

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

**ТЕОРІЯ ВІДНОСНОСТІ.
ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ.
КВАНТОВІ ОПТИЧНІ ЯВИЩА**

*Збірник задач
для індивідуальної роботи
з курсу фізики*

Під редакцією М. В. Ушкаця, С. С. Коваля

Рекомендовано Методичною радою НУК

Миколаїв 2007

Теорія відносності. Теплове випромінювання. Квантові оптичні явища: Збірник задач для індивідуальної роботи з курсу фізики / Під ред. *М.В. Ушкаця, С.С. Ковалья*. – Миколаїв: НУК, 2007. – 28 с.

Кафедра фізики

Наведено задачі з розділів: "Теорія відносності", "Теплове випромінювання", "Квантові оптичні явища" для індивідуальної роботи протягом вивчення загального курсу фізики.

Призначено для студентів усіх факультетів.

Збірник уклали викладачі кафедри фізики: *С.С. Коваль, В.В. Кондратенко* – розд. "Теорія відносності"; *Л.І. Стратієнко* – розд. "Теплове випромінювання"; *В.П. Сипко, М.В. Ушкац, Л.І. Тютюченко* – розд. "Квантові оптичні явища".

Рецензент канд. фіз.-мат. наук *А.М. Кузнецов*

1. ТЕОРІЯ ВІДНОСНОСТІ

1.1. При якій відносній швидкості V руху релятивістське скорочення довжини тіла, що рухається, складає 25 %?

1.2. Яку швидкість повинне мати тіло, яке рухається, щоб його повздовжні розміри зменшились у два рази?

1.3. Мезони космічних променів досягають поверхні Землі з різноманітними швидкостями. Знайти релятивістське скорочення розмірів мезона, швидкість якого дорівнює 95 % швидкості світла c ?

1.4. У скільки разів збільшується тривалість існування нестабільної частинки за годинником нерухомого спостерігача, якщо вона починає рухатися зі швидкістю, що складає 99 % швидкості світла c ?

1.5. Мезони космічних променів рухаються зі швидкістю, що складає 95 % швидкості світла. Який проміжок часу Δt за годинником нерухомого спостерігача відповідає одній секунді "власного часу" мезона?

1.6. На скільки збільшиться маса α -частинки при прискоренні її від початкової швидкості, рівної нулеві, до швидкості, рівної 0,9 швидкості світла?

1.7. Знайти відношення q/m заряду електрона до його маси для наступних швидкостей: а) $V \ll c$; б) $V = 2 \cdot 10^8$ м/с; в) $V = 2,2 \cdot 10^8$ м/с; г) $V = 2,4 \cdot 10^8$ м/с; д) $V = 2,6 \cdot 10^8$ м/с; е) $V = 2,8 \cdot 10^8$ м/с. Скласти таблицю і побудувати графіки залежностей m і q/m від величини $\beta = V/c$ для зазначених швидкостей.

1.8. При якій швидкості маса електрона, що рухається, вдвічі більша за його масу спокою?

1.9. При якій швидкості маса електрона, що рухається, втричі більша за його масу спокою?

1.10. При якій швидкості маса протону, що рухається, у чотири рази більша за його масу спокою?

1.11. До якої енергії W_α можна прискорити частинку в циклотроні, якщо відносне збільшення маси частинки не повинне перевищувати 7 %? Задачу розв'язати для електронів.

1.12. До якої енергії W_α можна прискорити частинку в циклотроні, якщо відносне збільшення маси частинки не повинне перевищувати 8 %? Задачу розв'язати для протонів.

1.13. Яку прискорювальну різницю потенціалів повинен пройти електрон, щоб його швидкість склала 95 % швидкості світла?

1.14. Яку прискорювальну різницю потенціалів повинен пройти протон, щоб його повздовжні розміри стали меншими у два рази?

1.15. Знайти швидкість мезона, якщо його повна енергія в 10 разів більша за енергію спокою.

1.16. Яку частку β швидкості світла повинна складати швидкість частинки, щоб кінетична енергія частинки дорівнювала її енергії спокою?

1.17. Синхрофазотрон дає пучок протонів з кінетичною енергією $W_\alpha = 0,67$ МеВ. Яку частку β швидкості світла складає швидкість протонів у цьому пучку?

1.18. Синхрофазотрон дає пучок протонів з кінетичною енергією $W_\alpha = 0,67$ МеВ. Знайти релятивістське скорочення розмірів протона.

1.19. Циклотрон дає пучок електронів з кінетичною енергією $W_\alpha = 0,67$ МеВ. Яку частку β швидкості світла складає швидкість електронів у цьому пучку?

1.20. Скласти для електронів і протонів таблицю залежності їх кінетичної енергії W_α від швидкості V (у частках швидкості світла) для значень β , рівних: 0,1; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 0,95; 0,999.

1.21. Маса електрона, що рухається, вдвічі більша за його масу спокою. Знайти кінетичну енергію W_α електрона.

1.22. Енергія π -мезона, що виникає у верхніх шарах атмосфери, складає 6 ГеВ, а його середній час життя у зв'язаній з ним системі відліку дорівнює 26 нс. Приймаючи масу π -мезона як рівну $273 m_e$, визначити час його життя в лабораторній системі відліку.

1.23. Визначити, яка кінетична енергія повинна бути надана ракеті масою $m_0 = 1,5$ т, щоб вона набула швидкості $V = 120$ Мм/с.

1.24. Іонізований атом, вилетівши з прискорювача зі швидкістю $0,85c$, випустив фотон у напрямку свого руху. Визначити швидкість фотона щодо прискорювача.

1.25. У лабораторній системі відліку в точках з координатами x_1 і $x_2 = x_1 + l_0$ одночасно відбуваються події 1 і 2, причому $l_0 = 1,4$ км. Визначити: а) відстань l' , що фіксується спостерігачем у системі відліку, зв'язаній з ракетою, яка рухається зі швидкістю $V = 0,6c$ у від'ємному напрямку осі x ; б) час між цими подіями, що фіксуються спостерігачем в системі відліку, зв'язаній з ракетою.

1.26. Дві нестійкі частинки рухаються в системі відліку K в одному напрямку вздовж однієї прямої з однаковими швидкостями $V = 0,6c$. Відстань між частинками в системі K дорівнює 64 м. Обидві частинки розпалися одночасно у зв'язаній з ними у системі K' . Визначити проміжок часу між розпадом частинок у системі K .

1.27. Визначити, у скільки разів збільшується час життя нестійкої частинки (за годинником нерухомого спостерігача), якщо вона починає рухатися зі швидкістю, рівною $0,9c$.

1.28. Власний час життя частинки відрізняється на 1 % від часу життя за нерухомим годинником. Визначити $\beta = V/c$.

1.29. Космічний корабель рухається зі швидкістю $V = 0,8c$ у напрямку до Землі. За годинником у космічному кораблі (система K') відміряється інтервал часу 0,5 с. Визначити відстань, пройдену кораблем у системі відліку, зв'язаній з Землею (система K).

1.30. Мюони, народжуючись у верхніх шарах атмосфери, при швидкості $V = 0,995c$ пролітають до розпаду $l = 6$ км. Визначити: а) власну довжину шляху, пройдену ними до розпаду; б) час життя мюона для спостерігача на Землі; в) власний час життя мюона.

1.31. Довести, що лінійні розміри тіла найбільші в тій інерціальної системі відліку, відносно якої тіло нерухоме.

1.32. Визначити відносну швидкість руху, при якій релятивістське скорочення лінійних розмірів тіла складає 10 %.

1.33. У системі K' у стані спокою знаходиться стрижень (власна довжина $l_0 = 1,5$ м), направлений під кутом $\varphi' = 30^\circ$ до осі OX' . Система K' рухається відносно системи K зі швидкістю $V = 0,6c$. Визначити в системі K : а) довжину стрижня l ; б) відповідний кут φ .

1.34. Визначити власну довжину стрижня, якщо в лабораторній системі його швидкість $V = 0,6c$, довжина $l = 1,5$ м; кут між ним і напрямком руху $\varphi = 30^\circ$.

