

## Qüestions d'Electrònica i Portes Lògiques

1. Un semiconductor és intrínsec quan

- a) no té impureses.
- b) els electrons són portadors majoritaris.
- c) té impureses acceptores.
- d) Cap de les anteriors.

2. En quin tipus de material els electrons són portadors minoritaris?

- a) Semiconductor intrínsec.
- b) Semiconductor extrínsec tipus p.
- c) Semiconductor extrínsec tipus n.
- d) Metall.

3. Quina de les següents afirmacions és certa?

- a) Els semiconductors de tipus p es caracteritzen per tenir impureses acceptores.
- b) En els semiconductors de tipus n el nombre d'electrons i de forats és el mateix.
- c) En els semiconductors de tipus p la conducció és deguda bàsicament als electrons.
- d) En els semiconductors intrínsecs el nombre d'electrons és més gran que el de forats.

4. Quina de les següents afirmacions és certa?

- a) Els semiconductors de tipus n es caracteritzen per tenir impureses donadores.
- b) En els semiconductors de tipus n el nombre d'electrons i de forats és el mateix.
- c) En els semiconductors de tipus n la conducció és deguda bàsicament als forats.
- d) En els semiconductors intrínsecs el nombre d'electrons és més gran que el de forats.

5. Quina de les afirmacions següents, referides als semiconductors de tipus n, és certa?

- a) Es caracteritzen per tenir impureses acceptores.
- b) El nombre d'electrons i de forats és el mateix.
- c) La conducció és deguda bàsicament als electrons.
- d) La seva conductivitat disminueix quan la temperatura augmenta.

6. Quina de les afirmacions següents, referides als semiconductors de tipus p, és certa?

- a) Els electrons són portadors minoritaris.
- b) La conducció és bàsicament deguda als electrons que hi ha a la banda de conducció.
- c) Està dopat amb impureses donadores.
- d) El nombre d'electrons i de forats és el mateix.

7. Quina de les següents afirmacions és certa?

- a) En els semiconductors intrínsecs la diferència d'energia entre les bandes de conducció i de valència és nul·la.
- b) La conducció elèctrica en un semiconductor de tipus p és majoritàriament deguda als forats que hi ha a la banda de valència.
- c) En els semiconductors extrínsecs de tipus n el nombre d'electrons i de forats és el mateix.
- d) En els semiconductors intrínsecs el nombre d'electrons és més gran que el de forats.

8. Els semiconductors intrínsecos tenen alguns forats a temperatura ambient. Quin és l'origen?

- a) El dopatge.
- b) L'energia tèrmica.**
- c) L'energia electrostàtica.
- d) Cap de les anteriors.

9. Un cristall de silici (amb 4 electrons de valència) està dopat amb àtoms d'Arsènic (amb 5 electrons de valència). Digueu quina de les afirmacions referents als semiconductor resultant és la correcta

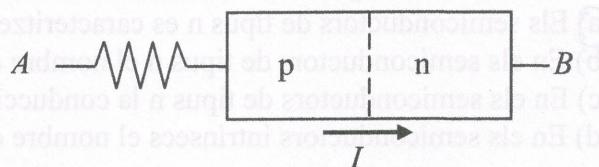
- a) Es un semiconductor tipus p.
- b) Es un semiconductor intrísec.
- c) Es un semiconductor dopat amb impureses donadores.**
- d) Els electrons són portadors minoritaris.

10. En un LED es produeix llum:

- a) Per la creació de parells electró-forat a la zona de transició.
- b) Per recombinacions electró-forat a la zona de transició.**
- c) Per efecte Joule en tot el diòde.
- d) Pel moviment de forats en el costat p.

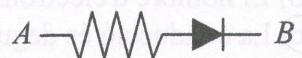
11. A la unió p-n de la figura, quina de les següents afirmacions és certa? ( $V_g = 0.7$  V)

- a) Si  $V_A - V_B < V_g$ , llavors  $I > 0$ .
- b) Si  $V_A - V_B > V_g$ , llavors  $I > 0$ .**
- c)  $I = 0$ , independent del valor de  $V_A - V_B$ .
- d) Si  $V_A - V_B = 0$ , llavors  $I > 0$ .



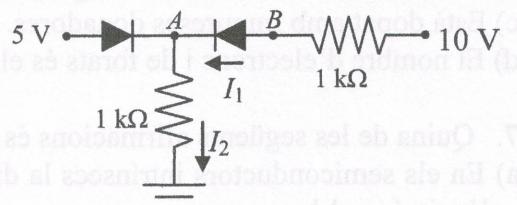
12. A la branca d'un circuit com la de la figura  $R = 1\text{ k}\Omega$ ,  $V_g = 0.7$  V i  $V_A - V_B = 10$  V. Per tant la intensitat que circula és

- a) 0 mA
- b) 4 mA
- c) 9.3 mA**
- d) 10.7 mA



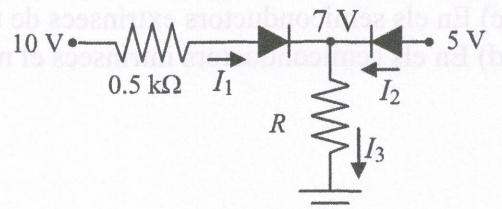
13. Si la tensió llindar dels dos diòdes de la part del circuit de la figura és 0.7 V, quina de les següents afirmacions és FALSA:

- a)  $V_B = 4.3$  V**
- b)  $I_2 = 4.3$  mA
- c)  $V_A = 4.3$  V
- d)  $I_1 = 5$  mA



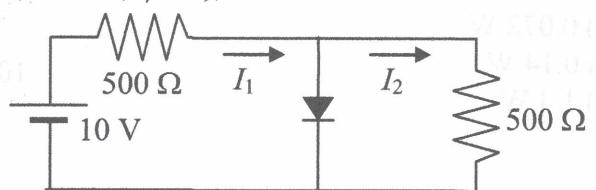
14. A la part del circuit de la figura els dos diòdes tenen la mateixa tensió llindar de 0.7 V. Quin dels resultats següents és cert?

- a)  $I_1 = I_3 = 4.6$  mA**
- b)  $I_1 = I_2 = 2.3$  mA
- c)  $I_1 = I_2 = 0$
- d)  $R = 1\text{ k}\Omega$



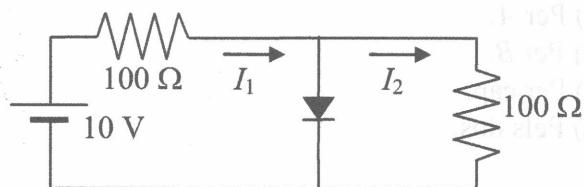
15. Si el diode del circuit de la figura es considera ideal ( $V_y = 0$ ),

- a)  $I_1 = I_2 = 20 \text{ mA}$ .
- b)  $I_1 = 10 \text{ mA}, I_2 = 0$ .
- c) Si invertim el diode,  $I_1 = I_2 = 10 \text{ mA}$ .
- d) Si invertim el diode,  $I_1 = 10 \text{ mA}, I_2 = 0$ .



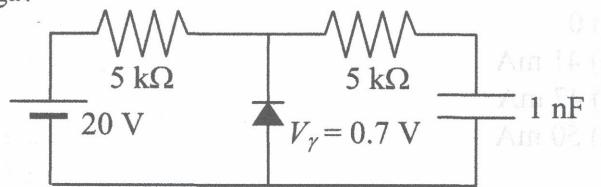
16. En el circuit de la figura, quina afirmació és certa?

- a) Si el diode és ideal ( $V_y = 0 \text{ V}$ ),  $I_1 = I_2$ .
- b) Si el diode és ideal ( $V_y = 0 \text{ V}$ ),  $I_1 = 0.1 \text{ A}$ .
- c) Si el diode és real ( $V_y = 0.7 \text{ V}$ ),  $I_2 = 93 \text{ mA}$ .
- d) Cap de les anteriors.



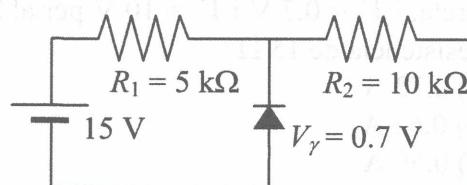
17. La tensió llindar del diode del circuit de la figura és  $V_y = 0.7 \text{ V}$ . Si la capacitat del condensador és de  $1 \text{ nF}$ , quina és la seva càrrega?

- a) 0
- b)  $0.7 \text{ nC}$
- c)  $10 \text{ nC}$
- d)  $20 \text{ nC}$



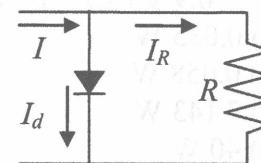
18. Quina intensitat circula per cadascuna de les dues resistències del circuit de la figura?

- a)  $I_1 = I_2 = 1 \text{ mA}$
- b)  $I_1 = 1 \text{ mA} \text{ i } I_2 = 0$
- c)  $I_1 = 3 \text{ mA} \text{ i } I_2 = 1 \text{ mA}$
- d)  $I_1 = 2.86 \text{ mA} \text{ i } I_2 = 0.7 \text{ mA}$



19. La figura representa la part d'un circuit on hi ha una resistència i un diode amb una tensió llindar  $V_y = 0.7 \text{ V}$ , i per on hi circulen respectivament els corrents  $I_R$  i  $I_d$ . Si inicialment el diode condueix i la intensitat total  $I$  augmenta, indiqueu quina de les següents afirmacions és correcta:

- a)  $I_R$  augmenta.
- b) La ddp als extrems de la resistència disminueix.
- c)  $I_d$  no varia.
- d)  $I_R$  no varia.

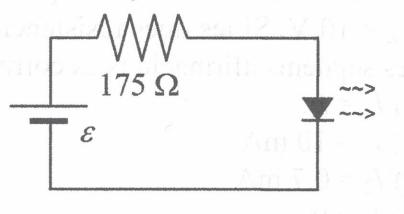


20-Al circuit de la figura, el diode LED, amb una tensió llindar de  $0.9 \text{ V}$ , consumeix  $30 \text{ mW}$ .

Quant val  $\varepsilon$ ?

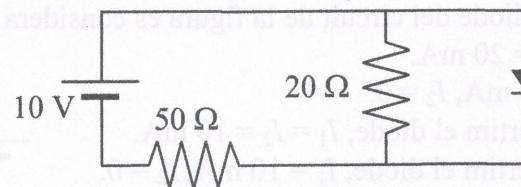
- a)  $4.57 \text{ V}$
- b)  $5.82 \text{ V}$
- c)  $6.73 \text{ V}$
- d)  $7.39 \text{ V}$

$$P = 30 \text{ mW}$$



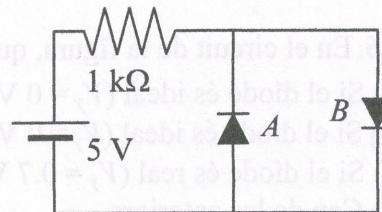
21. Quina és la potència consumida pel LED de la figura amb  $V_\gamma = 1.2$  V?

- a) 0.016 W
- b) 0.072 W
- c) 0.14 W
- d) 1.4 W



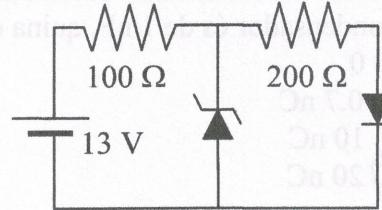
22. Els dos diòdes de la figura tenen una tensió llindar de 0.6 V. Per quin diòde circula un corrent significatiu?

- a) Per A.
- b) Per B.**
- c) Per cap.
- d) Pels dos.



