

Усов В.В.

**РІШЕННЯ ЗАДАЧ З РОЗДІЛІВ
«ЕЛЕКТРИКА І МАГНЕТИЗМ», «ОПТИКА», «АТОМНА І
ЯДЕРНА ФІЗИКА»**

Методичні настанови для самостійної роботи студентів

Одесса 2012

ББК
Ш

Рецензенти:

А.А. Брюханов,
д-р т. н., професор кафедри фізики
Південноукраїнського національного
педагогічного університету
імені К.Д. Ушинського.

Друкується за рішенням Вченої ради Південноукраїнського
національного
педагогічного університету імені К.Д. Ушинського
протокол № _____.от _____ 2012 г.,

Усов В.В.

**Рішення задач з розділів «Електрика і магнетизм», «Оптика»,
«Атомна і ядерна фізика» : Метод. настанови. – Одеса, 2012 – 58 с.**

ISBN

Методичні настанови призначені для самостійної роботи і контролю знань по розділах “Електрика і магнетизм”, “Оптика”, “Атомна і ядерна фізика”, навчальної дисципліни ”Загальна фізика” для студентів спеціальності «Технологічна освіта». В настанови включена робоча програма дисципліни за даними розділам, приклади рішення задач, набір задач і таблиця варіантів контрольних робіт, а також основні поняття, формули і довідкові значення фізико-хімічних величин, необхідні для виконання контрольних робіт.

ББК

ISBN

©Південноукраїнський національний педагогічний університет
імені К.Д. Ушинського
© В.В. Усов

ЗМІСТ

	с.
1 ВСТУП.....	4
2 МЕТОДИКА ОПРАЦЮВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ	5
3 ЗМІСТ РОЗДІЛІВ ТА ТЕМ.....	6
РОЗДІЛ 1 ПРОГРАМА З «ЕЛЕКТРИКИ І МАГНЕТИЗМУ».....	6
Рекомендована література.....	9
1.1. Електростатика, постійний струм. Основні поняття і формули.....	10
1.2. Електромагнетизм. Основні поняття і формули.....	14
РОЗДІЛ 2. ОПТИКА, ЕЛЕМЕНТИ АТОМНОЇ І ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ...	17
Програма.....	17
Рекомендована література.....	19
2.1. Основні поняття і формули.....	19
РОЗДІЛ 3 ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ.....	27
РОЗДІЛ 4 ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РІШЕННЯ.....	41
ДОДАТКИ.....	53

1. Вступ

Методичні настанови призначені для самостійної роботи і контролю знань по розділах “Електрика і магнетизм”, “Оптика”, “Атомна і ядерна фізика”, навчальної дисципліни “Загальна фізика” для студентів зі спеціальності «Технологічна освіта» за даними розділам, приклади рішення задач, набір задач для самостійного рішення і поняття, формули і довідкові значення фізико-хімічних величин, необхідні для рішення задач. Методичні настанови можуть бути використані також для контролю знань по відповідних розділах загальної фізики.

2. Методика опрацювання навчального матеріалу

В результаті вивчення дисципліни студенти повинні:

Знати

- основні поняття, закони і моделі електрики і магнетизму (постійні і змінні електричні поля у вакуумі і речовині, теорію Максвела, властивості і розповсюдження електромагнітних хвиль, у тому числі оптичного діапазону)
- основи оптики, атомної і ядерної фізики;
- квантову фізику (стан частинок в квантовій механіці, дуалізм хвиль і частинок, співвідношення невизначеностей, електронну будову атомів, молекул і твердих тіл, теорію хімічного зв'язку);
- методи теоретичного і експериментального дослідження у фізиці;
- стандартні правила побудови і читання креслень і схем
- принципи симетрії і закони збереження;

Уміти:

- використовувати методи теоретичного і експериментального дослідження у фізиці;
- оцінювати чисельні порядки величин, характерних для різних розділів природознавства;
- застосовувати стандартні правила побудови і читання креслень і схем;
- компетентно вирішувати комплексні задачі, що включають задачі з різних розділів фізики.

3. ЗМІСТ РОЗДІЛІВ ТА ТЕМ

РОЗДІЛ 1. ПРОГРАМА З «ЕЛЕКТРИКИ І МАГНЕТИЗМУ»

Електричне поле у вакуумі. Визначення елементарного заряду. Закон збереження заряду. Закон Кулона. Електричне поле. Напруженість поля. Лінії напруженості. Потік вектора напруженості. Теорема Гауса і її застосування до розрахунку напруженості полів. Робота сил електричного поля при переміщенні зарядів. Циркуляція вектора напруженості. Потенційний характер електростатичного поля. Потенціал. Потенціал точкового заряду, системи точкових зарядів. Еквіпотенціальні поверхні. Потенціал диполя. Градієнт потенціалу. Зв'язок між напруженістю і потенціалом.

Електричне поле в діелектриках. Провідники і діелектрики. Вільні і зв'язані заряди. Полярні і неполярні діелектрики. Поляризація орієнтаційна і деформаційна. Вектор поляризації. Напруженість поля в діелектрику. Електричний зсув. Теорема Гауса для поля в діелектрику. Діелектрична проникність і її фізичне значення. Електричне поле на межі двох діелектриків. Сегнетоелектрики. П'єзоелектрика і електрострикція.

Провідники в електростатичному полі. Розподіл зарядів в провідниках. Зв'язок між напруженістю поля у поверхні провідника і поверхневою густиною заряду. Електроємність провідників. Конденсатори. Електростатичний генератор.

Енергія електростатичного поля. Енергія системи нерухомих точкових зарядів. Енергія зарядженого провідника. Енергія електростатичного поля. Пондеромоторні сили. Теорія близько- і далекодії.

Постійний електричний струм. Сила і густина струму. Електрорушійна сила і напруга. Класична теорія електропровідності. Висновок закону Ома з електронної теорії. Закон Ома. Диференціальна форма закону Ома. Закон Ома для неоднорідної ділянки ланцюга. Висновок законів Джоуля - Лінча і Відемана-Франца з електронної теорії. Закон Джоуля - Лінча. Диференціальна форма закону Джоуля - Лінча. Залежність опору металів від температури. Надпровідність. Труднощі класичної теорії. Закони Кірхгофа для розгалужених ланцюгів. Визначення заряду електрона. Дослід Міллікена. Експериментальні докази електронної природи струму в металах. Досліди Мандельштама і Папалексі, Стюарта і Толмена.

Елементи зонної теорії твердих тел. Принцип Паулі і енергетичні зони в кристалах. Звироднілість електронного газу. Поняття про

статистику Фермі. Розподіл твердих тіл на ізолятори, метали, напівпровідники. Основні властивості діелектриків.

Електропровідність газів. Іонізація газу і рекомбінація іонів. Несамостійний і самостійний розряд. Газорозрядна плазма. Види розрядів - тліючий, дуговий, іскровий, коронний.

Метали, напівпровідники. Квантова теорія електропровідності металів. Напівпровідникові матеріали. Власна, електронна і дірчаста провідності. Дефекти кристалічної структури і виникнення локальних енергетичних рівнів. Домішки і механізм провідності. Фотопровідність. Напівпровідникові прилади. Квантова теорія контактних явищ. Контактна різниця потенціалів. Робота виходу. Закони Вольта. Термоелектрика. Явище Пельтьє і Томсона. Застосування контактних явищ. Термоелектронна емісія і її практичне застосування.

Магнітне поле. Магнітна взаємодія струмів. Закон Ампера. Магнітна індукція. Досліди Ейхенвальда і Іоффе. Закон Біо-Савара-Лапласа. Поле прямого і кругового струмів. Магнітний момент кругового струму. Циркуляція магнітної індукції. Вихровий характер магнітного поля. Поле соленоїда. Потік вектора магнітної індукції. Робота переміщення контура із струмом в магнітному полі. Магнітне поле зарядів, що рухаються. Рух заряджених частинок в електричному і магнітному полях. Сила Лоренца. Ефект Холу.

Електромагнітна індукція. Виникнення індукційного струму. Закон Лінь. ЕДС індукції. Закон Фарадея. Висновок ЕДС індукції із закону збереження енергії. Електронний механізм виникнення ЕДС. Індуктивність. Самоіндукція і взаємоіндукція. Енергія магнітного поля.

Магнітні властивості речовини. Намагнічування речовини. Напруженість магнітного поля. Циркуляція напруженості магнітного поля. Магнітна проникність і магнітна сприйнятливість. Види магнетиків. Діамагнетизм. Парамагнетизм. Феромагнетизм. Гістерезис. Спин електрона. Досліди Ейнштейна і де Гааза, Іоффе і Капіци, як доказ природи феромагнетиків спину. Доменна природа феромагнетиків. Точка Кюрі. Магнітострикція.

Електромагнітні коливання. Поняття про змінний струм. Коливальний розряд конденсатора. Власні коливання в контурі без активного опору. Контур з омичним опором, індуктивністю і місткістю. Затухаючі коливання. Вимушені електричні коливання. Резонанс напруг і струмів.

Електромагнітні хвилі. Струм зсуву. Вихрове електричне поле. Рівняння Максвела в диференціальній і інтегральній формах. Швидкість розповсюдження електромагнітних хвиль в середовищах. Вектор Пойнтінга. Досліди Герца. Відкриття радіозв'язку А.С.

Поповим. Шкала електромагнітних хвиль.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т. Загальна фізика. Електрика і магнетизм, Київ: Вища школа, 1990.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. Т.,2. М.: Наука, 1977-1979.
3. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. М.: Наука, 1972-1974, Т.2; Киев: Дніпро, 1994, Т.2.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985.
5. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики. Т.2. М.: Высшая школа, 1973-1979.
6. Чертов А.Г., Воробьев А.А., Федоров М.Ф. Задачник по физике. М.: Высшая школа, 1981.
7. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1979.
8. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1982.

Додаткова

1. Калашников С.Г. Электричество. М.: Наука, 1976.
2. Фейнман Р., Лейтон С. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1977, вып. 5,6.
3. Чолпан П.П. Фізика. Київ: Вища школа, 2004.
4. Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высш. школа, 1983.
5. Китайгородский А.И. Введение в физику. М.: Наука 1973.
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М.: Наука, 1979.
7. Кошкин Н., Васильчикова Е. Элементарная физика. Справочник. М.: АО Столетие, 1996.

1.1. Електростатика, постійний струм

Основні поняття і формули

Закон Кулона

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

де F — сила взаємодії точкових зарядів q_1 і q_2 ; r — відстань між зарядами; ϵ — відносна діелектрична проникність середовища, в якому знаходяться заряди; ϵ_0 — електрична постійна.

Напруженість електричного поля і потенціал

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \quad \varphi = \frac{W}{q},$$

де W — потенційна енергія точкового заряду q , що знаходиться в даній точці поля (за умови, що потенційна енергія заряду, видаленого в нескінченність, рівна нулю).

Сила, діюча на точковий заряд q , що знаходиться в електричному полі, і потенційна енергія цього заряду

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} \quad W = q\varphi.$$

Напруженість і потенціал поля, створюваного системою точкових зарядів (принцип суперпозиції електричних полів)

$$\mathbf{E} = \sum_{i=1}^N \mathbf{E}_i \quad \varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i$$

де $\mathbf{E}_i$ φ_i — напруженість і потенціал в даній точці поля, створюваного i -м зарядом.

Напруженість і потенціал поля, створюваного точковим зарядом q на відстані r

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}.$$

Напруженість і потенціал поля, створюваного провідною зарядженою сферою (із зарядом q) радіусом R на відстані r від центру сфери:

$$\text{а) } E=0 \quad \varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R} \quad (\text{при } r < R)$$

$$\text{б) } E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R^2} \quad (\text{при } r = R)$$

$$\text{в) } E = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \quad (\text{при } r > R).$$

Лінійна густина заряду

$$\tau = \frac{dq}{dl}.$$

Поверхнева густина заряду

$$\sigma = \frac{dq}{dS}.$$

Напруженість і потенціал поля, створюваного системою розподілених зарядів, знаходять, розбиваючи систему на точкові заряди і використовуючи принцип суперпозиції електричних полів (тобто проводячи інтеграцію).

Для розрахунку електростатичних полів складних заряджених об'єктів використовується також теорема Гауса:

$$\oint_S \mathbf{E} d\mathbf{S} = \frac{\sum q_i}{\varepsilon_0} \text{ (у вакуумі)}$$

$$\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S} = \sum q_i \text{ (за наявності діелектрика)}$$

де $\mathbf{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \mathbf{E}$ – електричний зсув, S – замкнута поверхня, оточуюча заряди q_i , $\oint_S \mathbf{E} d\mathbf{S}$ і $\oint_S \mathbf{D} d\mathbf{S}$ – потоки векторів $\mathbf{E}$ і $\mathbf{D}$ через поверхню S .

Напруженість поля, створюваного нескінченною рівномірно зарядженою прямою лінією або нескінченно довгим циліндром

$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 r},$$

де r — відстань від нитки або осі циліндра до точки, в якій визначається напруженість поля.

Напруженість поля, створюваного нескінченною рівномірно зарядженою площиною

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Зв'язок потенціалу з напруженістю:

а) $\mathbf{E} = -\text{grad}\varphi$ або $\mathbf{E} = -(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\mathbf{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\mathbf{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\mathbf{k})$ в загальному випадку (i, j, k – одиничні вектора, направлені уздовж осей X, Y, Z , відповідно);

б) $E = (\varphi_1 - \varphi_2)/d$ у випадку однорідного поля;

в) $E = -\frac{\partial\varphi}{\partial r}$ у випадку поля, що володіє центральною або осьовою симетрією.

Електричний момент диполя

$$\mathbf{p} = q\mathbf{l},$$

де q — заряд, $\mathbf{l}$ — плече диполя (векторна величина, направлена від негативного заряду до позитивного і чисельно рівна відстані між зарядами).

Момент сили, діючої на диполь в зовнішньому електричному полі

$$\mathbf{M} = [\mathbf{p} \mathbf{E}] \text{ або } M = pE \sin \alpha.$$

Потенційна енергія диполя в зовнішньому електричному полі

$$W = -[\mathbf{p} \mathbf{E}] \text{ або}$$

де α — кут між $\mathbf{p}$ і $\mathbf{E}$.

Робота сил поля по переміщенню заряду q з точки поля з потенціалом φ_1 в точку з потенціалом φ_2

$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2).$$

Електроємність

$$C = q/\varphi \text{ або } C = q/U$$

де φ — потенціал провідника (за умови, що в нескінченності потенціал провідника приймається рівним нулю); U — різниця потенціалів пластин конденсатора.