1.35. Космічний корабель віддаляється від Землі з відносною швидкістю $V_1 = 0,8c$, а потім з нього стартує ракета (у напрямку від Землі) зі швидкістю $V_2 = 0,8c$ відносно корабля. Визначити швидкість ракети відносно Землі.

1.36. Іонізований атом, вилетівши з прискорювача зі швидкістю $0,8c$, випустив фотон у напрямку свого руху. Визначити швидкість фотона відносно прискорювача.

1.37. Дві ракети рухаються назустріч одна одній відносно нерухомого спостерігача з однаковою швидкістю $V = 0,5c$. Визначити швидкість зближення ракет, виходячи з закону додавання швидкостей: а) у класичній механіці; б) у спеціальній теорії відносності.

1.38. Релятивістська частинка рухається в системі K зі швидкістю U під кутом ϕ до осі OX . Визначити відповідний кут у системі K' , яка рухається зі швидкістю V відносно системи K у додатному напрямку осі OX , якщо осі OX і OX' обох систем збігаються.

1.39. Частинка рухається зі швидкістю $V = 0,8c$. Визначити відношення маси релятивістської частинки до її маси спокою.

1.40. Визначити, на скільки відсотків маса релятивістської елементарної частинки, що вилітає з прискорювача зі швидкістю $V = 0,75c$, більша за її масу спокою.

1.41. Визначити швидкість руху релятивістської частинки, якщо її маса в два рази більша за масу спокою.

1.42. Визначити релятивістський імпульс протона, якщо швидкість його руху становить $0,8c$.

1.43. Визначити швидкість, при якій релятивістський імпульс частинки перевищує її ньютонівський імпульс у $n = 3$ рази.

1.44. Повна енергія релятивістської частинки у вісім разів перевищує її енергію спокою. Визначити швидкість цієї частинки.

1.45. Кінетична енергія частинки вдвічі більша за її енергію спокою. Визначити швидкість частинки.

1.46. Визначити релятивістський імпульс і кінетичну енергію протона, що рухається зі швидкістю $V = 0,75c$.

1.47. Визначити кінетичну енергію електрона, якщо маса електрона, що рухається, втричі більша за його масу спокою. Відповідь записати в електронвольтах.

1.48. Визначити роботу, яку необхідно виконати, щоб збільшити швидкість частинки з масою спокою m_0 від $0,5c$ до $0,7c$.

1.49. Визначити релятивістський імпульс електрона, кінетична енергія якого $W = 1$ ГеВ.

1.50. Стрижень рухається в повздовжньому напрямку з постійною швидкістю V відносно інерціальної системи відліку K . При

якому значенні V довжина стрижня в цій системі відліку буде на 0,5 % менша за його власну довжину?

1.51. У трикутника власна довжина кожної сторони дорівнює a . Знайти периметр цього трикутника в системі відліку, яка рухається відносно нього з постійною швидкістю V вздовж однієї з його бісектрис. Дослідити отримані результати при $V \ll c$ і $V \rightarrow c$, де c – швидкість світла.

1.52. У трикутника власна довжина кожної сторони дорівнює a . Знайти периметр цього трикутника в системі відліку, що рухається відносно нього з постійною швидкістю V вздовж однієї з його сторін. Дослідити отримані результати при $V \ll c$ і $V \rightarrow c$, де c – швидкість світла.

1.53. Знайти власну довжину стрижня, якщо в лабораторній системі відліку його швидкість $V = c/2$, довжина $l = 1$ м, а кут між ним і напрямком руху $\theta = 45^\circ$.

1.54. З якою швидкістю рухався у системі відліку K годинник, якщо за час $t = 5$ с (у системі K) він відстав від годинника цієї системи на $\Delta t = 0,10$ с?

1.55. Стрижень пролітає з постійною швидкістю повз позначку, нерухому в системі відліку K . Час прольоту $\Delta t = 20$ нс (у системі K). У системі відліку, зв'язаній зі стрижнем, позначка рухається вздовж нього протягом $\Delta t' = 25$ нс. Знайти власну довжину стрижня.

1.56. Власний час життя деякої нестабільної частинки $\Delta t_0 = 10$ нс. Знайти відстань, яку пролетить ця частинка до розпаду в лабораторній системі відліку, де її час життя $\Delta t = 20$ нс.

1.57. У системі відліку K μ (мю)-мезон, що рухається зі швидкістю $V = 0,99c$, пролетів від місця свого народження до точки розпаду відстань $l = 3$ км. Визначити: а) власний час життя цього мезона; б) відстань, що пролетів мезон у системі, зв'язаній з ним.

1.58. Дві частинки, що рухалися в лабораторній системі відліку по одній прямій з однаковими швидкостями $V = 0,75c$, влучили в нерухому мішень з інтервалом часу $\Delta t = 50$ нс. Знайти власну відстань між частинками до влучення в мішень.

1.59. Стрижень рухається вздовж лінійки з деякою постійною швидкістю. Якщо зафіксувати положення кінців даного стрижня одночасно в системі відліку, зв'язаній з лінійкою, то різниця відліку за лінійкою $\Delta x_1 = 4,0$ м. Якщо ж положення обох кінців зафіксувати одночасно в системі відліку, зв'язаній зі стрижнем, то різниця відліку за цією ж лінійкою $\Delta x_2 = 9,0$ м. Знайти власну довжину стрижня і його швидкість відносно лінійки.

1.60. Частинка рухається зі швидкістю, що дорівнює половині швидкості світла. У скільки разів маса частинки, що рухається, більша за масу частинки, що знаходиться в стані спокою?

1.61. Відношення заряду електрона, що рухається, до його маси (визначене дослідним шляхом) дорівнює $0,88 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. Визначити масу і швидкість електрона, що рухається.

1.62. Швидкість частинки $V = 30$ Мм/с. На скільки відсотків маса частинки, що рухається, більша за масу частинки в стані спокою?

1.63. Кінетична енергія електрона дорівнює 10 МеВ. У скільки разів його маса більша за масу спокою?

1.64. Кінетична енергія протона дорівнює 10 МеВ. У скільки разів його маса більша за масу спокою?

1.65. У скільки разів маса протона більша за масу електрона, якщо обидві частинки мають однакову кінетичну енергію 1 ГеВ?

1.66. Електрон летить зі швидкістю, що дорівнює 0,8 швидкості світла. Визначити кінетичну енергію електрона в мегаелектронвольтах.

1.67. Визначити швидкість електрона, якщо його кінетична енергія дорівнює: а) 4 МеВ; б) 1 кеВ.

1.68. Знайти швидкість протона, якщо його кінетична енергія становить: а) 1 МеВ; б) 1 ГеВ.

1.69. Електрон рухається по колу в однорідному магнітному полі зі швидкістю $V = 0,8c$; індукція поля $B = 0,01$ Тл. Визначити радіус кола: а) не враховуючи збільшення маси зі швидкістю; б) враховуючи це збільшення.

1.70. Електрон рухається в магнітному полі по колу радіусом 2 см. Індукція поля $B = 0,1$ Тл. Визначити кінетичну енергію електрона.

1.71. Електрон, що влетів у камеру Вільсона, залишає слід у вигляді дуги кола радіусом 10 см. Камера знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією $B = 1$ Тл. Визначити кінетичну енергію електрона.

1.72. Кінетична енергія α -частинки дорівнює 500 МеВ. Частинка рухається в однорідному магнітному полі по колу радіусом 80 см. Визначити індукцію поля.

1.73. Електрон, кінетична енергія якого 1,5 МеВ, рухається в однорідному магнітному полі по колу. Індукція поля $B = 0,02$ Тл. Енергія спокою електрона $E_0 = 0,51$ МеВ. Визначити період обертання.

1.74. Космічний корабель віддаляється від Землі з відносною швидкістю $V_1 = 0,8c$, а потім з нього стартує ракета (у напрямку від Землі) зі швидкістю $V_2 = 0,8c$ відносно корабля. Визначити швидкість ракети відносно Землі.