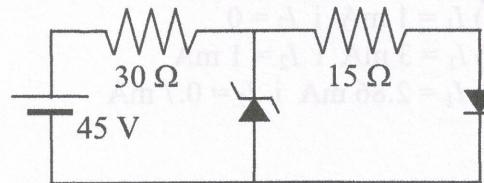
23. Al circuit de la figura, els paràmetres característics del Zener són  $V_Z = 10$  V i  $V_\gamma = 0.5$  V, i la tensió llindar de l'altre diode és de 0.7 V. Aleshores la intensitat que circula per la resistència de  $200\Omega$  val

- a) 0
- b) 41 mA
- c) 47 mA**
- d) 50 mA



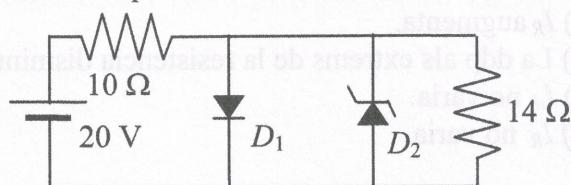
24. Les tensions característiques dels diòdes del circuit de la figura són  $V_\gamma = 1.2$  V per al de la dreta, i  $V_\gamma = 0.7$  V i  $V_Z = 10$  V per al Zener de la branca central. Quina intensitat circula per la resistència de  $15\Omega$ ?

- a) 0.72 A
- b) 0.62 A.
- c) 0.59 A**
- d) 0.47 A



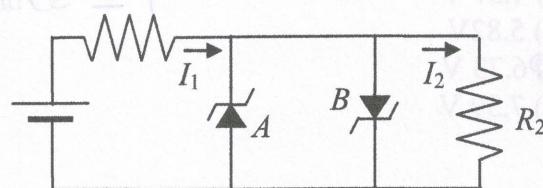
25. Les tensions característiques dels diòdes del circuit de la figura són  $V_\gamma = 0.7$  V per a  $D_1$ , i  $V_\gamma = 0.9$  V i  $V_Z = 10$  V per a  $D_2$ . Aleshores la potència dissipada a la resistència de  $14\Omega$  és

- a) 0.035 W
- b) 0.058 W
- c) 7.143 W**
- d) 40 W



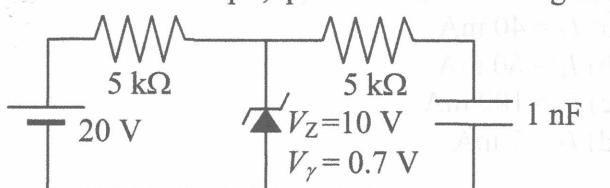
26. Les tensions característiques dels dos diòdes Zener del circuit de la figura són  $V_\gamma = 0.7$  V i  $V_Z = 10$  V. Si les dues resistències són de  $1\text{k}\Omega$  i la fem de la pila és de 20 V, digueu quina de les següents afirmacions és correcta:

- a)  $I_1 = I_2$ .
- b)  $I_2 = 10$  mA
- c)  $I_2 = 0.7$  mA**
- d)  $I_2 = 0$



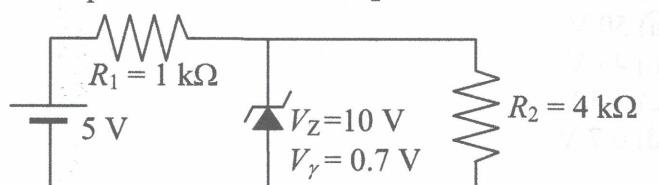
27. El díode Zener del circuit de la figura es caracteritzat per una tensió llindar  $V_y = 0.7$  V i una tensió Zener  $V_z = 10$  V. Si la capacitat del condensador és de 25 pF, quina és la seva càrrega?

- a) 0
- b) 0.7 nC
- c) 10 nC**
- d) 20 nC



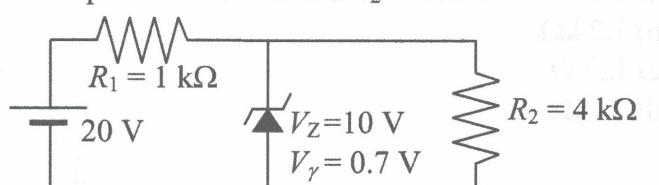
28. El díode Zener del circuit de la figura es caracteritzat per una tensió llindar  $V_y = 0.7$  V i una tensió Zener  $V_z = 10$  V. Quina és la potència dissipada a la resistència  $R_2 = 4$  kΩ?

- a) 0
- b) 4 mW**
- c) 25 mW
- d) 64 mW



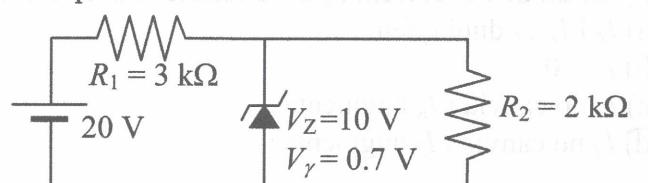
29. El díode Zener del circuit de la figura es caracteritzat per una tensió llindar  $V_y = 0.7$  V i una tensió Zener  $V_z = 10$  V. Quina és la potència dissipada a la resistència  $R_2 = 4$  kΩ?

- a) 4 mW
- b) 25 mW**
- c) 32 mW
- d) 64 mW



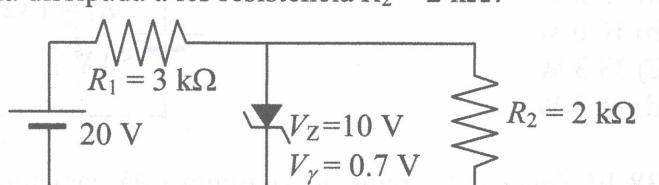
30. El díode Zener del circuit de la figura es caracteritzat per una tensió llindar  $V_y = 0.7$  V i una tensió Zener  $V_z = 10$  V. Quina és la potència dissipada a les resistències i al díode?

- a)  $P_1 = 48$  mW,  $P_2 = 32$  mW,  $P_Z = 0$**
- b)  $P_1 = 48$  mW,  $P_2 = 32$  mW,  $P_Z = 40$  mW
- c)  $P_1 = 48$  mW,  $P_2 = 32$  mW,  $P_Z = 20$  mW
- d)  $P_1 = 32$  mW,  $P_2 = 48$  mW,  $P_Z = 0$



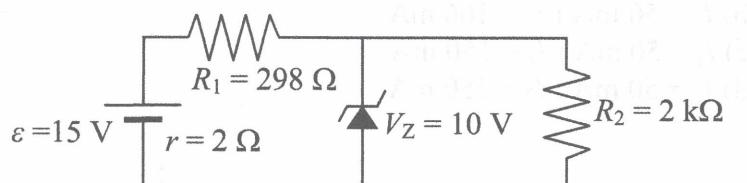
31. El díode Zener del circuit de la figura es caracteritzat per una tensió llindar  $V_y = 0.7$  V i una tensió Zener  $V_z = 10$  V. Quina és la potència dissipada a les resistències  $R_2 = 2$  kΩ?

- a) 0.245 mW**
- b) 25 mW
- c) 32 mW
- d) 50 mW



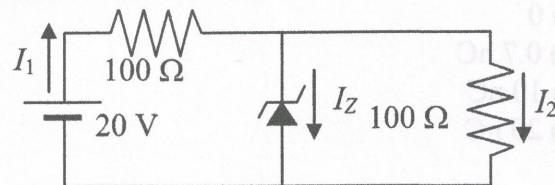
32. Quin element del circuit consumeix la major part de la potència subministrada per la fem?

- a)  $R_1$
- b)  $R_2$
- c) El díode Zener**
- d) La resistència interna  $r$



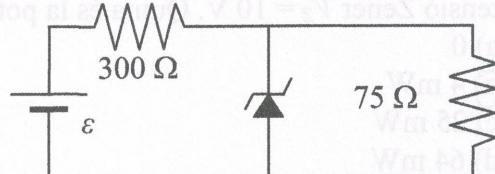
33. El díode Zener del circuit de la figura es caracteritzat per una tensió llindar  $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$  i una tensió Zener  $V_Z = 8 \text{ V}$ . Quina de les afirmacions següents és correcte?

- a)  $I_Z = 40 \text{ mA}$
- b)  $I_1 = 80 \text{ mA}$
- c)  $I_2 = 100 \text{ mA}$
- d)  $I_2 = 7 \text{ mA}$



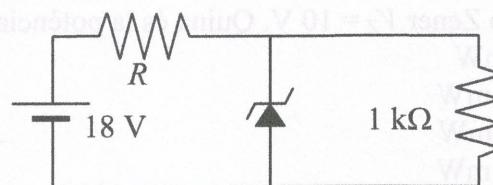
34. El Zener del circuit de la figura està caracteritzat per  $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$  i  $V_Z = 10 \text{ V}$ . Quin és el valor mínim de la fem  $\varepsilon$  perquè el díode condueixi?

- a) 50 V
- b) 43 V
- c) 3.5 V
- d) 0.7 V



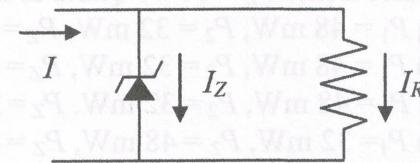
35. Al circuit de la figura, quin és el valor màxim de  $R$  que fa que el Zener condueixi, si els seus paràmetres característics són  $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$  i  $V_Z = 10 \text{ V}$ ?

- a) 0.8 kΩ
- b) 1.2 kΩ
- c) 12 kΩ
- d) 24 kΩ



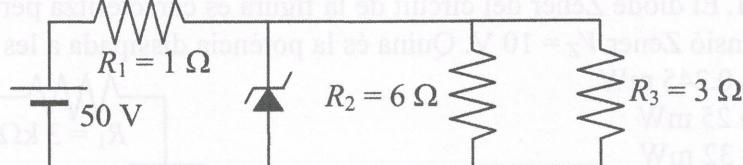
36. La figura representa una part d'un circuit en la qual el díode treballa a la zona Zener. Si la intensitat  $I$  és duplicada, digueu quina de les afirmacions següents, relacionades amb el corrent  $I_Z$  del díode i el corrent  $I_R$  de la resistència, és certa.

- a)  $I_Z$  i  $I_R$  es dupliquen
- b)  $I_Z = 0$
- c)  $I_Z$  no canvia i  $I_R$  augmenta
- d)  $I_R$  no canvia i  $I_Z$  augmenta



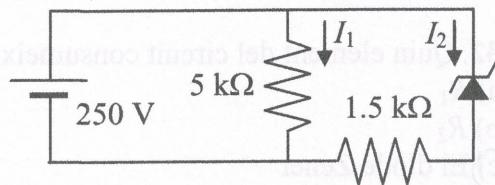
37. El díode del circuit de la figura es caracteritzat per una tensió Zener  $V_Z = 10 \text{ V}$ . Llavors la potència dissipada a  $R_2$  val

- a) 0.12 W
- b) 16.6 W
- c) 33.3 W
- d) 85.3 W

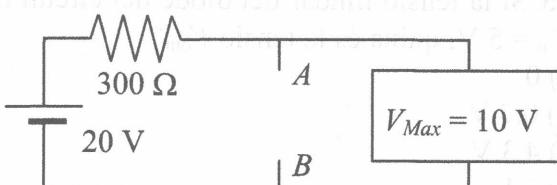


38. El Zener del circuit de la figura està caracteritzat per  $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$  i  $V_Z = 25 \text{ V}$ . Quina intensitat circula per les resistències  $R_1$  i  $R_2$ ?

- a)  $I_1 = 15 \text{ mA}$  i  $I_2 = 250 \text{ mA}$
- b)  $I_1 = 50 \text{ mA}$  i  $I_2 = 166 \text{ mA}$
- c)  $I_1 = 50 \text{ mA}$  i  $I_2 = 150 \text{ mA}$
- d)  $I_1 = 50 \text{ mA}$  i  $I_2 = 250 \text{ mA}$



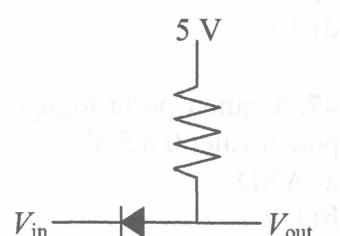
39. El rectangle del circuit de la figura representa un aparell que admet una ddp màxima de 10 V entre els seus terminals. Si disposem d'un diode Zener, quina ha de ser la seva tensió Zener,  $V_Z$ , i com l'hem de connectar entre els punts A i B, perquè l'aparell funcioni correctament.



