



Scuola della fisica 2019

La luce, una storia infinita

Ferrara, 25 febbraio – 1 marzo 2019



Gruppo di lavoro numero 3

Coordinatore: Andrea Durlò

**Spettro di corpo nero, effetto
fotoelettrico e effetto Compton: i tre
pilastri del nuovo modello corpuscolare
della luce**

Con il contributo prezioso dei professori ...

- **Pietro Cerreta**
- **Andrea Frova**
- **Giuseppe Giuliani**

In rigoroso ordine alfabetico...

Breve cronologia

- 1859 – Studi di Gustav Kirchhoff (1824-1887) sulla termodinamica e le radiazioni termiche dei corpi
- 1862 – Gustav Kirchhoff introduce il termine “corpo nero”
- 1879 – Josef Stefan (1835-1893) determina su base sperimentale la dipendenza dell’energia emessa da un corpo dalla temperatura
- 1884 – Ludwig Boltzmann (1844-1906) elabora la dimostrazione teorica del lavoro di Stefan
- 1895 – Wilhelm Roentgen (1845-1923) scopre la radiazione X
- 1897 – Wilhelm Wien (1864-1928) quantifica, su basi empiriche, una nuova relazione che sintetizza le caratteristiche delle curve di distribuzione spettrale della intensità della radiazione di corpo nero
- 1900 – John William Strutt, terzo barone Rayleigh (1842-1919) deriva la dipendenza della cosiddetta “legge di Rayleigh-Jeans” della intensità di radiazione dal reciproco della quarta potenza della temperatura
- **1900 – Max Planck (1858-1947) pone l’ipotesi secondo la quale gli scambi di energia tra sistemi avvengano solamente per pacchetti discreti di energia (quanti).**
- 1900 – Philipp von Lenard (1862-1947) dimostra sperimentalmente che, quando la luce incide su un metallo, l’aumento della sua intensità non comporta un aumento della energia cinetica degli elettroni emessi.
- 1905 – Albert Einstein (1879-1955) il 17 marzo pubblica l’articolo nel quale spiega l’effetto fotoelettrico alla luce della nuova teoria dei quanti
- 1924 – Arthur Holly Compton (1892-1962) compie la prima verifica sperimentale dell’esistenza del quanto di luce
- 1926 – Gilbert Lewis (1875-1946) conia il termine fotone per definire il quanto di luce di Einstein

La storiografia classica

- George Gamow

- *“Le origini della teoria rivoluzionaria di Max Planck, secondo cui la luce poteva essere emessa e assorbita soltanto sotto forma di certi pacchetti discreti di energia, [...] l’energia raggiante poteva esistere soltanto sotto forma di pacchetti discreti [...]”*

- John Charlton Polkinghorne

- *“Planck confidò a suo figlio di aver fatto una scoperta che si sarebbe dimostrata paragonabile, per importanza, a quelle di Newton [...] ebbe la temerarietà di supporre che emissione e assorbimento di energia raggiante avvenissero solo nella forma di pacchetti discreti di energia detti quanti [...]”*

- La storia “standard” dei manuali di testo

Max Planck: the reluctant revolutionary

(di Helge Kragh)

- 1882: Planck si schiera contro l'ipotesi di atomi e molecole di Boltzmann, crede totalmente nel Secondo Principio della Termodinamica e lo trova inconciliabile con le idee dell'austriaco.
- 1896: Planck si colloca contro la legge di Wien, in quanto egli la ritiene certamente valida, **ma non** supportata da una rigorosa dimostrazione.
- 1899: Planck trova una espressione per l'entropia dell'oscillatore (che non viene tuttavia identificato quale atomo o molecola) da cui segue la legge di Wien-Planck che, però, non si accorda in toto con i dati sperimentali.

Max Planck: the reluctant revolutionary

(di Helge Kragh)

- 1900 (ottobre): Planck deriva la prima versione della distribuzione che è in accordo con le misure a alte e basse frequenze, senza quantizzare l'energia né dar credito alla interpretazione probabilistica della entropia secondo il modello di Boltzmann.

$$u(\nu, T) = \alpha \nu^3 [\exp(\beta \nu / T) - 1]^{-1}$$

Max Planck: the reluctant revolutionary

(di Helge Kragh)

- 1900 (dicembre): Planck compie “l’atto di disperazione”, si rivolge alla formulazione della entropia secondo Boltzmann senza, tuttavia, ‘*convertirsi in pieno*’ al pensiero dell’austriaco. La legge dell’entropia resta per lui assoluta: Boltzmann ne fa una rilettura in termini non probabilistici.



