Ejercicios de Física moderna: Relatividad y Efecto fotoeléctrico

9. b) $E_c = 5 \cdot 10^4 MeV = 5 \cdot 10^4 MeV \dfrac{10^6 eV}{1 MeV} \dfrac{1,6 \cdot 10^{-19} J}{1 eV} = 8 \cdot 10^{-9} J$

$E_c = E - E_0 = m c^2 - m_0 c^2 = \gamma m_0 c^2 - m_0 c^2 = (\gamma - 1) m_0 c^2$

$\gamma - 1 = \dfrac{E_c}{m_0 c^2} = \dfrac{8 \cdot 10^{-9}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2} = 9,768 \cdot 10^4$ Esto implica que $E_c \simeq E$; E_0 despreciable.

$\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$; $\gamma^2 = \dfrac{1}{1-\beta^2}$; $1 - \beta^2 = \dfrac{1}{\gamma^2}$; $\beta = \sqrt{1 - \dfrac{1}{\gamma^2}} = \sqrt{1 - \dfrac{1}{(9,77 \cdot 10^4)^2}} = 0,999999999948$

34. $W_0 = 1,6 \, eV$ a) $W_0 = 1,6 \, eV \dfrac{1,6 \cdot 10^{-19} J}{1 eV} = 2,56 \cdot 10^{-19} J$

$P = 30 \, mW$

$\lambda = 6,33 \, nm$ $E = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6,33 \cdot 10^{-7}} = 3,14 \cdot 10^{-19} J$ Energía de los fotones incidentes

$E = W_0 + E_{cmax}$ $E_{cmax} = E - W_0 = 3,14 \cdot 10^{-19} - 2,56 \cdot 10^{-19} = \underline{5,82 \cdot 10^{-20} J}$

$E_{cmax} = 5,82 \cdot 10^{-20} J \dfrac{1 eV}{1,6 \cdot 10^{-19} J} = \underline{0,36 \, eV}$

b) $E_T = N \cdot E$; $P = \dfrac{E_T}{t}$; $P = N \dfrac{E}{t}$; $\dfrac{N}{t} = \dfrac{P}{E} \Rightarrow \dfrac{N}{t} = \dfrac{P}{E} = \dfrac{3 \cdot 10^{-2}}{3,14 \cdot 10^{-19}} = 9,55 \cdot 10^{16} \dfrac{\text{fotones}}{s}$

46. $v = 2,7 \cdot 10^8 \, m/s$ a) $m = \gamma \cdot m_0$; $\beta = \dfrac{v}{c} = \dfrac{2,7 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} = 0,9$

$\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{1-0,9^2}} = 2,29$; $m = \gamma \cdot m_0 = 2,29 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} = \underline{3,83 \cdot 10^{-27} kg}$

$p = mv = 3,83 \cdot 10^{-27} \cdot 2,7 \cdot 10^8 = \underline{1,03 \cdot 10^{-18} \, kg \, m/s}$

b) $E_{c1} = E_1 - E_0$; $E_{c2} = E_2 - E_0$ $E_{c2} - E_{c1} = E_2 - E_1 = \gamma_2 m_0 c^2 - \gamma_1 m_0 c^2 = (\gamma_2 - \gamma_1) m_0 c^2$

$\gamma_2 = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta_2^2}}$; $\beta_2 = \dfrac{v}{c} = 0,95$; $\gamma_2 = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta_2^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{1-0,95^2}} = 3,20$;

$\Delta E_c = (\gamma_2 - \gamma_1) m_0 c^2 = (3,20 - 2,29) \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = \underline{1,37 \cdot 10^{-10} J}$

48. a) $E_0 = m_0 c^2 = 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 8,20 \cdot 10^{-14} J$ energía de un electrón en reposo

Energía de un fotón $E = h \cdot f$; $f = \dfrac{c}{\lambda}$; $E = \dfrac{hc}{\lambda}$; $\lambda = \dfrac{h \cdot c}{E}$

$\lambda = \dfrac{h \cdot c}{E} = \dfrac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{8,20 \cdot 10^{-14}} = \underline{2,43 \cdot 10^{-12} m}$

b) $f = \dfrac{c}{\lambda} = \dfrac{3 \cdot 10^8}{2,43 \cdot 10^{-12}} = 1,24 \cdot 10^{20} Hz$ son rayos γ con $f > 3 \cdot 10^{19} Hz$