- a)  $V_Z = 10\text{ V}$  i l'ànode del Zener connectat al punt A (polarització directa)
- b)  $V_Z = 10\text{ V}$ , i l'ànode del Zener connectat al punt B (polarització inversa)
- c)  $V_Z = 20\text{ V}$  i l'ànode del Zener connectat al punt A (polarització directa)
- d)  $V_Z = 20\text{ V}$  i l'ànode del Zener connectat al punt B (polarització inversa)

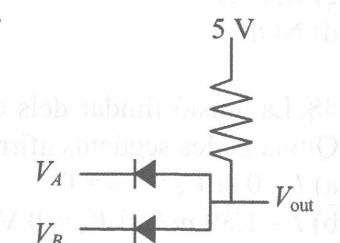
40. Si la tensió llindar del diode del circuit de la figura és de 0.7 V i  $V_{in} = 0$ , quina és la tensió  $V_{out}$ ?

- a) 0
- b) 0.7 V
- c) 4.3 V
- d) 5 V



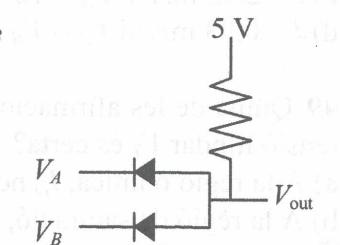
41. Si la tensió llindar dels diòdes del circuit de la figura és de 0.7 V,  $V_A = 0$  i  $V_B = 5\text{ V}$ , quina és la tensió  $V_{out}$ ?

- a) 0
- b) 0.7 V
- c) 4.3 V
- d) 5 V



42. A quina porta lògica correspon el circuit de la figura si  $V_A$  i  $V_B$  poden valer 0 o 5 V?

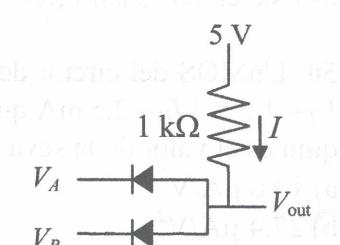
- a) AND
- b) OR
- c) NAND
- d) NOR



43. La tensió llindar dels diòdes de la porta de la figura és de 0.7 V.

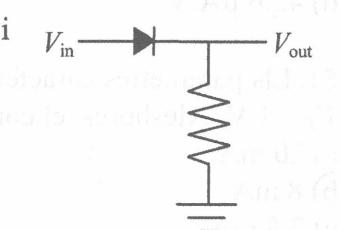
Quina de les següents afirmacions és correcte?

- a) Si  $V_A = V_B = 0$ ,  $I = 0$
- b) Si  $V_A = 0\text{ V}$  i  $V_B = 5\text{ V}$ ,  $I = 0$
- c) Si  $V_A = 5\text{ V}$  i  $V_B = 0\text{ V}$ ,  $I = 4.3\text{ mA}$
- d) Si  $V_A = V_B = 5\text{ V}$ ,  $I = 4.3\text{ mA}$



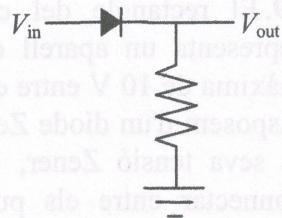
44. Si la tensió llindar del diode del circuit de la figura és de 0.7 V i  $V_{in} = 10\text{ V}$ , quina és la tensió  $V_{out}$ ?

- a) 10
- b) 9.3 V
- c) 0.7 V
- d) 0 V



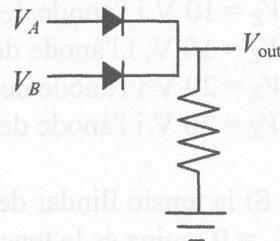
45. Si la tensió llindar del diode del circuit de la figura és de 0.7 V i  $V_{in} = 5$  V, quina és la tensió  $V_{out}$ ?

- a) 0
- b) 0.7 V
- c) 4.3 V
- d) 5 V



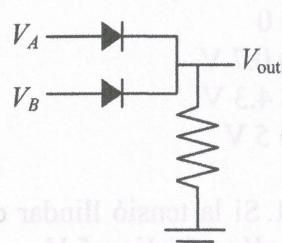
46. Si la tensió llindar dels diòdes del circuit de la figura és 0.7 V,  $V_A = 0$  i  $V_B = 5$  V, quina és la tensió  $V_{out}$ ?

- a) 0
- b) 0.7 V
- c) 4.3 V
- d) 5 V



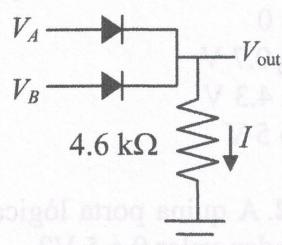
47. A quina porta lògica correspon el circuit de la figura si  $V_A$  i  $V_B$  poden valer 0 o 5 V?

- a) AND
- b) OR
- c) NAND
- d) NOR



48. La tensió llindar dels diòdes de la porta de la figura és de 0.7 V. Quina de les següents afirmacions és FALSA?

- a)  $I = 0$  si  $V_A = V_B = 0$
- b)  $I = 1.39$  mA si  $V_A = 0$  V i  $V_B = 7.5$  V
- c)  $I = 2.02$  mA si  $V_A = 10$  V i  $V_B = 0$  V
- d)  $I = 0.93$  mA si  $V_A = V_B = 5$  V

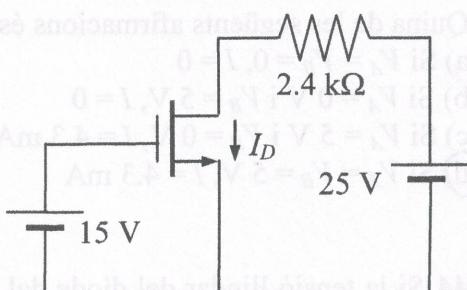


49. Quina de les afirmacions següents, referides a un transistor nMOS d'enriquiment amb una tensió llindar  $V_T$  és certa?

- a) A la regió òhmica,  $I_D$  no varia amb  $V_{DS}$ .
- b) A la regió de saturació,  $I_D$  disminueix amb  $V_{DS}$ .
- c) A la regió òhmica, la resistència font-drenador  $r_{DS}$  disminueix si  $V_{GS}$  augmenta.
- d) Està en tall quan  $V_{GS} > V_T$ .

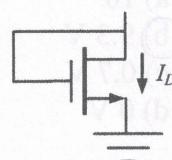
50. L'nMOS del circuit de la figura té una tensió llindar  $V_T = 1.5$  V i  $I_D = 2.5$  mA quan no opera a la regió òhmica, quin és el valor de la seva constant característica?

- a)  $19.6 \mu\text{A/V}^2$
- b)  $27.4 \mu\text{A/V}^2$
- c)  $39.6 \mu\text{A/V}^2$
- d)  $42.6 \mu\text{A/V}^2$



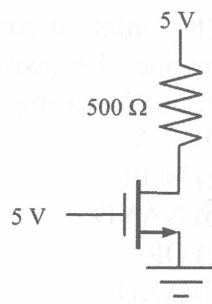
51. Els paràmetres característics de l'nMOS de la figura són  $\beta = 1 \text{ mA/V}^2$  i  $V_T = 1$  V. Aleshores, el corrent de drenador és

- a) 20 mA.
- b) 8 mA
- c) 7.5 mA
- d) 0



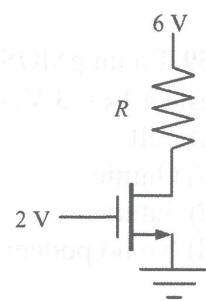
52. Si els paràmetres de l'nMOS són  $\beta = 0.125 \text{ mA/V}^2$  i  $V_T = 1 \text{ V}$ , quina de les següents afirmacions és certa?

- a) El transistor està en zona òhmica.
- b) La intensitat és nula perquè el transistor està en tall.
- c) El transistor està en saturació i  $I_D = 1 \text{ mA}$ .
- d) El transistor està en saturació i  $V_{DS} = 4 \text{ V}$ .



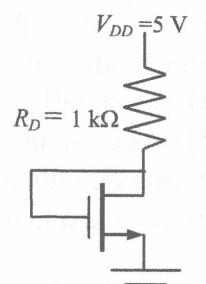
53. Si els paràmetres de l'nMOS són  $\beta = 1 \text{ mA/V}^2$  i  $V_T = 1 \text{ V}$ , quin és el valor màxim de  $R$  perquè treballi en règim de saturació?

- a)  $0.5 \text{ k}\Omega$
- b)  $1 \text{ k}\Omega$
- c)  $5 \text{ k}\Omega$
- d)  $10 \text{ k}\Omega$**



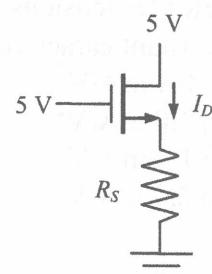
54. L'nMOS de la figura està en saturació amb  $I_D = 1 \text{ mA}$ . Si  $V_T = 1 \text{ V}$ , quin és el valor del paràmetre característic  $\beta$ ?

- a)  $0.22 \text{ mA/V}^2$**
- b)  $0.77 \text{ mA/V}^2$
- c)  $1.00 \text{ mA/V}^2$
- d)  $4.66 \text{ mA/V}^2$



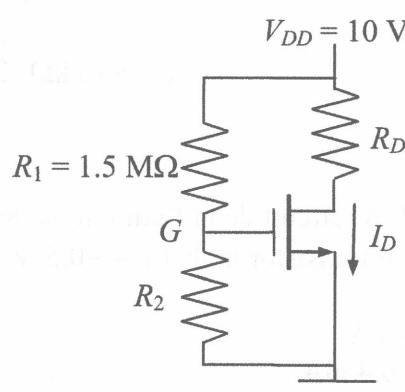
55. Els paràmetres de l'nMOS són  $\beta = 0.2 \text{ mA/V}^2$  i  $V_T = 1 \text{ V}$ . Quin és el valor de  $R_S$  perquè  $I_D = 0.4 \text{ mA}$ ?

- a)  $32 \text{ k}\Omega$
- b)  $10 \text{ k}\Omega$
- c)  $5 \text{ k}\Omega$**
- d)  $4 \text{ k}\Omega$



56. Els paràmetres característics de l'nMOS de la figura són  $V_T = 1 \text{ V}$  i  $\beta = 25 \mu\text{A/V}^2$ . Per a quins valors de  $R_2$  deixa d'estar en tall?

- a)  $R < 167 \text{ k}\Omega$
- b)  $R > 167 \text{ k}\Omega$**
- c)  $R < 1.5 \text{ M}\Omega$
- d)  $R > 1.5 \text{ M}\Omega$



57. Si al circuit de la qüestió anterior  $R_2 = 1 \text{ M}\Omega$ , per a quins valors de  $R_D$  l'nMOS estarà en saturació?

- a)  $R_D < 62.2 \text{ k}\Omega$
- b)  $R_D > 62.2 \text{ k}\Omega$**
- c)  $R_D < 1.5 \text{ M}\Omega$
- d)  $R_D > 1.5 \text{ M}\Omega$

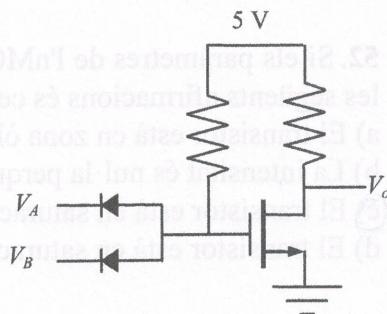
$$V_{DS} > V_g - 1$$

$$V_g = \frac{10}{1.5 \cdot 10^6} = 1 \cdot 10^{-6} = 4V$$

$$V_{DS} > 3$$

58. Tenint en compte que el circuit de la figura s'ha dissenyat perquè el transistor treballi en tall o a la zona òhmica, quina porta lògica implementa quan les tensions a les entrades valen 0 o 5 V.

- a) NOR
- b) NAND
- c) OR
- d) AND



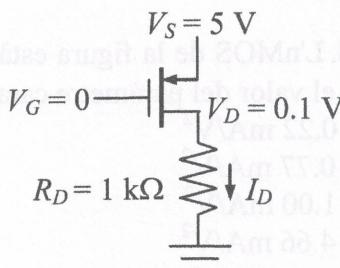
59. En un pMOS amb un tensió llindar  $V_T = -1$  V, la porta està a una tensió  $V_G = 1$  V, la font està a  $V_S = 3$  V, i el drenador a  $V_D = -2$  V. En quin règim treballa?