Електроємність плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d},$$

де S — площа пластини (одній) конденсатора; d — відстань між пластинами.

Електроємність батареї N конденсаторів:

$$\text{а) } \frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} \text{ — при послідовному з'єднанні;}$$

$$\text{б) } C = \sum_{i=1}^N C_i \text{ — при паралельному з'єднанні.}$$

Енергія зарядженого конденсатора:

$$W = \frac{qU}{2}, \quad W = \frac{CU^2}{2}, \quad W = \frac{q^2}{2C}.$$

Сила постійного струму

$$I = \frac{dq}{dt},$$

де q — заряд, що пройшов через поперечний перетин провідника за час t .

Густина струму

$$I = \frac{dq}{dt},$$

де S — площа поперечного перетину провідника.

Зв'язок густини струму з середньою швидкістю $\langle v \rangle$ направленої руху заряджених частинок

$$j = qn\langle v \rangle,$$

де q — заряд частинки; n — концентрація заряджених частинок.

Закон Ома:

$$\text{а) } I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R} \text{ для однорідної ділянки ланцюга (що не містить}$$

ЕРС)

де $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ різниця потенціалів (напруга) на кінцях ділянки ланцюга; R — опір ділянки;

б) $I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 \pm \varepsilon}{R}$ для неоднорідної ділянки ланцюга (ділянки, що містить ЕРС),

де ε — ЕРС джерела струму; R — повний опір ділянки ланцюга (сума зовнішніх і внутрішніх опорів);

в) $I = \frac{\varepsilon}{R + r}$ для замкнутого (повного) ланцюга

де R — зовнішній опір ланцюга; r — внутрішній опір ланцюга.

Для розгалужених ланцюгів мають місце два закони Кірхгофа:

перший закон Кірхгофа — алгебраїчна сума струмів, що сходяться у вузлі, дорівнює нулю:

$$\sum_i I_i = 0;$$

другий закон Кірхгофа — в будь-якому замкнутому контурі алгебраїчна сума падінь потенціалу на окремих ділянках ланцюга дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, що зустрічаються в цьому контурі

$$\sum_i I_i R_i = \sum_i \varepsilon_i,$$

Опір R і провідність G провідника

$$R = \frac{\rho l}{S}, \quad G = \frac{\sigma S}{l},$$

де ρ — питомий електричний опір; σ — питома електрична провідність; l — довжина провідника; S — площа поперечного перетину провідника.

Опір системи провідників:

а) при послідовному з'єднанні;

б) $\frac{1}{R} = \sum_i \frac{1}{R_i}$ при паралельному з'єднанні

де R_i — опір i -го провідника.

Робота струму:

$$A = IUt = I^2 Rt = \frac{U^2 t}{R}.$$

Потужність струму:

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}.$$

Закон Джоуля—Ленца

$$Q = I^2 Rt.$$

Закон Ома в диференціальній формі

$$\vec{j} = \sigma \vec{E},$$

де σ — питома електрична провідність; $\vec{E}$ — напруженість електричного поля; $\vec{j}$ — густина струму.

1.2. Електромагнетизм Основні поняття і формули

Зв'язок магнітної індукції $\mathbf{B}$ магнітного поля напруженістю $\mathbf{H}$

$$\mathbf{B} = \mu \mu_0 \mathbf{H},$$

де μ — відносна магнітна проникність середовища; μ_0 — магнітна постійна. У вакуумі $\mu = 1$.

Закон Біо—Савара—Лапласа

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu \mu_0}{4\pi} \left[\frac{d\mathbf{l} \times \mathbf{r}}{r^3} \right] \text{ або } dB = \frac{\mu \mu_0}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2}$$

де dB — магнітна індукція поля, створюваного елементом дроту завдовжки dl із струмом I ; $\mathbf{r}$ — радіус-вектор, спрямований від елемента провідника до точки, в якій визначається магнітна індукція; α — кут між радіус-вектором і напрямом струму в елементі дроту dl .

Магнітна індукція в центрі кругового струму

$$B = \frac{\mu \mu_0 I}{2R},$$

де R — радіус кругового витка.

Магнітна індукція на осі кругового струму

$$B = \frac{\mu \mu_0}{2} \frac{R^2 I}{(R^2 + h^2)^{3/2}},$$

де h — відстань від центру витка до точки, в якій визначається магнітна індукція.

Магнітна індукція поля прямого струму

$$B = \frac{\mu \mu_0 I}{2\pi r_0},$$

де r_0 — відстань від осі дроту до точки, в якій визначається магнітна індукція.

Магнітна індукція поля соленоїда

$$B = \mu \mu_0 n I,$$

де n — відношення числа витків соленоїда до його довжини.

Для розрахунку магнітних полів використовується також теорема про циркуляцію вектора $\mathbf{H}$ (закон повного струму для магнітного поля):

$$\oint_{\Gamma} \mathbf{H} d\mathbf{l} = \sum I_i,$$

де Γ – замкнутий контур, що охоплює струми I_i , $\oint_{\Gamma} \mathbf{H} d\mathbf{l}$ – циркуляція вектора $\mathbf{H}$ уздовж контура Γ .

Сила, діюча на дріт завдовжки l із струмом I в магнітному полі (закон Ампера)

$$\mathbf{F} = I [\mathbf{l} \times \mathbf{B}], \text{ або } F = IlB \sin \alpha$$

де α — кут між напрямом струму в дроті і вектором магнітної індукції $\mathbf{B}$. Цей вираз справедливо для однорідного магнітного поля і прямого відрізка дроту. Якщо поле неоднорідно і дріт не є прямим, то закон Ампера можна застосовувати до кожного елемента дроту окремо у вигляді

$$d\mathbf{F} = I [d\mathbf{l} \times \mathbf{B}].$$

Магнітний момент плоского контура із струмом

$$\mathbf{p}_m = I \mathbf{S} \mathbf{n},$$

де $\mathbf{n}$ — одиничний вектор нормалі (позитивній) до площини контура; I — сила струму, що протікає по контуру; S — площа контура.

Механічний (обертальний) момент або момент сили, діючий на контур із струмом, поміщений в однорідне магнітне поле

$$\mathbf{M} = [\mathbf{p}_m \times \mathbf{B}], \text{ або}$$

де α — кут між векторами $\mathbf{p}_m$ і $\mathbf{B}$.

Потенційна енергія (механічна) контура із струмом в магнітному полі

$$\Pi = -(\mathbf{p}_m \cdot \mathbf{B}) \text{ або } \Pi = -p_m B \cos \alpha.$$

Відношення магнітного моменту p_m до механічного моменту (моменту імпульсу) L зарядженої частинки, що рухається по круговій орбіті

$$\frac{p_m}{L} = \frac{q}{2m},$$

де q — заряд частинки; m — маса частинки.

Сила Лоренца

$$\mathbf{F} = q [\mathbf{v} \times \mathbf{B}] \text{ або}$$

де $\mathbf{v}$ — швидкість зарядженої частинки; α — кут між векторами $\mathbf{v}$ і $\mathbf{B}$.

Якщо частинка знаходиться одночасно в електричному і магнітному полях, то під силою Лоренца розуміють вираз

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q [\mathbf{v} \times \mathbf{B}].$$

Магнітний потік:

а) у випадку однорідного магнітного поля і плоскої поверхні
 $\Phi = BS \cos \alpha$ або $\Phi = B_n S$,

де S — площа контура; α — кут між нормаллю до площини контура і вектором магнітної індукції, B_n — проекція вектора $\mathbf{B}$ на нормаль $\mathbf{n}$ до поверхні контура

б) у випадку неоднорідного поля і довільної поверхні

$$\Phi = \int_S B_n dS \text{ (інтегрування ведеться по всій поверхні).}$$

Потокозчеплення (повний магнітний потік)

$$\Psi = N\Phi.$$

Ця формула застосовна до соленоїда і тороїда з рівномірно намотаними щільно прилеглими один до одного витками числом N .

Робота по переміщенню замкнутого контура в магнітному полі

$$A = I\Delta\Phi.$$

ЕРС індукції

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Psi}{dt}.$$

Різниця потенціалів на кінцях дроту завдовжки l , що рухається із швидкістю v в магнітному полі

$$U = Blv \sin \alpha,$$

де l — довжина дроту; α — кут між векторами v і $\mathbf{B}$.

Заряд, що протікає по замкнутому контуру при зміні магнітного потоку, пронизливого цей контур

$$q = \frac{\Delta\Phi}{R} \text{ або}$$

де R — опір контура.

Індуктивність контура

$$L = \frac{\Phi}{I}.$$

ЕДС самоіндукції

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt}.$$

Індуктивність соленоїда

$$L = \mu\mu_0 n^2 V,$$

де n — відношення числа витків соленоїда до його довжини; V — об'єм соленоїда.

Миттєве значення сили струму в ланцюзі, що володіє опором R і індуктивністю L :

$$\text{а) } I = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \text{ (при замиканні ланцюга)}$$

де ε — ЕРС джерела струму; t — час, що пройшов після замикання

ланцюга;

б) $I = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}$ (при розмиканні ланцюга), де I_0 —сила струму в ланцюзі при $t = 0$; t —время, що пройшло з моменту розмикання ланцюга.

Енергія магнітного поля

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

Об'ємна густина енергії магнітного поля (енергія магнітного поля в одиниці об'єму)

$$w = \frac{BH}{2}, \text{ або, } w = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2}$$

де B — магнітна індукція; H — напруженість магнітного поля.

РОЗДІЛ 2. ОПТИКА, ЕЛЕМЕНТИ АТОМНОЇ І ЯДЕРНОЇ ФІЗИКИ

Програма

Вступ. Предмет оптики і еволюція уявлень про природу світла.

Геометрична оптика. Межі застосовності геометричної оптики. Поняття оптичного променя. Закони геометричної оптики. Центрована оптична система. Кардинальні елементи центрованої оптичної системи: фокуси, фокальні площини, головні площини і головні крапки, вузли. Формула оптичної системи. Діафрагми. Діюча діафрагма. Вхідна і вихідна зіниця оптичної системи. Світлосила оптичної системи. Тонка лінза. Побудова зображень в оптичних системах. Лупа, зорова труба, мікроскоп. Око і зір.

Інтерференція світлових хвиль. Когерентність. Тимчасова і просторова когерентність. Способи спостереження інтерференції світла. Класичні інтерференційні досліди: біпризма Френеля, бідзеркала Френеля, досвід Юнга, інтерференція в тонких плівках, кільця Ньютона. Інтерферометри. Багатопроменева інтерференція. Просвітлена оптика і інші практичні застосування інтерференції.

Дифракція світла. Принцип Гюйгенса-Френеля. Дифракція Френеля. Метод зон Френеля. Дифракція Френеля на найпростіших перешкодах (круглому отворі, краї напівплощини). Спіраль Кореню. Дифракція Фраунгофера на щілині і на системі щілин. Дифракційні ґрати. Різновиди дифракційних ґраток (амплітудні, фазові, проникні, відображають). Особливості виготовлення дифракційних ґрат, репліки.

Застосування дифракційних ґраток.

Фотометрія і термодинаміка випромінювання. Основні фотометричні величини (потік променистої енергії, сила світла, яскравість, освітленість). Джерела Ламберта. Особливості сприйняття випромінювання людським оком. Фотометричні і світлотехнічні величини. Функція зорової чутливості. Теплове випромінювання. Закон Кірхгофа. Енергетична світимість. Випускаюча і поглинальна здатність тіла. Абсолютно чорне тіло. Закони випромінювання абсолютно чорного тіла (формула Планка, закон Стефана-Больцмана, закон Віна). Оптична пірометрія. Методи оптичного вимірювання температури.

Поляризація світла. Поляризоване світло. Плоско поляризоване світло, світло, поляризоване по колу і еліпсу. Отримання поляризованого світла. Подвійне променезаломлення в кристалах. Призма Ніколя. Поляризація світла при відбитті. Кут Брюстера, закон Брюстера. Оптично активні середовища. Обертання площини поляризації.

Дисперсія світла. Явище дисперсії. Досліди Ньютона. Нормальна і аномальна дисперсії. Електронна теорія дисперсії.

Розсіяння випромінювання в мутних середовищах. Класифікація мутних середовищ (дими, тумани, суспензії, суспензії, мутні тверді тіла). Ослаблення випромінювання в мутних середовищах. Поглинання і розсіяння випромінювання. Закон Бугера.

Квантові властивості світла. Фотоефект і рівняння Ейнштейна. Зовнішній і внутрішній фотоефект. Фотогальванічний ефект. Ефект Комптона і імпульс фотона. Елементарна теорія ефекту Комптона. Тиск світла. Досліди Лебедева.

Фотохімічна дія світла. Фотохімічна дія світла. Закони фотохімії. Сенсibilізатори. Фізичні основи фотографії. Кольорова фотографія. Голографія. Фізичні принципи і технічна реалізація голографії.

Елементи атомної фізики

Будова атома. Досліди Резерфорда. Постулати Бору. Теорія водневого атома. Спектральні серії і рівні енергії. Недоліки теорії Бору. Гіпотеза де Бройля. Хвильова функція. Рівняння Шредінгера. Квантування енергії на прикладі частинки в нескінченно глибокій потенційній ямі. Спонтанне і вимушене випромінювання. Лазери. Властивості лазерного випромінювання і його застосування в технологічних процесах. Елементи нелінійної оптики.

Елементи ядерної фізики

Атомне ядро. Ядерні реакції. Закон радіоактивного розпаду. Ланцюгова реакція ділення ядер. Ядерні реактори. Термоядерна реакція синтезу. Проблема джерел енергії і можливі шляхи її рішення.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Основна

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. Т. 3. Оптика. Квантова фізика. Київ: Техніка, 2006.
2. Савельєв І.В. Курс общей физики. Т.3,2. М.: Наука, 1977-1979.
3. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. М.: Наука, 1972-1974, Т.3; Киев: Дніпро, 1994, Т.3.
4. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 1985.
5. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики. Т.3. М.: Высшая школа, 1973-1979.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.4, Оптика. М., Наука, 1985.
7. Чертов А.Г., Воробьев А.А., Федоров М.Ф. Задачник по физике. М.: Высшая школа, 1981.
8. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1979.
9. Савельев И.В. Сборник вопросов и задач по общему курсу физики. М.: Наука, 1982.

