

**FISICA (2n BATX.)**



**ESQUEMA de FÓRMULES & CONCEPTES.**

**7.1 FOTONS:**



- partícules associades a la llum, caracteritzades per la seva freqüència  $f$  (UNITAT S.I.:  $\text{Hz}$ ).
- no tenen massa,  $m_\gamma = 0$ , i sempre van a velocitat  $v = c$ .  
 $(c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s})$

$E_\gamma = hf$  (1)

ENERGIA d'un FOTÓ

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$   
 "constant de Planck"

**7.2 LONGITUD d'ONA de DE BROGLIE:**

- Quànticament, una partícula de  $m \neq 0$  en moviment té associada una ona



amb longitud d'ona  $\lambda_{DB}$  (S.I.: m).

(2)  $\lambda_{DB} = \frac{h}{mv} = \frac{h}{p}$

$p = mv$   
 "quantitat de moviment"

**7.3 ENERGIA en RELATIVITAT:**

(vàlid per a partícules amb  $m \neq 0$ ; per a fotons: [1])

- En Relativitat normalment no treballarem amb energies potencials, però necessitem incloure una contribució "màssica",  $E_m = mc^2$ , anomenada "energia en repòs":

(3)  $E = E_c + E_m$  ENERGIA TOTAL RELATIVISTA d'una partícula: cinètica + màssica.

- MÈTODE de Càlcul: cal introduir un nou concepte:

(4)  $m_R = \frac{m}{\sqrt{1 - (\frac{v}{c})^2}}$   $\Rightarrow$  si  $v = 0$ ,  $m_R = m$  "massa en repòs": la de tota la vida.  
 si  $v \uparrow \Rightarrow m_R \uparrow$

"MASSA RELATIVISTA" de la partícula (depèn de la velocitat).

... amb això, tenim dos casos:

"BAIXES VELOCITATS":  $v < \frac{c}{10} \Rightarrow E \approx \frac{1}{2}mv^2 + mc^2$  (5)

és una aproximació. Es diu que "podem negligir l'augment relativista de la massa".

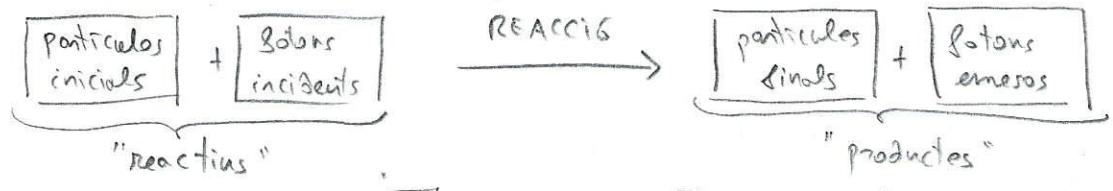
"ALTES VELOCITATS":  $v \geq \frac{c}{10} \Rightarrow E = m_R c^2$  (6)

NOTA: la [6] és la fórmula general, vàlida també per a  $v$  baixes, i calculem tot d'una  $E_m$  i  $E_c$ .

▶ EN LA PRÀCTICA, però, quasi mai usem la fórmula [4]: si estem en règim d'ALTES VELOCITATS ens diuen quant ha augmentat la massa; p. exemple:  $m_R = 10m \Rightarrow E = 10mc^2$  (amb [6]).

- Comentaris:
- i) com que  $E_m = \text{constant}$ ,  $\Delta E = \Delta E_c = \Delta m_R \cdot c^2$ ; en l'exemple (si es partia del repòs):  $\Delta m_R = 9m$ .
  - ii) la fórmula general de  $E_c$  seria:  $E_c = E - E_m = (m_R - m)c^2$ , però no s'utilitza mai (en altes  $v$  usem [6] directament).

**7.4 BALANÇOS ENERGÈTICS** per a reaccions de partícules:



$$E_{TOT} = E_{\gamma}^{TOT} + E_m^{TOT} + E_c^{TOT} \quad (7)$$

← energia total inicial →

$$E'_{TOT} = E_{\gamma}^{TOT'} + E_m^{TOT'} + E_c^{TOT'} \quad (8)$$

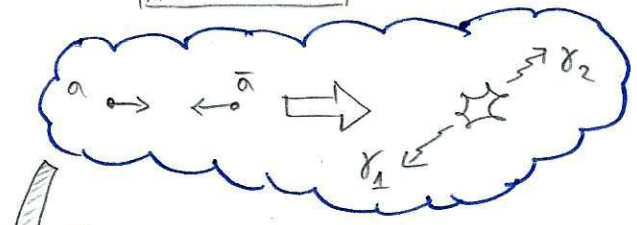
← energia total final →

sumem totes les energies fotòniques, massiques i cinètiques.

El balanç energètic general es fa exigint que es compleixi la CONSERVACIÓ DE L'ENERGIA (TOTAL):  $E_{TOT} = E'_{TOT} \quad (9)$

▶ CREACIÓ & ANIHILACIÓ de PARELLS: per a tota partícula a existeix la seva antipartícula  $\bar{a}$ , de manera que  $m_a = m_{\bar{a}}$  i  $q_a = -q_{\bar{a}}$ . (p. ex: el positró  $e^+$  és l'antipartícula de l'electró  $e^-$ ).

