

**20 КВАНТОВА ПРИРОДА СВІТЛА.
ФОТОЕФЕКТ ТА ЕФЕКТ КОМПТОНА
ЗВЕДЕННЯ ОСНОВНИХ ФОРМУЛ**

20.1 Енергія фотона

$$W_{\Phi} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}, \text{ або } W_{\Phi} = \hbar\omega,$$

де h - стала Планка; $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ - стала Планка – Дірака;
 c - швидкість світла у вакуумі; ν - та λ - відповідно частота та довжина електромагнітного випромінювання; ω - циклічна частота.

20.2 Маса та імпульс фотона виражаються такими формулами:

$$m = \frac{W_{\Phi}}{c^2} = \frac{hc}{\lambda} \quad \text{і} \quad p = mc = \frac{h}{\lambda}.$$

20.3 Формула Ейнштейна для зовнішнього фотоелектру:
а) у загальному випадку

$$W_{\Phi} = h\nu = A + W_{K_{\max}},$$

де $W_{\Phi} = h\nu$ - енергія фотона, який падає на поверхню металу; A – робота виходу електрона із металу; $W_{K_{\max}}$ – максимальна кінетична енергія фотоелектрона;

б) у випадку, коли енергія фотона значно більша за роботу виходу ($h\nu \gg A$), тоді

$$h\nu = W_{K \max}.$$

20.4 Максимальна кінетична енергія фотоелектрона в двох випадках (нерелятивістському і релятивістському) визначається різними формулами:

а) якщо фотоефект викликаний фотоном, який має відносно малу енергію ($h\nu = \hbar\omega < 5 \text{ кеВ}$), то

$$W_{K \max} = \frac{m_0 v_{\max}^2}{2},$$

де m_0 – маса спокою електрона;

б) якщо фотоефект викликаний фотоном, який має велику енергію ($h\nu = \hbar\omega \gg 5 \text{ кеВ}$), то

$$W_{K \max} = (m - m_0)c^2 = m_0c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right),$$

де $\beta = \frac{v_{\max}}{c}$; m – маса релятивістського електрона.

20.5 Червона межа фотоефекту

$$\lambda_0 = \frac{hc}{A}, \text{ або } \lambda_0 = \frac{2\pi\hbar c}{A}; \nu_0 = \frac{A}{h}, \text{ або } \omega_0 = \frac{A}{\hbar},$$

де λ_0 – максимальна довжина хвилі випромінювання (ν_0 – та ω_0 – мінімальні частота і циклічна частота), при яких ще можливий фотоефект.

20.6 Зміна довжини хвилі $\Delta\lambda$ фотона при розсіянні його на частинці (ефект Комптона) на кут θ

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{2\pi\hbar}{mc}(1 - \cos\theta), \text{ або } \Delta\lambda = 2\frac{2\pi\hbar}{mc}\sin^2\frac{\theta}{2},$$

де m – маса частинки віддачі; λ і λ' – довжини падаючої та розсіяної хвиль.

20.7 Комптонівська довжина хвилі

$$\lambda_c = \frac{2\pi\hbar}{mc}.$$

(При розсіянні фотона на електроні $\lambda_c = 2,436$ пм).

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ

Приклад 20.1 Лазер у безперервному режимі випромінює світло з довжиною хвилі $\lambda = 600 \text{ нм}$ при потужності $N = 40 \text{ мВт}$. Скільки фотонів він випромінює за $t = 1 \text{ с}$?

Розв'язання

Енергія фотона

$n - ?$	
$\lambda = 600 \text{ нм} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ м},$	
$N = 40 \text{ мВт} = 0,4 \text{ Вт},$	
$t = 1 \text{ с}.$	

$$W_{\phi} = \frac{hc}{\lambda},$$

де h - стала Планка; c - швидкість світла у вакуумі; λ - довжина

світлової хвилі.