Додаткова

1. Ландсберг Г.С. Оптика. М.: Наука, 1976.
2. Фейнман Р., Лейтон С. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1977, вып. 3.
3. Бутиков Е.И.. Оптика. М., Высшая школа, 1986.
4. Калитеевский Н.И. Волновая оптика. -М.: Высшая школа, 1978.
5. Шпольский Э. В. Атомная физика. -М.: Наука, 1974, Т.1-2.
6. Китайгородский А.И. Введение в физику. М.: Наука 1973.
7. Чертов А.Г. Единицы физических величин. М.: Высшая школа, 1977.
8. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. М.: Наука, 1979.

2.1. Основні поняття і формули

Швидкість світла в середовищі

$$v = \frac{c}{n},$$

де c — швидкість світла у вакуумі; n — показник заломлення середовища.

Оптична довжина шляху світлової хвилі

$$L = nl,$$

де l — геометрична довжина шляху світлової хвилі в середовищі з показником заломлення n .

Оптична різниця ходу двох світлових хвиль

$$\Delta = L_1 - L_2.$$

Залежність різниці фаз від оптичної різниці ходу світлових хвиль

$$\Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta}{\lambda},$$

де λ — довжина світлової хвилі.

Умова підсилення світла при інтерференції

$$\Delta = \pm k\lambda, \text{ де } k=0, 1, 2, 3 \dots$$

Умова ослаблення світла

$$\Delta = \pm (k + \frac{1}{2})\lambda, \text{ де } k=0, 1, 2, 3 \dots$$

Оптична різниця ходу світлових хвиль, що виникає при відбитті монохроматичного світла від тонкої плівки

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1} \pm \frac{\lambda}{2} \text{ або } \Delta = 2dn\cos i_2 \pm \frac{\lambda}{2}$$

де d — товщина плівки; n — показник заломлення плівки; i_1 — кут падіння; i_2 — кут заломлення світла в плівці.

Відстань між двома інтерференційними смугами на екрані, розташованому паралельно двом когерентним джерелам світла

$$\Delta y = \frac{d}{L}\lambda,$$

де L — відстань від джерел світла до екрану, d — відстань між джерелами ($d \ll L$).

Радіус світлих кілець Ньютона у відбитому світлі

$$r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}},$$

де $k=1, 2, 3 \dots$ — номер кільця; R — радіус кривизни.

Радіус темних кілець Ньютона у відбитому світлі

$$r_k = \sqrt{kR\lambda}, \text{ де } k=1, 2, 3 \dots$$

Кут φ відхилення проміння, відповідний максимуму (світла смуга) при дифракції на одній вузькій щілині, визначається з умови

$$a \sin \varphi = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \text{ де } k=0, 1, 2, 3 \dots$$

де a — ширина щілини; k — порядковий номер максимуму.

Кут φ відхилення проміння, відповідний мінімуму (світла смуга) при дифракції на вузькій щілині, визначається з умови

$$a \sin \varphi = k \lambda, \text{ де } k = 1, 2, 3 \dots$$

де a — ширина щілини; k — порядковий номер максимуму.

Кут φ відхилення проміння, відповідний максимуму (світла смуга) при дифракції світла на дифракційній ґратці, визначається з умови

$$d \sin \varphi = \pm k \lambda, \text{ де } k = 0, 1, 2, 3 \dots$$

де d — період дифракційної ґратки, k — порядковий номер максимуму (порядок спектру).

Радіус зовнішньої межі m -ої зони Френеля

$$r_m = \sqrt{m \frac{ab}{a+b} \lambda},$$

де a — відстань від джерела світла до хвильової поверхні, b — відстань від хвильової поверхні до точки спостереження.

Роздільна здатність дифракційної ґратки

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} = kN,$$

де $\Delta \lambda$ — найменша різниця довжин хвиль двох сусідніх спектральних ліній (λ і $\lambda + \Delta \lambda$), при якій ці лінії можуть бути видно роздільно в спектрі, отриманому за допомогою даних ґрат; N — повне число щілин ґратки.

Кутова дисперсія дифракційної ґратки

$$D = \frac{d\varphi}{d\lambda}$$

Лінійна дисперсія дифракційної ґратки

$$D_{\text{лин}} = F \frac{d\varphi}{d\lambda} = FD,$$

де F — фокусна відстань лінзи, що проектує спектр на екран.

Формула Вульфа — Брегга

$$2d \sin \theta = k \lambda,$$

де θ — кут ковзання (кут між напрямом паралельного пучка рентгенівського випромінювання, падаючого на кристал, і атомною площиною в кристалі); d — відстань між атомними площинами кристала.

Закон Брюстера

$$\operatorname{tg} \theta_B = n_{21},$$

де θ_B — кут падіння, при якому світло, що відбилось від діелектрика, повністю поляризоване; n_{21} — відносний показник заломлення другого середовища відносно першого.

Закон Малюса

$$I = I_0 \cos^2 \alpha$$

де I_0 — інтенсивність плоско поляризованого світла, падаючого на аналізатор; I — інтенсивність цього світла після аналізатора; α — кут між напрямом коливань електричного вектора світла, падаючого на аналізатор, і площиною пропускання аналізатора (якщо коливання електричного вектора падаючого світла співпадають з цією площиною, то аналізатор пропускає дане світло без ослаблення).

Кут повороту площини поляризації монохроматичного світла при проходженні через оптично активну речовину:

а) $\varphi = \alpha d$ (в твердих тілах)

де α — постійна обертання; d — довжина шляху, пройденого світлом в оптично активній речовині;

б) $\varphi = [\alpha] \rho d$ (в розчинах)

де $[\alpha]$ — питоме обертання; ρ — масова концентрація оптично активної речовини в розчині.

Релятивістська маса

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

де m_0 — маса спокою частинки; v — її швидкість; c — швидкість світла у вакуумі; β — швидкість частинки, виражена в частках швидкості світла ($\beta = v/c$).

Взаємозв'язок маси і енергії релятивістської частинки

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{E_0}{\sqrt{1 - \beta^2}},$$

де $E_0 = m_0 c^2$ — енергія спокою частинки.

Повна енергія вільної частинки

$$E = E_0 + T,$$

де T — кінетична енергія релятивістської частинки.

Кінетична енергія релятивістської частинки

$$T = (m - m_0)c^2 = E_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right).$$

Імпульс релятивістської частинки

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = m_0 c \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Зв'язок між повною енергією і імпульсом релятивістської частинки

$$E^2 = E_0^2 + (pc)^2$$

Закон Стефана—Больцмана

$$R_e = \sigma T^4,$$

де R_e — енергетична світимість абсолютно чорного тіла σ — *постоянная* Стефана—Больцмана; T — термодинамічна температура Кельвіна.

Якщо тіло не є абсолютно чорним, то закон Стефана—Больцмана застосовують у вигляді

$$R_e = a\sigma T^4,$$

де a — коефіцієнт (ступінь) чорноти тіла ($a < 1$).

Закон зрушення Віна

$$\lambda_m = \frac{b}{T},$$

де λ_m — довжина хвилі, на яку доводиться максимум енергії випромінювання; b — постійна Віна.

Максимальна спектральна густина енергетичної світимості абсолютно чорного тіла

$$(r_{\lambda,T})_{\max} = C_1 T^5,$$

де $C_1 = 1,29 \cdot 10^{-5} \text{ Вт/(м}^3 \text{ К}^5\text{)}$.

Енергія фотона

$$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega,$$

де h — постійна Планка; $\hbar$ — постійна Планка, ділена на 2π ; ν — частота фотона; ω — циклічна частота.

Маса фотона

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h}{c\lambda}.$$

де c — швидкість світла у вакуумі; λ — довжина хвилі фотона.

Імпульс фотона

$$p = mc = \frac{h}{\lambda}.$$

Формула Ейнштейна для фотоефекту

$$h\nu = A + T_{\max} = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}$$

де $h\nu$ — енергія фотона, падаючого на поверхню металу; A — робота

виходу електрона; T_{max} — максимальна кінетична енергія фотоелектрона.

Червона межа фотоефекту

$$\nu_0 = \frac{A}{h}, \text{ або } \lambda_0 = \frac{hc}{A}$$

де ν_0 — мінімальна частота світла, при якій ще можливий фотоефект; λ_0 — максимальна довжина хвилі світла, при якій ще можливий фотоефект; h — постійна Планка; c — швидкість світла у вакуумі.

Формула Комптона

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos\theta) = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

де λ_1 — довжина хвилі фотона, що зустрівся з вільним або слабо зв'язаним електроном; λ_2 — довжина хвилі фотона, розсіяного на кут θ після зіткнення з електроном; m_0 — маса електрона, що покоїться.

Комптонівська довжина хвилі

$$\Lambda = \frac{h}{m_0 c}.$$

Тиск світла при нормальному падінні на поверхню

$$P = \frac{E_e(1+\rho)}{c} = w(1+\rho),$$

де E_e — енергетична освітленість, w — об'ємна густина енергії випромінювання; ρ — коефіцієнт відбиття.

Момент імпульсу електрона згідно теорії Бору для атома водню

$$L_n = m v_n r_n = \hbar n,$$

де m — маса електрона; v_n — швидкість електрона на n -й орбіті; r_n — радіус n -й стаціонарної орбіти; $\hbar = h/2\pi$ — постійна Планка; n — головне квантове число ($n = 1, 2, 3, \dots$).

Радіус n -й стаціонарної орбіти

$$r_n = a_0 n^2,$$

де a_0 — перший борівський радіус.

Енергія електрона в атомі водню

$$E_n = \frac{E_i}{n^2},$$

де E_i — енергія іонізації атома водню.

Енергія, випромінювана або поглинається атомом водню

$$\varepsilon = \hbar\omega = E_{n_2} - E_{n_1} = E_i \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

де n_1 і n_2 — квантові числа, відповідні енергетичним рівням, між якими здійснюється перехід електрона в атомі.

Спектроскопічне хвильове число

$$\nu = \frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right),$$

де λ — довжина хвилі випромінювання або поглинання атомом; R — постійна Рідберга.

Довжина хвилі де Бройля

$$\lambda = \frac{2\pi\hbar}{p},$$

де p — імпульс частинки.

Імпульс частинки і його зв'язок з кінетичною енергією T :

а) $p = m_0 v = \sqrt{2m_0 T}$ при $v \ll c$ (нерелятивістський випадок)

б) $p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{c} \sqrt{E_0^2 + T^2}$ при $v \leq c$ (релятивістський

випадок),

де m_0 — маса спокою частинки; m — релятивістська маса; v — швидкість частинки; c — швидкість світла у вакуумі; E_0 — енергія спокою частинки ($E_0 = m_0 c^2$).

Співвідношення невизначеностей:

а) $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar$ (для координати і імпульсу)

де Δp_x — невизначеність проекції імпульсу на вісь X Δx — невизначеність координати;

б) $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ (для енергії і часу)

де ΔE — невизначеність енергії; Δt — час життя квантової системи в даному енергетичному стані.

Одновимірне рівняння Шредінгера для стаціонарних станів

$$\frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2} (E - U) \psi = 0,$$

де $\psi = \psi(x)$ — хвильова функція, що описує стан частинки; m — маса частинки; E — повна енергія; $U = U(x)$ — потенційна енергія частинки.

Густина вірогідності

$$\frac{dw(x)}{dx} = |\Psi(x)|^2,$$

де $dw(x)$ — імовірність того, що частинка може бути знайдена поблизу точки з координатою x на ділянці dx .

Вірогідність виявлення частинки в інтервалі від x_1 до x_2

$$w = \int_{x_1}^{x_2} |\Psi(x)|^2 dx.$$

Рішення рівняння Шредінгера для одновимірного, нескінченно глибокого, прямокутного потенційного ящика:

$$a) \Psi_n(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi n}{l} x \quad (\text{власна нормована хвильова функція});$$

$$б) E_n = \frac{\pi^2 \hbar^2 n^2}{2ml^2} \quad (\text{власне значення енергії})$$

де n — квантове число ($n = 1, 2, 3 \dots$); l — ширина ящика. В області $0 < x < l$ $U = \infty$ і $\psi(x) = 0$.

Масове число ядра (число нуклонів в ядрі)

$$A = Z + N,$$

де Z — зарядне число (число протонів); N — число нейтронів.

Закон радіоактивного розпаду

$$dN = -\lambda N dt, \text{ або}$$

де dN — число ядер, що розпадаються за інтервал часу dt , N — число ядер, що не розпалися до моменту часу t ; N_0 — число ядер в початковий момент ($t_0 = 0$); λ — постійна радіоактивного розпаду.

Число ядер, що розпалися за час t

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}).$$

У випадку, якщо інтервал часу Δt , за який визначається число ядер, що розпалися, багато менше періоду напіврозпаду $T_{1/2}$, то число ядер, що розпалися, можна визначити за формулою

$$\Delta N = N_0 \lambda \Delta t.$$

Залежність періоду напіврозпаду від постійної радіоактивного розпаду

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

Середній час τ життя радіоактивного ядра, тобто інтервал часу, за який число ядер, що не розпалися, зменшується в e разів

$$\tau = \frac{1}{\lambda}.$$

Число атомів N , що містяться радіоактивному ізотопі

$$N = \frac{N_A m}{\mu},$$

де m — маса ізотопу; μ — молярна маса; N_A — постійна Авогадро.

Активність A радіоактивного ізотопу

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t},$$

де dN — число ядер, що розпадаються за інтервал часу dt ; A_0 — активність ізотопу в початковий момент часу.

Питома активність ізотопу

$$a = \frac{A}{m}.$$

Дефект маси ядра

$$\Delta m = Z m_p + (A - Z) m_n - m_{\text{ядр}},$$

де Z — зарядне число (число протонів в ядрі); A — масове число (число нуклонів в ядрі); $(A - Z)$ — число нейтронів в ядрі; m_p — маса протона; m_n — маса нейтрона; $m_{\text{ядр}}$ — маса ядра.

Зміна енергії при ядерній реакції визначається співвідношенням

$$\Delta W = (\sum M_1 - \sum M_2) c^2$$

де $\sum M_1$ — сума мас частинок до реакції і $\sum M_2$ — сума мас частинок після реакції. Якщо $\sum M_1 > \sum M_2$, то реакція йде з виділенням енергії, якщо ж $\sum M_1 < \sum M_2$, то реакція йде з поглинанням енергії. Відзначимо, що в останню формулу так само, як і при обчисленні енергії зв'язку ядра, ми можемо підставляти масу ізотопів, а не ядер, оскільки поправки на масу електронів оболонки входять з різними знаками і тому виключаються.

Енергія зв'язку ядра

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2,$$

де Δm — дефект маси ядра; c — швидкість світла у вакуумі.

