

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

І.О. Азнаурян

ФІЗИКА

**Методичні вказівки до вивчення курсу фізики
для бакалаврів спеціальностей**

122 «Комп'ютерні науки»;
123 «Комп'ютерна інженерія»;
125 «Кібербезпека та захист інформації»;
126 «Інформаційні системи та технології»

Київ 2024

УДК 53(075)
ББК 22.3я7
Ф 50

Рецензент Г.Ю. Краснянський, канд. фіз.-мат. наук, доцент
Відповідальний за випуск д.т.н., проф. Глива В.А.

*Затверджено на засіданні кафедри, протокол №8 від 25
березня 2024 р.*

Фізика: Методичні вказівки до вивчення курсу фізики /Укладачі:
Ф 50 І.О. Азнаурян. – К.: КНУБА, 2024. – 84с.

Зміст методичних вказівок включає програму курсу з акцентуванням на важливих питаннях курсу, основний лекційний матеріал, вказівки до виконання лабораторних робіт та практичних занять. В даних методичних вказівках приведені основні вимоги до вивчення курсу “Фізика”.

Призначені для студентів галузі знань 122 «Комп’ютерні науки».

УДК: 53(075)
ББК 22.3я7

© І.О. Азнаурян

ЗМІСТ

Загальні положення	3
Програма з курсу	5
Лекційний курс	13
Практичні заняття	63
Лабораторні роботи	77
Список рекомендованої літератури	82
Додатки.....	83

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Мета викладання дисципліни “Фізика” полягає у:

- формуванні у майбутніх фахівців з інформаційних систем та технологій у галузі інформаційних технологій знань, що стосуються фундаментальних законів, за якими відбуваються процеси і явища навколишнього світу та теоретичної бази для вивчення дисциплін загально-технічного циклу та спеціальних дисциплін,

- ознайомленні студентів з основними фізичними законами, за якими відбуваються процеси та явища навколишнього світу, необхідними для: формування фахової компетентності в галузі інформаційних технологій, аналізу ефективності проектних рішень, пов'язаних з проектуванням і використанням інформаційних систем та технологій.

- розвиток логічного та аналітичного мислення;

- підвищення загального рівня наукової культури;

- розвиток у студентів здатності до самоосвіти.

Завдання. Основними завданнями, що мають бути вирішені в процесі викладання дисципліни, є теоретична та практична підготовка студентів з питань:

- Фізичних основ механіки.
- Електрики та магнетизму.
- Коливань та хвиль. Хвильової оптики.
- Елементів квантової фізики та фізики ядра.

Курс “Фізика” складається з таких видів роботи:

лекційний курс – 60 годин,

практикум з розв'язку задач – 14 годин,

лабораторний практикум – 38 годин,

розрахунково-графічні роботи з усього курсу фізики – 2

Курс викладається протягом двох семестрів. Перший семестр – залік.

Завершується курс екзаменом. Залік та екзамен отримує студент, який прослухав лекційний курс, виконав програму практичних занять, виконав розрахункові роботи та виконав і захистив лабораторний практикум з курсу.

ПРОГРАМА З КУРСУ

Питання даного курсу сформульовані в типовій програмі з фізики для технічних вузів, але на відміну від загального курсу фізики для технічних спеціальностей, курс “Фізика” охоплює не всі питання типової програми. Питання, виділені у програмі зірочкою, вивчаються лише з метою ознайомлення, тоді як інші питання вивчаються з метою засвоєння.

Змістовний модуль 1. Фізичні основи механіки

Лекція 1

Тема 1.1. Кінематика поступального руху

Вступ до курсу фізики. Предмет фізики. Зв'язок фізики з іншими науками. Взаємозв'язок фізики та техніки. Структура та мета викладання курсу фізики. *Методи фізичних досліджень. Міжнародна система одиниць.

Предмет механіки. Класична, релятивістська та квантова механіки. Матеріальна точка, абсолютно тверде тіло (АТТ), суцільне середовище. Простір та час. Система відліку. Траєкторія, переміщення, шлях. Миттєва швидкість, лінійне прискорення. Нормальне та тангенціальне прискорення. Рівняння руху матеріальної точки.

Лекція 2

Тема 1.2. Кінематика обертального руху

Поступальний та обертальний рухи. Ступені свободи руху АТТ. Рівняння руху точки по колу. Кутова швидкість та кутове прискорення. Зв'язок лінійних та кутових характеристик при русі по колу. Класифікація простих рухів.

Практичне заняття 1.

Кінематика поступального руху. Графічне представлення рухів. Кінематика обертального руху. Зв'язок лінійних та кутових характеристик при русі по колу.

Лекція 3

Тема 1.3. Основи динаміки поступального руху

Уявлення про масу. Поняття сили. Імпульс тіла. Перший закон Ньютона, другий закон Ньютона, третій закон Ньютона. Інерціальні системи відліку. Динаміка тіл сталої маси. Сили інерції. Закон динаміки системи матеріальних точок. Центр мас. Закон збереження імпульсу. *Рівняння Мещерського для реактивного руху.

Лекція 4

Тема 1.4. Основи обертального руху

Момент сили. Момент інерції. Момент імпульсу АТТ. Теорема Штейнера. Закон динаміки обертального руху. Умови рівноваги АТТ. Центр тяжіння. Закон збереження моменту імпульсу. *Уявлення про гіроскопи.

Практичне заняття 2.

Закони Ньютона. Динаміка поступального руху. Динаміка обертального руху. Застосування теореми Штейнера.

Лекція 5

Тема 1.5. Енергія та робота

Поняття енергії. Механічна енергія. Робота в механіці та потужність. Кінетична енергія поступального та обертального рухів. Потенціальна енергія пружної деформації.

Лекція 6

Тема 1.6. Гравітаційне поле

Гравітаційна взаємодія. Закон всесвітнього тяжіння. Напруженість та потенціал гравітаційного поля. Зв'язок напруженості гравітаційного поля з потенціалом. Потенціальна енергія гравітаційної взаємодії. Потенціальні сили та консервативні системи. Закон збереження механічної енергії. *Пружний та непружний удари тіл та частинок.

Практичне заняття 3.

Застосування законів збереження до механічних систем і явищ. Гравітаційна взаємодія.

**** Тема 1.7. Статика. Елементи механіки суцільних середовищ**

Механічні властивості твердих тіл. Деформація розтягу, пружність та повзучість. Закон Гука. Сили пружності. Лінії та трубки течії. Циркуляція поля швидкостей течії. Ламінарна та турбулентна течії. Сили в'язкого тертя. Рівняння нерозривності та рівняння Бернуллі. *Формула Пуазейля. Рух тіл в рідинах та газах. Критерій Рейнольдса.

**** Тема 1.8. Елементи спеціальної теорії відносності**

Принцип відносності класичної механіки. Перетворення координат Галілея та їх інваріанти. Передумови СТВ. Принцип відносності СТВ. Принцип інваріантності СТВ. Перетворення координат Лоренца. Релятивістська формула додавання швидкостей. Скорочення довжин та сповільнення плину часу. Основний закон релятивістської динаміки. Релятивістський імпульс. Зростання маси рухомих тіл. Взаємозв'язок маси та енергії.

Змістовний модуль 2. Електрика та магнетизм

Лекція 7

Тема 2.1. Електростатика

Електризація тіл. Два види електрики. Закон Кулона. Електростатична індукція. Діелектрична проникність середовища. Напруженість електричного поля, принцип суперпозиції. Поле точкового заряду. Силкові лінії поля. Однорідне поле. Потік вектора напруженості електростатичного поля. Теорема Гаусса. Застосування теореми Гаусса.

Тема 2.2. Потенціал електростатичного поля

Потенціал електростатичного поля. Потенціал точкового заряду. Еквіпотенціальні поверхні. Різниця потенціалів. Робота по перенесенню заряду. Потенціальний характер електростатичного поля. Зв'язок напруженості електростатичного поля з потенціалом.

Практичне заняття 4.

Електростатика. Напруженість та потенціал. Теорема Гаусса та її застосування. Ємність конденсаторів.

Лекція 8

Тема 2.3. Електричний диполь. Діелектрики. Провідники в електричному полі. Енергія електростатичного поля

Електричний диполь. Диполь в однорідному полі. *Диполь в неоднорідному полі. Полярні та неполярні діелектрики. Діелектрики в електричному полі. Характеристики поляризованого стану діелектриків. Вектор електричного зміщення. *Особливості сегнетоелектриків. Провідники в електростатичному полі. Електроємність провідника. Ємність конденсатора. *З'єднання конденсаторів. Енергія зарядженого конденсатора. Густина енергії електростатичного поля.

Практичне заняття 5.

Ємність конденсаторів. Енергія електричного поля.

Лекція 9

Тема 2.4. Електричний струм

Сила та густина струму. Постійний електричний струм. ЕРС джерела струму. Закон Ома для однорідної ділянки кола. Опір провідників. З'єднання резисторів. Закон Ома для замкнутого кола. Батареї елементів живлення. Розгалужені електричні кола. Правила Кірхгофа. Правила застосування правил Кірхгофа.

Практичне заняття 6.

Розрахунок параметрів електричних кіл. Розрахунок батарей конденсаторів, опорів та елементів живлення.

Лекція 10

Тема 2.5. Енергія електричного струму. Струм у різних середовищах.

Робота та потужність електричного струму. Закон Джоуля-Ленца. *Струм через електроліти. *Закони електролізу. Струм в газах. *Типи газових розрядів. *Уявлення про плазму. Авто - та термоелектронна емісія.

Електровакуумні прилади.

Практичне заняття 7.

Робота та потужність електричного струму. Закон Джоуля-Ленца

Лекція 11

Тема 2.6. Магнітостатика

Магнітне поле та його характеристики. Закон Ампера. Вектор магнітної індукції. Напруженість магнітного поля. Магнітний момент контуру зі струмом. Контур зі струмом в однорідному полі. Контур зі струмом в неоднорідному полі. Принцип роботи електродвигунів.

Лекція 12

Тема 2.7. Магнітне поле в речовині. Рух заряджених частинок в магнітному полі.

Діа- та парамагнетики. Магнетики в магнітному полі. Характеристики намагніченого стану. *Особливості феромагнетиків.

Сила Лоренца. Рух заряджених частинок в однорідному полі. *Використання магнітних полів.

Практичне заняття 8.

Закон Ампера. Закон повного струму. Сила Лоренца.

Лекція 13

Тема 2.8. Магнітне поле провідників зі струмом.

Закон Біо-Савара-Лапласа. Магнітне поле прямолінійного провідника зі струмом. Магнітне поле колового провідника. Взаємодія струмів. Закон повного струму. Застосування закону повного струму. Вихровий характер магнітного поля.

Практичне заняття 9.

Розрахунок магнітних полів.

Лекція 14

Тема 2.9. Електромагнітні явища

Потік вектора магнітної індукції. Робота по переміщенню контуру зі струмом в магнітному полі. Закон Фарадея для явища електромагнітної індукції. Правило Ленца. Генератори електричного струму. Закон Генрі для явища самоіндукції. Індуктивність контуру. Процеси в колах з індуктивністю. Взаємоіндукція. Трансформатори.

Лекція 15

Тема 2.10. Енергія магнітного поля. Система рівнянь Максвелла для електромагнітного поля.

Енергія контуру зі струмом. Об'ємна густина енергії магнітного поля.

Гіпотези Максвелла. Рівняння Максвелла в інтегральній формі. Рівняння Максвелла в диференціальній формі. *Диференціальне рівняння електромагнітної хвилі.

Практичне заняття 10.

Закони електромагнітної індукції. Розрахунок енергії магнітних полів.

Змістовний модуль 3. Коливальні та хвильові процеси. Оптика.

Лекція 1

Тема 3.1. Механічні та електромагнітні коливання

Коливальні процеси та системи. Пружинний маятник, фізичний маятник, електричний коливальний контур. Приведене диференціальне рівняння коливань. Диференціальне рівняння гармонічних коливань. Подання гармонічних коливань в комплексній формі. *Додавання однонаправлених коливань. *Биття. *Додавання взаємо ортогональних коливань. *Фігури Ліссажу.

Лекція 2

Тема 3.2. Механічні та електромагнітні згасаючі коливання. Енергія у коливальному процесі

Диференціальне рівняння вільних згасаючих коливань та його розв'язок. Характеристики згасання: декремент згасання та логарифмічний декремент згасання. Перетворення енергії при гармонічних коливаннях. *Аперіодичні процеси. Вимушені коливання. АЧХ вимушених коливань. Явище резонансу та його роль в техніці. *Автоколивання. *Блок-схема автоколивальної системи.

Лекція 3

Тема 3.3. Загальні закономірності хвильових процесів

Поздовжні та поперечні хвилі. Рівняння плоскої монохроматичної синусоїдальної хвилі. Швидкість механічних хвиль в газах, рідинах та твердих тілах. Потік енергії хвилі (вектор Умова). Стоячі хвилі. *Ефект Доплера.

Лекція 4

Тема 3.4. Звукові та електромагнітні хвилі

Звукові хвилі, їх основні характеристики (гучність, тон, тембр, поріг чутливості, поріг больових відчуттів). Область чутності (діаграма чутності). Закон Вебера-Фехнера. Ультразвук та інфразвук. Явище реверберації. Диференціальне рівняння електромагнітної хвилі. Дослідження Герца. Вектор Пойнтинга.

***Тема 3.5. Геометрична оптика**

Явище повного внутрішнього відбивання. Волоконна оптика. Оптичні деталі (плоске дзеркало, сферичне дзеркало, плоскопаралельна пластинка, призма, тонка лінза). Характеристичні точки, лінії та поверхні лінзи. Графічні елементи системи тонкої лінзи. Формула тонкої лінзи. Найпростіші оптичні прилади: лупа, проекційний апарат.

Лекція 5

Тема 3.6. Хвильова оптика. Дифракція та інтерференція.

Інтерференція світла. Дифракція світла. Почасова когерентність. Просторова когерентність. Інтерференція на пластині та клині. *Інтерферометри. Застосування інтерференції. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція Френеля та Фраунгофера. Метод зон Френеля. Формула

дифракційної решітки. Дифракція на кристалічній решітці (формула Вульфа - Бреггів). Роздільна здатність оптичних приладів. *Уявлення про голографію.

Лекція 6

Тема 3.7. Хвильова оптика. Поляризація.

Поляризація світла. Плоскополяризоване світло. Поляризація при відбиванні та заломленні світла. Закон Брюстера. Подвійне променезаломлення в кристалах. Поляризаційні пристрої (стопа Столетова, призма Ніколя, поляроїдні плівки). Закон Малюса. Штучна анізотропія. Ефект Керра. Застосування поляризованого світла в техніці.

Практичне заняття 1.

Гармонічні коливання та системи. Хвильові процеси. Хвильова оптика. Дифракційні решітки. Поляризаційні пристрої. Закони Брюстера та Малюса.

Змістовний модуль 4. Основи квантової фізики та фізики ядра

Лекція 7

Тема 4.1. Квантова оптика. Закони теплового випромінювання.

Теплове випромінювання та люмінесценція. Спектр випромінювання АЧТ. Випромінюваність, спектральна поглинальна та спектральна випромінювальна здатність. Абсолютно чорне тіло (АЧТ). Закони теплового випромінювання: закон Кірхгофа, закон Стефана-Больцмана та закон зміщення Віна. Утруднення класичної теорії теплового випромінювання.

Лекція 8

Тема 4.2. Квантова оптика. Гіпотеза Планка. Фотони.

Квантова гіпотеза Планка та формула Планка для спектра АЧТ. Оптична пірметрія. Зовнішній фотоефект. Закони Столетова. Рівняння Ейнштейна для фотоефекту. Використання фотоефекту в техніці. Маса та імпульс фотона. Світловий тиск. Ефект Комптона та його пояснення. Корпускулярно-хвильовий дуалізм електромагнітного випромінювання (КХД).

Лекція 9

Тема 4.3. Корпускулярно-хвильовий дуалізм матерії.

КХД матерії: гіпотеза та формула де Бройля. Співвідношення невизначеностей Гейзенберга та хвильові властивості мікрочастинок. Границі застосовності класичної механіки. Рівняння Шредінгера. Хвильова функція та її фізичний зміст. Приклади розрахунку поведінки електрона в найпростіших полях.

Практичне заняття 2

Закони теплового випромінювання та їхнє застосування. Квантова гіпотеза Планка. Закони фотоефекту. Застосування формули де Бройля та співвідношення невизначеностей Гейзенберга.

Лекція 10

Тема 4.4. Теорія атома. Постулати Бора

Теорія Бора. Застосування рівняння Шредінгера до атома водню. Квантові числа та їх фізичний зміст: головне квантове число, орбітальне квантове число, магнітне квантове число, спінове квантове число.

Лекція 11

Тема 4.5. Принцип Паулі. Енергетичні рівні та спектри атомів, молекул

Спектр атома водню та воднеподібних атомів. Принцип Паулі. Магічні числа. Принципи побудови таблиці елементів Менделєєва. Оптичні та глибинні електрони. Рентгенівські спектри атомів. Формула Мозлі для характеристичного рентгенівського спектру. Фізична природа хімічного зв'язку. Енергетичні рівні та спектри молекул. Резонансне поглинання, спонтанне випромінювання, вимушене резонансне випромінювання. Принцип дії лазерів, їхні типи та практичне використання

Лекція 12

Тема 4.6. Основи електроніки. Елементи зонної теорії твердих тіл

Елементи зонної теорії твердих тіл. Статистика Фермі-Дірака та Бозе-Ейнштейна. Рівень Фермі. Температура виродження. Заповнення енергетичних зон. Провідники, діелектрики та напівпровідники з точки зору зонної теорії.

Лекція 13

Тема 4.7. Основи електроніки. Напівпровідники.

Електропровідність напівпровідників. Донорна провідність, акцепторна провідність. Контакти напівпровідників різних типів та напівпровідників з металами. Напівпровідникові прилади. Діод. Уні- та біполярні транзистори. Основи мікро- та наноелектроніки. *Надпровідність та її пояснення. *Теорія БКШ. *Куперівські пари. *Ефект Мейснера. *Ефекти Джозефсона

Практичне заняття 3

Теорія атома. Елементи зонної теорії твердих тіл. Провідники, діелектрики та напівпровідники з точки зору зонної теорії. Напівпровідникові прилади.

Лекція 14

Тема 4.8. Ядро та ядерні процеси

Склад ядра. Символічне зображення ядер. Розмір ядер. Ізотопи. Ядерні сили. Моделі ядер. Ядерні реакції. Механізми та класифікація ядерних реакцій. Закони збереження в ядерних реакціях. *Використання радіоактивних ізотопів. Радіоактивний розпад. Закон радіоактивного розпаду. Активність нукліду. Закономірності альфа- та бета-розпадів. Нейтрино. Частинки та античастинки. Сучасна фізична картина світу.

Лекція 15

Тема 4.8. Ядерна енергетика

Дефект маси ядер та енергія зв'язку ядер. Два шляхи одержання внутрішньоядерної енергії. Ланцюгова реакція поділу ядер. Ядерні реактори.

Реактори-брідери. Реакції синтезу атомних ядер (ТЯС). Проблеми керованого термоядерного синтезу. Переваги та недоліки ядерної енергетики. Взаємодія радіоактивних випромінювань з речовиною та біологічними об'єктами (радіаційна стійкість матеріалів, біологічна дія іонізуючих випромінювань). Закон поглинання. Поглинута доза, експозиційна доза та біологічна еквівалентна доза опромінення. Методи реєстрації радіоактивних випромінювань.

Практичне заняття 4

Ядро та ядерні процеси. Закони поглинання радіоактивних випромінювань. Ядерні реакції.

Примітка. Відповідно до навчального плану спеціальностей та спеціалізацій, для яких розроблена дана робоча програма з фізики, в формуванні освітньо-кваліфікаційних вимог до спеціаліста в малій мірі приймають участь деякі розділи та окремі теми курсу фізики. Такі теми в робочій програмі відзначені символами «*» та «**», що означає:

- *- тему читає викладач в скороченій формі для ознайомлення;
- ** - тема вилучається з програми, вона не викладається в лекційному курсі, та не виноситься на іспит.