- a) Tall
- b) Òhmic
- c) Saturació
- d) No ho podem saber sense conèixer el valor de la constant característica del pMOS.

60. El pMOS del circuit de la figura té una tensió llindar igual a  $V_T = -1$  V, i sabem que  $V_D = 0.1$  V quan  $V_G = 0$ . Aleshores

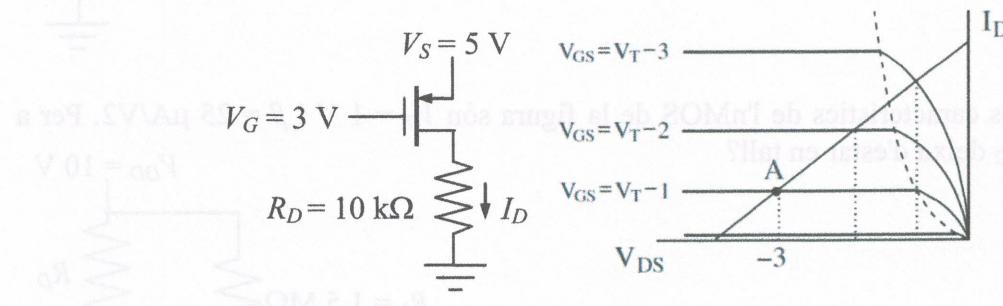
podem afirmar que

- a) està en tall.
- b) està en saturació i  $\beta = 0.0125 \text{ mA/V}^2$
- c) està en saturació i  $\beta = 1 \text{ mA/V}^2$
- d) treballa a la regió òhmica i  $\beta = 1 \text{ mA/V}^2$



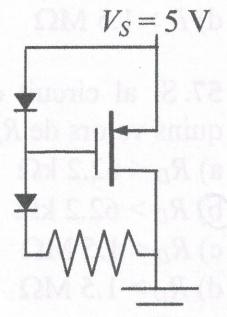
61. Al circuit de l'esquerra li correspon el punt de treball A marcat a la figura de la dreta (on totes les tensions es donen en volts). Si la tensió llindar del pMOS és  $V_T = -1$  V, el valor de la constant característica  $\beta$  és

- a)  $0.4 \text{ mA/V}^2$
- b)  $1.0 \text{ mA/V}^2$
- c)  $1.6 \text{ mA/V}^2$
- d)  $2.0 \text{ mA/V}^2$



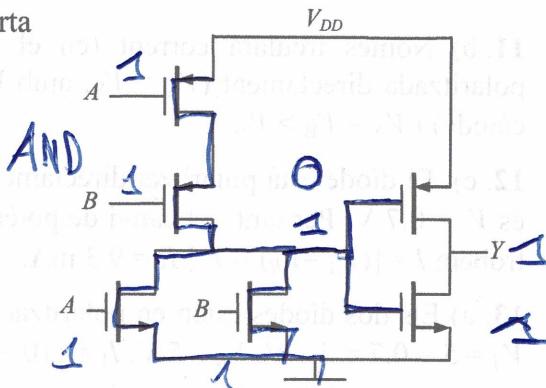
62. Al circuit de la figura hi ha dos diòdols amb una tensió llindar  $V_\gamma = 0.7$  V i un transistor amb  $V_T = -0.5$  V i  $\beta = 20 \text{ mA/V}^2$ . La intensitat de drenador es:

- b) 0 A
- c) 0.4 mA
- a) 230 mA
- d) 800 mA



63. L'esquema CMOS de la figura correspon a la porta lògica

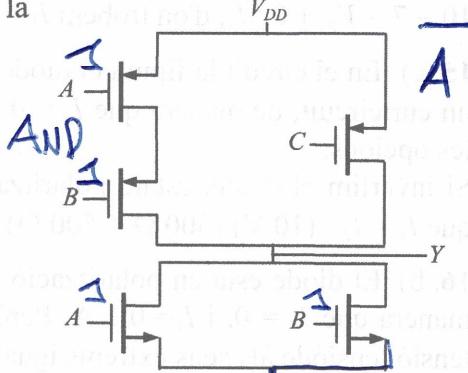
- a) NAND
- b) AND
- c) OR
- d) NOR



64. A quina funció lògica correspon el circuit CMOS de la figura

- a)  $Y = \overline{(A+B) \cdot C}$
- b)  $Y = (A+B) \cdot \overline{C}$
- c)  $Y = \overline{A \cdot B + C}$
- d)  $Y = A \cdot B + C$

$$\begin{array}{ll} A=1 & Y=0 \\ B=1 & Y= \\ C=0 & Y= \end{array}$$



$$A \cdot B + \overline{C} + C \cdot \overline{A \cdot B}$$

$$(A \cdot B + C) \cdot (\overline{A} \cdot \overline{B} + \overline{C})$$

$$(A \cdot B + C) \cdot \overline{A \cdot B + C}$$

Respostes

1. a) Es denomina intrínsec si no té impureses, i extrínsec si en té.
2. b) En un semiconductor extrínsec de tipus p els portadors majoritaris són els forats, i els electrons són els minoritaris.
3. a)
4. a)
5. c) Els portadors majoritaris en els semiconductors extrínsecs de tipus n són els electrons.
6. a)
7. b) En els semiconductors, l'energia mínima de la banda de conducció és superior a la màxima de la banda de valència, i la seva diferència s'anomena *band-gap*. La conducció en un semiconductor extrínsec tipus p és majoritàriament deguda als forats que hi ha a la banda de valència. En els semiconductors extrínsecs de tipus n el nombre d'electrons és molt superior al de forats. En els semiconductors intrínsecs el nombre d'electrons és el mateix que el de forats.
8. b) Els parells electró-forat es formen gràcies a l'energia d'agitació tèrmica del cristall.
9. c) El semiconductor conté impureses d'Arsènic i, per definició, no és intrínsec. Atès que l'Arsènic té un electró de valència més que el Silici, es tracta d'un impuresa donadora. Per tant, és un semiconductor dopat amb impureses donadores.
10. b) La llum emesa pel LED prové de l'energia alliberada en les recombinacions electró-forat, principalment a la zona de transició.

11. b) Només circularà corrent (en el sentit indicat al dibuix) quan la unió pn estigui polaritzada directament ( $V_A > V_B$ , amb la part p, l'ànode, a un potencial més alt que la n, el càtode) i  $V_A - V_B > V_\gamma$

12. c) El diòde està polaritzat directament i condueix, de manera que la ddp als seus extrems és  $V_\gamma = 0.7$  V. Per tant, el canvi de potencial anant del punt B a l'A,  $V_A - V_B = RI + V_\gamma$ , i d'on trobem  $I = [(V_A - V_B) - V_\gamma]/R = 9.3$  mA.

13. a) Els dos diòdes estan en polarització directa i la ddp als seus borns és 0.7 V. Aleshores  $V_A = 5 - 0.7 = 4.3$  V,  $V_B = 5$  V,  $I_1 = (10 - 5)/1 = 5$  mA i  $I_2 = (4.3 - 0)/1 = 4.3$  mA.

14. a) El diòde de la dreta està en polarització inversa i  $I_2 = 0$ . D'altra banda s'ha de satisfer  $10 - 7 = V_\gamma + 0.5I_1$ , d'on trobem  $I_1 = 4.6$  mA =  $I_3$  i  $R = 7/4.6 = 1.5217$  k $\Omega$ .

15. c) En el circuit la figura el diòde està polaritzat directament i, si és ideal ( $V_\gamma = 0$ ) equival a un curtcircuit, de manera que  $I_2 = 0$  i  $I_1 = (10 \text{ V})/(500 \Omega) = 0.02$  A que no correspon a cap de les opcions.

Si invertim el diòde, estarà polaritzat inversament i equivaldrà a un circuit obert, de manera que  $I_1 = I_2 = (10 \text{ V})/(500 \Omega + 500 \Omega) = 0.01$  A.

16. b) El diòde està en polarització directe. Si és ideal, es comportarà com un curtcircuit, de manera que  $I_2 = 0$ , i  $I_1 = 0.1$  A. Però si no és ideal, també ceixrà passar el corrent amb una tensió tensió als seus extrems igual a  $V_\gamma = 0.7$  V i, per tant  $I_2 = 7$  mA.

17. d) Pel condensador, un vegada carregat, no circula corrent. El diòde està en polarització inversa i no hi passa corrent. Per tant, pel circuit no circula corrent i la tensió a borns del condensador és  $V = 20$  V. Llavors,  $Q = CV = 20$  nC

18. a) El diòde està en polarització inversa i no hi passa corrent. Per tant, per les dues resistències circula el mateix corrent  $I = (15 \text{ V})/(5 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega) = 1$  mA.

19. d) Quan el diòde deixa passar el corrent, la tensió entre els seus terminals és pràcticament constant i igual a  $V_\gamma$ . Atès que la tensió als extrems de  $R$ , coincideix amb la del diòde, la intensitat ( $I_R = V_\gamma / R$ ) no variarà i l'augment de la intensitat total implicarà un increment de la intensitat que passa pel diòde.

20. c) Obviament el LED conduceix ja que en cas contrari no consumiria  $P = 0.03 \text{ W} = V_\gamma I$  i, per tant, pel circuit circula  $I = P/V_\gamma$ , i la ddp als extrems del LED és  $V_\gamma$ . Aleshores s'ha de satisfer  $\varepsilon = V_\gamma + RI = V_\gamma + RP/V_\gamma = (0.9 \text{ V}) + (175 \Omega)(0.03 \text{ W})/(0.9 \text{ V}) = 6.73 \text{ V}$

21. c) Si suposem que el diòde no conduceix, per les resistències de  $50 \Omega$  i  $20 \Omega$ , circularia una intensitat  $I' = 10/70 = 0.143$  A, de manera que la tensió al diòde, que és la de la resistència de  $20 \Omega$ ,  $V_d = V_{20} = 20I' = 2.857$  V, és més gran que  $V_\gamma$  i, per tant, la suposició és errònia i conduexi amb  $V_d = V_{20} = V_\gamma = 1.2$  V. Llavors, per la resistència de  $20 \Omega$  circula  $I_{20} = 1.2/20 = 0.06$  A, per la de  $50 \Omega$  circula  $I_{50} = (10 - 1.2)/50 = 176$  mA, i pel diòde  $I = I_{50} - I_{20} = 116$  mA. Per tant la potència consumida pel LED és  $P = V_\gamma I = 0.139 \text{ W} \approx 0.14 \text{ W}$ .

22. b) B està polaritzat directament, mentre que A és en inversa.

23. c) El diòde de la dreta està polaritzat directament i, per tant, conduceix amb una ddp al seu extrems de 0.7 V. Si suposem que el Zener no conduceix, per les dues resistències circula el mateix corrent  $I' = (13 - 0.7)/(200 + 100) = 0.041$  A, la qual cosa implica que la ddp al Zener és  $(13 \text{ V}) - (100 \Omega)(0.041 \text{ A}) = 8.9 \text{ V}$ , que és inferior  $V_Z = 10 \text{ V}$  i, efectivament el Zener no conduceix com hem suposat.

**24. c)** El diode de la dreta està polaritzat directament i, per tant, condueix amb una ddp al seus extrems de 1.2 V. Si suposem que el Zener no condueix, per les dues resistències circularia el mateix corrent  $I' = (45 - 1.2) / (30 + 15) = 0.97$  A, la qual cosa implicaria que la ddp al Zener zeria ( $45$  V) – ( $30 \Omega$ ) ( $0.97$  A) =  $14.6$  V, que és superior a  $V_Z = 10$  V i implicaria que el Zener condueix contrariament al que hem suposat. Per tant, el Zener condueix amb un ddp als seus extrems igual a  $V_Z = 10$  V. Aleshores, la ddp als extrems de la resistència de  $15 \Omega$  és  $(10 - 1.2)$  V i hi circula un corrent de  $(10 - 1.2) / 15 = 0.59$  A.