1.75. Іонізований атом, вилетівши з прискорювача зі швидкістю $V = 0,8c$, випустив фотон у напрямку свого руху. Визначити швидкість фотона відносно прискорювача.

2. ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

2.1. Знайти температуру печі, якщо відомо, що випромінювання з отвору в ній площею $S = 6,1 \text{ см}^2$ має потужність $N = 34,6 \text{ Вт}$. Випромінювання вважати близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла.

2.2. Яку потужність випромінювання має Сонце? Випромінювання Сонця вважати близьким до випромінювання абсолютно чорного тіла; температуру поверхні прийняти за 5800 К .

2.3. Випромінююча здатність деякого тіла описується законом $r_\omega = r_0 \exp(-\alpha\omega)$, де r_0 та α – сталі величини. Знайти енергетичну світність R тіла.

2.4. Чому дорівнює випромінююча (поглинаюча) здатність тіла, якщо відома його поглинаюча (випромінююча) здатність?

2.5. Енергетична світність абсолютно чорного тіла дорівнює 250 кВт/м^2 . Визначити довжину хвилі, на яку припадає максимум випромінюючої здатності цього тіла.

2.6. Яку кількість енергії випромінює 1 см^2 свинцю, що твердіє за 1 с ? Відношення енергетичних світностей поверхні свинцю та абсолютно чорного тіла для цієї температури вважати рівним $0,6$.

2.7. Визначити кількість енергії, що випромінює 10 см^2 міді, яка кристалізується за 10 с . Відношення енергетичних світностей поверхні міді та абсолютно чорного тіла для цієї температури вважати рівним $0,75$.

2.8. Потужність випромінювання абсолютно чорного тіла дорівнює 34 кВт . Знайти температуру цього тіла, якщо відомо, що площа його поверхні дорівнює $0,6 \text{ м}^2$.

2.9. Розпечена металева поверхня площею 10 см^2 випромінює за 1 хв $4 \cdot 10^4 \text{ Дж}$. Температура поверхні дорівнює 2500 К . Знайти відношення енергетичних світностей цієї поверхні та абсолютно чорного тіла.

2.10. На рис. 1 наведена крива розподілу спектральної густини енергетичної світності абсолютно чорного тіла при деякій температурі. До якої температури відноситься ця крива? За графіком знайти процент випромінюваної енергії, який припадає на частку видимого спектра при даній температурі.

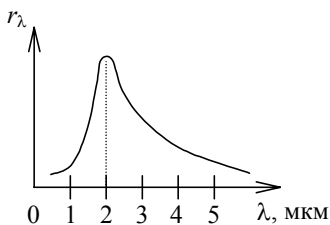


Рис. 1

на яку припадає максимум спектральної густини його енергетичної світності, $\lambda_{\max} = 7 \cdot 10^{-5}$ см.

2.12. Знайти температуру тіла, при якій воно випромінювало б енергії у 10 разів більше, ніж поглинало (температура оточуючого середовища $t_0 = 23$ °С).

2.13. Температура внутрішньої поверхні муфельної печі при відкритому отворі площею 30 см^2 дорівнює $1,3 \text{ КК}$. Знайти, яка частина потужності розсіюється стінками, якщо потужність, що живить піч, складає $1,5 \text{ кВт}$. Вважати, що отвір печі випромінює як абсолютно чорне тіло.

2.14. Знайти, як і у скільки разів зміниться потужність випромінювання чорного тіла, якщо довжина хвилі, що відповідає максимуму його спектральної густини енергетичної світності, змістилась з $\lambda_1 = 720 \text{ нм}$ до $\lambda_2 = 400 \text{ нм}$.

2.15. Внаслідок нагрівання чорного тіла довжина хвилі, що відповідає максимуму спектральної густини енергетичної світності, змістилась з $\lambda_1 = 2,7 \text{ мкм}$ до $\lambda_2 = 0,9 \text{ мкм}$. Знайти, у скільки разів збільшилась: а) енергетична світність тіла; б) максимальна спектральна густина енергетичної світності тіла.

2.16. Знайти довжину хвилі, яка відповідає максимальній спектральній густині енергетичної світності $(r_{\lambda, T})_{\max}$, рівній $1,3 \cdot 10^{11} \text{ Вт/м}^3$.

2.17. Вважаючи Сонце абсолютно чорним тілом, для якого $\lambda_{\max} = 0,48 \text{ мкм}$, знайти масу, яку втрачає Сонце за 1 с внаслідок випромінювання.

2.18. Визначити інтервал часу, за який маса Сонця зменшується на 1% . Вважати Сонце абсолютно чорним тілом, для якого $\lambda_{\max} = 0,48 \text{ мкм}$.

2.19. На графіку (рис. 2), що зображує універсальну функцію

Кірхгофа, виділені дві вузькі ділянки, площі яких рівні. Визначити, чи однакові для абсолютно чорного тіла на частотах ω_1 та ω_2 : а) випромінююча здатність; б) енергетична світність?

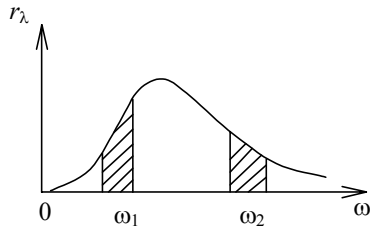


Рис. 2

2.20. На ділянку поверхні тіла з поглинаючою здатністю a падає потік енергії. Знайти: а) потік енергії, який поглинається ділянкою; б) відбитий нею потік; в) повний потік, що розповсюджується від ділянки у межах тілесного кута 2θ . Вважати, що тіло знаходиться у стані рівноваги з випромінюванням.

2.21. У замкненій порожнині знаходиться рівноважне теплове випромінювання зі спектральною об'ємною густиною $u_{\omega,T}$. Поглинаюча здатність стінок порожнини $a_{\omega,T}$. Чому дорівнюють: а) випромінююча здатність $r_{\omega,T}$; б) енергетична світність R стінок порожнини?

2.22. Знайти залежність об'ємної густини $u(T)$ рівноважного теплового випромінювання для абсолютно чорного тіла від температури T .

2.23. Діаметр вольфрамової спіралі в електричній лампочці дорівнює 3 мм, довжина спіралі 5 см. При включенні лампочки в коло напругою 127 В через лампочку проходить струм силою 0,31 А. Визначити температуру лампочки. Вважати, що після встановлення рівноваги все тепло, що виділяється у спіралі, втрачається внаслідок випромінювання. Відношення енергетичних світностей вольфраму та абсолютно чорного тіла вважати рівним 0,31.

2.24. Температура вольфрамової спіралі електричної лампочки ($p = 25$ Вт) дорівнює 2450 К. Відношення її енергетичної світності до енергетичної світності абсолютно чорного тіла дорівнює 0,3. Визначити величину випромінюючої поверхні спіралі.

2.25. Яку потужність необхідно підводити до мідної кульки діаметром $d = 2$ см, щоб при температурі оточуючого середовища $t_0 = -13$ °С підтримувати її температуру t рівною 17 °С? Прийняти поглинаючу здатність міді $a_T = 0,6$. Вважати, що теплові втрати обумовлені лише випромінюванням.

2.26. Знайти силу струму, який проходить по вольфрамовому провіднику діаметром $d = 0,8$ мм, температура якого у вакуумі підтримується сталою та рівною 2800 °С. Поверхню провідника

вважати сірою з поглинаючою здатністю $a_T = 0,343$. Питомий опір провідника при даній температурі $\rho = 0,92 \cdot 10^{-4}$ Ом \cdot см. Температура середовища, що оточує дріт, $t_0 = 17$ °С.

2.27. Яка температура підтримується у вольфрамовому дроті, що знаходиться у вакуумі, якщо сила струму I , що проходить по ньому, дорівнює 48,8 А, діаметр дроту $d = 0,8$ мм, поглинаюча здатність поверхні дроту $a_T = 0,343$, питомий опір дроту $\rho = 0,92 \cdot 10^{-4}$ Ом \cdot см, температура оточуючого середовища $t_0 = 17$ °С?