ЛЕКЦІЙНИЙ КУРС

Лекційний курс охоплює всі питання типової програми (питання, які не виділені зірочкою). Лекційні години розподіляються по курсу так:

механіка	14 год
електрика та магнетизм	16 год
коливальні та хвильові процеси. Оптика	12 год
Квантова та ядерна фізика	18 год

МЕХАНІКА

Механіка – розділ фізики, який вивчає найбільш просту і найбільш загальну форму руху матерії – механічний рух. Механіка поділяється на три частини:

кінематика – вивчає рух тіл без виявлення причин, що зумовили цей рух;

динаміка – вивчає закони руху тіл і причини, що зумовили рух;

статика – вивчає закони рівноваги тіл або системи тіл. Останній розділ більш детально вивчається у курсі теоретичної механіки.

- Механіка, яка вивчає рух макроскопічних тіл, що рухаються зі швидкостями значно меншими за швидкість світла ($v \ll c$), називається *класичною механікою*.

- Механіка, яка вивчає рух тіл зі швидкостями порівняними зі швидкістю світла ($v \approx c$), називається *релятивістською механікою*.

- Механіка, яка вивчає рух мікроскопічних тіл (окремі атоми і елементарні частинки), називається *квантовою механікою*.

Під *рухом* тіла ми будемо розуміти зміну положення тіла в просторі і часі по відношенню до інших тіл. Найбільш простим видом механічного руху є рух *матеріальної точки*, тобто тіла, що має масу, а розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати. Для визначення руху матеріальної точки необхідно мати ще одне тіло, відносно якого ми визначаємо зміну

положення першого тіла в просторі. Це тіло називають *тілом відліку*, а систему пов'язану з цим тілом – *системою відліку*. Найбільш часто використовують декартову прямокутну систему координат, а положення

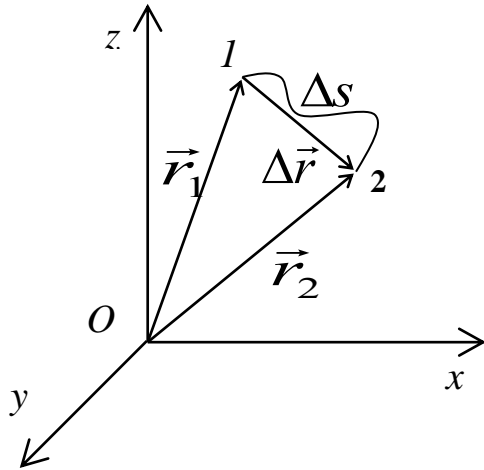


Рис. 1

точки в просторі (рис. 1) визначають трьома координатами x, y, z або радіус-вектором \vec{r} , проведеним з початку координат в дану точку (\vec{r}_1 точки 1). В загальному вигляді рух точки визначається залежністю $x=x(t), y=y(t)$ і $z=z(t)$ або $\vec{r}=\vec{r}(t)$. Ця залежність називається *рівнянням руху*.

Нехай тіло рухається з точки 1 в точку 2 (рис. 1). Радіус вектор, проведений з точки початку руху (точка 1) в точку кінця руху (точка 2), називають *переміщенням* $\Delta\vec{r}$. Переміщення – величина векторна.

Лінія, вздовж якої тіло рухається, має назву *траєкторії*. Її легко отримати, виключивши час t з рівняння руху. Довжина лінії траєкторії називається *шляхом* і позначається буквою S . Шлях є величиною скалярною. Переміщення і шлях вимірюються в метрах (м).

Для характеристики руху матеріальної точки вводиться величина швидкості, яка визначає, як швидко тіло змінює своє положення в просторі.:

$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$. Така швидкість має назву *середньої* швидкості за час Δt . Якщо

визначити швидкість у даний момент часу, тобто взяти границю від $\vec{v}_{\text{ср}}$ при

$\Delta t \rightarrow 0$, то будемо мати *миттєву* швидкість: $\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$, або $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$. В

даному випадку Δr і Δs (переміщення і шлях) майже співпадають, і ми

маємо $v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t}$, або $v = \frac{ds}{dt}$. Тоді середню швидкість можна визначити:

$v_{cp} = \frac{\Delta s}{\Delta t}$. Неважко бачити, що шлях S можна визначити формулою $ds = v dt$,

або $s = \int_{t_1}^{t_2} v dt$.

Якщо з часом швидкість змінюється, то для характеристики такого руху необхідно ввести величину, яка буде характеризувати зміну швидкості з часом – *прискорення*. Прискорення, як і швидкість, є величиною векторною і

позначається буквою \vec{a} . $a_{cp} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ (середнє прискорення), $a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$, $a = \frac{dv}{dt}$,

$a = \frac{d^2 s}{dt^2}$ (миттєве прискорення).

Прискорення може виникнути при зміні швидкості не тільки по величині, але і по напрямку. Тому прискорення поділяють на дві групи: *тангенціальне* прискорення, яке характеризує зміну швидкості по величині і визначається формулою $a_\tau = \frac{dv}{dt}$, або $a_\tau = \frac{d^2 s}{dt^2}$, і *нормальне* прискорення, яке

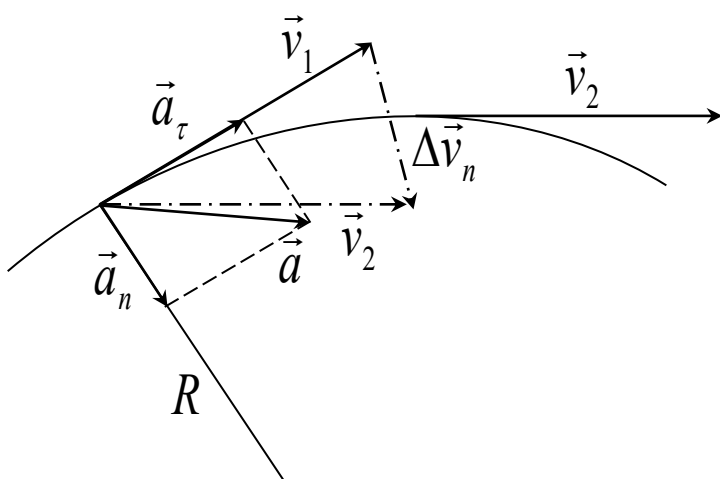


Рис. 1

характеризує зміну швидкості по напрямку і визначається

формулою $a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}$, або

$a_n = \frac{v^2}{R}$, де R – радіус кривизни

траєкторії (рис.2).

Загальне прискорення a

визначається за теоремою

Піфагора: $a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$.

У табл.1 приведена класифікація рухів. Класифікація виконана по зміні величин швидкості з часом і по виду траєкторії.

Таблиця 1

По виду траєкторії	
прямолінійний рух	криволінійний рух
Рух тіла по прямій лінії $a_n = 0$	Рух тіла по кривій траєкторії $a_n \neq 0$
<i>поступальний рух</i>	<i>обертювий рух</i>
Це рух тіла, коли кожна точка тіла має траєкторію у вигляді паралельних ліній.	Це рух тіла з траєкторією у вигляді кола навколо загального центру.
По швидкості	
рівномірний	нерівномірний
Це рух, коли $v = const, v = \frac{s}{t}, s = v \cdot t$	Це рух зі змінною швидкістю $v \neq const, v = \frac{ds}{dt}, s = \int_0^t v \cdot dt$
<i>поступальний рух</i>	<i>обертювий рух</i>
рівномірний	
$v = \frac{s}{t}, s = v \cdot t$	$\omega = \frac{\varphi}{t}, \varphi = \omega \cdot t$
$v = \omega \cdot r$	
рівнозмінний	
рівноприскорений	
$v = v_0 + a \cdot t,$ де v_0 – початкова швидкість	$\omega = \omega_0 + \varepsilon \cdot t$
$a = \varepsilon \cdot r$	
$s = s_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2},$ де s_0 – шлях при $t = 0,$ $v^2 - v_0^2 = 2 \cdot as$	$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2},$ де φ_0 – кут при $t = 0,$ $\omega^2 - \omega_0^2 = 2 \cdot \varepsilon \varphi$
рівносповільнений	
$v = v_0 - a \cdot t$ $s = s_0 + v_0 \cdot t - \frac{a \cdot t^2}{2}$ $v^2 - v_0^2 = -2 \cdot as$	$\omega = \omega_0 - \varepsilon \cdot t$ $\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t - \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}$ $\omega^2 - \omega_0^2 = -2 \cdot \varepsilon \varphi$

Примітка: ω – кутова швидкість, ε – кутове прискорення ($\varepsilon = d\omega/dt$),

φ – кут повороту радіуса-вектора.

Динаміка базується на трьох законах Ньютона. Закони Ньютона взято безпосередньо зі спостережень за природою. Вони визначають умови руху та взаємодії тіл.

I закон Ньютона (умова рівномірного руху): якщо сума усіх сил, які діють на тіло, дорівнює нулю, то тіло рухається рівномірно і прямолінійно або знаходиться у стані спокою; $\sum \vec{F}_i = 0$.

II закон Ньютона (умова змінного руху): прискорення, з яким рухається тіло, прямопропорційне сумі сил, які діють на тіло і оберненопропорційне масі тіла $\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}_i}{m}$.



Рис. 2

III закон Ньютона (умови взаємодії тіл): сила дії дорівнює силі протидії. Сили обернено направлені і прикладені до різних тіл (рис.3).

Якщо ми маємо обертовий рух, то краще користуватися не силами, які діють на тіло, а моментом сил, які вони створюють.

Момент сили – це добуток сили на плече (рис.4) $M = F \cdot h$, де h – плече (найкоротша відстань від точки обертання до лінії дії сили).

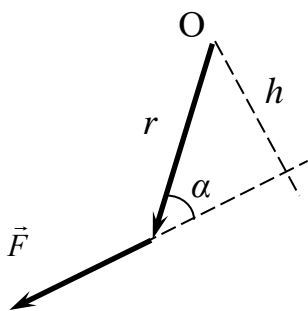


Рис. 3

Момент сили векторна величина і можна записати її як векторний добуток $\vec{M} = \vec{r} \times \vec{F}$. Момент сили рівний $M = F \cdot r \cdot \sin \alpha$.

Нехай $\alpha = \frac{\pi}{2}$, тоді $M = F \cdot r$ або $M = ma \cdot r$. Замінімо a

через кутове прискорення ε – $a = \varepsilon \cdot r$. Тоді

$M = m\varepsilon \cdot r^2$. Величина $mr^2 = I$ та називається *моментом інерції*. Звідси $M = I\varepsilon$. Ця залежність

називається II законом Ньютона для обертового руху.

Для характеристики руху тіла введемо новий параметр – *імпульс*, або кількість руху тіла. Це векторна величина, яка дорівнює добутку маси тіла на швидкість його руху $\vec{K} = m\vec{v}$.

Нехай ми маємо систему тіл, в якій діють тільки внутрішні сили, а сума зовнішніх сил дорівнює нулю. Така система називається *замкненою*, або *ізолюваною*. Так, для замкненої системи геометрична сума імпульсу є величина стала $\sum \vec{K}_i = \sum m_i \vec{v}_i = const$. Це отримало назву *закону збереження імпульсу*.

Розглянемо це на прикладі руху ракети (рис.5). Ракета є замкненою системою. До початку руху ракети імпульс системи був рівний нулю. Після того, як паливо масою m_{Γ} витікає зі швидкістю v_{Γ} , імпульс не дорівнює нулю. Для збереження імпульсу системи ракета повинна рухатись у протилежний бік зі швидкістю v_P так щоб виконалась умова (закон збереження імпульсу):

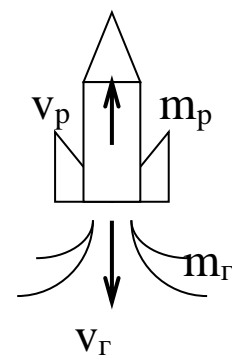


Рис. 4

$m_{\Gamma} \vec{v}_{\Gamma} + m_P \vec{v}_P = 0$ або $v_P = -\frac{m_{\Gamma} v_{\Gamma}}{m_P}$. Знак “-“ показує, що ракета повинна рухатись у протилежний бік від напрямку витікання палива. Такий рух отримав назву *реактивного руху*.

Для обертового руху вводиться параметр – момент імпульсу L . Момент імпульсу є величина векторна і чисельно дорівнює $L = m \cdot v \cdot r$, де r – відстань від маси m до вісі обертання. Так як \vec{L} величина векторна, її можна записати як векторний добуток $\vec{L} = \vec{r} \times (m \cdot \vec{v})$ або $L = m \cdot v \cdot r \cdot \sin \alpha$, де α – кут між v і r .

Для замкнених систем геометрична сума моментів імпульсу є сталою величиною. Це отримало назву *закону збереження моменту імпульсу*: $\sum \vec{L}_i = const$. Цю формулу можна переписати через параметри I і ω . Так як

$v = \omega \cdot r$, маємо $L = m \cdot \omega \cdot r^2$; $m \cdot r^2 = I$, тоді $L = I \cdot \omega$ і закон збереження імпульсу буде записано так $\sum L_i = \sum I_i \omega_i = const$.

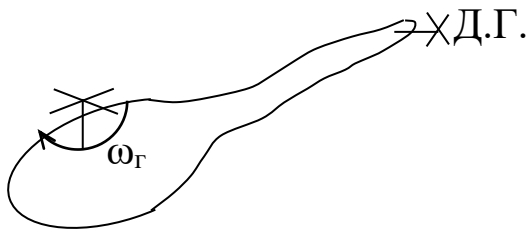


Рис. 5

Розглянемо закон збереження моменту імпульсу на прикладі руху гелікоптера (рис. 5). Так як гелікоптер є

замкненою системою, для нього виконується закон збереження моменту імпульсу. До початку руху гвинта момент імпульсу був рівний нулю. Якщо гвинт рухається з кутовою швидкістю $\omega_Г$, то сам корпус гелікоптера повинен рухатися з деякою кутовою швидкістю $\omega_к$ ($I_Г \omega_Г + I_к \omega_к = 0$). Для того щоб цього не відбувалося у гелікоптера є додатковий гвинт (ДГ), який робить з гелікоптера незамкнену систему, тобто протидіє обертанню корпусу гелікоптера.

Енергія – це універсальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Тіло, що має енергію спроможне виконати роботу. Енергія позначається буквою E .

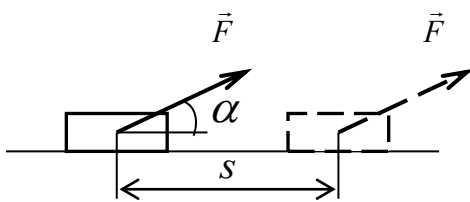


Рис. 6

Робота A є величина, яка чисельно дорівнює добутку сили, яка діє на тіло на шлях переміщення і косинус кута між силою F і напрямом переміщення: (рис.7):

$A = F s \cos \alpha$. Робота вимірюється у джоулях

(Дж) $[A] = H \cdot m = Дж$. Для змінної сили робота дорівнює $dA = F ds \cos \alpha$ або

$$A_{12} = \int_0^s F \cos \alpha ds .$$

Потужність характеризує роботу системи, яку вона виконує за одиницю часу: $N = \frac{A}{t}$ або $N = \frac{dA}{dt} = \frac{F ds}{dt} = Fv$. Потужність вимірюється у

ватах (Вт) $[N] = \frac{Дж}{с} = Вт$. Якщо система мала у першому стані енергію E_1 і

переходить у стан 2 з енергією E_2 , то $A_{12} = E_1 - E_2$, тобто зміна енергії системи іде на виконання роботи. Тіло, що рухається зі швидкістю v має енергію, яка називається *кінетичною* і для поступального руху вона визначається

формулою $E_k = \frac{mv^2}{2}$. При обертовому русі необхідно лінійну швидкість

замінити на кутову $v = \omega \cdot r$, тоді $E_k = \frac{mr^2\omega^2}{2}$ або $E_k = \frac{I\omega^2}{2}$. Це формула

кінетичної енергії для обертового руху.

Потенціальна енергія – це частина загальної механічної енергії системи, яка визначається взаємним розміщенням тіл або частинок тіл системи. Так для системи тіл земля-тіло потенціальна енергія дорівнює

$E_n = mgh$, де h – висота, на якій знаходиться тіло над землею. Якщо ми маємо пружну деформацію, то потенціальна енергія деформованого тіла

(наприклад, деформованої пружини) визначається формулою $E_n = \frac{kx^2}{2}$, де k

– коефіцієнт пружності пружини ($k = F$ при $x = 1$), x – деформація пружини.

Енергія системи не може самовільно виникнути, а також безслідно зникнути. Для системи, в якій відсутні сили тертя або опору (консервативна система), сума кінетичної і потенціальної енергії є величиною сталою $E_k + E_n = const$. Це є *закон збереження механічної енергії для консервативних систем*.

Англійський фізик І.Ньютон, вивчаючи рух небесних тіл, прийшов до висновку, що всі тіла притягуються одне до одного і величина цієї сили

дорівнює $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, де G – коефіцієнт пропорційності – гравітаційна

стала, m_1 і m_2 – маси тіл, а r – відстань між ними. Гравітаційна взаємодія між тілами передається через *гравітаційне поле* – матеріальне середовище, яке існує навколо тіл і через яке передається взаємодія. Для характеристики гравітаційного поля вводять два параметри: 1) силова характеристика – напруженість поля; 2) енергетична характеристика поля – потенціал.

Напруженість поля E – чисельно дорівнює силі, яка діє на одиничну пробну масу, яка внесена в дане поле $E = \frac{F}{m_o}$, так як $F = G \frac{mm_o}{r^2}$, то

$E = G \frac{m}{r^2}$. Але у полі тяжіння Землі сила ваги тіла дорівнює $P = mg$, а з

іншого боку по закону всесвітнього тяжіння Ньютона $P = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$, тоді

$mg = G \frac{M_3 m}{R_3^2}$ і $g = G \frac{M_3}{R_3^2}$. Неважко бачити, що напруженість поля Землі

чисельно дорівнює прискоренню вільного падіння $E_{зем} = g$.

Потенціал поля φ – величина, яка чисельно дорівнює відношенню потенціальної енергії гравітаційного поля до пробної маси m_o $\varphi = \frac{E_n}{m_o}$.

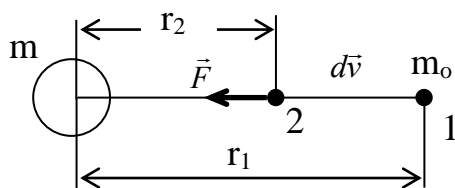


Рис. 7

Розглянемо чому дорівнює робота по переміщенню пробної маси m_o у полі тяжіння з точки 1 в точку 2 (рис.8). Робота дорівнює $dA = F ds$, але $F = G \frac{mm_o}{r^2}$ і є

функцією від відстані r . Тому робота $dA = G \frac{mm_o}{r^2} dr$ або

$$A_{12} = \int_{r_2}^{r_1} G \frac{mm_o}{r^2} dr = -G \left(\frac{mm_o}{r_2} - \frac{mm_o}{r_1} \right), \quad A_{12} = G \frac{mm_o}{r_1} - G \frac{mm_o}{r_2}. \quad \text{З іншого}$$

боку $A_{12} = E_{n_1} - E_{n_2}$, а тому $E_n = G \frac{mm_o}{r}$. Тоді потенціал поля буде

дорівнювати $\varphi = G \frac{m}{r}$. Потенціал φ і напруженість поля E пов'язані між

собою формулою $E = -\frac{d\varphi}{dr}$, де знак “-” показує, що вектор напруженості

поля \vec{E} протилежно напрямлений до зростання потенціалу $d\varphi$. Величина

$\frac{d\varphi}{dr}$ називається *градієнтом потенціалу* і показує зміну потенціалу на

одиницю довжини. В математиці вводиться оператор

$$\overrightarrow{\text{grad}} \varphi = \vec{i} \frac{\partial \varphi}{\partial x} + \vec{j} \frac{\partial \varphi}{\partial y} + \vec{k} \frac{\partial \varphi}{\partial z}, \text{ тобто } -\text{grad} \varphi = E.$$

Рух рідин називається *течією*, а сукупність частинок рідини, яка рухається, є *потік*. Для графічного зображення руху рідини вводиться поняття *лінії течії*. Це лінія, дотична до якої в кожній точці співпадає зі швидкістю потоку. Лінії проводять таким чином, щоб густина їх була пропорційною швидкості потоку. Частина рідини, яка обмежена лініями току називається *трубкою потоку*.