Енергія лазерного випромінювання за час t складає

$$W = Nt,$$

тоді кількість фотонів, які випромінюються за час t лазером:

$$n = \frac{W}{W_{\phi}} = \frac{Nt\lambda}{hc}.$$

Підставимо числові значення фізичних величин у отриманий вираз та виконаємо обчислення

$$n = \frac{0,4 \cdot 6 \cdot 10^{-7}}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 1,2 \cdot 10^{18}.$$

Перевіримо розмірність одиниць одержаної величини:

$$n = \frac{[N][t][\lambda]}{[h][c]} = \frac{Вт \cdot с \cdot м}{Дж \cdot с \cdot \frac{м}{с}} = \frac{Дж \cdot с \cdot м}{Дж \cdot с \cdot м} = 1.$$

Відповідь: $n = 1,2 \cdot 10^{18}$.

Приклад 20.2

На металічну пластину падає монохроматичний пучок світла з частотою $\nu = 7,3 \cdot 10^{14}$ Гц. Червона межа фотоефекту для даного матеріалу дорівнює $\lambda_0 = 560$ нм. Визначити максимальну швидкість v_{\max} фотоелектронів.

Розв'язання

Для визначення максимальної швидкості фотоелектронів скористуємося рівнянням Ейнштейна для фотоефекту

$v_{\max} - ?$	$\nu = 7,3 \cdot 10^{14} \text{ Гц},$ $\lambda_0 = 560 \text{ нм} \quad 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ м},$ $m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}.$
----------------	--

$$h\nu = A + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (1)$$

Робота виходу фотоелектронів із металу дорівнює

$$A = h \frac{c}{\lambda_0}. \quad (2)$$

Підставимо вираз (2) в (1):

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda_0} + \frac{mv_{\max}^2}{2}. \quad (3)$$

20 КВАНТОВА ПРИРОДА СВІТЛА.
ФОТОЕФЕКТ ТА ЕФЕКТ КОМПТОНА

Розв'язавши це рівняння відносно швидкості, одержимо v_{\max} :

$$v_{\max}^2 = \frac{2h}{m} \left(\nu - \frac{c}{\lambda_0} \right) \Rightarrow$$
$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2h}{m} \left(\nu - \frac{c}{\lambda_0} \right)}.$$

Підставивши числові значення фізичних величин в останнє співвідношення, одержимо відповідь

$$v_{\max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left(7,3 \cdot 10^{14} - \frac{3 \cdot 10^8}{560 \cdot 10^{-9}} \right)} = 5,32 \cdot 10^5 \text{ (м/с)}.$$

Перевіримо розмірність одиниць одержаної величини:

$$[v] = \sqrt{\frac{[h]}{[m]} \left([\nu] - \frac{[c]}{[\lambda]} \right)} = \sqrt{\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{с}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{с}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $v_{\max} = 5,32 \cdot 10^5 \text{ м/с}.$

Приклад 20.3 Фотон з енергією $W_{\phi} = 10 \text{ eV}$ падає на срібну пластину і викликає фотоефект. Визначити імпульс p , отриманий пластиною, вважаючи, що напрями руху фотона і фотоелектрона лежать на одній прямій, перпендикулярній до поверхні пластини.

20 КВАНТОВА ПРИРОДА СВІТЛА.
ФОТОЕФЕКТ ТА ЕФЕКТ КОМПТОНА

Розв'язання

$p - ?$	<p>При падінні фотона на срібну пластинку з неї вибивається фотоелектрон. Імпульс, що передається пластинці, складається з імпульсу фотоелектрона та імпульсу фотона:</p>
$W_{\Phi} = 10 \text{ eВ} \quad 1,6 \cdot 10^{-18} \text{ Дж.}$	$p = p_{\Phi} + p_e. \quad (1)$

Імпульс фотона дорівнює

$$p_{\Phi} = \frac{W_{\Phi}}{c}, \quad (2)$$

де c – швидкість світла.

