення стале ($\vec{a} = const$); б) прискорення центральне (це має місце при русі матеріальної точки по колу зі сталою за модулем швидкістю).

Для $\vec{a} = const$ розв'язок основної задачі має вигляд: $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}t$ і $\vec{S} = \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$, або в проекціях на координатну вісь (для прямолінійного руху): $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t$ і $S_x = \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ або $x = x_0 + \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$.

Отриманий загальний розв'язок дозволяє розглядати часткові випадки, коли $\vec{a} \parallel \vec{\upsilon}, \vec{a} = \vec{g}$ і $\vec{a} = 0$, а також окремий випадок $r = const$, тобто рух по колу.

Можливі два підходи до вивчення рівнянь руху.

При вивчення рівномірного прямолінійного руху записують рівняння переміщення у векторній формі ($\vec{S} = \vec{\upsilon}t$) і алгебраїчній через проекції векторів на вісь координат ($S_x = \upsilon_x t$). Від рівняння переміщення, записаного через проекції векторів на вісь X, переходять до рівняння координати $x = x_0 + \upsilon_{0x}t$.

Аналогічно, при вивченні рівнозмінного прямолінійного руху послідовно записують рівняння: $\vec{S} = \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$, $S_x = \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$, $x = x_0 + \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$.

Слід пояснити учням, що достатньо знати рівняння переміщення і рівняння швидкості, враховуючи знаки проекцій, щоб розв'язати будь-яку кінематичну задачу. Можуть бути й інші рівняння руху, якими в конкретних випадках користуватися зручніше. Наприклад, рівняння $\upsilon_x^2 - \upsilon_{0x}^2 = 2a_x S_x$, яке легко отримати з основних рівнянь рівнозмінного прямолінійного руху.

Існує й інший підхід. Для прямолінійного руху достатньо сказати про вектор переміщення і про модуль переміщення, тобто не вводити поняття проекції вектора переміщення на вісь. Вісь спрямовують у напрямі руху (у напрямі вектора швидкості), тоді рівняння руху у векторній формі записують так: $\vec{S} = \vec{\upsilon}_0 t + \frac{\vec{a}t^2}{2}$, а через модулі $S = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}$.

Для розв'язування рівнянь в цьому підході вводять "правило знаків": знак перед прискоренням (і швидкістю) визначається напрямом вектора прискорення (і швидкості) відносно вибраної осі.

Модуль переміщення дорівнює зміні координат, тому рівняння координати можна записати так: $x = x_0 + \upsilon_{0x}t$ (для прямолінійного рівномірного руху) і $x = x_0 + \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ (для рівнозмінного прямолінійного руху). Знак "плюс" перед початковою координатою визначається положенням матеріальної точки на числовій осі в області додатних значень, а знак "мінус" – в області від'ємних значень.

До відома.

Спільним у визначеннях рівномірного і рівнозмінного рухів є наявність умови: "за будь-які рівні інтервали часу". Так, *рівномірним* рухом називають рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу проходить однакові шляхи. У визначенні *прямолінійного рівномірного* руху замість поняття "шлях" використовується поняття "переміщення". Це пов'язано з наступним: тіло може рухатися й прямолінійно й криволінійно. Щоб кожний із цих рухів був рівномірним достатньою умовою є рівність шляхів, пройдених за будь-які рівні інтервали часу. Так, рівномірний рух по колу характеризується зміною напряму лінійної швидкості, отже, має місце доцентрове прискорення. Тому цей рух рівнозмінний. Уживаючи в даному випадку слово "рівномірний", виходимо з того, що мається на увазі рух точки по траєкторії – колу, під час якого точка за будь-які рівні інтервали часу проходить рівні шляхи. З цього випливає, що не можна давати визначення рівномірному руху, як руху зі сталою швидкістю, адже швидкість характеризується не тільки числовим значенням, а й напрямом. Якщо ми виокремлюємо рівномірний прямолінійний рух, то його ознакою є однаковість (за величиною і напрямом) переміщення, що здійснюється за будь-які рівні інтервали часу. При відсутності вказаної умови – "за будь-які рівні інтервали часу" ми не можемо визначити які це рухи. Наприклад, в одному з підручників написано: "Рівнозмінний рух – це нерівномірний рух, під час якого швидкість змінюється однаково за рівні інтервали часу". Це не правильно, тому що за одні рівні інтервали часу швидкість змінюється дійсно однаково, а за інші – цього може й не відбуватися.

Не можна погодитися з таким твердженням: "Під час рівномірного прямолінійного руху миттєва швидкість у різних точках траєкторії і в різні моменти часу залишається сталою". Під час руху тіло перебуває в кожній точці траєкторії тільки в конкретні моменти часу. Швидкість характеризує стан руху тіла, а не точки простору, тому вона ніяк не може бути сталою в різних точках простору. Дане твердження можна використати, описуючи поле векторів швидкостей, наприклад, під час ламінарної течії ідеальної рідини. У даному випадку кожній точці простору, у якому рухається рідина, можна зіставити певний вектор швидкості – це означає, що частини рідини, проходячи через деяку область простору, мають одну й ту саму швидкість – швидкість однакова для всіх точок даного простору.

Розглядаючи рух із незмінним прискоренням, краще його називати рівнозмінним, а не рівноприскореним рухом. Тоді рівнозмінний рух можна поділити на рівноприскорений і рівносповільнений. А це дозволяє уникнути такого твердження з підручника: "Рівноприскорений рух може бути прискореним, коли швидкість тіла з часом зростає, і сповільненим, коли вона спадає".

2. *Швидкість* – це векторна фізична величина, яка характеризує бистроту руху тіл.

Визначається швидкість по-різному в залежності від способу опису механічного руху.

При природному способі опису руху швидкість визначається як перша похідна відстані (дугової координати) по часу.

Отже, при такому описі механічного руху швидкість є алгебраїчною величиною. Напрям руху враховується знаками "плюс" або "мінус" перед значенням швидкості. Швидкість записується зі знаком "плюс", якщо тіло рухається в обраному додатному напрямі, і зі знаком "мінус" – при русі в протилежному напрямі.

При координатному способі опису руху модуль швидкості дорівнює $\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2 + \upsilon_z^2}$, де $\upsilon_x = \frac{dx}{dt}, \upsilon_y = \frac{dy}{dt}, \upsilon_z = \frac{dz}{dt}$. Напрям швидкості, отже і напрям руху, визначаються кутами α, β, γ між напрямом руху і відповідною координатною віссю: $\cos\alpha = \frac{\upsilon_x}{\upsilon}, \cos\beta = \frac{\upsilon_y}{\upsilon}, \cos\gamma = \frac{\upsilon_z}{\upsilon}$.

При векторному способі опису руху швидкість дорівнює першій похідній переміщення по часу $\vec{\upsilon} = \frac{d\vec{S}}{dt}$.

Як видно, незалежно від способу опису механічного руху швидкість є фізичною величиною, для характеристики якої треба вказати її значення і напрям.

Швидкість, яка визначається як похідна відстані або переміщення по часу, має одне й те саме значення і напрям для даного конкретного стану руху незалежно від обраного способу опису руху. Ця швидкість є миттєвою швидкістю.

У шкільному курсі механіки такі визначення швидкості неможливі, враховуючи відсутність в учнів знань про похідну. Тому вимушені вводити спочатку поняття швидкості рівномірного руху (в основній школі).

Після введення поняття "рівномірний рух" учням пояснюється, що ці рухи відрізняються одні від одних їх бистротою. Це виявляється в тому, що у тіла, яке рухається швидше, шлях збільшується бистріше, ніж у тіла, що рухається повільніше. Ілюстрацією цього може бути порівняння руху бульбашок повітря в трубках з водою різного діаметру.

Для того щоб визначити у скільки разів одне тіло рухається швидше ніж інше тіло, порівнюють відношення шляхів, які проходять тіла за певний інтервал часу, до цього інтервалу часу.

Доцільніше швидкості рівномірного руху дати таке визначення: швидкість рівномірного руху – фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню шляху, пройденому тілом за будь-який інтервал часу, до цього інтервалу часу.

Пояснюється учням, що при рівномірному русі швидкість тіла на будь-яких ділянках траєкторії, навіть на таких малих, що їх можна вважати точкою, має одне й те саме значення.

У старшій школі розглядається прямолінійний рівномірний рух, в якому шлях і модуль переміщення збігаються за значенням. Враховуючи цей факт можна, у випадку рівномірного прямолінійного руху, дати швидкості, аналогічно наведеному, визначення, тільки замість слова "шлях" використати слово "переміщення": швидкість рівномірного прямолінійного руху – це фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню переміщення, здійсненого тілом за будь-який інтервал часу, до цього інтервалу часу.

Пояснюючи, що є результатом ділення або множення вектора на скаляр, приходять до висновку: швидкість – векторна величина.

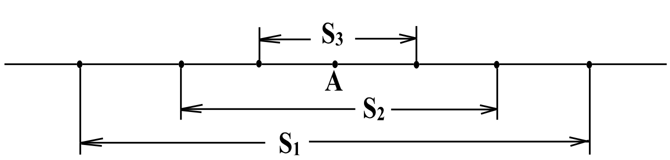
В основній і старшій школі треба підкреслювати, що швидкість рівномірного (рівномірного прямолінійного) руху не залежить від часу руху, а відношення шляху (переміщення) до часу для даного руху має одне й те саме значення. Тим самим ми створюємо умови для розуміння миттєвої швидкості.

Уводячи поняття миттєвої швидкості треба врахувати наступне: у виразі швидкості, як першої похідної переміщення по часу, з точки зору фізики, мова йде не про нескінченно малі величини, а про фізично малі величини. Це означає, що при визначенні миттєвої швидкості вибирається такий малий проміжок часу, що в його межах зміна швидкості вже перестає реєструватися фізичними приладами. У такому випадку середню швидкість можна прийняти за миттєву швидкість, з тим ступенем точності, який має практичний зміст.

Такий підхід має підґрунтя: у застосуваннях математики до фізики треба враховувати, що значення фізичної величини отримують, в кінці кінців, у результаті вимірювань, а усі вимірювання супроводжуються похибками і вносять викривлення у природний хід явищ. Ця обставина, строго кажучи, робить неможливим граничний перехід $\Delta t \to 0, \Delta S \to 0$, який вводиться у математиці при визначенні похідної. Через похибки вимірювання граничний перехід $\Delta t \to 0$ не може бути здійсненим у строго математичному смислі.

Таким чином, "спрощення" з точки зору математики, які допускаються при визначенні швидкості, як відношення "фізично" малих переміщень й інтервалів часу, має глибокий смисл. Вони пов'язані безпосередньо із самою природою фізичних величин і фізичних законів. Це треба враховувати й під час введення інших фізичних величин, що визначаються у фізиці через перші похідні: $\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt}, \rho = \frac{dm}{dV}$ й інші.

У шкільному курсі фізики введення миттєвої швидкості зводиться до того, що чим менші переміщення (або шляхи), в які входить точка де визначається швидкість, тим менше відрізняються значення середніх швидкостей ($\frac{S_1}{t_1}, \frac{S_2}{t_2}, \frac{S_3}{t_3}$...) на цих ділянках руху.



При подальшому зменшенні цих переміщень (або шляхів) середні швидкості на них відрізнятимуться так мало, що прилади не зможуть виявити цю різницю. Середня швидкість за дуже малий інтервал часу і є швидкістю тіла у даний момент часу, або у даній точці.

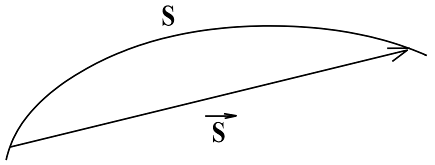
Як видно, для введення миттєвої швидкості необхідне поняття середньої швидкості.

У залежності від способу опису механічного руху середня швидкість визначається як скалярна або як векторна величина.

Середня швидкість, яка визначається як відношення шляху до часу, за який цей шлях був пройдений, є скалярною величиною: $\upsilon_c = \frac{S}{t}$.

Середня швидкість, яка визначається як відношення переміщення до часу, за який це переміщення було здійснене, є векторною величиною: $\vec{\upsilon}_c = \frac{\vec{S}}{t}$.

Ці величини в загальному випадку відрізняються одна від одної не тільки тим, що одна з них є скалярною, а друга – векторною величиною, а й числовим значенням.



Так, під час криволінійного руху, при визначенні значення середньої швидкості, з якою рухається тіло при переході з однієї точки в іншу, в одному випадку використовували довжину дуги, а в другому – довжину хорди (яка збігається з переміщенням). Отже, значення відношення різних довжин до одного й того самого часу не збігаються. Але, якщо визначити миттєву швидкість ($\upsilon = \lim\limits_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t}$), то в обох випадках для даної точки траєкторії отримаємо одне й те саме значення.

У шкільному курсі фізики доцільно обмежитися середньою швидкістю, яка визначається через шлях, тобто тим поняттям, яким користуються в оточуючому нас житті і яке використовується під час розв’язку практичних задач.

Середня швидкість характеризує рух тіла на конкретній ділянці траєкторії.

<u>До відома.</u>

Помилковими є такі визначення швидкості, з якими можна зустрітися в навчальній літературі: "Швидкість – шлях, який проходить тіло за одиницю часу", "Швидкість показує, який шлях проходить тіло за одиницю часу" та інші. Швидкість і шлях – це різні фізичні величини, які характеризують різні властивості механічного руху.

Яскравим прикладом того, до яких недоречностей приводять вказані тлумачення швидкості, може бути фрагмент з "Фейманівських лекцій": *"Автомобіль зупиняє поліцейський. Він підходить до машини й говорить: Мадам (бо за кермом була жінка) ви порушили правила вуличного руху. Ви їхали зі швидкістю 90км/год". Жінка відповіла: Пробачте, це не можливо. Як я могла робити 90км за годину, якщо я їду всього лише 7 хвилин?!".*

Як би ви діяли на місці поліцейського?

Звичайно, якщо ви дійсно поліцейський, то такими хитрощами вас не заплутати. Ви б твердо відповіли: "Мадам, виправдовуватися будете перед суддею". Але, припустимо, що у вас немає такого виходу. Ви бажаєте чесно довести порушниці її провину й намагаєтеся пояснити їй, що означає швидкість 90 км/год.

Як це зробити?

Ви скажете: "Я мав на увазі, мадам, що якби ви продовжували їхати таким чином, то через годину ви б проїхали 90 кілометрів".

"Так, але я загальмувала і зупинила машину, – може відповісти вона, – так

що я вже ніяк не змогла б проїхати 90 кілометрів за годину".

Під час вивчення середньої швидкості учні часто намагаються її визначити як середнє арифметичне початкової й кінцевої швидкостей. Це правильно тільки у випадку лінійної залежності швидкості від часу, тобто в рівнозмінному русі.

Середня швидкість має смисл тільки для даної ділянки траєкторії, тому помилковим є такий запис $x = x_0 + \upsilon_c t$, адже для різних інтервалів часу υ_c має різні значення.

Характер руху відомий, якщо відома залежність швидкості від часу. У випадку рівномірного прямолінійного руху $\vec{\upsilon} = \mathrm{const}$, а при прямолінійному рівнозмінному русі $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_0 + \vec{a}t$. У зв'язку з цим не тільки не вдалим, а й помилковим є такий фрагмент тексту одного зі шкільних підручників: "Під час нерівномірного руху швидкість тіла весь час змінюється й за значенням, і за напрямком. Тому для характеристики руху намагаються знайти таку величину, яка б визначала більш-менш незмінну швидкість руху. Такою величиною є швидкість тіла в даній точці траєкторії, або миттєва швидкість".

2. Для більш повного розгляду методів введення поняття швидкості доцільно розглянути те, як трактується питання про відносність цього поняття і додавання швидкостей.

Переміщення і швидкість є векторні величини. Тому виникає питання правомірності додавання цих векторів з фізичної точки зору.

Відомо, що додавання векторів відбувається за правилом паралелограма або трикутника. Ці операції є математичними й немає смислу ставити питання про дослідну перевірку їх результатів. Але, коли векторами зображують різні фізичні величини, то результати їх додавання передбачають додаткове дослідження, зокрема дослідне. Розглянемо рівномірні прямолінійні рухи.

Коли мова йде про швидкості, які тіло мало в даній системі відліку, але в різні інтервали часу, то можна говорити про додавання переміщень або швидкостей.

Наприклад, якщо тіло, яке перебуває в деякій точці A, здійснює переміщення спочатку у точку B, а потім у точку C, то виникає запитання: Яким повинно бути переміщення, щоб з точки A тіло відразу попало у точку C? Відповідь на це запитання отримують не з досліду, а безпосередньо з математичного правила додавання векторних величин. За цим же правилом здійснюється додавання векторів швидкостей тіла на ділянках AB і BC. Швидкість $\vec{\upsilon}$ на ділянці AC буде сумою швидкостей $\vec{\upsilon}_1$ і $\vec{\upsilon}_2$ на ділянках AB і BC. Слід підкреслити, що мова йшла про швидкості тіла в різні інтервали часу.

При введенні поняття швидкості як векторної величини, учні узнають, що будь-який вектор, зокрема, і вектор швидкості $\vec{\upsilon}$, може бути визначеним через його проекції на координатні вісі: $\upsilon_x, \upsilon_y, \upsilon_z$. Якщо тіло рухається в деякій системі відліку зі швидкістю $\vec{\upsilon}$, то при цьому змінюються відповідні координати. Кожну проекцію швидкості, наприклад υ_x, можна розглядати як швидкість зміни відповідної координати тіла. Всі ці проекції швидкості визначають ту єдину швидкість тіла $\vec{\upsilon}$, яку вона має у кожний момент у даній системі відліку.

У закон додавання швидкостей, який є твердженням, що перевіряється дослідом, укладається інший зміст: тіло дійсно може мати в один і той же момент часу скільки завгодно швидкостей, але відносно різних систем відліку. У даному випадку додавання швидкостей тіла, яке приймало участь, наприклад, у двох рухах, має інший зміст – вони пов'язані з поняттям відносності руху й відповідь про результат додавання в такому випадку повинен дати дослід. Дослід показує, що при швидкостях далеких від швидкості світла, додавання швидкостей відбувається за правилом паралелограма. Це відбувається тому, що в класичній механіці довжина відрізків і інтервалів часу не залежить від системи відліку. Але в релятивістській кінематиці закон додавання швидкостей не виражається правилом паралелограма.

Таким чином, твердження, з яким можна зустрітися: "Тіло приймає участь одночасно в двох рухах в одній і тій самій системі відліку" є помилковим. Так, якщо точка приймає участь одночасно у двох різних рухах, то вона одночасно здійснює два різних переміщення, що означає одночасне перебування точки у двох різних місцях простору.

3. До головних характеристик механічного руху відноситься *прискорення*.

Швидкість механічного руху, як правило, не залишається незмінною, а з часом змінюється або за значенням, або за напрямом, або і за значенням і за напрямом. Зміну швидкості механічного руху характеризує фізична величина прискорення.

Прискорення є векторною фізичною величиною і дорівнює похідній від швидкості по часу: $\vec{a} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt}$.

Прискорення має напрям, який збігається з напрямом вектора зміни швидкості за малий інтервал часу dt.

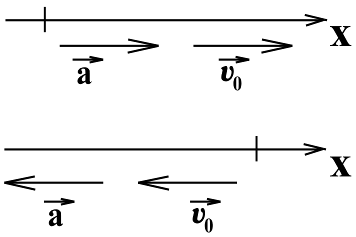
За визначенням прискорення, як векторної величини, геометрична зміна швидкості не дорівнює нулю, коли матеріальна точка рухається з незмінною за значенням швидкістю, але по криволінійній траєкторії, тому що вектор швидкості змінює свій напрям. Ця зміна відбувається тим більш різко, чим більша кривизна траєкторії.

У загальному випадку вектор прискорення можна розглядати як суму двох векторів, один з яких перпендикулярний до вектора швидкості $\vec{\upsilon}$ і напрямлений до центру кривизни траєкторії, а другий – напрямлений по дотичній до траєкторії. Нормальне або доцентрове прискорення характеризує зміну швидкості за напрямом і напрямлене до центру кривизни траєкторії. Кривизна прямої дорівнює нулю і нормальне прискорення при прямолінійному русі дорівнює нулю.

У шкільному курсі фізики можливі два підходи до вивчення поняття прискорення. Спочатку вводять середнє прискорення за малий інтервал часу, а потім поняття миттєвого прискорення, аналогічно до того, як вводилося поняття миттєвої швидкості. Потім розглядається частковий випадок: прискорення в рівнозмінному русі.

При другому підході спочатку вводиться поняття прискорення для випадку рівнозмінного руху. Після чого учням повідомляють про середнє й миттєве прискорення. Цей підхід простіший, ніж попередній. У даному випадку після пояснення того, що миттєва швидкість може змінюватися, розглядається випадок прямолінійного руху, коли швидкість тіла за будь-які рівні інтервали часу змінюється однаково, що дозволяє ввести поняття прискорення, як відношення зміни швидкості до інтервалу часу, за який ця зміна відбулася. Прискорення в такому русі не залежить від часу руху.

При визначенні того, як змінюється швидкість тіла – збільшується чи зменшується – потрібно виходити з наступного: 1) якщо вектори початкової швидкості і прискорення збігаються за напрямом, то значення швидкості зростає; 2) якщо вектори початкової швидкості і прискорення протилежні за напрямом, то значення швидкості зменшується до нуля і може статися так, що після зупинки тіло змінює напрям свого руху і рухається із збільшенням значення швидкості; 3) знак проекції прискорення не визначає характеру руху – сповільнений він чи прискорений, а залежить від вибору системи відліку.



Наприклад, якщо два тіла рухаються рівноприскорено в протилежних напрямах, тоді проекція одного прискорення додатна, іншого – від'ємна.

Незалежно від обраного підходу до введення поняття прискорення спільним для них є поняття миттєвого прискорення. Важливість цього факту пояснюється тим, що поняття миттєвого прискорення полегшує в подальшому засвоєння поняття про доцентрове прискорення, адже при виводі формули останнього розглядається зміна швидкості саме за малий інтервал часу. Учні повинні зрозуміти, що при рівномірному русі по колу не тільки швидкість, а й прискорення – змінний вектор (його напрямок у кожній точці траєкторії змінюється) і що, визначаючи доцентрове прискорення, ми визначаємо миттєве прискорення.

4. Загальна логіка вивчення прямолінійних рівномірного й рівнозмінного рухів пов'язується з розв'язуванням конкретних фізичних задач, які відіграють роль навчальних задач (навчальних проблем).

Введення конкретних понять кінематики завершилося наступним: Для визначення координати тіла, що рухається прямолінійно, у будь-який момент часу треба знати початкову його координату і проекцію вектора переміщення, здійсненого за даний час: $x = x_0 + S_x$. Для того щоб знайти проекцію переміщення необхідно знати як воно залежить від часу. А це можна зробити, розглядаючи конкретний вид механічного руху.

А. Розв'яжемо задачу: Спочатку автомобіль і велосипедист знаходилися на відстані 250м один від одного. Рухаючись прямолінійно назустріч один одному зі швидкостями – автомобіль 20м/с, велосипедист 5м/с, вони зустрілися. Визначити місце зустрічі автомобіля і велосипедиста.

Розглядаються поняття рівномірного прямолінійного руху, його швидкість, рівняння руху.

Б. Розв'яжемо наступну задачу: У початковий момент часу тіло рухалося зі швидкістю 10м/с, а через 2с – зі швидкістю 20м/с. Визначити швидкість тіла, його положення і пройдений шлях через 5с після початку спостережень. Урахувати, що тіло рухається прямолінійно, а його швидкість змінювалася за будь-які рівні інтервали часу однаково. (Умова задачі зображена на таблиці)

– У даній задачі швидкість руху одного й того самого тіла в одній системі відліку, пов’язаною із Землею, має різні значення. Про яку швидкість йде мова в даній задачі?

Уводяться поняття середньої й миттєвої швидкостей.

– У даній задачі треба визначити миттєві швидкості в різні моменти часу. Як це зробити?

Уводяться поняття: рівнозмінний рух, прискорення, рівняння зміни миттєвої швидкості.

– Як знайти положення тіла в будь-який момент часу при прямолінійному рівнозмінному русі?

Уводяться рівняння рівнозмінного прямолінійного руху.

– Як знайти положення тіла в будь-який момент часу у випадку, коли всі тіла мають однакове прискорення?

Розглядається вільне падіння тіл.

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІКА

Динаміка вивчає рух тіл у зв'язку з тими причинами (взаємодіями між тілами), які обумовлюють той чи інший характер руху.

Зміст розділу "Динаміка" передбачає вивчення законів Ньютона (динаміки), пов'язаних з ними понять маси, сили і видів сил, рух тіл під дією різних видів сил.

2.1. Перший закон Ньютона

Перший закон Ньютона. Інерція. Інерціальні системи відліку.

1. У підручниках з фізики для вищої і середньої школи часто використовується ньютонівське формулювання законів динаміки (у перекладі академіка А.Н.Крилова). Перший закон динаміки формулюється так: *Будь-яке тіло продовжує утримуватися у своєму стані спокою або рівномірного і прямолінійного руху, доки і оскільки воно не спонукається прикладеними силами змінити цей стан.*

У даному формулюванні немає вказівки на те, відносно якої системи відліку розглядається рівномірний прямолінійний рух і спокій тіла. Це пов'язано з тим, що Ньютон припускав існування простору не пов'язаного з матеріальними тілами і формулював закони динаміки для цього абсолютного простору. Він писав, що абсолютний простір за своєю сутністю, безвідносно до будь-чого зовнішнього, залишається завжди однаковим і нерухомим. Абсолютний рух – це переміщення тіла з одного абсолютного його місця в інше.

Розвиток науки показав помилковість цих уявлень Ньютона про абсолютний простір. Водночас, оскільки механічний рух – взагалі рух відносний (він полягає у переміщенні тіл з часом одне відносно одного) і ми вивчаємо рух конкретних тіл завжди відносно вибраних тіл відліку, то формулюючи закони механіки, ми повинні вказати, для яких відносних рухів він справджується.

У кінематиці не істотне питання про вибір системи відліку. Всі системи відліку кінематично еквівалентні, чого не можна стверджувати в динаміці. Один і той самий рух має різний вигляд у різних системах відліку. Якщо в деякій системі відліку тіло рухається прямолінійно й рівномірно, то в системі відліку, яка рухається прискорено відносно першої, цього вже не буде. Звідси випливає, що перший закон динаміки не може виконуватися у всіх системах відліку. Без вказівки на систему відліку цей закон просто немає смислу.

Зміст першого закону Ньютона зводиться до твердження, що існує хоча б одна інерціальна система відліку.

Отже, формулюючи перший закон динаміки приблизно так, як це зробив Ньютон, обов'язково стане задача підвести учнів до вказаного змісту закону.

Тому, у вузівських і шкільних підручниках фізики стало поширеним таке формулювання першого закону Ньютона: *існують такі системи відліку, відносно яких тіла, на які не діють інші тіла, або дія на які інших тіл компенсується, рухаються прямолінійно і рівномірно або перебувають у стані спокою.*

Такі системи відліку прийнято називати інерціальними.

У шкільному курсі фізики доцільно обмежитися останнім формулюванням першого закону Ньютона і вивчення відповідного навчального матеріалу безпосередньо спрямувати на підведення учнів до цього формулювання та його розуміння.

2. У першому законі Ньютона ясно виступає його зв’язок з властивостями простору, еквівалентність твердження, яке міститься в ньому, тому що існують інерціальні системи відліку, відносно яких простір однорідний і ізотропний. Дійсно, однорідність простору означає, що в ньому немає виділених точок, які відрізнялися б одні від одних. Ізотропність простору означає однаковість його властивостей по всіх напрямах. Це слід розуміти так: якщо деяке тіло, вільне від зовнішніх впливів, знаходиться у стані спокою, в деякий момент часу відносно інерційної системи відліку і зберігає цей стан у всі останні моменти часу, то простір однорідний відносно цієї системи; якщо тіло, вільне від зовнішніх впливів, у початковий момент рухається з деякою швидкістю і зберігає цю швидкість незмінною у всі наступні моменти, то простір ізотропний. Самі властивості простору такі, що вони не викликають зміни значення або напряму швидкості. Це відображено у першому законі Ньютона, в якому стверджується, що коли немає зовнішніх впливів (або їх сума дорівнює нулю), швидкість тіла відносно інерційної системи не змінюється, тобто сам простір цю швидкість змінити не може. Такий зміст першого закону вказує на помилковість його тлумачення, як наслідку другого закону Ньютона: $\vec{F} = m\vec{a}$, F = 0, отже a = 0.

Явище природи, сутність якого полягає в збереженні швидкості будь-якими тілами незмінною, коли на них не діють інші тіла, має назву інерції. Тому перший закон Ньютона називають ще законом інерції.

3. В останньому формулюванні закону інерції явно вказується на те, що рух розглядається відносно інерціальної системи.

Інерціальна система відліку є моделлю, аналогічно до того, як поняття матеріальної точки. У повному розумінні інерціальних систем не існує. Водночас, ми користуємося ними, пов’язуючи їх з реальними тілами відліку. Чи можна вважати дану систему відліку інерціальною, під час розв’язування даного класу задач, вирішує дослід.

Дослід показує, що практично достатньо добре вимогам, яким повинна відповідати інерціальна система відліку, задовольняє така система відліку, яка пов’язана з нерухомими зірками. Одна із зірок приймається за початок відліку, потім знаходять ще три зірки, напрямки на які з початку відліку координат взаємно перпендикулярні. Для великого класу практично важливих задач механіки відхилення системи відліку "Земля" від інерціальності, що пов’язано з обертанням Землі навколо власної осі, незначні й ними можна нехтувати.

Зміст закону інерції стає більш зрозумілим, якщо учням показати на прикладах існування неінерціальних систем відліку. Цим треба обмежитися, тому що користування неінерціальними системами відліку вимагає введення понять про сили інерції, які не є силами взаємодії. А це створить додаткові труднощі у формуванні в учнів поняття сили.

До відома.

З наведеного формулювання закону інерції випливає, що система відліку буде інерціальною, якщо швидкість ізольованого тіла не змінюється. Ізольоване тіло – тіло, на яке не діють інші тіла. Але, щоб стверджувати відсутність дії на тіло інших тіл, його треба розглядати відносно інерціальної системи відліку. Отже, у цих міркуваннях наштовхуються на логічний круг. Можливість більш-менш чітко сказати, що таке "інерціальна система" і дати добру пораду, як логічно бездоганно визначити цю систему, з'явилася тільки з виникненням загальної теорії відносності. У класичній механіці і механіці спеціальної теорії відносності, задовільної відповіді на це питання не було. Тому, вийти без втрат з указаного логічного круга у вигляді закону інерції неможливо.

Трудність вивчення закону інерції пов'язана й з принциповою неможливістю створення ідеальних умов, при яких він точно виконується. Тому приходиться використовувати різні способи наближення до цих умов.

Під час вивчення закону інерції доцільно порівняти погляди на рух Аристотеля і Ньютона. Згідно Аристотеля "без сили немає руху". Саме такий образ мислення характерний для людини далекої від наукових уявлень про рух. У цьому впевнюються учні й у своєму життєвому досвіді. Тому треба намагатися їх переконати в тому, що тіло продовжує рухатися рівномірно й прямолінійно при відсутності дії на нього інших тіл (або компенсації цих впливів).

Застосовуючи закон інерції треба пам'ятати, що тіла треба розглядати як матеріальні точки і в інерціальних системах відліку. Тоді, наприклад, стане зрозумілим, що розкручений маховик – тіло, дії на яке інших тіл скомпенсовані, по інерції обертається, а не рухається рівномірно прямолінійно, і це не суперечить закону інерції. Адже маховик треба розглядати як матеріальну точку (центр мас).

2.2. Маса тіла

Інертна й гравітаційна маса. Способи введення поняття маса. Одиниці вимірювання маси.

1. Маса – є одним з основних понять механіки. В основі класичної механіки Ньютона лежить поняття маси як абсолютної величини, тобто величини, яка не залежить від швидкості руху тіла відносно тієї системи відліку, у якій проводяться вимірювання, і від вибору системи відліку.

До уявлень про масу прийшли, досліджуючи явище інерції. Було встановлено, що всі тіла мають властивість – кожне з них внаслідок певного зовнішнього впливу набуває конкретне прискорення, тобто конкретно змінює свою швидкість. Ця властивість, яка має назву інертності, може бути охарактеризована фізичною величиною – інертною масою. Різні тіла мають однакову масу, якщо виявляється, що при одних і тих самих умовах, внаслідок однакового зовнішнього впливу, вони набувають однакового прискорення.

У навчальних посібниках інертність описується по-різному: інертність тіла проявляється в тому, що для зміни швидкості необхідний певний час. Тіла відрізняються одні від одних властивістю – інертністю: для зміни швидкості різних тіл на одну й ту саму величину, при однакових на них зовнішніх впливах і умовах, потрібний різний час. Якщо врахувати, що $\vec{a} = \dfrac{\vec{\upsilon} - \vec{\upsilon}_0}{t}$, то всі вказані описи інертності мають один і той самий смисл.

До уявлення про масу веде і інша група явищ – явища всесвітнього тяжіння або гравітації. Сили притягання між тілами визначаються об'єктивною властивістю тіл, яка характеризується фізичною величиною – гравітаційною масою.

Якщо закон всесвітнього тяжіння ізольований від другого закону Ньютона, то поняття гравітаційної маси, що випливає з нього, повинно бути новою фізичною величиною. Але, виходячи з факту однаковості для всіх тіл прискорення, що набуваються ними біля поверхні Землі під впливом сили тяжіння, обидві маси ототожнюються, тому що цим доводиться, що обидві маси не тільки завжди строго пропорційні, а й завжди існують разом. Немає тіла, яке має тільки гравітаційну або тільки інертну масу. Це можна пояснити приблизно так: з другого закону Ньютона випливає, що інертна маса тіла дорівнює у випадку вільного падіння $m = \frac{F}{a} = \frac{F}{g}$. Водночас сила тяжіння $F_{\text{т}} = G\frac{m \cdot M_З}{R^2}$, а прискорення вільного падіння $g = G\frac{M_З}{R^2}$. Звідси $m = \frac{F_{\text{т}}}{g} = m$.

Сукупність великої кількості різноманітних фактів приводять до уявлення про фізичну величину – масу, яка виявляється як в інерційних, так і гравітаційних явищах.

Тотожність гравітаційної і інертної мас повністю з'ясовується в теорії тяжіння Ейнштейна. У рівняннях цієї теорії фігурує одна фізична величина, яка виявляється й у якості маси інертної, і в якості маси гравітаційної.

Формування поняття про масу можна розпочинати або з вивчення інертних явищ, або з явищ гравітації. Але структура сучасного курсу фізики стає більш раціональною, якщо вивчення інерційних явищ передує вивченню тяжіння. У дидактичному відношенні формування поняття маси, розпочинаючи з гравітаційної, має й той недолік, що приводить до плутанини в розумінні маси і ваги. У багатьох підручниках, де маса і вага вводяться разом, завжди попереджують учнів: "Не змішуйте масу з вагою".

2. Існують різні способи введення інертної маси. Один з них пов'язаний з тим, що спочатку вводиться поняття сили і дається спосіб її вимірювання, а потім встановлюється дослідним шляхом другий закон Ньютона, як твердження про пропорційність між прискоренням тіла і діючою на нього силою. При такій методиці основний зміст другого закону динаміки — залежність прискорення даного тіла від прикладеної до нього сили – встановлюється до введення поняття маси. Остання з'ясовується вже на ґрунті встановленого дослідом співвідношення і визначається через відношення сили до наданого прискорення: $m = \frac{F}{a}$. Для даного тіла це відношення має одне й те саме значення незалежно від того, яке значення діючої на тіло сили. В цьому випадку другий закон Ньютона містить одне твердження, і в той самий час використовується для визначення маси.

