

La massa e la quantità di moto del fotone

I fotoni viaggiano alla velocità della luce quindi tutti gli osservatori li vedono viaggiare alla stessa velocità.
I fotoni devono avere una massa nulla infatti soltanto gli oggetti la cui massa è nulla possono propagarsi alla velocità della luce.

$$E = \gamma mc^2 = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \longrightarrow E \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} = mc^2$$

$v = c,$

Massa di un fotone
 $m = 0$

Relazione fra quantità di moto p ed energia E
 $E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4$
 $E^2 = c^2 p^2$

$p = \frac{E}{c}$

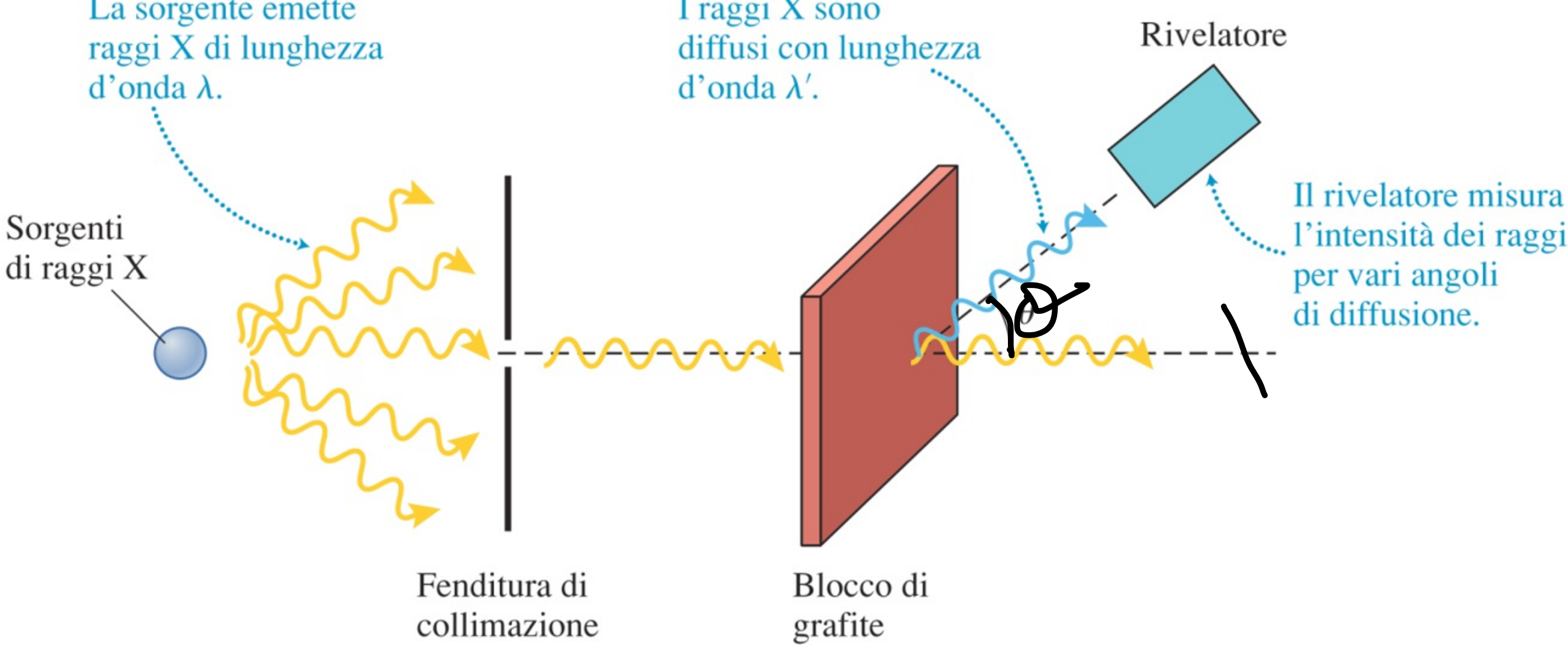
Quantità di moto di un fotone
 $p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$

$E = hf$ energia di un fotone

la quantità di moto di un fotone aumenta con la frequenza e quindi con la sua energia