Імпульс електрона визначається співвідношенням

$$p_e = mv_e. \quad (3)$$

Швидкість фотоелектрона знайдемо з рівняння Ейнштейна для фотоелектру:

$$W_{\Phi} = A + \frac{mv_e^2}{2} \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{2(W - A)}{m}}. \quad (4)$$

Підставивши вираз (4) в (3), одержимо

$$p_e = m \sqrt{\frac{2(W - A)}{m}} = \sqrt{2m(W - A)}. \quad (5)$$

Тепер підставимо співвідношення (2) і (5) в (1):

$$p = \frac{W_{\Phi}}{c} + \sqrt{2m(W - A)}. \quad (6)$$

Після підстановки числових значень величин одержимо відповідь:

$$\begin{aligned} p &= \frac{10 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{3 \cdot 10^8} + \sqrt{2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{-19} (10 \cdot 1,6 - 7,5)} = \\ &= 1,24 \cdot 10^{-19} \text{ (кг} \cdot \text{м/с)}. \end{aligned}$$

Зробимо перевірку розмірності фізичної величини:

$$\begin{aligned} [p] &= \frac{[W]}{[c]} + \sqrt{[m][W]} \quad \frac{\text{Дж}}{\text{м/с}} + \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Дж}} \quad \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{м}} + \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \\ &= \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{с}^2} + \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} + \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}. \end{aligned}$$

Відповідь: $p = 1,24 \cdot 10^{-19} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

Приклад 20.4 Яка частка енергії фотона припадає при ефекті Комптона на електрон віддачі, якщо розсіювання фотона відбувається на кут $\theta = \frac{\pi}{2}$? Енергія фотона до розсіювання $W_1 = 0,51 \text{ MeV}$.

20 КВАНТОВА ПРИРОДА СВІТЛА.
ФОТОЕФЕКТ ТА ЕФЕКТ КОМПТОНА

Розв'язання

$\omega - ?$
$W_1 = 0,51 \text{ MeV},$
$\theta = \frac{\pi}{2}.$

У відповідності до формули Комптона зміна довжини хвилі фотона, що розсіявся на електроні, дорівнює

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta).$$

де λ - та λ' довжини хвиль фотона, що падає на електрон, та розсіяного.

Виразимо довжини хвиль λ та λ' фотона до і після розсіювання через енергію, врахувавши, що $W = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$, тоді

$$\frac{hc}{W'} - \frac{hc}{W} = \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta). \quad (1)$$

Розділимо обидві частини рівності (1) на hc , тоді одержимо

$$\frac{1}{W'} - \frac{1}{W} = \frac{1}{mc^2}(1 - \cos \theta).$$

Із цього співвідношення знайдемо енергію фотона, що розсіявся:

$$W' = \frac{W}{\frac{W}{mc^2}(1 - \cos \theta) + 1}.$$

У відповідності до закону збереження енергії кінетична енергія електрона віддачі дорівнює

20 КВАНТОВА ПРИРОДА СВІТЛА.
ФОТОЕФЕКТ ТА ЕФЕКТ КОМПТОНА

$$W_k = W - W' = W - \frac{W}{\frac{W}{mc^2}(1 - \cos \theta) + 1}.$$

Тепер можемо знайти частку енергії, яка припадає на електрон віддачі:

$$\omega = 1 - \frac{1}{\frac{W}{mc^2}(1 - \cos \theta) + 1}. \quad (2)$$

Після підставлення у (2) числових значень фізичних величин одержимо

$$\omega = 1 - \frac{1}{\frac{0,51 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2} \left(1 - \cos \frac{\pi}{2}\right) + 1} = 0,499.$$

Відповідь: $\omega = 0,499$.

Приклад 20.5 Визначити імпульс електрона віддачі, якщо фотон з енергією $W_\Phi = 1,53 \text{ MeV}$ у результаті розсіювання на вільному електроні втратив третину своєї енергії.