Другий спосіб введення поняття маси полягає в з'ясуванні залежності прискорення двох тіл, що взаємодіють, від певної властивості цих тіл, що приводить до встановлення співвідношення $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$ – оберненої пропорційності мас тіл, що взаємодіють, до набутих ними прискорень. Отже, маса вводиться до вивчення поняття про силу.

Цей спосіб введення інертної маси через відношення прискорення тіл, що взаємодіють, має перевагу: інертність, отже і маса, яка є її кількісною характеристикою, відноситься до таких "первісних" властивостей, уявлення про які можна отримати лише при порівнянні цієї властивості у різних тіл. Як про довжину ми можемо отримати уявлення лише тому, що ми можемо її співставити, порівняти з еталоном довжини, так і зрозуміти реальний смисл маси можна лише при порівнянні її з масою іншого тіла, обраного в якості еталону. Переваги вказаного способу введення інертної маси полягає також у його універсальності. Він однаково придатний для вимірювання мас як елементарних частинок, так і величезних небесних тіл. Універсальність методу також виявляється в тому, що ним можна користуватися в будь-яких умовах, наприклад, в умовах невагомості.

У релятивістській механіці маса завжди пов'язана з енергією $E = mc^2$ і навпаки, тому в ній не існують окремо закони збереження маси і енергії – вони входять в єдиний закон збереження повної (тобто враховуючи енергію спокою частинки) енергії. Наближене їх розділення можливе лише в класичній фізиці, коли $\upsilon \ll c$ і не відбувається перетворення частинок. При з'єднанні частинок одна з одною з утворенням стійкого зв'язаного стану виділяється надлишок енергії, який дорівнює енергії зв'язку ΔE, якому відповідає маса $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$. Тому маса складеної частинки менша за суму мас частинок, що їх утворюють, на величину $\frac{\Delta E}{c^2}$. Це явище особливо помітне у ядерних реакціях.

3. Одиницею маси в СІ є кілограм. Маса атомів і молекул, як правило, вимірюється в атомних одиницях маси (а.о.м). Масу елементарних частинок прийнято виражати або в одиницях маси електрона (m_e), або в енергетичних одиницях (вказується енергія спокою відповідної частинки). Так, маса електрона складає $m_e = 0{,}511\text{МеВ}$ (мега електрон-вольт).

<u>До відома.</u>

Природа маси – одна з найважливіших нерозв'язаних задач фізики. Прийнято вважати, що маса елементарної частинки визначається полями, які з нею пов'язані (електромагнітним, ядерним тощо). Але кількісної теорії маси ще не створено. Не існує також теорії, яка пояснює, чому маса елементарних частинок утворює дискретний спектр значень.

У навчальній літературі зустрічаються визначення маси, як кількості речовини, яке фактично нічого не визначає.

Кількість речовини – це поняття, яке не замінює широкого і загального поняття маси, що відноситься й до різнорідних тіл. Воно може використовуватися, коли треба порівняти не інертні або гравітаційні властивості тіл, а число частинок, які містяться в однорідних тілах. Це важливо, наприклад, у хімії й молекулярній фізиці. Поняття "кількість речовини" зараз використовується поряд з поняттям маси, але визначається воно числом структурних частинок даного тіла. В однорідних тілах однаковому числу частинок відповідає однакова маса. Але в різнорідних тілах однаковому числу частинок відповідає різна маса. Це означає, що маса не може бути мірою кількості речовини різнорідних тіл. Для поняття кількість речовини в СІ введена спеціальна одиниця – моль. 1 моль – кількість речовини системи, яка містить стільки ж структурних елементів, скільки міститься в нукліді C^{12} масою 0,012кг. При користуванні цією одиницею структурні елементи повинні бути специфікованими і можуть бути атомами, молекулами, іонами, електронами і іншими частинками.

Будь-яка спроба визначення маси як міри кількості речовини, що міститься в тілі, ґрунтується на чисто умоглядному припущенні, що всі тіла складаються в решті решт із частинок першоматерії, які тотожні для всіх тіл. Згідно цьому припущенню маса визначається як число цих частинок. А це суперечить сучасній науці.

2.3. Сила

Поняття "сила". Сила і деформація тіл. Способи вимірювання сил. Два підходи до введення поняття "сила".

1. Терміном "сила" у механіці позначають і саму дію одного або декількох тіл на дане тіло, у результаті якої змінюється його швидкість, і фізичну величину, яка є мірою цієї дії. Такий смисл поняття сили в механіці Ньютона. Зміна швидкості тіла може мати місце як при безпосередньому контакті (тиск притиснутих одне до одного тіл, тертя) і через поля, що створюються тілами (поле тяжіння, електромагнітне поле). Сила – величина векторна і в кожний момент часу вона характеризується числовим значенням, напрямом у просторі і точкою прикладання. Додавання сил виконується за правилом паралелограма сил. Пряма, вздовж якої напрямлена сила, називається лінією дії сили. Якщо тіло можна розглядати як недеформоване (абсолютно тверде), то силу можна вважати прикладеною до будь-якої точки на її лінії дії.

Вимірювання сил виконується статичним або динамічним методами.

2. Якщо виходити із законів Ньютона, єдине на що здатна сила – це викликати прискорення тіла або його частин, тобто змінювати їх швидкість. Іншими словами, механічна дія на тіло інших тіл має своїм результатом зміну його, або його частин, швидкості. У законах Ньютона немає й згадки про таке явище, як деформація тіл, та й не може бути, оскільки закони Ньютона стосуються руху матеріальних точок, які, звичайно, деформуватися не можуть. Силу згідно із законами Ньютона слід розглядати як причину прискорення й лише прискорення.

Але, життєвий досвід указує на те, що дія одного тіла на інше супроводжується зміною (навіть незначною) їх форми і розмірів, тобто деформацією. Тому, якщо у ряді підручників фізики для середньої і вищої школи трапляється твердження про те, що сила не лише надає тілу прискорення, а й деформує його, то це твердження, здавалося б, не повинно викликати сумнівів. Щоб переконатися в помилковості даного твердження, перш за все відмітимо, що добре відомі приклади, коли сила діє на тіло, але ніякої деформації в ньому не виникає. Наприклад, сили тяжіння діють відразу на всі точки тіла і надають їм одного й того самого прискорення "g". Тому всі точки рухатимуться однаково, і руху одних точок відносно інших не буде. У результаті не буде й деформації. Отже, деформація не може бути обов’язковою ознакою сили.

Деформація виникає в результаті того, що певні частини тіла переміщуються неоднаково, мають швидкість одна відносно одної. Пояснити виникнення деформації – це означає пояснити походження тих рухів, які привели до зміни взаємного розміщення окремих частин тіла.

Відомий вчений-механік С.Є.Хайкін пише з цього приводу наступне: Деформація є результатом певного руху, і безпосередньою причиною деформацій є рух, а не сили. Звичайно, сили відіграють істотну роль у виникненні рухів, отже, і у виникненні деформацій. Але вони є лише побічною причиною деформації. Установити безпосередній зв’язок між силами і деформаціями не завжди можливо. Сили самі по собі ще не визначають деформацій, які повинні виникнути. Знаючи сили, ми повинні за допомогою законів механіки визначити рухи, які виникнуть під дією цих сил. Якщо ці сили такі, що різні частини тіла здійснюють різні рухи, то взаємне розміщення різних частин зміниться, тобто виникнуть деформації.

Безпосередній зв’язок між силою і деформацією легко може бути встановлений тільки у випадку статичних деформацій. Але й статична деформація – результат різних переміщень окремих частин тіла і в цьому випадку, щоб дати повну відповідь, як виникла деформація, треба було б говорити не про те, які сили її викликали, а які рухи окремих частин тіла, що привели до деформації.

3. Коли мова йде про вимірювання сили статичним способом (за допомогою динамометра), то мають на увазі порівняння цієї сили із зрівноважуючою її силою пружності деформованої пружини.

Вимірювання сили динамічним способом ґрунтується на використанні формули $F = ma$, яка є визначальною для даного поняття: при дії на будь-яке тіло даної сили F добуток маси тіла на його прискорення завжди матиме одне й те саме значення. Отже, вимірявши масу тіла, на яке діє сила, його прискорення можна знайти значення даної сили.

У СІ сила вимірюється в ньютонах (Н). Але можна зустрітися з іншими одиницями: диною (1дн = 10^{-5}Н) і кілограм-силою (1кгс = 9,81Н).

4. Відомі два підходи до введення поняття сили: до і після введення поняття про масу тіла.

Якщо вивчати поняття сили до введення поняття про масу, то сила повинна розглядатися як основна фізична величина в системі одиниць. А це передбачає: введення одиниці вимірювання сили, як основної; з’ясування способу вимірювання сил.

Для встановлення одиниці вимірювання основної фізичної величини, необхідно вибрати її еталон. Так, у випадку коли одиниця вимірювання маси належить до основних одиниць, еталоном цієї одиниці є маса циліндра, виготовленого зі сплаву платини й іридію, який має певні розміри. Вимірювання маси відбувається шляхом порівняння маси даного тіла із цим еталоном.

Отже, для встановлення одиниці вимірювання сили, якщо її вважати основною в системі одиниць, необхідно вибрати еталон даної одиниці. В якості еталону може бути обрана сила, з якою конкретно визначена пружина, розтягнута до деякої довжини, діє на прикріплене до неї тіло. Спосіб порівняння інших сил з цим еталоном полягає у наступному: якщо до пружини прикріпити тіло, то до тіла будуть одночасно прикладені дві сили, які напрямлені протилежно: сила притягання до Землі (тягне тіло вниз); сила з боку розтягнутої пружини (тягне тіло вверх). Коли ці сили зрівноважують одна одну і тіло залишається у стані спокою, то вони будуть рівні за абсолютним значенням.

Отже, принцип, який використовується для порівняння даної сили з еталоном, ґрунтується на тому, що при відсутності у тіла прискорення, всі сили, які діють на нього, врівноважуються. Для вимірювання сил потрібно декілька еталонів одиниці сили.

Але в такому підході до введення поняття про силу є суттєві недоліки.

По-перше, у сучасній науці, техніці використовується система одиниць фізичних величин СІ, у якій основною є одиниця маси, а не сили.

По-друге, при такому підході до вимірювання сил припускається адитивність сил: дві пружини-еталони, розміщені паралельно, діють із силою вдвічі більшою, ніж одна. Але це припущення – деякий додатковий постулат, причому зовсім не очевидний. Дійсно, розмістивши, наприклад, дві пружини не паралельно, а послідовно, ми не отримаємо дії вдвічі більшої, ніж від однієї пружини.

По-третє, виникають ряд питань: Чи дорівнює сила, яка виміряна статично, силі, що викликає прискорення? Як, маючи еталони одиниці сили, виміряти сили, значення яких не є цілим числом? і інші.

По-четверте, без введення поняття маси треба дослідом довести, що прискорення прямо пропорційне силі. Але існують значні труднощі в здійсненні такого експерименту.

Другий спосіб введення поняття про силу, передбачає знання учнями поняття про масу. Якщо спочатку вводиться поняття маси, то учням стає відомою рівність $\frac{m_1}{m_2}=\frac{a_1}{a_2}$. Звідси випливає що $m_1a_1=m_2a_2$. Ця рівність означає, що добуток маси тіла на набуте ним під час взаємодії прискорення за своїм числовим значенням однаковий для обох взаємодіючих тіл. Для будь-якого з двох взаємодіючих тіл добуток ma відображає як властивість самого тіла, так і вплив на нього другого тіла. Якщо вплив другого тіла на дане змінюється, то і величина ma також змінюється і її можна вважати мірою впливу другого тіла на дане тіло масою m. Отже, якщо силу позначити буквою F, то $\vec{F}=m\vec{a}$.

Але і цей спосіб має певні недоліки. Зокрема, логічніше було б довести, що $F=ma$, за умови знання учнями третього закону Ньютона. Якщо при взаємодії двох тіл, сили, які діють на кожне з них, рівні за величиною, і, водночас, $m_1a_1=m_2a_2$, то очевидно, що кожній силі відповідає добуток маси на прискорення.

<u>До відома.</u>

Можна зустрітися з твердженням: Сила – характеристика взаємодії тіл. Для розуміння цього твердження треба враховувати, що взаємодія взагалі широке поняття, яке означає взаємозв’язок, взаємовплив, зміну тіл під дією одне на одного. Різні сторони взаємодії вивчаються різними науками, аналогічно до того, що вони вивчають різні типи рухів (механічні, біологічні, тощо). Механіка вивчає механічну взаємодію тіл – ту сторону взаємодій, яка істотна для їх механічного руху. Вживаючи слово "взаємодія" у механіці, мають на увазі, що мова йде про "механічну взаємодію".

Вирази "сила взаємодії", "сила, з якою тіла притягуються одне до одного" не зовсім вдалі. Вживаючи їх треба розуміти наступне: поняття сили виражає власно не взаємодію тіл, а лише одну з його сторін – дію одного тіла на інше. Якщо тіло А діє на тіло В, то і тіло В діє на тіло А. Отже, при взаємодії мова йде про дві сили, які мають різні точки прикладання й напрямки.

Необхідно врахувати те, що зустрічається помилкове зображення сил: стрілка, яка зображає силу, починається в точці прикладання сили – точці А. Помилковим є зображення сили, коли стрілка "упирається" в точку А (сила нібито "штовхає" тіло).

Коли говорять "сила прикладена до тіла", не називаючи точку прикладання, мають на увазі точкове тіло, адже сила, що прикладена до різних точок тіла, може викликати різні дії. У випадку "абсолютно твердого тіла" дія сили не змінюється, якщо точку прикладання перенести вздовж лінії дії сили.

2.4. Другий закон Ньютона

Одне з формулювань другого закону Ньютона: Зміна кількості руху пропорційна прикладеній силі і відбувається у напрямі тієї прямої, вздовж якої ця сила діє: $\vec{F} = \frac{d(m\vec{\upsilon})}{dt}$.

З цього формулювання можна отримати й інший запис даного закону. У класичній механіці маса даного тіла є незмінною величиною, тому можна попередню формулу записати так: $\vec{F} = m\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}$. Враховуючи, що $\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \vec{a}$ – це прискорення, яке виникає під дією сили, отримуємо наступний запис для другого закону Ньютона: $\vec{F} = m\vec{a}$.

Отже, сила, яка діє на тіло, дорівнює добутку його маси на прискорення.

Записана формула одночасно є визначальною для сили й законом природи – другим законом Ньютона.

Для того щоб зрозуміти перший зміст цієї формули, порівняємо її з визначальною формулою іншої фізичної величини, наприклад, швидкості рівномірного прямолінійного руху $\vec{\upsilon} = \frac{\vec{S}}{t}$.

Відношення переміщення тіла, яке рухається прямолінійно рівномірно, до часу, за який це переміщення було здійснене, не залежить від часу руху і для конкретного руху має певне числове значення й певний напрям.

Аналогічно для даної сили добуток маси тіла на його прискорення не залежить від того, на яке тіло ця сила діє. Для даної сили добуток маси на прискорення має певне значення й певний напрям. У цьому полягає зміст формули $\vec{F} = m\vec{a}$, як визначальної для сили.

Сила є функцією швидкості і координат тіла. Тому, якщо відомо з досліду як сила $\vec{F}$ залежить від положення тіла, на яке вона діє, і від його швидкості відносно тіл, з якими воно взаємодіє, то скориставшись формулою $\vec{F} = m\vec{a}$, можна знайти прискорення. Знаючи початкові умови – початкові координати і швидкість тіла, визначивши прискорення, можна знайти швидкість і положення даного тіла в будь-який момент часу, тобто розв'язати основну задачу механіки. У такому смислі формула $\vec{F} = m\vec{a}$ виражає другий закон Ньютона.

Другий закон можна сформулювати і так: прискорення тіла, обумовлене дією на нього сили, пропорційне прикладеній силі і обернено пропорційне до маси тіла: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

З такого формулювання закону безпосередньо випливає висновок: сила – причина, яка обумовлює прискорення тіла.

Другий закон Ньютона називають рівнянням руху, адже розв'язавши рівняння $\vec{F} = m\vec{a}$, отримуємо вираз, який покаже, як координата рухомого тіла змінюється з часом.

У більшості шкільних підручників з фізики для старших класів, виданих у останні десятиріччя 20-го століття, спочатку вводилося поняття маси, а потім одночасно поняття сили і другого закону Ньютона.

Записуючи другий закон динаміки у вигляді $\vec{F} = m\vec{a}$ або $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$, треба звернути увагу на наступне:

1) закон застосовується до руху матеріальної точки в інерціальній системі відліку;

2) сила $\vec{F}$ у даних формулах є рівнодійною всіх сил, що діють на матеріальну точку;

3) з напрямом рівнодійної сил збігається напрям вектора прискорення, тому помилковим є твердження про те, що тіло рухається в той бік, у якому діє сила.

2.3. Третій закон Ньютона

У навчальній літературі з фізики можна зустрітися з такими формулюваннями закону Ньютона:

1. Два тіла взаємодіють між собою із силами, рівними за числовим значенням і протилежними за напрямом.

2. У дії завжди є однакова протилежна протидія, тобто взаємодії двох тіл однакові між собою й спрямовані в протилежні напрямки (формулювання Ньютона).

Якщо порівняти ці формулювання, то одну із сил, згідно Ньютона, називають дією, а іншу – протидією.

"Дія" за своєю фізичною природою ні в чому не відрізняється від "протидії". Якщо діюча сила зумовлена деформацією, всесвітнім тяжінням або наявністю електричного поля, то тим самим зумовлена й протидіюча сила. Так, важке тіло, що лежить на столі, тисне на стіл і, водночас, відчуває протилежно напрямлений з боку стола протитиск. "Дія" (тиск тіла на стіл) обумовлена деформацією тіла, "протидія" (тиск стола на тіло) – деформацією стола.

В основу поділу сил на "діючі" і "протидіючі" було покладене уявлення про активні тіла, які здійснюють дію, і пасивні тіла, що здійснюють протидію. Так, якщо кінь тягне віз, то активним тілом, яке здійснює дію, буде кінь, а пасивним тілом, що здійснює протидію, – віз.

Але поділ тіл на активні й пасивні не завжди можна провести. Наприклад, коли Сонце і планета притягуються одне до одного силами всесвітнього тяжіння, то в цій взаємодії вони виступають зовсім рівноправними і не можна вказати яке з цих взаємодіючих тіл є активним, а яке пасивним. Яку з двох сил назвати дією, а яку протидією – це, у більшості випадків, питання узгодження.

Усе це говорить про те, що в шкільному курсі фізики не доцільно давати друге формулювання третього закону Ньютона.

По-перше, все рівно потрібно дати й перше з них, яке має конкретний для учнів зміст. По-друге, без розкриття змісту понять "дія" і "протидія" учні не зрозуміють закладеного в законі фізичного змісту, а самі терміни будуть тлумачити в побутовому смислі.

Аналізуючи третій закон Ньютона треба враховувати наступне:

1) він виконується тільки в інерціальних системах відліку, тому що в неінерціальних системах не будь-якій дії є протидія, не будь-яка сила є результатом дії одного тіла на інше – є сили, що визначаються характером руху системи (сили інерції);

2) сили, про які йде мова в третьому законі динаміки, завжди однієї природи й прикладені до різних тіл; вони не можуть зрівноважувати одна одну;

3) якщо взаємодіють не два, а відразу кілька тіл, то третій закон динаміки справедливий для будь-якої пари тіл.

Усі три закони Ньютона взаємопов'язані і мають сенс лише у своїй сукупності.

У першому законі стверджується існування інерціальних систем відліку і дається порада їх пошуку. У ньому міститься умова руху тіл без прискорення.

У другому – стверджується, що в таких системах дія інших тіл на дане тіло – сила – причина прискорення, яка вимірюється добутком маси тіла на прискорення, що надається тілу даною силою.

У третьому законі вказана спільна властивість всіх сил: вони виникають і зникають попарно; вони мають однакову природу і матеріальне походження. Цей закон допомагає знайти всі сили, що діють на тіло.

У своїй сукупності і взаємозв'язку закони Ньютона застосовуються до аналізу будь-якого часткового випадку механічного руху, тому в шкільному курсі механіки значний час приділяється аналізу руху тіл під дією різних сил.

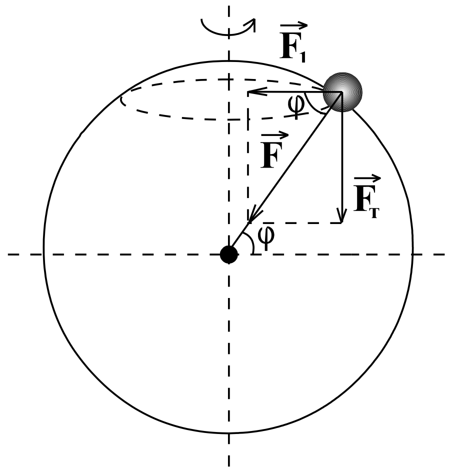
2.6. Сила притягання до Землі і сила тяжіння

Закон всесвітнього тяжіння, відкритий І.Ньютоном, можна сформулювати так: будь-які два матеріальних тіла притягують одне одного із силою, прямо пропорційною до їх мас і обернено пропорційною квадрату відстані між ними:

$$\vec{F} = G \cdot \frac{m_1 m_2}{R^2} \quad \text{або} \quad \vec{F} = G \cdot \frac{m_1 m_2}{R^3} \cdot \vec{R}$$

У даному записі закон застосовується в таких випадках: 1) обидва тіла можна розглядати як матеріальні точки; 2) одне тіло є кулею великого радіусу, а друге тіло можна вважати матеріальною точкою; 3) обидва тіла мають форму кулі. У цих випадках стає визначеною відстань R: між двома матеріальними точками; між центром кулі й матеріальною точкою, між центрами куль. Отже, напрям сили всесвітнього тяжіння завжди збігається з лінією, яка з'єднує центри тяжіння об'єктів, що взаємодіють. При цьому в останніх двох випадках мається на увазі те, що тіла однорідні: будь-яке однорідне тіло сферичної форми притягує все, що знаходиться поза нього, так само, як матеріальна точка, що міститься у центрі кулі і має масу цього сферичного тіла. Цю особливість сил всесвітнього тяжіння враховують, називаючи їх центральними.

Неоднорідна куля, яка складена з декількох однорідних шарів, також дає поле сил, яке близьке до центрального. До цього випадку відноситься й наша Земля.



Не центральність земного тяжіння відбивається на русі супутників, космічних апаратів і, навіть, Місяця. Вона враховується в обрахунках і, навпаки, відхилення супутників від "правильного" руху в центральному полі тяжіння дозволяє уточнити форму нашої планети.

Припустимо, що Земля має сферичну форму і сила притягання до неї (сила всесвітнього тяжіння) напрямлена до центру Землі. Земля обертається навколо власної осі. Отже, разом із Землею обертається тіло, яке знаходиться на поверхні або поблизу поверхні планети. Якщо тіло обертається, то вона має доцентрове прискорення, яке може бути надане тілу тільки силою $\vec{F}_1$. Щоб визначити доцентрову силу треба силу притягання тіла до Землі розкласти на дві складові, одна з яких і є $\vec{F}_1$. Друга складова $\vec{F}_т$ має назву сили тяжіння. Як видно, сила тяжіння в принципі не збігається за значенням і напрямом із силою притягання. Але, $\vec{F}_1$ набагато менша за $\vec{F}_т$, тому у багатьох задачах можна вважати, що сила притягання до Землі дорівнює силі тяжіння.

Напрямок сили тяжіння збігається з напрямом нитки, натягнутої тягарцем, яке називають напрямом виска. Строго говорячи, нитка виска напрямлена до центру Землі тільки на полюсах і на екваторі. Різниця $F - F_т$ дорівнює нулю на полюсах і досягає максимуму, рівного 0,3% сили F на екваторі через сплющеність Земної кулі у полюсів. Сила F сама по собі дещо варіює з широтою, будучи на екваторі приблизно на 0,2% меншою, ніж на полюсах.

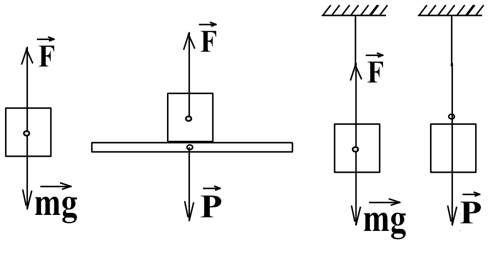
Значення сили тяжіння залежить від висоти над поверхнею Землі і від географічної широти. Перша залежність випливає із закону всесвітнього тяжіння, друга – із залежності $F_т$ від кута φ.

Сила тяжіння є об’ємною (масовою) силою. Вона розподілена по всьому тілу, результатом чого є однаковість прискорення вільного падіння всіх частин тіла.

2.7. Вага тіла. Невагомість

У деяких, раніше виданих, підручниках з фізики для школи і вузів поняття сили тяжіння і ваги тіла не розрізняються. Але, це різні поняття.

Вагу тіла визначають як силу, з якою тіло, внаслідок притягання до Землі, діє на горизонтальну опору або підвіс.



Припустимо, що тіло лежить на опорі. На тіло діють дві сили: сила тяжіння $m\vec{g}$ і сила пружності, яка зумовлена деформацією опори. Під дією цих двох зрівноважених сил тіло перебуває в рівновазі. Але брусок теж деформований, тому він діє на опору із силою пружності $\vec{P}$ – вагою тіла. Ця сила прикладена до опори. Якщо опора і тіло нерухомі відносно Землі, або рухаються відносно неї рівномірно прямолінійно, то сила тяжіння і вага тіла мають однакові числові значення.

Припустимо тіло підвішене на нитці. На тіло діють дві сили: сила тяжіння і сила пружності розтягнутої нитки; їх рівнодіюча дорівнює нулю, і тому тіло перебуває у рівновазі. Але деформоване й тіло. Тому воно діє на нитку із силою пружності $\vec{P}$, яка чисельно дорівнює силі пружності розтягнутої нитки і напрямлено протилежно їй. Сила $\vec{P}$ – вага тіла.

Вага тіла чисельно дорівнює силі тяжіння, при нерухомих підвісі і тілі, або під час їх рівномірного прямолінійного руху. За таких умов вага тіла, як і сила тяжіння залежать від висоти над поверхнею Землі.

Ці факти і те, що сила тяжіння і вага тіла напрямлені однаково, стали причиною помилкового їх ототожнення.

Але, ці сили прикладені до різних тіл: сила тяжіння прикладена до тіла, вага – до опори або підвісу.

Водночас, якщо опора або підвіс і тіло, що на них знаходиться, рухаються з прискоренням по вертикалі, то вага тіла не дорівнює силі тяжіння. Числове значення сили тяжіння не змінюється, а числове значення ваги цього тіла залежить від прискорення, з яким це тіло разом з опорою або підвісом рухаються по вертикалі: під часу руху вверх $P = m(g + a)$, під час руху вниз $P = m(g - a)$.

Якщо тіло вільно падає, тобто на нього діє тільки сила тяжіння, то вага тіла дорівнює нулю.

Отже, вага тіла і сила тяжіння мають різну природу, прикладені до різних тіл, вага тіла залежить від стану руху тіла разом з опорою або підвісом.

Зникнення ваги тіла під час руху опори з прискоренням вільного падіння називають невагомістю.

У стані вагомості перебувають тіла, на які одночасно діють сила тяжіння і сила пружності опори (підвісу), що зрівноважує її. Під впливом цих сил тіла деформуються.

Підвішена м’яка пружина, що зроблена з товстого дроту, стає розтягнутою, причому вона розтягнута найбільше зверху, а до низу розтяг поступово зменшується. Ця ж пружина, поставлена на стіл, деформується більш за все знизу й зовсім слабо біля верхнього кінця.

Людське тіло, перебуваючи на будь-якій опорі, також відчуваю дію цих двох сил – тяжіння і пружності опори. При цьому органи нашого тіла також у певній мірі деформовані, що і створює звичне нам відчуття вагомості.

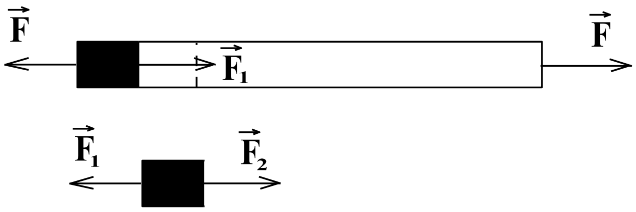
Отже, обов’язковою умовою існування стану вагомості є одночасна дія на тіло сил тяжіння і сил пружності, що виникають при деформації опор, на яких перебувають тіла.

У стані невагомості зникають внутрішні деформації тіла, які викликані діями зазначених сил. Так, під час вільного падіння деформація пружини, навіть до якої підвішене важке тіло, зникає.

2.8. Сила пружності

Для того щоб виникли сили пружності між різними тілами або між частинами одного й того самого тіла, необхідно щоб тіла були деформованими. Під деформацією розуміють зміну об'єму або форми тіла. Силами пружності називають сили, які виникають тільки при деформації тіл – при спробах змінити об'єм або форму твердого тіла, при зміні об'єму рідини, а також при стисканні газу.

Деформація тіла виникає лише в тому випадку, коли різні частини тіла здійснюють різні переміщення.



Прикладена до кінця шнура сила $\vec{F}$ викликає прискорення ділянки гуми на кінці шнура. Він починає рухатися вліво. При цьому гума розтягується і на крайню ділянку з боку сусідньої починає діяти сила пружності $\vec{F}_1$. Доки $\vec{F} > \vec{F}_1$, деформація буде збільшуватися і сила $\vec{F}_1$ буде зростати. Рівновага настане, коли сила пружності $\vec{F}_1$ дорівнюватиме силі $\vec{F}$. Деформація при цьому перестане збільшуватися.

На сусідню з крайньою ділянку шнура починає діяти тільки сила пружності $\vec{F}_1$ з боку крайньої лівої ділянки. Потім, внаслідок розтягу другої ділянки, виникає сила $\vec{F}_2$ з боку правої частини шнура. Спочатку $\vec{F}_1 > \vec{F}_2$ і ділянка буде зміщуватися вліво (Сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$ не є силами взаємодії двох частин тіла. Ці сили прикладені до одного тіла – виділеної ділянки – з боку двох інших тіл (сусідніх ділянок). Тому третій закон до них не застосовний). При рівновазі $\vec{F}_1 = \vec{F}_2 = \vec{F}$. Отже, на будь-яку ділянку шнура будуть діяти одні й ті самі сили пружності, які дорівнюють зовнішнім силам $\vec{F}$, прикладеним до кінців шнура.

Отже, для появи деформації істотно, що на різні ділянки шнура діють різні сили. Без цього деформація не може виникнути, інакше, у протилежному випадку, всі ділянки здійснювали б однакові переміщення.

Сили пружності з'являються тільки при деформаціях, але не завжди деформація призводить до появи сил пружності.

Ті тіла, у яких виникають сили пружності, що відновлюють форму або об'єм тіла після припинення дії цих сил, називаються пружними. Поряд з пружними тілами існують пластичні тіла, які після деформації своєї форми не відновлюють. Під час деформації цих тіл також виникає сила, але це не сила пружності, тому що її значення залежить не від величини деформації, а від швидкості зміни деформації: чим більша ця швидкість, тим більша сила.

Існує багато різних видів пружних деформацій, однак виявляється, що будь-яку найскладнішу пружну деформацію можна звести до сукупності двох простих деформацій: розтягу (стискання) і зсуву.

У випадку малих деформацій тіл зв'язок між пружністю й деформацією простий. Його було встановлено експериментально англійським фізиком Р.Гуком.

Закон Гука для деформації розтягу: сила пружності прямо пропорційна зміні довжини тіла $F = -k\Delta l$. Коефіцієнт пропорційності k називають жорсткістю пружного тіла. Жорсткість тіла залежить від форми і розмірів тіла, а також від матеріалу, з якого воно виготовлено. У СІ вона виражається в ньютонах на метр (Н/м). Знак "мінус" у формулі означає, що сила пружності напрямлена в бік, протилежний деформації. Зміна довжини тіла додатна під час його розтягу, а від'ємна – під час стикання.

Сили пружності обумовлені молекулярними силами.

2.9. Сила тертя

Поряд з силами, що виникають при деформації тіл (сили пружності), і силами тяжіння існують й інші сили, які спричинені молекулярними взаємодіями між тілами, що дотикаються одне одного, або окремими частинами одного й того самого тіла. Ці сили мають назву сил тертя.

Сили тертя, що виникають при дотику різних тіл, називаються силами зовнішнього тертя. Ці сили не зникають і тоді, коли обидва тіла, що дотикаються, нерухомі одне відносно одного (тертя спокою). Сили, що викликані переміщенням частин одного й того самого тіла відносно одне одного, називаються силами внутрішнього тертя (найбільш часто вони виявляються при русі рідин і газів).

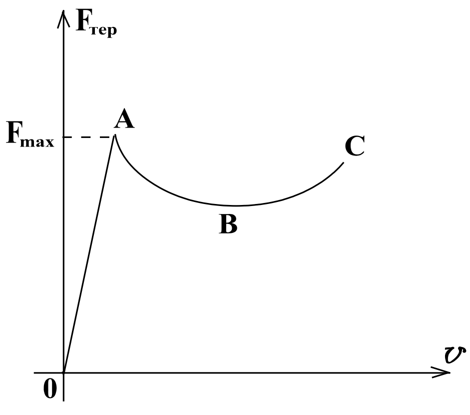
Сили тертя напрямлені тангенціально до стичних поверхонь тіл і залежать від їх відносних швидкостей. Останнім вони істотно відрізняються від пружних сил й сил тяжіння. Сили тертя можуть виникати не тільки між твердими тілами при їх дотику, а й між твердим тілом і рідиною або твердим тілом і газом.

Сила тертя, яка виникає при ковзанні сухих поверхонь відносно одне одного, залежить від стану цих поверхонь (їх шорсткості). Величина сили тертя залежить і від нормальної складової F_n сили, яка стискає поверхні. При збільшенні нормальної складової F_n сила тертя зростає приблизно пропорційно F_n: $F_T = \mu F_n$.

Коефіцієнт μ називається коефіцієнтом тертя. Значення μ залежить не тільки від характеру поверхонь, що дотикаються, а й від їх відносної швидкості.

Величина сили тертя (при даній нормальної складової сили F_n) для твердих стичних поверхонь у досить широких межах не залежить від величини стичних поверхонь. Якщо, наприклад, паралелепіпед з однаково обробленими поверхнями, який ковзає по твердій поверхні, перевернути на іншу грань, що має інші розміри, то сила тертя, при тій самій відносній швидкості, залишається незмінною.

Тертя між стичними сухими поверхнями не зникає, коли відносна швидкість стає рівною нулю. Для того щоб тіло почало ковзати по деякій поверхні, до нього треба прикласти зовнішню силу F паралельну поверхні і більшу за деяке певне для даного випадку значення F_1. Доки зовнішня сила $F < F_1$ тіло залишається нерухомим, що вказує на існування між тілом і поверхнею, з якою воно дотикається, сили F_T – сили тертя спокою.



Сила тертя спокою зрівноважує зовнішню силу. Вона може приймати будь-які значення, які лежать у межах від 0 до F_1, в залежності від величини прикладеної зовнішньої сили. Максимальне значення сили тертя спокою чисельно дорівнює тій силі F_1, під впливом якої тіло починає ковзати. Вона також задовольняє співвідношенню $F_{max} = \mu F_n$. При цьому μ називається коефіцієнтом тертя спокою, значення якого залежить тільки від природи стичних поверхонь.

Коли зовнішня сила F перебільшує максимальну силу тертя спокою, тіло починає ковзати, і з'являється сила тертя ковзання. Ця сила тертя ковзання спочатку менше сили тертя спокою й із збільшенням відносної швидкості на початку продовжує зменшуватись; потім із збільшенням відносної швидкості υ збільшується і сила тертя.

У техніці між стичними поверхнями, між якими виникає тертя, уводять мастило, тобто в'язку рідину, що утворює тонкий шар між твердими поверхнями. При наявності мастила ми має справу з внутрішнім тертям. Ближчий до твердого тіла шар мастила прилипає до нього; ковзання відбувається між шарами рідини. Для зменшення тертя замінюють тертя ковзання на тертя кочення (підшипники).