**25. c)**  $D_1$  està polaritzat directament i condueix amb un ddp als seus extrems  $V_\gamma = 0.7$  V, que també és la ddp als extrems de la resistència de  $14 \Omega$  i  $D_2$ , que està polaritzat inversament i no deixa passar el corrent perquè la ddp als seus extrems és  $0.7$  V <  $V_Z = 10$  V. Aleshores la potència díssipada a la resistència de  $14 \Omega$  és  $(0.7 \text{ V})^2 / (14 \Omega) = 0.035$  W.

**26. c)** El Zener de la dreta està polaritzat directament i, com que la fem és de  $20$  V, condueix amb un ddp als seus extrems igual a  $V_\gamma = 0.7$  V, que també és la ddp als extrems de  $R_2$ . El de l'esquerra està polaritzat inversament i, com que la ddp als seus extrems és  $0.7$  V, no deixa passar el corrent. Aleshores,  $I_2 = V_\gamma / R_2 = 0.7$  mA,  $I_1 = (20 - V_\gamma) / R_1 = 19.3$  mA i la intensitat pel diode de la dreta és  $I = I_1 - I_2 = 18.6$  mA.

**27. c)** Pel condensador, un vegada carregat, no circula corrent. El diode Zener està en polarització inversa, però, com que la fem de  $20$  V és més gran que  $V_Z = 10$  V, deixa passar corrent i la tensió als seus borns és  $V = V_Z = 10$  V, que és la tensió a borns del condensador perquè per la resistència de la dreta no passa corrent. Llavors,  $Q = CV = 10$  nC.

**28. b)** El Zener està en polarització inversa. Com que la fem de la bateria de  $5$  V és inferior a  $V_Z = 10$  V, pel Zenner no passa corrent i només circula  $I = (5 \text{ V}) / (3 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega) = 1$  mA per la malla exterior. Aleshores, la potència dissipada a la resistència  $R_2 = 4 \text{ k}\Omega$  és  $P = R_2 I^2 = 4$  mW.

**29. b)** El Zener està en polarització inversa. Si pel Zener no passes corrent, per la malla exterior circularia  $I = (20 \text{ V}) / (1 \text{ k}\Omega + 4 \text{ k}\Omega) = 4$  mA, i la tensió a borns del Zener (la fem Thèvenin del circuit sense Zener entre els punts als quals es connecta el Zenner) seria la de  $R_2$ , és a dir,  $\varepsilon_{\text{Th}} = R_2 I = (4 \text{ k}\Omega)(4 \text{ mA}) = 16$  V. Ara bé, atès que  $\varepsilon_{\text{Th}} = 16$  V >  $V_Z = 10$  V, pel Zener passa corrent i la tensió als seus borns és  $V = V_Z = 10$  V, que és la tensió a borns de  $R_2$ . Per tant, la potència dissipada en aquesta resistència és  $P = V^2 / R_2 = 25$  mW.

**30. a)** El Zener està en polarització inversa. Si pel Zener no passa corrent, per la malla externa circula  $I = (20 \text{ V}) / (3 \text{ k}\Omega + 2 \text{ k}\Omega) = 4$  mA, i la tensió a borns del Zener (la fem Thèvenin del circuit sense Zener entre els punts als quals es connecta el Zenner) és la de  $R_2$ , és a dir,  $\varepsilon_{\text{Th}} = R_2 I = (2 \text{ k}\Omega)(4 \text{ mA}) = 8$  V. Atès que  $\varepsilon_{\text{Th}} = 8$  V <  $V_Z = 10$  V, comprovem que pel Zener no passa corrent, com hem suposat d'entrada, de manera que la potència dissipada al diode és nul·la, a  $R_2$  és  $P = R_2 I^2 = 0.032$  W =  $32$  mW, i de forma similar a  $R_1$  és  $48$  mW.

**31. a)** El Zener està polaritzat directament i, com que la fem de la bateria de  $20$  V és més gran que  $V_\gamma = 0.7$  V, deixa passar corrent. Llavors, la tensió als seus borns és  $V = V_\gamma = 0.7$  V, que és la tensió a  $R_2$ , de manera que la potència dissipada a  $R_2$  és  $P = V^2 / R_2 = 0.245$  mW.

**32. c)** Procedint de forma anàloga a les qüestions anteriors,

$$I = \varepsilon / (R_1 + R_2) \rightarrow \varepsilon_{\text{Th}} = R_2 I = 13 \text{ V} > V_Z = 10 \text{ V} \rightarrow I_Z \neq 0 \quad \text{i} \quad V_2 = V_Z = 10 \text{ V}$$

$$I_2 = V_2 / R_2 = 5 \text{ mA} \quad \text{i} \quad P_2 = V_2 I_2 = 50 \text{ mW}$$

$$I_1 = (\varepsilon - V_Z) / R_1 = 16.8 \text{ mA} \quad \text{i} \quad P_1 = R_1 I_1^2 = 84 \text{ mW} \quad \text{i} \quad P_r = r I_1^2 = 0.563 \text{ mW}$$

$$I_Z = I_1 - I_2 = 11.8 \text{ mA} \quad \text{i} \quad P_Z = V_Z I_Z = 118 \text{ mW}$$

**33. a)** El Zener està en polarització inversa. Si no conduís, per les dues resistències circularien  $20/(100+100) = 0.1 \text{ A}$  i la ddp als seus extrems seria de  $10 \text{ V} > 8 \text{ V} = V_Z$ . Per tant conduceix i la ddp als seu extrems és  $= V_Z = 8 \text{ V} = (100 \Omega)I_2$ , d'on trobem  $I_2 = 8/100 = 80 \text{ mA}$ ,  $I_1 = (20-8)/100 = 120 \text{ mA}$  i  $I_Z = 120 - 80 = 40 \text{ mA}$ .

**34. a)** Si el Zener no conduceix, només circularà un corrent  $I' = \mathcal{E}/(300+75)$  i la ddp als extrems del Zener serà la de la resistència de  $75 \Omega$ , és a dir,  $75I' = 75\mathcal{E}/(300+75) = 0.2\mathcal{E}$ . Això es així sempre i quan  $0.2\mathcal{E} < V_Z$ . Però quan  $0.2\mathcal{E} > V_Z = 10 \text{ V}$  i, per tant  $\mathcal{E} > 10/0.2 = 50 \text{ V}$ , el Zener conduceix.

**35. a)** El Zener està en polarització inversa i quan no conduïx per les dues resistències cirularia la mateixa intensitat  $I' = 18/(1+R)$  i la ddp als seus extrems és de  $(1 \text{ k}\Omega)I' < V_Z$ . Però quan  $(1 \text{ k}\Omega)I' > V_Z$  condirà, la qual cosa vol dir que s'ha de complir  $(1 \text{ k}\Omega)I' = 18/(1+R) > V_Z = 10 \text{ V}$ , d'on deduim que, perquè el Zener conduceixi,  $R < 18/10 - 1 = 0.8 \text{ k}\Omega$ .

**36. d)** Si el diode és a la zona Zener,  $I_Z \neq 0$  i la tensió als seus borns és  $V_Z$  independentment del valor de  $I_Z$ . Per tant, la tensió a la resistència és mante constant a  $V_Z$  i el valor de  $I_R$  no canvia, encara que  $I$  i  $I_Z = I - I_R$  augmentin.

**37. c)** El diode treballa a la zona Zener. Per tant, la tensió a  $R_3$  val  $V_Z = 10 \text{ V}$  i, la potència dissipada a  $R_3$  val  $P = V_Z^2/R_3 = (10 \text{ V})^2/(3 \Omega) \approx 33.3 \text{ W}$ .

**38. c)** Les dues branques estan connectades en paral·lel a la fem. Per tant,  $I_1 = 250/5 = 50 \text{ mA}$  D'altra banda, el Zener conduceix perquè  $250 \text{ V} > V_Z = 25 \text{ V}$  i la ddp als seus extrems és  $V_Z$ , de manera que la ddp a la resistència de  $1.5 \text{ k}\Omega$  és  $(250-25) \text{ V} = 225 \text{ V}$  i  $I_2 = 225/1.5 = 150 \text{ mA}$ .

**39. b)** En un diode Zener polaritzat inversament la tensió mai és superior a  $V_Z$ .

**40. b)** Si  $V_{in} = 0$ , el diode està polaritzat directament, deixa passar corrent i la tensió als seus borns ( $V_{out} - V_{in}$ ) és la tensió llindar  $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$ . Per tant,  $V_{out} = V_{out} - V_{in} = V_\gamma = 0.7 \text{ V}$ .

**41. b)** El diode amb  $V_B = 5 \text{ V}$  no està polaritzat directament i es comporta com un interruptor obert que no deixa passar corrent. El diode amb  $V_A = 0$  està polaritzat directament, deixa passar corrent i la la tensió als seus borns ( $V_{out} - V_A$ ) és la tensió llindar  $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$ . Per tant,  $V_{out} = V_{out} - V_A = V_\gamma = 0.7 \text{ V}$ .

**42. a)** Com hem vist a la qüestió anterior, si  $V_A = 0$  o  $V_B = 0$ ,  $V_{out} = 0.7 \text{ V}$ . I si  $V_A = V_B = 5 \text{ V}$  no passa corrent i  $V_{out} = 5 \text{ V}$ . Per tant, a partir de les taules següents veiem que és una AND.

$V_A$	$V_V$	$V_{out}$
0 V	0 V	0.7 V
0 V	5 V	0.7 V
5 V	0 V	0.7 V
5 V	5 V	5 V

$A$	$B$	AND
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

**43.** Si  $V_A = 0$  o  $V_B = 0$ , el diode corresponent estarà en polarització directa, deixarà passar corrent i la tensió als seus extrems serà  $0.7 \text{ V}$ , que serà la igual a  $V_{out}$ , de manera que la ddp a la resistència serà  $(5 \text{ V}) - (0.7 \text{ V}) = 4.3 \text{ V}$  i  $I = (4.3 \text{ V})/(1 \text{ k}\Omega) = 4.3 \text{ mA}$ . La intensitat  $I$  només serà la nu-la quan cap dels dos diodes estigui polaritzat directament, la qual cosa correspon a  $V_A = V_B = 5 \text{ V}$ .

**44. b)** Si  $V_{in} = 10 \text{ V}$ , el diode està polaritzat directament, deixa passar corrent i la tensió als seus borns ( $V_{in} - V_{out}$ ) és la tensió llindar  $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$ , és a dir  $V_{in} - V_{out} = V_\gamma$ . Per tant,  $V_{out} = V_{in} - V_\gamma = 9.3 \text{ V}$ .

**57. b)** Com que no passa corrent per la porta i la font està connectada a terra ( $V_S = 0$ ), per  $R_1$  i  $R_2$  circula  $I = 10/2500 = 0.004$  m, i la tensió a  $G$  és  $V_{GS} = RI = 4$  V >  $V_T = 1$ , de manera que l'nMOS no està en tall. Si està en saturació,  $I_D = \beta(V_{GS}-V_T)^2/2 = 0.1125$  mA sempre i quan  $V_{GS}-V_T < V_{DS}$ , on  $V_{DS} = V_{DD}-R_D I_D = 10 - 0.1125 R_D$ . Per tant, s'ha de satisfet  $4 - 1 < 10 - 0.1125 R_D$ , d'on surt que  $R_D < 62.2$  k $\Omega$ .

**58. b)** Si la tensió a una de les entrades és nul·la, el diode corresponent conduirà i la tensió a la porta del transistor serà prou petita perquè estigui en tall i  $V_o = 5$  V. Però si la tensió a les dues és de 5 V, cap dels diòdes conduirà i la tensió a la porta del transistor serà de 5 V, de manera que aquest estarà a la zona òhmica (és una porta lògica) i  $V_o$  serà prou petita. Per tant, a partir de la taula lògica es veu que es tracta d'una NAND. De fet, també es pot deduir tenint en compte que els diòdes formen una AND amb la sortida a un inversor nMOS.

**59. c)** A partir de les dades  $V_T = -1$  V,  $V_G = 1$  V,  $V_S = 3$  V i  $V_D = -2$  V:  $V_{GS} = V_G - V_S = (1\text{ V}) - (3\text{ V}) = -2\text{ V} < V_T = -1\text{ V}$ . Per tant, el pMOS no estarà en tall.  $V_{GT} = V_{GS} - V_T = (-2\text{ V}) - (-1\text{ V}) = -1\text{ V}$ .  $V_{DS} = V_D - V_S = (-2\text{ V}) - (3\text{ V}) = -5\text{ V} < V_{GT} = -1\text{ V}$ , que correspon al règim de saturació.