Розв'язання

<p style="text-align: center;">$p - ?$</p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 10px 0;"/> <p>$W_\Phi = 1,53 \text{ MeV} \quad 1,53 \cdot 10^{-13} \text{ Дж.}$</p>	<p>Для розв'язання задачі спочатку знайдемо енергію розсіяного фотона. Для цього скористаємося формулою Комптона</p>
---	--

20 КВАНТОВА ПРИРОДА СВІТЛА.
ФОТОЕФЕКТ ТА ЕФЕКТ КОМПТОНА

$$\lambda' - \lambda = \frac{2\pi\hbar}{mc}(1 - \cos\theta),$$

де λ, λ' - довжини хвиль фотона, що падає на електрон, та розсіяного.

Виразимо довжини хвиль λ' і λ відповідних фотонів через їх енергії E' і E . У результаті одержимо

$$\frac{hc}{W'} - \frac{hc}{W} = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta). \quad (1)$$

Поділимо обидві частини цієї рівності на $2\pi\hbar c$:

$$\frac{1}{W'} - \frac{1}{W} = \frac{1}{mc^2}(1 - \cos\theta). \quad (2)$$

Врахуємо, що за умовою задачі енергія розсіяного фотона складає $W' = \frac{2W}{3}$, звідси одержимо:

$$\begin{aligned} \frac{3}{2W} - \frac{1}{W} &= \frac{1 - \cos\theta}{mc^2}, \\ \frac{1}{2W} &= \frac{1 - \cos\theta}{mc^2}, \\ 1 - \cos\theta &= \frac{mc^2}{2W}. \end{aligned} \quad (3)$$

Тепер знайдемо із співвідношення (2) енергію розсіяного фотона W'

$$W' = \frac{W}{W(1 - \cos \theta)/mc^2 + 1}. \quad (4)$$

Кінетичну енергію електрона віддачі можна визначити за законом збереження енергії:

$$W_K = W - W' = W - \frac{W}{W(1 - \cos \theta)/mc^2 + 1}.$$

Кінетична енергія пов'язана з імпульсом частинки співвідношенням

$$W_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{(mv)^2}{2m} = \frac{p_e^2}{2m}.$$

Звідси

$$p_e = \sqrt{2mW_K}. \quad (5)$$

Підставивши у вираз (5) значення W_K із співвідношення (4), одержимо

$$p_e = \sqrt{2m \left(W - \frac{W}{W(1 - \cos \theta)/mc^2 + 1} \right)}. \quad (6)$$

Нарешті, підставимо в (6) значення кута розсіювання фотона з виразу (3), та знайдемо

20 КВАНТОВА ПРИРОДА СВІТЛА.
ФОТОЕФЕКТ ТА ЕФЕКТ КОМПТОНА

$$p_e = \sqrt{2m\left(W - \frac{W}{\frac{Wmc^2}{2W/mc^2} + 1}\right)} = \sqrt{2m\left(W - \frac{2W}{3}\right)} = \sqrt{2mW} \frac{1}{3} = \sqrt{\frac{2}{3}} mW.$$

Після підстановки числових величин, одержимо остаточно

$$p_e = \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,53 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 4,71 \cdot 10^{-22} \text{ (кг} \cdot \text{м/с)}.$$

Зробимо перевірку розмірності фізичної величини:

$$[p] = \sqrt{[m][W]} = \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Дж}} = \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: $p_e = 4,71 \cdot 10^{-22} \text{ кг} \cdot \text{м/с}.$

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

20.1 Визначити масу фотона: а) червоного світла ($\lambda = 7 \cdot 10^{-5}$ см), б) рентгенівських променів ($\lambda = 2,5$ нм), в) гамма – променів ($\lambda = 1,24 \cdot 10^{-3}$ нм).

Відповідь: а) $m = 3,2 \cdot 10^{-36}$ кг; б) $m = 8,8 \cdot 10^{-32}$ кг;
в) $m = 1,8 \cdot 10^{-30}$ кг.

20.2 Визначити енергію, масу та імпульс фотона з довжиною хвилі $\lambda = 0,16$ нм.