Потік, коли лінії потоку не перетинаються, називають *ламінарним потоком*, а потік, в якому лінії потоку перетинаються, носить назву *турбулентного потоку*.

Нехай потік має форму як показано на рисунку 9. За час Δt переріз S_1 пройде шлях Δl_1 , а $S_2 - \Delta l_2$. А об'єми будуть $\Delta V_1 = s_1 \Delta l_1$

і $\Delta V_2 = s_2 \Delta l_2$ або $\Delta V_1 = s_1 v_1 \Delta t$ і

$\Delta V_2 = s_2 v_2 \Delta t$. В силу нестисливості рідини

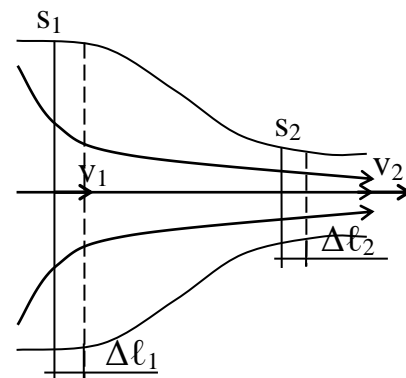


Рис. 8

об'єми $\Delta V_1 = \Delta V_2$ або $s_1 v_1 \Delta t = s_2 v_2 \Delta t$ і маємо $s_1 v_1 = s_2 v_2$. Це співвідношення отримало назву *рівняння неперервності*.

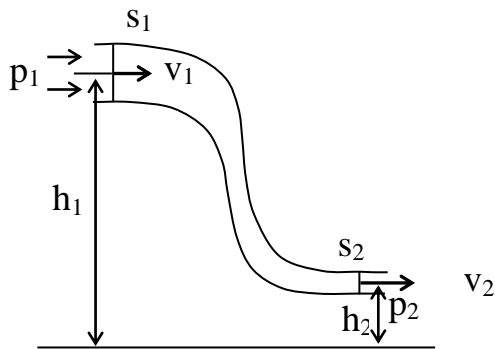


Рис. 9

Нехай потік рідини має форму
рис. 9. Між величинами v_1 , p_1 , h_1 і v_2 ,
 p_2 , h_2 існує співвідношення:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2,$$

де ρ – густина рідини. Це співвідношення називається *рівнянням*

Бернуллі. Величина $\frac{\rho v^2}{2}$ має назву *динамічного тиску*, $\rho g h$ – *статичного тиску*, p – *зовнішній тиск*.

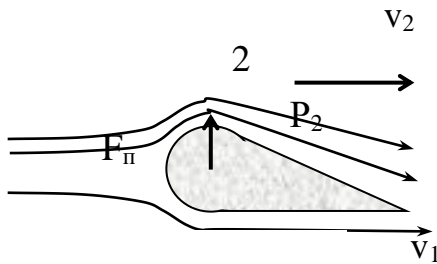


Рис. 10

Розглянемо приклад застосування рівняння Бернуллі. На рисунку 10 показано потік повітря навколо крила літака.

Запишемо рівняння Бернуллі для точок 1 і 2:

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2$$

Так як $h_1 \approx h_2$ (товщина крила невелика), то рівняння має вигляд

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + p_2.$$

Неважко бачити, що $v_2 > v_1$, то $p_1 > p_2$ і

результуюча сила, яка діє на крило, буде направлена вгору. Ця сила має назву *підйомна сила крила літака*.

ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ

Розділ “Електрика та магнетизм” вивчає властивості електричних зарядів які знаходяться в статичному та рухомому стані, поняття і закономірності електричного струму та властивості магнітного поля створеного електричним струмом.

В природі існує два типи зарядів – позитивні і негативні. Однойменні заряди відштовхуються, а різнойменні притягуються. Любий заряд кратний заряду електрона $q = n \cdot e$, де $n=1,2,3\dots$. Це означає, що заряд у природі дискретний, кратний заряду електрона. Кількісна форма взаємодії зарядів

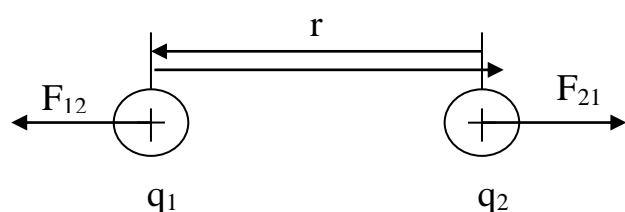


Рис. 11

виражається законом Кулона

(рис. 11) $F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$, де q_1 і q_2 –

величини зарядів, r – відстань між зарядами, ϵ – діелектрична

проникливість середовища, ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму. Якщо в простір, який оточує заряд, внести інший заряд, то на нього діє сила. Це означає, що навколо заряду існує силове, *електростатичне поле* – матеріальне середовище, через яке передається взаємодія між зарядами.

По аналогії до гравітаційного поля – електростатичне поле характеризується двома величинами:

- силова характеристика – напруженість поля:

$$E = \frac{F}{q_0}, \text{ або } E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

- енергетична характеристика – потенціал поля $\varphi = \frac{E_n}{q_0}$ або для

точкового заряду $\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}$.

Якщо одна точка поля має потенціал φ_1 а друга φ_2 , то величина $\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi$ називається різницею потенціалів і чисельно дорівнює роботі по переміщенню одиночного пробного заряду із точки 1 в точку 2:

$$q_0 \Delta\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2) q_0 = A_{12}.$$

Між напруженістю поля і різницею потенціалів існує залежність

$$E_x = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x}, \text{ або } E = -\text{grad}\varphi.$$

Для електричного поля справедлива властивість суперпозиції:

$\vec{E}_{\text{сум}} = \sum \vec{E}_i$, тобто напруженість одного заряду не залежить від наявності в просторі других зарядів.

Величину $L = E S \cos\alpha$ називають *потокм напруженості* електричного поля через площу S . У цій формулі α – кут між \vec{E} і нормаллю до площини S . Нехай заряд q створює поле напруженістю E (рис.12). Знайдемо повний потік, який охоплює цей заряд. Охопимо заряд сферою радіуса R .

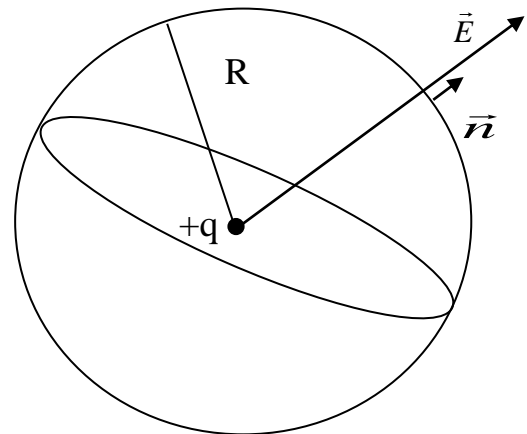


Рис. 12

Напруженість поля \vec{E} і \vec{n} до поверхні S паралельні. Повний потік через площу S

буде $L = \oint_S E \cos\alpha \cdot dS$. Так як $\alpha=0$, то $L = \oint_S E \cdot dS$. Напруженість поля для

точок сфери $E = \text{const}$, тому $\oint_S E \cdot dS = E \cdot S_{\text{сф}}$. $S_{\text{сф}} = 4\pi R^2$, а $E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2}$.

Таким чином,
$$\oint_S \mathbf{E}_n \cdot d\mathbf{S} = \frac{4\pi R^2 \cdot q}{4\pi \epsilon \epsilon_0 R^2} = \frac{q}{\epsilon \epsilon_0}.$$

В загальному вигляді
$$\oint_S \mathbf{E}_n \cdot d\mathbf{S} = \frac{\sum q_s}{\epsilon \epsilon_0},$$
 тобто повний потік через

замкнену поверхню дорівнює сумі зарядів, які охоплюються цією поверхнею. Ця закономірність має назву *теорема Гаусса*.

Діелектриком називають речовину, яка не проводить електричний струм. Для розгляду питання про поведінку діелектриків в електростатичному полі необхідно розглянути поняття електричного диполя. *Електричним диполем* називають два різнойменних заряди, які знаходяться на відстані l один від одного. Диполь характеризується параметром – дипольним моментом P , який дорівнює $P = |q| \cdot l$. Діелектрики, по відношенню до впливу на них електричного поля, поділяють на три групи.

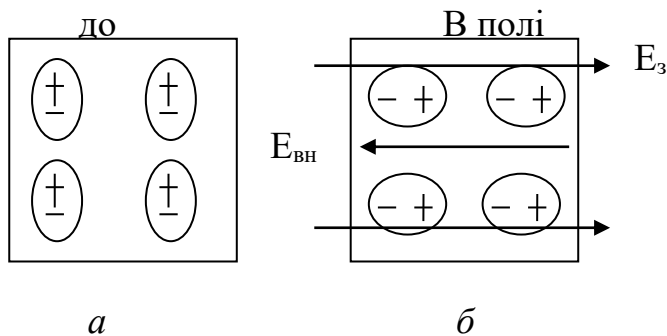


Рис. 13

Першу групу складають діелектрики, молекули яких до внесення в електричне поле не мають дипольного моменту. Для них центри ваги позитивних та негативних зарядів співпадають (рис. 13, а).

Після внесення в поле, центри ваги зарядів зміщуються (рис. 13, б) і молекули такого діелектрика набувають дипольний момент. Набуття діелектриком дипольного моменту під дією поля називається *поляризацією*. Незавжди бачити (рис. 13, б), що деформація зарядів молекул приводить до створення внутрішнього поля і сумарне поле $E_{\text{сум}} = E_z - E_{\text{вн}}$; До таких діелектриків відносяться N_2 , H_2 , CO_2 , CH_4 та ін.

Другу групу створюють діелектрики в яких молекули до внесення в електричне поле мають дипольний момент, але за рахунок теплового хаотичного руху молекул сумарний дипольний момент діелектрика поза полем дорівнює нулю. При внесенні в електричне поле відбувається орієнтація диполів по полю, що призводить до появи сумарного дипольного моменту діелектрика відмінного від нуля, тобто діелектрик поляризується. До таких діелектриків відносяться H_2O , NH_3 , CO та інші.

Третю групу діелектриків складають іонні кристали NaCl , KCl , KBr та інші. Сумарний дипольний момент таких кристалів, до внесення в поле дорівнює нулю. При внесенні в електричне поле відбувається поляризація діелектрика, за рахунок деформації кристалічної решітки.

Основою поведінки всіх таких типів діелектриків є їх поляризація. Для характеристики поляризації діелектриків в електричному полі вводять

вектор поляризації: $\vec{j} = \frac{\sum_i \vec{P}_i}{\Delta V}$, де $\sum_i \vec{P}_i$ – сумарний наведений дипольний момент діелектрика, ΔV – об'єм поляризованого діелектрика.

Вектор поляризації пов'язаний із зовнішнім полем E , формулою $\vec{J} = \kappa \epsilon_0 \vec{E}$, κ – діелектрична сприйнятливість діелектрика.

Провідники – це клас речовин, які проводять електричний струм. В таких речовинах заряди, на відміну від зв'язаних зарядів в діелектрику, вільні і мають можливість під дією електричного поля переміщуватися. Це призводить до корінної відмінності поведінки провідників в електричному полі від діелектриків.

При внесенні в електричне поле провідника, заряд під дією поля зміщується (рис. 14). Зміщення протікає до тих пір поки внутрішнє поле, створене зміщеними

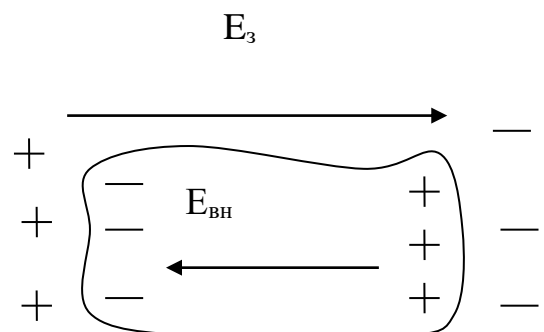


Рис. 14

зарядами, не буде рівне зовнішньому полю. Тобто $E_{вн}=E_3$ і поле всередині провідника відсутнє. Це має назву *електростатичного захисту*.

Нехай ми маємо одинокий провідник. Надамо йому заряд q_1 . Заряд розподілиться по поверхні провідника і створить на поверхні провідника потенціал φ_1 . Надамо ще заряд q_2 . Потенціал провідника зміниться на φ_2 . Між величиною заряду і потенціалом, який виникає існує залежність: $q = C \cdot \Delta\varphi$ або $C = \frac{q}{\Delta\varphi}$, де C має назву *ємності*.

Ємність вимірюється у фарадах: $1\text{Ф}=\text{Кл/В}$. Але це дуже велика величина, тому вводять $1\text{мкФ}=10^{-6}\text{ Ф}$ і $1\text{нФ}=10^{-12}\text{ Ф}$. Система, яка приводить до створення зв'язаних зарядів носить назву *конденсатора*. Наприклад, дві плоскі пластини на відстані d одна від другої (рис. 15), що має назву

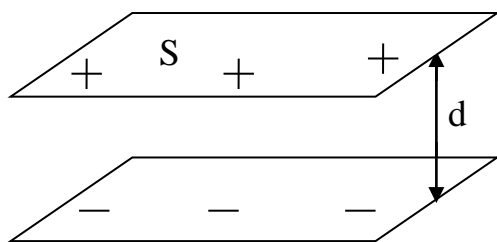


Рис. 15

плоского конденсатора. Ємність такого

конденсатора: $C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$, де S – площа

пластини конденсатора, d – відстань між

ними. Конденсатор має енергію, яку

можна вирахувати так: $dE = qd\varphi$ або

$$dE = C\Delta\varphi d\Delta\varphi.$$

Позначимо $\Delta\varphi$ через U (напруга) і маємо $dE = CUdU$ або

$$E_{\text{конд}} = \frac{CU^2}{2}.$$

Неважко бачити, що енергія конденсатора буде відповідати

енергії електричного поля зарядів конденсатора.

Під електричним струмом ми будемо розуміти напрямлений, упорядкований полем рух заряджених частинок (зарядів).

Кількісною мірою електричного струму є сила струму I : $I = \frac{dq}{dt}$, де dq – заряд, який переноситься через поперечний переріз провідника, dt – час.

За одиницю сили струму приймається 1 Ампер (А)=1Кл/с. Крім сили струму вводиться густина струму $i = \frac{I}{\Delta S}$, де ΔS – поперечний переріз провідника. Густина струму вимірюється в А/м².

Провідник, по якому протікає струм, характеризується величиною R – опір провідника. Для циліндричної форми провідника опір $R = \rho \frac{l}{S}$, де ρ – питомий опір, l – довжина провідника, S – площа поперечного перерізу провідника.

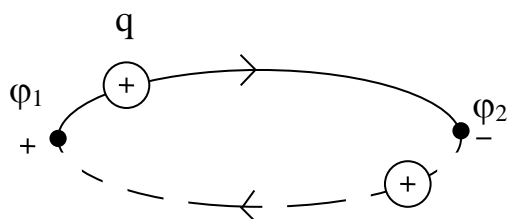


Рис. 16

Якщо до провідника з опором R прикладена напруга U , то сила струму $I = U / R$. Ця залежність вперше була отримана Г.Омом і носить назву *закону Ома в інтегральній формі* для однорідної ділянки кола – ділянки, яка не містить джерела струму. Густина струму для

такої ділянки кола визначається формулою $i = \frac{1}{\rho} E$, або $i = \sigma E \frac{1}{\rho} = \sigma$, де σ

– питома електропровідність провідника, а E напруженість електричного поля. Для підтримання струму в колі необхідно, щоб заряди, які в зовнішньому колі переносяться електричними силами (рис. 16, суцільна лінія), переносити проти електричного поля (рис. 16, пунктирна лінія). Це можна зробити тільки силами неелектричного походження. Такі сили отримали назву *сторонніх сил*. Природа цих сил може бути різною.

Наприклад, в батарейках це хімічні сили. У наведеному прикладі коло буде замкнене і має джерело сторонніх сил, або електрорушійних сил (ЕРС), тобто батарею. Коло, яке має джерело струму називають *неоднорідним колом*. Для такого кола $I = \frac{E}{R + r}$, де E – це ЕРС, R – опір зовнішнього кола, r - опір самого джерела струму. Ця залежність має назву *закону Ома для замкнутого кола*.

При русі зарядів по електричному полю виконується робота – dA , яка дорівнює $dA = qdU$ або $dA = I \cdot U \cdot dt$. Повна робота $A = IUt$. Ця формула справедлива для постійного струму.

Як відомо потужність $P = \frac{A}{t}$. Для постійного електричного струму

$P = IU$. Враховуючи зв'язок між I , U та R маємо:

$$\begin{aligned} A &= IUt, & P &= IU, \\ A &= \frac{U^2}{R}t, & P &= \frac{U^2}{R}, \\ A &= I^2Rt, & P &= I^2R. \end{aligned}$$

Якщо сила струму вимірюється в амперах, напруга в вольтах, а опір в омах, то робота вимірюється в Дж, а потужність – у Вт. На практиці використовують одиницю енергії кВт·година. $1\text{кВт}\cdot\text{год} = 10^3\text{Вт}\cdot 3600\text{с} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Якщо струм проходить по провіднику, вся робота струму йде на його нагрівання, тобто $Q = A = I \cdot U \cdot t$. Ця залежність має назву *закону Джоуля-Ленца*.

Магніти були відомі людству давно, ще понад 2000 років до нашої ери. Стародавні китайці використовували магніти як компас. Глибоке фізичне дослідження магнітів та їх властивостей відбулося лише в XIX столітті. Дослід показує, що магніти мають два полюси N і S і ці полюси

нерозділимі. Одноіменні полюси відштовхуються, а різноіменні притягуються. Навколо магнітів існує магнітне поле – матеріальне середовище, через яке передається взаємодія між магнітами. Магнітне поле як силове поле, характеризується параметром \vec{B} – вектором магнітної індукції, яка вимірюється у Теслах (Тл). Спочатку вважали, що магнітне поле існує тільки навколо постійних магнітів, але в 1825 році датський фізик Х.Ерстед показав, що магнітне поле виникає навколо провідника, по якому протікає електричний струм. В цьому ж році французький фізик А.Ампер показав, що на провідник, по якому протікає електричний струм, діє сила, якщо провідник знаходиться в магнітному полі:

$$F = IBl \cdot \sin \alpha ,$$

де I – сила струму, B – вектор індукції магнітного поля, l – довжина провідника, α – кут між напрямком струму і вектором \vec{B} . З цієї формули видно, вектор індукції магнітного поля є силова характеристика магнітного поля. Причиною виникнення сили Ампера є результат взаємодії магнітного поля провідника із струмом і зовнішнього поля з індукцією B .

Тоді на рухомий заряд в магнітному полі повинна діяти сила, оскільки рухомий заряд це є теж електричний струм. Сила, яка діє на рухомий заряд, має назву *сили Лоренца*:

$$f = qvB \sin \alpha ,$$

де q – величина заряду, v – швидкість його руху, B – вектор індукції магнітного поля, а α - кут між \vec{B} і \vec{v} .

Нехай заряд влітає вздовж силових ліній магнітного поля. Кут α буде рівний нулю. Це означає, що на заряджену частинку, яка влітає вздовж силових ліній, не діє сила, так як сила Лоренца дорівнює нулю.

Якщо частинка влітає під

кутом до силових ліній, то

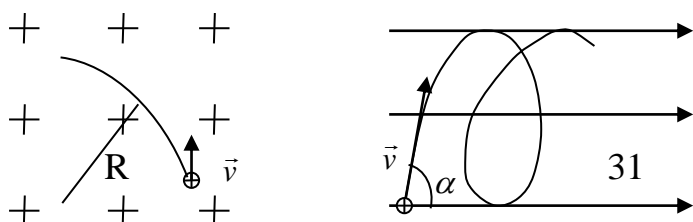


Рис. 17

виникає сила Лоренца, і якщо кут $\alpha = \pi/2$, частинка рухається по колу радіуса R (рис. 17, а), а якщо кут $\alpha \neq \pi/2$, то частинка рухається по спіралі (рис. 17, б).