Planck accoglie l’idea di energia come fatta di un numero finito di parti uguali

Max Planck: the reluctant revolutionary

(di Helge Kragh)

- 1900 (dicembre): l'energia “è costituita di un numero totalmente determinato di parti uguali e finite, [...] faccio uso della costante di natura $h = 6.55 \times 10^{27}$ erg sec” (sic!).
- Secondo Kragh, aver “scoperto” h è il risultato di cui Planck andava più fiero.
- 1931: l'introduzione dei quanti nel 1900 fu “**una assunzione puramente formale e non ci badai troppo, costasse quel che costasse, doveva portare al risultato positivo**”.

L'ipotesi di Kuhn: Planck o Einstein?

- Nel 1900 c'è stata una rivoluzione? Se sì, nessuno sembrava essersene accorto! Neppure Planck!
- Negli articoli del 1900 e 1901 **Planck non scrive mai chiaramente la relazione $E = nhf$**
- Nel 1906 Planck parla di una Teoria del continuo senza menzionare una energia discreta per gli oscillatori
- Planck "*vide davvero la luce*" nel 1900? Secondo Kuhn no!

Chi potrebbe essere, allora, il padre del concetto vero e proprio di quantizzazione?

The winner is?

- Lorentz e Boltzmann potrebbero essere dei notevoli candidati alla introduzione del quanto: Planck fa un “artificio”. Se lo prendessimo alla lettera, allora la quantizzazione sarebbe opera di Boltzmann.
- **E' Einstein, nell'articolo del 1905, che si rivela come colui il quale interpreta correttamente l'ipotesi dei quanti.**
- Einstein vede più in profondità di Planck e solo lui riconosce che la “discontinuità quantica” è una parte essenziale della teoria di Planck.

Einstein e l'effetto fotoelettrico

Einstein ricava nel 1905 la formula dell'effetto fotoelettrico, ammettendo che **non è possibile dare spiegazione del fenomeno attraverso uno studio ondulatorio, come “è stato fatto vedere nel pionieristico scritto di Lenard”**: l'interazione radiazione/materia è del tipo *corpuscolo contro corpuscolo*.

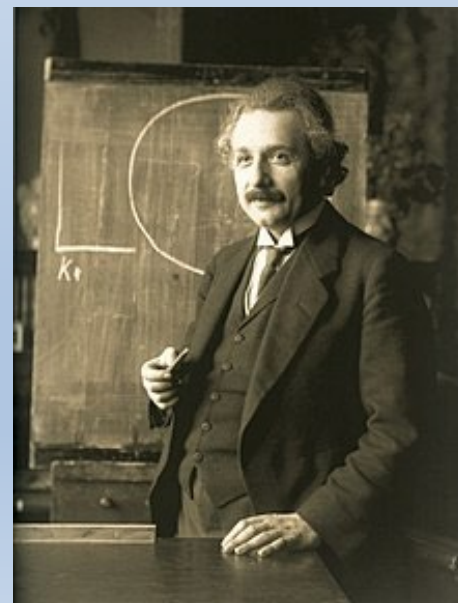
If the body is charged to a positive potential Π and is surrounded by conductors at zero potential, and if Π is just large enough to prevent loss of electricity by the body, it follows that:

$$\Pi e = R\beta\nu / N - P$$

where e denotes the electronic charge, or

$$\Pi E = R\beta\nu - P'$$

where E is the charge of a gram equivalent of a monovalent ion and P' is the potential of this quantity of negative electricity relative to the body.⁸



