



UNIVERSITÀ DI PISA

DIPARTIMENTO DI FISICA

Corso di Laurea Triennale in Fisica

**L'esperimento di Franck e Hertz nella
nascita della meccanica quantistica:**

Misure e interpretazione

Relatrice:

Chiara Maria Angela Roda

Candidato:

Ludovica Borile

ANNO ACCADEMICO 2024/2025

Long Abstract

L'esperimento condotto nel 1914 dai fisici James Franck e Guastav Ludwing Hertz [1,2] rappresenta una delle prove fondamentali del modello quantistico dell'atomo e costituisce una prima osservazione degli effetti dell'esistenza di livelli energetici discreti. Esso prevede l'utilizzo di un tubo a vuoto contenente vapore di mercurio, posto all'interno di un forno a temperatura regolabile. All'interno del tubo si trovano un catodo, una griglia e un anodo raccoglitore disposti in una configurazione a triodo; il catodo è a contatto con un filamento riscaldato che emette elettroni per effetto termoionico. Gli elettroni sono accelerati verso la griglia per effetto di un campo elettrico generato tramite una rampa di tensione; un potenziale ritardante, applicato tra griglia e anodo, fa sì che solo gli elettroni più energetici raggiungano l'anodo e che vengano inclusi nella corrente di collettore.

Franck e Hertz studiano l'andamento di tale corrente in funzione della tensione acceleratrice, il quale non risulta essere monotono crescente: al contrario, presenta dei massimi e dei minimi locali, osservazione che non trova spiegazione nel modello classico dell'atomo. I minimi della curva tensione-corrente sono infatti da attribuire alle collisioni anelastiche degli elettroni contro gli atomi di mercurio e alla conseguente eccitazione di questi ultimi. Gli elettroni che acquistano un'energia superiore a quella di minima eccitazione del mercurio urtano in maniera anelastica con gli atomi, i quali transitano dallo stato fondamentale ad uno stato eccitato; in seguito alla collisione, gli elettroni non hanno energia sufficiente a raggiungere l'anodo, cosa che determina la diminuzione della corrente. Gli atomi di mercurio eccitati tornano allo stato fondamentale per emissione spontanea di un fotone e possono quindi subire una seconda collisione. L'ordine del minimo corrisponde pertanto al numero di collisioni anelastiche in cui incorrono gli elettroni.

Si è riprodotto l'esperimento di Franck e Hertz non solo con il mercurio ma anche con il neon. Dall'acquisizione delle curve tensione-corrente è stata misurata la distanza tra massimi consecutivi e si è riscontrata una dipendenza lineare dall'ordine del massimo, coerente con quanto previsto dal modello a collisioni anelastiche. Ciò è dovuto all'energia ulteriore acquisita dagli elettroni nel compiere una distanza pari al loro cammino libero medio, una volta raggiunta l'energia di minima eccitazione e prima di subire la collisione, la quale consente la transizione da parte del mercurio ad uno stato eccitato di energia maggiore. Tramite questa relazione, si è stimata l'energia di minima eccitazione di mercurio e neon: i valori ottenuti sono compatibili con quanto atteso [3].

Nel caso del mercurio, ripetendo tale misura a temperature differenti, si è osservato che l'aumento della spaziatura è maggiore a temperature minori: infatti, al diminuire della temperatura, e dunque della densità del mercurio, aumenta il cammino libero medio degli elettroni [4,5]. Dalla dipendenza di quest'ultimo dalla temperatura è stato possibile stimare la sezione d'urto delle collisioni anelastiche, valore che tuttavia dipende da quale transizione è dominante, nonché dalle dimensioni del tubo a vuoto e dalla pressione del mercurio [6].

Bibliografia

- 1 J. Franck and G. Hertz, “Über Zusammenstöße zwischen Elektronen und Molekülen des Quecksilberdampfes und die Ionisierungsspannung des selben,” Verh. Dtsch. Phys. Ges. 16, 457–467 1914.
- 2 Nobel Lectures, Physics, 1922–1941 Elsevier, Amsterdam, 1965, pp. 98–129
- 3 G. Rapior, K. Sengstock, and V. Baev, American Journal of Physics 74, 423 (2006)
- 4 O.H. Haken and H. C. Wolf, The Physics of Atoms and Quanta, 6th ed. Springer, Heidelberg, 2000, p. 305
- 5 A. N. Nesmeyanov, Vapor Pressure of the Chemical Elements, edited by R. Gary Elsevier, Amsterdam, 1963.
- 6 G. F. Hanne, “What really happens in the Franck-Hertz experiment with mercury,” Am. J. Phys. 56, 696–700 1988.