↑ Магнітне поле постійного струму вивчалось французькими фізиками Ж.Біо, Ф.Саваром. П.Лаплас узагальнив ці дослідження і сформулював

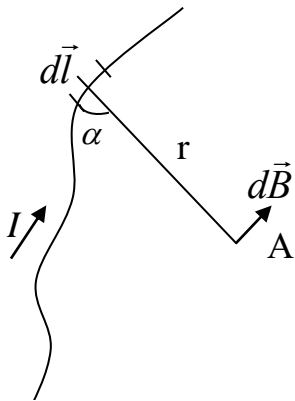


Рис. 18

закон, який отримав назву закону *Біо-Савара-Лапласа*. Цей закон дозволяє визначити величину індукції магнітного поля, яку створює в деякій точці елемент провідника dl , по якому проходить струм I (рис. 18):

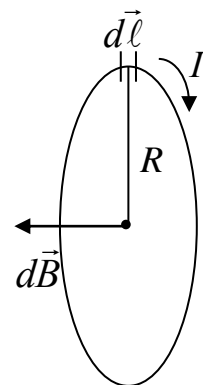
$$dB = \frac{\mu\mu_0 dl \sin \alpha}{4\pi r^2},$$

де I – сила струму, dl – елемент довжини, r – відстань від dl до дослідної точки, α кут між dl і r , μ_0 – магнітна стала, μ – магнітна проникність середовища. Цей закон дозволяє розрахувати індукцію магнітного поля провідника зі струмом довільної конфігурації. Сумарне поле провідника зі струмом, згідно з принципом суперпозиції, знаходиться:

$$B = \int dB = \int \frac{\mu\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi r^2}.$$

Розглянемо це на прикладі колового струму. Нехай по провіднику у вигляді кола радіуса R протікає струм I (рис. 19). Виділимо елемент довжини dl . Запишемо по закону Біо-Савара-Лапласа:

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I dl \sin \alpha}{4\pi R^2}.$$



Так як $\alpha = \pi/2$, $dB = \frac{\mu\mu_0 I dl}{4\pi R^2}$. По принципу **Рис. 19**

суперпозиції, а також враховуючи, що елементарні вектори індукції поля від любого елемента довжини напрямлені в одну сторону, маємо:

$$B = \int \frac{\mu\mu_0 I dl}{4\pi R^2}, \text{ величини } \mu, \mu_0, I \text{ і } R - \text{сталі. Тоді маємо: } B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} \int_0^l dl \text{ або}$$

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R^2} \cdot 2\pi R, \quad B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}.$$

Величина $\oint_l B_n dl = \oint_l B \cos \alpha \cdot dl$ має назву *циркуляції* магнітного поля,

де α – кут між вектором \vec{B} і елементом довжини dl . Знайдемо циркуляцію магнітного поля прямого провідника зі струмом. Індукція магнітного поля

прямого нескінченного провідника із струмом дорівнює: $B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R}$, де R –

відстань дослідної точки, в якій ми знаходимо B від провідника. Охопимо

провідник колом радіуса R . Тоді $\oint_l B_n dl = \oint_l \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R} dl$. Так як I, μ, μ_0 і R сталі

величини, маємо:

$$\oint_l B_n dl = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R} \int_0^{2\pi R} dl \text{ або } \oint_l B_n dl = \frac{\mu\mu_0 I 2\pi R}{2\pi R} \text{ і } \oint_l B_n dl = \mu\mu_0 I.$$

В загальному випадку ця закономірність має вигляд:

$$\oint_l B_n dl = \mu\mu_0 \sum I_i,$$

де $\sum I_i$ – сума струмів, які охоплюються контуром. Ця закономірність має назву *закону повного струму*.

В 1831 році М.Фарадей поставив перед собою задачу знайти зв'язок між магнітним полем та струмом в провіднику. Було відомо, що навколо провідника із струмом виникає магнітне поле. А зможе магнітне поле створити струм в провіднику? Це питання розв'язав М.Фарадей, який

відкрив явище електромагнітної індукції. При внесенні в котушку, яка замкнена на гальванометр, або при віддаленні постійного магніту в котушці виникає електричний струм. Струм виникає лише при русі магніту. Проводячи різноманітні досліди Фарадей прийшов до висновку, що індукційний струм виникає завжди при зміні магнітного потоку, який пронизує контур. Це явище і отримало назву *електромагнітної індукції*.

Магнітний потік Φ дорівнює $\Phi = BS \cos \alpha$, де B – індукція магнітного поля, S – площа через яку вона проходить, α – кут між нормаллю до площини і вектором \vec{B} .

Максвелл показав, що ЕРС індукції дорівнює зміні магнітного потоку з часом: $E = -\frac{d\Phi}{dt}$ (закон Фарадея).

Російський вчений Ленц, опираючись на закон збереження енергії, показав, що індукційний струм завжди має такий напрямок, що його магнітне поле протидіє зміні магнітного потоку, який визвав цей струм. Це отримало назву *правила Ленца* (знак “–“ в законі Фарадея).

Якщо ми маємо котушку в якій проходить зміна величини або напрямку струму, то в ньому змінюється і магнітний потік, який пропорційний силі струму: $\Phi = LI$, де L – індуктивність контуру. Індуктивність L вимірюється в Генрі (Гн). Тоді згідно закону Фарадея в цій котушці повинен виникнути індукційний струм. Це явище отримало назву *самоіндукції* (сам струм в своєму контурі індукує струм). Величина ЕРС самоіндукції буде рівна:

$$E_{c.i.} = -L \frac{dI}{dt}.$$

Якщо ми маємо близько розташовані два замкнених контури, в одному з яких проходить зміна струму, то в другому контурі виникає індукційний струм. Це явище отримало назву *явища взаємної індукції*.

Причиною виникнення струму в другому контурі є змінне магнітне поле (магнітний потік), яке виникає за рахунок зміни струму в першому контурі, і створює змінний магнітний потік, який пронизує другий контур. По закону Фарадея в другому контурі виникає ЕРС взаємної індукції:

$$E_{e.i.} = -L_{12} \frac{dI_1}{dt},$$

де L_{12} – взаємна індуктивність контурів.

Це явище лежить в основі роботи трансформатора, пристрою для перетворення напруги змінного струму.

Всі речовини в природі реагують на зовнішнє магнітне поле, тобто є магнетиками.

При внесенні речовини в магнітне поле, в ній створюється магнітний момент: $P_m = IS$, де I – сила струму, S – площа поверхні, яку охоплює контур. Явище створення магнітного поля в речовині носить назву *намагнічення*. Намагніченість речовини характеризується параметром – магнітна сприйнятливість (аналогія – електрична сприйнятливість) κ .

Сумарний магнітний момент одиниці об'єму є вектор намагніченості $\vec{j} = \frac{\sum \vec{P}_m}{V}$. Вектор намагніченості \vec{j} зв'язаний з вектором індукції

магнітного поля \vec{B} формулою: $\vec{j} = \kappa \frac{\vec{B}}{\mu\mu_0}$ або $\vec{j} = \kappa \vec{H}$, де \vec{H} – напруженість поля.

В залежності від величини κ магнетики поділяються:

парамагнетики $\kappa > 0, \mu > 1$, діамагнетики $\kappa < 0, \mu < 1$.

В свою чергу парамагнетики можна поділити на феромагнетики і ферити. Для них $\kappa \gg 0$.

Пояснити явища діа- і парамагнетизму можна лише на основі електронної будови речовини. Магнітні моменти речовини створюються за

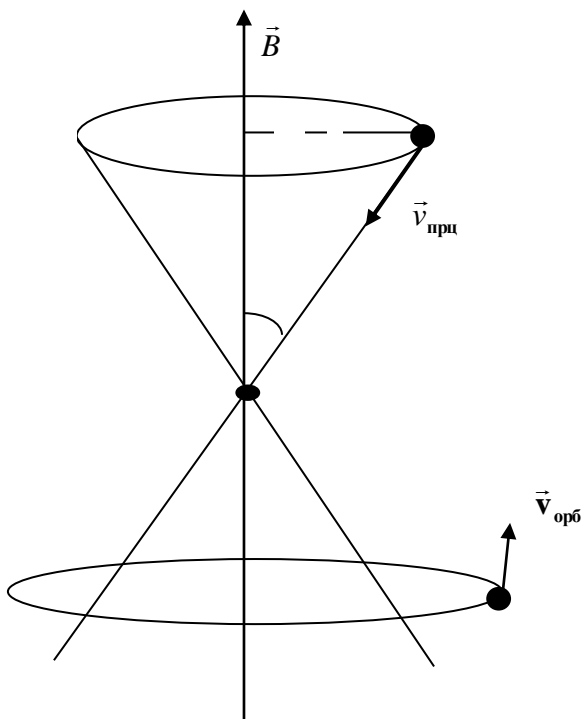


Рис. 20

рахунок руху електронів по орбітах, що еквівалентно коловому струму. При русі електронів в зовнішньому магнітному полі виникає явище прецесії, якщо вісь орбіти нахилена до осі \vec{B} під кутом α (рис. 20). По закону збереження моменту імпульсу вісь орбіти електрона повинна обертатись навколо осі \vec{B} зі швидкістю $\vec{v}_{\text{приц}}$ в протилежний бік. Неважко бачити, що загальний магнітний момент системи буде рівний $\vec{P}_{\text{сум}} = \vec{P}_{\text{орб}} + \vec{P}_{\text{приц}}$. $P_{\text{орб}}$ –

магнітний момент за рахунок орбітального руху електрона. $P_{\text{приц}}$ – магнітний момент за рахунок прецесійного руху. Ці моменти протилежно напрямлені, а тому:

якщо $P_{\text{орб}} > P_{\text{приц}}$ – речовина є парамагнетиком;

якщо $P_{\text{орб}} < P_{\text{приц}}$ – речовина є діамагнетиком.

Феромагнетики і ферити не можуть бути пояснені теорією прецесійного руху електронів. Вони пояснюються теорією доменів. Домен – це область спонтанної намагніченості магнетика до внесення в магнітне поле. В силу теплового руху, до внесення в магнітне поле, сумарний магнітний момент магнетика рівний нулю. При внесенні в магнітне поле проходить орієнтація цілих доменів по полю, що приводить до сильного зростання поля.

КОЛИВАННЯ ТА ХВИЛІ

Коливання та хвилі – це розділ фізики, який вивчає періодичні процеси та їх закономірності. *Колівальними процесами* (коливаннями) ми називаємо процеси, які відрізняються тією або іншою ступінню періодичності. До таких процесів можна віднести, наприклад, коливання маятника годинника, коливання струни, змінний струм та багато іншого.

Хвильовий процес – це розповсюдження коливань в просторі. На практиці нам прийдеться мати справу з хвилями різної природи: механічними, електромагнітними та ін. Незважаючи на різну природу цих хвиль, закономірності, якими вони описуються є загальними.

Коливання можна розділити на два класи: гармонійні та негармонійні коливання. *Гармонійні коливання* – це коливання, які описуються законами \sin або \cos . Крім того коливання можуть бути затухаючими та незатухаючими. Затухаючі коливання протікають при наявності сил опору (дисипативні системи), а без наявності сил опору відбуваються незатухаючі коливання (консервативні системи). В залежності від характеру дії на колівальну систему коливання можуть бути: вільні (відбуваються у системі предоставленій самій собі) і вимушені (під дією зовнішньої вимушуючої сили). Ми будемо вивчати тільки гармонійні коливання.

Гармонійні коливання описуються рівнянням:

$$x = A \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi),$$

де x – зміщення системи від положення рівноваги в момент часу t , A – амплітуда – максимальне відхилення системи від положення рівноваги, ω_0 – циклічна частота $\omega = 2\pi\nu$, або $\omega = \frac{2\pi}{T}$, ν – частота (число повних коливань за одну секунду) і T – період – час одного повного коливання, φ – початкова фаза – відхилення системи в момент $t=0$, $(\omega_0 t + \varphi)$ – фаза коливання.

Неважко бачити, що для коливального процесу можна визначити

швидкість коливання $v = \frac{dx}{dt} = A\omega_0 \cos(\omega_0 t + \varphi) = v_0 \cos(\omega_0 t + \varphi)$ і

прискорення $a = \frac{dv}{dt} = -A\omega_0^2 \sin(\omega_0 t + \varphi) = -a_0 \sin(\omega_0 t + \varphi)$.

Нехай маємо пружинний маятник. Сила, яка викликає коливання, є сила Гука $F_r = -kx$ (рис. 21). За другим законом Ньютона маємо:

$$ma = -kx \Rightarrow ma + kx = 0$$

$$\text{або } m \frac{d^2 x}{dt^2} + kx = 0 \text{ і } \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{k}{m} x = 0.$$

Позначимо $\frac{k}{m} = \omega_0^2$, маємо

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0. \text{ Це і є диференціальне рівняння}$$

незатухаючих гармонійних коливань. Рішенням його є $x = A \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi)$.

Але нехай система коливається у в'язкому середовищі. Це приведе до появи сили тертя – сили Стокса:

$$F_c = -rv,$$

де r – коефіцієнт пропорційності, v – швидкість.

За другим законом Ньютона:

$$ma = -rv - kx \text{ або } \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{r}{m} \frac{dx}{dt} + \frac{k}{m} x = 0.$$

Позначимо $\frac{r}{m} = 2\delta$, $\frac{k}{m} = \omega_0^2$, маємо $\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0$. Це

диференціальне рівняння затухаючих коливань, δ має назву *коефіцієнта затухання*. Розв'язком цього рівняння є

$$x = Ae^{-\delta t} \sin(\omega_0 t + \varphi),$$

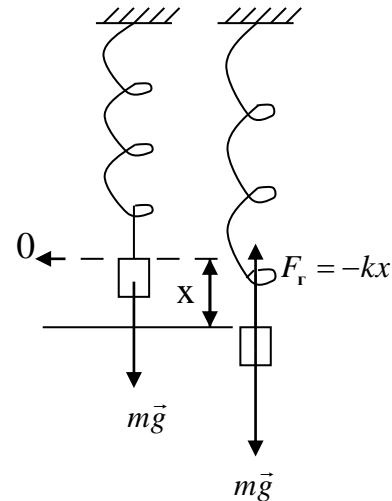


Рис. 21

де $Ae^{-\delta t}$ – амплітуда коливань, яка з часом затухає. На рисунку 22 показана

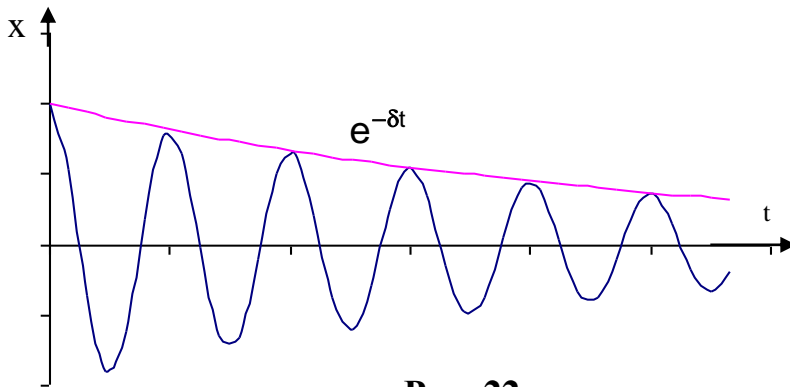


Рис. 22

залежність амплітуди коливань з часом.

Нехай на коливальну систему діє зовнішня сила

$$F = F_0 \sin \omega t,$$

де ω – циклічна частота

зміни сили з часом.

Тоді рівняння коливання буде мати вигляд:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \sin \omega t. \text{ Позначивши } \frac{F_0}{m} = f_0, \text{ маємо}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\delta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = f_0 \sin \omega t.$$

Рішенням такого диференційного рівняння є $x = A \sin(\omega t + \varphi)$, де

$$A = \frac{A_0}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2 \omega^2}}, \text{ а } \varphi = \arctg \frac{2\delta\omega}{\omega_0^2 - \omega^2}.$$

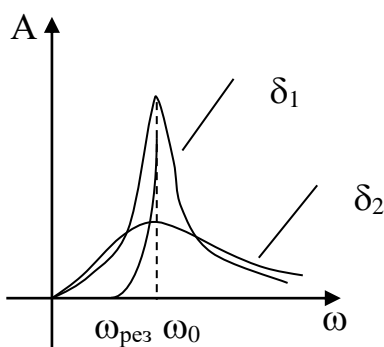


Рис. 23

Неважно бачити, що в

$$\delta_1 < \delta_2$$

установленому режимі коливання

будуть гармонійними. Амплітуда

коливань залежить від співвідношення

між ω_0 – власною циклічною частотою

коливань і ω – циклічною частотою

вимушених коливань. При $\omega_0 \approx \omega$

амплітуда зростає до максимуму

(рис. 23). Явище зростання амплітуди при

співпаданні ω_0 і ω називається *резонансом*. Явище резонансу може бути як

корисним (радіоприймач, прикладна акустика, музичні інструменти тощо), так і некорисним (руйнування систем за рахунок резонансу).

При накладанні коливань система буде коливатися в режимі результуючого коливання, отриманого в результаті додавання цих коливань. Найбільш простим методом додавання коливань є графічний метод. Нехай система бере участь в двох коливаннях:

$$x_1 = A_{01} \sin(\omega_0 t + \varphi_1) \text{ і } x_2 = A_{02} \sin(\omega_0 t + \varphi_2),$$

тобто частота цих коливань однакова.

Відобразимо ці коливання на графіку (рис. 24). При обертанні радіус-векторів A_{01} , A_{02} з циклічною частотою ω_0 проекція цих векторів на екран E буде здійснювати коливальний процес. Незавжди бачити, що результуюче коливання з амплітудою A_0 теж відбувається з частотою ω_0 . Величину A_0 можна знайти по теоремі косинусів:

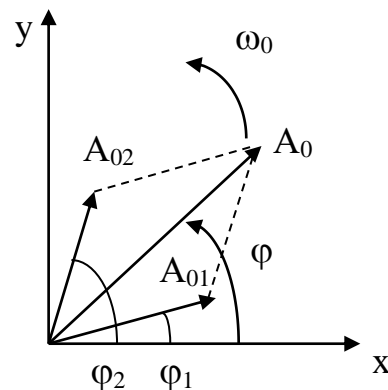


Рис. 24

$$A_0 = \sqrt{A_{01}^2 + A_{02}^2 + 2A_{01}A_{02} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)},$$

а

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_{01} \sin \varphi_1 + A_{02} \sin \varphi_2}{A_{01} \cos \varphi_1 + A_{02} \cos \varphi_2}.$$

І рівнянням результуючого коливання буде

$$x = A_0 \sin(\omega_0 t + \varphi).$$

Хвильовим процесом, або хвилею називають розповсюдження коливань в просторі. Природа різних хвиль різна. Найбільш простими є хвилі в пружному середовищі. Причиною розповсюдження таких хвиль в середовищі є наявність пружних властивостей середовища, що й призводить до передачі коливань в просторі.

Хвилі поділяються на поперечні та повздовжні. Хвилі, в яких коливання відбуваються перпендикулярно до напрямку поширення, називають *поперечними* (наприклад, світлові хвилі).

Хвилі, в яких коливання відбуваються вздовж напрямку поширення хвиль, мають назву *повздовжніх* (наприклад, звукові хвилі).

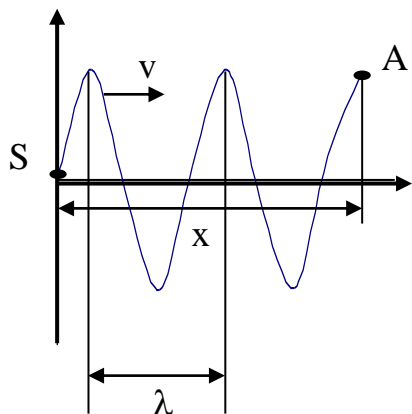


Рис. 25

Нехай в точці S є джерело коливань (рис. 25). Коливання розповсюджуються зі швидкістю v . Тоді в точці A коливання запізнюються, порівняно з коливаннями в точці S , на час $\tau = \frac{x}{v}$. Запишемо

$$\text{коливання в точці } A: y = A_0 \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right),$$

початкова фаза $\varphi=0$. Це має назву *рівняння поширення хвилі*. Відстань між точками,

які коливаються в однаковій фазі, має назву *довжини хвилі* λ , а так як час, за який хвиля пройде шлях λ , дорівнює періоду, то $v = \frac{\lambda}{T}$, або $v = \lambda \nu$. (ν –

частота коливання). Із рівняння $y = A_0 \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right)$ маємо

$$y = A_0 \sin \left(\omega t - \frac{\omega x}{v} \right), \text{ або враховуючи } \frac{\omega x}{v} = \frac{2\pi \nu \cdot x}{v} = \frac{2\pi \cdot x}{\lambda}, \text{ де } \frac{2\pi}{\lambda} = k,$$

маємо $y = A_0 \sin(\omega t - kx)$, k – має назву *хвильового числа*.