Сила тертя спокою не лише заважає виникненню руху тіла, що перебуває в спокої відносно іншого тіла, з яким воно стикається, а й може бути рушійною силою. Так, під час ходіння людини по землі, між підошвою і землею у площині дотику виникають сили тертя спокою. Одна з них є тангенціальною силою, з якою підошва діє на землю, друга – тангенціальна сила, з якою земля діє на підошву. Обидві сили рівні за модулем і протилежні за напрямом. Друга із названих сил і забезпечує переміщення людини по землі.

2.10. Загальна логіка вивчення розділу "Динаміка"

Один із варіантів загальної логіки вивчення розділу "Динаміка" пов'язаний з продовженням розв'язування основної задачі механіки.

А. У вступі до розділу висувається загальна задача вивчення його змісту.

Основною задачею механіки є визначення положення рухомого тіла в будь-який момент часу.

Уже було з'ясовано, що для її розв'язку необхідно знати як переміщення (координати, шлях) залежать від часу, тобто знати кінематичні рівняння руху. Ці рівняння мають різний вигляд у залежності від того, який вид руху розглядається. Так, для прямолінійного рівнозмінного руху, рівняння, що описують його, записуються так: $S_x = \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$ або $x = x_0 + \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$. Якщо прискорення дорівнює нулю, то отримуємо рівняння для рівномірного прямолінійного руху: $S_x = \upsilon_x t$ або $x = x_0 + \upsilon_x t$.

Отже, щоб визначити положення тіла необхідно знати початкові умови – початкову координату, початкову швидкість і прискорення.

Прискорення необхідно знати й для визначення швидкості прямолінійного рівнозмінного руху: $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t$.

Перед нами стоїть задача: З'ясувати, як знайти прискорення без використання кінематичних рівнянь руху.

Розв'язати цю задачу можна, скориставшись законами динаміки, які були сформульовані видатним англійським ученим І.Ньютоном.

Б. Спочатку з'ясуємо, за яких умов тіло рухається рівномірно прямолінійно або перебуває у стані спокою.

Вивчається перший закон Ньютона.

В. З першого закону Ньютона випливає, що змінити швидкість тіла, розглядаючи рух тіла в інерціальній системі відліку, можна за умов, коли це тіло взаємодіє з іншими тілами й вплив на дане тіло інших тіл не скомпенсований.

Перед нами стоїть наступна задача: З’ясувати, як змінюються швидкості тіл під час їх взаємодії.

Розглядається поняття "маса тіла".

Г. Ми встановили зв’язок між масами тіл, що взаємодіють між собою, і прискореннями цих тіл, які виникають під час такої взаємодії: $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$. Дана рівність дозволяє порівняти прискорення двох взаємодіючих тіл, а не визначити їх числові значення і напрям.

Тому, перед нами стоїть задача: З’ясувати, як можна знайти значення і напрям прискорення тіла, не залежно від кінематичних рівнянь руху.

Розглядається поняття "сила"; вивчається другий закон Ньютона.

Д. Другий закон Ньютона дає можливість описати вплив одного тіла на інше й, водночас, визначити прискорення тіла, на яке діє сила. Але, під час взаємодії одне тіло діє на інше й навпаки.

Перед нами стоїть задача: З’ясувати, який зв’язок між силами, що діють на кожне із взаємодіючих тіл.

Вивчається 3-й закон Ньютона.

Е. Перший закон Ньютона дає можливість обирати систему відліку, в якій справджуються закони динаміки. Другий закон пов’язує прикладену до тіла силу з його прискоренням. Третій закон дозволяє визначити всі сили, що діють на тіло.

Перед нами стоїть задача: З’ясувати, як застосувати ці закони для розв’язку основної задачі механіки.

Узагальнюється зміст навчального матеріалу, що був введений під час вивчення законів динаміки і пояснюється алгоритм розв’язування задач.

Ж. Закони Ньютона справджуються в інерціальних системах відліку.

Перед нами стоїть задача: З’ясувати, чи однаково відбуваються різні механічні явища у різних інерціальних системах відліку.

Вивчається принцип відносності Галілея.

Після вивчення законів Ньютона предметом діяльності вчителя й учнів були дві теми: "Сили в природі" і "Застосування законів динаміки". Більш раціональним є об’єднання цих двох тем. Це пов’язано з тим, що поняття сили і види сил вивчаються в основній школі. Тому доцільно одночасно повторити, доповнити знання учнів про кожний вид сил, отримані ними в основній школі, і, водночас, застосувати ці знання при розв’язуванні задач на закони динаміки.

РОЗДІЛ 3. ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ

У шкільному курсі фізики вивчаються: закон збереження імпульсу й закон збереження механічної енергії.

3.1. Закон збереження імпульсу.

Замкнута (ізольована) система тіл. Імпульс тіла. Закон збереження імпульсу. Другий закон Ньютона.

1. Розглянемо систему, яка складається з декількох матеріальних точок. Тіла, що входять у дану систему, можуть взаємодіяти як між собою, так і з тілами, що не належать даній системі. У відповідності з цим, сили, які діють на тіла системи можна поділити на внутрішні і зовнішні.

Внутрішніми силами називаються сили, з якими на дане тіло діють останні тіла системи, зовнішніми – сили, які обумовлені діями тіл, які не належать системі.

У випадку, якщо зовнішні сили відсутні, система називається замкнутою.

Замкнута система – це абстракція. Але, в реальних задачах, замкнутою можна наближено вважати систему, якщо можна нехтувати діями зовнішніх сил порівняно з внутрішніми силами, або коли векторна сума усіх зовнішніх сил, що діють на всі тіла системи дорівнює нулю.

2. Під час взаємодії тіла обмінюються механічними рухами. Наприклад, тіло, що рухається, зштовхується з іншим тілом. Внаслідок взаємодії змінюються швидкості тіл, отже і змінився стан руху тіл: одне тіло стало рухатися швидше, друге – повільніше.

Виникає задача: Чи не можна ввести фізичну величину, яка була б мірою руху?

Ця величина повинна мати властивість – зберігатися. У наведеному прикладі величина, що є мірою руху першого тіла повинна зменшитися настільки, наскільки збільшиться величина, яка є мірою руху другого тіла.

При взаємодії двох тіл, маси яких m_1 і m_2, виникають прискорення a_1 і a_2: $\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$ або $a_1 = \frac{m_2}{m_1} a_2$. Якщо $m_1 \neq m_2$, то $a_2 \neq a_1$.

Отже, при взаємодії двох тіл різної маси зміна швидкості одного тіла не дорівнює зміні швидкості другого тіла: $a_1 = \frac{\upsilon_1 - \upsilon_{01}}{t}, a_2 = \frac{\upsilon_2 - \upsilon_{02}}{t}$. Звідси випливає: $a_1 \neq a_2, \upsilon_2 - \upsilon_{02} \neq \upsilon_1 - \upsilon_{01}$.

Для тіл, які розглядаються, можна, виходячи з 3-го закону Ньютона, отримати такий висновок: $m_1 a_1 = -m_2 a_2$, $m_1 \frac{\upsilon_1 - \upsilon_{01}}{t} = -m_2 \frac{\upsilon_2 - \upsilon_{02}}{t}$. Звідси отримаємо: $m_1\upsilon_1 - m_1\upsilon_{01} = -(m_2\upsilon_2 - m_2\upsilon_{02})$. Отже, наскільки збільшується величина $m\upsilon$ у першого (другого) тіла, на стільки зменшується ця величина у другого (першого) тіла.

Таким чином, величина $m\upsilon$ задовольняє вказаній умові і її можна вважати мірою механічного руху.

Величину, що дорівнює добутку маси тіла на його швидкість, називають кількістю руху або імпульсом тіла.

У СІ імпульс вимірюється в (кг · м/с).

Ця величина векторна. Напрям вектора $m\vec{\upsilon}$ збігається з напрямом вектора швидкості.

Строго говорячи імпульс тіла використовують як міру руху матеріальної точки; у загальному випадку швидкість різних частин рухомого тіла можуть бути різними. У такому випадку тіло розглядається як система матеріальних точок, а його імпульс дорівнює геометричній сумі імпульсів цих точок.

3. Вводячи поняття імпульсу тіла, розглядалася взаємодія тільки двох тіл, нехтуючи їх взаємодією з іншими тілами. Отже, ці тіла утворювали замкнуту систему. При розгляді цієї взаємодії тіл отримали такий висновок: на скільки збільшується імпульс одного тіла, настільки зменшується імпульс другого тіла: $m_1\vec{\upsilon}_1 - m_1\vec{\upsilon}_{01} = -(m_2\vec{\upsilon}_2 - m_2\vec{\upsilon}_{02})$.

Цю рівність можна записати так: $m_1\vec{\upsilon}_{01} + m_2\vec{\upsilon}_{02} = m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2)$. Отже, векторна сума імпульсів тіл, що утворюють замкнуту систему, залишається сталою під час будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою.

Даний висновок поширюється на будь-яку кількість тіл, що утворюють замкнуту систему.

Сили взаємодії (внутрішні сили) можуть бути різними. Вони можуть як завгодно залежати від часу, але повний імпульс системи тіл (геометрична сума імпульсів всіх тіл, що утворюють замкнуту систему) залишається незмінним.

Отриманий висновок є виразом закону збереження імпульсу тіл: повний імпульс тіл, які утворюють замкнуту систему, не змінюється під час будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою.

Водночас, цей закон можна застосувати й для систем тіл, які не є замкнутими в повному розумінні цього поняття.

Якщо початковий і кінцевий стани системи відділені малим інтервалом часу (вибух снаряду, постріл гармати, відокремлення ступені ракети тощо), то за цей час такі зовнішні сили як тяжіння й тертя помітно не змінюють імпульс системи і її можна вважати замкнутою.

Закон збереження імпульсу містить твердження про величину векторну. Всі проекції вектора імпульсу мають зберігатися, якщо взагалі не має зовнішніх впливів. Якщо на систему тіл діють зовнішні сили, то повний імпульс цих тіл змінюється. Водночас, якщо в деякому напрямі дана система не зазнає впливів з боку інших тіл (сума проекції зовнішніх сил на цей напрям дорівнює нулю), то й проекція повного імпульсу системи на цей напрям залишається незмінною, тобто зберігається.

Необхідною умовою застосування закону збереження імпульсу до замкнутої системи взаємодіючих тіл є користування інерціальною системою відліку. У неінерціальних системах відліку закон збереження імпульсу не стверджується.

4. Використовуючи поняття імпульсу тіла, другий закон Ньютона записується у такій формі: $\vec{F}\Delta t = \Delta m\vec{\upsilon}$.

Добуток сили на час її дії називають імпульсом сили. $\Delta m\vec{\upsilon}$ – зміна імпульсу тіла.

З цієї формули випливає:

1) зміна імпульсу тіла – це характеристика дії сили в часі;

2) на які б тіла не діяла сила $\vec{F}$, за однаковий час Δt вона спричинить завжди однакову зміну імпульсу тіла, яка дорівнює $\vec{F}\Delta t$;

3) однієї і тієї самої зміни імпульсу можна досягти різними способами: або значною силою за малий час, або тривалою дією малої за значенням сили.

3.2. Механічна робота

Фізична робота. Механічна робота. Робота сили тяжіння і сили пружності.

1. Коли говорять про *фізичну роботу,* в широкому смислі слова, розуміють процес, сутністю якого є перетворення одного виду руху в інший або передачу руху від одного тіла (або системи тіл) до іншого тіла (або системи тіл). Водночас під роботою розуміють фізичну величину, яка кількісно характеризує цей процес. Оскільки з кожним видом руху співвідносять певні види енергії, то часто роботу визначають як процес зміни енергії або передачі її від одних тіл іншим.

За своєю сутністю поняття "робота" відноситься не до тіла, не до системи тіл, а до деякого процесу; у випадку чисто механічної роботи – до процесу руху тіл, на які діють сили, внаслідок чого система переходить з одного стану в інший.

У залежності від того, який вид руху (або енергії) перетворюється в інший, розрізняють різні види роботи і знаходять формули, що дозволяють визначити величину відповідної роботи (механічної, електричного струму, виходу електронів і інші).

Фізична робота виконується при взаємодії тіл або частинок речовини і полів.

Результат роботи – зміна енергії тіла, частинки або полів. Величина виконаної роботи дорівнює зміні енергії.

2. *Механічна робота* або робота сили є мірою дії сили, яка залежить від чисельного значення й напряму сили і від переміщення точки її прикладання. Якщо сила F чисельно й за напрямом не змінюється, переміщення її точки прикладання S прямолінійне, то робота дорівнює: $A = FS\cos\alpha$, де α – кут між напрямом сили і переміщенням. Коли $\alpha < 90^0$ робота сили додатна, при $180^0 \geq \alpha > 90^0$ – від'ємна, а при $\alpha = 90^0$, тобто коли сила перпендикулярна переміщенню, A = 0.

У СІ робота вимірюється в джоулях (1Дж = 1Н · м).

Добуток $A = \vec{F}\vec{S}$ або $A = FS\cos\alpha$ є фактично ознакою, яка дозволяє виділити ті випадки, коли виконується робота, і дозволяє обчислити її, але не виражає сутності цього поняття.

Поняття механічної роботи завжди пов'язане з упорядкованим процесом руху тіл під дією сили, при якому відбувається передача енергії від одного тіла іншому. Отже, робота являє собою упорядковану (макрофізичну) форму передачі енергії.

У цьому полягає фізична сутність процесу роботи. Звідси випливає, що величина роботи вимірює величину енергії, переданої від одного тіла до іншого або перетвореної з однієї форми в іншу в цьому процесі. Добуток сил і переміщень точок їх прикладання, яким вимірюється механічна робота, якраз виражає ту величину енергії, що зазнала зміни.

Сила виконує додатну роботу, якщо тіла переміщуються в напрямі дії сили. Якщо ж переміщення протилежне до напряму дії сили, то кажуть, що робота виконується проти цієї сили і роботу вважають від'ємною.

У багатьох (проте далеко не в усіх) випадках проти руху напрямлені сили тертя і тому їх робота буде від'ємною. Однак, за деяких умов робота сил тертя може бути додатною, наприклад, під час піднімання вантажу за допомогою стрічки транспортера: до вантажу прикладена сила тертя (спокою чи ковзання), напрямлена в бік руху стрічки.

3. Робота сили тяжіння не залежить від траєкторії руху тіла і завжди дорівнює добутку модуля сили тяжіння і різниці висот у початковому і кінцевому положеннях. Під час переміщення тіла замкнутою траєкторією робота сили тяжіння дорівнює нулю.

Деформоване пружне тіло здатне виконувати роботу, яка точно дорівнює роботі зовнішньої сили, виконаній під час його деформації. Отже, якщо деформувати пружне тіло, а потім надати йому можливості відновити свої початкові розміри і форму, то загальна робота сили пружності – робота по замкненій траєкторії – дорівнюватиме нулю.

3.3. Енергія

Стан системи. Енергія. Кінетична й потенціальна енергія.

1. Вивчаючи механічний рух (або спокій) того чи іншого тіла, фактично розглядають систему тіл, які перебувають у певному механічному стані. Стан тіла буде однозначно визначений, якщо задано значення незалежних величин, що характеризують його поведінку в явищі, яке розглядається.

Величини, за допомогою яких можна повністю охарактеризувати стан системи, називають їх параметрами. Механічний стан системи характеризується координатами тіл даної системи і їх швидкостями (імпульсами). Якщо змінюється хоча б один параметр системи, то вона переходить в інший механічний стан.

2. Існує фізична величина – енергія – яка є однозначною функцією стану системи, що визначається через координати й імпульси, температуру й об'єм, напруженості електричного й магнітного полів тощо, тобто через параметри системи, зміни яких характерні для тієї чи іншої форми руху (механічної, теплової, електромагнітної та інших). Будь-якому переходу матеріальної системи з одного стану в інший завжди відповідає строго певна зміна енергії. Таким чином, якщо система, зазнавши ряд змін, повертається в початковий стан, то загальна зміна енергії системи в результаті всіх процесів рівна нулю.

Якщо ми маємо замкнуту (ізольовану) систему, яка не зазнає зовнішніх впливів, то енергія ізольованої системи стала, незалежно від того, які б процеси в ній не відбувалися. Це твердження відоме як закон збереження енергії.

До середини 19 століття було встановлено, що фізичні форми руху взаємно перетворюються одна в одну. Взаємне перетворювання усіх видів руху можуть викликати однакову зміну стану системи. Наприклад, температуру металевого бруска можна підвисити на певне число градусів шляхом різних зовнішніх впливів: виконанням над тілом роботи, тобто механічним впливом (механічний рух перетворюється на тепловий); нагріванням його в полум’ї, тобто тепловим впливом (тепловий рух від одного тіла передається іншому); пропусканням по ньому електричного струму (електромагнітна форма руху перетворюється в теплову) й іншими.

Це дозволяє порівнювати різні форми руху й встановлювати еквівалентні співвідношення між ними, характеризувати конкретні види руху матерії, що розглядаються у фізиці, за допомогою фізичної величини – енергії, яка в ізольованій системі залишається сталою при будь-яких змінах в ній. Останнє вказує на те, що енергія є "мірою руху", тобто тією загальною характеристикою різних фізичних форм руху, яка залишається сталою при їх взаємних перетвореннях.

Оскільки фізичні процеси можуть супроводжуватися перетворенням одних форм руху матерії в інші, а енергія є мірою всіх форм руху матерії, то говорять про перетворення енергії.

Враховуючи те, що величина роботи вимірює величину енергії, переданої від одного тіла іншому або величину енергії, що перетворюється з однієї форми в іншу, можна записати: $A = E_2 - E_1$, де A – робота сил, що виконується над системою або системою тіл над зовнішніми тілами, $(E_2 - E_1)$ – зміна енергії системи.

Якщо робота зовнішніх сил, тобто сил, прикладених до системи з боку тіл, що не входять у систему, додатна (A > 0), то енергія системи зростає $(E_2 > E_1)$. Якщо робота зовнішніх сил від’ємна, то енергія системи зменшується. Робота сил, прикладених з боку системи до зовнішніх тіл, виконується за рахунок енергії системи.

Енергія системи визначає ту роботу, яку вона може виконати над зовнішніми тілами. Отже, вимірювати енергію слід у тих самих одиницях, в яких вимірюють роботу, тобто в джоулях в СІ.

3. Існує два види механічної енергії – потенціальна й кінетична енергія.

Гравітаційні сили й сили пружності мають назву консервативних сил – їх робота не залежить від форми траєкторії і на замкненому шляху дорівнює нулю.

Будь-яке довільне положення системи, яке характеризується визначеними координатами її тіл (матеріальних точок), умовно приймемо за нульове.

Робота, яка виконується консервативними силами при переході системи із положення, що розглядається, у нульове, дорівнює потенціальній енергії системи в першому положенні. Робота консервативних сил не залежить від шляху переходу, а тому потенціальна енергія системи при фіксованому нульовому положенні залежить тільки від координат матеріальних точок системи в положенні, що розглядається.

Значення потенціальної енергії залежить від того, яке положення системи умовно прийняте за нульове.

Якщо за нульовий рівень прийняти поверхню Землю, то потенціальна енергія тіла, піднятого над Землею, дорівнює: $E_п = mgh$, де h – висота тіла над поверхнею Землі (координата тіла за умови, що початок координат пов’язаний з поверхнею Землі).

Якщо енергію пружного тіла, наприклад пружини, у недеформованому стані умовно вважати рівною нулю, то потенціальна енергія деформованої пружини дорівнює: $E_п = \frac{1}{2}kx^2$, де k – жорсткість пружини, x – видовження пружини.

Енергія, яку має система під час руху її частин, називають кінетичною енергією. Кінетична енергія тіла масою m, яке рухається зі швидкістю υ, обчислюється за формулою $E_k = \frac{1}{2}m\upsilon^2$.

Значення швидкості тіла, отже, і кінетичної енергії, залежить від вибору системи відліку. Тому, кінетична енергія так само, як і потенціальна енергія, є відносною величиною.

Зміна кінетичної енергії тіла дорівнює виконаній роботі: $A = E_{k2} - E_{k1}$. Це твердження називають теоремою про кінетичну енергію.

3.4. Закон збереження механічної енергії

Одним з найбільш фундаментальних законів природи є закон збереження енергії, згідно якому важливіша фізична величина – енергія зберігається в ізольованій системі. В ізольованій системі енергія може переходити з однієї форми в іншу, але її кількість залишається сталою. Якщо система не ізольована, то її енергія може змінюватися або за умов одночасної зміни енергії оточуючих тіл на таку ж саму величину, або за рахунок зміни енергії взаємодії тіла з оточуючими тілами.

Закон збереження енергії є строгим законом природи, який справджується для всіх відомих взаємодій.

У механічних системах, у яких діють тільки гравітаційні сили і сили пружності, може відбуватися перетворення кінетичної енергії тільки в потенціальну, або потенціальної енергії в кінетичну, а не будь-які інші види енергії. Отже, у таких системах рух завжди залишається механічним рухом і не перетворюється у більш складні форми руху.

Тому закон збереження повної механічної енергії формулюється так: сума кінетичної і потенціальної енергій тіл, які утворюють замкнуту систему і взаємодіють між собою силами тяжіння і силами пружності, залишається сталою.

У дійсності в усіх механічних системах поряд із силами тяжіння й пружності діють і інші сили, наприклад, сили тертя.

Робота сил тертя ковзання в залежності від вибору системи відліку може бути додатною і від'ємною, якщо розглядати її окремо. Водночас, сумарна робота всіх сил тертя, які діють у системі, не залежить від вибору системи й завжди від'ємна. Від'ємна робота сил тертя зменшує кінетичну енергію тіл, однак вона не веде до будь-якої зміни потенціальної енергії. Тому повна механічна енергія системи зменшується.

Коли в системі діють сили тертя, то робота цих сил має враховуватися так само, як і робота зовнішніх сил, незважаючи на те, що сили тертя можуть бути внутрішніми. Для замкнутої системи, в якій між тілами діють сили тертя, зміна енергії дорівнює роботі сил тертя: $\Delta(E_k + E_п) = A_т$.

Внаслідок дії сил тертя ковзання тіла нагріваються, отже частина механічної енергії $\Delta(E_k + E_n)$ перетворюється у внутрішню енергію.

Робота сил тертя A_T і визначає зміну внутрішньої енергії замкненої системи тіл, в якій діють сили пружності, тяжіння й тертя. Тому часто записану формулу вважають законом збереження енергії у розглянутому випадку.

3.5. Загальна логіка вивчення питань, пов'язаних із законами збереження імпульсу і енергії.

Розглянемо один із варіантів встановлення логічних зв'язків між поняттями даного розділу.

1. Закони Ньютона дають можливість у принципі розв'язати будь-яку задачу, в якій треба визначити положення тіла в будь-який момент часу. Однак використання законів Ньютона не завжди дає найпростіший шлях розв'язку. Більш того, у багатьох випадках такий шлях практично нездійсненний. Наприклад, коли ми розглядаємо співудар двох тіл, скажімо, двох вагонів, ми знаємо, що в цьому разі вони взаємодіють один з одним силою пружності. Та знайти значення цієї сили буває складно, а іноді й неможливо внаслідок того, що деформація буферних причеп вагонів має складний характер. Тому, знаючи швидкості тіл до удару, ми не зможемо, користуючись законами Ньютона, визначити швидкості цих тіл після удару. А ці швидкості входять у початкові умови подальшого руху тіл після їх зіткнення. Усе це вказує на необхідність пошуку нового способу розв'язування таких задач.

Розв'яжемо задачу: Два не пружних тіла, маси яких 2кг і 6кг, рухаються назустріч одне одному зі швидкостями 2м/с кожне. Визначити модуль і напрям швидкості кожного із цих тіл після удару.

Вводиться поняття "імпульс тіла", вивчається закон збереження імпульсу і, як його наслідок, реактивний рух.

2. Користуючись законом збереження імпульсу ми зможемо знайти швидкість одного із взаємодіючих тіл, не вдаючись безпосередньо до законів Ньютона, якщо відомі маси тіл і їх швидкості до і після взаємодії, крім тієї швидкості, яку треба визначити.

Поставимо перед собою наступну задачу: З'ясувати, як можна, знаючи швидкість тіла, визначити його положення в наступний момент часу і навпаки, не звертаючись безпосередньо до законів Ньютона.

Ви вже знаєте, що тіла можуть мати кінетичну й потенціальну енергію. Кінетична енергія пов'язана зі швидкістю руху тіла. Потенціальна енергія пов'язана з положенням даного тіла по відношенню до тих тіл, з якими це тіло взаємодіє. Кінетична енергія може перетворюватися в потенціальну й навпаки.

Отже, поставлену задачу можна буде розв'язати за умови знання того, як обчислюються кінетична і потенціальна енергії тіла і який існує зв'язок між ними.

Повторюється і доповнюється те, що учні знають про енергію тіла. Вказується, що зміна енергії тіла пов'язана з механічною роботою. Отже, щоб знайти формули, за якими обчислюються кінетична й потенціальна енергії, спочатку треба розглянути роботу різних видів сил.

А. Розв'яжемо задачу: Під дією сталої сили вагонетка пройшла відстань 5м і набула швидкості 2м/с. Визначити роботу сили тяги і роботу сили тертя, якщо маса вагонетки 400кг і коефіцієнт тертя 0,01.

Розглядається робота сталої сили.

Б. Розв'яжемо задачу: Тіло, кинуте вертикально вверх зі швидкістю 2м/с, повертається в точку падіння. Визначити роботу сили тяжіння на всьому шляху.

Вивчається робота сили тяжіння.

В. Розв'яжемо задачу: Пружину завдовжки 30см спочатку стиснули до 22см, а потім відпустили. Визначити повну роботу сили пружності, якщо відомо, що для її стискання на кожен сантиметр потрібна сила $5 \cdot 10^5$ Н.

Вивчається робота сили пружності.

Г. Розв'яжемо задачу: Яку потенціальну енергію має тіло масою 2кг, підняте на висоту 15м?

Повторюється і доповнюється поняття потенціальна енергія.

Д. Розв'яжемо задачу: Футбольний м'яч масою 0,5кг летить у напрямі воріт зі швидкістю 10м/с. Назустріч йому біжить захисник зі швидкістю 4м/с. Визначити кінетичну енергію м'яча відносно воріт і відносно захисника.

Повторюється і доповнюється поняття кінетична енергія.

Е. З'ясуємо, який зв'язок між кінетичною й потенціальною енергіями тіла.

Повторюється взаємне перетворювання видів механічної енергії і вводиться закон збереження енергії. Розв'язується поставлена на початку вивчення теми задача.

Ж. З'ясуємо, які процеси відбуваються під час руху тіла при наявності тертя. Як записати закон збереження енергії в даному випадку?

Розглядається робота сили тертя.

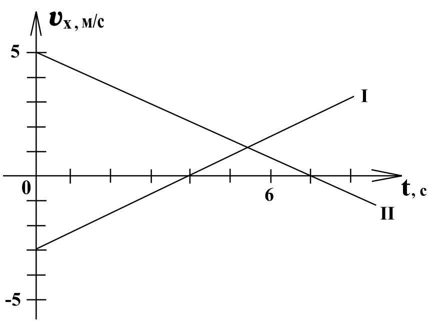
ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ
Розв'язування практичних задач у циклах навчального процесу з вивчення понять і законів механіки

КІНЕМАТИКА

Студент повинен уміти розв'язувати задачі типу:

1. Велосипедист їхав з одного міста в інше. Половину шляху він проїхав зі швидкістю $\upsilon_0 = 12$êì /ãîä . Потім половину часу, що залишився, він їхав зі швидкістю $\upsilon_2 = 6$êì /ãîä , а потім до кінця шляху йшов пішки зі швидкістю $\upsilon_3 = 4$êì /ãîä . Визначити середню швидкість велосипедиста на всьому шляху.
(Відповідь: $\upsilon_{ср} = \dfrac{2\upsilon_1(\upsilon_2+\upsilon_3)}{2\upsilon_1+\upsilon_2+\upsilon_3} \approx 7$ км/год)

2. Дано рівняння $x = -3 + t + 2t^2$. Описати рух, виходячи з цього рівняння: який вид руху; що означають числа в даному рівнянні; зобразити характеристики руху на малюнку; записати рівняння швидкості; побудувати графіки залежності координати, проекції вектора переміщення, шляху, швидкості, прискорення від часу.



3. Проаналізувати графіки, які зображені на малюнку: залежність між якими фізичними величинами зображена на малюнку; який вид руху кожного тіла; що означають точки перетину кожного графіку з осями координат; що означає точка перетину графіків; написати рівняння x = x(t) для рухів, вважаючи, що у початковий момент (t = 0) тіло перебуває у початку координат ($x_0 = 0$).

4. Рівняння руху автобуса має вигляд $x_1 = -500 + 20t$, а рівняння руху пішохода, який іде узбіччям того самого шосе, – $x_2 = -1{,}5t$. Коли і де вони зустрінуться? Розв'язати задачу двома способами. (Відповідь: $\approx 23{,}2$с; -36 м)

5. У скільки разів швидкість кулі всередині ствола рушниці менша, ніж при вилітанні зі ствола? (Відповідь: в 1,41 рази)

6. Спостерігач стоїть на платформі біля передньої площадки вагону електропотяга й помічає, що після початку рівноприскореного руху перший вагон проходить повз нього за 5с. Визначити час, за який шостий вагон пройде повз спостерігача, якщо довжина кожного вагону дорівнює 15м, а відстань між вагонами 1,5м. (Відповідь: $\Delta t = t\left(\sqrt{6+\dfrac{5l}{L}} - \sqrt{5\left(1+\dfrac{l}{L}\right)}\right) \approx 1{,}02c$)

7. За п'яту секунду рівносповільненого руху точка проходить 5см і зупиняється. Який шлях проходить точка за третю секунду цього руху? (Відповідь: 25см)

8. Людина починає підніматися по ескалатору, який рухається вгору, з прискоренням 0,21м/с^2. Добігши до середини ескалатора, вона повертає назад і починає спускатися з тим самим за модулем прискоренням. Скільки часу людина перебувала на ескалаторі, якщо довжина ескалатора становить 100м, а швидкість його руху 2м/с? (Відповідь: $t = \dfrac{2}{a}\sqrt{\upsilon^2 + al} \approx 47{,}6c$)

9. В останню секунду вільного падіння тіло пройшло шлях удвічі більший, ніж у попередню секунду. З якої висоти падало тіло? (Відповідь: 30,6м)

10. Тіло, кинуте вертикально вверх, проходить у першу секунду половину висоти підйому. Який шлях пройде тіло в останню секунду падіння?

(Відповідь: 28,5м)

11. Аеростат піднімається зі сталою швидкістю υ_0. До гондоли аеростату прив'язаний на вірьовці вантаж. Як буде рухатися вантаж відносно землі, якщо вірьовку, на якій він підвішений, перерізати в той момент, коли аеростат перебував на висоті h_0? Скільки часу вантаж буде падати на землю? Якою буде його швидкість при торканні землі? (Відповідь: $\upsilon_0 + \sqrt{\upsilon_0 + 2gh_0} / g$; $\sqrt{\upsilon_0^2 + 2gh_0}$)

12. Відстань S = 240м треба проїхати на човні туди й назад один раз по річці, швидкість течії якої $\upsilon_1 = 1$м/с, а другий раз по озеру. Швидкість човна відносно води в обох випадках $\upsilon_2 = 5$м/с. На скільки час руху човна по річці в даному випадку більший часу його руху по озеру? (Відповідь: $\Delta t = \dfrac{2\upsilon_1^2 S}{\upsilon_2(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2)} = 4c$)

13. Швидкість течії річки становить 12м/хв, швидкість моторного парому відносно води 20м/хв. Паром має перепливти річку перпендикулярно до течії вздовж лінії АВ. Під яким кутом до лінії АВ має тримати курс рульовий парому? (Відповідь: $\approx 37^0$)

14. Кільцевою трасою рухаються два автомобілі. Під час руху назустріч один одному вони зустрічаються через кожні 8хв. Якщо автомобілі рухаються трасою в одному напрямі, то другий автомобіль наздоганяє перший через кожні 56хв. За який час проходять кільцеву трасу автомобілі? (Відповідь: 18хв40с; 14хв)

Практичне заняття 1
Розв'язування задач на прямолінійні рівномірний і рівнозмінний рухи

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст понять: прямолінійний рівномірний рух, середня й миттєва швидкості, прискорення, швидкість у прямолінійному рівнозмінному русі, рівняння прямолінійного рівнозмінного руху [11, с. 11-14].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач з даної теми.

Під час розв'язування задач на прямолінійні рівномірний і рівнозмінний рухи доцільно використовувати таку систему дій:

1. Коротко записати умову задачі, з'ясувавши, скільки рухів одного тіла або рух скількох тіл розглядається в задачі і які це рухи.

2. Виконати малюнок: з траєкторією руху з'єднати координатну вісь, вказати її напрям і початок відліку координат; біля відповідних точок або ділянок траєкторії вказати всі фізичні величини, про які йде мова в задачі.

3. Пригадати рівняння для видів руху, що розглядаються в задачі. З них вибрати ті, в які входять величини, що зображені на малюнку. Записати вибрані рівняння з урахуванням знаків проекцій векторів на координатну вісь.

4. З'ясувати, чи можна скоротити кількість невідомих, що входять у записані рівняння, враховуючи зв'язки між фізичними величинами.

5. Записати додаткові умови.

6. Перевірити відповідність кількості невідомих кількості рівнянь.

7. Розв’язати отриману систему рівнянь.

<u>Поради</u>

1. Виконуючи малюнок, доцільно дотримуватися таких правил:

✓ Якщо швидкість руху тіла у даній точці траєкторії дорівнює нулю, то біля цієї точки записують символ даної швидкості без зображення її вектора.

✓ Якщо на даній ділянці траєкторії тіло рухається рівномірно, то вектор швидкості зображається біля середини цієї ділянки.

✓ Якщо на даній ділянці траєкторії тіло рухається рівнозмінно, то незалежно від наявності в умові задачі числового значення прискорення, його вектор зображається біля середини цієї ділянки.

✓ Вектори миттєвих швидкостей зображаються так, щоб їх початок знаходився проти відповідної точки траєкторії.

2. Систему відліку треба вибирати так, щоб найбільш просто було визначити початкові умови (початкові координати і початкові швидкості).

3. Якщо вид руху на різних його етапах різний, то рівняння слід записувати для кожного руху окремо.

4. У задачах на рух системи тіл рівняння записують для кожного руху окремо. Якщо тіла почали рухатися неодночасно, то для кожного з них вказується свій час.

5. Якщо тіло рухається рівносповільнено й зупиняється, то іноді зручно рух на цій ділянці замінити рівноприскореним рухом у протилежний бік з початковою швидкістю рівною нулю.

6. Якщо в умові задачі йде мова про середню швидкість, то записується рівняння для тієї ділянки траєкторії, для якої вказана ця фізична величина: $S = \upsilon_c t$.

<u>3. Ознайомитися з методами розв’язування окремих типів задач.</u>

Усвідомленню змісту прямолінійних рівномірного й рівнозмінного рухів, зокрема їх рівнянь, сприяє розв’язування задач, аналогічних наведеним, враховуючи особливості кожного з таких рівнянь: $S_x = \upsilon_x t$ або $x = x_0 + \upsilon_x t$, $\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t$, $S_x = \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$ або $x = x_0 + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$, $S = \upsilon_c t$.

<u>Задача.</u> Дано рівняння: $x = 2 - 3t + t^2$. Описати рух, виходячи з цього рівняння.

1. Це рівняння прямолінійного рівнозмінного руху, адже змінюється одна координата, яка залежить від часу в другому ступені $x = x_0 + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}$.

