

**Física clàssica**

**Física moderna  
física quàntica**

**Segle XVIII**

Newton explica els fenòmens de:

- Reflexió
- Refracció

segons un model:

**MODEL CORPUSCULAR  
(LA LLUM ÉS UNA PARTÍCULA)**

**Segle XVIII- XIX**

Maxwell, Young, Fresnel ....  
explica els fenòmens

- Reflexió
- Refracció
- Difracció
- Refracció
- Polarització
- Interferències

segons un model:

**MODEL ONDULATORI  
(LA LLUM ÉS una ona  
electromagnètica)**

**Segle XX**

**MODEL ONA-PARTÍCULA**

Com a ona podem explicar els  
fenòmens:

- Reflexió
- Refracció
- Difracció
- Refracció
- Polarització
- Interferències

Com a partícula podem explicar:

- **Els espectres atòmics**
- **L'efecte fotoelèctric**

## 1900 HIPOTÈSI DE PLANCK

La llum està formada per un conjunt de fotons o corpuscles que es propaguen a la velocitat  $c$ , i cada fotó transporta una energia  $E = h \cdot f$ . L'energia està quantitzada, l'energia que transporta un raig de llum monocromàtic (d'una sola freqüència) ha de ser múltiple de l'energia del fotó.

De la mateixa manera que la càrrega transportada per un corrent elèctric és un múltiple de la càrrega elemental, és a dir, de la càrrega de l'electró ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  C). L'energia transportada per una raig de llum monocromàtic és múltiple de l'energia del fotó. L'energia, igual que la càrrega elèctrica, està QUANTITZADA.

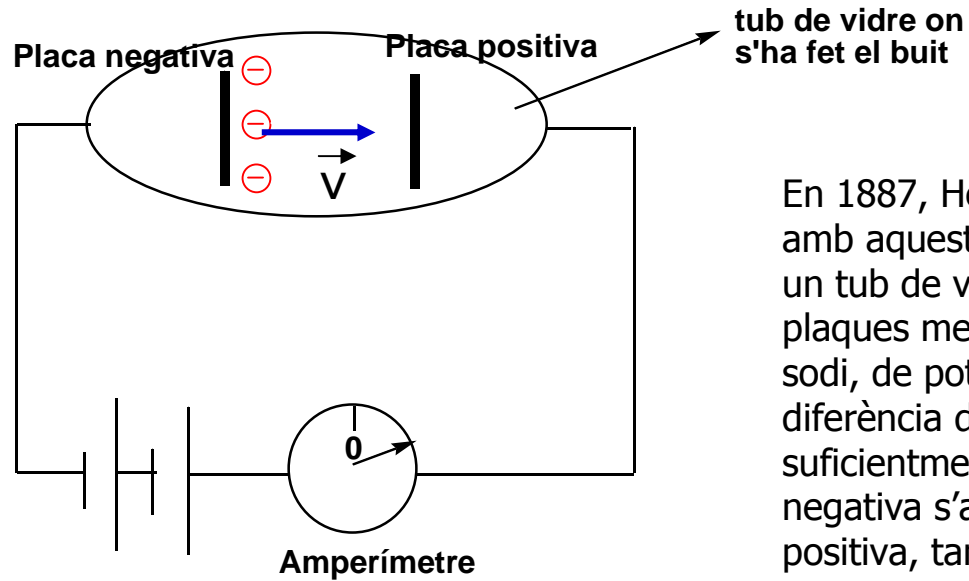
La diferència està en què, amb l'electricitat la càrrega elemental és la mateixa: l'electró; en canvi en la llum, que el fotó ( $h f$ ) és diferent per a cada radiació electromagnètica.