**60. b)** Si  $V_D = 0.1$  V, que és la ddp a  $R = 1$  k $\Omega$ ,  $I_D = V_D/R = 0.1$  mA i, com que  $V_S = 5$  V,  $V_{DS} = V_D - V_S = -4.9$  V. D'altra banda, si  $V_G = 0$ ,  $V_{GS} = V_G - V_S = -5$  V i  $V_{GT} = V_{GS} - V_T = -4$  V. Per tant,  $0 > V_{GT} > V_{DS}$ , la qual cosa implica que el transistor està en saturació amb  $I_D = \beta(V_{GT})^2/2 = 0.1$  mA, d'on trobem que  $\beta = 0.0125$  mA/V<sup>2</sup>.

**61. c)** A partir de les dades  $V_T = -1$  V,  $V_G = 3$  V i  $V_S = 5$  V, calculem  $V_{GS} = V_G - V_S = -2$  V i  $V_{GT} = V_{GS} - V_T = -1$  V. D'altra banda, veiem que el punt  $A$  pertany a la corba característica per a  $V_{GS} = V_T - 1 = -2$  V, en consonància amb el resultat anterior, i que està en la zona de saturació, on  $I_D = (\beta/2)(V_{GT})^2$ . També veiem que  $A$  correspon a  $V_{DS} = V_D - V_S = -3$  V, la qual cosa implica que  $V_D = V_{DS} + V_S = 2$  V. I, com que també s'ha de satisfet  $V_D = R_D I_D = R_D(\beta/2)(V_{GT})^2$ , trobem que  $\beta = 2V_D/[R_D(V_{GT})^2] = 2(2\text{ V})/[(1\text{ k}\Omega)(-1\text{ V})^2] = 0.4$  mA/V<sup>2</sup>.

**62. b)** Atés que  $V_S = 5$  V, els dos diòdes estan polaritzats directament. Per tant, conduceixen i la ddp als extrems de cadascun és  $V_\gamma = 0.7$  V, de manera que la tensió a la porta del pMOS és  $V_G = V_S - V_\gamma = 4.3$  V, d'on trobem que  $V_{GS} = V_G - V_S = -0.7$  V,  $V_{GT} = V_{GS} - V_T = -0.2$  V. D'altra banda, com que el drenador està connectat a terra,  $V_D = 0$ ,  $V_{DS} = V_D - V_S = -0.5$  V i veiem que  $0 > V_{GT} > V_{DS}$ , la qual cosa implica que el pMOS treballa a la regió de saturació amb una intensitat de drenador  $I_D = \beta(V_{GT})^2/2 = 0.4$  mA.

**63. c)** La part de l'esquerra amb entrades A i B) és una porta NOR amb CMOS, i la seva sortida està connectada a l'entrada d'un inversor CMOS. Per tant, a la sortida  $V_{out}$  és la negació d'una NOR i tenim una porta OR.

**64. c)** La part de l'esquerra amb entrades A i B) és una porta NOR amb CMOS, i la seva sortida està connectada a l'entrada d'un inversor CMOS. Per tant, a la sortida  $V_{out}$  és la negació d'una NOR i tenim una porta OR.

En aquest problema, el que fa que la solució sigui molt més fàcil és que el circuit està connectat a terra a través d'una resistència de 10 k $\Omega$ . Així, la tensió a la sortida de la porta NOR (que és la tensió a la base de l'inversor) sempre serà menor o igual a 5 V. Així, la sortida de l'inversor sempre serà 1 (ràtzia). La sortida final de l'OR també sempre serà 1, ja que sempre que la tensió a la sortida de la NOR sigui menor o igual a 5 V, la tensió a la sortida de l'OR (que és la tensió a la base de l'inversor) sempre serà menor o igual a 5 V, i així la sortida de l'inversor sempre serà 1.

**45. c)** Si  $V_{in} = 5$  V, el diode està polaritzat directament, deixa passar corrent i la tensió als seus borns ( $V_{in}-V_{out}$ ) és  $V_\gamma = 0.7$  V, és a dir  $V_{in}-V_{out}=V_\gamma$ . Per tant,  $V_{out} = V_{in}-V_\gamma = 4.3$  V.

**46. c)** El diode amb  $V_A = 0$  no està polaritzat directament i es comporta com un interruptor obert que no deixa passar corrent. El diode amb  $V_B = 5$  V està polaritzat directament, deixa passar corrent i la tensió als seus borns ( $V_B-V_{out}$ ) és la tensió llindar  $V_\gamma = 0.7$  V, és a dir,  $V_B-V_{out}=V_\gamma$ . Per tant,  $V_{out} = V_B-V_\gamma = 4.3$  V.

**47. b)** Si  $V_A = V_B = 0$  cap diode condueix i, per tant,  $I = 0$ . Si  $V_A = 10$  V i  $V_B = 0$ , el diode B no conduceix i l'A sí, de manera que la ddp als extrems del diode A és la llindar de 0.7 V i a la resistència és  $(10-0.7)$  V i, per tant,  $I = (9.3\text{ V})/(4.6\text{ k}\Omega) = 2.02\text{ mA}$ . Si  $V_A = V_B = 5$  V, els dos diode condueixen i la ddp als seus extrems és la llindar de 0.7 V i al resistència és  $(5-0.7)$  V i, per tant,  $I = (4.3\text{ V})/(4.6\text{ k}\Omega) = 0.93\text{ mA}$ . Però, si Si  $V_A = 0$  i  $V_B = 7.5$  V, el diode A no conduceix i el B sí, de manera que la ddp als extrems del diode B és la llindar de 0.7 V i a la resistència és  $(7.5-0.7)$  V i, per tant,  $I = (6.8\text{ V})/(4.6\text{ k}\Omega) = 1.48\text{ mA}$ .

**48. b)** Com hem vist a la qüestió anterior, si  $V_A = 5$  V o  $V_B = 5$  V,  $V_{out} = 4.3$  V. En canvi, quan  $V_A = V_B = 0$  no passa corrent i  $V_{out} = 0$ . I fent taules següents, veiem que és una OR.

$V_A$	$V_B$	$V_{out}$
0 V	0 V	0.7 V
0 V	5 V	4.3 V
5 V	0 V	4.3 V
5 V	5 V	4.3 V

$A$	$B$	OR
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

**49. c)**

**50. b)** Si  $I_D = 2.5$  mA i l'nMOS no treballa en la regió òhmica, treballa en règim de saturació i es compleix  $I_D = (\beta/2)(V_{GT})^2$  on  $V_{GT} = V_{GS} - V_T = (15\text{ V}) - (1.5\text{ V}) = 13.5$  V. Per tant  $\beta = 2I_D/(V_{GT})^2 = 2(2.5\text{ mA})/13^2 = 0.027\text{ mA/V}^2$

**51. b)** Al circuit  $V_{DS} = V_{GS} = 5$  V perquè la porta G i el drenador D estan connectades al mateix punt de 5 V i la font a Terra. Per tant  $V_{GT} = V_{GS} - V_T = 4\text{ V} < V_{DS} = 5\text{ V}$  i l'nMOS està en saturació amb  $I_D = (\beta/2)(V_{GT})^2 = 8\text{ mA}$ .

**52. c)**  $V_{GT} = V_{GS} - V_T = 5\text{ V} - 1\text{ V} = 4\text{ V} > 0$  implica que no està en tall. Si suposem que està saturació tenim  $I_D = (\beta/2)(V_{GT})^2 = 1\text{ mA}$  i  $V_{DS} = 5 - 0.5I_D = 4.5\text{ V} > V_{GT} = 4\text{ V}$ , tal com s'ha de satisfer per estar en saturació.

**53. d)**  $V_{GT} = (V_{GS} - V_T) = 1\text{ V}$ . En saturació  $I_D = (\beta/2)(V_{GT})^2 = 0.5\text{ mA}$  i  $V_{DS} = 6 - RI_D > V_{GT}$ , d'un trobem que  $R \leq 10\text{ k}\Omega$ .

**54. a)** En aquest circuit  $V_G = V_D$ . Si  $I_D = 1\text{ mA}$ ,  $V_D = V_{DD} - R_D I_D = 4\text{ V} = V_G$  i, com que S està connectat a terra,  $V_{GS} = V_{DS} = 4\text{ V}$  i  $V_{GT} = V_{GS} - V_T = 3\text{ V} < V_{DS}$ , la qual cosa confirma que el transistor està en saturació amb  $I_D = (\beta/2)(V_{GT})^2 = 1\text{ mA}$ . Aleshores, aïllant  $\beta$  tenim  $\beta = 2I_D/(V_{GT})^2 = 2(1\text{ mA})/(3\text{ V})^2 = 0.22\text{ mA/V}^2$

**55. c)** Com que  $V_G = V_D = 5\text{ V}$ ,  $0 < V_G - V_T = 4\text{ V} < V_D = 5\text{ V}$ . Per tant, l'nMOS està en saturació per a qualsevol valor de  $V_S$  entre 0 i 5 V amb  $I_D = \beta(V_{GS} - V_T)^2/2 = 0.4\text{ mA}$ , d'on aïllem  $V_{GS} = V_G - V_S$  i trobem que  $V_S = 2\text{ V}$ . Per tant,  $R_S = V_S/I_D = 5\text{ k}\Omega$ .

**56. b)** Com que no passa corrent per la porta i la font està connectada a terra ( $V_S = 0$ ), per  $R_1$  i  $R_2$  circula  $I = 10/(1500+R_2)$  i la tensió a G és  $V_G = V_{GS} = R_2 I = R_2[10/(1500+R_2)]$ . Perquè no estar en tall  $V_T < V_{GS}$ , és a dir  $1 < R_2[10/(1500+R_2)]$ , d'on surt que  $R_2 > 167\text{ k}\Omega$ .

## Qüestions d'Ones

1. Indiqueu quan valen, respectivament, la longitud d'ona, la velocitat de propagació i l'amplitud de l'ona harmònica representada per  $y(x,t) = (15 \text{ cm}) \sin(100\pi x - 2000\pi t + 0.5\pi)$ , on  $x$  és en metres i  $t$  en segons.

- a) 0.2 m, 20 m/s, 15 m
- b)** 0.02 m, 20 m/s, 15 cm
- c) 50 cm, 0.05 m/s, 15 cm
- d) 0.02 m, 20 m/s, 15 m

2. Una ona de longitud d'ona  $\lambda = 5 \text{ m}$  es propaga per una corda de dreta a esquerra amb una velocitat de 20 m/s. Si la seva màxima elongació és  $4\sqrt{2} \text{ m}$ , la funció d'ona que la descriu és (en unitats del SI)

- a)**  $y(x,t) = (4\sqrt{2} \text{ m}) \sin(1.26x + 25.13t)$
- b)  $y(x,t) = (4 \text{ m}) \sin(1.26x - 25.13t)$
- c)  $y(x,t) = (4 \text{ m})(25.13x - 1.26t)$
- d)  $y(x,t) = (4\sqrt{2} \text{ m}) \sin(25.13x + 1.26t)$

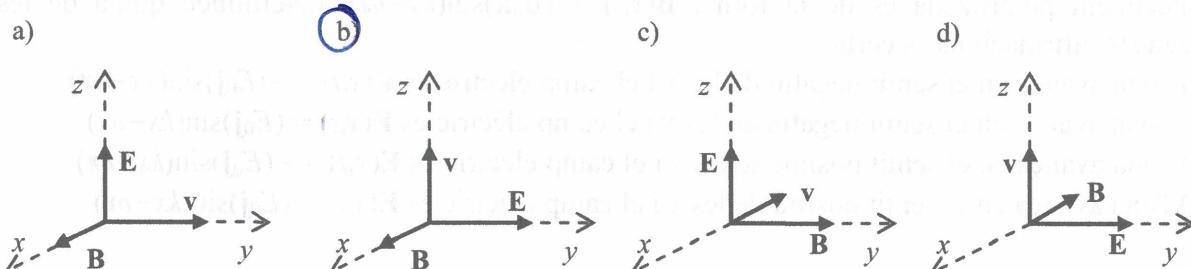
3 Una ona harmònica té una funció d'ones  $y(x,t) = A \sin\left[2\pi\left(\frac{x}{2} - \frac{t}{4}\right)\right]$  on  $x$  s'expressa en cm i  $t$  en s. Podem afirmar que la diferència de fase:

- a) Entre 2 punts separats 0.5 cm és de  $45^\circ$ .
- b) Entre 2 punts separats 4 cm és de  $90^\circ$ .
- c) En un cert punt, en un interval de 3 s, és de  $45^\circ$ .
- d)** En un cert punt, en un interval de 2 s, és de  $180^\circ$ .

