

## ■ La diffusione Compton

Agli inizi degli anni Venti, il fisico statunitense Arthur Holly Compton (1892-1962) eseguì diversi esperimenti che confermavano l'esattezza della teoria dei fotoni, mostrando i meccanismi di diffusione dei raggi X da parte di elettroni liberi. Nella fisica microscopica, la parola *diffusione*, o *scattering* in inglese, indica l'analogo dell'urto tra particelle che avviene normalmente in meccanica. Spesso gli "urti" che si studiano tra particelle microscopiche coinvolgono anche la radiazione elettromagnetica.

La singolarità degli esperimenti di Compton consistette nel dimostrare che la luce, benché priva di massa, poteva essere considerata una vera e propria *particella*, il **fotone**, cui si potevano attribuire una **quantità di moto** e un'**energia**, entrambe **quantizzate**.

Secondo la teoria della relatività, inoltre, è possibile attribuire a un'onda elettromagnetica una quantità di moto  $\vec{q}$ , il cui modulo è legato all'energia  $E$  tramite la semplice relazione  $q = E/c$ . Ricordiamo, infatti, che la formula più generale dell'energia di una particella nella teoria della relatività è:

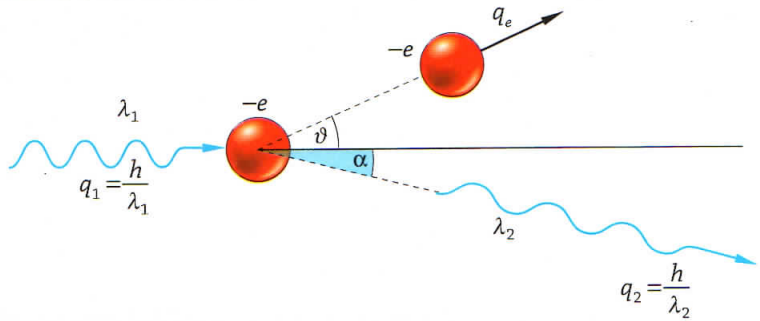
$$E^2 = q^2 c^2 + (mc^2)^2$$

Nel caso di particelle di massa a riposo nulla, come il fotone, dall'equazione precedente si ottiene:

$$E^2 = q^2 c^2$$

da cui ricaviamo  $E = qc$  e quindi  $q = E/c$ .

Consideriamo ora un fotone ad alta energia (raggio X), di lunghezza d'onda  $\lambda_1$ , che interagisce con un elettrone libero. L'evidenza sperimentale mostra che dopo l'urto l'elettrone possiede una quantità di moto  $q_e$ , mentre un altro fotone di lunghezza d'onda  $\lambda_2$  maggiore di  $\lambda_1$  viene diffuso sotto un angolo  $\alpha$  rispetto alla direzione iniziale del fotone incidente.



Un fotone di lunghezza d'onda  $\lambda_1$  incide su un elettrone inizialmente fermo. Dopo l'urto, l'elettrone si muove con un angolo  $\vartheta$  rispetto alla direzione del fotone incidente, mentre un secondo fotone è diffuso con lunghezza d'onda  $\lambda_2 > \lambda_1$ , con un angolo  $\alpha$  rispetto alla direzione del fotone incidente.

La lunghezza d'onda del fotone diffuso risulta maggiore di quella del fotone incidente, il che è inspiegabile sulla base della teoria elettromagnetica classica. Secondo la teoria quantistica, invece, poiché parte dell'energia del fotone incidente è ceduta all'elettrone, sotto forma di energia cinetica, l'energia del fotone incidente deve diminuire e quindi, in base alla legge  $E = hf$ , deve diminuire anche la sua frequenza e, per contro, aumentare la sua lunghezza d'onda.

L'ipotesi quantistica permette inoltre di definire la **quantità di moto del fotone**, usando la forma dell'energia quantizzata e la relazione relativistica  $q = E/c$ :

$$E = hf = h \frac{c}{\lambda} \quad \Rightarrow \quad q = \frac{h}{\lambda}$$

### Quantità di moto del fotone

- La **quantità di moto di un fotone** è legata alla lunghezza d'onda dalla relazione:

$$q = \frac{h}{\lambda}$$

quantità di moto ( $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) ← costante di Planck ( $\text{J} \cdot \text{s}$ )  
 → lunghezza d'onda (m)

Considerando il processo di diffusione come l'effetto di un urto relativistico (poiché una delle due particelle interagenti è un fotone, che viaggia appunto alla velocità della luce), Compton riuscì a determinare la relazione che intercorre fra la variazione della lunghezza d'onda dei fotoni e l'**angolo  $\alpha$  di scattering**:

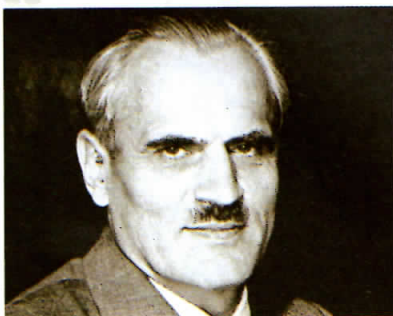
### Angolo di scattering

- Se  $\alpha$  è l'angolo di scattering di un fotone diffuso da un elettrone inizialmente fermo, allora la **variazione della lunghezza d'onda** fra il fotone incidente e quello diffuso è uguale a:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = \frac{h}{mc}(1 - \cos \alpha)$$

### Variazione della lunghezza d'onda nell'effetto Compton

## 🧑 Protagonisti della fisica



### Arthur Holly Compton

Nato a Wooster (Ohio) nel 1892 e morto a Berkeley nel 1962, dal 1920 insegnò fisica prima a St. Louis e poi a Chicago. Nel 1923 pubblicò le sue ricerche sulla diffusione della radiazione da elettroni liberi, fenomeno che interpretò mediante le ipotesi quantistiche e che da lui prese il nome di effetto Compton. Per questa scoperta fu insignito del premio Nobel nel 1927.

Compton condusse anche altri importanti studi, come quello sui raggi cosmici e quello sulle lampade a vapore, delle quali fu l'inventore.

Nel 1941 fu nominato presidente della commissione dell'Accademia Nazionale delle Scienze per valutare l'uso dell'energia atomica in guerra.

## Dualismo onda-corpuscolo

- Il *dualismo onda-corpuscolo* esprime il concetto secondo il quale una radiazione elettromagnetica si può propagare come un'onda, mostrando le tipiche figure d'interferenza e di diffrazione, quando le dimensioni degli ostacoli sono confrontabili con la lunghezza dell'onda, ma può scambiare con altri corpi dotati di massa la propria energia e la quantità di moto come un'effettiva particella, benché priva di massa.

Come vedremo in seguito, altri esperimenti misero in luce la situazione complementare: per esempio particelle dotate di massa come gli elettroni che, sotto determinate condizioni, si propagano nello spazio presentando fenomeni di diffrazione. Il dualismo onda-corpuscolo è quindi applicabile in entrambi i casi: alla radiazione elettromagnetica che scambia energia quantizzata con la materia, comportandosi come una particella priva di massa (il fotone), e alle particelle con massa che si propagano manifestando effetti tipicamente ondulatori come l'interferenza o la diffrazione (le onde elettroniche).

Dopo un lunghissimo tempo in cui l'ipotesi ondulatoria della luce aveva preso il sopravvento ed era stata consolidata attraverso la teoria dell'elettromagnetismo di Maxwell, la natura corpuscolare della luce di Newton riprendeva vigore, sostenuta sia dalle scoperte sperimentali sia dalle idee innovative e rivoluzionarie di Einstein.