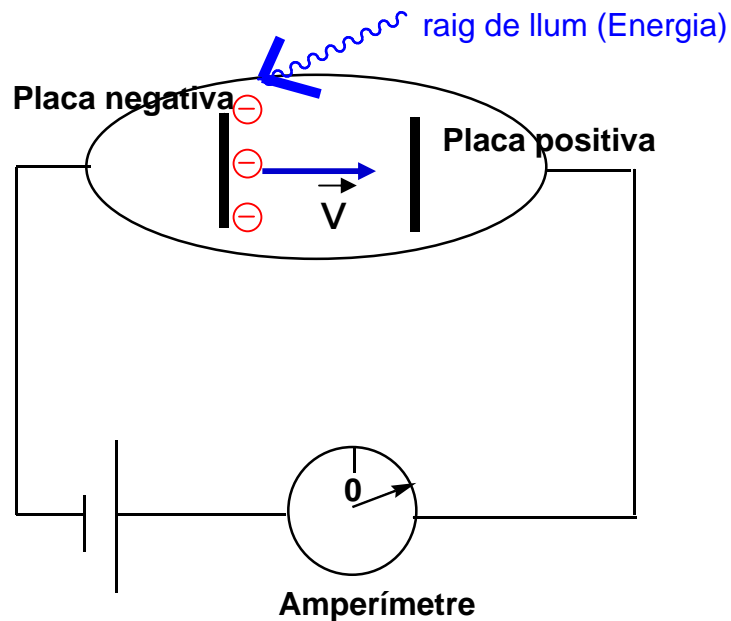
En 1913 Bohr basant-se en la hipòtesi de Planck, va proposar el seu model atòmic per explicar els espectres atòmics. L'electró (càrrega elèctrica en moviment) quan salta d'un nivell excitat a un nivell inferior emet llum d'una determinada energia (múltiple a l'energia del seu fotó).

## 9.6. Explicació d'Einstein de l'efecte fotoelèctric.

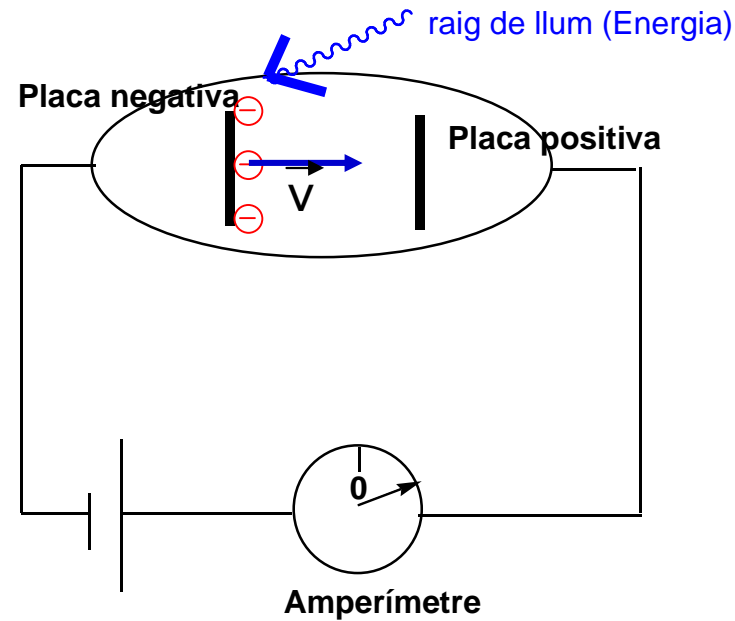
La física clàssica tampoc podia explicar l'efecte fotoelèctric:



En 1887, Hertz va fer una sèrie d'experiments amb aquest dispositiu. El dispositiu consisteix en un tub de vidre on s'ha fet el buit i conté dues plaques metàl·liques (ex. De zinc, de coure, de sodi, de potassi ...). Hertz va observar, que si la diferència de potencial entre les dues plaques era suficientment gran, els electrons de la placa negativa s'arrencaven i es dirigien cap a la placa positiva, tancant el circuit i d'aquesta manera creant un corrent elèctric (l'amperímetre marca intensitat).