2. Порівняємо записані рівняння

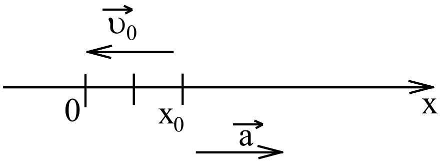
$$\begin{cases} x = 2 - 3t + t^2 \\ x = x_0 + \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2} \end{cases}$$

Звідси видно, що $x_0 = 2$ м, $\upsilon_{0x} = -3$ м/с, $a_x = 2$ м/с^2.

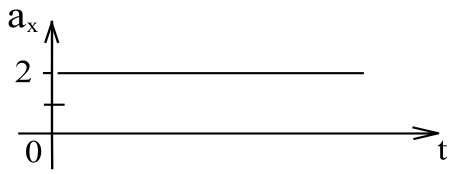
3. Швидкість цього руху змінюється за законом:

$\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t \quad \upsilon_x = -3 + 2t$.

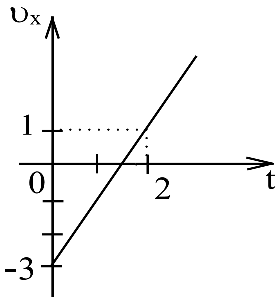
4. Зобразимо рух на малюнку



5. Побудуємо графіки прискорення і швидкості



t	0	2
υ_x	-3	1



З графіку видно, що тіло спочатку рухалося рівносповільнено проти вісі X. При t = 1,5с тіло зупинилося, після чого почало рухатися в напрямі вісі X рівноприскорено.

6. Побудуємо графік зміни координат.

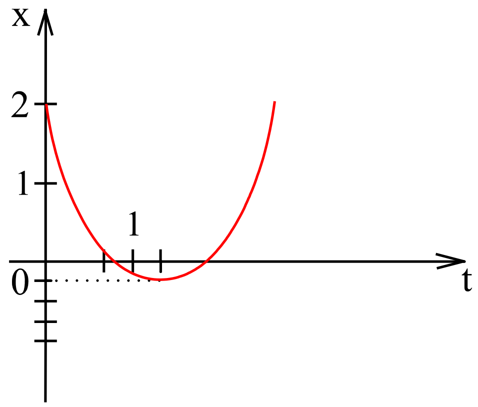
Перепишемо рівняння так $x = t^2 - 3t + 2$.

Цей вираз є трьохчленом $y = ax^2 + bx + c$.

Знайдемо координати вершини параболи $\left(m = -\frac{b}{2a}\right)$ $t_0 = -\frac{-3}{2 \cdot 1} = 1{,}5$, підставивши значення t_0 в рівняння, отримаємо $x_0 = 2{,}25 - 4{,}5 + 2 = -0{,}25$. Отже, координати вершини параболи: абсциса 1,5, ордината – - 0,25.

Визначимо значення координат ще двох точок параболи:

$t = 0, \quad x = 2; \qquad t = 1, \quad x = 0$



7. Побудуємо графік проекції переміщення на вісь X

$$S_x = \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad S_x = x - x_0$$

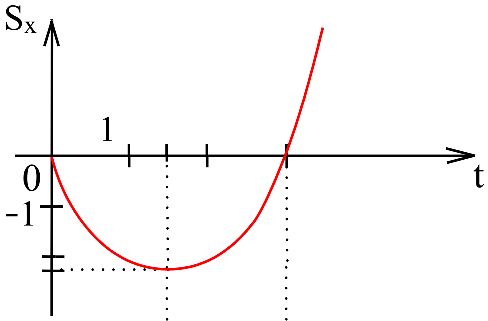
Отже, $S_x = -3t + t^2$.

Запишемо рівняння у вигляді: $S_x = t^2 - 3t$.

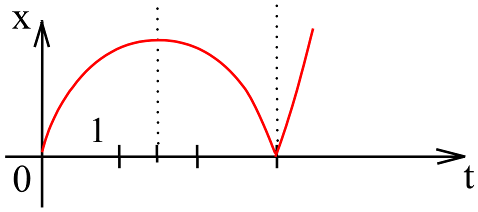
Графіком є парабола, координати вершин якої:

$t_0 = 1{,}5 \qquad S_{x0} = 2{,}25 - 4{,}5 = -2{,}25$

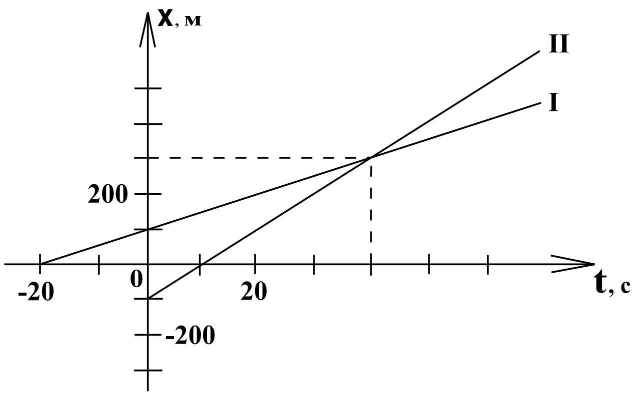
$t = 0, \quad S_x = 0; \qquad t = 3, \quad S_x = 0$



8. Побудуємо графік шляху $S = |S_x|$



Задача. Дано графіки двох рухів.



Дати відповіді на такі запитання:

1. Залежність між якими фізичними величинами зображена на графіку?

2. Який вид рухів кожного тіла? Чому?

3. Що означають точки перетину кожного графіка з осями координат?

4. Чому дорівнює зміна координати в інтервалах: $-20 \le t \le 0$, $0 \le t \le 10$?

5. Який зміст від'ємних значень часу (-20с) і координати (-100м)?

6. Яке з тіл рухається швидше? Чому?

7. В якому місці і коли зустрінуться тіла? Чому?

8. Які рівняння руху кожного тіла?

Відповіді:

1. На графіках зображені залежності між координатою Х і часом t.

2. Обидва тіла рухаються прямолінійно рівномірно, тому що графік x(t) пряма лінія, яка складає певний кут з віссю t (при $\alpha = 0$ тіла перебувають у стані спокою). Тіла рухаються в напрямі осі Х, адже координата кожного тіла увесь час зростає.

3. Точки перетину графіку з осями координат визначають значення однієї фізичної величини, коли інша фізична величина дорівнює нулю.

Для першого тіла: при t = -20с тіло перебувало в початку відліку координат; у момент початку спостережень за рухами t = 0, тіло перебувало на відстані 100м від початку відліку координат.

Для другого тіла: у момент початку спостережень за рухом t = 0, тіло було в точці з координатою x = -100м – таку відстань тіло повинно пройти щоб досягти початку відліку координат; тіло досягне початку відліку координат x = 0 через t = 10с.

4. Зміна будь-якої фізичної величини дорівнює різниці між її наступним і

попереднім значеннями. Отже, в інтервалі часу $-20 \le t \le 0$ зміна координати першого тіла дорівнює $\Delta x = 100 - 0 = 100$(ì). В інтервалі часу $0 \le t \le 10$ зміна координати другого тіла дорівнює $\Delta x = 0 - (-100) = 100$(ì).

5. t = -20c – перше тіло перебувало в точці початку відліку координат за 20с до початку спостережень. $x_0 = -100$ì – початкова координата другого тіла від'ємна.

6. Швидше рухалося друге тіло. На графіку x(t) швидкість руху тим більша, чим більший кут нахилу графіку – швидкість руху, на цьому графіку, чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу графіка до осі t.

7. Місце і час зустрічі тіл визначаються значеннями фізичних величин, які відповідають точці перетину графіків: $x = x_1 = x_2,\ t = t_1 = t_2$. Час відраховується від початку спостережень. Отже, тіла зустрілися через 40с після початку спостережень на відстані x = 300м від початку відліку координат.

8. Рівняння руху обох тіл у загальному вигляді: $x = x_0 + \upsilon_x t$. Щоб записати ці рівняння для конкретного руху треба знати початкові координати x_0 і швидкість руху $\upsilon_x = \frac{\Delta x}{\Delta t}$. Зміна координати Δx обчислюється для того інтервалу часу, де зручніше знайти за графіком попередню й наступну координати.

Для першого тіла: $\mathrm{x}_{01} = 100$ì, $\upsilon_{\mathrm{x}1} = \frac{300 - 100}{40 - 0} = 5$ (м/с).

Рівняння руху: $x = 100 + 5t$.

Для другого тіла: $\mathrm{x}_{02} = -100$ì, $\upsilon_{\mathrm{x}2} = \frac{0 - (-100)}{10 - 0} = 10$ (м/с).

Рівняння руху: $x = -100 + 10t$.

Після введення визначальних формул для фізичних величин: $\upsilon = \frac{S}{t}$, $\upsilon_c = \frac{S}{t}$, $a = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{t}$ та інших виконуються вправи, в яких треба знайти значення однієї з фізичних величин, коли інші фізичні величини у даній формулі відомі. Ці формули безпосередньо використовуються в ситуаціях, де треба порівняти значення окремих з цих величин, тощо.

Треба звернути увагу на задачі, в яких треба визначити середню швидкість. У всіх випадках вихідною є формула $\upsilon_c = \frac{S}{t}$, де S – шлях пройдений тілом за час t. Виключення складають деякі задачі з визначення середньої швидкості під час рівнозмінного руху, де $\upsilon_c = \frac{\upsilon + \upsilon_0}{2}$ – середня швидкість дорівнює середньому арифметичному від початкової і кінцевої швидкостей.

В останніх випадках поширеними є дві ситуації:

Тіло рухається рівномірно на декількох, наприклад, двох ділянках траєкторії, але з різними швидкостями.

Тоді $\upsilon_c = \frac{S_1 + S_2 + \ldots + S_n}{t_1 + t_2 + \ldots + t_n}$.

1. Відомі зв'язки між довжиною всієї траєкторії руху й довжиною окремих її

ділянок. Наприклад, $S_1 = aS,\ S_2 = bS$. Невідомі інтервали часу цих рухів. Розв'язок задачі зводиться до визначення інтервалів часу: $t_1 = \frac{S_1}{\upsilon_1} = \frac{aS}{\upsilon_1},\ t_2 = \frac{S_2}{\upsilon_2} = \frac{bS}{\upsilon_2}$. Отже,

$$\upsilon_c = \frac{aS + bS}{\frac{aS}{\upsilon_1} + \frac{bS}{\upsilon_2}} \Rightarrow \upsilon_c = \frac{\upsilon_2\upsilon_1(a+b)}{a\upsilon_2 + b\upsilon_1}.$$

2. Відомі зв'язки інтервалів часу із загальним часом руху або відомі самі інтервали часу руху на окремих ділянках траєкторії. Не відомі довжини відповідних ділянок траєкторії.

Розв'язок задачі зводиться до визначення шляхів:

$S_1 = \upsilon_1 t_1,\ S_2 = \upsilon_2 t_2,\ t = t_1 + t_2$. Отже, $\upsilon_c = \frac{\upsilon_1 t_1 + \upsilon_2 t_2}{t_1 + t_2}$.

Приклади розв'язування задач із врахуванням викладених методичних рекомендацій.

Задача. Прямою дорогою в одному напрямі рухаються два велосипедисти: перший зі швидкістю 5м/с, другий зі швидкістю 10м/с. Відстань між ними в початковий момент часу становить 50м. Знайти місце і час зустрічі (розв'язати два способами).

1-й спосіб.

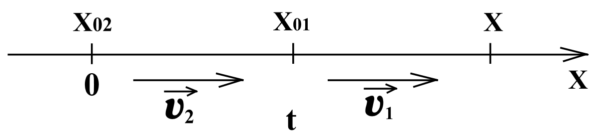
$x - ?\ t - ?$
$\upsilon_1 = 5\frac{ì}{ñ}$
$\upsilon_2 = 10\frac{ì}{ñ}$
$l = 50ì$
$x_1 = x_2 = x$
$t_1 = t_2 = t$
$x_{02} = 0$
$x_{01} = l$

1. У задачі розглядаються рівномірні прямолінійні рухи двох тіл, адже тіла рухаються вздовж однієї прямої зі сталими швидкостями.

Відомо: швидкості руху тіл і відстань між ними в момент початку спостережень.

Треба визначити місце зустрічі (тобто їх спільну координату) і час зустрічі, враховуючи, що він однаковий для руху обох тіл і відраховується від початку спостережень.

2.



Тіла рухаються з різними швидкостями. У початковий момент часу t = 0 відстань між тілами становила l. Тіла зустрінуться. Це означає, що друге тіло наздоганяє перше тіло. Напрям осі X збігається з напрямом руху тіл. За початок відліку координат зручно (але не обов'язково) обрати початкове положення другого тіла. Тому початкова координата другого тіла $x_{02} = 0$, а першого $x_{01} = l$.

3. У загальному вигляді рівняння руху обох тіл записуються так: $x = x_0 + \upsilon_x t$. Отже, рівняння руху, відповідно першого і другого тіла, записуються так:

$x_1 = l + \upsilon_1 t,\ x_2 = \upsilon_2 t$.

4. —–

5. Додатковими умовами є: $x = x_1 = x_2,\ t = t_1 = t_2$.

6. Отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} x_1 = l + \upsilon_1 t \\ x_2 = \upsilon_2 t \\ x_1 = x_2 \end{cases}$$ кількість невідомих дорівнює кількості рівнянь.

7. Розв'яжемо систему рівнянь:

$l + \upsilon_1 t = \upsilon_2 t \;\Rightarrow\; t = \dfrac{l}{\upsilon_2 - \upsilon_1},\; x = \upsilon_2 t = \upsilon_2 \dfrac{l}{\upsilon_2 - \upsilon_1}$; t = 10с, x = 100м.

2-й спосіб.

Якщо не задані рівняння руху тіл, що зустрічаються, то треба їх отримати, виконавши дії 1-3. У рівняння замість початкових координат і швидкостей записати їх числові значення. У цій задачі отримуємо: $x_1 = 50 + 5t,\; x_2 = 10t$. На одному малюнку побудувати графіки руху тіл і визначити координату і час їх зустрічі (дивись попередні задачі).

<u>Задача.</u> Тіло починає рухатися рівноприскорено, і, пройшовши певний шлях, набуває швидкості 14м/с. Чому дорівнює швидкість тіла, коли воно пройшло половину цього шляху?

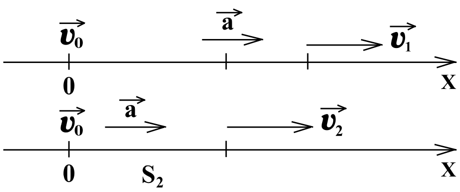
$\upsilon_2 - ?$
$\upsilon_0 = 0$
$\upsilon_1 = 14\dfrac{ì}{ñ}$
$S_2 = \dfrac{1}{2}S_1$
$a = \mathrm{const}$

1. У задачі розглядаються два рухи одного тіла. Обидва рухи відбуваються по одній прямій з однаковим прискоренням.

Відомо: початкова швидкість $\upsilon_0 = 0$ (тіло починає рухатися), швидкість у кінці шляху υ_1.

Треба визначити швидкість υ_2 на половині цього шляху.

2. Розглядаються рухи за однакових початкових умов: $x_0 = 0,\; \upsilon_0 = 0$. Зручно зробити два малюнки для більш наочного зображення характеристик рухів.



3. Рухи прямолінійні рівнозмінні. Їх рівняння:

$$\upsilon_x = \upsilon_{0x} + a_x t,\; S_x = \upsilon_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2},\; \upsilon_x^2 - \upsilon_{0x}^2 = 2a_x S_x.$$

З цих рівнянь доцільно вибрати третє, адже в нього входять фізичні величини, що зображені на малюнку. Звичайно, можна було б скористатися першими двома рівняннями, але тоді додатково треба виключати час.

Для кожного руху відповідно рівняння мають такий вид: $\upsilon_1^2 = 2aS_1,\; \upsilon_2^2 = 2aS_2$.

4. —–

5. Додаткова умова: $S_2 = \dfrac{1}{2}S_1$.

6. Отримали систему рівнянь:

$$\begin{cases} \upsilon_1^2 = 2aS_1 \\ \upsilon_2^2 = 2aS_2 \\ S_2 = \frac{1}{2}S_1 \end{cases}$$ кількість невідомих дорівнює кількості рівнянь.

7. Розв'яжемо систему рівнянь: $\frac{\upsilon_2^2}{\upsilon_1^2} = \frac{2aS_2}{2aS_1} \Rightarrow \upsilon_2^2 = \frac{1}{2}\upsilon_1^2 \Rightarrow \upsilon_2 = \frac{\upsilon_1}{\sqrt{2}}$; $\upsilon_2 = 10$ м/с.

Задача. Відстань між двома станціями потяг пройшов із середньою швидкістю υ_c = 72км/год за t = 20хв. Розгін і гальмування разом тривали t_1 = 4хв, а останній час потяг рухався рівномірно. Якою була швидкість υ потягу при рівномірному русі?

$\upsilon - ?$

$\upsilon_c = 72\,\frac{\text{êì}}{\text{ãîä}}$

$t = 20\text{õâ}$

$\upsilon_0 = 0$

$\upsilon_k = 0$

$\upsilon = \text{const}$

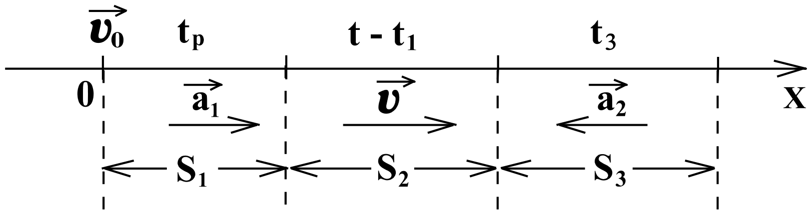
$t_1 = t_p + t_3 = 4\text{õâ}$

$S = S_1 + S_2 + S_3$

1. Розглядаються три рухи одного тіла: прямолінійний рівноприскорений з початковою швидкістю $\upsilon_0 = 0$; рівномірний прямолінійний зі швидкістю υ; прямолінійний рівносповільнений з кінцевою швидкістю $\upsilon_k = 0$.

Відомо, крім указаних швидкостей, середня швидкість руху на всьому шляху й час цього руху, спільний час розгону і гальмування.

2. Зручно зобразити рухи тіла на одному малюнку для того, щоб зробити більш точними зв'язки між величинами.



3. У задачі дана середня швидкість руху тіла на всьому шляху. Отже, $S = \upsilon_c t$. Для першого – рівноприскореного руху – рівняння має вигляд: $S_1 = \frac{a_1 t_p^2}{2}$, $(\upsilon_0 = 0)$. Для другого – рівномірного руху – $S_2 = \upsilon(t - t_1)$. Третій рух є рівносповільненим, кінцева швидкість якого дорівнює нулю: $\upsilon_k = 0$. Замінимо цей рух на рівноприскорений у зворотному напрямі з початковою швидкістю рівною нулю. Його рівняння: $S_3 = \frac{a_2 t_3^2}{2}$.

4. У рівняння входять прискорення, які не відомі. Ці прискорення можна виразити через величини, що характеризують розгін і гальмування тіла.

При розгоні швидкість змінюється від υ_0 до υ, отже $a_1 = \frac{\upsilon - \upsilon_0}{t_p}$ або $a_1 = \frac{\upsilon}{t_p}$.

Під час гальмування швидкість змінюється від υ до υ_k, отже $a_2 = \frac{\upsilon_k - \upsilon}{t_3}$ або $a_2 = -\frac{\upsilon}{t_3}$.

Підставивши отримані значення прискорень у відповідні рівняння руху, врахувавши, що третій рух замінимо на рівноприскорений з прискоренням $a_2 > 0$, отримуємо: $S_1 = \dfrac{\upsilon t_p}{2}$, $S_3 = \dfrac{\upsilon t_3}{2}$.

5. Додатковими умовами є: $S = S_1 + S_2 + S_3$; $t_1 = t_p + t_3$; $t_3 = t - t_1 = t - (t_p + t_3)$.

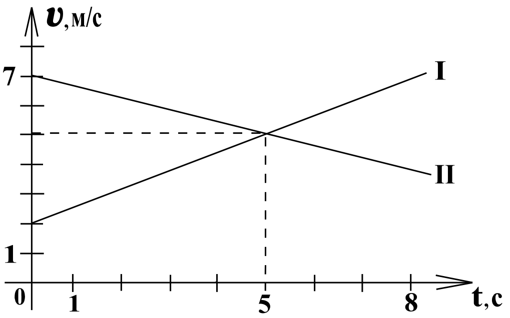
6. Отримали систему рівнянь:

$$\begin{cases} S = \upsilon_c t \\ S_1 = \dfrac{\upsilon t_p}{2} \\ S_2 = \upsilon(t - t_1) \\ S_3 = \dfrac{\upsilon t_3}{2} \\ S = S_1 + S_2 + S_3 \end{cases}$$ кількості невідомих відповідає кількість рівнянь.

7. Розв'яжемо систему рівнянь: $\upsilon_c t = \dfrac{\upsilon t_p}{2} + \upsilon[t - (t_p + t_3)] + \dfrac{\upsilon t_3}{2} \Rightarrow \upsilon = \dfrac{2\upsilon_c t}{2t - (t_p + t_3)}$.

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. Описати рух, рівняння якого $x = -2 + \dfrac{t^2}{2}$.



2. Проаналізувати графік аналогічно до наведеного вище аналізу графіків рухів, відповівши на всі запитання, замінивши в реченнях слова "шлях" на "швидкість", а "швидкість" на "прискорення".

3. Електровоз перебував на відстані $l = 400ì$ від світлофора і мав швидкість 54км/год, коли почалося гальмування. Визначити положення електровоза відносно світлофора через 1хв після початку гальмування, якщо він рухався з прискоренням -0,3м/с^2. (Відповідь: 25м)

4. Два потяги пройшли однаковий шлях за однаковий час. Один потяг, рухаючись з місця, пройшов весь шлях рівноприскорено з прискоренням 0,08м/с^2, а другий потяг половину шляху йшов зі швидкістю 18км/год, а другу половину шляху зі швидкістю 54км/год. Визначити шлях, пройдений кожним потягом.

(Відповідь: $S = \dfrac{8\upsilon_1^2\upsilon_2^2}{a(\upsilon_2 + \upsilon_1)^2}$)

План заняття

I. Розповідь: цілі практичних занять даного циклу, організація навчальної діяльності студентів.

II. Перевірка знання студентами понять: прямолінійний рівномірний рух, середня швидкість, миттєва швидкість, прискорення, швидкість у прямолінійному рівнозмінному русі, рівняння рівнозмінного руху.

III. Колективний аналіз етапів розв'язування однієї з домашніх задач, аналогічній наведеним.

IV. Розв'язування задач:

1. Велосипедист почав рухатися і 4с рухався з прискоренням 1м/с^2, потім 0,1хв він рухався рівномірно і останні 20м – рівносповільнено до зупинки. Знайти середню швидкість на всьому шляху.

(Відповідь: $\upsilon_c = \frac{at_1^2 + 2at_1t_2 + S_3}{at_1^2 + at_1t_2 + 2S_3} \cdot at_1$)

2. Хлопчик їхав на санчатах з гори довжиною l_1 = 40м за $t_1 = 10c$, а потім проїхав горизонтальною ділянкою ще l_2 = 20м і зупинився. Визначити швидкість υ у кінці гори, середню швидкість на всьому шляху.

(Відповідь: $\upsilon = \frac{2l_1}{t_1}$, $\upsilon_c = \frac{l_1 + l_2}{\upsilon_1 t_1 + 2l_2} \cdot \upsilon$)

<u>Зауваження:</u> З метою економії навчального часу задачі розв'язувати тільки в загальному вигляді.

Практичне заняття 2
Розв'язування задач на вільне падіння тіл і рух тіла, кинутого вертикально

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст поняття: про вільне падіння тіл [11, с.14].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач з даних тем.

Задачі на вільне падіння тіл і рух тіла, кинутого вертикально є частковим випадком розглянутих на попередньому занятті задач на прямолінійний рівнозмінний рух. Тому для них справедливі викладені раніше методичні рекомендації та поради.

Водночас, під час розв'язування цих задач доцільно враховувати і їх особливості.

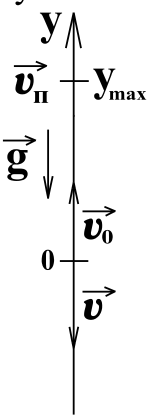
Часто в навчальних посібниках для цього виду руху записують рівняння у вигляді: $h = \upsilon_0 t + \frac{gt^2}{2},\ \upsilon = \upsilon_0 + gt,\ \upsilon^2 = 2gh$. Такий запис рівнянь зберігся з тих часів, коли в школі не користувалися координатним методом розв'язування задач, а був поширеним природний спосіб опису механічного руху.

Доцільно використовувати такий запис цих рівнянь:

$$S_y = \upsilon_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}\ \text{àâî}\quad y = y_0 + \upsilon_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2},\ \upsilon_y = \upsilon_{0y} + g_y t,\ \upsilon_y^2 - \upsilon_{0y}^2 = 2 g_y S_y.$$

Це дозволить розширити коло задач з даних тем, застосовуючи під час їх розв'язування вже набуті учнями уміння використання координатного способу опису руху.

Під час розв'язування задач на рух тіла, кинутого вертикально треба враховувати наступне:



1. Кинуте вертикально вверх тіло через певний час повертається в точку кидання, причому час падіння з максимальної висоти y_{max} дорівнюватиме часу падіння.

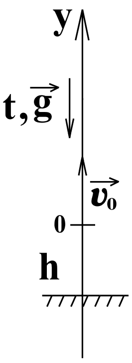
2. Швидкість тіла під час проходження ним точки падіння $\vec{\upsilon}$ дорівнює за модулем і протилежна за напрямом швидкості кидання $\vec{\upsilon}_0$.

3. На максимальній висоті піднімання швидкість тіла дорівнює нулю $\upsilon_п = 0$.

4. Максимальну висоту піднімання можна обчислити за формулою: $y_{max} = h_{max} = \frac{\upsilon_0^2}{2g}$.

5. Частіше зручно під час виконання малюнку вісь y спрямовувати вверх, для руху тіла кинутого вертикально вверх, а для вільного падіння тіл вісь y спрямовувати вниз. Початок відліку координат пов'язують з початком руху тіл (але це не обов'язково).

Наприклад, розв'яжемо задачу: З балкону, який знаходиться на висоті 25м над поверхнею землі, кинули вертикально вверх м'ячик зі швидкістю 20м/с. Визначити, через який час тіло впаде на землю.

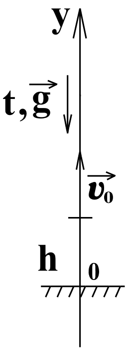


1. У даному і всіх інших випадках використаємо формулу: $y = y_0 + \upsilon_{0y}t + \frac{g_y t^2}{2}$. Вісь y напрямлена вверх. Початок відліку координат на висоті h над поверхнею землі. Початкова координата $y_0 = 0$.

$$y = \upsilon_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

У момент падіння на землю y = -h.

Отже, $-h = \upsilon_0 t - \frac{gt^2}{2}$ або $\frac{gt^2}{2} - \upsilon_0 t - h = 0$.

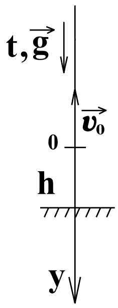


2. Вісь напрямлена вверх. Початок відліку координат на поверхні землі. Початкова координата $h = y_0$.

$$y = h + \upsilon_0 t - \frac{gt^2}{2}.$$

У момент падіння на землю y = 0

$0 = h + \upsilon_0 t - \frac{gt^2}{2}$ або $\frac{gt^2}{2} - \upsilon_0 t - h = 0$.

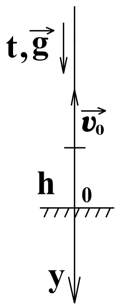


3. Вісь y напрямлена вниз. Початок відліку координат на висоті h над поверхнею землі. Початкова координата $y_0 = 0$.

$$y = -\upsilon_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

У момент падіння на землю y = h

$h = -\upsilon_0 t + \frac{gt^2}{2}$ або $\frac{gt^2}{2} - \upsilon_0 t - h = 0$.



4. Вісь y напрямлена вниз. Початок відліку координат на поверхні землі. Початкова координата $y_0 = -h$.

$$y = -h - \upsilon_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

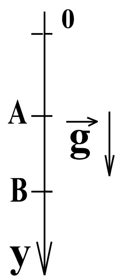
У момент падіння на землю y = 0

$0 = -h - \upsilon_0 t + \frac{gt^2}{2}$ або $\frac{gt^2}{2} - \upsilon_0 t - h = 0$.

Таким чином, правильне врахування проекцій знаків і визначення початкових умов дає однаковий результат.

Розв'язавши отримані рівняння, визначають час руху.

<u>3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.</u>



Поширеними є задачі, в яких розглядається вільне падіння тіла. Треба, знаючи характеристики руху на одній з ділянок OB або AB, визначити характеристики руху на іншій ділянці AB або OB. Головна ідея розв'язування таких задач полягає у наступному: AB = OB – OA, де переміщення (шляхи) OB і OA з відомими початковими умовами руху (y_0 = 0, $\upsilon_0 = 0$) і для них можна скористатися формулою $y = \frac{gt^2}{2}$, час руху на ділянці ОА менший, ніж на ділянці ОВ, на величину того інтервалу часу, за який тіло проходить ділянку АВ.

Задача. Спостерігач виміряв, що за 2с тіло у вільному падінні пролетіло відстань 100м. Як довго падало тіло з початкового стану спокою до моменту початку спостережень і який шлях пройшло при цьому?

$t_2 - ?\; S_2 - ?$

$t_1 = 2c$

$S_1 = 100$

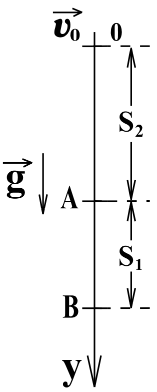
$\upsilon_0 = 0$

$\vec{a} = \vec{g}$

У задачі розглядаються два рухи тіла, яке вільно падає: на деякій ділянці траєкторії S_1, яку проходить тіло через певний час t_2 після початку руху і на ділянці траєкторії, на якій тіло рухається від початку падіння до початку руху на ділянці S_2.

Відомі характеристики руху на ділянці S_1: переміщення (шлях) і час руху t_1. Треба визначити характеристики іншої ділянки: переміщення (шлях) S_2 і час руху t_2.

Вісь у напрямлена вниз. Початок відліку координат у точці, з якої падає тіло.



Рівняння руху: $OB = \frac{gt^2}{2}$, $OA = \frac{g(t - t_1)^2}{2}$.

Додаткові умови: AB = OB – OA і $t = t_1 + t_2$.

Отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} S = OB = \dfrac{gt^2}{2} \\ S_2 = \dfrac{gt_2^2}{2} \\ S_1 = S - S_2 \\ t = t_1 + t_2 \end{cases}$$

Розв'язок цієї системи рівнянь:

$$S = S_1 + S_2,\;\; \frac{g(t_1 + t_2)^2}{2} = S_1 + \frac{gt_2{}^2}{2},\;\; gt_1t_2 = S - \frac{gt_1{}^2}{2},\;\; t_2 = \frac{S_1}{gt_1} - \frac{1}{2}t_1,\;\; t_2 = 4c$$

$$S_2 = \frac{gt_2{}^2}{2},\;\; S_2 = 80ì\,.$$

Задача. Тіло кинули вертикально вверх з початковою швидкістю υ_0= 3,13м/с. Коли воно досягло верхньої точки польоту, з того ж самого пункту з такою самою початковою швидкістю кинули друге тіло. Визначити, на якій відстані h від точки кидання зустрінуться тіла. Опір повітря не враховувати.

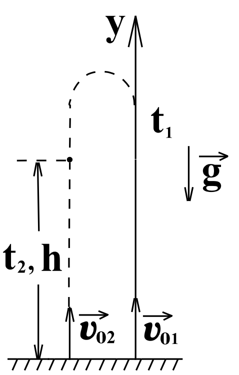
$h - ?$

$\upsilon_0 = \upsilon_{01} = \upsilon_{02} = 3{,}13\,\frac{ì}{c}$

$\vec{a} = \vec{g}$

$\Delta t = t_1 - t_2$

$\Delta t = \frac{\upsilon_{01}}{g}$



Розглядається рух двох тіл, кинутих вертикально вверх.

Відомо, що початкові швидкості обох тіл $\vec{\upsilon}_{01}$ і $\vec{\upsilon}_{02}$ однакові. Друге тіло почало рухатися пізніше на час руху першого тіла до найвищої точки підйому: $\Delta t = t_1 - t_2$, де $\Delta t = \frac{\upsilon_{01}}{g}$.

Зробимо малюнок. Відмітимо на ньому траєкторію руху першого і другого тіла, вісь у спрямуємо вертикально вверх. Вибравши початок відліку в точці 0, відмітимо початкові швидкості тіл υ_0, висоту h, на якій відбулась зустріч (координату y = h), і час t_1 і t_2 руху кожного тіла до моменту зустрічі.

Рівняння руху тіла, кинутого вертикально вверх, дозволяє визначити координату рухомого тіла для будь-якого моменту часу, незалежно від того, піднімається тіло вверх чи падає після підйому вниз. Тому для першого тіла $y_1 = \upsilon_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2}$, для другого – $y_2 = \upsilon_0 t_2 - \frac{gt_2^2}{2}$.

Додаткові умови: $y_1 = y_2 = h,\ t_1 - t_2 = \frac{\upsilon_0}{g}$.

Отримали систему рівнянь:

$$\begin{cases} y_1 = \upsilon_0 t_1 - \frac{gt_1^2}{2} \\ y_2 = \upsilon_0 t_2 - \frac{gt_2^2}{2} \\ y_1 = y_2 = h \\ t_1 - t_2 = \frac{\upsilon_0}{g} \end{cases} \Rightarrow \quad h = \frac{3}{4}\cdot\frac{\upsilon_0^2}{2g}, \quad h \cong 0{,}37 \text{ м}.$$

Задача. Аеростат піднімається вертикально вверх з прискоренням 2м/с^2. Через 5с від початку руху з аеростату випав предмет. Через який час цей предмет упаде на землю?

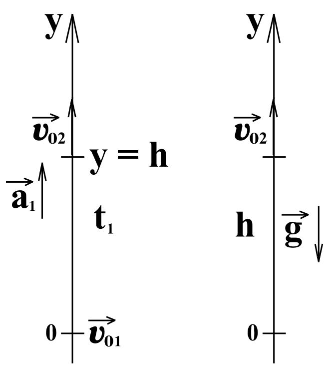
$t_2 - ?$

$a_1 = 2\,\frac{ì}{c^2}$

$t_1 = 5c$

$\bar{a}_2 = \bar{g}$

$\upsilon_{01} = 0$



Розглядається рух двох тіл: аеростата разом з предметом (рівноприскорений рух) і рух предмета.

Відомо: початкова швидкість аеростата разом з предметом $\upsilon_{01} = 0$; прискорення руху цих тіл a_1.

Треба визначити час руху предмета до поверхні землі.

На першому малюнку зображено рівноприскорений рух аеростата з предметом. На другому малюнку показано, що під час відділення від аеростата на висоті h предмет мав початкову швидкість $\bar{\upsilon}_{02}$, яка напрямлена вертикально вверх. Отже, предмет після відділення від аеростата рухався як тіло, кинуте вертикально вверх.

Рівняння руху тіл для першого виду руху:

$y = \frac{a_1 t_1^2}{2}$ або $h = \frac{a_1 t_1^2}{2}$ $(y_0 = 0,\ \upsilon_{01} = 0)$; $\quad \upsilon_{02} = a_1 t_1$;

для другого руху: $y = h + \upsilon_{02} t_2 - \frac{gt_2^2}{2}$.

Додаткова умова: тіло упало на землю y = 0.