Відповідь: $W_\phi = 1,15 \cdot 10^{-13}$ Дж; $m = 1,38 \cdot 10^{-30}$ кг;
 $p = 4,1 \cdot 10^{-22}$ кг·м/с.

20.3 Визначити довжину хвилі λ , масу m та імпульс p фотона з енергією $W = 1$ МеВ. Порівняти масу цього фотона з масою електрона, що перебуває у стані спокою.

Відповідь: $\lambda = 1,24$ пм; $m = 1,8 \cdot 10^{-30}$ кг; $p = 5,3 \cdot 10^{-22}$ кг·м/с;
 $m_\phi = 2m_e$.

20.4 Визначити, з якою швидкістю має рухатися електрон, щоб його кінетична енергія дорівнювала енергії фотона, довжина хвилі якого $\lambda = 0,5$ мкм.

Відповідь: $v = 9$ Мм/с.

20.5 Знайти масу фотона, імпульс якого дорівнює імпульсу молекули водню при температурі $t = 20^0$ С. Вважати, що швидкість молекули дорівнює середній квадратичній швидкості.

Відповідь: $m = 2,1 \cdot 10^{-32}$ кг.

20.6 При якій температурі кінетична енергія молекули двохатомного газу дорівнює енергії фотона з довжиною хвилі $\lambda = 0,589$ мкм?

Відповідь: $T = 9800$ К.

20.7 Лазер у безперервному режимі випромінює світло з довжиною хвилі $\lambda = 600 \text{ нм}$ при потужності $N = 40 \text{ мВт}$. Скільки фотонів він випромінює за $t = 1 \text{ с}$?

Відповідь: $n = 1,2 \cdot 10^{17} \text{ с}^{-1}$.

20.8 Імпульс, що переноситься монохроматичним пучком фотонів через площадку $S = 2 \text{ см}^2$ за час $t = 0,5 \text{ хв}$, дорівнює $p_\phi = 3 \cdot 10^{-4} \text{ г} \cdot \text{см/с}$. Визначити для цього пучка енергію, яка падає на одиницю площі за одиницю часу.

Відповідь: $W = 150 \text{ Дж} / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

20.9 Знайти червону межу фотоефекту для літію.

Відповідь: $\lambda_0 = 517 \text{ нм}$.

20.10 Червона межа фотоефекту для деякого металу дорівнює $\lambda_0 = 275 \text{ нм}$. Чому дорівнює мінімальне значення енергії фотона, що викликає фотоефект?

Відповідь: $W_0 = 4,5 \text{ MeV}$.

20.11 Червона межа фотоефекту для цинку $\lambda_0 = 310 \text{ нм}$. Визначити максимальну кінетичну енергію W_{max} фотоелектронів в електрон-вольтах, якщо на цинк падає світло з довжиною хвилі $\lambda = 200 \text{ нм}$.

Відповідь: $W_{\text{max}} = 2,2 \text{ eV}$.

20.12 Червона межа фотоефекту для деякого металу дорівнює $\lambda_0 = 275 \text{ нм}$. Знайти: а) роботу виходу електрона з цього металу; б) максимальну швидкість електронів, що вириваються з цього металу світлом з довжиною хвилі $\lambda = 180 \text{ нм}$; в) максимальну кінетичну енергію цих електронів.

Відповідь: а) $A = 4,5 \text{ eV}$; б) $v_{\text{max}} = 9,1 \cdot 10^5 \text{ м/с}$;

в) $W_{\text{max}} = 3,8 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

20.13 На фотоелемент з катодом із літію падає світло з довжиною хвилі $\lambda = 200 \text{ нм}$. Знайти найменше значення затримувальної різниці потенціалів U_3 фотоелемента.

Відповідь: $U_3 = 3,9 \text{ eV}$.

20.14 Для припинення фотоелемента, який викликаний опромінюванням ультрафіолетовим світлом платинової пластинки, потрібно застосувати затримуючу різницю потенціалів $U_1 = 3,7 \text{ В}$. Якщо платинову пластинку замінити іншою, затримуючу напругу потрібно збільшити до $U_2 = 6 \text{ В}$. Визначити роботу виходу A електронів з поверхні цієї пластинки.