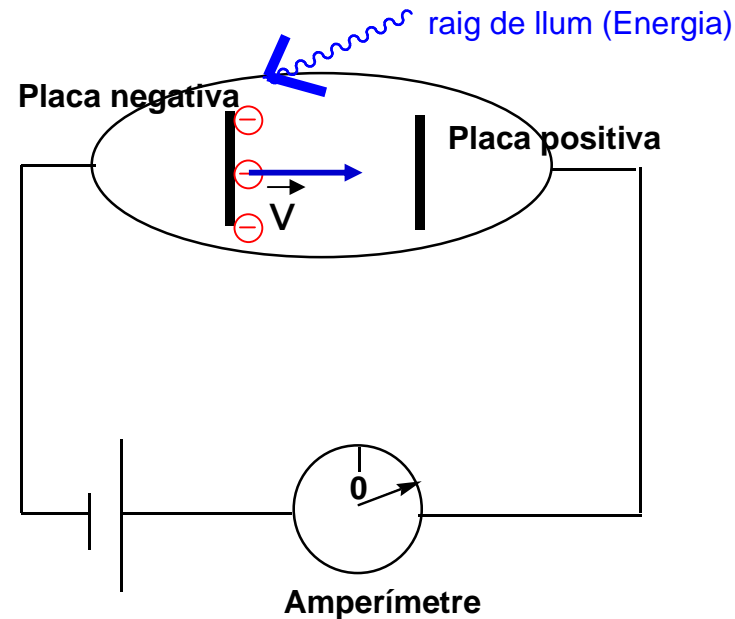


Però Hertz en els seus experiments també va observar, que malgrat que la diferència entre les dues plaques no fos prou gran, si la placa negativa s'il·luminava amb radiació o llum, també es podien arrencar els electrons de la placa negativa cap a la placa positiva. EFECTE FOTOELÈCTRIC (arrancar electrons d'un metall al ser il·luminat amb llum).



Totes les experiències efectuades amb dispositiu, va permetre a Hertz arribar aquestes conclusions:

1. L'amperímetre només indica el pas de corrent si il·luminen la placa negativa amb una radiació la freqüència ( $f$ ) de la qual no ha de ser inferior a una freqüència llindar ( $f_0$ ).
2. La freqüència llindar ( $f_0$ ) és característica de cada metall.
3. Per sota de la freqüència llindar no es produeix efecte fotoelèctric per molt que s'augmenti la intensitat de la llum que incideix sobre la placa negativa, però, un cop assolida, el corrent elèctric creix amb la intensitat lluminosa.



La física clàssica no podia explicar aquestes conclusions. Ja que segons la física clàssica l'energia de l'ona o radiació electromagnètica creix a l'augmentar la intensitat (més energia per unitat de temps "arribi més llum de la mateixa freqüència") i també en augmentar la freqüència. Per tant, és lògic, pensar que si la freqüència és baixa però s'augmenta suficientment la intensitat de la radiació ("arribi més llum") s'hauria de produir l'efecte fotoelèctric, ja que els electrons anirien absorbint contínuament l'energia fins tenir l'energia suficient per escapar del metall.

**EN CANVI ÉS VA OBSERVAR EXPERIMENTALMENT QUE PER MÉS QUE S'AUGMENTI LA INTENSITAT DE LA RADIACIÓ NO HI HA EFECTE FOTOELÈCTRIC SI LA SEVA FREQUÈNCIA NO SOBREPASSA UN CERT VALOR.**