2.28. Яка температура оточуючого середовища, якщо для того, щоб підтримувати сталою температуру ($t = 17$ °С) мідної кульки діаметром 2 см, необхідно підводити потужність $p = 0,107$ Вт? Поглинаюча здатність міді $a_T = 0,6$. Вважати, що теплові втрати обумовлені лише випромінюванням.

2.29. Якого діаметра необхідно взяти вольфрамовий дріт, якщо для того, щоб підтримувати його температуру у вакуумі сталою і рівною 2800 °С, необхідно через нього пропустити струм $I = 48,8$ А? Поверхня дроту має поглинаючу здатність $a_T = 0,343$; питомий опір дроту $\rho = 0,92 \cdot 10^{-4}$ Ом \cdot см; температура середовища, яке оточує дріт, дорівнює 17°С.

2.30. Вважаючи, що теплові втрати обумовлені лише випромінюванням, знайти поглинаючу здатність, яку повинна мати поверхня кульки діаметром 2 см, якщо для того, щоб підтримувати її сталу температуру $t = 17$ °С, необхідно підводити потужність $p = 0,107$ Вт. Температура оточуючого середовища $t_0 = -13$ °С.

2.31. Зачорнена кулька охолола від температури 27 °С до 20 °С. На скільки змінилась довжина хвилі, яка відповідає максимуму спектральної густини її енергетичної світності?

2.32. Вважаючи Сонце абсолютно чорним тілом, яке внаслідок випромінювання втрачає масу $\Delta m = 5 \cdot 10^9$ кг за 1 с, знайти λ_{\max} .

2.33. Вважаючи Сонце абсолютно чорним тілом, для якого $\lambda_{\max} = 0,48$ мкм, знайти, на скільки відсотків зменшується його маса за час $t = 10^{11}$ років унаслідок випромінювання.

2.34. Площа, окреслена графіком спектральної густини енергетичної світності $r_{\lambda,T}$ чорного тіла, при переході від термодинамічної температури T_1 до температури T_2 збільшується у п'ять разів. Знайти, як зміниться при цьому довжина хвилі λ_{\max} , що відповідає максимуму спектральної густини енергетичної світності чорного тіла.

2.35. Використовуючи формулу Планка, знайти спектральну густину потоку випромінювання одиниці поверхні чорного тіла,

що припадає на вузький інтервал довжин хвиль $\Delta\lambda = 5$ мм навколо максимуму спектральної густини енергетичної світності, якщо температура чорного тіла $T = 2500$ К.

2.36. Поверхня тіла нагріта до температури 1000 К. Потім одна половина цієї поверхні нагрівається на 100 К, друга охолоджується на 100 К. У скільки разів змінюється енергетична світність поверхні цього тіла?

2.37. Поверхня тіла нагріта до температури 1000 К. Потім третина поверхні нагрівається на 100 К, а решта охолоджується на 100 К. У скільки разів змінюється енергетична світність поверхні цього тіла?

2.38. Користуючись формулою Планка, довести, що при малих частотах ($h\nu \ll kT$) вона збігається з формулою Релея–Джинса.

2.39. Користуючись формулою Планка, вивести з неї закон Стефана–Больцмана.

2.40. Користуючись формулою Планка, вивести з неї закон зміщення Віна.

2.41. При переході від термодинамічної температури T_1 до температури T_2 довжина хвилі λ_{\max} , яка відповідає максимуму спектральної густини енергетичної світності чорного тіла, зменшується у 1,49 разу. У скільки разів при цьому збільшиться площа, окреслена графіком спектральної густини енергетичної світності $r_{\lambda,T}$ чорного тіла?

2.42. Мідну кульку діаметром $d = 1,2$ см помістили у посудину, з якої відкачали повітря. Температура стінок посудини підтримується близькою до абсолютного нуля. Початкова температура кульки $T_0 = 300$ К. Знайти час, через який температура кульки зменшиться у два рази, якщо поверхню кульки вважати абсолютно чорною.

2.43. Порожнина об'ємом $V = 1,0$ л заповнена тепловим випромінюванням при температурі $T = 1000$ К. Визначити теплоємність цього випромінювання.

2.44. Знайти температуру повністю іонізованої водневої плазми густиною $\rho = 0,1$ г/см³, при якій тиск теплового випромінювання дорівнює газокінетичному тиску частинок плазми. Мати на увазі, що тиск теплового випромінювання $p = u/3$, де u – об'ємна густина енергії випромінювання. Вважати, що при високих температурах речовина підкоряється рівнянню стану ідеальних газів.

2.45. Два тіла однакової форми та розмірів, нагріті до почат-

кової температури T_0 , ізолювані одне від одного та поміщені у вакуум. Перше тіло виготовлене зі скла, друге – з граніту. На рис. 3 зображені залежності температур охолоджуваних тіл від часу.

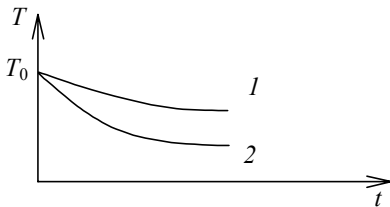


Рис. 3

Визначити криву, яка відповідає:
а) склу, б) граніту.

2.46. Випромінююча здатність деякого гіпотетичного тіла задається функцією

$$r_{\omega} = \begin{cases} 0, & \omega < \omega_1 \\ p, & \omega_1 \leq \omega \leq \omega_2 \\ 0, & \omega > \omega_2 \end{cases},$$

де p – стала. Знайти енергетичну світність тіла R .

2.47. За допомогою формули Віна $f(\omega, T) = \omega^3 F\left(\frac{\omega}{T}\right)$, де $F\left(\frac{\omega}{T}\right)$ –

функція довільного вигляду, показати, що частота ω , яка відповідає максимуму функції $f(\omega, T)$, пропорційна T .

2.48. Кулька діаметром $d = 1,2$ см з початковою $T = 300$ К поміщена у посудину, з якої відкачано повітря і в якій підтримується близька до абсолютного нуля температура. Поверхню кульки вважати абсолютно чорною. У скільки разів зменшиться температура мідної кульки за час $t = 3$ год?

2.49. Тиск теплового випромінювання $p = u/3$, де u – об'ємна густина енергії випромінювання. Яку густину має повністю іонізована воднева плазма при температурі $T = 10^7$ К, якщо тиск теплового випромінювання дорівнює газокінетичному тиску частинок плазми? Вважати, що при високих температурах речовина підкоряється рівнянню стану ідеальних газів.

2.50. Знайти температуру теплового випромінювання, що заповнює порожнину об'ємом $V = 1,0$ л, якщо відомо, що теплоємність цього випромінювання $c = 3$ нДж/К.

2.51. У посудину, температура стінок якої підтримується близькою до абсолютного нуля, помістили мідну кульку діаметром $d = 1,2$ см. Через час $t = 3$ години температура кульки зменшується у два рази. Визначити початкову температуру кульки, якщо поверхню кульки вважати абсолютно чорною.

3. КВАНТОВІ ОПТИЧНІ ЯВИЩА. ЗОВНІШНІЙ ФОТОЕФЕКТ

3.1. Визначити роботу виходу електрона з натрію, якщо червона межа фотоелекту дорівнює $5 \cdot 10^{-7}$ м.

3.2. Визначити енергію фотона, який падає на метал, якщо червона межа фотоелекту $\lambda_0 = 3,07 \cdot 10^{-7}$ м, а кінетична енергія фотоелектрону $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

3.3. На цинкову пластинку ($A_{\text{вих}} = 6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж) падає монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda_0 = 2,2 \cdot 10^{-7}$ м. Визначити максимальну швидкість фотоелектронів.

3.4. Розрахувати довжину хвилі світла, яке падає на поверхню деякого матеріалу ($A_{\text{вих}} = 6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж), щоб максимальна швидкість фотоелектронів дорівнювала 10^7 м/с.