РОЗДІЛ 3. ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. Три однакові позитивні заряди $Q_1=Q_2=Q_3=1$ нКл розташовано у вершинах рівностороннього трикутника. Який негативний заряд Q_4 потрібно помістити в центрі трикутника, щоб сила притягнення з його сторони зрівноважила сили взаємного відштовхування зарядів, що знаходяться у вершинах трикутника?

Рішення:

Схема розташування зарядів показана на малюнку.

Всі три заряди, розташовані у вершинах трикутника, знаходяться в однакових умовах. Тому для вирішення задачі достатньо з'ясувати, який заряд Q_4 слід помістити в центрі трикутника, щоб один з трьох

позитивних зарядів, наприклад Q_1 , знаходився в рівновазі. Відповідно до принципу суперпозиції, на заряд Q_1 діє кожний заряд незалежно від інших. Тому заряд Q_1 буде знаходитися в рівновазі, якщо векторна сума діючих на нього сил дорівнює нулю:

$$\mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 = \mathbf{F} + \mathbf{F}_4 = 0 \quad (1)$$

де $\mathbf{F}_2, \mathbf{F}_3, \mathbf{F}_4$ - сили, з якими діють на заряд Q_1 заряди Q_2, Q_3 , і Q_4 ; $\mathbf{F}$ - рівнодіюча сил $\mathbf{F}_2$ і $\mathbf{F}_3$.

Оскільки сили $\mathbf{F}$ і $\mathbf{F}_4$ направлені по одній прямій, то векторну рівність (1) можна замінити скалярною сумою: $F - F_4 = 0$ або $F_4 = F$.

Виразимо в останній рівності F через F_2 і F_3 . Ураховуючи, що $F_2 = F_3$, отримаємо $F = 2F_2 \cos(\alpha/2)$. Оскільки $\cos 2(\alpha/2) = (1/2)(1 + \cos \alpha)$, то маємо: $F_4 = F_2 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}$.

Застосовуючи закон Кулона, згідно якому $F_2 = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, $F_4 = \frac{Q_1 Q_4}{4\pi\epsilon_0 r_1^2}$, и маючи на увазі, що $Q_2 = Q_3 = Q_1$, знайдемо:

$$\frac{Q_1 Q_4}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = \frac{Q_1^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \sqrt{2(1 + \cos \alpha)} \quad (2).$$

Звідси одержуємо вираз для величини заряду Q_4 :

$$Q_4 = \frac{Q_1 r_1^2 \sqrt{2(1 + \cos \alpha)}}{r^2}.$$

З геометричних побудов в рівносторонньому трикутнику витікає, що $\cos \alpha = 1/2$, $r_1 = \frac{r}{\sqrt{3}}$. З урахуванням цього, формула (2) прикмет наступний вигляд. Підставивши сюди значення Q_1 , одержуємо, що $Q_4 = 0,58$ нКл.

Відповідь: $Q_4 = 0,58$ нКл.

Задача 2. Електричне поле створено двома паралельними нескінченними зарядженими площинами з поверхневими площинами заряду $\sigma_1 = 0,4$ мкКл/м² і $\sigma_2 = 0,1$ мкКл/м². Визначити напруженість електричного поля, створеного цими зарядженими площинами.

Рішення:

Згідно принципу суперпозиції, поля, створювані кожною зарядженою площиною окремо, накладаються один на одного, причому кожна заряджена площина створює електричне поле незалежно від присутності іншої зарядженої площини. Напруженості однорідних електричних полів, створюваних першою і другою площинами, відповідно, дорівнюють:

$$E_1 = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_0} \text{ і } E_2 = \frac{\sigma_2}{2\varepsilon_0}$$

Площини ділять весь простір на три області: (I), (II) і (III), як показано на малюнку. Оскільки обидві площини заряджені позитивно, то в першій і третій областях електричні силові лінії обох полів $E^{(I)}$ і $E^{(III)}$ направлені в одну сторону і, отже, напруженості сумарних полів $E^{(I)}$ і $E^{(III)}$ в першій і третій областях рівні між собою і рівні сумі напруженостей полів, створюваних першою і другою площинами:

$$E^{(I)} = E^{(III)} = E_1 + E_2 \text{ або } E^{(I)} = E^{(III)} = 28,3 \text{ кВ/м.}$$

В другій області (між площинами) електричні силові лінії полів напрямлено в протилежні сторони і, отже, напруженість поля $E^{(II)}$ рівна різниці напруженостей полів, створюваних першою і другою площинами:

$$E^{(II)} = |E_1 - E_2| \text{ или } E^{(II)} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2\varepsilon_0} = 17 \text{ кВ/м.}$$

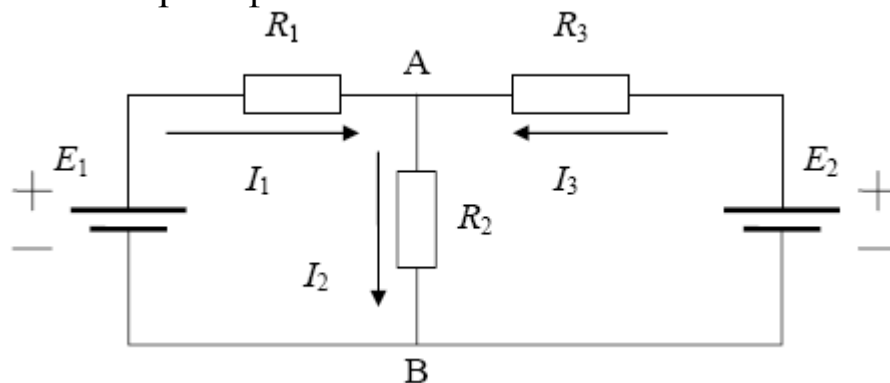
На малюнку вказані напрями електричних полів E_1 , E_2 , і E , створюваних, відповідно, першою площиною, другою площиною і двома площинами разом.

Відповідь: $E^{(I)} = E^{(III)} = 28,3 \text{ кВ/м}$; $E^{(II)} = 17 \text{ кВ/м}$.

Задача 3. Визначити силу струму I_3 в резисторі опором R_3 в схемі, показаній на малюнку, і напруга U_3 на кінцях резистора, якщо $E_1 = 4 \text{ В}$, $E_2 = 3 \text{ В}$, $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 1 \text{ Ом}$. Внутрішніми опорами джерел струму нехтувати.

Рішення:

Струми, що протікають через резистори, і їх напрями вказані на малюнку. Сили струмів в розгалуженому ланцюзі визначають за допомогою законів Кірхгофа.



Перший закон Кірхгофа для вузла А свідчить: алгебраїчна сума струмів у вузлі дорівнює нулю. Вважаючи струми, що течуть до вузла, позитивними, а струми, що витікають з вузла, негативними, отримаємо:

$$I_1 - I_2 + I_3 = 0 .$$

Застосування другого закону Кірхгофа вимагає попереднього вибору довільного замкнутого контура в ланцюзі і вибору напрямку обходу цього контура. Якщо напрям ЕДС в контурі співпадає з напрямом обходу, то ЕРС береться із знаком плюс, а якщо ні, то із знаком мінус. Якщо напрям струму через деякий резистор співпадає з напрямом обходу, то падіння напруги на ньому (добуток сили струму на опір) береться із знаком плюс, а якщо ні, то із знаком мінус. З урахуванням вказаного правила знаків, другий закон Кірхгофа формулюється так: алгебраїчна сума падінь напруги в довільному замкнутому контурі ланцюга дорівнює алгебраїчній сумі ЕРС, діючих в цьому контурі. Застосування другого закону Кірхгофа для контура АЕ₁В дає:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 = E_1 ,$$

а для контура АЕ₂В маємо:

$$I_3 R_3 + I_2 R_2 = E_2 .$$

Отримані рівняння є системою трьох рівнянь з трьома невідомими струмами I_1 , I_2 і I_3 . Вирішуючи цю систему, знайдемо всі три невідомі величини струмів. Зокрема:

$$I_3 = \frac{E_2 R_1 + E_2 R_2 - E_1 R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} .$$

Напруга на кінцях резистора дорівнює $U_3 = I_3 R_3$. Підстановка чисельних значень задачі дає наступний результат: $I_3 = 0$ і $U_3 = 0$.

Відповідь: $I_3 = 0$ А і $U_3 = 0$ В.

Задача 4. Визначити магнітну індукцію B поля, створюваного відрізком нескінченно довгого прямого дроту завдовжки $l = 40$ см, в точці, видаленій від кінців відрізка на відстані $l_1 = 50$ см і $l_2 = 30$ см. Сила струму I , що тече по дроту, дорівнює 50 А.

Рішення:

Геометрія задачі показана на малюнку.

Згідно закону Біо-Савара-Лапласа, індукція магнітного поля dB , створюваного відрізком дроту із струмом I завдовжки dl в точці, що знаходиться на відстані r від середини відрізка dl , визначається виразом:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \left| \frac{dl \times r}{r^3} \right|$$

де dl - вектор, рівний по модулю довжині відрізка dl і співпадаючий за напрямом із струмом, r - радіус-вектор, проведений від середини

елемента провідника до точки, в якій визначається магнітна індукція, μ – магнітна проникність, μ_0 – магнітна постійна.

Для модуля вектора магнітної індукції маємо вираз:

$$dB = \frac{\mu\mu_0 I \sin\alpha}{4\pi r^2} dl \quad (1)$$

де α - кут між векторами dl і r . З умови задачі витікає, що дріт знаходиться в немагнітному середовищі (в повітрі) і, отже, $\mu = 1$.

Хай елемент провідника dl видно з точки А під кутом $d\alpha$, а відстань від точки А до дроту рівно r_0 . З малюнка витікає, що

$$dl = r \frac{d\alpha}{\sin\alpha}, \quad r = \frac{r_0}{\sin\alpha}.$$

Підставляючи ці вирази у формулу (1), отримаємо:

$$dB = \frac{\mu_0 I \sin\alpha d\alpha}{4\pi r_0}.$$

Щоб визначити магнітну індукцію поля, створюваного відрізком провідника, проінтегруємо отриманий вираз по куту в межах від α_1 до α_2 .

$$B = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\mu_0 I \sin\alpha}{4\pi r_0} d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin\alpha d\alpha.$$

Узявши інтеграл, одержуємо:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2).$$

З умови задачі витікає, що $l_1^2 = l^2 + l_2^2$ ($2500 = 1600 + 900$), тобто $\alpha_2 = 90^\circ$, $\cos\alpha_2 = 0$, $r_0 = l_2 = 30$ см, $\cos\alpha_1 = 4/5$.

Підставляючи чисельні значення, отримаємо $B = 13,3$ мкТл.

Відповідь: $B = 13,3$ мкТл.

Задача 5. Провідник завдовжки $l = 0,2$ м і масою 5г, розташований горизонтально в однорідному магнітному полі, вектор індукції якого перпендикулярний полю. Індукція поля рівна $B = 0,4$ Тл. Який струм потрібно пропустити по провіднику, щоб він вільно висів в полі?

Рішення:

На провідник діють дві сили: сила вантажу P , напрямлена вниз, і сила Ампера F , яка повинна бути напрямлена вгору. Щоб провідник знаходився в рівновазі, повинна виконуватися умова: $P = F$. Сила вантажу дорівнює $P = mg$, де m – маса провідника, g - прискорення вільного падіння. Сила Ампера, діюча на провідник із струмом, рівна $F = IB \sin\alpha$, де α - кут між напрямом струму і напрямом вектора магнітної індукції. З умови задачі витікає, що $\alpha = 90^\circ$ і $\sin\alpha = 1$. Отже, $mg = IB$, звідки $I = mg/B$, $I = 0,005 \cdot 9,8 / (0,4 \cdot 0,2) = 0,6$ А.

Відповідь: $I=0,6$ А.

Задача 6. Два прямолінійні довгі паралельні провідники знаходяться на відстані $d_1=10$ см один від одного. По провідниках в одному напрямі течуть струми $I_1=30$ А і $I_2=20$ А. Яку роботу A_1 потрібно вчинити (на одиницю довжини провідників), щоб розсунути ці провідники до відстані $d_2=20$ см?

Рішення:

Кожний з провідників знаходиться в магнітному полі, створюваному іншим провідником. Робота, яку потрібно виконати, щоб перемістити провідник із струмом I_1 і завдовжки l паралельно самому собі в площині, що проходить через обидва провідники, дорівнюватиме: $A=I_1 \cdot \Delta\Phi$, де $\Delta\Phi$ - магнітний потік, що перетинається цим дротом.

Помітимо, що рух цього дроту відбувається в магнітному полі, створюваному струмом I_2 . Значення магнітної індукції B , створюваній довгим прямим дротом, визначається виразом: $B = \frac{\mu_0 I}{2\pi x}$, де x - відстань від дроту до точки спостереження.

Для визначення величини $\Delta\Phi$ скористаємося малюнком і розглянемо шар завтовшки dx і довжиною l , що знаходиться на відстані x від дроту із струмом I_2 . Магнітний потік $d\Phi$, що пронизує цей шар, буде рівний: $d\Phi=B(x)ds$, де $ds=ldx$ - площа шару. Підставляючи сюди вираз для магнітної індукції $B(x)$, одержуємо:

$$d\Phi = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi x} l dx.$$

Інтегруючи це співвідношення в межах від d_1 до d_2 , знаходимо:

$$\Delta\Phi = \int_{d_1}^{d_2} \frac{\mu_0 I_2 l}{2\pi x} dx = \frac{\mu_0 I_2 l}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}.$$

Оскільки за умовою задачі вимагається визначити роботу A_1 по переміщенню одиниці довжини провідника $A_1=A/l$, то для роботи A_1 одержуємо вираз:

$$A_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}.$$

Підставляючи числові значення, знаходимо $A_1=83$ мкДж/м.

Відповідь: $A_1=83$ мкДж/м.

Задача 7. Електрон рухається в однорідному магнітному полі з індукцією $B=9$ мТл по гвинтовій лінії, радіус якої рівний $R=1$ см і крок $h=7,8$ см. Визначити період T обігу електрона і його швидкість v .

Рішення:

Трасекторія руху електрона схематично показана на малюнку.