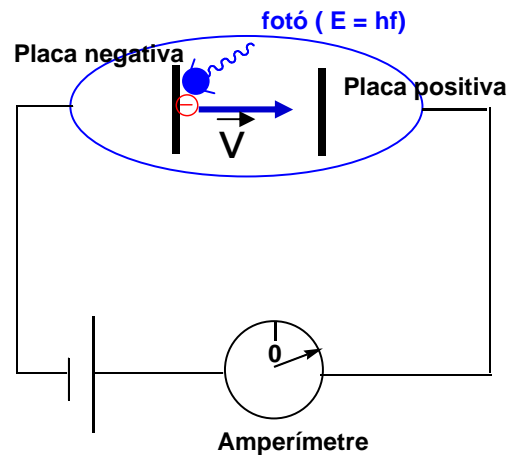
## 1900 HIPOTÈSI DE PLANCK



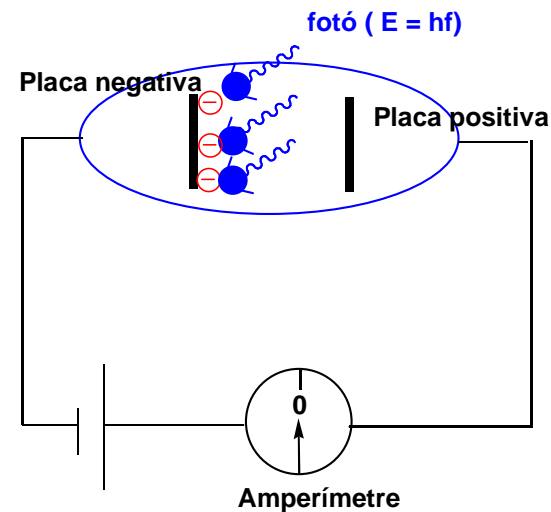
En 1905 Einstein basant-se en l'hipotèsi de Planck va interpretar correctament l'efecte fotoelèctric. L'efecte fotoelèctric no es podia explicar si consideràvem la llum com una ona. Però en canvi si podia explicar-se si considerem la llum com un conjunt de fotons, on cada un dels quals transporta una  $E = h f$ . Per tant l'electró no està absorbint contínuament l'energia.

Si la llum està formada per fotons, quan cada fotó xoca amb la placa metàl·lica:

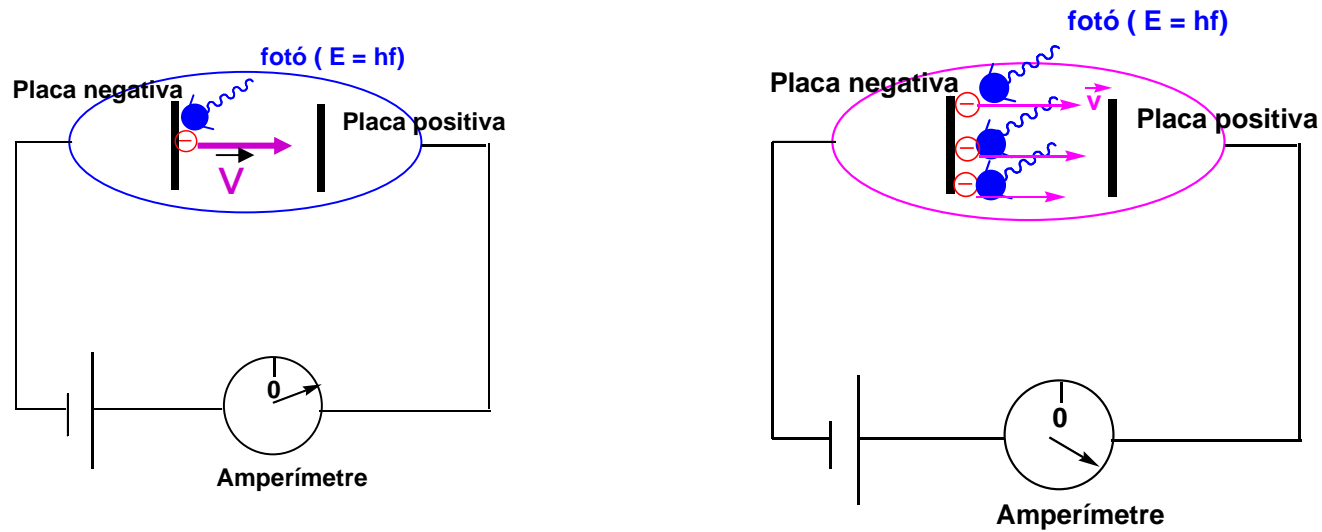
- si té l'energia suficient arrencarà un electró (es produeix efecte fotoelèctric)



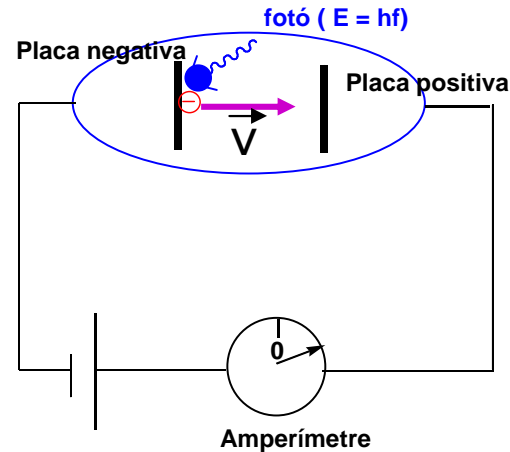
- Si NO té l'energia suficient NO es produirà per molt que se n'augmenti el nombre (la intensitat). Ja que dos o més fotons no poden reunir les seves energies per arrencar ni un sol electró.