Отже, отримали систему рівнянь:

$$\begin{cases} h = \dfrac{a_1 t_1^2}{2} \\ \upsilon_{02} = a_1 t_1 \\ y = h + \upsilon_{02} t_2 - \dfrac{g t_2^2}{2} \\ y = 0 \end{cases} \Rightarrow \quad 0 = \frac{a_1 t_1^2}{2} + a_1 t_1 t_2 - \frac{g t_2^2}{2} \Rightarrow \ t_2 = \frac{a_1 t_1^2}{2}\left(1 + \sqrt{1 + \frac{g}{a_1}}\right), \quad t_2 \approx 3{,}45c.$$

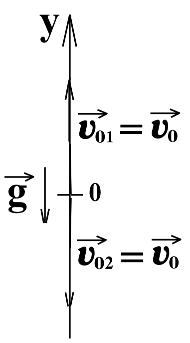
Задача. З вишки одночасно кинули два тіла з однаковою початковою швидкістю υ_0: одне вертикально вверх, друге вертикально вниз. Як з перебігом часу змінюватиметься відстань між тілами?

$l(t) - ?$

$\upsilon_{01} = \upsilon_{02} = \upsilon_0$

$\vec{\upsilon}_{01} = -\vec{\upsilon}_{02}$

$\vec{a} = \vec{g}$



Усі дії аналогічні тим, що виконувалися в попередніх задачах. Треба врахувати, що відстань між тілами дорівнює різниці їх координат.

Рівняння руху першого тіла: $y_1 = \upsilon_0 t - \dfrac{gt^2}{2}$.

Рівняння руху другого тіла: $y_2 = -\upsilon_0 t - \dfrac{gt^2}{2}$.

Отже, $l = y_1 - y_2 = 2\upsilon_0 t$.

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. Тіло, що вільно падає, останні 30м пройшло за 0,5с. Визначити висоту падіння. (Відповідь: ≈ 195 м)

2. Тіло, що перебувало в точці В на висоті Н = 45м від землі, починає вільно падати. Одночасно з точки А, розміщеної на відстані h = 21м нижче точки В, кидають друге тіло вертикально вверх. Визначити початкову швидкість υ_0 другого тіла, якщо відомо, що обидва тіла впадуть на землю одночасно. Опором повітря нехтувати. Прийняти $g \approx 10$ м/с^2. (Відповідь: $\upsilon_0 = h\sqrt{\dfrac{g}{2H}}$, $\upsilon_0 = 7$ м/с)

3. Гелікоптер піднімається вертикально вверх зі швидкістю 8м/с. На висоті 120м над землею з вікна гелікоптера викидають вантаж. Через який час він упаде на землю? (Відповідь: 5,8с)

План заняття

I. Перевірка знання студентами поняття: вільне падіння тіл.

II. Колективний аналіз розв'язку однієї з домашніх задач, аналогічної наведеним.

III. Розв'язування задач:

1. Чому дорівнює переміщення тіла, що вільно падає, у n-ну секунду після початку падіння? (Відповідь: $\dfrac{g}{2}(2n-1)$)

2. Друге тіло підкинули від землі вертикально через 4с після першого з тією самою швидкістю – 49м/с. Через який час після кидання другого тіла і на якій висоті обидва тіла зустрінуться? (Відповідь: 3с)

3. З даху будинку через кожні чверть секунди падають краплі води. На якій відстані одна від одної будуть знаходитися перші дві краплі води в момент відриву десятої? З якою швидкістю буде рухатися перша крапля відносно другої?

(Відповідь: 5,2м; 2,45м/с)

<u>Практичне заняття 3</u>
Логіка введення класичного закону додавання швидкостей

Підготовка до заняття

<u>1. Пригадати зміст понять</u>: механічний рух, матеріальна точка, система відліку, переміщення, закон додавання швидкостей [11, с.10-12].

<u>2. Запропонувати способи введення істотних ознак компонента "Додавання переміщень і швидкостей", розв'язуючи пізнавальні задачі:</u>

а) Який зв'язок між переміщенням тіла в нерухомій і рухомій системах відліку?

б) Який зв'язок між швидкістю тіла відносно нерухомої системи відліку, швидкістю тіла відносно рухомої системи відліку й швидкістю рухомої системи відліку відносно нерухомої? [6, §10].

План проведення заняття

1. Розповідь: мета даного заняття.

2. Перевірка знання студентами понять: механічний рух, матеріальна точка, система відліку, переміщення, додавання переміщень і швидкостей.

3. Введення змісту компонента "додавання переміщень і швидкостей".

І. Висування навчальної задачі.

– Припустимо, що вздовж вагону залізничного составу йде пасажир. Потяг також рухається в певному напрямі. З якими тілами можна зв'язати систему відліку для розгляду руху пасажира?

– Чи однакові швидкості руху пасажира відносно вагону і землі? Чому?

– Припустимо, що людина перепливає річку, намагаючись рухатися перпендикулярно течії води. З якими тілами можна пов'язати системи відліку для розгляду руху людини?

– Чи однакові швидкості руху людини в цих системах відліку? Чому?

Таким чином, швидкості руху тіла в системах відліку, що рухаються одна відносно одної не однакові. На практиці часто виникає необхідність встановлювати зв'язки між цими швидкостями.

Розв'яжемо задачу: У тиху погоду швидкість приземлення парашутиста $\upsilon_1 = 4$м/с. Якою буде швидкість парашутиста при приземленні, якщо в горизонтальному напрямі вітер дме зі швидкістю $\upsilon_2 = 5$м/с?

ІІ. Прогнозування наступної діяльності.

Що треба з'ясувати для розв'язування даної задачі?

Проаналізуємо умову задачі.

За наявності вітру можна виділити такі рухи: рух парашутиста відносно землі; рух парашутиста відносно повітря (вітру); рух повітря (вітру) відносно землі. Відповідно треба розглядати такі системи відліку: систему відліку пов'язану із землею, систему відліку пов'язану з рухомим повітрям (вітром). Відносно цих двох систем відліку рухається тіло – парашутист і, водночас, одна з них рухається відносно іншої.

У задачі відомо: швидкість руху тіла відносно повітря, незалежно від того рухається повітря чи ні, тобто відносно рухомої системи відліку; швидкість повітря, тобто рухомої системи відліку відносно нерухомої, пов'язаної із землею.

У задачі невідомою є швидкість тіла відносно землі, тобто відносно нерухомої системи відліку.

Отже, щоб розв'язати задачу, треба встановити зв'язок між швидкостями тіла відносно нерухомої й рухомої систем відліку, а також швидкістю рухомої системи відліку відносно нерухомої.

У задачі розглядаються рівномірні прямолінійні рухи. Тому можна спочатку з'ясувати зв'язок між відповідними переміщеннями, які здійснюються за один і той самий час, а потім установити зв'язок між швидкостями, що розглядалися.

III. Введення класичного закону додавання швидкостей.

– Запропонуйте розв'язок пізнавальної задачі: Який зв'язок між переміщеннями тіла відносно нерухомої й рухомої систем відліку і переміщенням рухомої системи відліку відносно нерухомої?

– Запропонуйте розв'язок пізнавальної задачі: Який зв'язок між швидкостями тіла в нерухомій і рухомій системах відліку й швидкістю рухомої системи відліку відносно нерухомої?

IV. Систематизація істотних ознак компонента.

– Що ми з'ясували, розглядаючи додавання переміщень і швидкостей?

V. Розв'язування навчальної задачі.

Нагадується навчальна задача і демонструється спосіб її розв'язування (учні записів не роблять).

1. На рух парашутиста впливає вітер. Тому в задачі треба розглянути рух парашутиста відносно двох систем відліку, що пов'язані з вітром і землею.

2. У задачі розглядається рух парашутиста.

3. Систему відліку, пов'язану із землею, вважатимемо нерухомою.

4. Систему відліку, пов'язану з рухомим повітрям (вітром), вважатимемо рухомою.

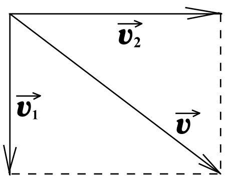
5. У задачі відомі: відносна швидкість (швидкість парашутиста відносно повітря) $\upsilon_В = \upsilon_1 = 4$ м/с, переносна швидкість $\upsilon_п = \upsilon_2 = 5$ м/с. Треба знайти абсолютну швидкість (швидкість парашутиста відносно землі).

Запишемо коротку умову задачі.

$\upsilon - ?$

$\upsilon_1 = 4\frac{ì}{с}$

$\upsilon_2 = 5\frac{ì}{с}$



6. Запишемо закон додавання швидкостей:

$$\vec{\upsilon}_а = \vec{\upsilon}_В + \vec{\upsilon}_п \text{ або } \vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2.$$

7. Зображаємо ці швидкості на малюнку, враховуючи наступне: $\vec{\upsilon}_1$ напрямлена вертикально вниз, $\vec{\upsilon}_2$ напрямлена горизонтально, $\vec{\upsilon}$ є векторною сумою $\vec{\upsilon}_1$ і $\vec{\upsilon}_2$.

8. Визначимо шукану швидкість: $\upsilon = \sqrt{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2}$, $\upsilon = \sqrt{16 + 25} \approx 6{,}4$ (м/с).

Записи на класній дошці витираються. Учням пропонується самостійно відновити розв'язок задачі.

VI. Робота з результатом.

Розв'язуються задачі, виходячи з наявного навчального часу.

<u>Практичне заняття 4</u>

Розв'язування задач на класичний закон додавання швидкостей

Підготовка до заняття

<u>1. Пригадати зміст поняття</u>: додавання переміщень і швидкостей [11, с.12].

<u>2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач з даної теми.</u>

У загальному випадку при застосуванні класичного закону додавання швидкостей доцільно використовувати наступну систему дій:

1. З'ясувати необхідність розгляду руху тіла в декількох системах відліку.
2. З'ясувати, рух якого тіла розглядається в задачі.
3. Вибрати нерухому систему відліку.
4. Вибрати рухому систему відліку.
5. З'ясувати, які швидкісті є абсолютною, відносною, переносною.
6. Записати закон додавання швидкостей.
7. Зобразити вектори цих швидкостей.
8. Визначити шукану швидкість.

<u>Поради:</u>

1. Якщо в задачі вказана відстань, то систему відліку, в якій вона задана, доцільно вважати нерухомою.

2. Якщо всі вектори швидкостей розміщені вздовж однієї прямої, то треба провести вісь координат (направити її в ту сторону, в яку напрямлена більшість векторів швидкостей), записати закон додавання швидкостей, враховуючи знаки їх проекцій на зображену координатну вісь.

3. Якщо вектори швидкостей напрямлені під кутом один до одного, то їх зображають у вигляді трикутника, враховуючи запис закону додавання швидкостей. З трикутника визначають шукану швидкість.

4. У простих випадках наочним стає зв'язок між швидкостями, що не потребує детального виконання записаної системи дій.

<u>3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.</u>

<u>Задача.</u> Швидкість течії води в річці становить 4м/с. Човен рухається зі швидкістю 3м/с відносно води. Визначте швидкість руху човна й напрям вектора цієї швидкості відносно берега у випадках: човен рухається вздовж річки, човен рухається перпендикулярно течії.

1. На рух човна відносно берега впливає течія води. Отже, визначаючи швидкість човна відносно берега, треба враховувати швидкість човна відносно води і швидкість води відносно берега, тобто одночасно розглядати рух човна відносно двох систем відліку, що рухаються одна відносно одної.

$\upsilon - ?$

$\upsilon_1 = 4\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$\upsilon_2 = 3\frac{\text{м}}{\text{с}}$

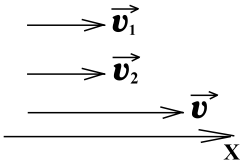
2. Запишемо умову задачі, позначивши швидкість течії υ_1, швидкість човна відносно води υ_2, швидкість човна відносно берега буквою υ.

3. Тілом, рух якого розглядається, є човен. Нерухому систему відліку пов'яжемо з берегом. Рухому систему відліку пов'яжемо з водою.

4. Абсолютна швидкість – швидкість човна відносно берега $\upsilon_a = \upsilon$. Відносна швидкість – швидкість човна відносно води $\upsilon_B = \upsilon_2$. Переносна швидкість – швидкість течії води відносно берега $\upsilon_n = \upsilon_1$.

5. $\vec{\upsilon}_a = \vec{\upsilon}_B + \vec{\upsilon}_n$ або $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2$.

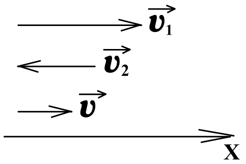
6. 1 випадок: човен рухається за течією води.



$\upsilon = \upsilon_1 + \upsilon_2$, $\quad \upsilon = 4 + 3 = 7$ (м/с).

Човен пливе відносно берега за течією води.

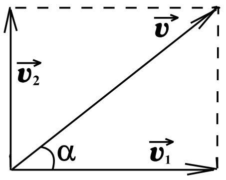
2 випадок: швидкість човна відносно води напрямлена протилежно напряму течії води.



$\upsilon = \upsilon_1 - \upsilon_2$, $\quad \upsilon = 4 - 3 = 1$(м/с).

Човен пливе відносно берега за течією води.

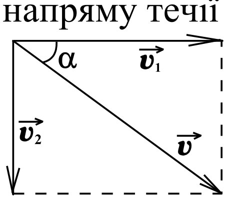
3 випадок: швидкість човна відносно води напрямлена перпендикулярно до напряму течії води.



$\upsilon = \sqrt{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2}$, $\quad \upsilon = \sqrt{16 + 9} = 5$ (м/с).

Відносно берега човен пливе під кутом α до нього.

4 випадок: швидкість човна відносно води напрямлена перпендикулярно до напряму течії води, але човен повертається.



$\upsilon = \sqrt{\upsilon_1^2 + \upsilon_2^2}$, $\quad \upsilon = \sqrt{16 + 9} = 5$ (м/с).

Відносно берега човен пливе з такою ж за значенням швидкістю, що й у попередньому випадку, під тим самим кутом до берега.

Задача. Колона військ, розтягнувшись у довжину на 2км, рухається по шосе зі швидкістю 5км/год. Командир, який перебуває в ар'єргарді, посилає мотоцикліста з розпорядженням головному колони. Через 10хв мотоцикліст повертається. Визначити швидкість мотоцикліста, вважаючи, що в обидві сторони він рухався з однаковою швидкістю.

1. Відома довжина колони l= 2км, швидкість руху колони відносно шосе υ_1= 5км/год, час руху мотоцикліста до головного колони і назад t = 10хв, швидкість мотоцикліста відносно шосе має стале значення і є шуканою величиною υ_2.

У задачі розглядаються рухи тіл – колони, мотоцикліста відносно одної системи відліку, пов'язаної із шосе й рух мотоцикліста відносно колони, адже відома її довжина.

$\upsilon_2 - ?$
$l = 2$êì
$\upsilon_1 = 5 \frac{\text{êì}}{\text{ãîä}}$
$t = 10$õâ

Вивчається рух тіла – мотоцикліста.

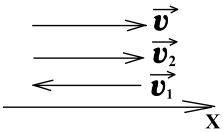
Систему відліку, пов'язану з колоною, вважатимемо нерухомою (дана довжина колони).

Систему відліку, пов'язану із шосе (землею), вважатимемо рухомою.

Абсолютна швидкість – швидкість мотоцикліста відносно колони $\vec{\upsilon}_a = \vec{\upsilon}$. Відносна швидкість – швидкість мотоцикліста відносно шосе $\vec{\upsilon}_B = \vec{\upsilon}_2$. Переносна швидкість – швидкість шосе відносно колони (вона чисельно дорівнює швидкості колони відносно шосе, але має протилежний напрям) $\vec{\upsilon}_n = -\vec{\upsilon}_1$.

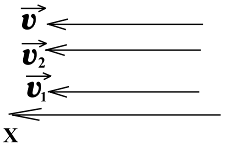
Закон додавання швидкостей: $\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}_1 + \vec{\upsilon}_2$.

1 випадок: мотоцикліст рухається до головного колони.



$\upsilon' = \upsilon_2 - \upsilon_1$, отже $\upsilon_2 = \upsilon' + \upsilon_1$, де υ' – швидкість мотоцикліста відносно колони, яка у даному випадку дорівнює $\upsilon' = \frac{l}{t_1}$, де t_1 – час руху до головного колони.

2 випадок: мотоцикліст повертається назад.



$\upsilon'' = \upsilon_2 + \upsilon_1$, отже $\upsilon_2 = \upsilon'' - \upsilon_1$.

$\upsilon'' = \frac{l}{t_2}$, де t_2 – час руху мотоцикліста від головного колони до її початку зі швидкістю υ''.

Розв'яжемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \upsilon_2 = \frac{l}{t_1} + \upsilon_1 \\ \upsilon_2 = \frac{l}{t_2} - \upsilon_1 \\ t = t_1 + t_2 \end{cases} \quad \begin{array}{|l} t_1 = \frac{l}{\upsilon_2 - \upsilon_1} \\ t_2 = \frac{l}{\upsilon_2 + \upsilon_1} \\ t = t_1 + t_2 \end{array} \quad \Rightarrow \quad t\upsilon_2^2 - 2l\upsilon_2 - t\upsilon_1^2 = 0 \quad \Rightarrow \quad \upsilon_2 = 25\,\text{км/год.}$$

Задача. Два електропотяги завдовжки 200м кожний рухаються на зустріч один одному. Швидкість одного з них менша, ніж другого і дорівнює 40км/год. Відстань між місцем зустрічі перших вагонів і місцем розходження останніх вагонів дорівнювала 40м. Визначити швидкість другого електропотяга.

$\upsilon_2 - ?$

$\upsilon_1 = 40\,\frac{êì}{ãîä}$

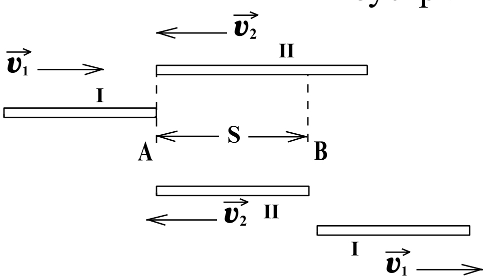
$l = l_1 = l_2 = 0{,}2êì$

$S = 0{,}04êì$

$t = t_1 = t_2$

Відомо: розміри потягів l, швидкість одного потяга відносно землі υ_1; відстань між двома точками на поверхні землі – одній (точці A) відповідає положення передніх частин перших вагонів, другій (точці B) – кінці потягів. Треба знайти швидкість другого потягу відносно землі. Час руху обох потягів однаковий.

На малюнку зображені точки A і B на поверхні землі, в яких зустрілися і розійшлися потяги.



Кінець першого потягу пройшов відстань $(l + S)$, а кінець другого потягу $(l - S)$. Потяги рухалися рівномірно. Тому рівняння руху мають вигляд:

$(l + S) = \upsilon_1 t,\ (l - S) = \upsilon_2 t$.

Менша швидкість другого потяга.

Розв'яжемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} l + S = \upsilon_1 t \\ l - S = \upsilon_2 t \end{cases} \Rightarrow \quad \frac{l+S}{l-S} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} \quad \Rightarrow \quad \upsilon_1 = \frac{l+S}{l-S} \cdot \upsilon_2; \quad \upsilon_1 = 60\,\text{км/год.}$$

Задача. Повз пристані проходить пліт. У цей момент у селище, яке знаходиться на відстані $S_1 = 15$ км від пристані, вниз по річці відправляється моторний човен. Він дійшов до селища за час t = 3/4год, повернув назад, зустрів пліт на відстані $S_2 = 9$ км від селища. Яка швидкість течії річки й швидкість човна відносно води?

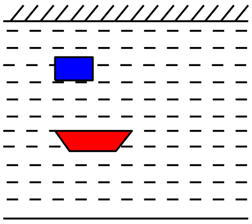
Цю задачу можна розв'язати, використовуючи методичні рекомендації щодо застосування правил додавання переміщень і швидкостей. Але існує інший, більш простий спосіб розв'язування задач, аналогічних записаній.

$\upsilon_{÷} - ?\ \ \upsilon_{ò} - ?$

$S_1 = 15\text{êì}$

$t = \frac{3}{4}\text{ãîä}$

$S_2 = 9\text{êì}$



1. Виберемо в якості системи відліку пліт (воду). Швидкість плота дорівнює швидкості течії води.

У цій системі відліку човен рухається вниз і вверх по річці з однаковою швидкістю. Це означає, що час віддалення човна від плота дорівнює часу наближення до нього.

Таким чином, загальний час руху човна дорівнює $t_1 = \frac{3}{4} + \frac{3}{4} = 1{,}5$ год.

За цей час пліт пройшов відстань (відносно землі) $S_1 - S_2 = 6\text{êì}$. Отже, швидкість течії (швидкість плота відносно берега) дорівнює $\upsilon_{ò} = \frac{S_1 - S_2}{t_1}$, $\upsilon_{ò} = \frac{6}{1{,}5} = 4$ (км/год).

Човен рухається відносно берега вниз за течією зі швидкістю, яка дорівнює сумі швидкості човна відносно води і швидкості води відносно берега: $\upsilon_1 = \upsilon_2 + \upsilon_{ò}$. Звідси швидкість човна відносно води $\upsilon_2 = \upsilon_1 - \upsilon_{ò}$.

$\upsilon_1 = \frac{S_1}{t}$ – за час t човен досягає селища, проходячи відстань S_1.

$$\upsilon_1 = \frac{15}{\frac{3}{4}} = 20 \text{ (км/год)}.$$

$$\upsilon_2 = 20 - 4 = 16 \text{ (км/год)}.$$

4. Самостійно розв'язати задачі:

1. Пункти А і В розміщені на одному березі річки, пункт С – на другому, напроти А. Відстані між пунктами А і В, А і С однакові. Рибалка пливе на човні один раз із пункту А в В і назад, другий – із пункту А в С і назад. Чому дорівнює швидкість човна відносно води, якщо відомо, що швидкість течії води $\upsilon = 2$ км/год і що перша поїздка потребує часу в $n = 1{,}1$ рази більшого, ніж друга?

(Відповідь: $\upsilon_2 = n\frac{\upsilon}{\sqrt{n^2 - 1}} = 4{,}8$ км/год)

2. Пролітаючи над пунктом А, пілот гелікоптера наздогнав повітряну кулю, яку зносило вітром по курсу гелікоптера. Через 0,5год пілот повернув назад і зустрів кулю на відстані 30км від пункту А. Яка швидкість вітру, якщо двигун гелікоптера працював зі сталою потужністю? (Відповідь: 30км/год)

План заняття

I. Перевірка знання студентами правил додавання переміщень і швидкостей.

II. Колективний аналіз розв'язування однієї з домашніх задач, аналогічній наведеним.

III. Розв’язування задач:

1. Два катери зустрілися під мостом і розійшлися. Повернувши через 0,5год назад, вони знову зустрілися на відстані 2км від моста. Визначити швидкість течії річки, якщо після повороту швидкості катерів відносно води не змінювалися.

(Відповідь: 2км/год)

2. Визначити швидкість звуку у повітрі при відсутності вітру і швидкість теплохода, який рухається рівномірно в морі, якщо відомо, що звуковий сигнал, посланий із середини корабля, досягає його носа через 0,103с, а корми через 0,097с. Довжина теплохода 68м. (Відповідь: 340м/с, 10м/с)

3. З якою швидкістю і яким курсом повинен летіти літак, щоб за час $t = 2$год пролетіти точно на Північ шлях $S = 300$км, якщо під час польоту дме північно-західний вітер під кутом $\alpha = 30^0$ до меридіану зі швидкістю $\upsilon = 27$км/год?

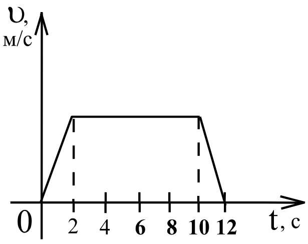
(Відповідь: 174км/год, на північно-захід під кутом $4^0 30'$ до меридіану.

Вказівка: $\upsilon_ё^2 = \upsilon_1^2 + \upsilon^2 + 2\upsilon_1 \upsilon_2 \cos\beta$)

<u>Практичне заняття 5</u>
Контрольна робота

ДИНАМІКА

Студент повинен уміти розв'язувати задачі типу:



1. Швидкісні ліфти у висотному будинку рухаються зі швидкістю 3,6м/с. Графік швидкості ліфта під час підйому зображений на малюнку. Маса кабіни з вантажем дорівнює 1,5т. Визначити силу натягу каната, який утримує кабіну ліфта, на початку, в середині і кінці підйому. (Відповідь: $1{,}8\cdot10^4\text{Н}; 1{,}5\cdot10^4\text{Н}; 1{,}23\cdot10^4\text{Н}$)

2. Яким має бути найменший коефіцієнт тертя між шинами велосипеда й асфальтом, щоб була забезпечена стійкість велосипеда під час руху по кривій радіусом r = 10м зі швидкістю $\upsilon = 5$м/с? (Відповідь: $\mu = \frac{\upsilon^2}{rg} \approx 0{,}26$)

3. Диск обертається в горизонтальній площині, роблячи n = 30об/хв. На відстані r = 20см від осі обертання лежить тіло. Яким має бути коефіцієнт тертя, щоб тіло залишилося на диску? (Відповідь: $\mu = 0{,}2$)

4. Тіло, маса якого m = 10кг, лежить на похилій площині, яка утворює кут $\alpha = 30^0$ з горизонтом. Коефіцієнт $\mu = 0{,}6$. Яку силу, напрямлену вздовж площини, треба прикладати до тіла, щоб переміщати його вниз по площині з прискоренням a = 0,02м/с^2? (Відповідь: $F = m[a + g(\mu\cos\alpha - \sin\alpha)] \approx 2{,}1\text{Н}$)

5. По похилій площині, яка утворює кут $\alpha = 30^0$ з горизонтом, з висоти $h = 1{,}25$м зі стану спокою ковзає тіло. Коефіцієнт тертя між тілом і площиною $\mu = 0{,}2$. Яку швидкість набуде тіло в кінці похилої площини?

(Відповідь: $\upsilon = \sqrt{2gh(1 - \mu\text{ctg}\alpha)} \approx 4$ м/с)

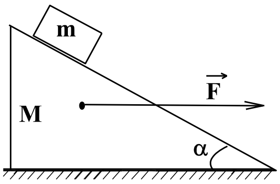
6. Хлопець, маса якого m = 45кг, обертається на "гігантських кроках" із частотою n = 15об/хв. Довжина каната 5м. Яка сила натягу каната?

(Відповідь: $F_H = 4\pi^2 n^2 ml = 555H$)

7. Дві гирі, маси яких 4кг і 3кг, підвішені до нитки, перекинутої через нерухомий блок, причому легша гиря перебуває на висоті 2,8м нижче від важчої. Визначити, через який час гирі будуть на одній висоті, якщо їм дати можливість рухатися під дією сили тяжіння. (Відповідь: $t = \sqrt{\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}\cdot\frac{h}{g}} = 1{,}4\text{с}$)

8. Велосипедист рухається по горизонтальній площині, описуючи дугу кола радіусом 80м. Максимально можлива при цьому швидкість дорівнює 64км/год. Визначити коефіцієнт тертя гуми о ґрунт і кут нахилу велосипедиста по вертикалі.

(Відповідь: $\mu \geq \frac{\upsilon^2}{gR}, \quad tg\alpha = \mu$)



9. На горизонтальній площині лежить клин масою M і кутом нахилу α. На гладеньку поверхню клина кладуть брусок масою m. Система рухається зі стану спокою під дією прикладеної до клину сталої горизонтальної сили $\vec{F}$. Коефіцієнт тертя між клином і площиною дорівнює μ, тертя між клином і бруском відсутнє. Якою має бути сила F, щоб брусок під час розгону був нерухомим

відносно клину?

(Відповідь: $F=(m+M)g(tg\alpha+1)$)

10. У ліфті, що рухається вертикально вверх з прискоренням а = 2м/с^2, обертається горизонтальний столик із частотою f = 1,3об/хв. На столику лежить маленький брусок. Коефіцієнт тертя між бруском і столиком μ = 0,4. Визначити максимальну відстань бруска від осі обертання, за якої він ще утримується на столику, а також прискорення бруска відносно землі. (Відповідь: $r=\dfrac{\mu(a+g)}{4\pi^2 f^2}$)

11. Літак летить на висоті h горизонтально по прямій зі швидкістю υ. Пілот повинен скинути бомбу в ціль, яка лежить попереду літака. Під яким кутом до вертикалі він повинен бачити ціль у момент скидання бомби? Яка в цей момент відстань від цілі до точки, над якою знаходиться літак? Опором повітря руху бомби нехтувати. (Відповідь: $S=\upsilon\sqrt{\dfrac{2h}{g}},\quad \alpha=\mathrm{arctg}\,\upsilon\sqrt{\dfrac{2}{gh}}$)

12. Тіло кинули під кутом α до горизонту зі швидкістю υ_0. Визначити швидкість цього тіла на висоті h над горизонтом. Опором повітря нехтувати.

(Відповідь: $\upsilon=\sqrt{\upsilon_0^2-2gh}$)

13. З висоти Н на похилу площину, яка утворює з горизонтом кут $\alpha=45^0$, вільно падає м'яч і пружно відбивається з тією самою швидкістю. Визначити відстань від місця першого удару до другого.

(Відповідь: $S_1=\left[\upsilon_0\dfrac{2\upsilon_0}{g}+\dfrac{g}{2}\left(\dfrac{2\upsilon_0}{g}\right)^2\right]\sin\alpha=\dfrac{4\upsilon_0^2}{g}\sin\alpha$)

<u>Практичне заняття 6</u>
Розв'язування задач на рух тіла під дією на нього різних видів сил

Підготовка до заняття

<u>*1. Повторити зміст*</u>: першого, другого, третього законів Ньютона, сил тяжіння, пружності, тертя [11, с. 16, 18-23].

<u>*2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач на закони Ньютона.*</u>

У загальному випадку в задачах з динаміки поєднуються два види задач: задачі з кінематики і задачі на закони Ньютона.

Якщо треба знайти координату, переміщення, час, швидкість, то спочатку визначається прискорення, використовуючи закони динаміки. Потім визначається шукана величина, виходячи із рівнянь кінематики.

Якщо треба знайти масу, силу, коефіцієнт тертя, жорсткість, то спочатку визначається прискорення, користуючись кінематичними рівняннями руху. Потім визначається шукана величина, виходячи із законів Ньютона.

Спільною для обох випадків є система дій, яка пов'язана із застосуванням законів Ньютона:

1. Прочитати й зрозуміти умову задачі, з'ясувавши, рух якого тіла в ній розглядається.

2. Зобразити умовно тіло (і поверхню, по якій рухається дане тіло).

3. Зобразити всі сили, що діють на тіло.

4. Провести вісі координат (одну вісь провести в напрямі прискорення тіла).

5. Записати другий закон Ньютона у векторній формі.

6. У цьому законі замість сили записати векторну суму всіх сил, що діють на тіло.

7. Записати рівняння другого закону Ньютона в проекціях на вісі координат.

8. Записати додаткові умови (як правило закони сил).

9. Розв’язати одержану систему рівнянь.

<u>Поради:</u>

1. Якщо розглядається рух одного тіла (матеріальної точки), то осі координат доцільно проводити через його центр мас (центр тяжіння).

2. Вісь X направити краще вздовж поверхні, по якій тіло рухається в напрямку прискорення тіла.

3. На малюнку зобразити напрям прискорення тіла.

4. Зображаючи сили, що прикладені до тіла, необхідно весь час враховувати третій закон Ньютона, пам’ятаючи, що сили можуть діяти на це тіло тільки з боку певних інших тіл: з боку Землі (це буде сила тяжіння, що дорівнює $m\vec{g}$); з боку нитки (сила натягу $\vec{F}_H$); з боку поверхні (сила нормальної реакції $\vec{N}$ і тертя $\vec{F}_{òåð}$). До даного тіла завжди прикладено стільки сил, скільки є інших тіл, що взаємодіють з даним тілом.

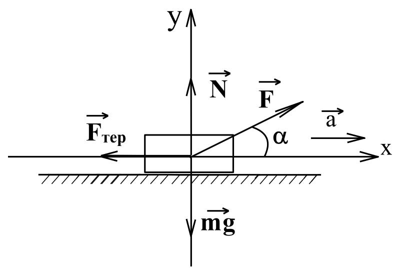
Для тіл, розміщених поблизу поверхні Землі, треба враховувати тільки силу тяжіння і сили, що виникають у місцях безпосереднього торкання тіл. Тіло – матеріальна точка, тоді всі сили прикладені до центра мас тіла.

5. Задачі на динаміку руху матеріальної точки по колу виконуються за вказаною схемою, враховуючи, що при рівномірному русі по колу, доцентрове прискорення завжди напрямлене до центру кола.

<u>3. Ознайомитися з методами розв’язування окремих типів задач.</u>

<u>Задача.</u> Тіло масою M рухається прямолінійно з прискоренням a по горизонтальній площині під дією деякої сили F, яка утворює кут α з горизонтом. Визначити величину цієї сили, якщо коефіцієнт тертя між тілом і площиною дорівнює μ.

$F-?$
M
a
μ



Розглядається рух тіла масою M.

На тіло діють сили: сила тяжіння $m\vec{g}$, сила нормальної реакції опори $\vec{N}$, сила тертя $\vec{F}_{òåð}$ і сила тяги $\vec{F}$.

Вісь X направимо горизонтально в напрямі вектора $\vec{a}$.

Другий закон Ньютона: $\vec{F}=M\vec{a}$. $\vec{F}$ – рівнодійна всіх сил: $\vec{F}=m\vec{g}+\vec{F}_{òåð}+\vec{N}+\vec{F}$. Отже, $m\vec{g}+\vec{F}_{òåð}+\vec{N}+\vec{F}=M\vec{a}$.

Запишемо це рівняння в проекціях на осі координат:

$$\begin{array}{l} OX: \\ OY: \end{array}\begin{cases} -F_T+F\cos\alpha=Ma \\ -mg+N+F\sin\alpha=0 \end{cases}$$ Вздовж осі OY прискорення дорівнює нулю.

Додаткова умова: $F_{òåð}=\mu N$.

Отже, отримали систему рівнянь:

$$\begin{cases} -F_{\text{òåð}} + F\cos\alpha = Ma \\ -mg + N + F\sin\alpha = 0 \\ F_{\text{òåð}} = \mu N \end{cases}$$

Розв'язавши систему рівнянь отримуємо: $F = \dfrac{M(a + \mu g)}{\cos\alpha + \mu \sin\alpha}$.

Задача. Сталевий предмет масою m піднімають з води за допомогою троса, жорсткість якого дорівнює k, з прискоренням a. Густина сталі ρ_1, густина води ρ_2. Визначити видовження x троса. Силою опору води нехтувати.

$x - ?$

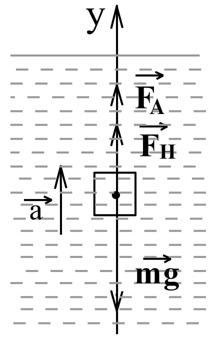
m

k

a

ρ_1

ρ_2



Розглядається рух сталевого предмета.

На предмет діють сили: сила тяжіння $m\vec{g}$, сила Архімеда $\vec{F}_A$, сила натягу (пружності) тросу $\vec{F}_H$.

Вісь Y напрямлена вверх – у напрямі вектора $\vec{a}$.

$\vec{F} = m\vec{a}$.

$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_H = m\vec{a}$.

У проекціях на вісь Y рівняння записується у вигляді:

$-mg + F_A + F_H = ma$.

Додаткові умови: $F_H = kx$ (за законом Гука), $F_A = \rho_2 V_T g$, $V_T = \dfrac{m}{\rho_1}$ (об'єм тіла).

Отже, отримали систему рівнянь:

$$\begin{cases} -mg + F_A + F_H = ma \\ F_A = \rho_2 V_T g \\ F_H = kx \\ V_T = \dfrac{m}{\rho_1} \end{cases} \Rightarrow \quad \rho_2 \frac{m}{\rho_1} g + kx - mg = ma \quad \Rightarrow \quad x = \frac{m}{k\rho_1}(\rho_1 g + \rho_1 a - \rho_2 g).$$

Задача. Льодяна гора складає з горизонтом кут α. По ній пускають вверх камінь, який, після підйому на деяку висоту, зісковзує по тому самому шляху вниз. Який коефіцієнт тертя, якщо час спуску в n разів більший за час підйому?