3.5. На пластинку падає монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 10^{-7}$ м. Визначити роботу виходу електронів з поверхні металу, якщо максимальна швидкість електронів дорівнює $6 \cdot 10^5$ м/с.

3.6. Знайти величину затримуючого потенціалу для фотоелектронів, які вириваються з поверхні калію ($A_{\text{вих}} = 3,52 \cdot 10^{-19}$ Дж) світлом з довжиною хвилі $\lambda = 3,3 \cdot 10^{-7}$ м.

3.7. Визначити максимальну швидкість фотоелектронів, які вириваються із поверхні срібла: а) ультрафіолетовими променями з довжиною хвилі $\lambda_1 = 0,155$ мкм; б) γ -променями з довжиною хвилі $\lambda_2 = 0,001$ нм.

3.8. Фотострум, що виникає в колі вакуумного фотоелемента при освітленні цинкового електрода електромагнітним випромінюванням з довжиною хвилі 262 нм, зникає, якщо підключити зовнішню затримуючу напругу 1,5 В. Знайти величину та полярність зовнішньої контактної різниці потенціалів фотоелемента.

3.9. Є вакуумний фотоелемент, один із електродів якого цезієвий, а другий – мідний. Визначити максимальну швидкість фотоелектронів, що підлітають до мідного електрода, при освітленні цезієвого електрода випромінюванням з довжиною хвилі 0,22 мкм (зовні електроди замкнуті накоротко).

3.10. Електромагнітне випромінювання з $\lambda = 0,30$ мкм падає на фотоелемент, що знаходиться в режимі насичення. Відповідна спектральна чутливість фотоелемента $I = 4,8$ мА/Вт. Знайти вихід фотоелектронів, тобто число фотоелектронів на кожний фотон, який падає.

3.11. До якого максимального потенціалу зарядиться віддалена від інших тіл мідна кулька при опроміненні її електромагнітними хвилями з $\lambda = 140$ нм?

3.12. Знайти максимальну кінетичну енергію фотоелектронів, які вириваються з поверхні літію електромагнітним випромінюванням, напруженість електричної складової якого змінюється з часом за законом $E = a(1 + \cos \omega t) \cos \omega_0 t$, де a – деяка стала; $\omega = 6,0 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$ і $\omega_0 = 3,60 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$.

3.13. Визначити червону межу фотоефекту для цинку і максимальну швидкість фотоелектронів, що вириваються з його поверхні електромагнітним випромінюванням з довжиною хвилі 250 нм.

3.14. Якщо по черзі освітлювати поверхню деякого металу світлом з $\lambda_1 = 0,35$ мкм і $\lambda_2 = 0,54$ мкм, то виявляється, що максимальні швидкості фотоелектронів відрізняються одна від одної в $\eta = 2,0$ рази. Знайти роботу виходу фотоелектронів з поверхні цього металу.

3.15. Калій (робота виходу 2,00 еВ) освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі 509 нм (зелена лінія кадмію). Визначити максимально можливу кінетичну енергію фотоелектронів. Порівняти її із середньою енергією теплового руху електронів при температурі 17 °С.

3.16. Цезій (робота виходу 1,88 еВ) освітлюється спектральною лінією водню H_β ($\lambda = 0,476$ мкм). Знайти найменшу затримуючу різницю потенціалів, яку треба прикласти, щоб фотострум зник?

3.17. При фотоефекті з платинової поверхні затримуючий потенціал $U = 0,8$ В. Визначити довжину хвилі, що падає, світла та червону межу фотоефекту.

3.18. Один з електродів, який являє собою цезієву пластинку, освітлюється ультрафіолетовими променями з довжиною хвилі $\lambda_1 = 300$ нм. Яку затримуючу напругу треба прикласти між електродами, щоб вирвані світлом електрони не могли утворити фотострум у колі? Червона межа для цезію $\lambda_0 = 654$ нм.

3.19. При освітленні поверхні деякого металу монохроматичними хвилями максимальна швидкість фотоелектронів $V_1 = 2 \cdot 10^5$ м/с. Визначити максимальну швидкість фотоелектронів, що вириваються з поверхні цього металу при освітленні його монохроматичними хвилями з частотою на $\Delta\nu = 2 \cdot 10^{13}$ Гц більше.

3.20. Ультрафіолетові промені з довжиною хвилі $\lambda_1 = 0,3$ мкм,

попадаючи на катод фотоелемента, викликають потік фотоелектронів зі швидкістю $V_1 = 10^6$ м/с. Світлом якої довжини хвилі треба опромінювати фотоелемент, щоб кінетична енергія фотоелектронів E_k стала рівною $4 \cdot 10^{-19}$ Дж?

3.21. При опроміненні металевої кульки світлом спостерігається фотоефект. Як зміниться червона межа фотоефекту, якщо на кульку подати позитивний заряд q ? Радіус кульки R_0 ; електрони, які вилітають, реєструються на відстані $R \gg R_0$ від центра кульки.

3.22. З якою швидкістю вилітають електрони з поверхневого шару нікелю при опроміненні його ультрафіолетовим світлом з довжиною хвилі $\lambda = 200$ нм, якщо робота виходу електронів для нікелю $A_{\text{вих}} = 5$ еВ?

3.23. Робота виходу електронів для міді $A_{\text{вих}} = 4,47$ еВ. Визначити довжину хвилі монохроматичного світла, яким опромінують пластинку міді, якщо швидкість фотоелектронів $V = 5 \cdot 10^5$ м/с.

3.24. Цезієвий катод фотоелемента опромінюється світлом з довжиною хвилі $\lambda = 600$ нм. Визначити швидкість фотоелектронів, що вириваються з катода, якщо червона межа фотоефекту для цезію $\lambda_0 = 650$ нм.

3.25. Знайти частоту світла, що вириває з поверхні деякого металу електрони, які повністю затримуються потенціалом 6,08 В. Червона межа фотоефекту для даного металу $1,96 \cdot 10^{-7}$ м. Розрахувати роботу виходу електрона з цього металу і максимальну швидкість, з якою рухалися б електрони, якщо їх не затримувати.

3.26. Довжина хвилі, що відповідає червоній межі для деякого металу, 550 нм. Визначити швидкість фотоелектронів, які вилітають з металу при освітленні його монохроматичним випромінюванням з частотою на 10^{13} Гц більшою за червону межу.

3.27. На поверхню металу падають монохроматичні промені з довжиною хвилі $\lambda = 1500$ Å. Червона межа фотоефекту $\lambda_0 = 2000$ Å. Яка частка енергії фотона використовується для надання електрону кінетичної енергії?

3.28. На поверхню літію падають промені з довжиною хвилі $\lambda = 2500$ Å. Визначити максимальну швидкість фотоелектронів.

3.29. Яка частка енергії фотона витрачається на роботу виходу електрона, якщо червона межа фотоефекту 0,3 мкм, кінетична енергія фотоелектрона 1 еВ?

3.30. Робота виходу електронів з цинку $5,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Знайти червону межу фотоефекту для даного металу.

3.31. Електрон вилітає з поверхні цезію з кінетичною енергією 2,2 еВ. Знайти довжину хвилі випромінювання, що викликає фотоефект, якщо робота виходу електронів 1,8 еВ.

3.32. Робота виходу електронів з деякого металу 1,8 еВ. Визначити червону межу фотоефекту для цього металу та ділянку спектра, до якої вона належить.

3.33. Визначити довжину хвилі, що відповідає червоній межі для платини, та швидкість фотоелектронів при опромінюванні цього металу світлом довжиною хвилі 0,27 мкм.

3.34. Визначити довжину хвилі, що відповідає червоній межі для міді, та максимальну швидкість фотоелектронів при опромінюванні цього металу світлом з частотою $1,5 \cdot 10^{15}$ Гц.

