

**BASES EXPERIMENTAIS DA MECÂNICA QUÂNTICA**  
**EFEITO FOTOELÉTRICO**

---

---

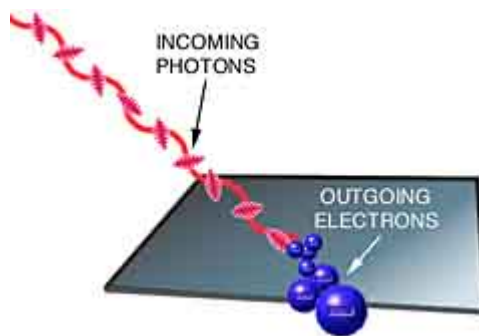
**INTRODUÇÃO**

---

Heinrich Hertz, em 1887, investigava a natureza eletromagnética da luz. Estudando a produção de descargas elétricas entre duas superfícies de metal em potenciais diferentes, ele observou que uma faísca proveniente de uma superfície gerava uma faísca secundária na outra. Como esta era difícil de ser visualizada, Hertz construiu uma proteção sobre o sistema para evitar a dispersão da luz. No entanto, isto causou uma diminuição da faísca secundária.

Na seqüência dos seus experimentos ele constatou que o fenômeno não era de natureza eletrostática, pois não havia diferença se a proteção era feita de material condutor ou isolante. Após uma série de experiências, Hertz, confirmou o seu palpite de que a luz poderia gerar faíscas. Também chegou à conclusão que o fenômeno deveria ser devido apenas à luz ultravioleta.

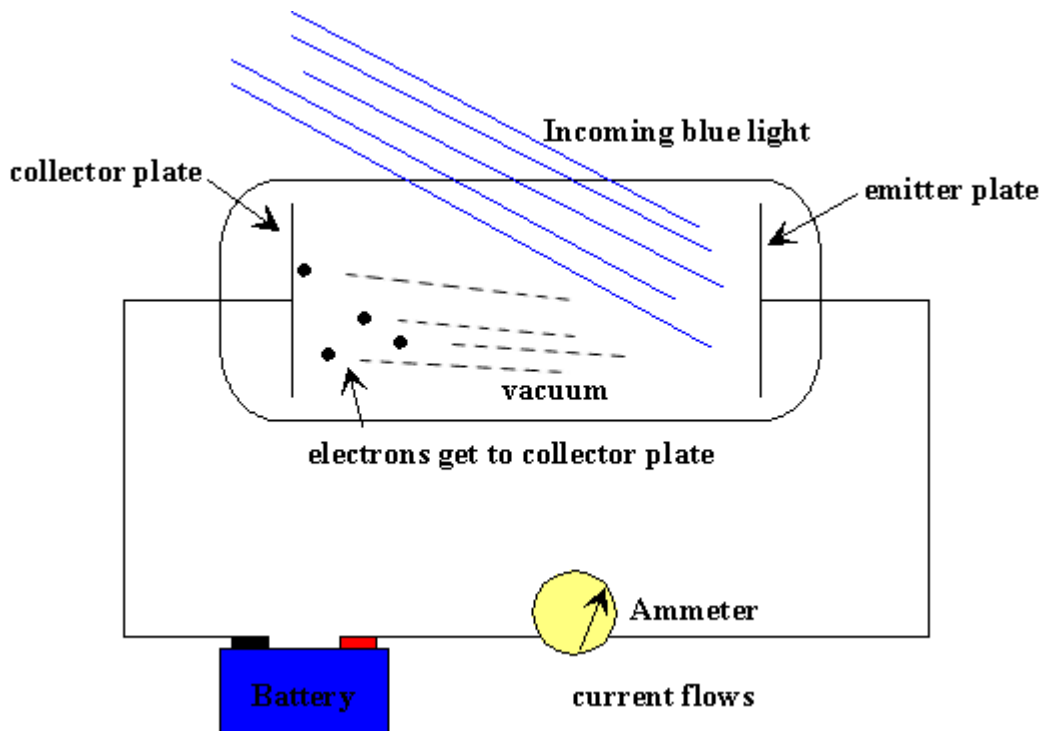
Em 1888, estimulado pelo trabalho de Hertz, Wilhelm Hallwachs mostrou que corpos metálicos irradiados com luz ultravioleta adquiriam carga positiva (veja ilustração). Isto ocorreu antes da descoberta do elétron, que se deu em 1897. Para explicar o fenômeno, Lenard e Wolf publicaram um artigo na *Annalen der Physik*, sugerindo que a luz ultravioleta faria com que partículas do metal deixassem a superfície do mesmo.