↓ *Звуковими* (акустичними) хвилями називають пружні хвилі, частоти яких лежать в межах від 16 до 20000 Гц. Звукові хвилі сприймаються людиною і дають відчуття звуку. Хвилі, які лежать в області більше 20000Гц, мають назву *ультразвуку*, а менше 16 Гц – *інфразвуку*. Для

характеристики звукових хвиль вводиться поняття інтенсивності звуку

(сила звуку): $I = \frac{E}{St}$, де E – енергія, яка переноситься хвилею; S – площа,

через яку відбувається перенос енергії; t – час. Одиниця виміру сили звуку $[I]=\text{Вт}/\text{м}^2$.

Людське вухо має різну чутливість для різних частот. На рисунку 26 показана залежність чутливості від частоти (крива – поріг чутливості). *Порогом чутності* називають ту найменшу інтенсивність (силу) звуку, яку відчуває людина. *Болевий поріг* – це та сила звуку, яка викликає у людини больові

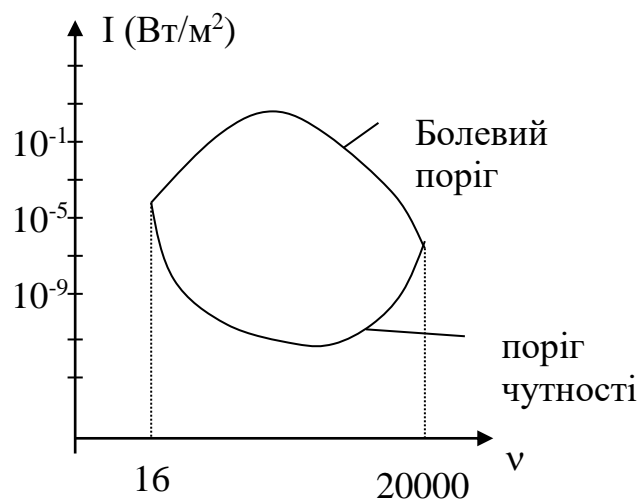


Рис. 26

відчуття. Для оцінки звуку використовують гучність звуку $L = \lg \frac{I}{I_0}$, де I_0 – інтенсивність звуку порогу чутливості. Рівнем інтенсивності звуку (чутності) є одиниця Белл. Як правило, одиницею гучності використовують величину децибелл – одиницю в 10 разів більшу за Белл.

Для оцінки акустики приміщень велике значення має процес затухання звуку – реверберація звуку. Якщо реверберація слабка, то звук довго звучить в приміщенні, викликаючи гучність приміщення, і навпаки, коли звук швидко затухає (велика реверберація), то таке приміщення має назву *глухого приміщення*. Для характеристики процесу реверберації вводять одиницю – час реверберації – це час, за який звук зменшується в 10^6 разів, або гучність зменшується на 60 дБ. Для нормальних приміщень час реверберації складає 0,5-1,5 с.

ОПТИКА

Оптика – це розділ фізики, який вивчає закономірності розповсюдження і взаємодії світлових променів з речовиною.

Світло – це електромагнітні хвилі, довжини яких лежать в діапазоні від 400 до 700 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). На рисунку 27 наведено шкалу

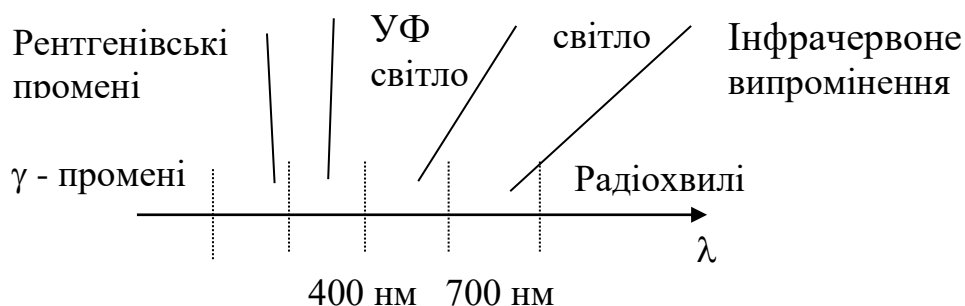


Рис. 27

електромагнітних хвиль. Як видно з рисунка, світло займає дуже вузьку смугу. Світловий потік, який обмежено двома лініями, називають *світловим променем*, і відображають його на рисунках прямою лінією.

Оптика поділяється на такі підрозділи: геометрична оптика, хвильова оптика і квантова оптика. На розділ “Оптика” відведено дві лекції: перша присвячена геометричній і хвильовій оптиці, а друга – квантовій оптиці.

Геометрична оптика базується на таких законах:

- закон прямолінійного розповсюдження світла: світло в однорідному середовищі розповсюджується прямолінійно. Доказом цієї закономірності є наявність тіней з різними межами;
- закон незалежності світлових пучків (принцип суперпозиції): ефект, який дає один пучок світла, не залежить від наявності дії інших пучків світла. При перемішуванні світлових пучків зображення окремих деталей предмета не змінюється;

- закон відбивання світла: відбитий і падаючий промені і перпендикуляр до границі розділу двох середовищ лежать в одній площині, а кут відбивання дорівнює куту падіння світла (рис. 28);

- закон заломлення світла: падаючий промінь, заломлений і перпендикуляр до розділу двох середовищ лежать в одній площині (рис. 28);; відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення є величина стала для двох середовищ і називається *коефіцієнтом заломлення*:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{12}.$$

Якщо одне з середовищ є вакуум, то (n_1 або n_2) коефіцієнт заломлення називається *абсолютним*. І навпаки, коли жодне з середовищ не є вакуум, коефіцієнт заломлення називають *відносним*

(n_{12}). Коефіцієнт заломлення чисельно дорівнює відношенню швидкостей світла в

цих середовищах: $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n_{12}$, або

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c}{v_2} = n_2 \quad (\text{якщо середовище I є}$$

вакуум). Тоді $n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$.

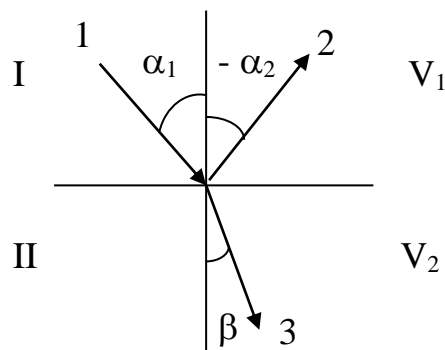


Рис. 28

Однією із розповсюджених оптичних деталей є лінза. *Лінза* – це оптична деталь, яка являє собою прозоре тіло, обмежене з двох боків поверхнями. Найбільш поширеними поверхнями є сфера та площина. Лінзи підрозділяються на збиральні та розсіюючі. Збиральні лінзи збирають промені, а розсіюючі – розсіюють. Основними параметрами лінзи є (див. рис. 29):

1. Вісь, яка проходить через центр кривини поверхонь лінзи і є головною віссю (OO').

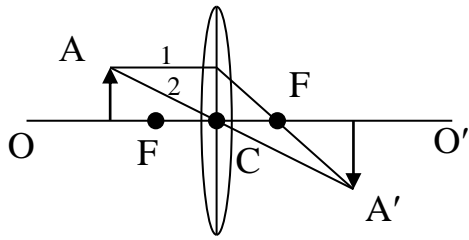


Рис. 29

Для побудови зображення точки А в лінзі необхідно провести з цієї точки не менше двох (1 і 2) променів (рис. 29). Точка (А') перетину цих променів і є зображення. Якщо f – відстань від лінзи до зображення, а d – відстань від предмета до лінзи, то $D = \frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$ (формула лінзи). D має назву *оптичної сили лінзи* і вимірюється у діоптріях (Діоптрія=1/м).

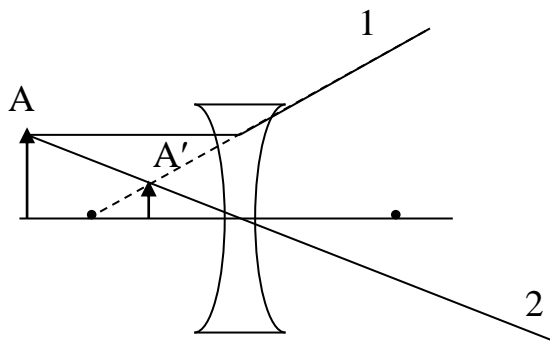


Рис. 30

2. Фокус – точка, в якій перетинаються всі промені, паралельні головній осі, а відстань від лінзи до фокуса є фокусна відстань.

3. Побічна вісь – це вісь, яка проходить тільки через оптичний центр (С) лінзи.

Хід променів в розсіючій лінзі приведено на рис. 30. На відміну від збираючої лінзи, промінь 1, який вийшов з точки А, після лінзи розсіюється так, що здається що він вийшов з фокуса F . Зображення буде уявним і зменшеним.

Під *інтерференцією* ми розуміємо накладання когерентних хвиль з утворенням стійких максимумів та мінімумів. *Когерентні хвилі* – це хвилі, які мають однакову частоту і зберігають постійну різницю фаз коливань з часом. Необхідність в когерентності хвиль випливає з того, що при складанні коливань, результуюча амплітуда залежить від $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ (див. додавання коливань), де φ_1 і φ_2 початкові фази першого і другого коливання. Якщо $\Delta\varphi \neq \text{const}$, то за один період ми маємо, наприклад, максимум, а другий

мінімум, а середнє значення інтенсивності буде однакове з часом. Тільки при $\Delta\varphi = \text{const}$ ми будемо мати стійку картину максимумів та мінімумів.

Когерентних джерел в природі немає. Лише лазерне випромінювання (узгоджене, на відміну від природного) є когерентним випромінюванням. Для отримання когерентних променів звичайний промінь розділяють на два, а отримані частини проходять різні довжини і при їх накладанні дають інтерференційну картину. *Оптична довжина* – це геометрична довжина, помножена на коефіцієнт заломлення середовища: $\Delta L = L_2 - L_1$, де $L_2 = l'_2 n_2$, $L_1 = l'_1 n_1$. *Умова спостереження максимуму*: різниця ходу променів дорівнює цілому числу довжин хвиль $\Delta_{\text{max}} = \pm m\lambda$, де $m=0,1,2\dots$. *Умова спостереження мінімуму*: різниця ходу променів дорівнює непарному числу півхвиль $\Delta_{\text{min}} = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$, де $m=0,1,2\dots$

Дифракція – це група явищ, пов'язана з відхиленням від прямолінійного розповсюдження хвиль. Прикладом може слугувати явище

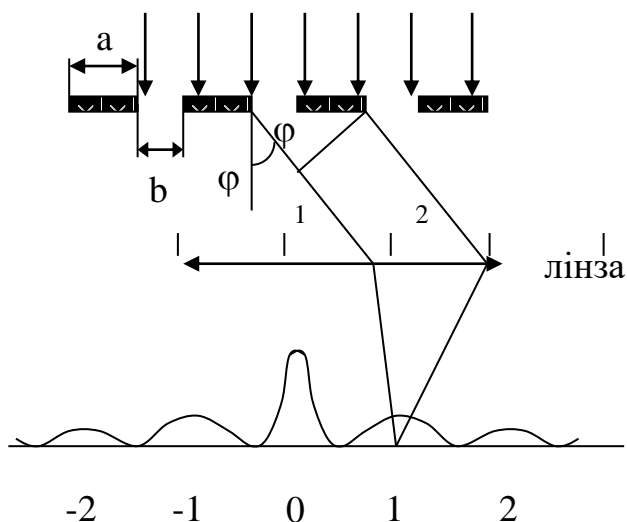


Рис. 31

огинання хвилею перешкод. Це може відбуватися при умові, коли $\lambda \sim d$, де d – геометричний розмір перешкоди. Дифракція в паралельних променях має назву *дифракції Фраунгофера*.

Розглянемо дифракцію променів на дифракційній решітці. *Дифракційна решітка* – це прилад, який складається з паралельних щілин. На рисунку 31 показана дифракційна решітка. Величину

$a + b = d$ називають *постійною решітки*, або період решітки, де a – ширина

непрозорі частини, а b – прозорі. Після проходження через решітку розглянемо хід променів 1 і 2. Різниця ходу променів 1 і 2 визначається співвідношенням: $\Delta = d \cdot \sin \varphi$.

Нехай в даній точці буде максимум. Згідно з умовою максимуму, маємо:

$$\Delta_{\max} = \pm m\lambda, \text{ або } d \cdot \sin \varphi = \pm m\lambda.$$

Ця залежність має назву *формули дифракційної решітки*.

Світлова хвиля являє собою взаємоперпендикулярне коливання електричного (E) і магнітного (H) вектора напруженості. Якщо прослідкувати за напрямком коливання електричного вектора E з часом, то

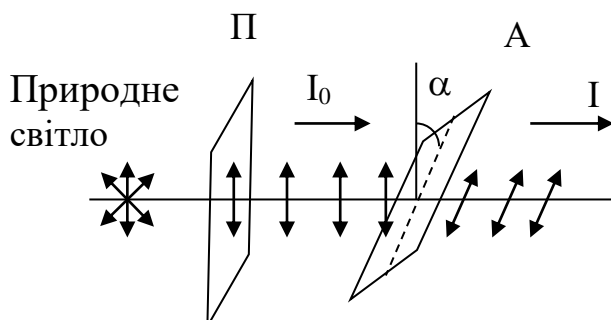


Рис. 32

ми будемо мати різні напрямки (рис. 32, природне світло). Якщо речовина (П) пропускає коливання тільки одного напрямку, то таке світло отримало назву *поляризованого*. Тобто, поляризоване світло – це світло, в якому

коливання електричного вектора якимось чином впорядковані. Якщо коливання вектора \vec{E} відбуваються в одній площині, то світло має назву *плоскополяризованого* світла. Пристрій, який робить з природного світла поляризоване, має назву *поляризатора* (рис. 32, П). Такими речовинами є кристали кварцу, турмаліну та інші. Пристрої, які призначені до аналізу поляризованого світла, називають *аналізаторами* (рис. 32, А).

Нехай кут між площинами пропускання поляризатора і аналізатора α (рис. 32). Тоді інтенсивність світла I , яке пройшло через аналізатор А, пов'язана з інтенсивністю світла I_0 , що падає на аналізатор, формулою:

$I = I_0 \cos^2 \alpha$. Це співвідношення має назву *закону Малюса*.

Поляризоване світло широко використовується в техніці. Так при деформації деяких тіл, наприклад органічного скла, вони набувають

властивостей аналізатора. Величина деформації прямо впливає на набуті властивості аналізатора. Тому в поляризованому світлі на екрані утворюється затемнена картина розподілу деформації в тілі.

Крім того, деякі речовини (тверді тіла, розчини) мають властивість повертати площину поляризації при проходженні світла через них, причому кут повороту площини поляризації залежить від товщини речовини або концентрації розчину. Ця залежність дає можливість визначати або товщину тіла, або концентрацію розчину (наприклад, концентрацію цукру в розчині).

КВАНТОВА ФІЗИКА

Квантова фізика – це розділ фізики який вивчає спосіб опису і закони руху мікрочастинок (атомів, молекул, елементарних частинок тощо), та їх систем і зв'язок величин, які характеризують частинки і системи, з фізичними величинами, безпосередньо вимірюваних дослідом. Закони квантової механіки є основою квантової фізики, вони дозволили з'ясувати будову атома, встановити природу хімічних сил, пояснити періодичну систему елементів і багато іншого. Закони квантової фізики не мають такої наочності як закони класичної фізики, але вони такі ж фундаментальні, як закони класичної фізики. Закони квантової фізики носять статистичний характер, описують ймовірність знаходження систем в даному стані.

Тіла при нагріванні випромінюють електромагнітні хвилі, а при достатньо високих температурах вони світяться, тобто випромінюють світлові хвилі.

Спектр такого випромінювання є суцільним. Якщо у просторі є декілька тіл, що знаходяться при різних температурах і мають можливість обмінюватись енергією тільки у вигляді випромінювання, то через деякий час температура тіл стане однаковою. Тобто тіло в одиницю часу скільки випромінює стільки і поглинає. Таке випромінювання називають *рівноважним*. Для характеристики теплового випромінювання вводиться два параметри:

- $r_{\nu,T}$ – випромінювальна здатність тіла $r_{\nu,T} = \frac{dE}{s \cdot t \cdot d\nu}$ – це енергія,

яку випромінює тіло з одиниці площі в одиницю часу в даному інтервалі частот.

- $a_{\nu,T}$ – поглинальна здатність тіла $a_{\nu,T} = \frac{dE_{\nu,\nu+d\nu}^{noz}}{dE_{\nu,\nu+d\nu}^{sup}}$ – яку долю

енергії, що випромінює тіло за одиницю часу з одиниці площі у даному інтервалі частот, поглинає тіло.

Якщо $a_{\nu,T} = 1$, тіло називають *абсолютно чорним тілом* (АЧТ).

Моделлю такого тіла може бути замкнений об'єм з малим отвором, через який промінь, що попав в об'єм, за рахунок перевідбиття не має змоги вийти назад.

Кірхгоф з'ясував, що $\frac{r_{\nu,T}}{a_{\nu,T}} = f_{\nu,T}$ – відношення випромінювальної

здатності до поглинальної здатності – не залежить від природи тіла і є універсальною функцією від ν і T . Для АЧТ маємо

$$\frac{r_{\nu,T}}{a_{\nu,T}} = f_{\nu,T} \text{ або } f_{\nu,T} = r_{\nu,T} \text{ (} a_{\nu,T} = 1 \text{)}.$$

Це співвідношення називають *законом Кірхгофа*.

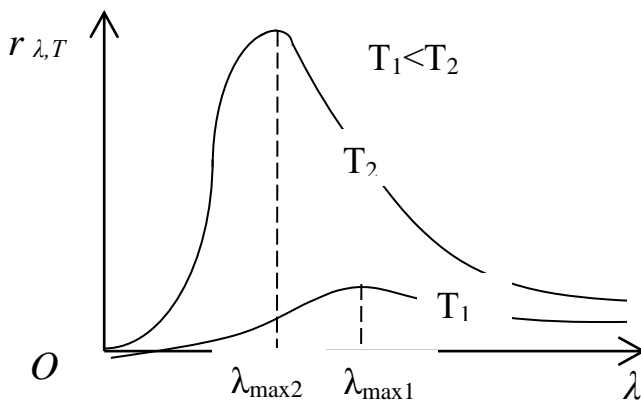


Рис. 33

Функція $f_{\nu,T}$ показує розподіл випромінювальної здатності тіла по частотам або довжинам хвиль при даній температурі (рис. 33).

Величина $R_e = \int_0^{\infty} r_{\nu,T} d\nu$

називається *випромінюваністю АЧТ*.

Для АЧТ $R_e = \sigma T^4$, де σ – стала Стефана–Больцмана, T – температура тіла, що випромінює. Ця закономірність отримала назву *закону Стефана–Больцмана*.

Крім того, довжина хвилі, на яку приходиться максимум випромінювання (рис. 33), обернено пропорційна температурі: $\lambda_{\max} = \frac{B}{T}$, де B – стала Віна. Ця закономірність має назву *закону Віна*.

Користуючись класичними уявленнями про випромінювання (рівномірний розподіл енергії по ступенях свободи; неперервний характер випромінювання) англійські вчені Д. Релей і Д. Джінс вивели універсальну функцію $f_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} kT$. Неважко бачити, що вона не дає максимум, як це слідує з досліду, а максимальне значення функції приходиться на короткі довжини хвиль, або великі частоти (ультрафіолетова катастрофа). Класичний підхід до пояснення теплового випромінювання не дав позитивних результатів.