Вона є результатом двох рухів: обертання по колу під дією сили Лоренца в площині, перпендикулярній магнітному полю, і рівномірного руху уздовж напрямку поля. Другий закон Ньютона, що описує обертальний рух електрона, записується у вигляді:

$$e v_{\perp} B = \frac{m_e v_{\perp}^2}{R}$$

Звідси одержуємо вираз для компоненти швидкості обертання електрона по колу $v_{\perp} = \frac{e}{m_e} B R$. Отже, період обігу електрона по колу можна знайти по формулі:

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = 2\pi \frac{m_e}{eB}$$

Швидкість руху електрона уздовж магнітного поля знаходимо як:

$$v_{\parallel} = \frac{h}{T} = \frac{heB}{2\pi m_e}$$

З урахуванням отриманих виразів, для повної швидкості одержуємо наступну формулу:

$$v = \sqrt{v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2} = \frac{e}{m_e} B \sqrt{R^2 + \frac{h^2}{4\pi^2}}$$

Після підстановки числових значень у вирази для T і v , знаходимо: $T=3,97$ нс і $v=25,2$ Мм/с.

Відповідь: $T=3,97$ нс, $v=25,2$ Мм/с.

Задача 8.

Для усунення відбиття світла від поверхні лінзи на неї наноситься тонка плівка речовини з показником заломлення 1,25, меншим, ніж у скла (прояснення оптики). При якій якнайменшій товщині плівки відбиття світла з довжиною хвилі 0,72 мкм не буде спостерігатися, якщо кут падіння проміння 60° ?

Рішення. Оптична різниця ходу проміння, відображеного від нижньої і верхньої поверхонь плівки (мал.)

$$\Delta = 2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i}, \quad (1)$$

де d - товщина плівки; n - показник заломлення плівки; i - кут падіння проміння. У виразі враховано, що відбиття проміння на обох поверхнях походить від оптично більш щільного середовища і тому втрати

півхвилі в обох випадках компенсують один одного. Умова інтерференційного максимуму

$$\Delta = \pm(2m-1)\frac{\lambda}{2} \quad (m=1,2,\dots) \quad (2)$$

де λ - довжина хвилі світла. Підставляючи (1) в (2) і ураховуючи, що вираз (1) позитивно, одержуємо

$$2d\sqrt{n^2 - \sin^2 i} = (2m-1)\frac{\lambda}{2} \quad (3)$$

З (3) знайдемо можливі значення товщини плівки:

$$d = \frac{(2m-1)\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i}} \quad (4)$$

Якнайменша товщина плівки спостерігається при $m=1$:

$$d_{\min} = \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 i}}$$

$$d_{\min} = \frac{0,72 \cdot 10^{-6}}{4\sqrt{1,25^2 - \sin^2 60^\circ}} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,2 \text{ мкм}$$

Відповідь: $d = 0,2$ мкм.

Задача 9

Природне світло падає на поверхню діелектрика під кутом повної поляризації. Ступінь поляризації заломленого променя складає 0,124. Знайти коефіцієнт пропускання світла.

Рішення. Природне світло можна представити як накладення двох некогерентних хвиль, поляризованих у взаємно перпендикулярних площинах і мають однакову інтенсивність

$$I_{\parallel} = I_{\perp}, \quad (1)$$

де індекси позначають коливання, паралельні і перпендикулярні площини падіння світла на поверхню діелектрика, причому, інтенсивність падаючого світла

$$I = I_{\parallel} + I_{\perp}. \quad (2)$$

При падінні світла під кутом повної поляризації відбиваються тільки хвилі, поляризовані в площині, перпендикулярній площині падіння. Інтенсивність заломленої хвилі

$$I'' = I''_{\parallel} + I''_{\perp}. \quad (3)$$

Складові інтенсивності заломленої хвилі

$$I''_{\parallel} = I, \quad I''_{\perp} = I - I'', \quad (4)$$

де I' – інтенсивність відбитого світла. Ступінь поляризації заломленого променя

$$p'' = \frac{I''_{\max} - I''_{\min}}{I''_{\max} + I''_{\min}} = \frac{I''_{\parallel} - I''_{\perp}}{I''_{\parallel} + I''_{\perp}} = \frac{I''_{\parallel} - I''_{\perp}}{I''} \quad (5)$$

З урахуванням рівнянь (4) і (1) вираз (5) можна представити у вигляді

$$p'' = \frac{I'}{I''}. \quad (6)$$

Коефіцієнт пропускання світла

$$\tau = \frac{I''}{I} = \frac{I''}{(I' + I'')} \quad (7)$$

або з урахуванням виразу (6)

$$\tau = \frac{1}{(1 + p'')}. \quad (7)$$

Проводячи обчислення, одержуємо

$$\tau = \frac{1}{(1 + 0,124)} = 0,89$$

Відповідь: $\tau = 0,89$.

Задача 10.

В результаті ефекту Комптона фотон при зіткненні з електроном був розсіяний на кут $\theta = 90^\circ$. Енергія розсіяного фотона $E_2 = 0,4$ МеВ. Визначити енергію фотона E_1 до розсіяння.

Рішення. Для визначення енергії первинного фотона скористаємося формулою Комптона

$$\Delta\lambda = 2 \frac{h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

де $\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1$ – зміна довжини хвилі фотона в результаті розсіяння на вільному електроні; h – постійна Планка; m_0 – маса спокою електрона; c – швидкість світла у вакуумі; θ – кут розсіяння фотона.

Перетворимо формулу (1): 1) замінимо в ній $\Delta\lambda$ на $\lambda_2 - \lambda_1$; 2) виразимо довжини хвиль λ_1 і λ_2 через енергії E_1 і E_2 відповідних фотонів, скориставшись формулою $E = \frac{hc}{\lambda}$; 3) помножимо чисельник і знаменник першої частини формули на c . Тоді

$$\frac{hc}{E_2} - \frac{E_2 m_0 c^2}{m_0 c^2} 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}.$$

Скоротимо на hc і виразимо з цієї формули шукану енергію:

$$E_1 = \frac{E_2 m_0 c^2}{m_0 c^2 - E_2 2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} = \frac{E_2 E_0}{E_0 - 2 E_2 \sin^2 \frac{\theta}{2}} \quad (2)$$

де $E_0 = m_0 c^2$ – енергія спокою електрона.

Обчислення за формулою (2) зручніше вести в позасистемних одиницях. Оскільки для електрона $E_0 = 0,511$ MeB, то

$$E_1 = \frac{0,4 \cdot 0,511}{0,511 - 2 \cdot 0,4 \sin^2 40^\circ / 2} = 1,85 \text{ MeB.}$$

Відповідь: $= 1,85$ MeB.

Задача 11.

Електрон в атомі водню перейшов з четвертого енергетичного рівня на другий. Визначити енергію випущеного при цьому фотона.

Рішення. Для визначення енергії фотона скористаємося узагальненою формулою Бальмера для іонів, подібних до водню,:

$$\frac{1}{\lambda} = RZ^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \quad (1)$$

де λ – довжина хвилі фотона; R – постійна Рідберга; Z – заряд ядра у відносних одиницях (при $Z=1$ формула переходить в узагальнену формулу Бальмера для водню; n_1 – номер орбіти, на яку перейшов електрон; n_2 – номер орбіти, з якою перейшов електрон (n_1 і n_2 – головні квантові числа).

Енергія фотона

$$E = \frac{hc}{\lambda}.$$

Тому, помноживши обидві частини рівності (1) на, отримаємо вираз для енергії фотона

$$E = RhcZ^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Оскільки Rhc є енергія іонізації атома водню, то

$$E = E_i Z^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right).$$

Обчислення виконаємо в позасистемних одиницях:

$E_i = 13,6$ eB; $Z = 1$; $n_1 = 2$; $n_2 = 4$.

$$E = 13,6 \cdot 1^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{4^2} \right) \text{ eB} = 2,55 \text{ eB}$$

Відповідь: $E = 2,55$ eB.

Задача 12.

Електрон, початковою швидкістю якого можна нехтувати, пройшов прискорюючу різницю потенціалів U . Знайти довжину хвилі де Бройля електрона для двох випадків: 1) $U_1 = 51$ B; 2) $U_2 = 510$ kB.

Рішення. Довжина хвилі де Бройля для частинки залежить від її імпульсу p і визначається формулою

$$\lambda = h/p \quad (1)$$

де h – постійна Планка.

Імпульс частинки можна визначити, якщо відома її кінетична енергія $E_{кин.}$. Зв'язок імпульсу з кінетичною енергією різний для нерелятивістського випадку (коли кінетична енергія частинки багато менше її енергії спокою) і для релятивістського випадку (коли кінетична енергія порівнянна з енергією спокою частинки).

В нерелятивістському випадку

$$p = \sqrt{2m_0 E_{кин.}} \quad (2)$$

де m_0 – маса спокою частинки.

В релятивістському випадку

$$p = \frac{\sqrt{E_0^2 + E_{кин.}^2}}{c} \quad (3)$$

де $E_0 = m_0 c^2$ – енергія спокою частинки.

Формула (1) з урахуванням співвідношень (2) і (3) запишеться:

В нерелятивістському випадку

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 E_{кин.}}} \quad (4)$$

в релятивістському випадку

$$\lambda = \frac{hc}{\sqrt{E_0^2 + E_{кин.}^2}} \quad (5)$$

Порівняємо кінетичні енергії електрона, що пройшов задані в умові задачі різниці потенціалів $U_1=51\text{В}$ і $U_2=510\text{ кВ}$, з енергією спокою електрона і залежно від цього вирішимо, яку з формул (4) або (5) слід застосувати для обчислення довжини хвилі де Бройля.

Як відомо, кінетична енергія електрона, що пройшов прискорюючу різницю потенціалів U ,

$$E_{кин.} = eU.$$

В першому випадку $E_{кин.1} = eU_1 = 51\text{еВ} = 0,51 \cdot 10^{-4}\text{ МеВ}$, що багато менше енергії спокою електрона $E_0 = m_0 c^2 = 0,51\text{ МеВ}$. Отже, в цьому випадку можна застосувати формулу (4), перепишемо її у вигляді

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 \cdot 10^{-4} \cdot m_0 c^2}} = \frac{10^2}{\sqrt{2}} \frac{h}{m_0 c}.$$

Ураховуючи, що $\frac{h}{m_0 c}$ є комптонівська довжина хвилі, одержуємо

$$\lambda_1 = 10^2 \Lambda / \sqrt{2}.$$

Оскільки $\Lambda = 2,43$ пм, то $\lambda_1 = 10^2 2,43 / \sqrt{2} = 171$ пм.

В другому випадку кінетична енергія $E_{кин.2} = eU_2 = 510$ кэВ $= 0,51$ МеВ, тобто рівна енергії спокою електрона. В цьому випадку необхідно застосувати релятивістську формулу (5). Ураховуючи, що $E_{кин.2} = 0,51$ МеВ $= m_0 c^2$, за формулою (5) знаходимо

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{m_0^2 c^4 + m_0^2 c^4}} = \frac{h}{\sqrt{3} m_0 c}, \text{ або } \lambda_2 = \Lambda / \sqrt{3}.$$

Підставимо значення Λ і проведемо обчислення:

$$\lambda_2 = 2,43 / \sqrt{3} \text{ пм} = 1,40 \text{ пм}.$$

Відповідь: $\lambda_2 = 1,40$ пм.

Задача 13.

Кінетична енергія електрона в атомі водню складає величину порядку $E_{кин.} = 10$ еВ. Використовуючи співвідношення невизначеностей, оцінити мінімальні лінійні розміри атома.

Рішення. Співвідношення невизначеностей для координати і імпульсу має вигляд

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar \quad (1)$$

де Δx – невизначеність координати частинки (в даному випадку електрона), Δp_x – невизначеність імпульсу частинки (електрона); $\hbar$ – постійна Планка. Із співвідношення невизначеностей витікає, що ніж точніше визначається положення частинки в просторі, тим більш невизначеним стає імпульс, а отже, і енергія частинки. Хай атом має лінійні розміри l , тоді електрон атома буде знаходитися десь в межах області з невизначеністю $\Delta x = l/2$. Співвідношення невизначеностей (1) можна записати в цьому випадку у вигляді, звідки

$$l \geq 2\hbar / \Delta p_x \quad (2)$$

Фізично розумна невизначеність імпульсу Δp_x в усякому разі не повинна перевищувати значення самого імпульсу p_x , тобто $\Delta p_x \leq p_x$. Імпульс p_x пов'язаний з кінетичною енергією $E_{кин.}$ співвідношенням $\Delta p_x = \sqrt{2mE_{кин.}}$. Замінімо Δp_x значенням $\sqrt{2mE_{кин.}}$ (така заміна не збільшить l). Переходячи від нерівності до рівності, отримаємо

$$l_{min} = 2\hbar / \sqrt{2mE_{кин.}}$$

Перевіримо, чи дає отримана формула одиницю довжини. Для цього в праву частину формули (3) замість символів величин підставимо позначення їх одиниць:

$$\frac{[\hbar]}{([m][T])^{1/2}} = \frac{1 \text{ Дж} \cdot \text{с}}{(1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ Дж})^{1/2}} = \left(\frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг}} \right)^{1/2} \cdot 1 \text{ с} = \left(\frac{1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^2}{1 \text{ кг}} \right)^{1/2} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ м}.$$

Знайдена одиниця є одиницею довжини.

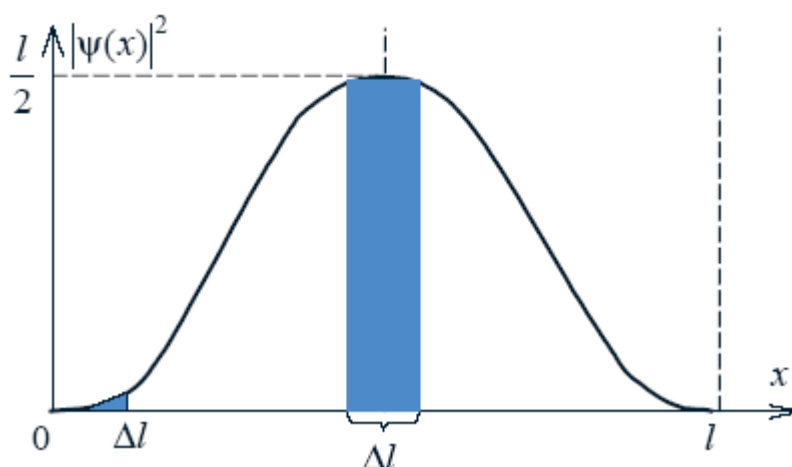
Проведемо обчислення:

$$l_{\min} = \frac{2 \cdot 1,05 \cdot 10^{-34}}{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10} = 1,24 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 124 \text{ нм}.$$

Відповідь: $l_{\min} = 124 \text{ нм}$

Задача 14.