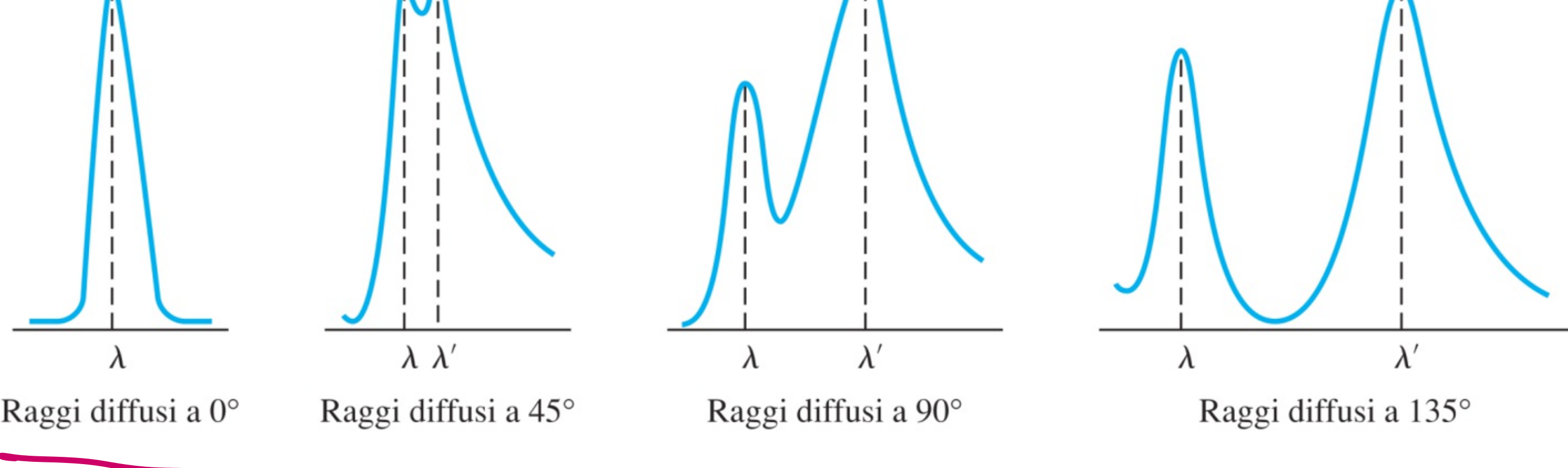
L'effetto Compton 1923

Se un fotone di lunghezza d'onda λ colpisce un elettrone in quiete, e viene diffuso a un angolo θ rispetto alla direzione di incidenza, la sua lunghezza d'onda aumenta
Apparato sperimentale