Правильне пояснення теплового випромінювання, яке співпадало з дослідом, вперше дав німецький фізик М. Планк. Перш за все необхідно було відмовитись від неперервного випромінювання і уявити, що випромінювання відбувається порціями (квантами) з енергією $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$, де ν – частота, λ – довжина хвилі, c – швидкість світла, h – стала Планка.

Базуючись на цих уявленнях Планк вивів формулу $r_{\nu,T}$

$$r_{\nu,T} = \frac{2\pi\nu^2}{c^2} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1},$$

яка в точності відповідала досліду. Із формули Планка можна вирахувати не тільки сталі Стефана-Больцмана і Віна, але отримати ці закони. Цей підхід до пояснення теплового випромінювання був дійсно революційним по характеру.

Теорія Планка, яка дала змогу пояснити теплове випромінювання тіл знайшла підтвердження при поясненні фотоефекту. Під *фотоефектом* ми розуміємо явища, пов'язані з вириванням електронів із металу під дією світла. Фотоефект поділяють на зовнішній і внутрішній. *Зовнішній фотоефект* – це виривання електронів із металу за його межі, а *внутрішній* – це перехід електронів під дією світла з одного рівня на другий (наприклад, у напівпровідниках з валентної зони в зону провідності).

Столетовим було встановлено такі закони фотоефекту:

- Вирвані частинки від'ємно заряджені (є електронами).
- Інтенсивність фотоструму, створеного вирваними частинками, прямо пропорційна інтенсивності світла.
- Максимальна початкова швидкість вирваних електронів не залежить від інтенсивності світла, а визначається його довжиною хвилі або частотою.
- Існує така найбільша довжина хвилі або найменша частота, при якій ще відбувається фотоефект (червона межа фотоефекту).

Пояснення явища фотоефекту здавалося можна було б пояснити і звичайною електромагнітною (хвильовою) природою світла. Але для такого виривання електронів з металу необхідний час, а фотоефект спостерігався миттєво. Пояснення фотоефекту дав А.Ейнштейн. Згідно з Ейнштейном світло не тільки випромінюється квантами, але і поглинається порціями (квантами). Тоді

$$h\nu = A_{\text{вих}} + \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}.$$

Енергія кванта $h\nu$ йде на роботу виривання електрона з металу $A_{\text{вих}}$ (робота виходу) і надання кінетичної енергії електрона $\frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$.

Із формули Ейнштейна легко отримати червону межу фотоефекту:

$$h\nu_{\min} = A_{\text{вих}}, \text{ але } c = \lambda\nu \text{ і } \frac{hc}{\lambda_{\max}} = A_{\text{вих}}.$$

Таким чином, фотоефект, як і теплове випромінювання, пояснювався квантовою (корпускулярною) природою світла.

Фотоефект знайшов широке практичне застосування:

- а) як елемент систем автоматизації (метро тощо);
- б) як перетворювачі світлової енергії в електричну.

Аналізуючи світлове випромінювання, ми приходимо до висновку, що, з одного боку, це хвилі, а з другого – це потік квантів (частинок), або корпускул.

Хвильові властивості світла підтверджують такі явища як інтерференція, дифракція, поляризація світла тощо.

Квантові (корпускулярні) властивості світла підтверджують такі явища: теплове випромінювання, фотоефект, ефект Комптона тощо.

Таким чином, світло має подвійну природу: з одного боку, це хвилі, а з другого, це потік корпускул. Це отримало назву *корпускулярно-хвильової природи світла*, або корпускулярно-хвильового дуалізму світла. Ця властивість притаманна всім електромагнітним хвилям.

Кванти світла з енергією $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ називають ще фотонами. Але,

згідно з гіпотезою Ейнштейна, фотон повинен мати масу m_ϕ , яка

визначається як $m_\phi c^2 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ або $m_\phi = \frac{h\nu}{c^2}$, $m_\phi = \frac{h}{\lambda c}$. Тоді квант світла,

як частинка, має імпульс $p_\phi = m_\phi c$ або $p_\phi = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$ і може створювати

тиск на тіло. Величина такого тиску визначається формулою $P = \frac{E}{c}(1 + \rho)$,

де E – енергія всіх фотонів, ρ – коефіцієнт відбиття світла. Цей тиск вперше дослідив російський вчений П.М.Лебедев.

Французький фізик Л. де Бройль, розвиваючи теорію про корпускулярно-хвильових дуалізм світла, прийшов до висновку, що будь-яке тіло, якщо воно рухається зі швидкістю v , має як корпускулярні, так і хвильові властивості (гіпотеза про універсальність корпускулярно-хвильового дуалізму матерії). Згідно з формулою де Бройля, довжина хвилі частинки, яка рухається зі швидкістю v , визначається формулою:

В оболонці електрони підрозділяються на підоболонки s, p, d, f, \dots

В таблиці 1 приведено розподіл електронів по оболонкам та підоболонкам елементів.

Елементи з заповненими оболонками є хімічно неактивними елементами, тобто інертними газами.

Порушенням такого заповнення є заповнення 19 елемента К. Електрон сідає не в $3d$ стан, а в $4s^1$, так як цей стан є більш енергетично вигідним, ніж стан $3d^1$. Таким чином, на основі квантово-механічних уявлень легко побудувати періодичну систему елементів.

Таблиця 2

Елемент	Z Число електронів	К (n=1)	L (n=2)		M (n=3)			N (n=4)			
		1s	2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f
H	1	1(1s ¹)									
He	2	2(1s ²)									*
Li	3	2(1s ²)	1(2s ¹)								
Be	4	2(1s ²)	2(2s ²)								
B	5	2(1s ²)	2(2s ²)	1(2p ¹)							
C	6	2(1s ²)	2(2s ²)	2(2p ²)							
N	7	2(1s ²)	2(2s ²)	3(2p ³)							
O	8	2(1s ²)	2(2s ²)	4(2p ⁴)							
F	9	2(1s ²)	2(2s ²)	5(2p ⁵)							
Ne	10	2(1s ²)	2(2s ²)	6(2p ⁶)							**

* – оболонка заповнена; ** – 1 і 2 оболонки заповнені.

У вільних атомах електрони мають одиночні рівні (рис. 35, *a*). При зближенні атомів кожний з них попадає в електричне та магнітне поле сусіда.

Це призводить до зняття заборон і енергетичні рівні розщеплюються (рис. 35, *б*), утворюючи цілу зону енергетичних рівнів. Так, в кристалі, який складається із N атомів, кожний рівень ізольованого атома N -кратно стає виродженим. Таке виродження називається перестановочним.

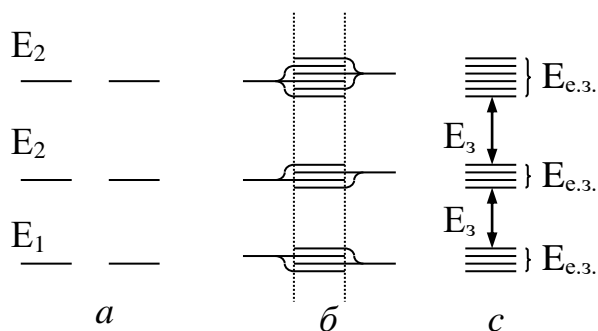


Рис. 35

Розщеплення призводить до створення цілих зон енергетичних рівнів (рис 35, *в*), які розділені проміжками із забороненою енергією. Відстань між підрівнями у зоні невелика і складає $\sim 10^{-20}$ еВ. Проміжок забороненої енергії E_z називають забороненою зоною.

Розглянемо заповнення зон електронами. Як відомо, заповнення зон повинне задовольняти правилам Паулі. Тому спочатку йде заповнення нижніх зон. На кожному підрівні зони буде знаходитись два електрони, в яких при однакових числах n, ℓ, m_ℓ, m_s

спінове число має два значення: $+1/2$ і $-1/2$.

Остання енергетична зона, повністю заповнена електронами, називається валентною зоною, так як ці електрони є для атома валентними в основному стані атома.

Наступна за валентною зоною йде зона провідності. Заповнення зони провідності

електронами і визначає класи речовин з точки зору електропровідності. Якщо (рис. 36, *a*) зона

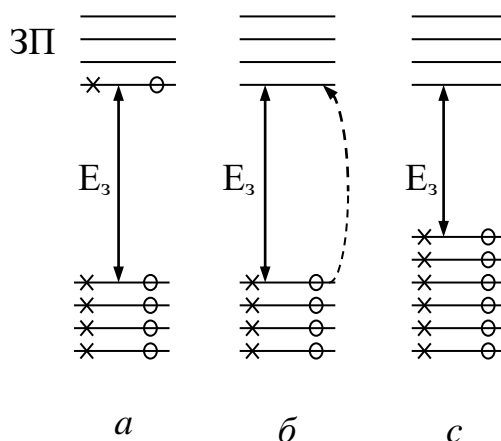


Рис. 36

провідності частково заповнена електронами, то така речовина є металом, або провідником. При прикладенні незначного електричного поля електрони легко переходять з підрівня на другий підрівень в зоні провідності, оскільки $\Delta E \sim 10^{-20}$ еВ.

Якщо зона провідності повністю пуста, то така речовина є діелектриком. Для створення електропровідності у такій системі необхідно перевести електрон із валентної зони через заборонену зону в зону провідності. Для цього треба мати значну енергію. Це має назву пробій діелектрика.

Якщо речовина має незначну по величині заборонену зону, а зона провідності пуста, то це є напівпровідник. В таких системах за рахунок теплової енергії електрони переходять з валентної зони в зону провідності, визиваючи електропровідність. Неважко бачити, що в таких речовинах опір зменшується із підвищенням температури.

Нехай маємо чистий напівпровідник. Для прикладу візьмемо кристал германію. У кристалі германію між атомами існує ковалентний зв'язок. У чистому кристалі кожний атом оточений чотирма найближчими атомами, з якими створює ковалентний зв'язок (рис. 37, а). При заміні одного із атомів

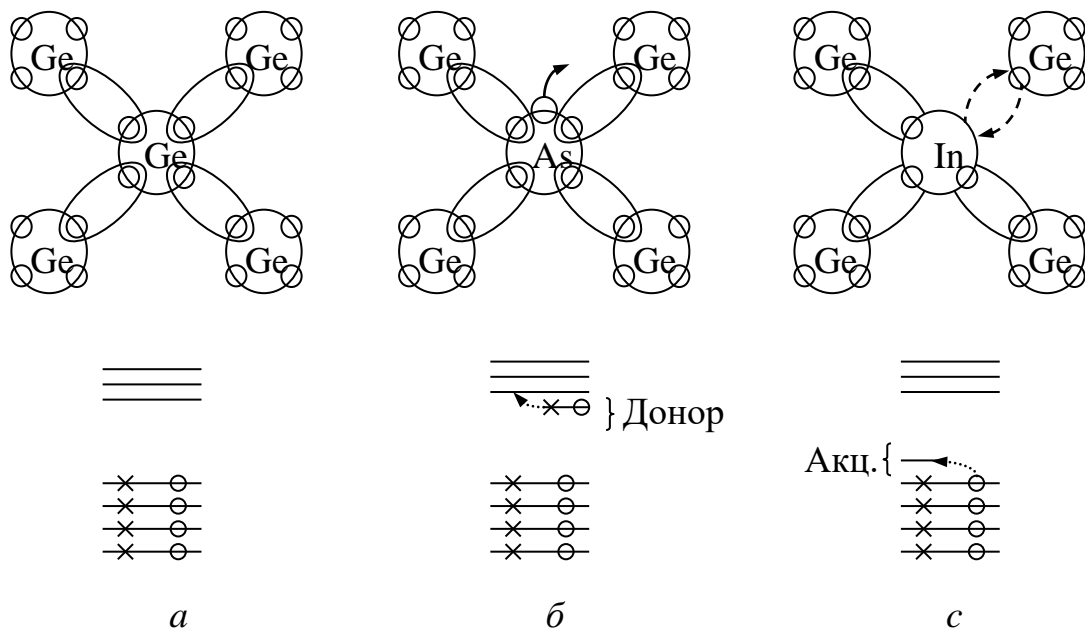


Рис. 37

Ge на As (миш'як) для ковалентного зв'язку достатньо лише чотирьох електронів, а п'ятий електрон стає вільним і може рухатися у решітці. Це призводить до утворення енергетичних рівнів при зоні провідності, заповнених електронами (донорні рівні) (рис. 37, б).

При заміні атома Ge на In (індій) для утворення ковалентного зв'язку недостає одного електрона і атоми Ge і In обмінюються одним електроном. Це призводить до утворення пустих (незаповнених) рівнів біля валентної зони. Такі рівні мають назву акцепторних рівнів (рис. 37, в).

Розглянемо електропровідність напівпровідників. Нехай ми маємо чистий напівпровідник. Електропровідність в такому напівпровіднику створюється за рахунок переходу електрона з валентної зони в зону провідності. Але перехід електрона із валентної зони призводить до утворення дірки (позитивно зарядженого місця, де був електрон) у валентній зоні. Електропровідність у даному випадку буде створюватися з одного боку рухом електрона у зоні провідності, а з другого – рухом позитивно зарядженої дірки у валентній зоні. Неважко бачити, що $I = I_e + I_q$, де I_e – струм, створений рухом електронів, I_q – струм, створений рухом дірок, $I_e = I_q$.

Питома електропровідність чистих напівпровідників буде:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E_{з.з.}}{2kT}}$$

Якщо ми маємо донорний напівпровідник, то його електропровідність буде створюватися двома шляхами: за рахунок донорних електронів (I примісний) і як у чистих напівпровідників – електронно-дірковою парою (I чистий). Але I домішковий значно більший, чим I чистий. в таких напівпровідниках $I \approx I_{прим}$, а так як носіями зарядів є негативно заряджені частинки, донорні напівпровідники отримали назву n -типу (n – негатив).

В акцепторних напівпровідниках основними носіями будуть дірки, які утворюються за рахунок переходу електронів з валентної зони на акцепторні рівні. Тоді електропровідність акцепторних напівпровідників буде складатися з домішкової + чистої. Але $I_{прим} \gg I_{чист}$ і $I \approx I_{прим}$. Так як електропровідність акцепторних напівпровідників зумовлена рухом позитивно заряджених дірок, то такий напівпровідник отримав назву p -типу (p – позитив).

Приведемо в контакт два напівпровідники n – і p – типу. Так як електрони у n – напівпровіднику знаходяться на більш високих енергетичних рівнях, ніж у p – типу, то ці електрони будуть переходити із n – у p – напівпровідник (рис. 38). Це призводить до утворення контактної різниці

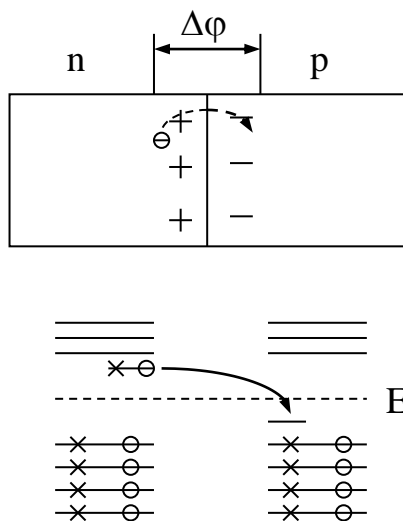


Рис. 38

потенціалів $\Delta\phi$. Якщо тепер до $p-n$ – переходу підключити батарею так, що полюс “+” буде співпадати з n – типом, а “–” – з p – типом, то це призведе до збільшення запертого потенціалу $\Delta\phi$ і перехід електронів від n до p – напівпровідника стане майже неможливим. Провідність в такому напрямку буде майже неможлива. Якщо змінити полюси і до n – типу включити “–”, а до p – типу – “+”, то це призведе до зниження потенціалу

$\Delta\phi$ і електропровідність стане можливою. Таким чином, $p-n$ – перехід має односторонню електропровідність. Така електропровідність має назву вентильної електропровідності. Напівпровідниковий пристрій, який має $p-n$ – перехід називають напівпровідниковим (кристалічним) діодом. Напівпровідникові діоди знайшли широке застосування в науці і техніці як випрямлячі змінного струму і системи контролю.

ЯДЕРНА ФІЗИКА

Ядерна фізика це розділ фізики, який присвячений вивченню структури атомних ядер, процесів радіоактивного розпаду і механізму ядерних реакцій. До сфери впливу ядерної фізики відносять розділи присвячені елементарним частинкам, а також окремі галузі такі як техніка прискорювачів елементарних частинок та їх дослідження, ядерну енергетику та інші.

Згідно з нуклонною теорією атомне ядро складається із елементарних частинок – протон і нейтрон. Ці частинки називають нуклонами.

Протон ${}_1p^1$: нижній індекс позначає заряд ядра кратний заряду електрона і носить назву *зарядового числа*. Зарядове число ядра атома відповідає числу протонів в ядрі, або числу електронів в атомі. Верхній індекс має назву *масового числа* і відповідає масі в атомних одиницях маси. Для ядра атома це число відповідає числу нуклонів в ядрі. Таким чином, протон по масі рівний одній атомній одиниці маси.

Нейтрон ${}_0n^1$: нейтральний, а його маса теж дорівнює одній атомній одиниці маси.

Частинки ${}_1p^1$ і ${}_0n^1$ – нестабільні і розпадаються по реакціях:

$${}_1p^1 \Rightarrow {}_0n^1 + {}_{+1}e^0 + \nu,$$

$${}_0n^1 \Rightarrow {}_1p^1 + {}_{-1}e^0 + \tilde{\nu},$$

де ${}_{+1}e^0$ – позитрон, ν – нейтрино, $\tilde{\nu}$ – антинейтрино.

Ядра, які мають однакові зарядові числа, але різні масові числа, називають *ізотопами*. Наприклад, водень ${}_1H^1$ має два ізотопи ${}_1D^2$ і ${}_1T^3$ (дейтерій і тритій). Ці ізотопи відрізняються кількістю нейтронів в ядрі.

Французький фізик А.Беккерель в 1896 році відкрив явище радіоактивного розпаду. При вивченні солей урану він виявив, що ці солі випромінюють деякі промені невідомої природи. Подальше вивчення цієї

проблеми показало, що ядра деяких речовин випромінюють три типи променів: α -промені – це потік ядер гелію (${}^4_2\text{He}$),

β -промені – потік електронів,

γ -промені – потік квантів електромагнітних хвиль з довжиною хвиль менше 10^{-10} м.

Ці промені по різному діють на оточуючі атоми. α -частинки мають малу довжину вільного пробігу в повітрі (декілька см). Ядра гелію досить масивні ядра і зустрічаючись з атомами інших речовин іонізують їх, віддаючи всю енергію. β -частинки (потік електронів) мають більшу довжину вільного пробігу (декілька метрів). β -розпад дозволив виявити нову елементарну частинку нейтрино. Це впливало із закономірностей самого β -розпаду. Схема β -розпаду відповідає схемі розпаду нейтрона в ядрі, внаслідок якого і народжуються електрони. γ -промені мають велику проникливу здатність. Це жорстке електромагнітне випромінювання. Природою γ -променів є випромінювання збуджених атомних ядер при переході в основний стан. Збудження атомних ядер відбувається при протіканні різного типу ядерних реакцій.

Нехай маємо N ядер. За час dt розпалося dN ядер. Число ядер, які розпалися, $dN \sim dt, N$ і λ , де λ – характеристика даних ядер до розпаду – стала радіоактивного розпаду. Тоді $dN = -\lambda N dt$. Знак “–” тому, що число

ядер з часом зменшується. Розв’язком цього рівняння є $\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = \int_0^t -\lambda dt$ або

$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \Rightarrow N = N_0 e^{-\lambda t}$. Це співвідношення має назву *закону*

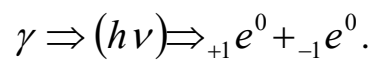
радіоактивного розпаду. N – це число ядер, які ще не розпалися в момент часу t .