Відповідь: $A = 4 \text{ eV}$.

20.15 На металічну пластину падає пучок ультрафіолетового випромінювання ($\lambda = 0,25 \text{ мкм}$). Фотострум припиняється при мінімальній затримувальній різниці потенціалів $U_3 = 0,96 \text{ В}$. Визначити роботу виходу A електронів із металу.

Відповідь: $A = 3,37 \text{ eV}$.

20.16 Фотони з енергією $W = 5 \text{ eV}$ виривають електрони з металу з роботою виходу $A = 4,7 \text{ eV}$. Визначити максимальний імпульс p , отриманий пластиною. Вважати, що напрями руху фотона і фотоелектрона лежать на одній прямій, перпендикулярній до поверхні пластини.

Відповідь: $p = 2,96 \cdot 10^{-19} \text{ кг м/с}$.

20.17 На поверхню металу падає монохроматичне світло з довжиною хвилі $\lambda = 0,1 \text{ мкм}$. Червона межа фотоелемента $\lambda_0 = 0,3 \text{ мкм}$. Яка частка енергії фотона витрачається на надання електрону кінетичної енергії?

Відповідь: $\omega = 2/3$.

20.18 Визначити, до якого потенціалу зарядиться ізольована срібна кулька при опроміненні її ультрафіолетовим світлом з довжиною хвилі $\lambda = 208 \text{ нм}$. Робота виходу електронів із срібла $A = 4,7 \text{ eV}$.

Відповідь: $\varphi = 1,27 \text{ В}$.

20.19 Рентгенівське випромінювання довжиною хвилі $\lambda = 55,8 \text{ нм}$ розсіюється плиткою графіту (комптон-ефект). Визначити довжину хвилі λ_1 світла, розсіяного під кутом $\theta = 60^\circ$ до напрямку падаючого пучка світла.

Відповідь: $\lambda_1 = 57 \text{ нм}$

20.20 Визначити кут θ розсіювання фотона, що зіткнувся з вільним електроном, якщо зміна довжини хвилі при розсіюванні дорівнює $\Delta\lambda = 3,62 \text{ нм}$.

Відповідь: $\theta = 120^\circ$ або $\theta = 240^\circ$.

20.21 Визначити максимальну зміну довжини хвилі $\Delta\lambda_{\text{max}}$ при комптонівському розсіюванні світла на вільних електронах і вільних протонах.

Відповідь: $\Delta\lambda_e = 4,84 \text{ нм}$; $\Delta\lambda_p = 2,64 \text{ фм}$.

20.22 У результаті ефекту Комптона фотон з енергією $W_1 = 1,02 \text{ MeV}$ був розсіяний на вільних електронах на кут $\theta = 150^\circ$. Визначити енергію W_2 розсіяного фотона.

Відповідь: $W_2 = 0,22 \text{ MeV}$.

5.23 Яка частина енергії фотона при ефекті Комптона припадає на електрон віддачі, якщо кут розсіяння $\theta = 180^\circ$? Енергія фотона до розсіювання дорівнює $W = 0,255 \text{ MeV}$.

Відповідь: $\omega = 0,5$.

20.24 Фотон з енергією $W_1 = 0,51 \text{ MeV}$ при розсіюванні на вільному електроні втратив половину своєї енергії. Визначити кут розсіювання θ .

Відповідь: $\theta = 90^\circ$.

20 КВАНТОВА ПРИРОДА СВІТЛА.
ФОТОЕФЕКТ ТА ЕФЕКТ КОМПТОНА

20.25 Визначити імпульс p електрона віддачі при ефекті Комптона, якщо фотон з енергією, яка дорівнює енергії спокою електрона, був розсіяний на кут $\theta = 180^\circ$.

Відповідь: $p = 3,6 \cdot 10^{-22}$ кг·м/с.