• ANIHILACIÓ:



CASOS PARTICULARS:

1- sovint,  $f_1 = f_2 = f \Rightarrow f = \frac{m_a c^2 + E_c^{TOT}/2}{h} \quad (12)$

2- també de vegades ens diuen que  $E_c^{TOT} = 0$  (a i  $\bar{a}$  en repòs):

(13)  $f = \frac{m_a c^2}{h}$  freqüència dels fotons emesos.

equació:  $a + \bar{a} \rightarrow \gamma_1 + \gamma_2 \quad (10)$

balanç:  $2m_a c^2 + E_c^{TOT} = hf_1 + hf_2 \quad (11)$

• CREACIÓ:



CASOS PARTICULARS:

1- sovint ens demanen  $f_{min}$ : val dir repòs final,  $E_c^{TOT} = 0 \Rightarrow$

$f_{min} = 2 \frac{m_a c^2}{h} \quad (16)$

equació:  $\gamma \rightarrow a + \bar{a} \quad (14)$   
 balanç:  $hf = 2m_a c^2 + E_c^{TOT} \quad (15)$



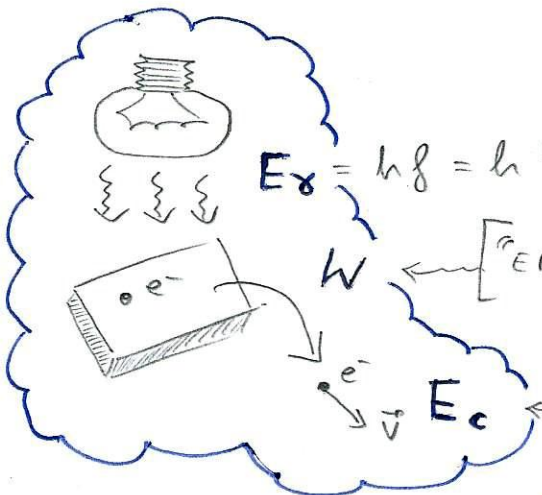
**FISICA (2n BATX.)**



ESQUEMA de FÓRMULES & CONCEPTES



**7.5 EFECTE FOTOELÈCTRIC**: fenomen consistent en arrancar electrons d'una placa metàl·lica (la "cèl·lula fotoelèctrica") il·luminant-la amb fotons:



$E_\gamma = hf = h \frac{c}{\lambda}$  ← [ENERGIA dels FOTONS INCIDENTS].

$W$  ← [“ENERGIA d'ENLLAÇ” de l'electró a la placa (també: “treball d'extracció”, o “funció treball”)]

$E_c$  ← [ENERGIA de l'ELECTRÓ LLIBRE (també: “energia cinètica màxima”).]

▶ REGLES QUÀNTIQUES de l'EFECTE FOTO.:

- 1.  $e^-$  només pot absorbir energia foto a foto.
- 2. la mínima energia que  $e^-$  pot absorbir és  $W$ .

▶ BALANÇ ENERGÈTIC:

$E_\gamma = W + E_c$  (17) ← (és la conserv. de l'energia)

... sovint reescrivim (17) així:

$hf = W + \frac{1}{2} m_e v^2$ , o també:  $hf = h_0 f + E_c$ .

▶ FREQUÈNCIA LLINDAR:

$f_0$  mínima que pot tenir un foto per a provocar efecte foto. (arrancar un  $e^-$ ): quan  $E_\gamma = W$  i per tant  $e^-$  queda quiet:

(18)  $f_0 = \frac{W}{h}$  « $f$  llindar»

(19)  $\lambda_0 = \frac{hc}{W}$  « $\lambda$  llindar»

- CASOS:
- $f < f_0$  (ó:  $\lambda > \lambda_0$ ) → no hi ha efecte foto.
  - $f = f_0$  (ó:  $\lambda = \lambda_0$ ) → hi ha ef. f., però  $v = 0$ .
  - $f > f_0$  (ó:  $\lambda < \lambda_0$ ) → hi ha ef. f.,  $v \neq 0$ .

▶ POTÈNCIA EMESA & n° de FOTONS:

(21)  $P = i \cdot E_\gamma$

$\left( \frac{\text{energia emesa}}{s} \right) = \left( \frac{\text{n° de fotons emesos}}{s} \right) \cdot \left( \frac{\text{energia de cada foto}}{1} \right)$   
 POTÈNCIA (W = J/s)      INTENSITAT (fotons/s)      ENERGIA (J)

Aquesta equació relaciona els fotons per segon que emet la font amb la seva potència. COMENTARI: la producció (o no) d'efecte foto. no depèn de la P de la font, sinó de la  $f$  de la llum que emet.

▶ POTENCIAL de FREMADA: si  $V_g > 0$  és la dif. de pot mínima per a frenar els fotoelectrons, i  $q_e > 0$  és la càrrega de l'electró en valor absolut ( $q_e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  C):

(23)  $E_c = \frac{1}{2} m v^2 = q_e V_g \Rightarrow$  REESCRIVIM (17) així:  $E_\gamma = W + q_e V_g$  (24)

com a conseqüència de les dues regles quàntiques.