Найбільш дієвими із всіх променів є γ -промені. γ -промені при проходженні через речовину, взаємодіють з нею:

1) γ -промені викликають фотоефект. Причому γ -промені виривають електрони не тільки з металів, а також з інших речовин. Так як γ -промені мають велику енергією, то вириваються внутрішні електрони атома, що викликає появу рентгенівського випромінювання;

2) комптонівське розсіювання. При зустрічі γ -променів з вільними електронами відбувається втрата енергії γ -квантів при їх пружному ударі;

3) якщо енергія γ -квантів порядку 1,02 МеВ, то стає можливим народження електрон-позитронної пари при взаємодії з речовиною:



Таким чином, γ -промені при проходженні через речовину поглинаються нею. Закон поглинання має вигляд

$$I = I_0 e^{-kx},$$

де I – інтенсивність γ -променів, які пройшли через речовину товщиною x , I_0 – початкова інтенсивність, k – лінійний коефіцієнт поглинання.

Радіоактивне випромінювання діє на речовину і цю дію характеризують дозою іонізуючого випромінювання:

- *поглинальна доза випромінювання* – це енергія випромінювання, яка поглинається одиницею маси речовини. В СІ це 1 Грей=Дж/кг;

- *експозиційна доза поглинання* – це відношення суми зарядів іонів, що створюються при її опроміненні за нормальних умов, до маси речовини. В СІ це Кл/кг.

Але позасистемна одиниця експозиційної дози є 1 Рентген= $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг. Крім того вводиться біологічний еквівалент рентгена (Бер). Це характеристика дії опромінення на біологічний об'єкт. Потужність дози випромінювання – це відношення поглинальної дози випромінювання до часу опромінення, Гр/с.

Якщо зрівняти масу ядра $m_{\text{я}}$ і масу частинок, з яких складається ядро, то ми маємо $m_{\text{я}} \neq z \cdot m_p + (A - z)m_n$, де m_p – маса протона, m_n – маса нейтрона. Різниця цих мас є дефект мас:

$$\Delta m = [z \cdot m_p + (A - z)m_n - m_{\text{я}}].$$

Тоді $\Delta E = \Delta mc^2 = [zm_p + (A - z)m_n - m_{\text{я}}]c^2$ – є енергія зв'язку ядер.

В науці відомі два методи отримання внутрішньоядерної енергії:

- при поділі важких ядер виділяється енергія;
- при синтезі легких ядер теж виділяється енергія.

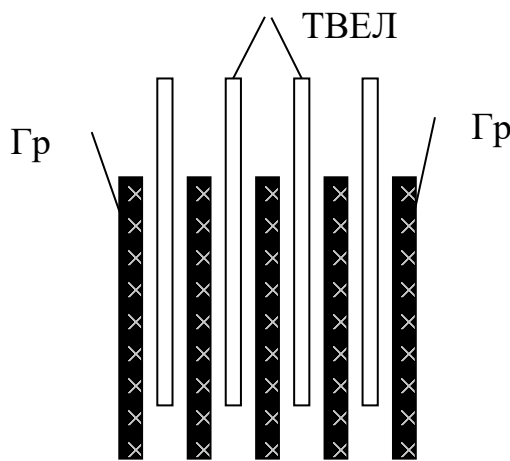


Рис. 39

Так при поділі ядер урану ${}_{92}\text{U}^{235}$, ${}_{92}\text{U}^{233}$ повільними нейтронами утворюється два осколки, випромінюються вторинні нейтрони ($2 \div 3$) і виділяється при цьому енергія. Випромінювані нейтрони можуть при певних об'ємах речовини, або геометричних розмірах, викликати новий поділ. Така реакція поділу називається

ланцюговою реакцією. Та маса речовини, при якій виникають умови ланцюгової реакції, називають критичною масою. Якщо навчитись керувати числом нейтронів, що викликають реакцію поділу, то можна отримати керовану реакцію поділу. Реакцію поділу викликають тільки теплові нейтрони, а тому треба гальмувати швидкі нейтрони. Це можна зробити гальмівником – наприклад графітом або водою. Крім того Cd (кадмій) дуже сильно поглинає нейтрони і може регулювати кількість нейтронів. Енергію поділу важких ядер отримують в ядерних котлах (рис. 39). В графітні колодці вкладаються два типи стержнів: Cd – кадмійові стержні для поглинання $0n^1$, ТВЕЛ – тепловиділяючий елемент – це збагачена уранова руда (до 2 % ядер урану ${}_{92}\text{U}^{235}$). При опущених кадмійових стержнях реакція

поділу неможлива, бо всі нейтрони поглинаються цими стержнями. При піднятті кадмійових стержнів виникають умови для протікання реакції поділу. Висотою підняття кадмійових стержнів можна регулювати інтенсивність реакції поділу. Ядерний котел омивається водою. Вода є носієм тепла, що виділяється під час реакції поділу. Циркулююча вода нагріває другий змієвик з водою, утворюючи пару, яка поступає на турбіну. Недоліком такої системи є утворення радіоактивних відходів, які треба зберігати в недоступних для людини місцях.

При отриманні ізотопів ядер гелію по реакції



виділяється енергія порядку 3,3 МеВ за акт утворення ${}_2He^3$. Так можна отримати внутрішньоядерну енергію методом синтезу. Недоліком такого методу є те, що реакція синтезу може протікати лише при великій температурі, так як треба зблизити ядра дейтерію на відстань захвату. Таку температуру можна отримати при вибухові атомної бомби і отримати некеровану реакцію синтезу (воднева бомба). В даний час отримати таку температуру (10^6 К) на протязі часток секунд можна в плазмовому шнурі в пристрої ТОКАМАК- I або в імпульсі лазерних пучків. Майбутнє в області забезпечення людства енергією належить термоядерним реакціям синтезу.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Курс практичних занять призначений для практичного засвоєння студентами лекційного матеріалу, ознайомлення студентів з основними методами розв'язання задач та аналізу отриманої відповіді.

На курс практичних занять “Фізика ” відведено 14 годин:

механіка	3 год
електрика та магнетизм	3 год
коливання та хвилі, оптика	4 год
Квантова та ядерна фізика	4 год

Запропонуємо оптимальну послідовність дій, які бажано виконувати при розв'язанні задач. Цю послідовність можна подати у вигляді окремих *етапів* роботи, які є обов'язковими і, фактично, однаковими для всіх трьох прийомів.

Перший етап. Запис умови задачі та засвоєння її змісту. Цей етап вважається виконаним повністю, якщо студент, не підглядаючи в записи, може своїми словами передати зміст задачі, не зациклюючись на числових значеннях. Але обов'язково намагатись дати відповідь на таке. Які об'єкти описані в задачі? Які характеристики цих об'єктів відомі? Що потрібно визначити в задачі? Запис умови задачі одночасно є і елементом оформлення задачі при виконанні контрольної роботи.

Другий етап. Аналіз фізичної суті задачі. Тобто мова йде про розпізнання за умовою задачі того фізичного явища, яке розглядається в задачі, визначення розділу та теми курсу фізики, де воно описане. Фактично це є пошук відповіді на запитання: що необхідно знати, щоб дати відповідь на запитання задачі? Для цього необхідно (за допомогою підручника чи короткого теоретичного довідника) виділити особливості явища, виписати закони, рівняння та інші співвідношення, що його описують, та занести їх до

чернетки. При оформленні роботи цього важливого етапу в явній формі не видно. А це якраз основна аналітична робота по осмисленню фізичної суті задачі та пошуку тих знань, які приведуть до вирішення задачі.

Третій етап. Короткий запис та модель задачі. Під час виконання двох попередніх етапів у студента повинна виникнути повна картина явища, яку можна подати у вигляді графічного представлення. Це може бути рисунок, схема, діаграма, графік залежності характеристик і т.п. Графічні представлення є бажаними, тому що стимулюють введення позначень фізичних величин. Використовуючи умову задачі та позначення величин, згаданих у задачі, виписують значення величин, які відомі. При оформленні роботи короткий запис виділяють словом «Дано:» (див. приклади розв'язання задач у наступному розділі). Шукані величини відділяють рискою від заданих.

При формуванні короткого запису важливо дуже уважно ще раз проаналізувати умову задачі та виявити приховані або неявно задані параметри. Наприклад, у задачі: визначити гальмівний шлях автомобіля, який почав гальмування при швидкості 72 км/год, маючи коефіцієнт тертя ковзання на асфальтному покритті 0,7. Тут явно задані значення двох величин. Цього замало для розв'язання задачі. Але знаючи, що гальмівним шляхом називають відстань від початку гальмування до повної зупинки, знаходимо неявно задане значення кінцевої швидкості – вона дорівнює нулеві. Крім того, гальмування є сповільненим рухом, найпростішим випадком якого є рівносповільнений. Якщо немає інших вказівок, то ми отримуємо прихований параметр процесу – це рух зі сталим прискоренням гальмування.

Четвертий етап. Формування фізико-математичної моделі задачі. При оформленні задачі цей етап починається після слова «Розв'язання». Це і є серцевина фізичної задачі. Тут зібрано в логічній послідовності все, що було зроблено на трьох попередніх етапах: названі словами ті закони та рівняння,

що описують фізичні явища задачі, наведені самі рівняння з використанням позначень короткого запису та графічного відображення задачі, введені додаткові умови та зв'язки між величинами, якщо це вказано в умові задачі. Власне, це – сформована система математичних рівнянь, що описує фізичні явища конкретної задачі.

П'ятий етап. Розв'язок задачі в загальному вигляді. Цей етап, як і всі наступні, є традиційним і, фактично, стандартним за процедурою. Потрібно правильно розв'язати отриману систему рівнянь, послідовність окремих рівнянь чи якесь одне складне рівняння. Шукані величини мають бути виражені формулою через літерні позначення відомих у задачі величин або загальновідомих фізичних констант.

Шостий етап. Перевірка розмірності або одиниць вимірювання. При оформленні задач цей етап завжди відмічають якраз тими словами, які виписані в назві етапу. Для визначення розмірності (або одиниць вимірювання) шуканих у задачі величин у розрахункову формулу для неї підставляють розмірність (без числових значень) відомих величин, через які вона визначена. Приклади, можна подивитись у наступному розділі.

Сьомий етап. Розрахунки числових значень шуканих величин. При оформленні задачі цей етап починається словами «Підставимо значення:». Зауважимо, що перед тим як підставляти фізичні величини у відповідну формулу, їх обов'язково виражають в одиницях міжнародної системи одиниць СІ. При цьому, у формулу підставляють лише числові значення величин без їхніх одиниць вимірювання. Приклади можна подивитись у наступному розділі.

Восьмий етап. Аналіз результатів. Цей етап не є обов'язковим, бо іноді така перевірка здійснюється автоматично, майже підсвідомо, як тільки отриманий результат є невідповідним. Наприклад, у задачі визначена швидкість руху електрона, прискореного в електричному полі, значення якої – $5 \cdot 10^9$ м/с. Це більше, ніж швидкість світла у вакуумі, тому очевидно, що

задача вирішена невірно. Але в деяких випадках такий аналіз є доцільним або необхідним. Наприклад, якщо в задачі на динаміку руху тіл при наявності сил тертя отримано результат для прискорення системи зі знаком мінус, це не означає, що виникла помилка при виборі напрямку руху і потрібно вважати результат вірним, тільки змінити його напрям. У цьому випадку задачу потрібно розв'язати заново, вибравши протилежний напрямок можливого руху. Результат обов'язково буде іншим, можливо, також зі знаком мінус. А це означає, що рух не виникне взагалі.

Для подібних складних випадків іноді в задачах присутня пряма вказівка: проаналізувати отриманий результат. Тоді при оформленні задачі цей етап стає обов'язковим.

Дев'ятий етап. Відповідь. Після тієї великої роботи, яку ви провели на попередніх етапах, залишилось красиво оформити результат. Сформулюйте, які величини ви отримали, їхні значення та одиниці вимірювання. Якщо є якісь особливі зауваження – зробіть їх.

Приклади розв'язання задач

Задача 1 Шлях, який пройшло тіло залежить від часу руху тіла за законом $s = A + Bt + Ct^2$, де $A=3\text{м}$, $B=2\text{м/с}$, $C=1\text{м/с}^2$. Знайти середню швидкість та середнє прискорення за першу, другу та третю секунду руху тіла.

Дано:

$$s = A + Bt + Ct^2$$

$$A=3 \text{ м}$$

$$B=2 \text{ м/с}$$

$$C=1 \text{ м/с}^2$$

$$t_1=1 \text{ с}$$

$$t_2=2 \text{ с}$$

$$t_3=3 \text{ с}$$

$$\bar{v}_{1,2,3} - ?$$

$$\bar{a}_{1,2,3} - ?$$

Розв'язок:

За означенням середньої швидкості

$$\begin{aligned} \bar{v} &= \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{A + Bt_k + Ct_k^2 - A - Bt_n - Ct_n^2}{t_k - t_n} = \\ &= \frac{B(t_k - t_n) + C(t_k^2 - t_n^2)}{t_k - t_n}. \end{aligned}$$

Знаходимо:

$$\bar{v}_1 = \frac{B(t_1 - 0) + C(t_1^2 - 0)}{t_1 - 0} = \frac{2 \cdot 1 + 1 \cdot 1^2}{1} = 3 \text{ м/с},$$

$$\bar{v}_2 = \frac{B(t_2 - t_1) + C(t_2^2 - t_1^2)}{t_2 - t_1} = \frac{2 \cdot (2 - 1) + 1 \cdot (4 - 1)}{2 - 1} = 5 \text{ м/с},$$

$$\bar{v}_3 = \frac{B(t_3 - t_2) + C(t_3^2 - t_2^2)}{t_3 - t_2} = \frac{2 \cdot (3 - 2) + 1 \cdot (9 - 4)}{3 - 2} = 7 \text{ м/с}.$$

Рівняння рівноприскореного руху матеріальної точки має вигляд

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

Порівнюючи з умовою задачі знаходимо: $\frac{a}{2} = C$.

Отже маємо $\bar{a}_1 = \bar{a}_2 = \bar{a}_3 = 2C = 2 \text{ м/с}^2$.

Відповідь: $v_1=3 \text{ м/с}$, $v_2=5 \text{ м/с}$, $v_3=7 \text{ м/с}$, $a=2\text{м/с}^2$.

Задача 2. Через блок у вигляді суцільного однорідного диска масою 1 кг перекинута невагома і нерозтяжна нитка, до кінців якої підвішені вантажі масами 2 та 3 кг. Знайти прискорення руху вантажів та силу натягу нитки.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$m_1 = 2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 3 \text{ кг}$$

$$a, T - ?$$

Розв'язання. Сили, що діють на вантажі, а також вибраний напрямок координатної осі Oy показано на рис.2.

Згідно з другим законом Ньютона, запишемо рівняння руху для кожного вантажу:

$$\begin{cases} \vec{T}_1 + m_1 \vec{g} = m_1 \vec{a}_1; \\ \vec{T}_2 + m_2 \vec{g} = m_2 \vec{a}_2. \end{cases}$$

Оскільки нитка невагома та нерозтяжна, то прискорення обох вантажів будуть рівні: $a_1 = a_2 = a$. Рухомий блок має масу, тому для нього застосуємо основний закон динаміки обертового руху:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\sum \vec{M}}{I},$$

де ε – кутове прискорення блока, \vec{M} – результуючий момент сил, що діють на блок, I – момент інерції блока відносно осі обертання.

Вибравши прискорення кожного вантажу (див. рис. 2), отримаємо в проекціях на вісь Oy :

$$\begin{cases} T_1 - m_1 g = m_1 a; \\ T_2 - m_2 g = -m_2 a; \\ (T_2 - T_1) \cdot R = I \cdot \varepsilon. \end{cases}$$

де R – радіус блока.

Для блоку у вигляді однорідного диска, що обертається навколо осі, що проходить через центр мас, момент інерції $I = \frac{mR^2}{2}$. Кутове прискорення ε пов'язане з тангенціальним прискоренням точок на ободі диска a (що співпадає з прискоренням вантажів) співвідношенням $\varepsilon = \frac{a}{R}$.

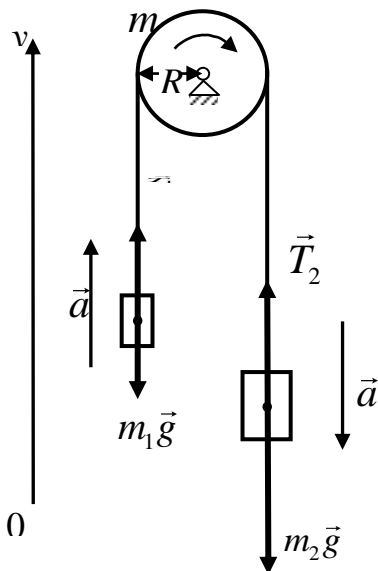


Рис. 2

Враховуючи це, отримаємо:

$$\begin{cases} T_1 - m_1 g = m_1 a; \\ T_2 - m_2 g = -m_2 a; \\ (T_2 - T_1) \cdot R = \frac{mR^2}{2} \cdot \frac{a}{R} = \frac{mRa}{2} \end{cases}$$

Розв'язуючи останню систему відносно a , T_1 та T_2 , отримаємо:

$$a = \frac{g(m_2 - m_1)}{m_1 + m_2 + m/2}, \quad T_1 = m_1 g \frac{2m_2 + m/2}{m_1 + m_2 + m/2}, \quad T_2 = m_2 g \frac{2m_1 + m/2}{m_1 + m_2 + m/2}$$

Зробимо перевірку одиниць вимірювання отриманих формул:

$$a = \frac{\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \times \text{КГ}}{\text{КГ}} = \frac{\text{М}}{\text{с}^2},$$

$$T = T_2 = \text{КГ} \times \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \times \frac{\text{КГ}}{\text{КГ}} = \text{КГ} \times \frac{\text{М}}{\text{с}^2}.$$

Так як $\text{Н} = \text{КГ} \times \frac{\text{М}}{\text{с}^2}$, то розмірність формул відповідає одиниці вимірювання сили.

Підставивши числові дані, отримаємо:

$$a = \frac{9,8(3-2)}{2+3+1/2} \approx 1,78 \left(\frac{\text{М}}{\text{с}^2} \right), \quad T_1 = 2 \cdot 9,8 \frac{2 \cdot 3 + 1/2}{2+3+1/2} \approx 23,2 \text{ (Н)},$$

$$T_2 = 3 \cdot 9,8 \frac{2 \cdot 2 + 1/2}{2+3+1/2} \approx 24,1 \text{ (Н)}$$

Відповідь. Прискорення вантажів $1,78 \text{ м/с}^2$, а натяги нитки по різні боки від блока дорівнюють відповідно $23,3 \text{ Н}$ і $24,1 \text{ Н}$.

Задача 3. Сила струму у провіднику опором 20 Ом зростає на 2 с за лінійним законом від нуля до 6 А. Визначити кількість теплоти, яка виділяється у провіднику за першу секунду.

Дано:

$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$I_0 = 0 \text{ А}$$

$$I_{\max} = 6 \text{ А}$$

$$t_1 = 0 \text{ с}$$

$$t_2 = 1 \text{ с}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання: Закон Джоуля-Ленца у вигляді $Q = I^2 R t$ слушний для постійного струму. Якщо сила струму змінюється з часом, то закон виконується для нескінченно малого інтервалу часу:

$$dQ = I^2 R dt, \quad (1)$$

де сила струму I є деякою функцією часу. Враховуючи лінійну зміну сили струму, можна записати:

$$I = I_0 + kt, \quad (2)$$

де k – коефіцієнт пропорційності. Згідно з умовою задачі при $t_1 = 0$ с початковий струм $I = I_0$, а при $t_2 = 1$ струм $I = I_{\max}$. Підставляючи ці значення в формулу (2), отримаємо значення коефіцієнта пропорційності:

$$k = \frac{I_{\max}}{t_2}. \quad (3)$$

Підставивши (3) в (2), а потім (1), отримаємо: $dQ = (I_0 + kt)^2 R dt$ (4)

Проінтегруємо останній вираз (4):

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \frac{I_{\max}^2}{t_2^2} t^2 R dt = \frac{I_{\max}^2}{t_2^2} R \int_{t_1}^{t_2} t^2 dt = \frac{1}{3} \frac{I_{\max}^2}{t_2^2} R (t_2^3 - t_1^3)$$

$$Q = \frac{1}{3} \frac{I_{\max}^2}{t_2^2} R (t_2^3 - t_1^3). \quad (5)$$

Перевіримо одиниці вимірювання останньої формули:

11

$$Q = \frac{I^2}{t^2} R t^3 = I^2 R t = \text{А}^2 \times \text{Ом} \times \text{с} = \text{Дж}.$$

Виконаємо обчислення за формулою (5):

$$Q = \frac{1}{3} \frac{6^2}{1^2} 20 (1^3 - 0^3) = 240 \text{ Дж}.$$

Відповідь: Кількість теплоти, яка виділяється у провіднику за першу секунду проходження струму, дорівнює 240 Дж.