49. a) $m = \gamma \cdot m_0$ $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$; $\beta = \dfrac{v}{c} = \dfrac{2 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} = 0,667$, $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-0,667^2}} = 1,34$

$m = \gamma \cdot m_0 = 1,34 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} = \underline{1,22 \cdot 10^{-30} kg}$

b) $\beta = 0,8$; $\gamma = \dfrac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \dfrac{1}{\sqrt{1-0,8^2}} = 1,67$; $E = m \cdot c^2 = \gamma \cdot m_0 c^2 = \gamma \cdot E_0$

$E = \gamma \cdot m_0 c^2 = 1,67 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = \underline{1,37 \cdot 10^{-13} J}$

54. $\lambda = 10^{-7} m$ a) $W_0 = h \cdot f_0 = 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 2 \cdot 10^{14} = \underline{1.33 \cdot 10^{-19} J}$

$f_0 = 2 \cdot 10^{14} Hz$

$$E_{cmax} = E - W_0 \; ; \; E = h\frac{c}{\lambda} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10^{-7}} = 1.99 \cdot 10^{-18} J$$

$$E_{cmax} = E - W_0 = 1.99 \cdot 10^{-18} - 1.33 \cdot 10^{-19} = \underline{1.86 \cdot 10^{-18} J}$$

b) $E_{cmax} = q_e V_0 \; ; \; V_0 = \frac{E_{cmax}}{q_e} = \frac{1.86 \cdot 10^{-18}}{1.6 \cdot 10^{-19}} = \underline{11.6 \; V}$

(58.) $v = 0.6 c \; ; \; \beta = \frac{v}{c} = \frac{0.6c}{c} = 0.6 \quad m = \gamma \cdot m_0 \; ; \; \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0.6^2}} = 1.25$

a) $m = \gamma \cdot m_0 = 1.25 \cdot 1 = \underline{1.25 \; mg}$

b) $E_c = E - E_0 = (\gamma - 1) m_0 c^2 = (1.25 - 1) \cdot 10^{-6} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = \underline{2.25 \cdot 10^{10} \; J}$

64. $\lambda = 300 \, nm \quad E_{cmax} = 1.65 \, eV$

a) $E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^{-7}} = \underline{6.63 \cdot 10^{-19} J}$

b) $E = W_0 + E_{cmax} \; ; \; E_{cmax} = 1.65 \, eV \frac{1.6 \cdot 10^{-19} J}{1 \, eV} = 2.64 \cdot 10^{-19} J$

$W_0 = E - E_{cmax} = 6.63 \cdot 10^{-19} - 2.64 \cdot 10^{-19} = \underline{3.99 \cdot 10^{-19} J}$

c) $\lambda = 400 \, nm \quad E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-7}} = 4.97 \cdot 10^{-19} J$

$E_{cmax} = E - W_0 = 4.97 \cdot 10^{-19} - 3.99 \cdot 10^{-19} = \underline{9.8 \cdot 10^{-20} J}$

d) $\lambda_0 = \frac{c}{f_0} \; ; \; f_0 = \frac{W_0}{h} = \frac{3.99 \cdot 10^{-19}}{6.63 \cdot 10^{-34}} = 6.02 \cdot 10^{14} Hz$

$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{6.02 \cdot 10^{14}} = \underline{4.985 \cdot 10^{-7} m}$

77. $W_0 = 2.3 \, eV = 2.3 \, eV \frac{1.6 \cdot 10^{-19} J}{1 \, eV} = \underline{3.68 \cdot 10^{-19} J}$

a) $\lambda = 680 \, nm \frac{10^{-9} m}{1 \, nm} = 6.8 \cdot 10^{-7} m \; ; \; E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{6.8 \cdot 10^{-7}} = 2.93 \cdot 10^{-19} J$

Como $E < W_0$ $2.93 \cdot 10^{-19} J < 3.68 \cdot 10^{-19} J$ **No se produce efecto fotoeléctrico**

b) $\lambda = 360 nm \frac{10^{-9} m}{1 nm} = 3.6 \cdot 10^{-7} m \; ; \; E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{3.6 \cdot 10^{-7}} = 5.53 \cdot 10^{-19} J$