Risultati sperimentali

$E = h \cdot f$



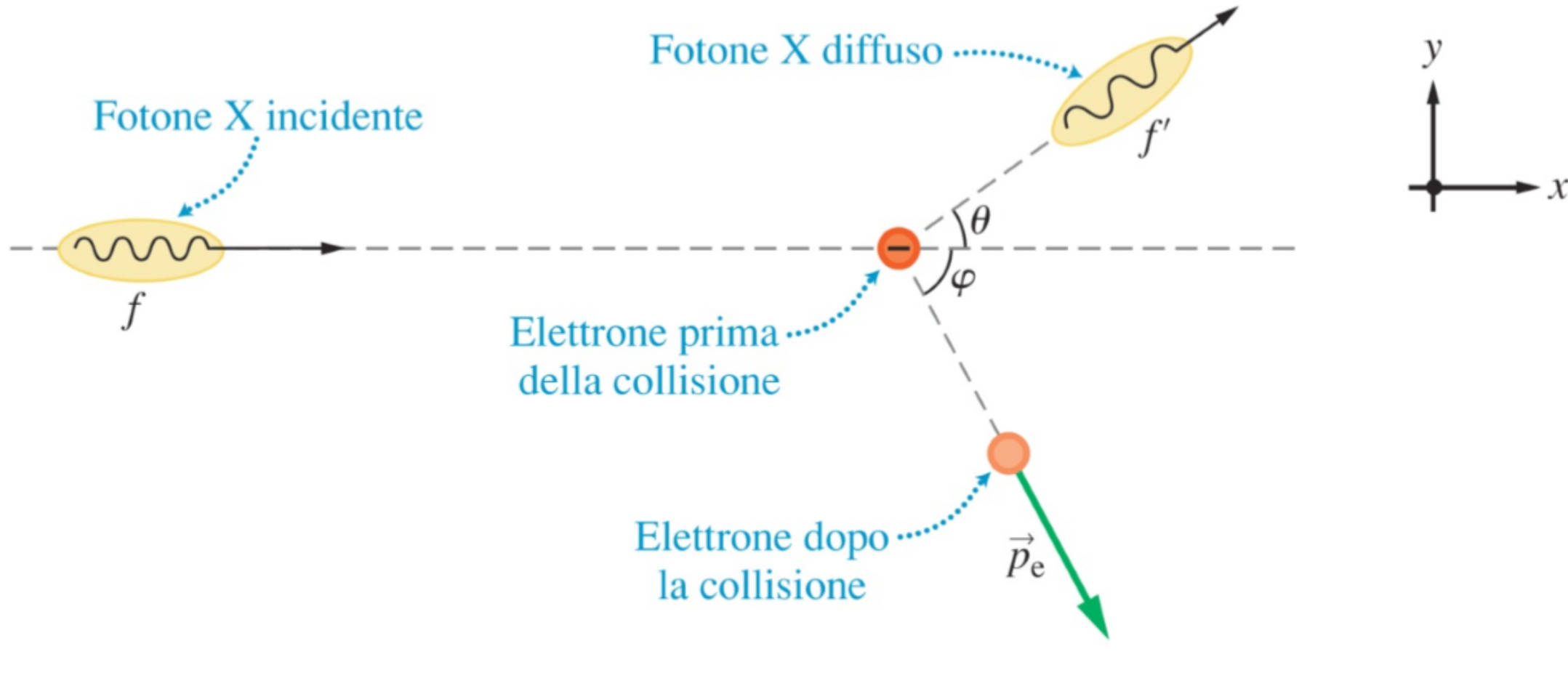
la radiazione incidente è di una sola lunghezza d'onda λ ma i raggi diffusi presentano due picchi d'intensità: uno con la stessa λ e l'altro con lunghezza λ' maggiore.
la variazione di lunghezza d'onda varia al variare dell'angolo con cui vengono osservati i raggi X diffusi

Previsioni della fisica classica

La radiazione X dovrebbe mettere in oscillazione gli elettroni del bersaglio con la stessa frequenza e gli elettroni oscillando si dovrebbero comportare come un'antenna ed emettere onde elettromagnetiche con la stessa frequenza.

Classicamente non è possibile spiegare la variazione di λ della radiazione X

La spiegazione di Compton



interazione tra fotone incidente ed elettrone libero di muoversi come un urto in cui si ha

conservazione dell'energia

conservazione della quantità di moto

Conservazione dell'energia

$hf = hf' + K$

Formula dello spostamento Compton

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$

Conservazione della quantità di moto

asse x $\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda'} \cos \theta + p_e \cos \varphi$

asse y $0 = \frac{h}{\lambda'} \sin \theta - p_e \sin \varphi$

Formula dello spostamento Compton

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$

Lunghezza d'onda Compton di un elettrone

$\frac{h}{m_e c} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

Se l'angolo di diffusione è uguale a zero la variazione di λ è nulla
Se l'angolo di diffusione è 180° la variazione è pari al doppio della lunghezza d'onda Compton

$\theta = 180^\circ \rightarrow \cos \theta = -1$
 $\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - (-1)) = 2 \frac{h}{m_e c}$

Formula dello spostamento Compton

$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos \theta)$

$\frac{h}{m_e c} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}$

$\lambda = 0,240 \text{ nm}$

$\theta = 105^\circ$

$p_i = ? \quad p_f = ?$

$p = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$

a) $p_i = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ JS}}{0,240 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 2,76 \cdot 10^{-24} \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

b) $\Delta\lambda = \lambda \quad \lambda' = \Delta\lambda + \lambda = \frac{h}{m_e c} (1 - \cos 105^\circ) + 0,240 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

$= \frac{1}{2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}} (1 - \cos 105^\circ) + 0,240 \cdot 10^{-9} \text{ m}$

$= 2,43 \cdot 10^{-10} \text{ m}$

$p_f = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \text{ JS}}{2,43 \cdot 10^{-10} \text{ m}} = 2,73 \cdot 10^{-24} \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}}$