3.35. На фотоелемент з катодом із рубідію падають промені з довжиною хвилі $\lambda = 1000 \text{ \AA}$. Знайти найменше значення затримуючої різниці потенціалів U_{\min} , яку необхідно прикласти до фотоелемента, щоб зупинити емісію фотоелектронів.

3.36. На цинкову пластинку падає пучок ультрафіолетових променів ($\lambda = 0,2 \text{ мкм}$). Визначити кінетичну енергію T та швидкість V фотоелектронів.

3.37. На пластинку падає монохроматичне світло ($\lambda = 0,42 \text{ мкм}$). Фотострум зникає при затримуючій різниці потенціалів $U = 0,95 \text{ В}$. Визначити роботу A виходу електронів з поверхні пластини.

3.38. Визначити максимальну кінетичну енергію фотоелектрона калію при його освітленні променями з довжиною хвилі 400 нм, якщо робота виходу електрона з калію дорівнює 2,26 еВ.

3.39. Робота виходу електронів із кадмію дорівнює 4,08 еВ. Якою повинна бути довжина хвилі випромінювання, що падає на кадмій, щоб при фотоефекті максимальна швидкість фотоелектронів дорівнювала $2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$?

3.40. Червона межа фотоефекту у цезія дорівнює 653 нм. Визначити максимальну швидкість фотоелектронів при опромінюванні цезію світлом з довжиною хвилі 500 нм.

3.41. Робота виходу електронів із оксиду міді 5,15 еВ. Чи буде викликати фотоефект ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі 300 нм?

КВАНТОВІ ВЛАСТИВОСТІ ФОТОНІВ

3.42. Визначити енергію фотона, якому відповідає довжина хвилі $4 \cdot 10^{-7}$ м.

3.43. Визначити масу фотона, якому відповідає довжина хвилі $5 \cdot 10^{-7}$ м.

3.44. Визначити імпульс фотона, якому відповідає довжина хвилі $6 \cdot 10^{-7}$ м.

3.45. Ртутна лампа має потужність 100 Вт. Скільки квантів світла випромінюється за одну секунду, якщо довжина хвилі світла $5 \cdot 10^{-7}$ м?

3.46. На відстані 5 м від точкового монохроматичного ізотропного джерела нормально розташована площа ($S = 8 \text{ мм}^2$). Визначити кількість фотонів, які щосекунди падають на площину, якщо потужність джерела 100 Вт, довжина хвилі випромінювання 0,5 мкм.

3.47. На відстані 10 м від точкового монохроматичного ізотропного джерела довжиною хвилі 0,6 мкм перпендикулярно до променів, що падають, розташована площа ($S = 10 \text{ мм}^2$). Знайти потужність джерела, якщо на площину кожної секунди падає 10^{12} фотонів.

3.48. Рубіновий лазер випромінює в імпульсному режимі $2,0 \cdot 10^{19}$ фотонів з довжиною хвилі 694 нм. Визначити середню потужність спалаху лазера, якщо його тривалість $2,0 \cdot 10^{-3}$ с.

3.49. Знайти довжину хвилі фотона, імпульс якого дорівнює імпульсу електрона, що пролетів різницю потенціалів 9,8 В.

3.50. Скільки фотонів за секунду випромінює нитка електричної лампи з корисною потужністю $N = 100$ Вт, якщо середня довжина хвилі випромінювання $\lambda = 1$ мкм?

3.51. Визначити частоту та енергію фотона для оранжевих променів з довжиною хвилі $\lambda = 0,6$ мкм.

3.52. Визначити частоту, масу та імпульс фотона з довжиною хвилі $\lambda = 12,4$ А.

3.53. Визначити довжину хвилі ультрафіолетового випромінювання, імпульс кванта якого при повному поглинанні дорівнює $3,0 \cdot 10^{-27}$ Н · с.

3.54. Визначити довжину хвилі видимого випромінювання, маса фотона якого дорівнює $4,0 \cdot 10^{-36}$ кг.

3.55. Визначити довжину хвилі електромагнітного випромінювання, енергія кванта якого дорівнює енергії спокою електрона.

3.56. Яку частоту повинен мати фотон, щоб його маса дорівнювала масі спокою електрона?

3.57. Яку частоту повинен мати фотон, щоб його імпульс дорівнював імпульсу релятивістського електрона, який рухається зі швидкістю 10^8 м/с?

3.58. Яку довжину хвилі має фотон, маса якого дорівнює масі спокою електрона?

3.59. Яку довжину хвилі повинен мати фотон, щоб його імпульс дорівнював імпульсу релятивістського електрона, який рухається зі швидкістю $2 \cdot 10^8$ м/с?

3.60. Яку частоту і довжину хвилі має фотон, енергія якого дорівнює кінетичній енергії релятивістського електрона, що рухається зі швидкістю 10^8 м/с?

ТИСК СВІТЛА

3.61. На одиницю площі за одиницю часу нормально падає 100 Дж світлової енергії. Визначити величину тиску, який здійснює світло, якщо поверхня повністю відбиває всі промені.

3.62. За одиницю часу на одиницю площі нормально падає 200 Дж енергії світла. Який тиск здійснює світло, якщо поверхня повністю поглинає всі промені?

3.63. На поверхню, яка повністю поглинає світло, нормально падає щосекунди 100 Дж енергії. Знайти площу поверхні, якщо тиск, який здійснює на цю поверхню світло, дорівнює $3,5 \cdot 10^{-7}$ Па.

3.64. На площину $S = 100$ см² кожної хвилини нормально падає 63 Дж світлової енергії. Визначити тиск світла, якщо поверхня повністю відбиває все світло, що падає.

3.65. На площину $S = 10$ см² кожної хвилини нормально падає 100 Дж світлової енергії. Визначити тиск світла, якщо поверхня повністю поглинає все світло, що падає.

3.66. На поверхню, яка повністю відбиває світло, нормально падає щосекунди 200 Дж світлової енергії. Знайти площу поверхні, якщо величина тиску світла дорівнює $7 \cdot 10^{-7}$ Па.

3.67. Світло нормально падає на поверхню площею 10^{-2} м², здійснюючи при цьому тиск $5 \cdot 10^{-7}$ Па. Поверхня повністю поглинає всі промені, які падають на неї. За який проміжок часу поверхня поглине 120 Дж світлової енергії?

3.68. Визначити проміжок часу, протягом якого світло з енер-

гією 30 Дж нормально падає на поверхню площею $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Тиск, який здійснює світло, дорівнює $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ Па}$; коефіцієнт відбиття $\rho = 0,25$.

3.69. На ідеально відбивну поверхню, площа якої 5 см^2 , протягом трьох хвилин нормально падає монохроматичне світло, енергія якого 9 Дж. Визначити освітленість поверхні і тиск світла на неї.

3.70. Визначити коефіцієнт відбиття поверхні, якщо при енергетичній освітленості 120 Вт/м^2 тиск світла на неї дорівнює $0,5 \text{ мкПа}$.

3.71. На поверхню з коефіцієнтом відбиття $0,4$ нормально падає потік випромінювання потужністю 10 Вт . З якою силою тисне випромінювання на цю поверхню?

3.72. На дзеркальну поверхню, площа якої 6 см^2 , нормально падає потік випромінювання потужністю $0,8 \text{ Вт}$. Визначити тиск та силу тиску світла на цю поверхню.

3.73. Потік монохроматичного випромінювання ($\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$) падає нормально на плоску дзеркальну поверхню і тисне на неї з силою $F = 10^{-8} \text{ Н}$. Визначити число фотонів, які кожної секунди падають на цю поверхню.

3.74. На дзеркальну поверхню щосекунди нормально падає $3,78 \cdot 10^{18}$ фотонів монохроматичного світла, здійснюючи тиск силою $F = 10^{-8} \text{ Н}$. Визначити довжину хвилі цього випромінювання.

3.75. На чорну поверхню щосекунди нормально падає $3,78 \cdot 10^{18}$ фотонів монохроматичного світла з довжиною хвилі $0,5 \text{ мкм}$. З якою силою тисне на поверхню це світло?