4. El camp elèctric i el camp magnètic d'una ona electromagnètica són

- a) perpendiculars entre si i paral·lels a la direcció de propagació de l'ona.
- b)** perpendiculars entre si i a la direcció de propagació de l'ona.
- c) paral·lels a la direcció de propagació de l'ona.
- d) paral·lels entre si i perpendiculars a la direcció de propagació de l'ona.

5. A les quatre figures es representen els valors instantanis en un punt de l'espai del camp elèctric  $\mathbf{E}$  i del camp magnètic  $\mathbf{B}$  d'una ona electromagnètica que es propaga amb velocitat  $v$ . Quina representació és INCORRECTA?



6. Una ona electromagnètica es propaga en el sentit negatiu de l'eix de les  $y$ . El camp elèctric en un punt de l'espai està dirigit instantàniament en el sentit positiu de l'eix de les  $x$ . En aquest punt i en el mateix instant, el camp magnètic està dirigit en el

- a) sentit negatiu de l'eix de les  $x$
- b) sentit positiu de l'eix de les  $y$
- c) sentit positiu de l'eix de les  $z$**
- d) sentit negatiu de l'eix de les  $z$



7. Una ona electromagnètica es propaga en el sentit negatiu de l'eix de les  $y$ . El camp elèctric en un punt de l'espai està dirigit instantàniament en el sentit negatiu de l'eix de les  $z$ . En aquest punt i en el mateix instant, el camp magnètic està dirigit en el

- a) sentit negatiu de l'eix de les  $x$
- b) sentit positiu de l'eix de les  $y$
- c) sentit positiu de l'eix de les  $x$**
- d) sentit negatiu de l'eix de les  $z$

8 Una ona electromagnètica es propaga en el sentit negatiu de l'eix de les  $z$ . El camp elèctric en un punt de l'espai està dirigit instantàniament en el sentit positiu de l'eix de les  $x$ . En aquest punt i en el mateix instant, el camp magnètic està dirigit en el

- a) sentit negatiu de l'eix de les  $x$
- b) sentit positiu de l'eix de les  $y$
- c) sentit positiu de l'eix de les  $z$
- d) sentit negatiu de l'eix de les  $y$**

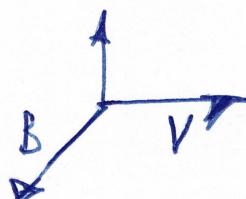


9. Sabent que el camp elèctric associat a una ona electromagnètica plana, harmònica i linealment polaritzada és de la forma  $\mathbf{E}(x,t) = (E_0\mathbf{k})\sin(kx - \omega t)$ , determineu quina de les següents afirmacions és certa:

- a) l'ona avança en el sentit negatiu de les  $x$  i el camp magnètic és  $\mathbf{B}(x,t) = -(B_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$
- b) l'ona avança en el sentit negatiu de les  $x$  i el camp magnètic és  $\mathbf{B}(x,t) = (B_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$
- c) l'ona avança en el sentit positiu de les  $x$  i el camp magnètic és  $\mathbf{B}(x,t) = -(B_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$**
- d) l'ona avança en el sentit positiu de les  $x$  i el camp magnètic és  $\mathbf{B}(x,t) = (B_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$

10 Sabent que el camp magnètic associat a una ona electromagnètica plana, harmònica i linealment polaritzada és de la forma  $\mathbf{B}(x,t) = (B_0\mathbf{k})\sin(kx - \omega t)$ , determineu quina de les següents afirmacions és certa:

- a) l'ona avança en el sentit negatiu de les  $x$  i el camp elèctric és  $\mathbf{E}(x,t) = -(E_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$
- b) l'ona avança en el sentit negatiu de les  $x$  i el camp elèctric és  $\mathbf{E}(x,t) = (E_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$
- c) l'ona avança en el sentit positiu de les  $x$  i el camp elèctric és  $\mathbf{E}(x,t) = -(E_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$
- d) l'ona avança en el sentit positiu de les  $x$  i el camp elèctric és  $\mathbf{E}(x,t) = (E_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$**



11 La funció d'ona del camp magnètic d'una ona electromagnètica harmònica, plana i linealment polaritzada que es propaga en el sentit positiu de l'eix de les  $x$  és  $\mathbf{B}(x,t) = B_0 \mathbf{k} \sin(kx - \omega t)$ . Quan aquesta ona es reflecteix en una superfície metàl·lica (perpendicular a la direcció de propagació), el camp elèctric inverteix la fase (passa a orientar-se en sentit oposat al d'incidència). Quina és la funció d'ona del camp magnètic reflectit?

- a)  $\mathbf{B}(x,t) = B_0 \mathbf{k} \sin(kx - \omega t)$
- b)  $\mathbf{B}(x,t) = B_0 \mathbf{k} \sin(kx + \omega t)$**
- c)  $\mathbf{B}(x,t) = -B_0 \mathbf{k} \sin(kx - \omega t)$
- d)  $\mathbf{B}(x,t) = -B_0 \mathbf{k} \sin(kx + \omega t)$

12. Quina de les següents afirmacions referida a les ones electromagnètiques és certa?

- a) Transporten la mateixa quantitat d'energia elèctrica que d'energia magnètica.**
- b) Necessiten d'un medi material per propagar-se.
- c) Estan constituïdes per un camp elèctric i un camp magnètic que oscil·len en direccions paral·leles entre sí i paral·leles a la direcció de propagació.
- d) Estan constituïdes per un camp elèctric i un camp magnètic que oscil·len en direccions paral·leles entre sí i perpendiculars a la direcció de propagació

13. L'antena d'una emissora de ràdio emet ones harmòniques esfèriques amb una potència mitjana de 10 kW. Si el senyal ens arriba amb una intensitat de  $10^{-4}$  W/m<sup>2</sup>, a quina distància ens trobem de l'emissora?

- a) 350 m
- b) 790 m**
- c) 2821 m
- d) 14350 m

$$\frac{I}{I_0} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad r = \sqrt{\frac{P}{4\pi I_0}}$$

14. Una emissora de ràdio emet ones electromagnètiques esfèriques amb una potència mitjana  $P$ . A una distància  $r_1$  de l'emissora la intensitat mitjana de les ones és  $I_1$ . A una distància  $r_2$  la intensitat mitjana és  $I_2 = I_1/4$ . Quina relació hi ha entre  $r_2$  i  $r_1$ ?

- a)  $r_2 = 4 r_1$
- b)  $r_2 = 2 r_1$**
- c)  $r_2 = r_1/2$
- d)  $r_2 = r_1/4$

$$I_1 = \frac{P}{4\pi r_1^2} \quad I_2 = \frac{P}{4\pi r_2^2}$$

$$I_2 = \frac{I_1}{4} \quad \frac{P}{4\pi r_2^2} = \frac{P}{4\pi r_1^2} \cdot \frac{1}{4} \quad r_2 = \sqrt{4r_1^2} = 2r_1$$

15. L'amplitud del camp elèctric d'una ona electromagnètica esfèrica a una distància  $r_1$  d'una emissora és  $E_{01}$ . L'amplitud del camp elèctric a una distància  $r_2$  és  $E_{02} = E_{01}/2$ . Quina relació hi ha entre les dues distàncies?

- a)  $r_2 = 4 r_1$
- b)  $r_2 = 2 r_1$**
- c)  $r_2 = r_1/2$
- d)  $r_2 = r_1/4$

16. Una emissora de ràdio emet uniformement en totes direccions. Si estem a 100 m de la font, la intensitat que rebem és  $I_1 = 0.1 \text{ W/m}^2$ . Quina serà la intensitat que mesurarem si ens allunyem a 200 m de la font?

- a) 0.025 W/m<sup>2</sup>
- b) 0.05 W/m<sup>2</sup>
- c) 0.1 W/m<sup>2</sup>
- d) 0.125 W/m<sup>2</sup>

$$I' = \frac{P}{4\pi \cdot 200^2} \quad P = 4000\pi \text{ W}$$

$$I = \frac{4000\pi}{4\pi \cdot 100^2} =$$

17 Una emissora de ràdio emet ones harmòniques uniformement en totes direccions, i amb una potència  $P$ . Si sabem que, a una distància  $d$  de l'emissora, l'amplitud del camp elèctric val  $E_0(d) = 6 \text{ V/m}$ , podrem afirmar que:

- a) A una distància  $2d$ , valdrà  $E_0(2d) = 3 \text{ V/m}$ .
- b) A una distància  $d/2$ , valdrà  $E_0(d/2) = 24 \text{ V/m}$ .
- c) El valor d' $E_0$  no depèn de la distància.
- d) El valor d' $E_0$  no depèn de  $P$ .

18. Si una antena receptora de TV està situada a 20 km del repetidor més proper, que emet ones esfèriques amb una potència de 50 kW, quant valen el camp elèctric i magnètic màxims dels senyals rebuts? ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$ ).

- a) 0.612 V/m,  $2.89 \times 10^{-7} \text{ T}$
- b) 0.0612 V/m,  $2.04 \times 10^{-10} \text{ T}$
- c) 0.0866 V/m,  $2.59 \times 10^7 \text{ T}$
- d) 0.0866 V/m,  $2.89 \times 10^{-10} \text{ T}$

19. Un satèl·lit emet ones electromagnètiques linealment polaritzades La potència mitjana d'emissió és de 12 kW que es reparteix sobre una zona de la Terra de superfície  $9 \times 10^6 \text{ km}^2$ , on és perfectament vàlida l'aproximació d'ones planes. Quant valen el camp elèctric i magnètic màxims dels senyals rebuts? ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ F/m}$ ,  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$ )

- a) 0.001 V/m,  $3.3 \times 10^{-12} \text{ T}$
- b) 0.001 V/m,  $2.04 \times 10^{-10} \text{ T}$
- c) 0.0866 V/m,  $2.59 \times 10^7 \text{ T}$
- d) 0.0866 V/m,  $2.89 \times 10^{-10} \text{ T}$

20 Una estació de comunicacions emet ones esfèriques amb una potència  $P=1 \text{ kW}$ . Si disposem d'un detector de camps magnètics capaç de detectar camps d'amplitud mínima  $B_0 = 0.5 \cdot 10^{-9} \text{ T}$ , a quina distància màxima de l'estació podrem detectar aquests senyals? ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Tm/A}$ ,  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ )

- a)  $d = 10^9 \text{ m}$ .
- b)  $d = 8921 \text{ m}$ .
- c)  $d = 1633 \text{ m}$ .
- d)  $d = 3 \cdot 10^8 \text{ m}$ .

21 Una bombeta halògena formada per un fil prim de tungstè de 10 cm de longitud radia ones electromagnètiques de 200 W de potència, en la direcció perpendicular al fil. Una superfície cilíndrica totalment absorbent de 5 cm de radi i 10 cm de longitud se situa coaxialment al fil. La intensitat de les ones que arriben a la superfície val:

- a)  $6366 \text{ W/m}^2$
- b)  $366 \text{ W/m}^2$
- c)  $66 \text{ W/m}^2$
- d)  $3 \text{ W/m}^2$

22. Una longitud d'ona de 10 cm correspon a una radiació electromagnètica de

- a) microones
- b) llum visible
- c) raigs X
- d) raigs gamma

23. Quan una ona electromagnètica passa d'un medi a un altre.

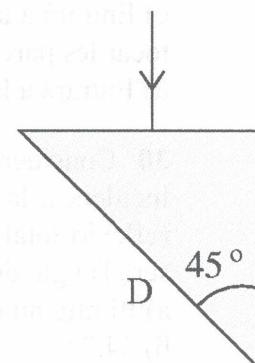
- a) La seva velocitat no varia.
- b) La seva freqüència no varia.
- c) La seva longitud d'ona no varia.
- d) Cap de les anteriors.