Como $E > W_0$ $5.53 \cdot 10^{-19} J > 3.68 \cdot 10^{-19} J$ **Si se produce efecto fotoeléctrico**

(78.) $E_0 = 0.511 \, MeV \quad v = 0.8 c$

a) $m = \gamma m_0 \; ; \; m_0 c^2 = E_0 \; , \; m_0 = \frac{E_0}{c^2} \; ; \; E_0 = 0.511 \, MeV \frac{10^6 eV}{1 MeV} \frac{1.6 \cdot 10^{-19} J}{1 eV} = 8.18 \cdot 10^{-14} J$

$m_0 = \frac{E_0}{c^2} = \frac{8.18 \cdot 10^{-14}}{(3 \cdot 10^8)^2} = 9.08 \cdot 10^{-31} kg \; ; \; m = \gamma \cdot m_0 \; ; \; \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-0.8^2}} = 1.67$

$m = \gamma \cdot m_0 = 1.67 \cdot 9.08 \cdot 10^{-31} = \underline{1.51 \cdot 10^{-30} kg}$

b) $E = m \cdot c^2 = 1.51 \cdot 10^{-30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = \underline{1.36 \cdot 10^{-13} J}$

$E = 1.36 \cdot 10^{-13} J \frac{1 eV}{1.6 \cdot 10^{-19} J} \frac{1 MeV}{10^6 eV} = \underline{0.85 \; MeV}$

83. λ_0 amarillo

a) Al duplicar la intensidad se duplica el número de fotones pero la energía de cada uno sigue siendo la misma por lo que la E_{cmax} con la que serán extraídos los electrones será la misma. Por lo que la afirmación es FALSA.

b) La "luz" ultravioleta está compuesta por fotones con más energía que los de la luz amarilla por lo que sí que arrancarán electrones del metal. Por tanto también esta afirmación es falsa.

101.

a) Al aumentar la intensidad aumenta el número de fotones incidentes, como cada uno arranca un electrón aumentará el número de electrones (fotoelectrones) pero la energía cinética máxima es la misma ya que la energía de los fotones es la misma

b) Al aumentar la frecuencia aumenta la energía de los fotones incidentes por lo que aumentará la energía cinética máxima y sino se modifica la cantidad de fotones incidentes el número de electrones emitidos será el mismo

c) Si $f < f_0 \Rightarrow E < W_0$ y no hay efecto fotoeléctrico

d) W_0 es la energía que hay que suministrar a los electrones más débilmente retenidos por el metal para arrancarlos.

104. $f_0 = 4,5 \cdot 10^{14}$ Hz

a) $\lambda = 4 \cdot 10^{-7}$ m $\Rightarrow E = \dfrac{hc}{\lambda} = \dfrac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^{8}}{4 \cdot 10^{-7}} = 4,97 \cdot 10^{-19}$ J

$W_0 = h \cdot f_0 = 6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 4,5 \cdot 10^{14} = 2,98 \cdot 10^{-19}$ J

$E_{cmax} = E - W_0 = 4,97 \cdot 10^{-19} - 2,98 \cdot 10^{-19} = 1,99 \cdot 10^{-19}$ J

$E_{cmax} = \dfrac{1}{2} m_e v_{max}^2 \; ; \; v_{max} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot E_{cmax}}{m_e}} = \sqrt{\dfrac{2 \cdot 1,99 \cdot 10^{-19}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 6,61 \cdot 10^{5}$ m/s

b) Si $E_{cmax} = 2 \cdot 1,99 \cdot 10^{-19} = 3,98 \cdot 10^{-19}$ J

$E = W_0 + E_{cmax} = 2,98 \cdot 10^{-19} + 3,98 \cdot 10^{-19} = 6,96 \cdot 10^{-19}$ J

$f = \dfrac{E}{h} = \dfrac{6,96 \cdot 10^{-19}}{6,63 \cdot 10^{-34}} = 1,05 \cdot 10^{15}$ Hz

107.

a) Que esa frecuencia sea mayor que la frecuencia umbral $f > f_0$

b) Si aumenta la frecuencia aumenta la energía cinética de los electrones

c) Aumenta el número de electrones ya que un aumento de la intensidad produce un aumento del número de fotones incidentes