3.76. На кожен квадратний сантиметр дзеркальної поверхні щосекунди нормально падає $3,0 \cdot 10^{16}$ фотонів світла з довжиною хвилі 400 нм . Знайти тиск світла на цю поверхню.

3.77. На одиницю поверхні в одиницю часу нормально падає і повністю поглинається $5,0 \cdot 10^{18}$ фотонів монохроматичного світла. Визначити довжину хвилі цього випромінювання, якщо створований ним тиск $p = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$?

3.78. Який тиск створює світло з довжиною хвилі $\lambda = 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ при нормальному падінні, якщо кожної секунди на одиницю поверхні потрапляє $9,0 \cdot 10^{17}$ фотонів, третину із яких поверхня відбиває?

3.79. Паралельний пучок променів з довжиною хвилі $\lambda = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ падає перпендикулярно на чорну поверхню, здійснюючи тиск $p = 10^{-5} \text{ Па}$. Визначити число фотонів, що потрапляють на одиницю цієї поверхні за одиницю часу.

3.80. Тиск монохроматичного світла на дзеркальну поверхню,

розташовану перпендикулярно до падаючого випромінювання, дорівнює $0,15$ мкПа; довжина хвилі світла 500 нм. Скільки фотонів щосекунди падають на поверхню площею 40 см²?

3.81. При нормальному падінні на поверхню тиск світла дорівнює 5 мкПа. Коефіцієнт відбиття світла дорівнює $0,25$; довжина хвилі світла $\lambda = 0,49$ мкм. Визначити кількість фотонів, що кожної секунди падають на поверхню $S = 1$ см².

3.82. Тиск світла на чорну поверхню, розташовану нормально до падаючих променів, дорівнює 2 нПа; довжина хвилі випромінювання 40 нм. Скільки фотонів потрапляють за 10 с на один мм² цієї поверхні?

3.83. Тиск паралельного пучка світла при нормальному падінні на чорну поверхню 10^5 Па. Визначити кількість фотонів в одиниці об'єму пучка, якщо довжина хвилі падаючого світла $0,5$ мкм.

3.84. Світло падає нормально на дзеркальну поверхню, що знаходиться на відстані 10 см від точкового ізотропного випромінювача. При якій потужності випромінювача тиск на дзеркальну поверхню дорівнюватиме 1 мПа?

3.85. Потужність випромінювання електричної лампочки 200 Вт. На відстані $0,5$ м від лампочки перпендикулярно до променів, що падають, розташована кругла дзеркальна пластинка діаметром 2 см. Вважаючи, що випромінювання лампочки однакове в усіх напрямках, визначити силу світлового тиску на пластинку.

3.86. Визначити тиск світла на стінки електричної лампочки потужністю 150 Вт, приймаючи, що вся споживана потужність йде на випромінювання; стінки лампочки відбивають 15% і пропускають 80% падаючого на них світла. Вважати лампочку сферою радіусом 4 см.

3.87. Виходячи з уявлень про те, що світло складається із фотонів, імпульс кожного з яких $h\nu/c$, визначити тиск світлової хвилі на плоске дзеркало, якщо коефіцієнт відбиття дзеркала ρ , а кут падіння ϕ .

3.88. Виходячи з уявлень про те, що світло складається із фотонів, імпульс кожного з яких $h\nu/c$, визначити тангенціальну складову сили F_τ , яка діє на одиницю площі абсолютно чорної поверхні з боку випромінювання, яке падає під кутом ϕ .

3.89. Довести, що тиск променів, які нормально падають на поверхню, у випадку ідеального дзеркала дорівнює 2ω , а у випадку повністю поглинаючої поверхні дорівнює ω , де ω – об'ємна густина енергії випромінювання.

3.90. Плоска світлова хвиля інтенсивністю $0,1 \text{ Вт/см}^2$ падає на плоску відбивну поверхню з коефіцієнтом відбиття $0,7$ під кутом 30° до нормалі. Користуючись квантовими уявленнями про природу світла, визначити нормальну складову тиску світла на цю поверхню.

3.91. Плоска світлова хвиля інтенсивністю 5 Вт/см^2 падає на плоску відбивну поверхню з коефіцієнтом відбиття $0,2$ під кутом 30° до нормалі. Користуючись квантовими уявленнями про природу світла, визначити тангенціальну складову тиску світла на цю поверхню.

3.92. На дзеркальну поверхню під кутом 45° падає потік фотонів інтенсивністю 10^{18} с^{-1} . Визначити тиск світла на поверхню, якщо довжина хвилі світла 400 нм , а коефіцієнт відбиття від поверхні $0,75$.

3.93. На дзеркальну поверхню під кутом $\alpha = 60^\circ$ до нормалі падає пучок світла інтенсивністю 1 кВт/м^2 . Визначити освітленість поверхні і тиск світла на цю поверхню.

3.94. Визначити тиск p плоскої світлової хвилі з густиною енергії ω на плоске дзеркало з ідеально відбивною поверхнею. Кут падіння хвилі ϕ .

3.95. Визначити тиск p світла з густиною енергії ω на плоску дзеркальну поверхню з коефіцієнтом відбиття ρ . Кут падіння світла ϕ .

3.96. Коефіцієнт відбиття світла від поверхні дзеркала ρ , об'ємна густина енергії хвилі ω , площа поперечного перерізу пучка S . Визначити тангенціальну складову сили тиску F_τ , з якою світловий пучок, що падає під кутом ϕ до нормалі, діє на плоску частину дзеркала.

3.97. Коефіцієнт відбиття світла від поверхні дзеркала ρ , об'ємна густина енергії хвилі ω , площа поперечного перерізу пучка S . Визначити нормальну складову сили тиску F_n , з якою світловий пучок, що падає під кутом ϕ до нормалі, діє на плоску частину дзеркала.

ЕФЕКТ КОМПТОНА

3.98. Рентгенівські промені з довжиною хвилі $\lambda = 7,08 \cdot 10^{-11} \text{ м}$ здійснюють комптонівське розсіювання на парафіні в напрямку $\theta = 60^\circ$. Знайти довжину хвилі λ' розсіяних променів.

3.99. Рентгенівські промені з довжиною хвилі $\lambda = 2 \cdot 10^{-11}$ м здійснюють комптонівське розсіювання. Довжина хвилі розсіяних променів $\lambda' = 2,242 \cdot 10^{-11}$ м. Визначити енергію електрона віддачі.

3.100. Визначити довжину хвилі λ падаючих рентгенівських променів, якщо при комптонівському розсіюванні цих променів на графіті під кутом $\theta = 60^\circ$ довжина хвилі розсіяних променів $\lambda' = 2,54 \cdot 10^{-11}$ м.

3.101. Визначити кут θ комптонівського розсіювання фотона, якщо збільшення довжини хвилі при розсіюванні $\Delta\lambda = 3,62 \cdot 10^{-12}$ м.

3.102. В ефекті Комптона кут розсіювання фотона $\theta = 90^\circ$; кут віддачі електрона $\phi = 30^\circ$. Визначити енергію E падаючого фотона.

3.103. Фотон ($\lambda = 10^{-12}$ м) розсіявся на вільному електроні під кутом $\theta = 90^\circ$. Яку частину своєї енергії фотон передав електрону?

3.104. Фотон з енергією $6,4 \cdot 10^{-14}$ Дж розсіявся під кутом $\theta = 90^\circ$ на вільному електроні. Визначити енергію розсіяного фотона.

3.105. Фотон з енергією $12,8 \cdot 10^{-14}$ Дж розсіявся під кутом $\theta = 60^\circ$ на вільному електроні. Визначити кінетичну енергію електрона віддачі.

3.106. Фотон з енергією $12 \cdot 10^{-14}$ Дж розсіявся на вільному електроні. Довжина хвилі розсіяного фотона $\lambda' = 0,0288 \cdot 10^{-10}$ м. Визначити величину кута розсіювання θ .