Хвильова функція $\Psi \llcorner \rceil \sqrt{\frac{2}{l}} \sin \frac{\pi}{l} x$ описує основний стан частинки в нескінченно глибокому прямокутному ящику вширшки l . Обчислити імовірність знаходження частинки в малому інтервалі $\Delta l = 0,01l$ в двох випадках: 1) поблизу стіни ($0 \leq x \leq \Delta l$); 2) в середній частині ящика ($\frac{l}{2} - \frac{\Delta l}{2} \leq x \leq \frac{l}{2} + \frac{\Delta l}{2}$).



Рішення. Імовірність того, що частинка буде знайдена в інтервалі dx (від x до $x + dx$), пропорційна цьому інтервалу і квадрату модуля хвильової функції, що описує даний стан, рівна

$$dP = |\Psi \llcorner \rceil^2 dx.$$

В першому випадку шукана імовірність знайдеться інтеграцією в межах від 0 до $0,01l$:

$$P = \frac{2}{l} \int_0^{0,01l} \sin^2 \frac{\pi}{l} x dx. \quad (1).$$

Знак модуля опущений, оскільки Ψ - функція в даному випадку не є комплексною.

Оскільки x змінюється в інтервалі $0 \leq x \leq \Delta l$ і, отже $\pi x/l \ll 1$, справедливо наближена рівність

$$\sin^2 \frac{\pi}{l} x \approx \left(\frac{\pi}{l} x \right)^2.$$

З урахуванням цього вираз (1) приймає вигляд

$$P = \frac{2}{l} \int_0^{0,01l} \left(\frac{\pi}{l} x \right)^2 dx = \frac{2\pi^2}{l^3} \int_0^{0,01l} x^2 dx.$$

Після інтегрування отримаємо

$$P = \frac{2}{3} \pi^2 \cdot 10^{-6} = 6,6 \cdot 10^{-6}.$$

В другому випадку можна обійтися без інтеграції, оскільки квадрат модуля хвильової функції поблизу її максимуму в заданому інтервалі ($\Delta l = 0,01l$) практично не змінюється. Шукана імовірність в другому випадку визначається виразом

$$P = |\Psi(l/2)|^2 \Delta l,$$

$$\text{або } P = \frac{2}{l} \left(\sin \frac{\pi}{l} \frac{l}{2} \right) \Delta l = \frac{2}{l} \cdot 0,01l = 0,02.$$

Відповідь: 1) поблизу стіни ($0 \leq x \leq \Delta l$) $P = 6,6 \cdot 10^{-6}$, 2) в середній частині ящика $\left(\frac{l}{2} - \frac{\Delta l}{2} \leq x \leq \frac{l}{2} + \frac{\Delta l}{2} \right)$ $P = 0,02$.

РОЗДІЛ 4. ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РІШЕННЯ

1. Точкові заряди $q_1 = 20$ мкКл, $q_2 = -10$ мкКл знаходяться на відстані $d = 5$ см один від одного. Визначити напруженість поля в точці, видаленій на $r_1 = 3$ см від першого і на $r_2 = 4$ см від другого заряду. Визначити також силу F , діючу в цій точці на точковий заряд $q = 1$ мкКл.

2. Три однакові точкові заряди $q_1 = q_2 = q_3 = 2$ нКл знаходяться у вершинах рівностороннього трикутника із сторонами $a = 10$ см. Визначити модуль і напрям сили F , діючої на один із зарядів з боку двох інших.

3. Два позитивні точкові заряди q і $9q$ закріплені на відстані $d = 100$ см один від одного. Визначити, в якій точці на прямій, що проходить через заряди, слід помістити третій заряд так, щоб він знаходився в рівновазі. Вказати, який знак повинен мати цей заряд для того, щоб рівновага була стійкою, якщо переміщення зарядів можливі тільки уздовж прямої, що проходить через закріплені заряди.

4. Дві однаково заряджені кульки підвішені в одній точці на нитках однакової довжини. При цьому нитки розійшлися на кут α . Кульки занурюють в олію. Яка густина ρ масла, якщо кут розбіжності ниток при зануренні в масло залишається незмінним? Густина матеріалу кульок $\rho_0 = 1,5 \cdot 10^3$ кг/м³, діелектрична проникність олії $\epsilon = 2,2$.

5. Чотири однакові заряди $q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 40$ нКл закріплено у

вершинах квадрата із стороною $a=10$ см Знайти силу F , діючу на один з цих зарядів з боку трьох інших.

6. Точкові заряди $q_1=30$ мкКл і $q_2=-20$ мкКл знаходяться на відстані $d=20$ см один від одного. Визначити напруженість електричного поля E в точці, видаленій від першого заряду на відстань $r_1=30$ см, а від другого — на $r_2=15$ см

7. У вершинах правильного трикутника із стороною $a=10$ см знаходяться заряди $q_1=10$ мкКл, $q_2=20$ мкКл і $q_3=30$ мкКл. Визначити силу F , діючу на заряд q_1 з боку двох інших зарядів.

8. Тонкий нескінченний прямолінійний стрижень несе рівномірно розподілений заряд $\tau=0,1$ мкКл/м. На відстані $d=0,4$ м від стрижня знаходиться точковий заряд $q=0,01$ мкКл. Визначити напруженість E електричного поля в точці, розташованій на однаковій відстані від стрижня і заряду $d_1 = 0,2$ м.

9. Два паралельні нескінченні прямолінійні стрижня заряджені з лінійною густиною $\tau_1=+1$ мкКл/м і $\tau_2=-2$ мкКл/м. Відстань між ними рівно $d=0,5$ м. Визначити напруженість E електричного поля, створюваного стрижнями в точці, що знаходиться на відстані $d_1=1$ м від кожного із стрижнів.

10. Сила, діюча на точковий заряд $q=-20$ мкКл з боку двох нескінченних прямих паралельних ниток, заряджених з однаковою лінійною густиною $\tau=0,1$ мкКл/м, дорівнює 10 мкН. Знайти відстань між нитками, якщо воно співпадає з відстанню від заряду до кожної з ниток.

11. На двох концентричних сферах радіусом R і $2R$ рівномірно розподілені заряди з поверхневою густиною σ_1 і σ_2 , відповідно. Використовуючи теорему Гауса, знайти залежність $E(r)$ напруженості електричного поля від відстані для трьох областей: I ($0<r<R$), II ($R\leq r<2R$) і III ($r\geq 2R$). Прийняти $\sigma_1=4\sigma$, $\sigma_2=\sigma$; 2) обчислити напруженість E в точці, видаленій від центру на відстань r_0 , і вказати напрям вектора E для значень $\sigma=30$ нКл/м², $r_0=1,5 R$. 3) побудувати графік $E(r)$.

12. На двох нескінченних паралельних площинах рівномірно розподілені заряди з поверхневою густиною σ_1 і σ_2 , відповідно. Площини ортогональні осі X і перетинають її в точках $x=0$ і $x=a$ ($a>0$).

1) Використовуючи теорему Гауса і принцип суперпозиції електричних полів, знайти вираз $E(x)$ напруженості електричного поля в трьох областях: I ($x<0$), II ($0<x<a$) і III ($x>a$). Прийняти $\sigma_1=2\sigma$, $\sigma_2=\sigma$; 2) обчислити напруженість E поля в точці, розташованій зліва від площин ($x<0$), і вказати напрям вектора E ; 3) побудувати графік $E(x)$.

13. На двох коаксіальних нескінченних циліндрах радіусами R і $2R$ рівномірно розподілені заряди з поверхневою густиною σ_1 і σ_2 , відповідно. 1) Використовуючи теорему Гауса, знайти залежність $E(r)$ напруженості електричного поля від відстані r від загальної осі для трьох областей: I ($0 < r < R$), II ($R < r < 2R$) і III ($r > 2R$). Прийняти $\sigma_1 = 2\sigma$, $\sigma_2 = \sigma$, 2) обчислити напруженість E в точці, видаленій від осі циліндрів на відстань r_0 , і вказати напрям вектора $\mathbf{E}$ для значень $\sigma = 50 \text{ нКл/м}^2$, $r_0 = 1,5 R$; 3) побудувати графік $E(r)$.

14. Два точкові заряди $q_1 = 6 \text{ нКл}$ і $q_2 = 3 \text{ нКл}$ знаходяться на відстані $d = 60 \text{ см}$ один від одного. Яку роботу необхідно вчинити зовнішнім силам, щоб зменшити відстань між зарядами удвічі?

15. Чотири однакової краплі ртуті, заряджених до потенціалу $\phi = 10 \text{ В}$, зливаються в одну. Який потенціал ϕ_1 краплі, що утворилася?

16. Тонкий стрижень зігнутий в кільце радіусом $R = 10 \text{ см}$. Він рівномірно заряджений з лінійною густиною заряду $\tau = 800 \text{ нКл/м}$. Визначити потенціал ϕ в точці, розташованій на осі кільця на відстані $h = 10 \text{ см}$ від його центру.

17. Порошинка масою $m = 0,2 \text{ г}$, несуча на собі заряд $q = 40 \text{ нКл}$, влетіла в електричне поле у напрямі силових ліній. Після проходження різниці потенціалів $U = 200 \text{ В}$ порошинка мала швидкість $v = 10 \text{ м/с}$. Визначити швидкість v_0 порошинки до того, як вона влетіла в полі.

18. Електрон, що володів кінетичною енергією $T = 10 \text{ еВ}$, влетів в однорідне електричне поле у напрямі силових ліній поля. Якою швидкістю буде володіти електрон, пройшовши в цьому полі різницю потенціалів $U = 8 \text{ В}$?

19. Електрон, пройшовши в плоскому конденсаторі шлях від однієї пластини до іншої, набув швидкість $v = 10^5 \text{ м/с}$. Відстань між пластинами $d = 8 \text{ мм}$. Знайти: 1) різниця потенціалів U між пластинами; 2) поверхневу густина заряду σ на пластинах.

20. В однорідне електричне поле напруженістю $E = 200 \text{ В/м}$ влітає (уздовж силової лінії) електрон із швидкістю $v_0 = 2 \text{ Мм/с}$. Визначити відстань l , яку пройде електрон до точки, в якій його швидкість буде рівна половині початкової.

21. Напруга на затисках елемента в замкнутому ланцюзі $U = 2,1 \text{ В}$, опори $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$ і $R_3 = 3 \text{ Ом}$ (рис. 1). Який струм I показує амперметр?

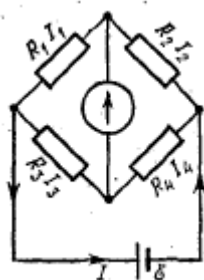


Рисунок 1.

22. Опори $R_2 = 20 \text{ Ом}$ і $R_3 = 15 \text{ Ом}$ (рис. 2). Через опір R_2 тече струм $I_2 = 0,3 \text{ А}$. Амперметр показує струм $I = 0,8 \text{ А}$. Знайти опір R_1 .

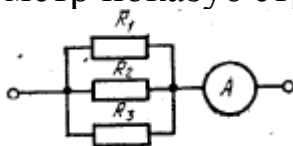


Рисунок 2

23. ЕРС батареї $\varepsilon = 100 \text{ В}$ опори $R_1 = R_3 = 40 \text{ Ом}$, $R_2 = 80 \text{ Ом}$ і $R_4 = 34 \text{ Ом}$ (рис. 3). Знайти струм I_2 , що тече через опір R_2 , і падіння потенціалу на ньому.

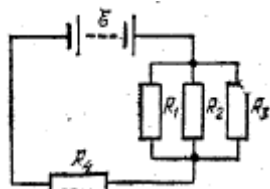


Рисунок 3

24. ЕРС батареї $\varepsilon = 120 \text{ В}$ опори $R_3 = 20 \text{ Ом}$, $R_4 = 25 \text{ Ом}$ (рис. 4). Падіння потенціалу на опорі R_1 рівно $U_1 = 40 \text{ В}$. Амперметр показує струм $I = 2 \text{ А}$. Знайти опір R_2 .

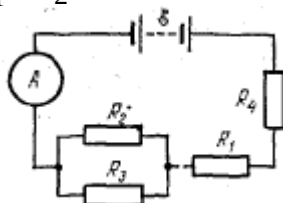


Рисунок 4

25. Батарея з ЕРС $\varepsilon = 10 \text{ В}$ і внутрішнім опором $r = 1 \text{ Ом}$ має КПД $\eta = 0,8$ (рис. 4). Падіння потенціалу на опорах R_1 і R_4 рівні $U_1 = 4 \text{ В}$ і $U_4 = 2 \text{ В}$. Який струм I показує амперметр? Знайти падіння потенціалу U_2 на опорі R_2 .

26. ЕРС батареї $\varepsilon = 100 \text{ В}$ опори $R_1 = 100 \text{ Ом}$, $R_2 = 200 \text{ Ом}$ і $R_3 = 300 \text{ Ом}$, опір вольтметра $R_V = 1 \text{ кОм}$ (рис. 5). Яку різницю потенціалів U показує вольтметр?

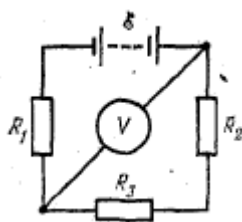


Рисунок 5

27. Знайти покази амперметра і вольтметра в схемі рис. 6. ЕРС батареї $\varepsilon = 110 \text{ В}$, опори $R_1 = 400 \text{ Ом}$, $R_2 = 600 \text{ Ом}$, опір вольтметра $R_V = 1 \text{ кОм}$.

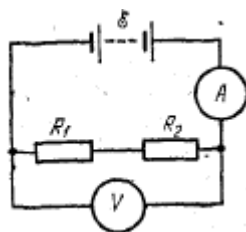


Рисунок 6.

28. Знайти покази амперметра і вольтметра в схемі рис. 7. ЕРС батареї $\varepsilon = 110$ В, опори $R_1 = 400$ Ом, $R_2 = 600$ Ом, опір вольтметра $R_V = 1$ кОм.

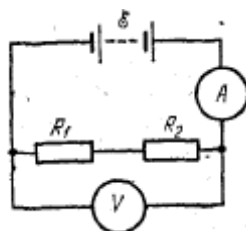


Рисунок 7

29. Знайти покази амперметра і вольтметра в схемі рис. 8. ЕРС батареї $\varepsilon = 110$ В, опори $R_1 = 400$ Ом, $R_2 = 600$ Ом, опір вольтметра $R_V = 1$ кОм.