$\mu - ?$

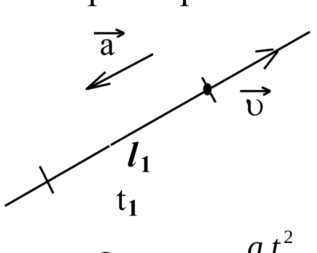
$\dfrac{t_2}{t_1} = n$

α

Розглядається два рухи тіла: уверх по похилій площині й униз по тому самому шляху.

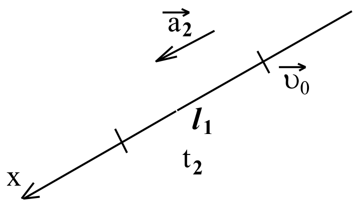
Треба знайти коефіцієнт тертя. Прискорення рухів не відомі. Але між ними можна встановити зв'язок, враховуючи умову $\dfrac{t_2}{t_1} = n$, де t_1 – час підйому вверх, t_2 – вниз.

Тому, спочатку, використовуючи кінематичні рівняння, встановимо зв'язок між прискореннями руху тіла по похилій площині вверх і назад.



1. Тіло рухається вверх рівносповільнено до зупинки, проходячи деякий шлях *l* за час t_1. Початкова швидкість руху не відома. Але, у даному випадку, цей сповільнений рух можна замінити рівноприскореним рухом з таким самим прискоренням a_1 і початковою швидкістю рівною нулю.

Отже, $l = \dfrac{a_1 t_1^2}{2}$.

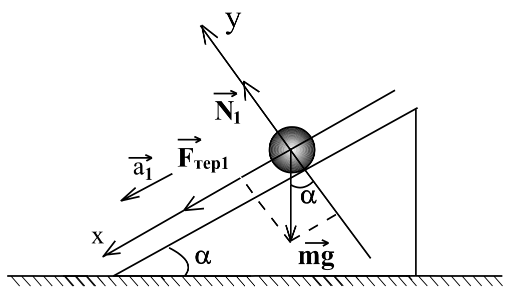


2. Тіло зісковзує з похилої площини, проходячи шлях l за час t_2 з прискоренням a_2. Початкова швидкість дорівнює нулю.

Отже, $l = \dfrac{a_2 t_2^2}{2}$.

Звідси $\dfrac{a_1 t_1^2}{2} = \dfrac{a_2 t_2^2}{2} \;\Rightarrow\; \dfrac{a_1}{a_2} = \dfrac{t_2^2}{t_1^2} \;\Rightarrow\; \dfrac{a_1}{a_2} = n^2$.

Тепер розв’яжемо задачу з динаміки.



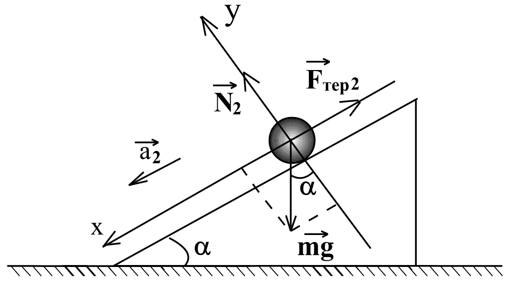
1. Тіло рухається вверх.

Виконаємо систему дій, аналогічну тій, що була виконана в попередніх задачах.

$\vec{F} = m\vec{a}$, $m\vec{g} + \vec{F}_{\text{òåð1}} + \vec{N}_1 = m\vec{a}_1$.

$$\begin{cases} OX: \quad mg\sin\alpha + F_{T1} = ma_1 \\ OY: \quad N_1 - mg\cos\alpha = 0 \qquad \Rightarrow \quad a_1 = g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha). \\ F_{T1} = \mu N_1 \end{cases}$$

2. Тіло зісковзує з похилої площини.



$\vec{F} = m\vec{a}$, $m\vec{g} + \vec{F}_{\text{òåð2}} + \vec{N}_2 = m\vec{a}_2$.

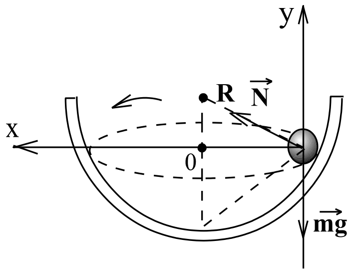
$$\begin{cases} OX: \quad mg\sin\alpha - F_{\text{òåð2}} = ma_2 \\ OY: \quad N_2 - mg\cos\alpha = 0 \qquad \Rightarrow \quad a_2 = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha). \\ F_{\text{òåð2}} = \mu N_2 \end{cases}$$

Ураховуючи зв’язок між прискореннями, отримаємо:

$$\frac{g(\sin\alpha + \mu\cos\alpha)}{g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)} = n^2 \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{\sin\alpha(n^2 - 1)}{\cos\alpha(n^2 + 1)} = \mathrm{tg}\alpha\,\frac{n^2 - 1}{n^2 + 1}.$$

<u>Задача.</u> Чаша у вигляді півсфери, радіусом R = 0,8м, обертається зі сталою кутовою швидкістю навколо вертикальної осі. Разом із чашею обертається кулька, що лежить на її внутрішній поверхні. Відстань від кульки до нижньої точки чаші дорівнює її радіусу. Визначити кутову швидкість обертання чаші.

$\omega - ?$
$R = 0{,}8\text{ì}$
$l = R$

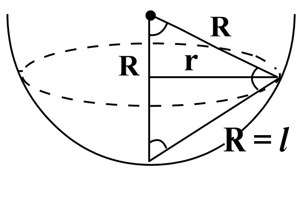


Для того щоб визначити кутову швидкість, необхідно знати доцентрове прискорення, що не відоме.

Кулька обертається разом з чашею по колу із центром у точці О. На кульку діють сили: сила тяжіння $m\vec{g}$ і сила нормальної реакції $\vec{N}$, яка напрямлена перпендикулярно поверхні, тобто по радіусу чаші R.

$\vec{F} = m\vec{a}$, $m\vec{g} + \vec{N} = m\vec{a}$.

$$\begin{cases} OX: \quad N\cos\alpha = ma \\ OY: \quad N\sin\alpha - mg = 0 \end{cases} \qquad N = \frac{mg}{\sin\alpha}; \quad a = \frac{mg}{\sin\alpha}\cdot\frac{\cos\alpha}{m} = \frac{g\cos\alpha}{\sin\alpha}.$$



Визначимо кутову швидкість. За умовою задачі l = R. Отже, у рівносторонньому трикутнику кут $\alpha = 60^0$.

Радіус кола, по якому обертається кулька $r = R\sin\alpha$. Кутову швидкість визначимо з формули для доцентрового прискорення $a = \frac{\omega^2}{r}$.

$$\omega^2 = ar; \quad \omega = \sqrt{ar} = \sqrt{aR\sin\alpha} = \sqrt{\frac{g}{R\cos 60^0}}.$$

<u>4. Самостійно розв'язати задачі.</u>

1. Автомобіль, маса якого $m = 2\cdot 10^3$ кг, рухається горизонтальною дорогою і через 10с від початку руху досягає швидкості υ= 20м/с. Коефіцієнт тертя $\mu = 0{,}1$. Визначити силу тяги двигуна. (Відповідь: $F = m(\mu g + \frac{\upsilon}{t}) \approx 6000H$)

2. Куля масою m падає в рідині густиною ρ зі сталою швидкістю υ. З якою силою треба тягнути цю кулю, для того щоб вона піднімалася в тій самій рідині зі швидкістю 2υ? Об'єм кулі V. Опір при русі кулі в рідині пропорційний швидкості кулі. (Відповідь: $3g(m-\rho V)$)

3. За який час важке тіло спуститься з вершини похилої площини висотою 2м і кутом нахилу 45^0, якщо граничний кут, при якому тіло може перебувати на похилій площині в спокої, дорівнює 30^0?

Вказівка: тангенс граничного кута нахилу похилої площини дорівнює коефіцієнту тертя. (Відповідь: $\approx 1{,}4$ с)

План заняття

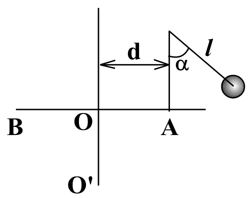
I. Перевірка знання студентами змісту законів Ньютона, сил тяжіння, пружності, тертя.

II. Колективний аналіз однієї з домашніх задач, аналогічній наведеним.

III. Розв'язування задач:

1. Мотоцикл масою 300кг почав рухатися зі стану спокою на горизонтальній ділянці дороги. Наступна ділянка дороги має нахил, який дорівнює 0,02. Яку швидкість набув мотоцикл через 10с після початку руху, якщо рух на горизонтальній ділянці займав половину часу? Сила тяги і коефіцієнт опору руху на всьому шляху сталі і відповідно дорівнюють 180Н і 0,04.

Вказівка: нахил вимірюється відношенням висоти h похилої площини до її довжини l і дорівнює синусу кута α нахилу площини до горизонту $\sin\alpha = h/l$. За умови $\frac{h}{l} \le 0{,}1$ відношення основи похилої площини b до її довжини l можна вважати рівним одиниці: $\frac{b}{l} = \cos\alpha \approx 1$. (Відповідь: 3м/с)



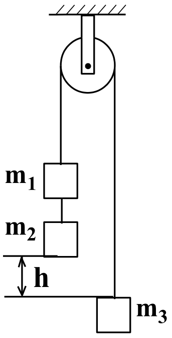
2. На дошці АВ, яка рівномірно обертається навколо вертикальної осі ОО', закріплено на вертикальній стійці, віддалений від осі обертання на відстань d =5см, висок. Яка частота обертання дошки, якщо нитка виска довжиною l = 8см відхилилася від вертикалі на кут $\alpha = 40^0$? (Відповідь: $\nu = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g\cdot tg\alpha}{d + l\sin\alpha}} = 1{,}4c^{-1}$)

3. Повітряна куля, маса якої m, опускається з прискоренням $\bar{a}$, спрямованим вниз. Який вантаж (баласт) треба скинути, щоб куля почала підніматися рівноприскорено з таким самим за модулем прискоренням? (Відповідь: $\frac{2mga}{g+a}$)

<u>Практичне заняття 7</u>
Розв’язування задач на рух зв’язаних тіл і рух тіла по колу

Підготовка до заняття

<u>*1. Ознайомитися з методами розв’язування окремих типів задач.*</u>



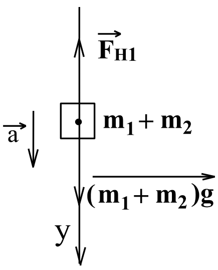
<u>Задача.</u> Три гирі, маси яких m_1= 1кг, m_2= 3кг, m_3= 3кг підвішені до нитки, перекинутої через нерухомий блок, як це показано на малюнку, причому гиря масою m_3 перебуває на відстані h = 2,8м нижче від гирі масою m_2. Визначити, через який час гирі m_3 і m_2 будуть на одній висоті, якщо дати можливість рухатися під дією сили тяжіння. Визначити сили натягу ниток між гирями і силу тиску на блок. Нитки вважати нерозтяжними і невагомими. Масою блоку нехтувати.

$F_{H1} - ?\ F_{H2} - ?$
$F_T - ?\ t - ?$
$m_1 = 1$êã
$m_2 = 3$êã
$m_3 = 3$êã
$h = 2{,}8$ì
$\upsilon_0 = 0$

Умова "нитки невагомі і нерозтяжні" означає, що всі тіла рухаються з однаковими за модулем прискореннями і натяг даної нитки у всіх її точках однаковий.

Умова "масою блоку нехтувати" вказує: якби масою блоку не можна було нехтувати, то для нього треба застосовувати закони обертання твердого тіла.

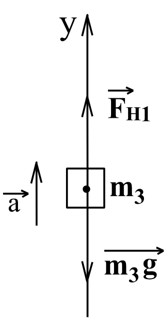
Якщо в задачі розглядається рух зв’язаних тіл, то треба розглядати рух кожного з них, застосовуючи до них закони Ньютона. Але, якщо декілька зв’язаних тіл рухаються за однакових умов, то їх можна об’єднувати й розглядати як одне тіло. Так, можна рух тіл m_1 і m_2 розглядати як рух одного тіла з масою m_1 + m_2. Якщо по горизонтальній поверхні рухається, наприклад, три зв’язаних між собою бруска й коефіцієнт тертя між поверхнями кожного бруска й поверхнею, по якій вони рухаються, однаковий, то можна розглядати замість них рух тіла масою $m = m_1 + m_2 + m_3$.



Для розв’язування задачі спочатку визначимо прискорення руху системи тіл. Об’єднаємо тіла масами m_1 і m_2 й розглядатимемо рух кожного з тіл масами (m_1 + m_2) і m_3. Всі тіла системи рухаються з однаковим за модулем прискоренням $\vec{a}$. Виконаємо вказану на попередньому занятті систему дій.

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad \vec{F}_{H1} + (m_1 + m_2)\vec{g} = (m_1 + m_2)\vec{a}$$

$$-F_{H1} + (m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2)a \qquad (1)$$



$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad \vec{F}_{H1} + m_3\vec{g} = m_3\vec{a}$$

$$F_{H1} - m_3 g = m_3 a \qquad (2)$$

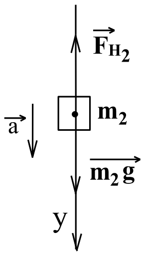
Отримали систему рівнянь: $\begin{cases} -F_{H1} + (m_1 + m_2)g = (m_1 + m_2)a \\ F_{H1} - m_3 g = m_3 a \end{cases}$

Розв’яжемо систему рівнянь, поділивши перше рівняння на друге:

$$\frac{-F_{H1} + (m_1 + m_2)g}{F_{H1} - m_3 g} = \frac{m_1 + m_2}{m_3} \quad \Rightarrow \quad F_{H1} = \frac{2(m_1 + m_2)g}{m_1 + m_2 + m_3} \cdot m_3; \quad F_{H1} \approx 34\text{Н}.$$

Підставимо F_{H1} у друге рівняння і визначимо прискорення:

$$\frac{2(m_1+m_2)g}{m_1+m_2+m_3}\cdot m_3 - m_3g = m_3a \quad \Rightarrow \quad a = \frac{2(m_1+m_2)g}{m_1+m_2+m_3} - g = g\frac{m_1+m_2-m_3}{m_1+m_2+m_3}; \quad a = \frac{10}{7}\ \text{м/с}^2.$$

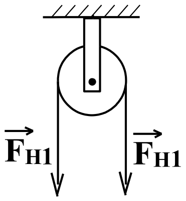


Розглянемо рух тіла масою m_2.

$$\vec{F} = m\vec{a}. \quad \vec{F}_{H2} + m_2\vec{g} = m_2\vec{a}$$

$$-F_{H2} + m_2g = m_2a, \quad F_{H2} = m_2(g-a)$$

$$F_{H2} \approx 25{,}7\text{H}.$$



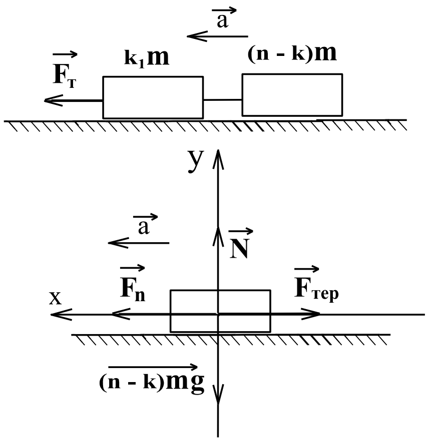
На блок діють дві паралельні сили $\vec{F}_{H1}$, їх рівнодійна і є силою тиску на блок

$$F_T = 2F_{H1}, \quad F_T = 68\text{H}.$$

Прискорення a відоме. Визначимо час руху до зустрічі тіл m_3 і m_2, враховуючи, що кожне із цих тіл проходить шлях $S = \frac{h}{2}$, а початкова швидкість дорівнює нулю.

$$S = \frac{at^2}{2}, \quad \frac{h}{2} = \frac{at^2}{2} \quad \Rightarrow \quad t = \sqrt{\frac{h}{a}} = \sqrt{\frac{h}{g}\frac{m_1+m_2+m_3}{m_1+m_2-m_3}} = 1{,}4\text{c}.$$

Задача. Електропотяг тягне состав, який складається з n однакових вагонів, з прискоренням a. Знайти силу зчеплення F_H між k-м (рахуючи від початку составу) і (k+1) вагонами, якщо маса кожного вагона m, а коефіцієнт тертя μ.



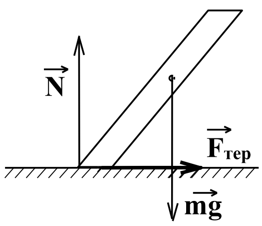
Розглянемо дві групи вагонів: k вагонів, рахуючи їх від електропотяга; (n – k) вагонів. Кожну групу вагонів уявимо як окреме тіло з відповідними масами km і (n – k)m. Застосуємо закони Ньютона до тіла масою (n – k)m.

$$\vec{F} = m\vec{a}, \quad \vec{F}_H + \vec{N} + \vec{F}_{\text{òåð}} + (n-k)m\vec{g} = (n-k)m\vec{a}$$

$$\begin{cases} OX: \quad F_H - F_{\text{òåð}} = (n-k)ma \\ OY: \quad N - (n-k)mg = 0 \qquad \Rightarrow \quad F_H = m(n-k)(a+\mu g). \\ F_{\text{òåð}} = \mu N \end{cases}$$

Задача. Мотоцикліст їде горизонтальною дорогою зі швидкістю 72км/год, здійснюючи поворот, радіусом кривизни 100м. Визначити кут відхилення α мотоцикліста від вертикалі.

$\alpha - ?$
$\upsilon = 20\frac{\text{ì}}{\text{ñ}}$
$R = 100\text{ì}$



Для того щоб мотоцикліст міг рухатися по колу, він повинен нахилитися так, щоб рівнодійна прикладених до нього трьох сил (тяжіння $m\vec{g}$, нормальної реакції дороги $\vec{N}$, тертя $\vec{F}_{\text{òåð}}$) надавала йому доцентрове прискорення.

Центр тяжіння мотоцикліста не переміщується по вертикалі, тому $N = mg$.

Доцентрове прискорення надає сила тертя: $F_{тер}=\frac{m\upsilon^2}{R}$. Рівнодійна $\vec{R}=\vec{N}+\vec{F}_{тер}$ повинна проходити через центр тяжіння мотоцикліста, адже момент рівнодійної відносно центра тяжіння повинен бути рівним нулю (момент сили – добуток сили на плече; плече дорівнює нулю, якщо лінія дії сили проходить через точку, навколо якої може обертатися тіло).

Отже, $ctg\alpha=\frac{N}{F_{тер}}=\frac{gR}{\upsilon^2}$.

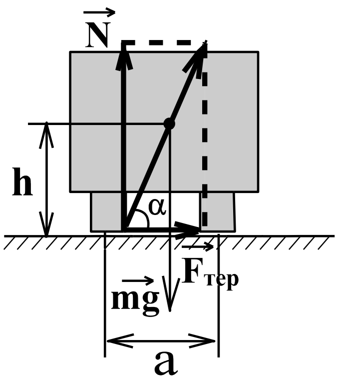
Задача. Автомобіль рухається горизонтальною дорогою з поворотом радіуса R = 100м. З якою максимальною швидкістю може повертати автомобіль (щоб не перекинутися), якщо ширина колії автомобіля становить a = 1,5м (відстань між колесами), а відстань від центра тяжіння автомобіля до полотна дороги h = 1м? Вважати, що проковзування немає.

$\upsilon_{max}-?$

$R=100м$

$a=1,5м$

$h=1м$



При повороті автомобіля тиск його на колеса, отже і сили, що діють на колеса автомобіля з боку дороги, перерозподіляються. При максимально допустимій швидкості автомобіля сили, що діють на нього з боку дороги, будуть прикладені до зовнішніх коліс і дорівнюватимуть: а) сила нормальної реакції дороги $N=mg$ (чисельно дорівнює силі тяжіння, що діє на автомобіль, тому що у вертикальному напрямі прискорення немає); б) сила тертя $F_{тер}=m\omega^2R=\frac{m\upsilon^2}{R}$ (тому що вона надає автомобілю доцентрового прискорення). Автомобіль буде перекидатися, якщо напрям рівнодійної цих сил проходитиме нижче центру тяжіння автомобіля (у цьому випадку є момент сили відносно центра тяжіння, який перекидає автомобіль).

При критичній швидкості ця рівнодійна проходить через центр тяжіння автомобіля і тому:

$$\frac{N}{F_{тер}}=tg\alpha=\frac{2h}{a} \text{ або } \frac{mg}{\frac{m\upsilon^2}{R}}=\frac{2h}{a} \quad\Rightarrow\quad \upsilon_{max}=\sqrt{\frac{gRa}{2h}}.$$

2. Самостійно розв’язати задачі:

1. На верхньому кінці похилої площини закріплено блок, через який перекинуто нитку. До одного кінця нитки прив’язаний вантаж масою m_1 = 2кг, який лежить на похилій площині. На другому кінці нитки висить вантаж, маса якого m_2 = 1кг. Похила площина утворює з горизонтом кут $\alpha=20^0$, коефіцієнт тертя між вантажем і похилою площиною μ. Вважаючи нитку і блок невагомими, визначити прискорення, з яким рухається вантаж, і натяг нитки.

(Відповідь: a = 0,42м/с^2; $F_H\approx 9{,}36$Н)

2. З якою максимальною швидкістю може їхати мотоцикліст по горизонтальній площині, описуючи дугу радіусом 100м, якщо коефіцієнт тертя гуми о ґрунт 0,4? На який кут від вертикального положення він при цьому нахиляється?

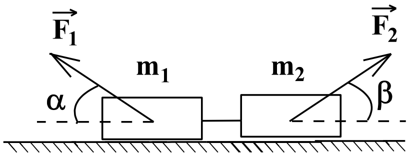
(Відповідь: 20м/с, 22^0)

План заняття

Розв'язуються задачі:

1. Літак рухається по колу зі сталою швидкістю υ = 360км/год. Визначити радіус R цього кола, якщо корпус літака повернуто навколо напряму польоту на кут $\alpha = 10^0$. (Відповідь: $R = \dfrac{\upsilon^2}{g \cdot tg\alpha}$)

2. Два бруска масами m_1 і m_2 зв'язані нерозтяжною ниткою і знаходяться на горизонтальній площині. До них прикладені сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$, які утворюють з горизонтом кути α і β. Визначити прискорення системи і натяг нитки. Коефіцієнти тертя брусків о площину однакові і дорівнюють μ. Сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$ менші ваги брусків. Система рухається вліво.



Відповідь:

$$a = \frac{F_1(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) - F_2(\cos\beta - \mu\sin\beta)}{m_1 + m_2} - \mu g;$$

$$F_H = \frac{F_1 m_2(\cos\alpha + \mu\sin\alpha) + F_2 m_1(\cos\beta - \mu\sin\beta)}{m_1 + m_2}$$

3. Через нерухомий блок перекинута вірьовка, до одного з кінців якої прив'язаний вантаж масою m_1= 60кг. На другому кінці повисла людина m_2= 65кг, яка вбираючи вірьовку, піднімає вантаж, залишаючись при цьому на одній і тій самій відстані від підлоги. Через скільки часу вантаж буде піднятий на висоту h = 12м? Масою вірьовки і блока нехтувати. (Відповідь: $t = \sqrt{\dfrac{2hm_1}{g(m_2 - m_1)}}$)

<u>Практичне заняття 8</u>
Логіка вивчення видів сил у старшій школі (на прикладі сили тяжіння і ваги тіла)

Підготовка до заняття

<u>1. Порівняти істотні ознаки понять</u> про силу тяжіння і вагу тіла, що вивчаються учнями в основній і старшій школі, з метою визначення раціонального їх вивчення в старшій школі.

<u>2. Запропонувати, як увести істотні ознаки цих понять у старшій школі, перед цим повторивши те, що відомо учням з основної школи. Увести додаткові істотні ознаки, розв'язуючи пізнавальні задачі:</u>

а) Як обчислити силу тяжіння, що діє на тіло поблизу деякої планети?

б) Як обчислити вагу тіла, що рухається разом з опорою або підвісом з прискоренням по вертикалі?

в) Які явища спостерігаються при вільному падінні тіл і які їх особливості?

[6, С. 128-133]

Вивчення видів сил – сили тяжіння, ваги тіла, сили пружності, сили тертя відбуваються в основній і старшій школі.

Існують різні точки зору на вивчення видів сил у старшій школі.

Одна точка зору полягає в тому, що спочатку вивчаються окремо всі види сил, а після цього розглядається застосування законів Ньютона – аналізується рух тіл під дією окремих видів сил і їх сполучень.

Друга точка зору полягає в об'єднанні обох тем: "Сили в природі" і "Застосування законів Ньютона".

Для того щоб вирішити, якій точці зору надати перевагу, слід порівняти ті істотні ознаки понять, що засвоюються учнями основної і старшої шкіл.

Для прикладу порівняємо істотні ознаки понять сила тяжіння і вага тіла.

Основна школа	Старша школа
Сила тяжіння	
1. Усі тіла, що знаходяться на поверхні Землі або поблизу неї, притягуються до Землі. 2. Сила, з якою тіло притягується до Землі, називається силою тяжіння. 3. Сила тяжіння прикладена до тіла й напрямлена вертикально вниз. 4. Числове значення сили тяжіння обчислюється за формулою: $F_T = m \cdot g$, де g = 9,8Н/кг.	1. Силу, з якою тіло притягується до Землі, називають силою тяжіння. 2. Сила тяжіння прикладена до тіла й напрямлена вертикально вниз. 3. Сила тяжіння є одним із проявів сили всесвітнього тяжіння. Тому цю силу можна обчислити за законом всесвітнього тяжіння: $F = G \cdot \frac{M}{R^2} \cdot m = m \cdot g$, де $g = G \cdot \frac{M}{R^2}$ – прискорення вільного падіння, M – маса Землі, R – радіус Землі, m – маса тіла, що знаходиться на поверхні Землі.
Вага тіла	
1. Сила, з якою тіло, внаслідок притягання до Землі, діє на горизонтальну опору або вертикальний підвіс, називається вагою тіла. 2. Вага тіла прикладена до опори або підвісу й напрямлена вертикально вниз.	1. Сила, з якою тіло, внаслідок притягання до Землі, діє на горизонтальну опору або вертикальний підвіс, називається вагою тіла. 2. Вага тіла прикладена до опори або підвісу і напрямлена вертикально вниз.

3. Якщо опора або підвіс і тіло, що на них знаходиться, перебувають у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху, то вага тіла чисельно дорівнює силі тяжіння, яка діє на це тіло: $P = m \cdot g$. 4. Якщо тіло рухається вздовж вертикалі із змінною швидкістю, то вага тіла не дорівнює силі тяжіння. 5. Якщо на тіло діє тільки сила тяжіння, то вага тіла дорівнює нулю. Тіло знаходиться у стані невагомості.	3. Якщо опора або підвіс і тіло, що на них знаходиться, перебувають у стані спокою або прямолінійного рівномірного руху, то вага тіла дорівнює силі тяжіння, яка діє на це тіло: $P = mg$. 4. Під час прискореного руху тіла і опори вага тіла відрізнятиметься від сили тяжіння і дорівнює: $P = m \cdot (g \pm a)$. Якщо прискорення $\vec{a}$ напрямлено вгору, то вага тіла збільшується. Якщо прискорення $\vec{a}$ напрямлене вниз, то вага тіла зменшується. 5. Якщо на тіло діє тільки сила тяжіння, тобто тіло разом з опорою вільно падає, то a = g і P = 0. Зникнення ваги тіла під час руху опори з прискоренням вільного падіння називають невагомістю. 6. Умови невагомості приводять до зникнення деформації тіл під дією сили тяжіння. Так само як тіло припиняє тиснути на опору в умовах невагомості, так і частини одного й того самого тіла припиняють чинити тиск одна на одну. 7. Під час прискореного руху тіла і опори з прискоренням, напрямленим вертикально вгору, вага тіла виявляється більшою за діючу на нього силу тяжіння. Збільшення ваги тіла зумовлене прискореним рухом опори чи підвісу, називають перевантаженням.

З порівнянь відповідних систем істотних ознак видно, що поняття сили тяжіння і ваги тіла в старшій школі доповнюються. Вивчати заново ці поняття – означає визнати низький рівень навчання фізики в основній школі. Раціональніше повторити те, що відомо учням про ці поняття, доповнити їх новими істотними ознаками й відразу ввести спосіб застосування їх у конкретних ситуаціях.

План проведення заняття

І. Висування навчальної задачі.

Розв’яжемо задачу: Космічний корабель здійснює м’яку посадку на Місяць, рухаючись сповільнено у вертикальному напрямі (відносно Місяця) з прискоренням 8,4м/с^2. Визначити вагу космонавта масою 80кг, який перебуває на цьому кораблі. Яка сила тяжіння діє на космонавта? Прискорення вільного падіння на Місяці дорівнює 1,6м/с^2.

ІІ. Прогнозування наступної діяльності.

– Що ви знаєте про силу тяжіння?

– Що ви знаєте про вагу тіла?

Як видно, для вирішення цієї задачі треба додатково до того, що ви вже знаєте, з’ясувати, як визначити силу тяжіння і вагу тіла в умовах, коли воно рухається з прискоренням.

ІІІ. Введення додаткових істотних ознак понять (колективний аналіз способів введення істотних ознак).

1. Як обчислити силу тяжіння, що діє на тіло поблизу деякої планети?

2. Як обчислити вагу тіла, яке рухається разом з опорою або підвісом з прискоренням по вертикалі?

IV. Систематизація істотних ознак.

– Які нові ознаки сили тяжіння?

– Що треба знати про силу тяжіння?

– Які нові ознаки ваги тіла?

– Що треба знати про вагу тіла?

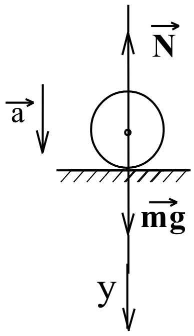
V. Розв’язування навчальної задачі. (Демонстрація вчителем способу діяльності)

$F_T - ?\ P - ?$

$a = 8{,}4\,\frac{\text{ì}}{\text{ñ}^2}$

$m = 80\,\text{êã}$

$g_M = 1{,}6\,\frac{\text{ì}}{\text{ñ}^2}$



1. Сила тяжіння не залежить від того, як рухається тіло. Вона визначається формулами: $F_T = G\frac{m_T M_M}{R_M^2}$ або $F_T = m_T g_M$.

$$F_T = 80 \cdot 1{,}6 = 128(\text{H}).$$

На тіло діють сила тяжіння і сила нормальної реакції опори.

$$\vec{F} = m\vec{a} \quad \vec{N} + m\vec{g}_M = m\vec{a}$$

$$mg - N = ma, \quad N = m(g - a)$$

Вага тіла, згідно 3-го закону Ньютона, чисельно дорівнює силі тиску на тіло з боку опори.

Отже, вага тіла $P = -N = -m(g - a), \quad P = 80 \cdot 6{,}8 = 544\text{H}$.

IV. Робота з результатом. Доповнення поняття вага тіла і розв’язування задач.

Ми з’ясували, що вага тіла під час руху з прискоренням по вертикалі змінюється, порівняно з її значенням у стані спокою. Якщо тіло рухається вертикально вниз з прискоренням, яке менше за прискорення вільного падіння, то вага тіла зменшується.

З’ясуємо, які явища спостерігатимуться, коли тіло буде вільно падати.

(Колективно з’ясовується, як увести поняття про невагомість і перевантаження.)

Якщо є час, то розв’язуються задачі.

<u>Практичне заняття 9</u>
Розв'язування задач на рух тіла під дією сили тяжіння і на розрахунок ваги тіла

Підготовка до заняття

<u>1. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач на рух тіла під дією сили тяжіння.</u>

Рух тіл під дією тільки однієї сили – сили тяжіння передбачає, що опором середовища, зокрема повітря, нехтують. У даному випадку розглядаються задачі на: вільне падіння; рух тіла, кинутого вертикально вверх; рух тіла, кинутого горизонтально; рух тіла, кинутого під кутом.

Перші дві групи задач розглядалися в розділі "Кінематика". Але, ці задачі є підґрунтям розв'язування задач другої і третьої групи. Рух тіл, кинутих горизонтально можна розглядати як додавання двох рухів – рівномірного руху по горизонталі і вільного падіння. Рух тіла, кинутого під кутом до горизонту, можна розглядати як додавання двох рухів, один з яких – рух тіла, кинутого вверх.

Під час розв'язування задач другої і третьої групи доцільно використовувати наступну систему дій:

1. Провести осі координат OX і OY.
2. Зобразити вектор початкової швидкості й намалювати траєкторію руху – параболу.
3. Знайти проекції вектора початкової швидкості і прискорення на осі координат, визначивши вид руху тіл уздовж кожної з них.
4. Скласти рівняння руху вздовж кожного з напрямів.
5. Записати додаткові умови.

<u>Поради.</u>

1. При відсутності опору повітря і невеликій початковій швидкості тіло, кинуте під кутом до горизонту ($\alpha = 0$ і $\alpha \neq 0$*), летить по параболі і час руху вздовж осі OX дорівнює часу руху вздовж осі OY, адже обидва ці рухи відбуваються одночасно.*

2. У випадку, коли $\alpha \neq 0$*, треба пам'ятати, що висота найбільшого підйому (до вершини параболи), яка відраховується від поверхні, вздовж якої напрямлена вісь OX, обчислюється за формулою* $y_{max} = \frac{\upsilon_{0y}^2}{2g_y}$ *, а час підйому на цю висоту дорівнює часу падіння і обчислюється за формулою* $t_{пад} = \frac{\upsilon_{0y}}{g_y}$.

3. Початок координат зручно розміщувати в початковій точці руху. Вісь OX зручно проводити вздовж поверхні, від якої відраховується найбільша висота підйому тіла.

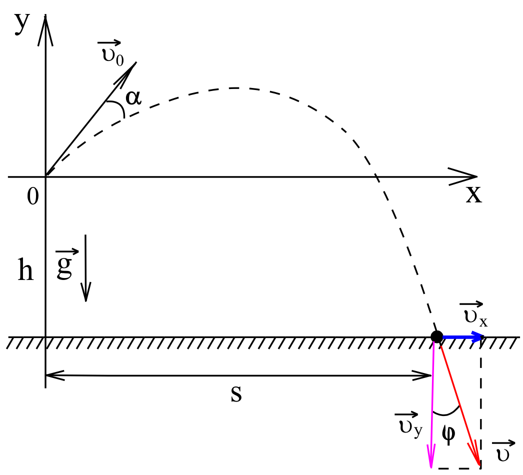
4. Миттєва швидкість у будь-який момент часу напрямлена по дотичній до параболи. Її часто треба розкласти на складові вздовж OX і OY, щоб установити зв'язки між $\upsilon_x, \upsilon_y, \upsilon$.

5. Кутом падіння тіла називають кут між дотичною до траєкторії, проведеної в точку падіння, і нормаллю до поверхні Землі.

Задача. Гармата розміщена на горі висотою h. Снаряд вилітає зі ствола зі швидкістю υ_0, напрямленою під кутом α до горизонту. Нехтуючи опором повітря визначити: а) довжину польоту снаряду в горизонтальному напрямі; б) швидкість снаряда в момент падіння; в) кут падіння; г) рівняння траєкторії.

1, 2.

$S - ?\ \upsilon - ?\ \varphi - ?$
υ_0
α
h



3. Проекції початкової швидкості на осі координат: $\upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos\alpha, \quad \upsilon_{0y} = \upsilon_0 \sin\alpha$.

Проекції прискорення на осі координат: $a_y = -g,\ a_x = 0$.