Dois anos após a descoberta de Hertz, Thomson postulou que o efeito fotoelétrico consistia da emissão de elétrons. Para prová-lo, demonstrou, experimentalmente, que o valor de  $e/m$  das partículas emitidas no efeito fotoelétrico era o mesmo que para os elétrons associados aos raios catódicos. Também concluiu que esta carga é da mesma ordem que a carga adquirida pelo átomo de hidrogênio na eletrólise de soluções. O valor de  $e$  encontrado por ele encontra-se muito perto do aceito atualmente ( $1,60 \times 10^{-19}$  C).

Em 1903, Lenard estudou o efeito fotoelétrico utilizando, como fonte luminosa, um arco de carbono. Variando a intensidade da luz por um fator 1000, provou que a energia dos elétrons emitidos não apresentava a menor dependência da inten-

sidade da luz. Em 1904, Schweidler mostrou que a energia do elétron era proporcional à frequência da luz (veja ilustração).



A partir dos resultados discutidos anteriormente, principalmente daqueles obtidos por Lenard, Einstein desenvolveu, em 1905, uma teoria muito simples e revolucionária para explicar o efeito fotoelétrico. De acordo com sua teoria, um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron, independentemente da existência de outros quanta de luz. Tendo em conta que um elétron ejetado do interior do corpo perde energia até atingir a superfície, Einstein propôs a seguinte equação, que relaciona a energia do elétron ejetado ( $E$ ) na superfície, à frequência da luz incidente ( $\nu$ ) e à função trabalho do metal ( $\phi$ ), que é a energia necessária para escapar do material. Isto é,

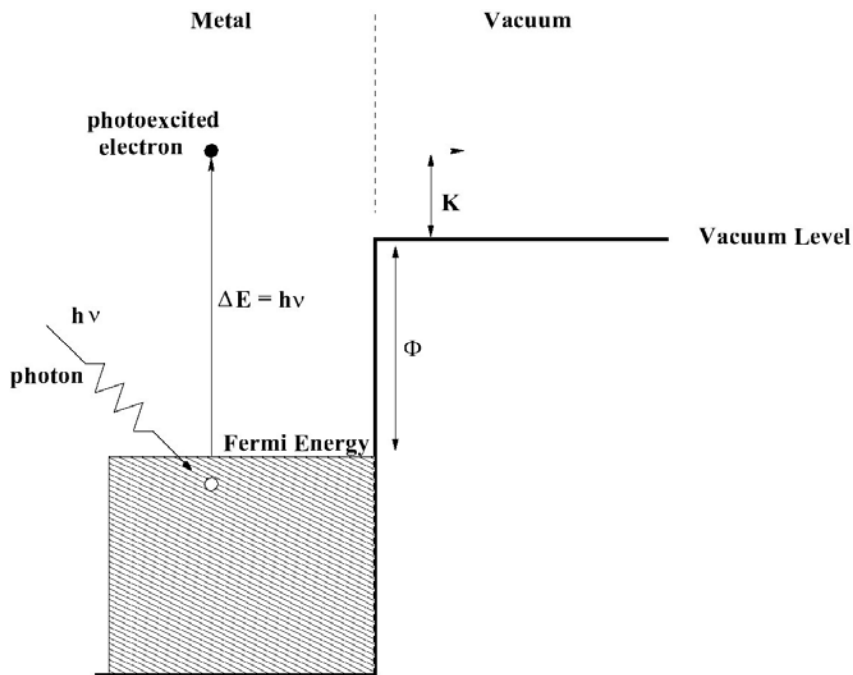
$$E = h\nu - \phi$$

A explicação de Einstein para esse efeito requer que se assuma de que a radiação eletromagnética é formada de partículas, chamadas de fótons.

A Figura que se segue apresenta o processo, esquematizado, para ilustrar os conceitos envolvidos nesse fenômeno.