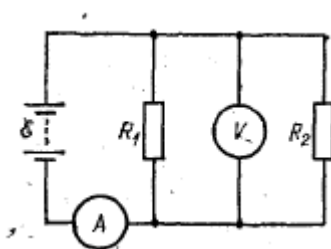


Рисунок 8.

30. Знайти покази амперметра і вольтметра в схемі рис. 9. ЕРС батареї $\varepsilon = 110$ В, опори $R_1 = 400$ Ом, $R_2 = 600$ Ом, опір вольтметра $R_V = 1$ кОм.

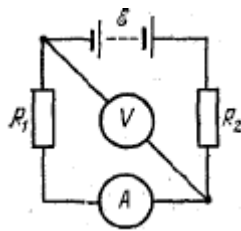


Рисунок 9.

31. Знайти струми I_i в окремих гілках містка Уїтстона (рис. 10) за умови, що через гальванометр те не йде. ЕРС елемента $\varepsilon = 2$ В, опори $R_1 = 30$ Ом, $R_2 = 45$ Ом і $R_3 = 200$ Ом.

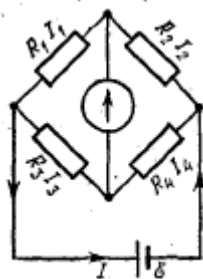


Рисунок 10.

32. ЕРС Елементів $\varepsilon_1 = 2,1$ В і $\varepsilon_2 = 1,9$ В, опори $R_1 = 45$ Ом, $R_2 = 10$ Ом і $R_3 = 10$ Ом (рис. 11). Знайти струми I_i у всіх гілках ланцюга.

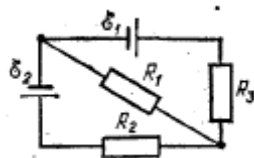


Рисунок 11.

33. Два елементи з однаковими ЕРС $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$ В і внутрішніми опорами $r_1 = 0,6$ Ом і $r_2 = 0,4$ Ом замкнуті на зовнішній опір R (рис. 12). Через елемент з ЕРС ε_1 тече струм $I_1 = 1$ А. Знайти опір R і струм I_2 , що тече через елемент з ЕРС ε_2 . Який струм I тече через опір R ?

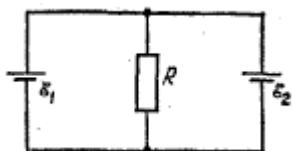


Рисунок 12.

34. Два елементи з однаковими ЕРС $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 4$ В і внутрішніми опорами $r_1 = r_2 = 0,5$ Ом замкнуті на зовнішній опір R (рис. 12). Через елемент з ЕРС ε_1 тече струм $I_1 = 2$ А. Знайти опір R і струм I_2 , поточний через елемент з ЕРС ε_2 . Який струм I тече через опір R ?

35. Батареї мають ЕРС $\varepsilon_1 = 110$ В і $\varepsilon_2 = 220$ В, опори $R_1 = R_2 = 100$ Ом, $R_3 = 500$ Ом (рис. 13). Знайти покази амперметра.

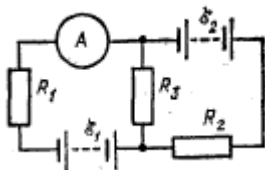


Рисунок 13.

36. Батареї мають ЕРС $\varepsilon_1 = 2$ В і $\varepsilon_2 = 4$ В, опір $R_1 = 0,5$ Ом (рис. 13). Падіння потенціалу на опорі R_2 рівно $U_2 = 1$ В (струм через R_2 спрямований справа наліво). Знайти покази амперметра.

37. Батареї мають ЕРС $\varepsilon_1 = 30$ В і $\varepsilon_2 = 5$ В, опори $R_2 = 10$ Ом, $R_3 = 20$ Ом (рис. 13). Серез амперметр тече струм $I = 1$ А, спрямований від R_3 до R_1 . Знайти опір R_1 .

38. Батареї мають ЕРС $\varepsilon_1 = 2$ В і $\varepsilon_2 = 1$ В, опори $R_1 = 1$ кОм, $R_2 = 0,5$ кОм і $R_3 = 0,2$ кОм, опір амперметра $R_A = 0,2$ кОм (рис. 14). Знайти покази амперметра.

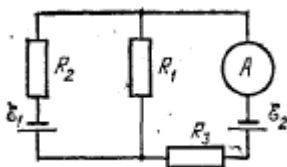


Рисунок 14.

39. Батареї мають ЕРС $\varepsilon_1 = 2\varepsilon_2$, опори $R_1 = R_3 = 20$ Ом, $R_2 = 15$ Ом і $R_4 = 30$ Ом (рис. 15). Через амперметр тече струм $I = 1,5$ А, спрямований знизу вгору. Знайти ЕРС ε_1 і ε_2 , а також струми I_2 і I_3 , що течуть через опори R_2 і R_3 .

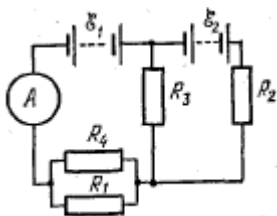


Рисунок 15.

40. Два однакові елементи мають ЕРС $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$ В і внутрішні опори $r_1 = r_2 = 0,5$ Ом (рис. 16). Знайти струми I_1 і I_2 , що течуть через опори $R_1 = 0,5$ Ом і $R_2 = 1,5$ Ом, а також струм I через елемент з ЕРС ε_1 .

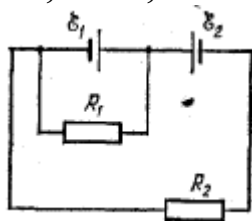


Рисунок 16.

41. По двох паралельних нескінченно довгих дротах течуть в однакових напрямках струми силою $I=100$ А. Відстань між дротами $d=0,1$ м. Визначити магнітну індукцію $\mathbf{B}$ у точці, віддаленій від одного провідника на відстань $r_1=5$ см і від іншого – на відстань $r_2=12$ см.

42. Магнітний момент тонкого провідного кільця $p_m=5\text{ А}\cdot\text{м}^2$. Визначити магнітну індукцію $\mathbf{B}$ у центрі кільця, якщо його радіус $r=0,1$ м.

43. По двох схрещених під прямим кутом нескінченно довгих дроти течуть струми I і $2I$ ($I=100$ А). Визначити магнітну індукцію $\mathbf{B}$ у центрі відрізка, перпендикулярного до обох дротів, якщо довжина його складає $d=10$ см. Вказати напрям вектора $\mathbf{B}$ для обраних напрямів струму.

44. По нескінченно довгому прямому дроту, тече струм $I=200$ А. Визначити відстань до точки, в якій модуль магнітної індукції $\mathbf{B}$ буде в 3 рази більше, ніж модуль магнітної індукції в центрі круглого провідника радіусом $0,5$ м, по якому тече удвічі більший струм.

45. Точка A видалена від нескінченного прямого струму на відстань $d=10$ см. Визначити магнітну індукцію $\mathbf{B}$ у точці A , якщо в ній діє додаткове зовнішнє поле, спрямоване паралельно струму в провіднику. Відношення модулів магнітної індукції зовнішнього поля і поля від провідника дорівнює 2, струм в провіднику $I=25$ А.

46. Два кругові витки розташовано у взаємно перпендикулярних площинах так, що їх центри співпадають. Радіуси витків рівні 10 см і 20 см, а струми в них відповідно рівні 2 А і 5 А. Знайти магнітну індукцію в центрі витків. Розглянути два випадки – 1) напрями струмів співпадають; 2) напрями струмів протилежні.

47. В центрі кругового дротяного витка створюється магнітне поле із значенням магнітної індукції B при деякій різниці потенціалів

між кінцями U . Яку треба прикласти різницю потенціалів, щоб отримати таку ж індукцію в центрі витка удвічі більшого радіусу, виготовленого з такого ж дроту?

48. По двом паралельним тонким прямим нескінченним дротам течуть в протилежних напрямках струми, рівні 5 А і 10 А . На якій кінцевій відстані від одного з дротів знаходиться точка, в якій магнітна індукція дорівнює нулю, якщо відстань між дротами дорівнює 1 м ?

49. В центрі кругового витка магнітна індукція дорівнює B , якщо до кінців витка прикладена різниця потенціалів U . В скільки разів потрібно збільшити різницю потенціалів, щоб отримати таке ж значення магнітної індукції в центрі витка удвічі більшого радіусу, зробленого з того ж матеріалу?

50. По двох паралельних дротах завдовжки $l=30\text{ м}$ кожен течуть однакові струми $I=500\text{ А}$. Відстань d між дротами дорівнює 10 см . Визначити силу F взаємодії дротів.

51. З тонкого дроту завдовжки $l=20\text{ см}$ виготовили круглий виток і помістили його в магнітне поле ($B=10\text{ мТл}$) так, що площа витка складає кут 45° з напрямом вектора магнітної індукції. По дроту пропустили струм $I=50\text{ А}$. Визначити момент сили, діючої на виток.

52. Стрижень завдовжки $l=20\text{ см}$ заряджений рівномірно розподіленим зарядом з лінійною густиною $\tau=0,2\text{ мкКл/м}$. Стрижень обертається з частотою $n=10\text{ с}^{-1}$ відносно осі, перпендикулярної стрижню і проходячій через його кінець. Визначити магнітний момент p_m , обумовлений обертанням стрижня.

53. Протон рухається по колу радіусом $R=0,5\text{ см}$ з лінійною швидкістю $v=10^6\text{ м/с}$. Визначити магнітний момент p_m , створюваний еквівалентним круговим струмом.

54. Електрон пройшов прискорюючи різницю потенціалів $U=800\text{ В}$ і, влетівши в однорідне магнітне поле $B=47\text{ мТл}$, став рухатися по гвинтовій лінії з кроком $h=6\text{ см}$. Визначити радіус R гвинтової лінії.

55. Альфа-частинка пройшла прискорюючи різницю потенціалів $U=300\text{ В}$ і, потрапивши в однорідне магнітне поле, стала рухатися по гвинтовій лінії радіусом $R=1\text{ см}$ і кроком $h=4\text{ см}$. Визначити магнітну індукцію B поля.

56. Заряджена частинка пройшла прискорюючи різницю потенціалів $U=100\text{ В}$ і, влетівши в однорідне магнітне поле ($B=0,1\text{ Тл}$), стала рухатися по гвинтовій лінії з кроком $h=6,5\text{ см}$ і радіусом $R=1\text{ см}$. Визначити відношення заряду частинки до її маси.

57. Електрон влетів в однорідне магнітне поле ($B=200\text{ мТл}$) перпендикулярно лініям магнітної індукції. Визначити силу еквівалентного кругового струму $I_{\text{екв}}$, створюваного рухом електрона в

магнітному полі.

58. Протон пройшов прискорюючу різницю потенціалів $U=300$ В і влетів в однорідне магнітне поле ($B=20$ мТл) під кутом $\alpha=30^\circ$ до ліній магнітної індукції. Визначити крок h і радіус R гвинтової лінії, по якій буде рухатися протон в магнітному полі.

59. Іон з кінетичною енергією $T=1$ кеВ потрапив в однорідне магнітне поле ($B=21$ мТл) і став рухатися по колу. Визначити магнітний момент p_m еквівалентного кругового струму.

60. Іон влітає в магнітне поле ($B=0,01$ Тл) і рухається по колу. Визначити кінетичну енергію T (в еВ) іона, якщо магнітний момент p_m еквівалентного кругового струму рівний $1,6 \cdot 10^{-14}$ А м².

61. На мильну плівку з показником заломлення $n=1,33$ падає по нормалі монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda=0,6$ мкм. Відбите світло в результаті інтерференції має найбільшу яскравість. Яка якнайменша можлива товщина d_{min} плівки?

62. Між скляною пластинкою і лежачою на ній плоско-опуклою лінзою знаходиться рідина. Знайти показник заломлення рідини, якщо радіус r_3 третього темного кільця Ньютона при спостереженні у відображеному ті з довжиною хвилі $\lambda=0,6$ мкм рівний $0,82$ мм. Радіус кривизни лінзи $R=0,5$ м.

63. Радіус другого темного кільця Ньютона у відбитому світлі $r_2=0,4$ мм. Визначити радіус R кривизни плоско-опуклої лінзи, узятій для досвіду, якщо вона освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі $\lambda=0,64$ мкм.

64. На тонку плівку у напрямі нормалі до її поверхні падає монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda=500$ нм. Відбите від неї світло максимально посилено унаслідок інтерференції. Визначити мінімальну товщину d_{min} плівки, якщо показник заломлення матеріалу плівки $n=1,4$.

65. Відстань L від щілин до екрану в досліді Юнга дорівнює 1 м. Визначити відстань між щілинами, якщо на відрізку завдовжки $l=1$ см укладається $N=10$ темних інтерференційних смуг. Довжина хвилі $\lambda=0,7$ мкм.

66. На скляну пластину встановлена опуклою стороною плоско-опукла лінза. Зверху лінза освітлена монохроматичним світлом завдовжки хвилі $\lambda=500$ нм, знайти радіус R лінзи, якщо радіус четвертого, темного кільця Ньютона у відбитому світлі $r_4=2$ мм.

67. На тонку гліцеринову плівку завтовшки $d=1,5$ мкм нормально до її поверхні падає біле світло. Визначити довжини хвиль проміння видимої ділянки спектру ($0,4 < \lambda < 0,8$ мкм), які будуть ослаблені в

результаті інтерференції.

68. На скляну пластину нанесений тонкий шар прозорої речовини з показником заломлення $n=1,3$. Пластина освітлена паралельним пучком монохроматичного світла з довжиною хвилі $\lambda=640$ нм, падаючим на пластинку нормально. Яку мінімальну товщину d_{min} повинен мати шар, щоб відбитий пучок мав якнайменшу яскравість?

69. На тонкий скляний клин падає нормально паралельний пучок світла з довжиною хвилі $\lambda=500$ нм. Відстань між сусідніми темними інтерференційними смугами у відбитому світлі $b=0,5$ мм. Визначити кут α між поверхнями клина. Показник заломлення скла, з якого виготовлений клин, $n=1,6$.

70. Плоско-опукла скляна лінза з фокусною відстанню $F=1$ м лежить опуклою стороною на скляній пластинці. Радіус п'ятого темного кільця Ньютона у відбитому світлі $r_5=1,1$ мм. Визначити довжину світлової хвилі λ .

71. Точкове джерело світла з $\lambda=500$ нм поміщене на відстані $a=0,500$ м перед непрозорою перешкодою з отвором радіусу $r=0,500$ мм. Визначити відстань b від перешкоди до точки, для якої число m зон Френеля, що відкриваються отвором буде рівним: а) 1, б) 5, в) 10.