L'effetto Compton: la prova

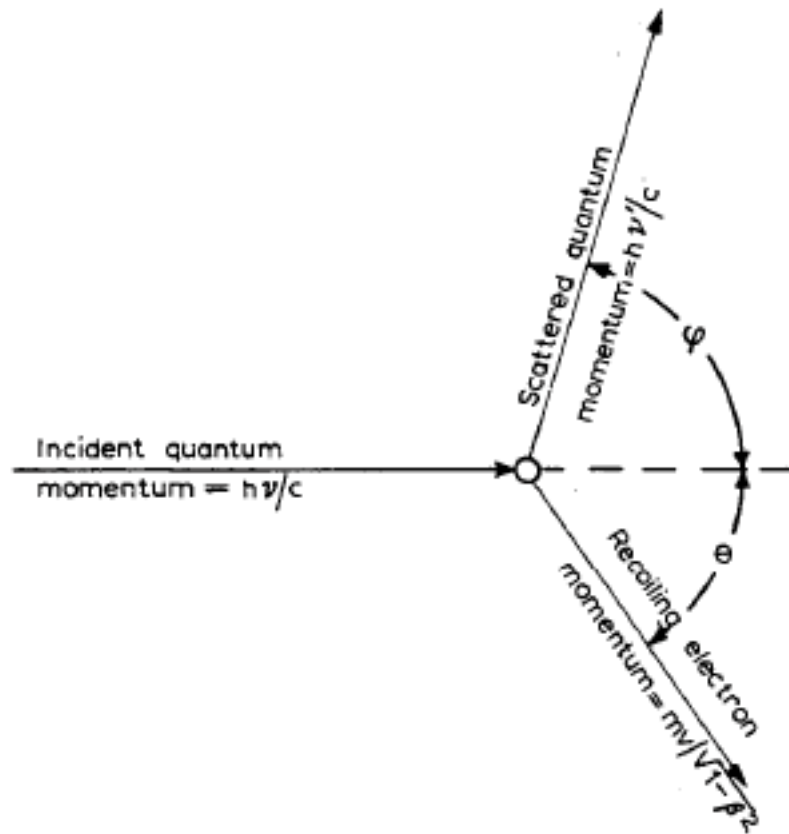
Dalla “Nobel Lecture” di Arthur Holly Compton, del 12 dicembre 1927, leggiamo:

- “[...] una teoria simile dello scattering dei raggi X è stata sviluppata da Thomson, Debye e altri. Due importanti conseguenze di queste teorie sono (i) **che la radiazione ‘scatterata’ dovrà avere la stessa lunghezza d’onda dei raggi primari [...]**”
- **“Una serie di esperimenti condotti negli ultimi anni ha mostrato che i raggi X secondari hanno lunghezze d’onda più grandi di quelle dei raggi primari che li producono”.**

L'effetto Compton: la prova

- “Qui non consideriamo i raggi X come onde ma come corpuscoli di luce, quanti, o – come potremmo chiamarli – **fotoni**. Ancora, non c'è nulla qui che richiami quelle oscillazioni forzate richiamate dalla visione classica, ma una qualche collisione elastica, nella quale si conservano energia e momento angolare”.
- Curioso... nella bibliografia alla relazione per il Nobel, Compton non cita né i lavori di Einstein né quelli di Stark, ad alcun titolo.

L'effetto Compton: le relazioni



$$\delta\lambda = \frac{h}{mc} (1 - \cos \varphi)$$

Gilbert Lewis battezza il fotone!!!

“Pertanto, io mi prendo la libertà di proporre per questo ipotetico nuovo atomo, che non è luce ma gioca un ruolo essenziale in ogni processo radiativo, il nome fotone”.

G. Lewis “La conservazione dei fotoni”, Nature 1926

La nostra proposta didattica

Nell'ottica dell'Esame di Stato, proponiamo delle prove che tentano di mettere assieme la Storia della Fisica alla Matematica...

- 1. Tema sul [Corpo Nero](#)
- 2. Tema sull'[Effetto Fotoelettrico](#)
- 3. Tema sull'[Effetto Compton](#)

Bibliografia

- G. Gamow *"Trent'anni che sconvolsero la fisica"* Zanichelli, 1963
- John C. Polkinghorne *"Il mondo dei quanti – La storia di una sfida alle certezze della meccanica"* Garzanti – Strumenti di Studio, 1986
- Klaus Hentschel *"Light quanta: the maturing of a concept by the stepwise accretion of meaning"* Physics and Philosophy 2006 (versione tradotta in italiano per la scuola di Ferrara 2019)
- Helge Kragh *"Max Planck: the reluctant revolutionary"* <https://physicsworld.com/a/max-planck-the-reluctant-revolutionary/>
- A.H. Compton *"Nobel lecture"* <https://www.nobelprize.org/uploads/2018/06/compton-lecture.pdf>
- Helge Kragh *"Photon: new light on an old name"* <https://arxiv.org/abs/1401.0293>
- M.E. Bergamaschini, P. Marazzini, L. Mazzoni *"L'indagine del mondo fisico"* Volume F Carlo Signorelli Editore 2001
- James S. Walker *"Fisica – Modelli teorici e problem solving"* Volume 3 Pearson – Linx 2016

Grazie per l'attenzione!!!



Ciao Edoardo! Torna presto!!!