- si el fotó té l'energia suficient per arrencar l'electró, quan major sigui la intensitat de la radiació (més fotons hi hagi), major serà el nombre d'electrons arrencats, i major serà la intensitat que marqui l'amperímetre.



L'energia del fotó capaç de produir l'efecte fotoelèctric es consumeix en l'energia necessària per arrencar l'electró i la resta en comunicar-li energia cinètica, que li permet allunyar-se del metall.



$E$  (per produir l'efecte fotoelèctric) =  $E$  (energia per arrencar l'electró) +  $E$  cinètica

**Equació d'Einstein de l'efecte fotoelèctric**

$$h f = h f_0 + \frac{1}{2} m v^2$$

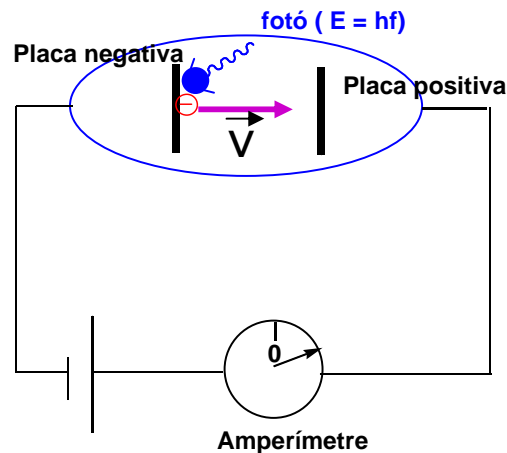
Energia mínima per alliberar l'electró, s'anomena treball d'extracció  $W_0$

Comunicar energia cinètica a l'electró per tal que s'escapi del metall. L'energia cinètica només depèn de la freqüència de la llum incident i no de la seva intensitat. A l'augmentar la intensitat augmenten el nombre d'electrons arrencats, però NO la velocitat d'aquests.



**Exercici 8 de la fotocòpia d'exercicis.** Una radiació de llum ultraviolada, d'una freqüència d' $1,5 \cdot 10^{15}$  Hz, incideix sobre una làmina de coure de manera que es produeix l'efecte fotoelèctric. La freqüència mínima perquè es produeixi l'efecte fotoelèctric en aquest metall és  $1,1 \cdot 10^{15}$  Hz.

a) Calculeu l'energia cinètica màxima dels fotoelectrons emesos.



### Equació d'Einstein de l'efecte fotoelèctric

$$h f = h f_0 + \frac{1}{2} m v^2$$

$$E_c = h f - h f_0 = h (f - f_0) = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} (1,5 \cdot 10^{15} - 1,1 \cdot 10^{15})$$

$$E_{\text{cinètica}} = 2,65 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

b) Expliqueu què passaria si la llum incident tingués una longitud d'ona de  $3,0 \cdot 10^{-7}$  m.

$$v = \lambda \cdot f; \quad f = \frac{3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{3,0 \cdot 10^{-7}} = 10^{15} \text{ Hz}$$

Com la freqüència és inferior a la freqüència llindar; NO ES PRODUEIX L'EFECTE FOTOELÈCTRIC.

**Exercici 12 de la fotocòpia d'exercicis.** Si l'efecte fotoelèctric es produeix amb llum vermella, tindrà lloc amb llum groga? Raona la resposta.

### Equació d'Einstein de l'efecte fotoelèctric

$$h f = h f_0 + \frac{1}{2} m v^2$$

$$f = 7,5 \cdot 10^{14}$$

$$4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$



$$\lambda = 400 \text{ nm}$$

$$700 \text{ nm}$$

Com la freqüència de la llum groga és superior a la de la vermella, si es produeix amb la llum vermella també tindrà lloc l'efecte fotoelèctric amb la llum groga.