72. Інтенсивність, створювана на екрані деякою монохроматичною світловою хвилею у відсутність перешкод, дорівнює I_0 . Яка буде інтенсивність I в центрі дифракційної картини, якщо на шляху хвилі поставити перешкоду з круглим отвором, що відкриває: а) 1-у зону Френеля, б) половину 1-й зони Френеля, в) півтори зони Френеля, г) третину 1-й зони Френеля?

73. Світло від монохроматичного джерела ($\lambda=0,6$ мкм) падає нормально на діафрагму з круглим отвором. Діаметр отвору 6 мм. За діафрагмою на відстані 3 м від неї знаходиться екран. 1). Скільки зон Френеля укладається в отворі діафрагми? 2). Яким буде центр дифракційної картини на екрані: темним або світлим?

74. Обчислити радіуси перших п'яти зон Френеля, якщо відстань від джерела світла до хвильової поверхні дорівнює 1 м, відстань від хвильової поверхні до точки спостереження також дорівнює 1 м і $\lambda=5 \cdot 10^{-7}$ м.

75. Обчислити радіуси перших п'яти зон Френеля для випадку плоскої хвилі. Відстань від хвильової поверхні до точки спостереження дорівнює 1 м. Довжина хвилі $\lambda=5 \cdot 10^{-7}$ м.

76. Дифракційна картина спостерігається на відстані l від точкового джерела монохроматичного світла ($\lambda=6 \cdot 10^{-5}$ см). На відстані $0,5l$ від джерела поміщена кругла непрозора перешкода діаметром 1 см.

Чому рівно відстань l , якщо перешкода закриває тільки центральну зону Френеля?

77. На пластину з щілиною, ширина якої $a=0,05$ мм, падає нормально монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda=0,7$ мкм. Визначити кут φ відхилення проміння, відповідний першому дифракційному максимуму.

78. Яке якнайменше число N_{min} штрихів повинна містити дифракційна ґратка, щоб в спектрі другого порядку можна було бачити роздільно дві жовті лінії натрію з довжинами хвиль $\lambda_1=589,0$ нм і $\lambda_2=589,6$ нм? Яка довжина l такої ґратки, якщо постійна ґратки $d=5$ мкм?

79. Дифракційна ґратка, освітлена нормально падаючим монохроматичним світлом, відхиляє спектр третього порядку на кут $\varphi_1=30^\circ$. На який кут φ_2 відхиляє вона спектр четвертого порядку?

80. На поверхню дифракційної ґратки нормально до її поверхні падає монохроматичне світло. Постійна дифракційної ґратки в $n=4,6$ разу більше довжини світлової хвилі. Знайти загальне число m_{max} дифракційних максимумів, які теоретично можна спостерігати в даному випадку.

81. Фотон з довжиною хвилі $\lambda_1=15$ пм розсіявся на вільному електроні. Довжина хвилі розсіяного фотона $\lambda_2=16$ пм. Визначити кут θ розсіювання.

82. Визначити кут θ розсіювання фотона, що випробував зіткнення з вільним електроном, якщо зміна довжини хвилі при розсіянні $\Delta\lambda=3,63$ пм.

83. Фотон при ефекті Комптона на вільному електроні був розсіяний на кут $\theta=\pi/2$. Визначити імпульс p (в МеВ/с), придбаний електроном, якщо енергія фотона до розсіювання була $\varepsilon_1=1,02$ МеВ (1 МэВ/с= $5,33 \times 10^{-22}$ кг м/с).

84. Тиск p світла з довжиною хвилі $\lambda=40$ нм, падаючого нормально на чорну поверхню, дорівнює 2 нПа. Визначити число N фотонів, падаючих за час $t=10$ с на площу $S=1$ мм² цієї поверхні.

85. Незбуджений атом водню поглинає квант випромінювання з довжиною хвилі $\lambda=102,6$ нм. Обчислити, користуючись теорією Бору, радіус r електронної орбіти збудженого атома водню.

86. Визначити енергію ε фотона, що випускається під час переходу електрона в атомі водню з третього енергетичного рівня на основний рівень.

87. Обчислити по теорії Бору радіус r_2 другої стаціонарної орбіти і швидкість v_2 електрона на цій орбіті для атома водню.

88. На дзеркальну поверхню площею $S=6 \text{ см}^2$ падає нормально потік випромінювання $\Phi_e=0,8 \text{ Вт}$. Визначити тиск p і силу тиску F світла на цю поверхню.

89. В однозарядному іоні літію електрон перейшов з четвертого енергетичного рівня на другий. Визначити довжину хвилі λ випромінювання, випущеного іоном літію.

90. Оцінити за допомогою співвідношення невизначеностей мінімальну кінетичну енергію електрона, що рухається усередині сфери радіусом $R=0,05 \text{ нм}$.

91. Знайти період напіврозпаду $T_{1/2}$ радіоактивного ізотопу, якщо його активність за час $t=10$ доб зменшилася на 24% в порівнянні з первинною.

92. Визначити, яка частка радіоактивного ізотопу ${}_{89}\text{Ac}^{225}$ розпадається протягом часу $t=6$ доб.

93. Активність A деякого ізотопу за час $t=10$ доб зменшилася на 20%. Визначити період напіврозпаду $T_{1/2}$ цього ізотопу.

94. Визначити масу m ізотопу ${}_{53}\text{I}^{131}$, що має активність $A=37 \text{ ГБк}$.

95. Знайти середню тривалість життя τ атома радіоактивного ізотопу кобальту ${}_{27}\text{Co}^{60}$.

96. Лічильник α -частинок, встановлений поблизу радіоактивного ізотопу, при першому вимірюванні реєстрував $N_1=1400$ частинок в хвилину, а через час $t=4$ години — тільки $N_2=400$. Визначити період напіврозпаду $T_{1/2}$ ізотопу.

97. Обчислити енергетичний ефект Q реакції:
 ${}_4\text{Be}^9 + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_6\text{C}^{12} + {}_0\text{n}^1$. Те ж, для реакції: ${}_3\text{Li}^6 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^3 + {}_2\text{He}^4$.

98. Знайти енергію зв'язку ядра ізотопу літію ${}_3\text{Li}^7$.

99. Знайти енергію, що звільняється при ядерній реакції
 ${}_3\text{Li}^7 + {}_1\text{H}^1 \rightarrow {}_2\text{He}^4 + {}_2\text{He}^4$.

100. Яка енергія виділиться, якщо при реакції
 ${}_{13}\text{Al}^{27} + {}_2\text{He}^4 \rightarrow {}_{14}\text{Si}^{30} + {}_1\text{H}^1$ піддаються перетворенню всі ядра, що знаходяться в 1 г алюмінію? Яку енергію треба затрачувати, щоб здійснити це перетворення, якщо відомо, що при бомбардуванні ядра алюмінію α - частинками з енергією в 8 MeV тільки одна α - частинка з $2 \cdot 10^6$ частинок викликає перетворення?

ДОДАТКИ

1. Основні фізичні стали

Елементарний заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Швидкість світла у вакуумі	c	$3,00 \cdot 10^8$ м/с
Стала Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж с
Електрична стала	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнітна стала	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23}$ А м ²

1. Діелектрична проникність

Речовина	ϵ
Віск	7,8
Вода	81
Гас	2
Олія	2,2
Парафін	2,0
Слюда	6

Скло	6
Фарфор	6
Ебоніт	2,6

2. Питомий опір металів (при 0°C)

Метал	ρ , Ом м
Алюміній	$2,53 \cdot 10^{-8}$
Графіт	$3,9 \cdot 10^{-8}$
Залізо	$8,7 \cdot 10^{-8}$
Мідь	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Ніхром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Ртуть	$9,4 \cdot 10^{-7}$
Свинець	$2,2 \cdot 10^{-7}$
Срібло	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Сталь	$1,0 \cdot 10^{-7}$

4. Маса спокою деяких частинок

Частинка	m_0	
	кг	а.е.м.
Електрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355
α - частинка	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149

5. Основні фізичні постійні (округлені значення), що використовуються в розділі 1

Елементарний заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
--------------------	-----	--------------------------

Швидкість світла у вакуумі	c	$3,00 \cdot 10^8$ м/с
Постійна Стефана—Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/ (м ² К ⁴)
Постійна закону зсуву Вина	b	$2,90 \cdot 10^{-3}$ м К
Постійна Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж с
Постійна Планка	$\hbar = h/2\pi$	$1,05 \cdot 10^{-34}$ Дж с
Постійна Рідберга	R	$1,10 \cdot 10^{-7}$ м ⁻¹
Радіус Бору	a_0	$0,529 \cdot 10^{-10}$ м
Комптонівська довжина хвилі електрона	Λ	$2,43 \cdot 10^{-12}$ м
Енергія іонізації атома водню	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж (13,6 еВ)
Атомна одиниця маси	а.о.м.	$1,660 \cdot 10^{-27}$ кг
Електрична постійна	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнітна постійна	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м

6. Енергія іонізації

Речовина	E_i , Дж	E_i , еВ
Водень	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелій	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Літій	$1,21 \cdot 10^{-18}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4

7. Показник заломлення

Речовина	Показник
Алмаз	2,42
Вода	1,33
Гліцерин	1,47
Стекло	1,50

8. Робота виходу електронів

Метал	A , Дж	A , еВ	Метал	A , Дж	A , эВ
Калій	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2	Срібло	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Літій	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3	Цезій	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3	Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0
Рубідій	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1			

9. Маса атомів легких ізотопів

Ізотоп	Символ	Маса, а.о.м.	Ізотоп	Символ	Маса, а.о.м.
Нейтрон	${}_0n^1$	1,00867	Берилій	${}_4\text{Be}^7$ ${}_4\text{Be}^9$	7,01693 9,01219
Водень	${}_1\text{H}^1$ ${}_1\text{H}^2$ ${}_1\text{H}^3$	1,00783 2,01410 3,01605	Бор	${}_5\text{B}^{10}$ ${}_5\text{B}^{11}$	10,01294 11,00930
Гелій	${}_2\text{He}^3$ ${}_2\text{He}^4$	3,01603 4,00260	Вуглець	${}_6\text{C}^{12}$ ${}_6\text{C}^{13}$ ${}_6\text{C}^{14}$	12,00000 13,00335 14,00324
Літій	${}_3\text{Li}^6$ ${}_3\text{Li}^7$	6,01513 7,01601	Азот	${}_7\text{N}^{14}$	14,00307
			Кисень	${}_8\text{O}^{16}$ ${}_8\text{O}^{17}$	15,99491 16,99913

10. Періоди напіврозпаду радіоактивних ізотопів

Ізотоп	Символ	Період напіврозпа	Ізотоп	Символ	Період напіврозпа
--------	--------	----------------------	--------	--------	----------------------

		ду			ду
Актиній	$_{89}\text{Ac}^{225}$	10 діб	Радій	$_{86}\text{Ra}^{226}$	1620 років
Йод	$_{53}\text{I}^{131}$	8 діб	Радон	$_{86}\text{Rn}^{222}$	3,8 діб
Кобальт	$_{27}\text{Co}^{60}$	5,3 годин	Стронцій	$_{38}\text{Sr}^{90}$	28 років
Магній	$_{12}\text{Mg}^{27}$	10 хв.	Фосфор	$_{15}\text{P}^{32}$	14,3 діб
Полоній	$_{84}\text{Po}^{210}$	138 діб	Церій	$_{58}\text{Ce}^{144}$	285 діб

11. Маса і енергія спокою деяких частинок

Частинка	m_0		E_0	
	кг	а.о.м.	Дж	MeV
Електрон	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,00055	$8,16 \cdot 10^{-14}$	0,511
Протон	$1,672 \cdot 10^{-27}$	1,00728	$1,50 \cdot 10^{-10}$	938
Нейтрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00867	$1,51 \cdot 10^{-10}$	939
Дейтрон	$3,35 \cdot 10^{-27}$	2,01355	$3,00 \cdot 10^{-10}$	1876
α - частинка	$6,64 \cdot 10^{-27}$	4,00149	$5,96 \cdot 10^{-10}$	3733
Нейтральний π - мезон	$2,41 \cdot 10^{-28}$	0,14498	$2,16 \cdot 10^{-11}$	135

12. Відносні атомні маси A (округлені значення) і порядкові номери Z деяких елементів

Елемент	Символ	A	Z	Елемент	Символ	A	Z
Азот	N	14	7	Марганець	Mn	55	25
Алюміній	Al	27	13	Мідь	Cu	64	29
Аргон	Ar	40	18	Молібден	Mo	96	42
Барій	Ba	137	56	Натрій	Na	23	11
Ванадій	V	51	23	Неон	Ne	20	10
Водень	H	1	1	Нікель	Ni	59	28
Вольфрам	W	184	74	Олово	Sn	119	50
Гелій	He	4	2	Платина	Pt	195	78
Залізо	Fe	56	26	Ртуть	Hg	201	80
Золото	Au	197	79	Сіра	S	32	16

Калій	K	39	19	Срібло	Ag	108	47
Кальцій	Ca	40	20	Вуглець	C	12	6
Кисень	O	16	8	Уран	U	238	92
Магній	Mg	24	12	Хлор	Cl	35	17

13. Множники і приставки для утворення десяткових кратних і долинних одиниць і їх найменування

Найменування	Позначення	Множитель	Найменування	Обозначение	Множитель
Екса	Е	10^{18}	санти	д	10^{-1}
Пета	П	10^{15}	мили	с	10^{-2}
Тера	Т	10^{12}	мікро	м	10^{-3}
Гига	Г	10^9	нано	мк	10^{-6}
Мега	М	10^6	піко	н	10^{-9}
Кіло	к	10^3	фемто	п	10^{-12}
Гекто	г	10^2	ато	ф	10^{-15}
Дека	да	10^1	санти	а	10^{-18}

14. Грецький алфавіт

Позначення букв	Назва букв	Позначення букв	Назва букв
A, α	альфа	N, ν	ню
B, β	бета	Ξ, ξ	кси
Γ, γ	гама	Ο, ο	омікрон
Δ, δ	дельта	Π, π	пі
Ε, ε	епсilon	Ρ, ρ	ро
Z, ζ	дзета	Σ, σ	сигма
Η, η	ета	Τ, τ	тау
Θ, θ	тета	Υ, υ	іпсilon
I, ι	йота	Φ, φ	фі
K, κ	каппа	Χ, χ	хі
Λ, λ	лямбда	Ψ, ψ	пси
M, μ	мі	Ω, ω	омега