3.107. Гамма-квант з енергією 2 МеВ розсіюється на вільному електроні, який після зіткнення рухається під кутом $\phi = 45^\circ$ відносно напрямку руху кванта до зіткнення. Обчислити кут розсіювання фотона та комптонівське зміщення довжини його хвилі.

3.108. Кут розсіювання при ефекті Комптона $\theta = 90^\circ$. Визначити енергію падаючого фотона, якщо кінетична енергія електрона віддачі $T = 0,255$ МеВ.

3.109. Квант з енергією 0,51 МеВ розсіявся під кутом $\theta = 120^\circ$. Визначити кут ϕ вильоту електрона віддачі.

3.110. Фотон з енергією 0,15 МеВ розсіявся на вільному електроні, який знаходився в стані спокою, в результаті чого довжина його хвилі $\lambda' = 0,107$ А. Знайти кут, під яким вилетів комптонівський електрон.

3.111. Знайти довжину хвилі рентгенівського випромінювання, якщо максимальна кінетична енергія комптонівських електронів $T_{\max} = 0,19$ МеВ.

3.112. Фотон розсіявся під кутом $\theta = 120^\circ$ на вільному електроні, який знаходився в стані спокою, в результаті чого електрон

одержав імпульс $p = 0,45 \text{ MeV}/c$, де c – швидкість світла у вакуумі. Знайти енергію фотона до розсіювання.

3.113. Фотон з імпульсом $p = 1,02 \text{ MeV}/c$, де c – швидкість світла у вакуумі, розсіявся на вільному електроні, який знаходився у стані спокою, в результаті чого імпульс фотона $p' = 0,255 \text{ MeV}/c$. Під яким кутом розсіявся фотон?

3.114. Фотон з енергією $0,15 \text{ MeV}$ розсіявся під кутом $\theta = 120^\circ$ на вільному електроні, який знаходився в стані спокою. Визначити імпульс електрона віддачі.

3.115. Фотон з довжиною хвилі $\lambda = 6,0 \text{ пм}$ розсіявся під прямим кутом на вільному електроні, який знаходився в стані спокою. Знайти: а) частоту розсіяного фотона; б) кінетичну енергію електрона віддачі.

3.116. Фотон з енергією $1,00 \text{ MeV}$ розсіявся на вільному електроні, який знаходився в стані спокою. Знайти кінетичну енергію електрона віддачі, якщо в результаті розсіювання довжина хвилі фотона змінилась на $\eta = 25 \%$.

3.117. Вузький пучок монохроматичного рентгенівського випромінювання падає на речовину. При цьому довжини хвиль зміщених складових випромінювання, розсіяного речовиною під кутами $\theta_1 = 60^\circ$ і $\theta_2 = 120^\circ$, відрізняються один від одного в $\eta = 2,0$ рази. Знайти довжину хвилі падаючого випромінювання.

3.118. Зміна довжини хвилі рентгенівського кванта з $\lambda = 0,05 \text{ \AA}$ в ефекті Комптона дорівнює комптонівській довжині хвилі λ_c електрона. Знайти кут розсіювання фотона і кінетичну енергію електрона віддачі.

3.119. Фотон з енергією $\epsilon = 1,02 \text{ MeV}$ був розсіяний при ефекті Комптона на вільному електроні під кутом $\theta = 180^\circ$. Визначити кінетичну енергію електрона віддачі.

3.120. Фотон з довжиною хвилі $\lambda = 0,126 \text{ \AA}$ розсіявся на вільному електроні. Довжина хвилі розсіяного фотона $\lambda' = 0,150 \text{ \AA}$. Визначити кут розсіювання.

3.121. У результаті ефекту Комптона фотон при зіткненні з електроном був розсіяний на кут $\theta = 90^\circ$. Енергія розсіяного фотона $\epsilon' = 0,4 \text{ MeV}$. Визначити енергію фотона ϵ до розсіювання.

3.122. Визначити кут θ , на який був розсіяний γ -квант з енергією $\epsilon = 1,02 \text{ MeV}$ при ефекті Комптона, якщо кінетична енергія електрона віддачі $T = 0,51 \text{ MeV}$.

3.123. Фотон при ефекті Комптона на вільному електроні був

розсіяний на кут $\theta = \pi$. Визначити імпульс p (в одиницях MeV/c), який одержав електрон віддачі, якщо енергія фотона до розсіювання $\epsilon = 0,51 \text{ MeV}$.

3.124. Яка частка енергії фотона припадає при ефекті Комптона на електрон віддачі, якщо розсіювання фотона здійснюється на кут $\theta = 180^\circ$? Енергія фотона до розсіювання $\epsilon = 0,255 \text{ MeV}$.

3.125. Рентгенівські промені ($\lambda = 1 \text{ \AA}$) розсіюються електронами, які можна вважати практично вільними. Визначити максимальну довжину хвилі λ'_{max} розсіяних променів.

3.126. Визначити максимальну зміну довжини хвилі $(\Delta\lambda)_{\text{max}}$ при комптонівському розсіюванні світла на вільних електронах.

3.127. Визначити кут між початковим напрямком світлового пучка і напрямком комптонівського розсіювання фотонів на електронах, що знаходяться у стані спокою, якщо довжина хвилі фотонів початкового пучка $\lambda = 4,00 \cdot 10^{-11} \text{ м}$, а довжина хвилі розсіяних фотонів $\lambda' = 4,04 \cdot 10^{-11} \text{ м}$.

3.128. Кут між початковим напрямком світлового пучка і напрямком комптонівського розсіювання фотонів на нерухомих електронах дорівнює 38° . На скільки довжина хвилі розсіяного випромінювання більша за довжину хвилі початкового випромінювання? Яку швидкість набуває електрон віддачі, якщо енергія фотона після розсіювання $\epsilon' = 1 \text{ MeV}$?

3.129. Визначити відношення імпульсу p електрона з кінетичною енергією $T = 1,02 \text{ MeV}$ до комптонівського імпульсу m_0c електрона.

3.130. Яку швидкість набуває електрон віддачі в ефекті Комптона після центрального зіткнення з фотоном енергії 2 MeV , якщо до зіткнення він знаходився у стані спокою? У скільки разів зростає маса електрона?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1989.
 2. *Детлаф А.А., Яворский Б.М.* Справочник по физике. – М.: Наука, 1985.
 3. *Зисман Г.А., Тодес О.М.* Курс общей физики: Учеб. пособие для вузов: В 3 т. – М.: Наука, 1967. – Т. 2, 3.
 4. *Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцук Л.П.* Загальний курс фізики: Навч. посібник: У 3 т. – К.: Техніка, 1999. – Т. 2, 3.
 5. *Савельев И.В.* Курс физики: Учебник: В 3 т. – М.: Наука, 1989. – Т. 2, 3.
 6. *Трофимова Т.И.* Курс физики: Учеб. пособие для вузов.: 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1990.
 7. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие: В 3 т. / Под ред. *Г.С. Ландсберга.* – М.: Наука, 1984. – Т. 2, 3.
-

Навчальне видання

УШКАЦ Михайло Вікторович
КОВАЛЬ Сергій Станіславович
КОНДРАТЕНКО Володимир Валентинович
СИПКО Володимир Павлович
СТРАТІЄНКО Ларіса Іванівна
ТИТЮЧЕНКО Лідія Іванівна

ТЕОРІЯ ВІДНОСНОСТІ.
ТЕПЛОВЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ.
КВАНТОВІ ОПТИЧНІ ЯВИЩА

*Збірник задач
для індивідуальної роботи
з курсу фізики*

Під редакцією М.В. Ушкаця, С.С. Коваля

(українською мовою)

Редактор О.Є. Вакула
Комп'ютерна правка та верстка Н.В. Ялова
Коректор М.О. Паненко

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 2506 від 25.05.2006 р.

Підписано до друку 10.04.07. Папір офсетний. Формат 60×84/16.
Друк офсетний. Гарнітура "Таймс". Ум. друк. арк. 1,6. Обл.-вид. арк. 1,7.
Тираж 600 прим. Вид. № 23. Зам. № 28. Ціна договірна

Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування,
54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5