Отже, вздовж вісі ОХ тіло рухається рівномірно зі швидкістю $\upsilon_x = \upsilon_0 \sin\alpha$ з початковою координатою x_0 = 0. Уздовж осі OY тіло рухається з прискоренням $a_y = -g$, з початковою координатою y_0 = 0.

4. Рівняння руху вздовж кожної осі:

$$x = \upsilon_0 \cos\alpha t$$

$$\upsilon_y = \upsilon_0 \sin\alpha - gt$$

$$y = \upsilon_0 \sin\alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

5. Додаткові умови:

У момент падіння на землю біля основи гори x = S, y = 0.

6. Розв’яжемо систему рівнянь.

а)

$$\begin{cases} s = \upsilon_0 \cos\alpha t \\ -h = \upsilon_0 \sin\alpha t - \dfrac{gt^2}{2} \end{cases} \Rightarrow \quad t = \frac{\upsilon_0 \sin\alpha + \sqrt{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha + 2gh}}{g}; \quad s = \frac{\upsilon_0^2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha + \sqrt{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha + 2gh}}{g}$$

б) Для того щоб визначити швидкість руху тіла в будь-якій точці траєкторії, треба виконати такі дії: провести вектор швидкості руху в даній точці траєкторії (він завжди напрямлений по дотичній до траєкторії); розкласти вектор $\vec{\upsilon}$ на дві складові $\vec{\upsilon}_x$ і $\vec{\upsilon}_y$; встановити зв’язки між $\upsilon, \upsilon_x, \upsilon_y$, враховуючи кут між ними.

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_x^2 + \upsilon_y^2} \quad \upsilon_x = const = \upsilon_0 \cos\alpha$$

$$\upsilon_y = \upsilon_0 \sin\alpha - \frac{gt^2}{2}; \quad \upsilon_y = \upsilon_0 \sin\alpha - \frac{\upsilon_0 \sin\alpha + \sqrt{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha + 2gh}}{g} \cdot g = -\sqrt{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha + 2gh}$$

$$\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 \cos^2\alpha + \upsilon_0^2 \sin^2\alpha + 2gh} = \sqrt{\upsilon_0^2 (\cos^2\alpha + \sin^2\alpha) + 2gh} = \sqrt{\upsilon_0^2 + 2gh}$$

З формули для s і υ випливає:

Якщо h = 0, тобто снаряди вилітають і падають на одному рівні, то

$$s = \frac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g};$$

Якщо, за умови $h = 0, \alpha = 45^0 \ (\sin 2\alpha = 1)$, то найбільша дальність польоту $s_{max} = \dfrac{\upsilon_0^2}{g}$. $\upsilon = \sqrt{\upsilon_0^2 + 2gh}$, при $h = 0 \quad \upsilon = \upsilon_0$.

в) Кут падіння: $tg\varphi = \dfrac{\upsilon_x}{\upsilon_y} = \dfrac{\upsilon_0 \cos\alpha}{\sqrt{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha + 2gh}}$

г) Щоб знайти рівняння траєкторії треба встановити зв'язок між Y і X

$$\begin{cases} x = \upsilon_0 \cos\alpha t \\ y = \upsilon_0 \sin\alpha t - \dfrac{gt^2}{2} \end{cases} \qquad t = \frac{x}{\upsilon_0 \cos\alpha} \qquad y = tg\alpha \cdot x - \frac{g}{2\upsilon_0^2 \cos^2\alpha} \cdot x^2$$

Це рівняння виду $y = -ax^2 + bx$, воно являє собою рівняння параболи, яка проходить через початок координат і обернена опуклістю вверх.

Задача. Камінь кинуто на схилі гори під кутом α до її поверхні. Визначити дальність польоту каменя, якщо початкова швидкість каменя дорівнює υ_0, кут нахилу гори до горизонту β.

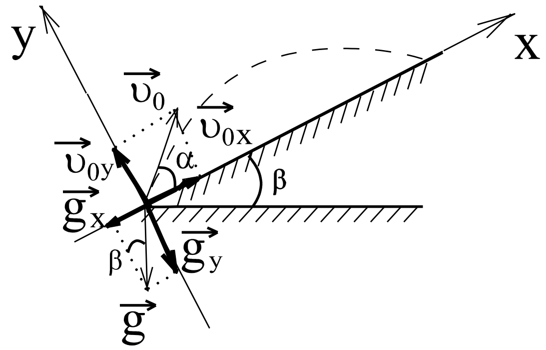
У цьому прикладі вказується на те, що в залежності від вибору системи відліку треба враховувати проекцію прискорення вільного падіння на вісі координат.

$S - ?$

α

υ_0

β



1, 2.

3. Проекції початкової швидкості і прискорення на осі координат відповідно дорівнюють:

$\upsilon_{0x} = \upsilon_0 \cos\alpha \quad \upsilon_{0y} = \upsilon_0 \sin\alpha$

$x_0 = 0; \ y_0 = 0$

$a_x = -g\sin\beta \quad a_y = -g\cos\beta$

Отже, вздовж осі OX тіло рухається з прискоренням a_x і початковою координатою $x_0 = 0$. Уздовж осі OY тіло рухається з прискоренням a_y й початковою координатою $y_0 = 0$.

4. Рівняння руху вздовж кожної осі:

$$\begin{cases} x = \upsilon_0 \cos\alpha t - \dfrac{g\sin\beta t^2}{2} \\ y = \upsilon_0 \sin\alpha t - \dfrac{g\cos\beta t^2}{2} \end{cases}$$

5. Додаткові умови: у момент падіння x = S, y = 0.

6. Розв'яжемо систему рівнянь

$$\begin{cases} x = \upsilon_0 \cos\alpha t - \dfrac{g\sin\beta t^2}{2} \\ y = \upsilon_0 \sin\alpha t - \dfrac{g\cos\beta t^2}{2} \\ x = s \\ y = 0 \end{cases}$$

$$0 = \upsilon_0 \sin\alpha t - \frac{g\cos\beta t^2}{2} \quad (1) \qquad s = \upsilon_0 \cos\alpha t - \frac{g\sin\beta t^2}{2} \quad (2)$$

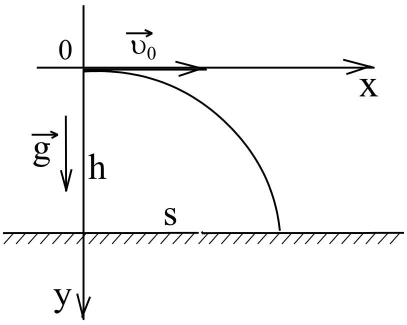
З першого рівняння $t = \dfrac{2\upsilon_0 \sin\alpha}{g\cos\beta}$. $\quad s = \dfrac{2\upsilon_0^2 \sin\alpha - \cos(\alpha+\beta)}{g\cos^2\beta}$.

Задача. З якою швидкістю треба горизонтально кинути тіло з висоти 20м, щоб дальність польоту дорівнювала висоті кидання?

$\upsilon_0 - ?$

$h = 20ì$

$S = h$



1, 2.

3. Проекції початкової швидкості і прискорення на осі координат відповідно дорівнюють:

$$\upsilon_{0x} = \upsilon_x = \upsilon_0; \quad \upsilon_{0y} = 0$$

$$a_x = 0; \quad a_y = g$$

Отже, у напрямі осі OX тіло рухається рівномірно з початковою координатою $x_0 = 0$. Уздовж осі OY тіло рухається з прискоренням $a_y = g$ і початковою координатою $y_0 = 0$.

4. Рівняння руху вздовж кожної осі:

$$\begin{cases} y = \dfrac{g_y t^2}{2} \\ x = \upsilon_0 t \end{cases}$$

5. Додаткові умови: у момент падіння y = h, x = S, h = S.

6. Розв’яжемо систему рівнянь

$$\begin{cases} y = \dfrac{g_y t^2}{2} \\ S = \upsilon_0 t \\ y = h \\ x = s \\ h = s \end{cases} \quad \left| \begin{array}{l} h = \dfrac{gt^2}{2} \\ s = \upsilon_0 t \end{array} \right. \Rightarrow \quad \frac{gt^2}{2} = \upsilon_0 t \Rightarrow t = \frac{2\upsilon_0}{g}; \quad s = h = \upsilon_0 \frac{2\upsilon_0}{g} \Rightarrow \upsilon_0 = \sqrt{\frac{gh}{2}}; \quad \upsilon_0 = 10\ \text{м/с}.$$

Розв’язуючи задачі, в яких треба визначити вагу тіла, потрібно врахувати наступне: вони розв’язуються так, як розв’язуються будь-які задачі на закони Ньютона: під час розв’язування задачі шукають силу, з якою опора або підвіс діють на тіло, а ця сила, згідно 3-го закону Ньютона, чисельно дорівнює вазі тіла.

Задача. Пілот, маса якого дорівнює 80кг, здійснює "мертву петлю" радіусом 4км на реактивному літаку, який летить зі швидкістю 1440км/год. Визначити вагу пілота: 1) у найнижчій точці петлі; 2) у точці, радіус-вектор якої утворює кут 60^0 з вертикаллю; 3) у верхній точці петлі. Визначити перевантаження.

Розглянемо другий випадок:

$P - ?$

$m = 80êã$

$R = 4êì$

$\upsilon = 1440\ \dfrac{êì}{ãîä}$

$\alpha = 60^0$

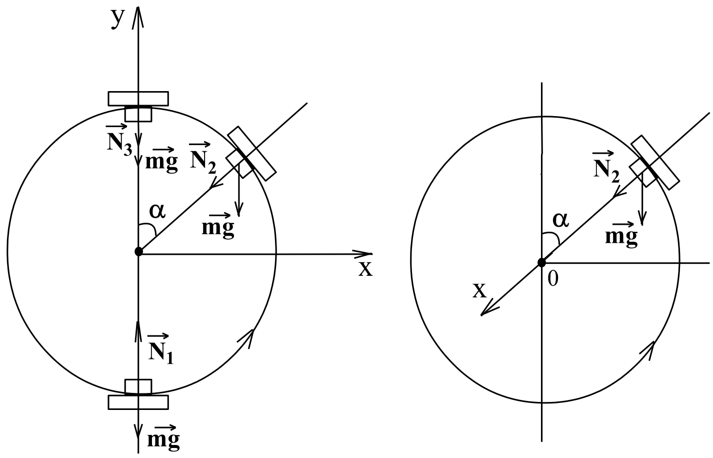
1.

2, 3. На пілота діють дві сили: сила тяжіння $m\vec{g}$ і сила нормальної реакції опори – сидіння пілота.

4. Вісь напрямлена до центру і збігається за напрямом з доцентровим прискоренням, яке дорівнює $a = \dfrac{\upsilon^2}{R}$.

5. $\vec{F} = m\vec{a}$. 6. $\vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$. 7. $N + mg\cos\alpha = ma$. 8. $N = P$.

9. $N = m(\frac{\upsilon^2}{R} - g\cos\alpha)$, $N = P = m(\frac{\upsilon^2}{R} - \frac{g}{2}) \approx 2800H.$



Перевантаження, яке відчуває пілот, дорівнює відношенню його ваги під час руху й у стані спокою. У стані спокою відносно Землі $P = mg = 800H$.

Перевантаження дорівнює $\frac{2800H}{800H} = 3{,}5$. Отже, пілот зазнає три с половиною кратне перевантаження, тобто його вага збільшується в 3,5 раз.

<u>2. Самостійно розв'язати задачі:</u>

1. З башти висотою 25м горизонтально кинули камінь зі швидкістю 15м/с. Визначити: а) скільки часу летить камінь; б) на якій відстані від основи башти впаде він на землю; в) з якою швидкістю і під яким кутом упаде?

(Відповідь: 2,3с; 34,5м; 26,7м/с)

2. Спортсмен штовхає ядро (маса ядра 7,3кг) з початковою швидкістю 14м/с під кутом 41^0 до горизонту. Визначити відстань, яку пролетить ядро по горизонталі. Ядро відривається від руки спортсмена на висоті 2,2м над землею.

(Відповідь: 22м)

3. Випуклим мостом, радіус кривизни якого R = 40м рухається автомобіль масою $m = 2 \cdot 10^3$ кг зі швидкістю υ= 36км/год. Визначити вагу автомобіля у верхній точці моста. З якою швидкістю має рухатися автомобіль, щоб у верхній точці він був у стані невагомості?

(Відповідь: $N = P = m(g - \frac{\upsilon^2}{R}) = 7800H$, $\upsilon_2 = \sqrt{gR} \approx 80$ км/год)

План заняття

I. Аналіз розв'язування однієї з домашніх задач, аналогічній наведеним.

II. Розв'язуються задачі:

1. Літак летить горизонтально зі швидкістю υ = 1440км/год на висоті H = 20000м. У той момент, коли літак пролітає над зенітною установкою, з гармати вистрілюють. Якими мають бути мінімальна початкова швидкість υ_0 снаряду і кут α_0 її з горизонтом, щоб снаряд влучив у літак?

(Відповідь: $\upsilon_0 = \sqrt{\upsilon^2 + 2gH}$, $\alpha_0 = \mathrm{arctg}\frac{\sqrt{2gH}}{\upsilon}$)

2. На підлозі вантажного ліфта лежить вантаж масою 1000кг. Якою буде вага цього вантажу, якщо ліфт: а) підніматиметься вертикально вверх з прискоренням 0,3м/с^2; б) рухатиметься рівномірно; в) опускатиметься з прискоренням 0,4м/с^2; г) вільно падатиме. (Відповідь: 10100H, 9800H, 9400H, 0)

<u>Практичне заняття 10</u>
Контрольна робота

ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ

Студент повинен уміти розв'язувати задачі типу:

1. Тепловоз, маса якого m_1 = 130т, наближається зі швидкістю υ_1 = 2м/с до нерухомого потяга масою m_2 = 1170т. З якою швидкістю рухатиметься потяг після зчеплення з тепловозом? (Відповідь: $\upsilon = \upsilon_1 \dfrac{m_1}{m_1 + m_2} = 0{,}2$ м/с)

2. Тіло кинули зі швидкістю υ_0 = 1м/с з висоти h = 5м, і воно потрапило в ящик з піском, який рухався гладенькою горизонтальною поверхнею зі швидкістю u = 5м/с. Визначити, під яким кутом до горизонту упало тіло, якщо після удару швидкість ящика не змінилася. (Відповідь: $\cos\alpha = \dfrac{u}{\sqrt{2gh + \upsilon_0^2}} = 0{,}5;\ \alpha = 60^0$)

3. Яку мінімальну роботу треба виконати, щоб підняти вагонетку масою m = 200кг по естакаді завдовжки l = 10м на висоту h = 2м, якщо коефіцієнт тертя $\mu = 0{,}05$? Який коефіцієнт корисної дії підйомника?

(Відповідь: $A = mg\left(h + \mu\sqrt{l^2 - h^2}\right) \approx 5 \cdot 10^3$ Дж, $\eta = \dfrac{mgh}{A} = 0{,}8$)

4. Тіло, маса якого m, піднімають похилою площиною на висоту h. Кут біля основи похилої площини дорівнює β, коефіцієнт тертя між тілом і площиною – μ. Визначити роботу сили тертя і роботу сили тяжіння.

(Відповідь: $A_1 = -\mu mgh\,ctg\beta;\ A_2 = -mgh$)

5. Визначити роботу, яку треба виконати, щоб збільшити швидкість руху тіла від υ_1 = 2м/с до υ_2 = 6м/с на шляху l = 10м. На всьому шляху діє стала сила тертя $F_т$ = 2Н. Маса тіла m =1кг. (Відповідь: $A = \dfrac{1}{2} m(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2) + F_T l = 36$ Дж)

6. З гармати, яка стояла на нерухомій платформі, зробили постріл у горизонтальному напрямі. Маса снаряда m = 100кг, швидкість υ = 400м/с. Маса платформи з гарматою M = 20т. Визначити відстань, на яку відкотилася платформа після пострілу, якщо коефіцієнт її тертя об рейки $\mu = 0{,}1$. (Відповідь: $L = \dfrac{m^2\upsilon^2}{2\mu g M^2} = 2$ м)

7. З гори, висота і основа якої дорівнюють h = 2м і l = 5м відповідно, скочуються санчата і зупиняються, пройшовши по горизонталі відстань s = 35м від основи гори. Визначити коефіцієнт тертя, вважаючи його сталим на всьому шляху.

(Відповідь: $\mu = \dfrac{h}{l + s} = 0{,}05$)

8. Куля, маса якої m = 10г, що летіла горизонтально зі швидкістю υ = 500м/с, влучає в ящик з піском масою M = 50кг, підвішений на канаті, і застрягає в ньому. На яку висоту підніметься ящик після влучання кулі?

(Відповідь: $h = \dfrac{m^2\upsilon^2}{2g(m + M)^2} \approx 0{,}5$ мм)

9. Похилою площиною знизу вгору пускають тіло з початковою швидкістю υ_0 = 2м/с. Піднявшись на деяку висоту, тіло сповзає похилою площиною вниз. Якою буде швидкість тіла, коли воно повернеться у вихідну точку? Коефіцієнт

тертя тіла об площину $\mu = 0,6$. Кут нахилу площини $\alpha = 45^0$.

(Відповідь: $\upsilon = \upsilon_0 \sqrt{\dfrac{1 - \mu ctg\alpha}{1 + \mu ctg\alpha}} = 1$ м/с)

10. Яку мінімальну потужність повинен розвинути цвіркун, маса якого m = 0,01кг, щоб стрибнути на висоту h = 1м відносно поверхні Землі? Час відштовхування $\tau = 0,2с$. Розмірами цвіркуна знехтувати. (Відповідь: $P_{min} = 0,5$Вт)

11. Автомобіль, маса якого m = 3т, рухається рівномірно зі швидкістю $\upsilon = 40$км/год. Визначити потужність, яку розвиває двигун автомобіля, якщо коефіцієнт тертя $\mu = 0,06$. (Відповідь: $P = \mu mg\upsilon = 20$кВт)

Практичне заняття 11
Логіка вивчення закону збереження імпульсу

Підготовка до заняття

1. Пригадати зміст понять: "імпульс тіла", закон збереження імпульсу, реактивний рух [11, с. 26-27].

2. Запропонувати способи введення істотних ознак компонентів змісту курсу фізики "Імпульс тіла. Закон збереження імпульсу", відповідаючи на запитання:

а) Як пов’язані між собою маси, початкові і кінцеві швидкості двох взаємодіючих тіл?

б) Що являє собою величина $m\vec{\upsilon}$?

в) Який зв’язок між імпульсами тіл до і після взаємодії?

г) Які межі застосування закону збереження імпульсу?

д) Як по-іншому можна сформулювати 2-й закон Ньютона, користуючись поняттям імпульсу тіла? Які наслідки такого формулювання?

[6, С. 234-240]

План проведення заняття

І. Висування навчальної задачі.

Закони Ньютона дають можливість у принципі розв’язати будь-яку задачу, у якій треба визначити положення тіла в будь-який момент часу. Однак використання законів Ньютона не завжди дає найпростіший шлях розв’язку. Більш того, у багатьох випадках такий шлях практично нездійсненний. Наприклад, коли ми розглядаємо співудар двох тіл, скажімо, двох вагонів, ми знаємо, що в цьому разі вони взаємодіють один з одним силою пружності. Та знайти значення цієї сили буває складно, а іноді й неможливо внаслідок того, що деформація буферних причеп вагонів має складний характер. Тому, знаючи швидкості тіл до удару, ми не зможемо, користуючись законами Ньютона, визначити швидкості цих тіл після удару. А ці швидкості входять у початкові умови подальшого руху тіл після їх зіткнення. Усе це вказує на необхідність пошуку нового способу розв’язування таких задач.

Розв’яжемо задачу: Два не пружних тіла, маси яких 2кг і 6кг, рухаються назустріч одне одному зі швидкостями 2м/с кожне. Визначити модуль і напрям швидкості кожного із цих тіл після удару.

ІІ. Прогнозування наступної діяльності.

– Чи можна скористатися безпосередньо законами Ньютона для розв’язування цієї задачі так, як це робилося на попередніх заняттях? Чому?

У задачі розглядається зіткнення двох тіл. Відомі їх маси і початкові швидкості. Треба знайти кінцеві швидкості тіл після удару. Отже, задача буде розв’язаною за умови відомого зв’язку між відомими і шуканими величинами.

ІІІ. Колективний пошук способів введення поняття "імпульс тіла" і вивчення закону його збереження.

З’ясуємо, як можна розкрити зміст понять, шукаючи відповіді на запитання:

1. Як пов’язані між собою маси, початкові і кінцеві швидкості двох взаємодіючих тіл?
2. Що являє собою величина $m\vec{\upsilon}$?
3. Який зв’язок між імпульсами тіл до і після взаємодії?
4. Які межі застосування закону збереження імпульсу?
5. Як по іншому можна сформулювати 2-й закон Ньютона, користуючись поняттям імпульсу тіла? Які наслідки такого формулювання?

ІV. Систематизація істотних ознак.

– Який зміст поняття "імпульс тіла"?

– Як формулюється закон збереження імпульсу і які межі його застосування?

V. Демонстрація вчителем способу розв’язування задач на закон збереження імпульсу.

Нагадується навчальна задача.

У задачі розглядається взаємодія не пружних тіл. Це означає, що після зіткнення обидва тіла рухаються як одне ціле з однаковою швидкістю.

$u - ?$

$m_1 = 2\text{êã}$

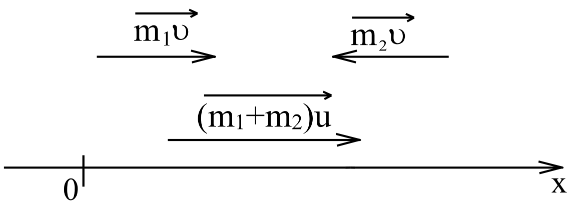
$m_2 = 6\text{êã}$

$\upsilon_1 = \upsilon_2 = 2\,\frac{\text{ì}}{\text{ñ}}$

1. Обидва тіла утворюють систему, яку в момент взаємодії можна вважати замкненою, тому що час взаємодії настільки малий, що дія зовнішніх тіл не може вплинути на зміну швидкостей.

2. Імпульси тіл до взаємодії $m_1\vec{\upsilon}, m_2\vec{\upsilon}$, після взаємодії $(m_1 + m_2)\vec{u}$.

Зобразимо вектори імпульсів, припустивши, що вектор $(m_1 + m_2)\vec{u}$ напрямлений вправо.



3. Записуємо закон збереження імпульсу у векторній формі і в проекціях на вісь Х:

$$m_1\vec{\upsilon} + m_2\vec{\upsilon} = (m_1 + m_2)\vec{u}$$

$$OX: \quad m_1\upsilon - m_2\upsilon = (m_1 + m_2)u$$

4. Знаходимо шукану величину: $u = \dfrac{m_1\upsilon - m_2\upsilon}{m_1 + m_2}$, $\quad u = -0{,}8$ м/с.

Це означає, що після взаємодії тіла рухаються протилежно напряму осі OX, тобто в напрямі вектора $m_2\vec{\upsilon}$.

VI. Колективний пошук способу розкриття змісту 2-го закону Ньютона, сформульованого через імпульс тіла.

1. Уводиться друге формулювання 2-го закону Ньютона.

2. Розв'язуються задачі.

Практичне заняття 12

Розв’язування задач на закон збереження імпульсу

Підготовка до заняття

1. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв’язування задач на закон збереження імпульсу.

Задачі, які вимагають застосування закону збереження імпульсу, складаються із: задач про розрив одного тіла на частини (або, навпаки, на з’єднання декількох тіл в одне), задач на удар і задач про рух одних тіл по поверхні інших у повністю або частково ізольованій системі.

Під час їх розв’язування доцільно використовувати наступну систему дій:

1. З’ясувати, чи є система тіл, що розглядається, ізольованою повністю, чи ця система ізольована по деякому одному напряму.
2. З’ясувати імпульси тіл до і після взаємодії.
3. На малюнку для кожного тіла (системи) зобразити вектори імпульсу до початку і в кінці процесу.
4. Записати закон збереження імпульсу у векторній формі.
5. Провести вісі координат і записати цей закон в проекціях на них.
6. Розв’язати отриману систему рівнянь.

Поради.

1. Осі координат зручно вибирати так, щоб більшість проекцій імпульсів тіл дорівнювала нулю і, щоб хоча б вздовж однієї з осей, система була ізольованою. У тих випадках, коли вектори імпульсів напрямлені вздовж однієї прямої і зовнішні сили вздовж неї не діють, або в сумі дорівнюють нулю, слід вибирати тільки одну вісь OX і, встановивши її додатній напрям, шукати проекції тільки на цю вісь.

2. При складанні рівняння закону збереження імпульсу швидкості тіл і їх зміни розглядаються відносно нерухомої системи відліку, пов’язаною з землею.

Якщо в задачі дається швидкість тіл відносно одне одного, то абсолютну швидкість руху тіла подати як векторну суму відносної й переносної швидкостей.

2. Ознайомитися з методами розв’язування окремих типів задач.

Задача. З гармати масою m_1 = 1000кг, яка рухається зі швидкістю υ_1=10км/год, стріляють у напрямі руху під кутом $\alpha = 30^0$ до горизонту. Як змінилася швидкість гармати? Маса снаряду m_2 = 5кг, а швидкість його в момент вильоту зі ствола υ_2 = 100м/с.

$\Delta\upsilon - ?$

$m_1 = 1000\,\text{êã}$

$\upsilon_1 = 10\,\frac{\text{êì}}{\text{ãîä}}$

$m_2 = 5\,\text{êã}$

$\upsilon_2 = 100\,\frac{\text{ì}}{\text{ñ}}$

$\alpha = 30^0$

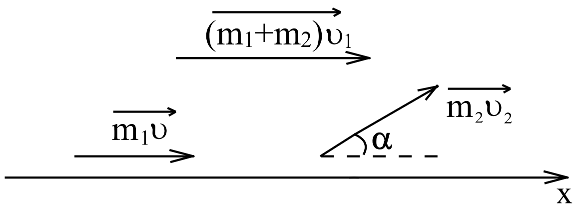
У цій задачі можна обмежитися розглядом системи тіл гармата-снаряд. Землю не розглядаємо, адже зміна її швидкості під час пострілу з гармати дуже мала.

Система тіл є замкненою, враховуючи, що час взаємодії (пострілу) дуже малий.

До взаємодії система гармата-снаряд мала імпульс $(m_1 + m_2)\vec{\upsilon}_1$, напрямлений горизонтально.

Припустимо, що після пострілу в напрямі руху гармати не тільки імпульс снаряда, а й імпульс гармати збігаються з даним напрямом. Імпульс снаряда $m_2\vec{\upsilon}_2$, імпульс гармати $m_1\vec{\upsilon}$.

Зобразимо ці вектори на малюнку: зверху імпульс тіл до взаємодії; знизу – після взаємодії.



Запишемо закон збереження імпульсу у векторній формі: $(m_1 + m_2)\vec{\upsilon}_1 = m_1\vec{\upsilon} + m_2\vec{\upsilon}_2$.

Запишемо цей закон у проекціях на вісь X:

$$(m_1 + m_2)\upsilon_1 = m_1\upsilon + m_2\upsilon_2 \cos\alpha .$$

Швидкість гармати υ після пострілу дорівнює: $\upsilon = \dfrac{(m_1 + m_2)\upsilon_1 + m_2\upsilon_2 \cos\alpha}{m_1}$.

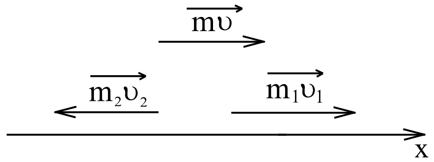
Зміна швидкості $\Delta\upsilon$ дорівнює: $\Delta\upsilon = \upsilon_1 - \upsilon = \dfrac{m_2(\upsilon_2 \cos\alpha - \upsilon_1)}{m_1}$.

Задача. Снаряд, маса якого m = 40кг, що летить у горизонтальному напрямі зі швидкістю υ = 600м/с, розривається на дві частини масами m_1 = 30кг і m_2 = 10кг. Більша частина продовжує рух у попередньому напрямі зі швидкістю υ_1= 900м/с. Визначити модуль і напрям швидкості меншої частини снаряда.

$\upsilon_2 - ?$
$m = 40$êã
$\upsilon = 600\,\frac{\grave{ı}}{\tilde{n}}$
$m_1 = 30$êã
$\upsilon_1 = 900\,\frac{\grave{ı}}{\tilde{n}}$
$m_2 = 10$êã

До взаємодії (до розриву) імпульс снаряда $m\vec{\upsilon}$. Після розриву імпульси окремих частин снаряда: $m_1\vec{\upsilon}_1$ і $m_2\vec{\upsilon}_2$.

Закон збереження імпульсу має вигляд: $m\vec{\upsilon} = m_1\vec{\upsilon}_1 + m_2\vec{\upsilon}_2$.



Зобразимо ці вектори на малюнку.

Імпульс $m_2\vec{\upsilon}_2$ повинен бути напрямлений по горизонталі, адже результат його додавання до горизонтально розміщеного вектора також є вектором напрямленим горизонтально.

Проектуючи вектори на вісь X, отримаємо: $m\upsilon = m_1\upsilon_1 - m_2\upsilon_2$.

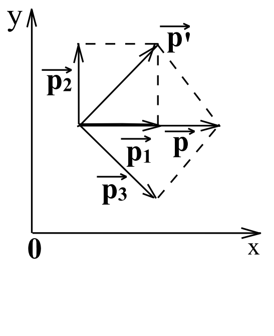
Звідси випливає: $\upsilon_2 = \dfrac{m_1\upsilon_1 - m\upsilon}{m_2}$; $\upsilon_2 = 300$ м/с.

υ_2 має додатне значення. Отже, припущення про те, що вектор $m_2\vec{\upsilon}_2$ напрямлений протилежно вектору $m_1\vec{\upsilon}_1$ було правильним.

Задача. Граната, що летіла горизонтально зі швидкістю υ= 10м/с, розірвалася на три осколки, маси яких m_1 = 0,2кг, m_2 = 0,4кг і m_3 = 1кг. Перший осколок дістав швидкості υ_1= 20м/с і продовжував летіти горизонтально, другий дістав швидкості υ_2= 40м/с і полетів вертикально вверх. Визначити напрям і модуль швидкості третього осколка.

$\upsilon_3 - ?$
$m_1 = 0{,}2$êã
$m_2 = 0{,}4$êã
$m_3 = 1$êã
$\upsilon = 10\,\frac{\grave{ı}}{\tilde{n}}$
$\upsilon_1 = 20\,\frac{\grave{ı}}{\tilde{n}}$
$\upsilon_2 = 40\,\frac{\grave{ı}}{\tilde{n}}$

Особливістю розв’язування цієї задачі є те, що треба записати закон збереження імпульсу в проекціях на осі OX і OY.



До взаємодії імпульс системи тіл (гранати) дорівнював: $\vec{p} = (m_1 + m_2 + m_3)\vec{\upsilon}$. Після взаємодії (розриву) імпульси тіл відповідно дорівнюють: $\vec{p}_1 = m_1\vec{\upsilon}_1$, $\vec{p}_2 = m_2\vec{\upsilon}_2$, $\vec{p}_3 = m_3\vec{\upsilon}_3$.

Зобразимо вектори на малюнку. Напрями $\vec{p}_1$ і $\vec{p}_2$ відомі. Для того щоб зобразити вектор $\vec{p}_3$ виконаємо такі дії: знаходимо суму векторів $\vec{p}_1$ і $\vec{p}_2$, яка дорівнює $\vec{p}' = \vec{p}_1 + \vec{p}_2$; від вектора $\vec{p}$ віднімемо вектор $\vec{p}'$ і отримаємо вектор $\vec{p}_3$.

Закон збереження імпульсу має вигляд: $\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3$.

Проектуючи вектори на осі OX і OY отримаємо:

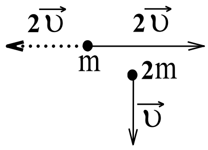
OX: $p = p_1 + p_{3x}$; OY: $0 = p_2 + p_{3y}$. Отже, $m\upsilon = m_1\upsilon_1 + m_3\upsilon_{3x}$, $\quad 0 = m_2\upsilon_2 + m_3\upsilon_{3y}$.

Звідси випливає: $\upsilon_{3x} = \dfrac{m\upsilon - m_1\upsilon_1}{m_3} = 12$ м/с, $\upsilon_{3y} = -\dfrac{m_2\upsilon_2}{m_3} = -16$ м/с.

Модуль швидкості: $\upsilon_3 = \sqrt{\upsilon_{3x}^2 + \upsilon_{3y}^2} = 20$ м/с.

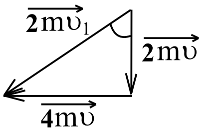
Кут, під яким напрямлена швидкість третього осколка знайдемо з рівності: $\mathrm{tg}\alpha = \dfrac{\upsilon_{3y}}{\upsilon_{3x}} = -\dfrac{4}{3}$, $\quad \alpha = -53^0$. Знак "мінус" означає, що цей кут відлічується від горизонталі за годинниковою стрілкою (це відповідає тому, що значення υ_{3y} від'ємна, тобто осколок летить до землі).

Задача. Дві частинки масами m і 2m рухаються у взаємно перпендикулярних напрямах зі швидкостями відповідно 2υ і υ. На частинки починає діяти однакова сила. Визначити величину і напрям швидкості частинки масою 2m в момент часу, коли швидкість частинки масою m стала такою, як показано на малюнку.



Із другого закону Ньютона $\vec{F}\Delta t = m\vec{\upsilon} - m\vec{\upsilon}_0$ випливає, що однаковий імпульс сили $\vec{F}\Delta t$ викликає у будь-якого тіла однакову зміну його імпульсу. Зміну імпульсу частинки масою m можна знайти так: $\Delta m\upsilon = 2m\upsilon - (-2m\upsilon) = 4m\upsilon$. Напрямлена ця зміна імпульсу горизонтально вліво (зміну імпульсу визначають, віднімаючи від кінцевого імпульсу початковий).

Така сама зміна імпульсу повинна бути у частинки масою 2m: $\Delta m\vec{\upsilon} = 2m\vec{\upsilon}_1 - 2m\vec{\upsilon}$. Зображаємо ці вектори на малюнку, враховуючи, що $\Delta m\vec{\upsilon} = 4m\vec{\upsilon}$.



Звідси знаходимо υ_1.

$4m^2\upsilon_1^2 = 4m^2\upsilon^2 + 16m^2\upsilon^2$, $\quad \upsilon_1^2 = 5\upsilon^2$, $\quad \upsilon_1 = \sqrt{5}\upsilon$

$\alpha = \mathrm{arctg}2$.

Задача. Пучок молекул, маса кожної з яких $m = 5\cdot 10^{-26}$ кг, які рухаються у вертикальній площині зі швидкістю υ= 500м/с, падає під кутом $\alpha = 30^0$ на бічну стінку посудини і зазнає пружного відбивання. Визначити середню силу "тиску" пучка на стінку, якщо щосекунди відбувається N = 10^{22} співударів.

$F_c - ?$

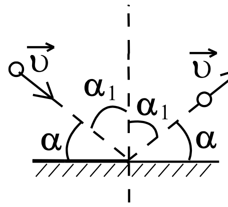
$m = 5\cdot 10^{-26}$ êã

$\upsilon = 500\ \dfrac{\text{ì}}{\text{ñ}}$

$\alpha = 30^0$

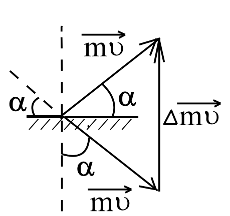
$\Delta t = 1$ñ

$N = 10^{22}$



Середню силу удару можна знайти з 2-го закону Ньютона $\vec{F}\Delta t = \Delta m\vec{\upsilon}$.

При пружному ударі молекули о поверхню кут падіння α дорівнює куту відбивання.



Зміна імпульсу однієї молекули дорівнює різниці між імпульсами в момент торкання поверхні і відбивання від неї: $\Delta m\upsilon = 2m\upsilon\sin\alpha$.