Задача 4. Довгим прямим тонким дротом тече електрострум силою 20 А. Визначити магнітну індукцію поля, створеного провідником у точці, віддаленій від нього на відстані 4 см.

Дано:

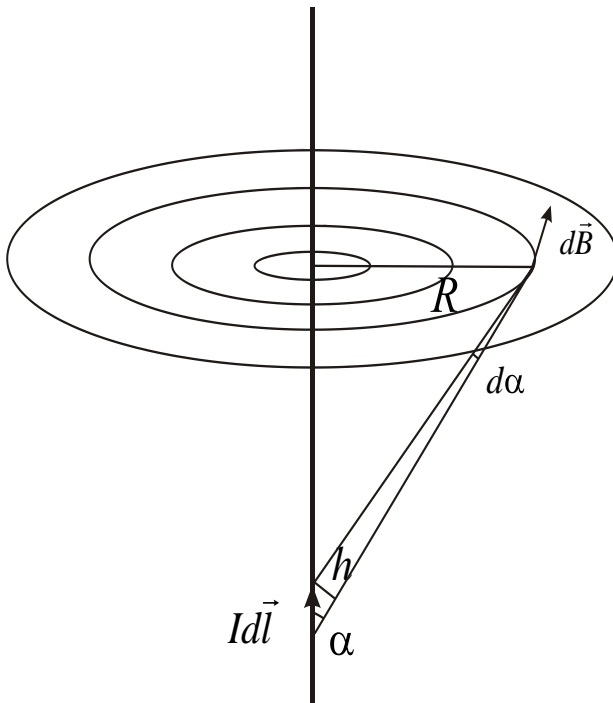
$$I = 20 \text{ А}$$

$$R = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$$

$B = ?$

Розв'язання: Для розв'язання задачі, треба скористатись законом Біо-Савара-Лапласа, який дозволяє розрахувати магнітне поле створене провідником, по якому тече струм (рис. 4):

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{[Id\vec{l} \times \vec{r}]}{r^3}.$$



Виберемо на провіднику зі струмом, елемент струму, довжиною $d\vec{l}$. Напрямок вектора $d\vec{B}$ визначається за правилом правого гвинта і є дотичною до кола відповідного радіуса (рис. 4). Так як вектор індукції магнітного поля визначається векторним добутком $d\vec{l}$ та \vec{r} , то модуль цього вектора визначається за формулою:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{r^2} \sin \alpha,$$

де α – кут між векторами $d\vec{l}$ та \vec{r} .

Виразимо dl та r через кут α . З рис. видно, що $r = \frac{R}{\sin \alpha}$, а оскільки

$$\frac{h}{dl} = \frac{rd\alpha}{dl} = \sin \alpha, \text{ то } dl = \frac{rd\alpha}{\sin \alpha} = \frac{Rd\alpha}{\sin^2 \alpha}.$$

$$\text{Отже, } dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{\left(\frac{R}{\sin \alpha}\right)^2} \frac{Rd\alpha}{\sin^2 \alpha} \sin \alpha = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} \sin \alpha d\alpha.$$

Згідно з принципом суперпозиції, магнітне поле, яке створюється всім провідником, можна знайти за принципом суперпозиції, враховуючи що

магнітне поле кожного елемента струму напрямлене однаково, можна записати:

$$B = \int dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \frac{I}{R};$$
$$B = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \frac{I}{R}.$$

Зробимо перевірку одиниць вимірювання:

$$B = \frac{\mu_0 I}{R} = \frac{\text{Гн/м} \times \text{А}}{\text{м}} = \frac{\text{Гн} \times \text{А}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Вб}}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Підставимо значення в кінцеву формулу:

$$B = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{20}{4\pi \cdot 4 \cdot 10^{-2}} \text{Тл} = 10^{-4} = 0,1 \text{ мТл}.$$

Відповідь: Магнітна індукція поля, створеного провідником у точці, віддаленій від нового на відстані 4 см, дорівнює 0,1 мТл.

Задача 5. У результаті нагрівання абсолютно чорного тіла, довжина хвилі, яка відповідає максимуму спектральної густини енергетичної світності, змістилась з 2,7 мкм до 0,9 мкм. Визначити, в скільки разів змінилась енергетична світність тіла.

Дано:

$$\lambda_{\max 1} = 2,7 \text{ мкм} = 2,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\lambda_{\max 2} = 0,9 \text{ мкм} = 0,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Розв'язання: Згідно з законом Стефана-Больцмана:

$$R_e = \sigma T^4$$

$$\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = ?$$

відношення випромінюваностей абсолютно чорного тіла до і після нагрівання буде дорівнювати відношенню абсолютних температур у четвертому степені:

$$\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^4,$$

де T_1, T_2 – температури тіла до і після нагрівання.

Із закону зміщення Віна:

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

впливає:

$$\frac{\lambda_{\max 2}}{\lambda_{\max 1}} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Остаточо маємо:

$$\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\frac{\lambda_{\max 2}}{\lambda_{\max 1}} \right)^4.$$

Підставимо значення:

$$\frac{R_{e1}}{R_{e2}} = \left(\frac{2,7 \cdot 10^{-3}}{0,9 \cdot 10^{-3}} \right)^4 = \left(\frac{2,7}{0,9} \right)^4 = 81.$$

Відповідь: Випромінюваність абсолютно чорного тіла збільшилась у 81 разів.

Задача 6. Визначити початкову активність радіоактивного препарату ^{27}Mg масою $0,2 \cdot 10^{-9}$ кг, а також його активність через 6 годин.

Дано:	Розв'язок:
$m = 0,2 \cdot 10^{-9}$ кг	Активність радіоактивного препарату:
$t = 6$ год $= 2,16 \cdot 10^4$ с	визначається за формулою:
$T_{1/2} = 10$ хв $= 600$ с	$A = \lambda N .$
$\mu = 24 \cdot 10^{-3}$ кг/моль	Згідно закону радіоактивного розпаду:
$A_0 - ?$	$N = N_0 e^{-\lambda t},$
$A - ?$	отже, $A = \lambda N_0 e^{-\lambda t}.$ (1)

Початкову активність препарату отримаємо при $t = 0$:

$$A_0 = \lambda N_0 \quad (2)$$

Початкову кількість ядер ^{27}Mg знайдемо, знаючи його масу:

$$N_0 = \frac{m}{\mu} N_A. \quad (3)$$

Постійна радіоактивного розпаду зв'язана з періодом напіврозпаду за формулою:

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}. \quad (4)$$

З урахуванням (4) та (3), формули (1) та (2) набувають вигляду:

$$A_0 = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A, \quad A = \frac{m \ln 2}{\mu T_{1/2}} N_A e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t} = A_0 e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}.$$

Перевіримо розмірність:

$$A = \frac{m}{\mu} \frac{1}{T_{1/2}} N_A = \text{моль} \times \frac{1}{\text{с}} \times \frac{1}{\text{моль}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Бк}$$

Підставимо значення в останні формулу:

$$A_0 = \frac{0,2 \cdot 10^{-9}}{27 \cdot 10^{-3}} \frac{0,693}{600} 6,02 \cdot 10^{23} = 5,13 \cdot 10^{12} \text{ Бк}$$

$$A = 5,13 \cdot 10^{12} \cdot e^{-\frac{0,693}{600} 2,16 \cdot 10^4} = 81,3 \text{ Бк}.$$

Відповідь: Початкова активність радіоактивного препарату ^{27}Mg масою $0,2 \cdot 10^{-9}$ кг $5,13 \cdot 10^{12}$ Бк, а його активність через 6 годин дорівнює 81,3 Бк.

Вимоги при оформленні розрахунково-графічних робіт з фізики

1. РГР виконується **в зошиті в клітинку**, на обкладинці якої окрім назви факультету, номера групи, прізвища, ініціалів студента слід вказати номер варіанту і номера задач даного варіанту завдання, дату подання роботи (**титульна сторінка, дивись нижче**).
2. Кожну задачу починати розв'язувати з **нової сторінки**, вказуючи її номер.
3. **Умови задач треба переписати повністю**. Скласти коротку умову задачі. Перевести всі значення фізичних величин в систему СІ.
4. Рішення задач слід супроводжувати короткими, але вичерпними поясненнями; при необхідності приводиться креслення, виконане за допомогою креслярського приладдя. Для зауважень викладача на сторінках зошита потрібно залишати поля.
5. Розв'язок задачі рекомендується подавати у загальному вигляді, тобто необхідно виразити шукану величину через символи (буквені позначення) величин, заданих в умові. При такому способі рішення значення проміжних величин не обчислюють.
6. Отримавши розрахункову формулу, для перевірки її правильності слід виконати перевірку розмірності, тобто підставити в праву частину позначення одиниць всіх величин, провести над ними необхідні дії і переконатися в тому, що отримана при цьому одиниця відповідає шуканій величині. Якщо такої відповідності немає, це означає, що задача вирішена невірно.
7. Числові значення величин при підстановці їх в розрахункову формулу слід виражати тільки в одиницях СІ.
8. При підстановці в розрахункову формулу, а також при записі відповіді числові значення величин слід записувати як добуток десяткового дробу з однією значущою цифрою перед комою на відповідний ступінь десяти.

Наприклад, замість 8680 треба записати $8,68 \cdot 10^3$; замість 0,00256 - $2,56 \cdot 10^{-3}$ тощо

9. Обчислення за розрахунковою формулою треба проводити з дотриманням правил округлення, остаточну відповідь слід записувати з трьома значущими цифрами. Це відноситься і до випадку, коли результат отриманий із застосуванням калькулятора.

Титульна сторінка до РГР

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Кафедра фізики

Шифр:

Розрахунково-графічна робота
з модуля № ...

(назва модуля)

Студента _____

(прізвище, ім'я)

(група)

Варіант № _____

Номери задач:

Дата подання роботи: _____

(відмітка про прийняття роботи)

(прізвище викладача та підпис)

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Студент, приступаючи до виконання дослідів, має ознайомитися з метою і порядком виконання лабораторної, вивчити відповідні теми теоретичного курсу, використовуючи рекомендовану навчальну літературу або нотатки лекційного курсу та підготувати звіт з лабораторної.

1. Етапи виконання лабораторних

I етап. Викладач на початку кожного заняття перевіряє наявність звіту з лабораторної і ставить декілька запитань студенту відповідно до змісту роботи, яка буде виконуватись. Якщо відповіді на запитання задовільні, то студенту *допускається* до виконання досліджень. Студент усі роботи практикуму *виконує самостійно*, але консультуючись з викладачем.

II етап. До початку виконання роботи студент має ознайомитися з обладнанням, з'ясувати призначення кожного його елемента та основні характеристики (межі вимірювання, ціну поділки шкали, клас точності, правила користування приладом і вимоги техніки безпеки).

Зібрати схему досліду (якщо це потрібно), але вмикати живлення до складеної схеми і приступати до виконання експерименту можна *після перевірки схеми викладачем* і одержання на це його дозволу.

Зазвичай, в кожній лабораторній вимірювання необхідно повторити декілька разів і результати записати у таблицю.

Експериментальна частина роботи вважається виконаною, якщо одержаний результат або графік розгляне викладач. Після цього необхідно привести в порядок робоче місце, повідомити про це викладача та тільки після його дозволу залишити лабораторію.

III етап. Для кожної виконаної лабораторної студент зобов'язаний скласти *письмовий звіт і захистити його*. Для зарахування роботи студент має дати вичерпну відповідь на поставлені контрольні запитання.

Кожен протокол письмового звіту повинен містити такі елементи:

1. Титульна сторінка (див. нижче);
2. Повна назва роботи;
3. Мета роботи;
4. Схему або рисунок обладнання із зазначенням технічних даних приладів;

5. Короткі теоретичні відомості про досліджуване явище;
6. Порядок виконання роботи;
7. Результати експерименту у вигляді таблиць Excel, та у разі необхідності, побудованих у програмі Excel графіків;
8. Розрахунок похибок;
9. Запис відповіді для визначуваних величин (кінцеві результати) з урахуванням похибок та одиниць вимірювання;
10. Інтерпретація одержаних результатів і висновки.

Вимірювальні прилади добираються відповідно до методу дослідження та тієї точності, з якою необхідно виконати експеримент. Про кожний вимірювальний прилад, який використовується при дослідженнях, необхідно з'ясувати таке:

- вимоги техніки безпеки до приладу;
- його призначення;
- будову та принцип дії;
- межі вимірювання;
- ціну поділки шкали;
- клас точності;
- правила користування приладом.

Математична обробка та представлення результатів вимірювань, як елемент експерименту, має виконуватись із застосуванням правил *наближених обчислень*.

Інтерпретація одержаних результатів здійснюється за допомогою теорії, що є основою досліджень. Якщо результати досліджень не узгоджуються з теорією, то експеримент треба проаналізувати (усі його елементи і послідовність етапів) з метою виявлення можливих помилок та повторити.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Кафедра фізики

ЗВІТ

Про виконання лабораторної роботи №...

(назва роботи)

Студентом _____
(прізвище, ініціали)

(група)

(факультет)

Дата виконання роботи: _____

Дата подання звіту: _____

(відмітка про прийняття роботи)

(прізвище викладача та підпис)

2. Правила техніки безпеки

Тіло людини є провідником, опір якого змінюється в широких межах залежно від ряду факторів. Вологість, забруднення шкіри та інші фактори зменшують його опір.

Якщо сила струму більша за 0,05 А, то його дія на тіло людини протягом 0,1 с може спричинити небезпечне ураження. Оскільки сила струму залежить від напруги і опору, то за правилами техніки безпеки напруга, більша за 24 В, вважається небезпечною.

Неправильні з'єднання в схемі можуть призводити до виведення з ладу приладів, травматизму й ураження струмом. Тільки за дотримання вимог правил техніки безпеки можна запобігти цим неприємним явищам.

Наведемо основні правила техніки безпеки.

1. До роботи в лабораторії допускаються лише студенти, які ознайомились із правилами техніки безпеки. Студенти розписуються в журналі обліку проведення інструктажу і несуть відповідальність за їх виконання.
2. Не можна самостійно робити будь-які вмикання або вимикання на головному щиті.
3. Складати коло за схемою можна тільки при вимкненій напрузі.
4. Вмикати струм у складене коло можна тільки після перевірки схеми викладачем або інженером практикуму та отримання їхнього дозволу.
5. Не можна доторкатися до неізольованих частин електричної схеми, які перебувають під напругою (проводи, вимикачі, затискачі, повзунки тощо).
6. Забороняється виконувати будь-які перемикання в схемі під напругою.
7. Не можна залишати без нагляду схему, що знаходиться під напругою.
8. Забороняється закорочувати блокувальні пристрої
9. Не дозволяється без потреби ходити по лабораторії та виконувати інші лабораторні роботи.

Теми лабораторних занять

1 семестр

Лабораторна робота 1. «Визначення залежності моменту інерції системи від розподілу її маси відносно осі обертання»
Лабораторна робота 2. «Визначення динамічної в'язкості рідини методом Стокса»
Лабораторна робота 1. «Визначення параметрів згасання коливань фізичного маятника»
Лабораторна робота 3. «Визначення опору провідника за допомогою амперметра та вольтметра»
Лабораторна робота 4. «Градуювання термопари»
Лабораторна робота 5. «Визначення горизонтальної складової індукції та напруженості магнітного поля Землі»
Лабораторна робота 6. «Вивчення магнітного поля короткого соленоїда»
Лабораторна робота 7 «Визначення ККД трансформатора»
Лабораторна робота 8. «Визначення індуктивності котушки та дроселя»

2 семестр

Лабораторна робота 1. «Визначення параметрів згасання коливань фізичного маятника»
Лабораторна робота 2. «Дослідження резонансних характеристик електромагнітного коливального контуру»
Лабораторна робота 3. «Визначення швидкості звуку в повітрі методом стоячих хвиль»
Лабораторна робота 4. «Визначення довжини світлової хвилі за допомогою дифракційної решітки»
Лабораторна робота 5. «Дослідження поляризованого світла»
Лабораторна робота 6. «Визначення роботи виходу електрона з металів методом гальмування фотоелектронів в електричному полі»
Лабораторна робота 7. «Визначення енергетичної ширини забороненої зони напівпровідника»
Лабораторна робота 8 «Визначення ВАХ фотоелементу»
Лабораторна робота 9. «Вимірювання світлової характеристики вентильного фотоелемента»
Лабораторна робота 10. «Визначення коефіцієнта поглинання радіоактивного випромінювання різними матеріалами»

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

Підручники:

1. Чолпан П.П. Фізика: підручник. – Київ: Знання, 2015,-663с.

Навчальні посібники:

1. ФІЗИКА. Фізичний практикум із застосуванням пакету Excel: навч. посіб. / І.О. Азнаурян, В.А. Глива та ін. – К.: КНУБА, 2024. – 188 с.
2. Бурдейна Н.Б., Глива В.А., Петруньок Т.Б., Бірук Я.І. Азнаурян І.О. Протоколи лабораторних робіт з фізики №1. Фізичні основи механіки. Електрика та магнетизм / Навчально-методичний посібник – К.: КНУБА, 2023. – 84 с.
3. ФІЗИКА. Лабораторний практикум. Оновлений цикл: навч. посіб. / О.В. Панова, В.І. Клапченко та ін. – Київ: КНУБА, 2022. – 160 с.
4. Physics: Excel-Based Laboratory Manual. Panova O, Aznauryan I and others – Kyiv; KNUCA, 2020. – 108 p.
5. Фізика:практичний посібник до виконання лабораторних робіт із застосуванням пакета Excel/ уклад.: В.І. Клапченко та ін. – К.: КНУБА, 2018. – 100 с.
6. Фізика в будівництві: навчальний посібник/ В.І.Клапченко, І.О.Азнаурян, Н.Б.Бурдейна та ін.. – К.: КНУБА, 2012. – 252 с.
7. Фізика. Лабораторний практикум: Базовий цикл. Навчальний посібник. – 3-те вид., випр. і доп. /В.І. Клапченко, І.О. Азнаурян та ін. /За ред. В.І.Клапченка. – К.: КНУБА, 2012. - 228 с.
8. Фізика. Лабораторний практикум. Спецпрактикуми: навчальний посібник / В.І. Клапченко та ін.; за заг. ред. В.І. Клапченка. – К.: КНУБА, 2012. – 96 с
9. Азнаурян І.О. Фізика та фізичні методи дослідження: Навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2008. – 250 с.

Основні фізичні сталі

Назва фізичної сталої	Позначення	Числове значення
Гравітаційна стала	γ	$6,673 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3/(\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Число Авогадро	N_A	$6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Універсальна газова стала	R	$8,315 \cdot \text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Молярний об'єм ідеального газу	V_m	$22,414 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Електрична стала	ϵ_0	$8,854 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнітна стала	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м} = 12,566 \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Стала Больцмана	k	$1,380 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Число Фарадея	F	$9,649 \cdot 10^4 \text{ Кл/моль}$
Стала закону Стефана – Больцмана	σ	$5,669 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$
Стала закону зміщення Віна	b	$2,897 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Стала Планка	h	$6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Питомий заряд електрона	e/m_e	$1,759 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$
Заряд електрона	e	$1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Швидкість світла у вакуумі	c	$2,997 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Борівський радіус	a_0	$0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Маса спокою електрона	m_e	$9,109 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ а.о.м.}$
Маса спокою протона	m_p	$1,672 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00727 \text{ а.о.м.}$
Маса спокою нейтрона	m_n	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00866 \text{ а.о.м.}$
Стала Рідберга (для атома водню)	R	$1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Комптонівська довжина хвилі електрона	λ_c	$2,426 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Магнетон Бора	μ_B	$9,274 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Енергія іонізації атома водню	W_i	$2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж}$

Навчально-методичне видання

АЗНАУРЯН Ірина Олександрівна

ФІЗИКА

**Методичні вказівки до вивчення курсу фізики
для бакалаврів спеціальностей**

122 «Комп'ютерні науки»;

123 «Комп'ютерна інженерія»;

125 «Кібербезпека та захист інформації»;

126 «Інформаційні системи та технології»