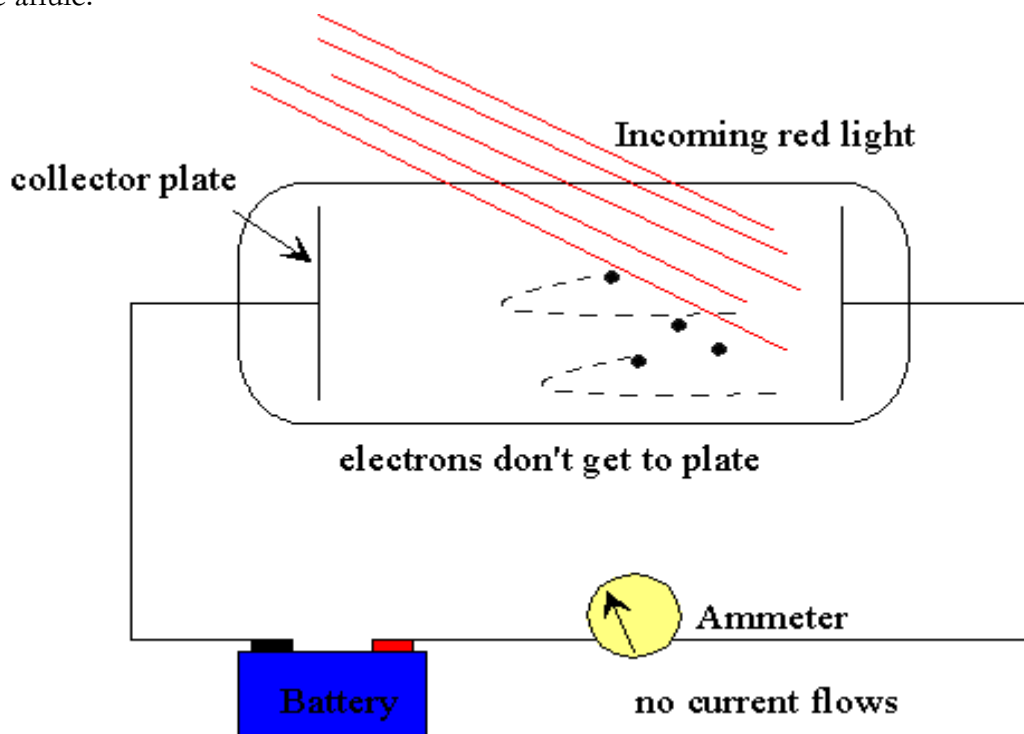
Este diagrama modela a compreensão moderna sobre o estado do elétron em metais. Sabemos que os elétrons, presentes nos metais, se encontram em muitos estados de energia. Esses elétrons são fracamente ligados e estão desligados dos átomos individuais dos metais e são conhecidos como “elétrons livres” ou “elétrons de condução”. Eles podem se movimentar livremente através do metal e assumir uma variedade contínua de energias, formando uma banda de energia de alguns elétron-volts, indicada pela região escura da figura. Sob a temperatura absoluta nula, os principais elétrons de condução se estabelecem na energia de Fermi. Na energia de Fermi, um elétron está ligado ao metal por um potencial energético conhecido como função trabalho. O nível de vácuo é dado tal como na figura anterior, a partir do

estabelecimento de um nível de energia nulo, conveniente para a discussão do efeito fotoelétrico.



Representação do processo de absorção de energia pelos elétrons que são ejetados da interface entre a superfície do metal e a região de vácuo

A determinação da energia cinética máxima dos elétrons é simples, basta aumentar o potencial (negativo) da placa coletora (veja ilustração) de modo que a corrente se anule.



Quando a corrente se anula, tem-se a igualdade  $E=eV$ , onde  $e$  é a carga do elétron, e  $V$  é chamado potencial de corte. Então,  
 $eV = h\nu - \phi$

A partir da sua equação, Einstein fez a seguinte previsão: variando-se a frequência,  $\nu$ , da luz incidente e plotando-se  $V$  versus  $\nu$ , obtêm-se uma reta, cujo coeficiente angular deve ser  $h/e$ , sendo  $h$  uma constante universal, independente do material irradiado. Esta constante é conhecida como constante de Planck, determinada pela lei de radiação do corpo negro.

O primeiro pesquisador experimental a apresentar resultados realmente importantes para comprovar a equação de Einstein foi Arthur Llewellyn Hughes, que demonstrou, em 1912, que a inclinação da função  $E(\nu)$  variava entre  $4,9 \times 10^{-27}$  e  $5,7 \times 10^{-27}$  erg.s, dependendo da natureza do material irradiado.

Em 1916, Millikan publicou um extenso trabalho sobre seus resultados obtidos na Universidade de Chicago. Ele comprovou que a equação de Einstein se ajustava muito bem aos experimentos, sendo  $h = 6,57 \times 10^{-27}$  erg.s. Em 1949, Millikan confessou ter dedicado mais de dez anos de trabalho, testando a equação de Einstein com absoluto ceticismo em relação à sua validade. Todavia, contrariando todas as suas expectativas, os resultados experimentais confirmaram a teoria de Einstein, sem qualquer ambigüidade. Este comentário reflete muito bem a postura da comunidade científica da época diante da proposta de Einstein. Entre 1905 e 1923, poucos foram os que levaram a sério sua teoria, entre os quais podemos destacar Planck.

---