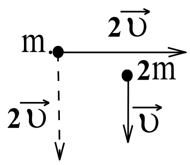
Зміна імпульсу N молекул дорівнює $N\Delta m\upsilon = 2Nm\upsilon\sin\alpha$. Отже, середня сила "тиску" дорівнює $F_C = \frac{2Nm\upsilon\sin\alpha}{\Delta t}$, $F_C = 0{,}25\,\text{Н}$.

3. Самостійно розв’язати задачі:

1. Візок, маса якого M = 120кг, рухається по інерції горизонтальною площиною зі швидкістю υ= 6м/с. З візка сплигує людина масою m = 80кг під кутом $\alpha = 30^0$ до напряму його руху в горизонтальній площині. Швидкість візка зменшується при цьому до υ'= 5м/с. Яка була швидкість u людини під час стрибка відносно землі? (Відповідь: $u = \frac{(M+m)\upsilon - M\upsilon'}{m\cos\alpha}$)

2. Граната, що летіла зі швидкістю 10м/с, розірвалася на два осколки. Більший осколок, маса якого складає 60% маси всієї гранати, продовжував рухатися в попередньому напрямі, але з більшою швидкістю 25м/с. Визначити швидкість меншого осколка. (Відповідь: 12,5м/с і буде рухатися у напрямі, протилежному початковому)

3. Дві частинки масами m і 2m рухаються у взаємно перпендикулярних напрямах зі швидкостями відповідно 2υ і υ. На частинки починає діяти однакова сила. Визначити значення і напрям швидкості частинки масою 2m у момент часу, коли швидкість частинки масою m стала такою, як це показано на малюнку.



(Відповідь: швидкість стане $\upsilon\sqrt{5}$, кут $\beta = \arcsin\frac{1}{\sqrt{5}}$ (скористатися теоремою синусів))

План заняття

Розв’язуються задачі:

1. Спортсмен масою 100кг стрибає в плавальний басейн з висоти 5м. За 0,4с вода зменшує його швидкість до нуля. З якою середньою силою діє вода на спортсмена? (Відповідь: -2500Н)

2. Снаряд масою m_1 = 10кг, який летить горизонтально зі швидкістю υ_1= 500м/с, влучив у вагон з піском масою m_2 = 10^4кг і застряг в ньому. Якою буде швидкість вагона, якщо до влучення снаряда він рухався зі швидкістю 36км/год у тому самому напрямі, що й снаряд? (Відповідь: 10,5м/с)

3. З реактивної установки масою M = 0,5т, яка перебувала в стані спокою, у горизонтальному напрямі викидаються послідовно дві порції речовини зі швидкістю υ_0= 1000м/с відносно установки. Маса кожної порції m = 25кг. Якою стане швидкість установки після викиду другої порції? Тертя відсутнє.

(Відповідь: $\upsilon_2 = -m\upsilon_0\left(\frac{1}{M-m} + \frac{1}{M-2m}\right)$)

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 13
Розв'язування задач на роботу сили і потужність

Підготовка до заняття

1. Повторити зміст понять: механічна робота, потужність [11, С. 29-31].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач з даної теми.

Під час розв'язування задач про роботу сталої сили доцільно використовувати таку систему дій:

1. Встановити, роботу якої сили треба визначити, і записати вихідну формулу: $A = Fs\cos\alpha$, де F може бути і рівнодійною, і окремою силою.

2. Зробити малюнок, указавши на ньому сили, що прикладені до тіла.

3. Встановити, чому дорівнює кут α між напрямом вектора сили, роботу якої треба обчислити, і напрямом переміщення (швидкості).

4. Якщо сила в умові задачі не задана, її слід знайти з рівняння 2-го закону Ньютона.

5. Знайти модуль переміщення (якщо він не відомий) за формулами кінематики.

6. Підставити знайдені вирази для F і s у формулу роботи й провести обчислення.

Під час розв'язування задач на роботу змінної сили (сила прямо пропорційно залежить від шляху, який проходить точка її прикладання) доцільно виконувати наступну систему дій:

1. Встановити, роботу якої сили треба знайти, і записати одну з формул: $A = \frac{Fs}{2} = \frac{ks^2}{2} = \frac{F^2}{2k}$, в залежності від того, що у даній задачі вважається відомим і невідомим.

2. Зробити малюнок, на якому вказати всі сили прикладені до тіла.

3. Визначити, чому дорівнює сила, яка виконує роботу над тілом, і підставити її вираз у вихідну формулу (як правило, такими силами є сили пружності пружини, змінна сила тертя, змінна виштовхувальна сила з рідини).

4. Якщо кінцеве значення сили не задане, із додаткових умов треба визначити коефіцієнт пропорційності k і підставити знайдений вираз у розрахункову формулу.

3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач:

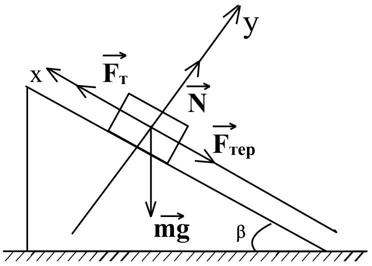
Задача. Яку роботу виконає сила тяги при підйомі тіла масою 300г похилою площиною, кут нахилу до горизонту якої 30^0, якщо тіло рухається з прискоренням 0,2м/с^2, а коефіцієнт тертя $\mu = 0{,}1$, час руху 2с?

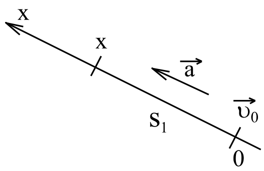
Прискорення стале. Отже, на тіло діє стала сила тяги, яка є рівнодіючою сил, що діють на дане тіло.

$A = Fs\cos\alpha$

Силу F знаходимо, розв'язуючи задачу на закони Ньютона:

A – ?
$m = 0{,}3êã$
$\beta = 30^0$
$a = 0{,}2\,\frac{ì}{ñ^2}$
$\mu = 0{,}1$
$t = 2ñ$
$\upsilon_0 = 0$
$\alpha = 0^0$





$m\vec g + \vec F_{Тер} + \vec N + \vec F_ò = m\vec a$

$OX: \quad F_ò - F_{Тер} - mg\sin\alpha = ma$

$OY: \quad N - mg\cos\alpha = 0$

$F_{Тер} = \mu N, \quad N = mg\cos\alpha$

$F_ò = \mu mg\cos\alpha + mg\sin\alpha = mg(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)$

Шлях s знаходимо з рівнянь кінематики:

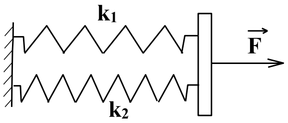
$$s_x = \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad s = \frac{at^2}{2}.$$

Отже, $A = mg(\mu\cos\alpha + \sin\alpha)\frac{at^2}{2}$.

Задача. Дві пружини однакової довжини, які мають жорсткості, відповідно рівні k_1 = 9,8Н/см і k_2 = 19,6Н/см, з’єднані між собою кінцями (паралельно). Яку роботу треба виконати, щоб розтягнути пружини на s_0 = 1см? Чому буде дорівнювати ця робота, якщо пружини будуть з’єднані між собою тільки одним кінцем (послідовно)?

A – ?
$k_1 = 9{,}8\,\frac{Í}{ñì}$
$k_2 = 19{,}6\,\frac{Í}{ñì}$
$s_0 = 1ñì$

Робота виконується змінною силою, яка чисельно дорівнює силі пружності.



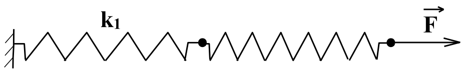
а)

Ці дві пружини можна замінити одною з жорсткістю k. Щоб визначити k виходимо з наступного: обидві пружини одночасно розтягуються однаково, тобто їх видовження дорівнює загальному видовженню $s = s_1 = s_2$; для розтягу обох пружин одночасно до них треба прикласти силу $F = F_1 + F_2$.

Враховуючи, що $F = ks, F_1 = k_1 s, F_2 = k_2 s$, отримаємо $k = k_1 + k_2$.

Отже, $A = \frac{ks_0^2}{2} = \frac{(k_1 + k_2)s_0^2}{2}, \quad A = 0{,}147$ Дж.

б)



При розтягуванні двох послідовно з’єднаних пружин, у кожній з них виникатимуть сили пружності $F = F_1 = F_2$, а загальне видовження $s = s_1 + s_2$. Отже,

$$s = \frac{F}{k}, s_1 = \frac{F}{k_1}, s_2 = \frac{F}{k_2} \qquad \frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}, \; k = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2}, \quad A = \frac{ks_0^2}{2} = \frac{k_1 k_2 s_0^2}{2(k_1 + k_2)}, \quad A = 0{,}037 \text{ Дж.}$$

4. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв’язування задач на потужність.

Потужність можна обчислити, виходячи з її визначальної формули $N = \frac{A}{t}$, або, враховуючи те, що робота дорівнює зміні енергії системи ΔE, $N = \frac{\Delta E}{\Delta t}$.

Існує й інший спосіб:

1. З’ясовується, яку потужність треба знайти – середню чи миттєву.
2. Записати формулу $N = F\upsilon$. Для середньої потужності υ – середня швидкість, для миттєвої потужності υ – миттєва швидкість в кінці переміщення, що

розглядається.

3. Зробити малюнок, указавши на ньому всі сили, що прикладені до тіла і задані кінематичні характеристики руху.

4. Скласти основне рівняння динаміки матеріальної точки й знайти з нього модуль сили $\vec{F}$.

5. Якщо значення швидкостей не задані, то визначити їх з формул кінематики.

6. Знайти шукану величину.

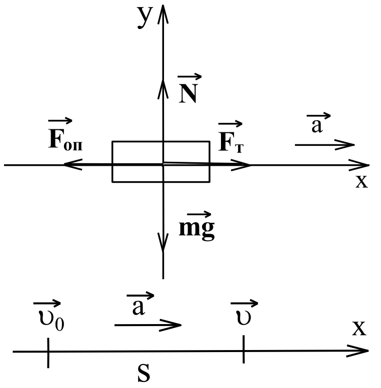
<u>Задача.</u> Літак масою m = 3т для зльоту повинен мати швидкість $\upsilon = 360 км/год$ і довжину розбігу s = 600м. Якою повинна бути мінімальна потужність мотора, яка необхідна для зльоту літака? Силу опору руху вважати пропорційною силі нормального тиску, середній коефіцієнт опору дорівнює $\mu = 0{,}2$. Рух при розгоні літака вважати рівноприскореним.

$N - ?$

$m = 3\cdot 10^3$ êã

$\upsilon = 100 \frac{ì}{ñ}$

$\mu = 0{,}2$



У задачі розглядається миттєва потужність $N_{min} = F_т\upsilon$.

Визначимо силу тяги

$F_ò - \mu mg = ma$

$a = \frac{\upsilon^2}{2s}$

$N_{min} = m\left(\frac{\upsilon^2}{2s} + \mu g\right)\upsilon$

$N_{min} = 3$МВт.

<u>Задача.</u> Підіймальний кран рівномірно підіймає вантаж масою m = 5т на висоту H = 15м. За який час буде піднято вантаж, якщо потужність двигуна крана P = 10кВт, а ККД η= 0,8?

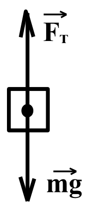
$t - ?$

$m = 5\cdot 10^3$ êã

$H = 15$ì

$P = 10^4$ Âò

$\eta = 0{,}8$



За визначенням $P_1 = \frac{A}{t}$. Звідси $t = \frac{A}{P_1}$.

Роботу виконує сила тяги, яка при рівномірному русі вантажу дорівнює силі тяжіння $F_T = mg$.

$A = mgH$.

У формулі для потужності мається на увазі корисна потужність, тобто та потужність, що пов'язана з підійманням вантажу.

$\eta = \frac{P_1}{P}$; $P_1 = \eta P$. Отже, $t = \frac{mgH}{\eta P}$, $t = \frac{5\cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 15}{0{,}8\cdot 10^4} \approx 94$(с).

<u>Задача.</u> Вантажні автомобілі, двигуни яких мають відповідно потужності P_1 і P_2, здатні розвивати відповідні швидкості υ_1 і υ_2. Якою буде швидкість, якщо їх з'єднати тросом?

Спільна потужність двигунів $P = P_1 + P_2$. Сили тяги двигунів, при швидкості руху автомобілів υ, дорівнюють силам опору їх руху дорівнюють F_1 і F_2. Тому: $P = P_1 + P_2 = (F_1 + F_2)\upsilon$. Сили тяги, що можуть розвивати двигуни дорівнюють: $F_1 = \frac{P_1}{\upsilon_1}$, $F_2 = \frac{P_2}{\upsilon_2}$. Отже, $\upsilon = \frac{P}{F_1 + F_2} = \frac{P_1 + P_2}{P_1\upsilon_2 + P_2\upsilon_1}\cdot\upsilon_1\upsilon_2$.

5. Самостійно розв'язати задачі:

1. Яку роботу виконає сила F = 30Н, піднявши похилою площиною вантаж масою m = 2кг на висоту h = 2,5м і з прискоренням a = 5м/с^2? Сила діє паралельно похилій площині. Тертям о площину знехтувати. (Відповідь: ≈ 73,5Дж)

2. Динамометр, розрахований на 40Н, має пружину жорсткістю 500Н/м. Яку роботу треба виконати, щоб розтягнути пружину від середини шкали до останньої поділки? (Відповідь: 1,2Дж)

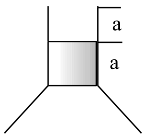
3. Потяг масою M = $5 \cdot 10^3$ кг піднімається зі швидкістю 30км/год в гору з ухилом 10км на кілометр. Коефіцієнт тертя колеса о рейки $\mu = 0{,}002$. Визначити потужність, що розвиває тепловоз. (Відповідь: ≈ 500кВт)

План заняття

I. Перевіряється знання змісту понять: механічна робота і потужність.

II. Аналізуються розв'язки домашніх задач, якщо у студентів виникли труднощі.

III. Розв'язуються задачі:



1. Яку мінімальну роботу треба виконати, щоб вийняти пробку з пляшки, якщо сила тертя між пробкою і горлечком пляшки дорівнює F? Розміри пробки і горличка вказані на малюнку.

2. Ковзаняр рухається по горизонтальному шляху рівномірно, а потім з розгону проїжджає до зупинки шлях 60м за 25с. Маса ковзаняра 50кг. Визначити, вважаючи рух після розгону рівносповільненим: а) коефіцієнт тертя; б) потужність, що витрачається ковзанярем при рівномірному русі.

(Відповідь: ≈ 0,02; 46Вт)

Практичне заняття 14
Розв'язування задач на закони збереження енергії та імпульсу

Підготовка до заняття

1. Повторити зміст понять: енергія, потенціальна й кінетична енергії, закон збереження механічної енергії [11, с. 31, 33].

2. Ознайомитися з методичними рекомендаціями щодо розв'язування задач на закон збереження енергії.

Підставою для виявлення спільної системи дій для багатьох розв'язувань задач на закон збереження енергії, є наступні відмінності.

Повна механічна енергія системи тіл дорівнює сумі кінетичних і потенціальних енергій всіх тіл, що входять у дану систему: $E_{\text{ïîâíà}} = E_k + E_n$.

Якщо в ізольованій системі тіла взаємодіють силами пружності і тяжіння, то їх повна механічна енергія зберігається: $E_{\text{ïîâíà}} = \text{const}$.

Із закону збереження механічної енергії як наслідок випливає:

✓ Якщо в будь-який момент часу повна механічна енергія ізольованої системи дорівнює E_1, а в будь-який наступний момент часу E_2, то $E_2 - E_1 = 0$.

✓ У застосуваннях до випадку, що найбільш часто зустрічається, коли в задачі розглядають ізольовану систему, яка складається з двох тіл – Земля плюс важкий предмет у її поверхні – можна записати: $\frac{m\upsilon_2^2}{2} + mgh - \frac{m\upsilon_1^2}{2} = 0$, де υ_1 і υ_2 модулі швидкостей тіл відносно поверхні Землі в першому і другому станах, h – модуль переміщення тіла по вертикалі. Зміну енергії самої Землі при цьому не враховують.

✓ Якщо система тіл не є ізольованою, тобто на тіло (систему тіл) у процесі його переходу з одного стану в інший, крім сили земного тяжіння, діють інші сили (зовнішні сили), то робота цих сил дорівнює зміні повної механічної енергії: $A = E_2 - E_1$.

У цьому випадку, коли в правій частині цього рівняння зміна потенціальної енергії тяжіння враховано, робота сили тяжіння $m\vec{g}$ і її складових в A не входять.

При русі тіла під дією лише сили тяжіння їх не можна вважати ізольованими. Ізольованою системою, в якій має місце закон збереження енергії, у даному випадку, є система тіло-Земля, але при складанні рівняння $\frac{m\upsilon_2^2}{2} + mgh - \frac{m\upsilon_1^2}{2} = 0$ зміна енергії Землі не враховується, тому що вона замала.

Загальна система розв'язування задач, які вимагають складання рівняння закону збереження енергії, містить такі дії:

1. Зробити схематичний малюнок і записати формулу закону збереження й перетворення енергії у вигляді: $A = E_2 - E_1$.

2. З'ясувати перший і другий стани (положення) тіла (системи тіл), що розглядаються. Ними, як правило, будуть початкове і кінцеве положення тіла.

3. Вибрати нульовий рівень відліку потенціальної енергії. Його можна взяти довільно, але зручніше вибирати або на самому нижньому положенні, яке займає тіло при своєму русі, або відлічувати від того рівня, на який опускається тіло, пе-

реходячи з першого положення в друге.

Якщо потенціальна енергія тіла або системи тіл при переході з одного стану в інший не змінюється, то при складанні рівняння закону збереження енергії, її взагалі можна не розглядати.

4. За допомогою формул $A = FS\cos\alpha$, $A = \frac{FS}{2} = \frac{kx^2}{2} = \frac{F^2}{2k}$, $E_k = \frac{m\upsilon^2}{2}$, $E_n = \frac{kx^2}{2}$ скласти вираз для роботи зовнішніх сил і повної механічної енергії тіла (системи) у положеннях I і II – показати роботу A як функцію модуля сили $\vec{F}$ і модуля переміщення $\vec{S}$ (A = *f* (F, S)), а енергій E_1 і E_2 як функції швидкостей υ і відстані h. Підставити ці вирази у вихідне рівняння закону збереження енергії.

<u>Зауваження.</u> Якщо невідомих більше одного, то до рівняння закону збереження енергії, що складено, додають рівняння динаміки матеріальної точки, рівняння закону збереження імпульсу або формули кінематики. Отримують систему рівнянь, яка дозволяє визначити шукану величину.

<u>3. Ознайомитися з методами розв'язування окремих типів задач.</u>

На попередньому занятті розглядалися способи розв'язування задач, пов'язаних з розрахунком механічної роботи. Додатково до того треба знати: якщо сили не відомі, то робота обчислюється з формули $A = E_2 - E_1$. Може змінюватися кінетична, потенціальна і повна енергія.

<u>Задача.</u> Вантаж масою m = 1кг падає з висоти h = 240м і заглиблюється у пісок на s = 0,2м. Визначити середню силу опору ґрунту, якщо початкова швидкість падіння вантажу υ_0= 14м/с. Опір повітря не враховувати.

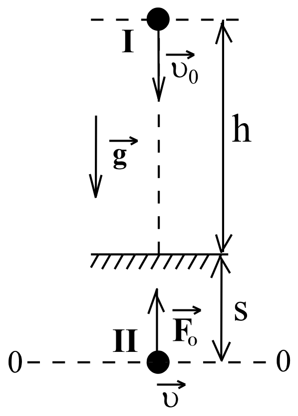
$F_o - ?$

$m = 1$êã

$h = 240$ì

$s = 0{,}2$ì

$\upsilon_0 = 14\,\frac{\text{ì}}{\text{ñ}}$



Виконаємо малюнок: тіло у початковий момент часу перебуває на висоті h над поверхнею землі, маючи початкову швидкість υ_0; тіло вільно падає з прискоренням $\vec{a} = \vec{g}$; зупиняється тіло на глибині s.

Записуємо загальну формулу:

$A = E_2 - E_1$.

Початковий стан I – положення тіла до падіння, кінцевий стан II – положення тіла на глибині s.

Нульовим рівнем відліку потенціальної енергії є нижнє положення тіла.

Під час вільного падіння на тіло зовнішні сили не діють (сила тяжіння в системі тіл тіло-Земля є внутрішньою). При переміщенні вантажу в землі зовнішньою силою, яка діє на нього, є сила опору ґрунту F_o. Робота цієї сили A = - F_os (знак "мінус" показує, що сила напрямлена в бік, протилежний переміщенню).

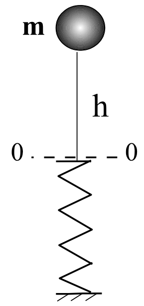
У положенні I: $E_1 = \frac{m\upsilon_0^2}{2} + mg(h+s)$.

У положенні II кінетична і потенціальна енергії відносно вибраного рівня дорівнюють нулю, тому E_2 = 0.

Отже, $-F_o s = -\frac{m\upsilon_0^2}{2} - mg(h+s)$, $F_o = \frac{m}{s}\left[\frac{\upsilon_0^2}{2} + g(h+s)\right]$; $F_o \approx 12$ кН.

<u>Задача.</u> На горизонтальній поверхні закріплена вертикальна пружина жорсткістю 800Н/м. З якої висоти відносно верхнього кінця пружини впало тіло масою 0,1кг, яке стиснуло пружину на 5см?

$h-?$
$k = 800\,\frac{\text{Í}}{\text{ì}}$
$m = 0{,}1\text{êã}$
$x = 5\cdot 10^{-2}\,\text{ì}$



1. Запишемо коротку умову задачі і зробимо малюнок.

2. Тіло спочатку перебувало на деякій висоті h над верхнім кінцем пружини. В кінці тіло опустилося на висоту (h + x).

3. За нульовий рівень потенціальної енергії тіла піднятого над землею обрали рівень 00 – положення верхнього кінця не стиснутої пружини.

4. Зовнішні сили, які не входять у систему тіло-пружина-земля не діють, отже, система замкнена.

Повна механічна енергія тіл у першому стані $E_1 = mgh$. Масу пружини не враховуємо.

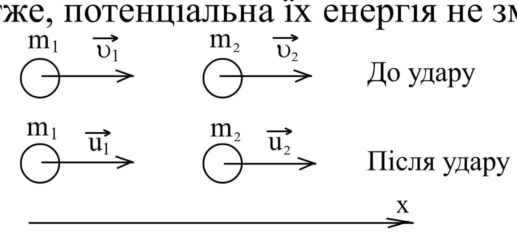
Повна механічна енергія в другому стані: $E_2 = -mgx + \frac{kx^2}{2}$, $-mgx$ – тіло перебуває нижче обраного нульового рівня.

Згідно закону збереження повної енергії $E_1 - E_2 = 0$.

$$mgh + mgx - \frac{kx^2}{2} = 0 \quad \Rightarrow \quad h = \frac{kx^2}{2mg} - x, \quad h = 0{,}95\,\text{м}.$$

Задача. Визначити швидкості тіл масами m_1 і m_2 після абсолютно пружного удару. Початкові їх швидкості відповідно рівні $\bar{\upsilon}_1$ і $\bar{\upsilon}_2$.

Запишемо закони збереження імпульсу й енергії, вважаючи, що тіла рухаються горизонтально. Отже, потенціальна їх енергія не змінюється.



$$\begin{cases} m_1\bar{\upsilon}_1 + m_2\bar{\upsilon}_2 = m_1\bar{u}_1 + m_2\bar{u}_2 \\ m_1\bar{\upsilon}_1^2 + m_2\bar{\upsilon}_2^2 = m_1\bar{u}_1^2 + m_2\bar{u}_2^2 \end{cases}$$

Розв’яжемо цю систему рівнянь

$$\begin{cases} m_1(\upsilon_1 - u_1) = m_2(u_2 - \upsilon_2) \\ m_1(\upsilon_1^2 - u_2^2) = m_2(u_1^2 - \upsilon_2^2) \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} m_1(\upsilon_1 - u_1) = m_2(u_2 - \upsilon_2) \\ m_1(\upsilon_1 - u_1)(\upsilon_1 + u_1) = m_2(u_2 - \upsilon_2)(u_2 + \upsilon_2) \end{cases} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \quad m_1\upsilon_1 + m_1u_1 = m_2u_2 + m_2\upsilon_2 \quad \Rightarrow \quad u_2 = \frac{m_1\upsilon_1 + m_1u_1 - m_2\upsilon_2}{m_2}$$

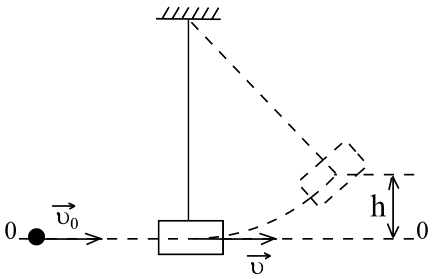
Підставивши у формулу закону збереження імпульсу u_2, отримаємо

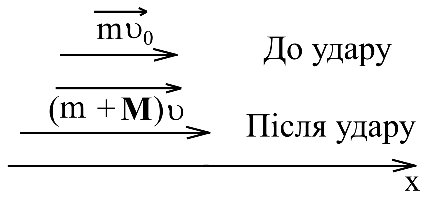
$$u_1 = \frac{2m_2u_2 + (m_1 - m_2)\upsilon_1}{m_1 + m_2}, \qquad u_2 = \frac{2m_1u_1 + (m_2 - m_1)\upsilon_2}{m_1 + m_2}.$$

Задача. Для визначення швидкості кулі використовується балістичний маятник, який складається з дерев’яного бруска, підвішеного на легкому стержні. При вистрілі у горизонтальному напрямі куля масою m попадає у брусок і застряє в ньому. Якою була швидкість кулі, якщо маятник підніметься на висоту h? Маса бруска дорівнює М. Тертя в підвісі й масу стержня не враховувати.

У цій задачі розглядається не пружний удар.

Застосуємо закон збереження імпульсу до системи куля-брусок і визначимо швидкість кулі і бруска.





$$m\upsilon_0 = (m+M)\upsilon$$

$$\upsilon = \frac{m\upsilon_0}{m+M}$$

Нульовий рівень потенціальної енергії 00.

Застосуємо закони збереження енергії для системи куля-брусок-земля.

У початковому стані: $E_1 = \dfrac{(m+M)\upsilon^2}{2}$.

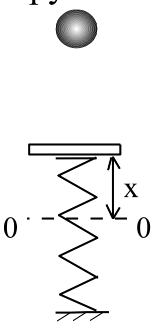
У кінцевому стані: $E_2 = (m+M)gh$.

Отже, $(m+M)gh - \dfrac{(m+M)\upsilon^2}{2} = 0, \quad \upsilon^2 = 2gh.$

$$\upsilon_0 = \frac{m+M}{m}\upsilon = \frac{m+M}{m}\sqrt{2gh}\,.$$

<u>Задача.</u> Вантаж масою m = 0,5кг падає з деякої висоти на плиту масою M = 1кг, закріплену на пружині жорсткістю k = 980Н/м. Визначити найбільше стиснення пружини, якщо в момент удару вантаж має швидкість υ = 5м/с. Удар вважати не пружним.

$x - ?$
$m = 0{,}5$êã
$M = 1$êã
$k = 980\,\dfrac{Í}{ì}$
$\upsilon = 5\,\dfrac{ì}{ñ}$



За нульовий рівень потенціальної енергії вибираємо рівень 00.

Згідно закону збереження енергії

$$\frac{(m+M)\upsilon_1^2}{2} + (m+M)gx = \frac{kx^2}{2}$$

Згідно закону збереження імпульсу

$$m\upsilon = (m+M)\upsilon_1$$

$$x = \frac{1}{k}\left[(m+M)g + \sqrt{(m+M)^2 g^2 + \frac{km^2\upsilon^2}{m+M}}\right], \quad x = 0{,}082 \text{ м}.$$

<u>4. Самостійно розв'язати задачі:</u>

1. Ковзаняр масою M = 70кг стоячи на ковзанах на льоду, кидає у горизонтальному напрямі камінь масою m = 3кг зі швидкістю υ = 8м/с. Знайти, на яку відстань відкотиться при цьому ковзаняр, якщо відомо, що коефіцієнт тертя ковзанів об лід $\mu = 0{,}02$. (Відповідь: 0,29м)

2. Куля масою m_1 = 10г, яка мала горизонтальну швидкість υ_1 = 600м/с, вдаряється у вільно підвішений дерев'яний брусок масою m_2 = 5кг і застряє в ньому,

занурившись в нього на s = 10см. Знайти силу опору дерева руху кулі.

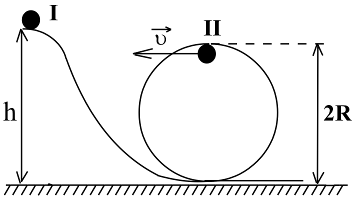
(Відповідь: $18\cdot10^{7}$Н)

План заняття

І. Перевіряється знання студентами змісту понять: енергія, потенціальна і кінетична енергії, закон збереження механічної енергії.

ІІ. Аналізуються домашні задачі, які викликали у студентів труднощі під час розв’язування.

ІІІ. Розв’язуються задачі:



1. Важка кулька зісковзує без тертя по похилому жолобу, який утворює "мертву петлю" радіусом R. З якої висоти кулька повинна почати рух, щоб не відірватися від жолоба у верхній точці траєкторії? (Відповідь: 2,5R)

2. Пружина дитячого пістолета має у вільному стані довжину l_0 = 15см. Сила, яка необхідна для зміни її довжини на x_0 = 1см, дорівнює F_0 =9,8Н. Якою буде максимальна дальність польоту кульки масою m = 10г, якщо нею зарядити пістолет, стиснувши пружину до l = 5см? (Відповідь: 100м)

3. Маятник являє собою прямий тонкий стержень довжиною l = 1,5м на кінці якого знаходиться сталева куля масою M = 1кг. У кулю попадає стальна кулька масою m = 20г, що летить горизонтально зі швидкістю υ = 50м/с. Визначити кут максимального відхилення маятника, вважати удар пружним і центральним. Масою стержня нехтувати. (Відповідь: $\left(\alpha = 2\arcsin\dfrac{m}{(m+M)\sqrt{gl}} \approx 31^0\right)$)

<u>Практичне заняття 15</u>
Контрольна робота

Література:

1. Архангельский М.М. Курс физики: Механика: Учеб. пособие для гос. университетов. – М.: УЧПЕДГИЗ, 1961. – 409с.

2. Балаш В.А. Задачи по физике и методы их решения: Пособие для учителя. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Просвещение, 1983. – 432 с., ил.

3. Гершензон Е.М., Малов Н.Н. Курс общей физики: Механика: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – 2-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1987. – 304с.: ил.

4. Гольдфарб Н.И. Сборник вопросов и задач по физике. Учеб. пособие для поступающих во втузы. Изд. 4-е. М.: "Высш. школа", 1975. – 368с., ил.

5. Гончаренко С.У. Збірник задач і запитань з фізики: Навч. посіб. для 9-11 кл. серед. загальноосв. навч. закладів. – К.: Освіта, 2004. – 383с.

6. Гончаренко С.У. Фізика. Проб. підручник для 9 кл. серед. загальноосвіт. шк., гімназій та кл. гуманітарного профілю. – К.: Освіта, 1997. – 431с.: іл.

7. Гутман В.И., Мощанский В.Н. Алгоритмы решения задач по механике в средней школе: Кн. для учителя. – М.: Просвещение, 1988. – 95с.: ил.

8. Каленик В.І., Каленик М.В. Лабораторні заняття з методики навчання фізики Ч.2. Демонстраційні досліди з окремих тем шкільного курсу фізики. /Навч. посібник. – Суми: СумДПУ ім.. А.С.Макаренка, 2003. – 92с., іл.

9. Каленик В.І., Каленик М.В. Лабораторні заняття з методики навчання фізики Ч.1. Методика і техніка демонстраційного експерименту з фізики /Навч. посібник. – Суми: СумДПУ ім.. А.С.Макаренка, 2002. – 108с., іл.

10. Каленик В.І., Каленик М.В. Питання загальної методики навчання фізики /Пробн. навч. посібник. – Суми: РВВ СДПУ ім. А.С.Макаренка, 2000, –125с.

11. Каленик В.І., Каленик М.В. Шкільний курс фізики /Метод. посібник. – Суми: СумДПУ ім.. А.С.Макаренка, 2001, – 116с.

12. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика: Учеб. для 9 кл. сред. шк. – М.: Просвещение, 1990. – 191с.: ил.

13. Коршак Є.В. та ін. Фізика, 9 кл.: Підручник для серед. загальноосвіт. шк./ Є.В.Коршак, О.І.Ляшенко, В.Ф.Савченко. – Київ; Ірпінь: ВТФ "Перун", 2000. – 232с.: іл.

14. Ландау Л., Пятигорский Л. Теоретическая физика: Механика. – Т.1. – М.; Л.: Гос. издательство технико-теоретической литературы, 1940. – 200с.

15. Методика преподавания физики в средней школе: Частные вопросы: Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов по физ.-мат. спец. /С.В.Анофрикова, М.А.Бобкова, Л.А.Бордонская и др.; Под ред. С.Е.Каменецкого, Л.А.Ивановой. – М.: Просвещение, 1987. – 336с.: ил.

16. Механика. Факультативный курс. Пособие для учителей. М., "Просвещение", 1971. – 208с., ил.

17. Мощанский В.Н. Формирование мировоззрения учащихся при изучении физики. Пособие для учителей. Изд. 2-е, перераб. М., "Просвещение", 1976. – 158с.

18. Научные основы школьного курса физики /Под ред. С.Я. Шамаша, Э.Е. Эвенчик. – М.: Педагогика, 1985. – 240с.

19. Путилов К.А. Курс физики: Механика. Акустика. Молекулярная физика. Термодинамика: Учебник для высших учеб. заведений. – Т.1. – М.: Гос. издатель-

ство физико-математической литературы, 1959. – 560с.

20. Резников Л.И. и др. Методика преподавания физики в средней школе. Механика. Пособие для учителей. М., "Просвещение", 1974. – 238с., ил.

21. Рымкевич А.П. Сборник задач по физике для 8 – 10 классов средней школы. – 12-е изд. – М.: Просвещение, 1988. – 191с.: ил.

22. Савельев И.В. Курс общей физики: Механика, колебания и волны, молекулярная физика. – Т.1. – М.: "Наука", 1973. – 512с.

23. Сивухин Д.В. Общий курс физики: Механика: Учеб. пособие для студентов физ.-мат. фак. пед. ин-тов. – 2-е изд., перераб. – М.: "Наука", 1979. – 520с.: ил.

24. Стрелков С.П. Общий курс физики: Механика: Учеб. пособие для гос. университетов. – Т.1. – М.: Гос. издательство технико-теоретической литературы, 1956. – 456с.

25. Усова А.В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения. – М.: Педагогика, 1986. – 176с.

26. Фриш С.Э., Тиморева А.В. Курс общей физики: Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны: Учеб. пособие для физ.-мат. и физ.-тех. фак. гос. университетов. – Т.1. – М.: Гос. издательство технико-теоретической литературы, 1953. – 464с.

27. Чолпан П.Ф. Фізика (з філософським аналізом). – К.: "Вища школа", 1972. – 428с.

28. Шифрин Ф.Ш. Некоторые трудные вопросы преподавания физики. – М.: Просвещение, 1966. – 152с.

29. Эвенчик Э.Е. Преподавание механики в курсе физики средней школы. М., "Просвещение", 1967. – 180с., ил.

30. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Курс физики: Механика. Основы молекулярной физики и термодинамики. – Т.1. – К.: "Вища школа", 1970. – 356с. (на украинском языке)

31. Яворский Б.М., Пинский А.А. Основы физики. – Т.1. – М.: "Наука", 1969. – 456с., ил.