24. Quan un raig lluminós arriba a la superfície de separació entre dos medis i l'índex de refracció del primer medi és menor que el del segon, l'angle d'incidència, en el cas que no es tracti d'incidència normal és

- a) més gran que el de refracció
- b) igual al de refracció
- c) més petit que el de refracció
- d) no hi haurà refracció, donat que hi haurà reflexió total interna

25 Un feix de llum incideix perpendicularment sobre una de les cares d'un prisma de vidre com el de la figura. El valor mínim de l'índex de refracció del vidre necessari per tal que un observador no vegi llum emergent per la cara D del prisma és:

- a)  $n = 1.41$
- b)  $n = 1.33$
- c)  $n = 1.28$
- d)  $n = 1.54$



26. Un feix de llum que viatja a l'aire (amb índex de refracció  $n=1$ ) incideix amb un angle de  $30^\circ$  respecte de la normal sobre la superfície d'un medi no conductor. Part de l'ona incident es refracta i el raig refractat forma un angle de  $20^\circ$  respecte de la normal. La velocitat de propagació de la llum en el medi no conductor és

- a)  $1.46 \times 10^8 \text{ m/s}$
- b)  $2.05 \times 10^8 \text{ m/s}$
- c)  $2.46 \times 10^8 \text{ m/s}$
- d)  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

$$\sin 30^\circ = \frac{3108}{V} \cdot \sin 20^\circ$$

$$V =$$

27. Per mesurar l'índex de refracció d'un vidre enviem (a través de l'aire) un raig de llum que forma un angle de  $30^\circ$  amb l'eix perpendicular a la superfície del vidre. Mesurem un angle de  $20^\circ$  del raig refractat respecte d'aquest mateix eix. Tenint en compte que l'índex de refracció de l'aire és pràcticament 1, quin és l'índex de refracció del vidre?

- a) 1.46
- b) 1.23
- c) 0.68

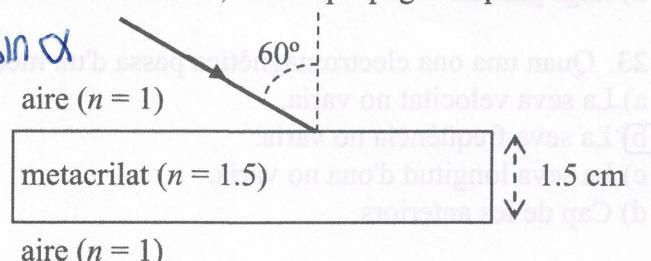
d) L'angle del raig refractat mai pot ser inferior a l'angle del raig incident.

28. Un raig de llum es propaga per l'aire i incideix sobre una làmina de metacrilat de 1.5 cm de gruix que té un índex de refracció  $n = 1.5$ . Com s'indica a la figura, l'angle d'incidència format pel raig i la normal a la làmina és de  $60^\circ$ . Quin angle formarà el raig amb la superfície de la làmina (no amb la normal) quan, després de travessar-la, torni a propagar-se per l'aire?

- a)  $0^\circ$
- b)  $30^\circ$
- c)  $60^\circ$
- d)  $90^\circ$

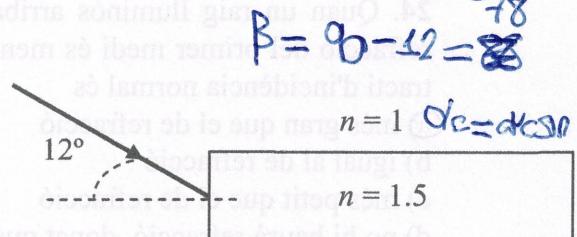
$$1 \cdot \sin 60^\circ = 1.5 \cdot \sin \alpha$$

$$0.577$$



29 Un feix de llum incideix des de l'aire sobre una fibra òptica, d'índex de refracció  $n = 1.5$ , tal i com s'indica a la figura. En aquestes condicions el feix:

- a) No entrerà a la fibra, hi haurà una reflexió total a l'entrada.
- b) Entrarà a la fibra i es propagarà pel seu interior fent reflexions totals internes.
- c) Entrarà a la fibra i es propagarà pel seu interior sense tocar les parets laterals.
- d) Entrarà a la fibra i posteriorment escaparà per la paret lateral.



30 Considereu un got de vidre ple d'aigua. Si un raig de llum que es propaga pel vidre incideix a la superfície vidre-aigua amb un angle d'incidència superior a  $60^\circ$  es produeix la reflexió total interna. Si un raig que es propaga pel vidre incideix amb un angle de  $45^\circ$ , quin serà l'angle de refracció quan passi a l'aigua?

- a) El raig no es refracta perquè hi ha reflexió total interna
- b)  $54.7^\circ$
- c)  $45^\circ$
- d)  $37.76^\circ$

31. Es fabrica una cable de fibra òptica amb un nucli de quars d'índex de refracció 1.45 envoltat per una capa d'índex 1.47. Si s'envia llum que té una longitud d'ona  $\lambda_0$  a l'aire, quina de les afirmacions següents és certa?

- a) L'angle crític perquè hi hagi reflexions totals internes és de  $80.5^\circ$ .
- b) La longitud d'ona de la llum dins al nucli de quars és la mateixa que a l'aire.
- c) La freqüència de la llum al nucli de quars és diferent que a l'aire.
- d) La llum no es propagarà pel cable fent reflexions totals internes per què l'índex de refracció de la capa és més gran que el del nucli.

**32** Disposem d'una fibra òptica amb nucli d'índex 1.46 i recobriment d'índex 1.45. L'angle màxim d'entrada que pot formar el raig amb l'eix de la fibra, per tal d'obtenir reflexió total interna a l'interior de la fibra, és:

- a)  $28.5^\circ$
- b)  $83.3^\circ$
- c)  $6.7^\circ$
- d)  $9.8^\circ$**

Un feix de llum natural no polaritzada que és propaga amb una intensitat de  $8 \text{ W/m}^2$  en la direcció de l'eix de les  $x$ , incideix sobre una làmina polaritzadora. Si l'eix de transmissió (també anomenat de polarització) de la làmina forma un angle de  $30^\circ$  amb l'eix de les  $y$ , quina és la intensitat de la llum polaritzada que surt de la làmina?

- a)  $8 \text{ W/m}^2$
- b)  $6 \text{ W/m}^2$
- c)  $4 \text{ W/m}^2$**
- d)  $2 \text{ W/m}^2$

Un feix de llum natural (no polaritzada) d'intensitat  $8 \text{ W/m}^2$  travessa tres filtres polaritzadors consecutius, amb un angle  $\theta$  entre eixos de transmissió (o polarització) de dos filters consecutius. Si a la sortida es detecta una intensitat de  $2.25 \text{ W/m}^2$ , quin és el valor de l'angle  $\theta$ ?

- a)  $15^\circ$
- b)  $30^\circ$**
- c)  $45^\circ$
- d)  $60^\circ$

Un feix de llum polaritzada que és propaga amb una intensitat de  $8 \text{ W/m}^2$  en la direcció de l'eix de les  $x$ , incideix sobre una làmina polaritzadora. Si el camp elèctric del feix incident està polaritzat en la direcció de l'eix de les  $y$  i l'eix de transmissió (també anomenat de polarització) de la làmina forma un angle de  $60^\circ$  amb l'eix de les  $y$ , quina és la intensitat de la llum polaritzada que surt de la làmina?

- a)  $8 \text{ W/m}^2$
- b)  $6 \text{ W/m}^2$
- c)  $4 \text{ W/m}^2$
- d)  $2 \text{ W/m}^2$**

Un feix de llum no polaritzada travessa dos filtres polaritzadors disposats de manera que els seus eixos de transmissió (també anomenats de polarització) formen un angle de  $60^\circ$ . Si la intensitat de la llum abans de travessar-los es  $I_0$ , la intensitat després de fer-ho és

- a)  $2I_0$
- b)  $I_0/2$
- c)  $I_0/4$
- d)  $I_0/8$**

37. Un feix de llum no polaritzada d'intensitat  $I_0$  travessa dos filtres polaritzadors disposats de manera que els seus eixos de transmissió (o polarització) formen un angle de  $30^\circ$ . Quina fracció de la intensitat inicial  $I_0$  travessarà els dos filtres?

- a)  $1/4 = 0.25$
- b)  $3/8 = 0.375$
- c)  $1/3 = 0.333$
- d)  $1/2 = 0.5$

38 Un raig de llum solar d'intensitat  $I_0$  incideix sobre una sèrie de deu polaritzadors lineals, tals que l'angle (desconegut) entre els eixos de polarització de dos polaritzadors consecutius sempre és el mateix. Si la intensitat sortint és  $0.3 I_0$ , aquest angle val:

- a)  $39.23^\circ$
- b)  $19.68^\circ$
- c)  $13.58^\circ$
- d)  $20.72^\circ$

39 Un feix de llum no polaritzada travessa tres filtres polaritzadors disposats de manera que l'eix de transmissió del segon forma un angle de  $30^\circ$  amb el del primer, i el tercer un angle de  $60^\circ$  amb el segon. El quocient entre la intensitat de sortida i la d'entrada ( $I_{\text{sortida}}/I_{\text{entrada}}$ ) val

- a) 0.36
- b) 0.09375
- c) 0.234
- d) 0.1875

40. En les pantalles de cristall líquid:

- a) Els píxels deixen passar la llum quan un camp elèctric alinea totes les molècules del cristall en la mateixa direcció.
- b) Els píxels deixen passar la llum quan el camp elèctric aplicat és zero.
- c) En cada píxel hi ha polaritzadors a les cares del davant i del darrera amb els eixos de polarització paral·lels.
- d) Cap de les anteriors.

41. Dues fonts coherents emeten ones electromagnètiques en fase amb una longitud d'ona  $\lambda$ . Si  $d_1$  i  $d_2$  són les distàncies de les fonts a un punt  $P$ , quina afirmació és certa?

- a) Si  $d_2 - d_1 = 0$ , al punt  $P$  hi ha interferència destructiva.
- b) Si  $d_2 - d_1 = \lambda$ , al punt  $P$  hi ha interferència constructiva.
- c) Si  $d_2 - d_1 = 2\lambda$ , al punt  $P$  hi ha interferència destructiva.
- d) Si  $d_2 - d_1 = \lambda/2$ , al punt  $P$  hi ha interferència constructiva.

42. Considereu dos focus emissors d'ones electromagnètiques coherents que emeten en fase. Si  $d_1$  i  $d_2$  són les distàncies dels focus a un punt  $P$ , quina de les afirmacions següents és FALSA?

- a) Si  $d_2 - d_1 = 0$ , al punt  $P$  hi ha interferència constructiva.
- b) Si  $d_2 - d_1 = \lambda/2$ , les ones al punt  $P$  estan desfasades  $\pi$
- c) Si  $d_2 - d_1 = 3\lambda$ , al punt  $P$  hi ha interferència destructiva.
- d) Si  $d_2 - d_1 = 4\lambda$ , les ones al punt  $P$  estan en fase.

43. Dues fonts coherents emeten ones electromagnètiques amb una diferència de fase de  $180^\circ$ , i una longitud d'ona  $\lambda$ . Si  $d_1$  i  $d_2$  són les distàncies de les fonts a un punt  $P$ , quina afirmació és certa?

- a) Si  $d_2 - d_1 = 0$ , hi haurà interferència constructiva al punt  $P$ .
- b) Si  $d_2 - d_1 = \lambda/2$ , hi haurà interferència constructiva al punt  $P$ .
- c) Si  $d_2 - d_1 = 3\lambda/2$ , hi haurà interferència destructiva al punt  $P$ .
- d) Cap de les anteriors.

44. Tenim dues fonts coherents que emeten ones electromagnètiques en fase, amb el mateix vector amplitud (de mòdul  $E_0 = 1 \text{ V/m}$ ) i amb una longitud d'ona de 1 m. Quina serà l'amplitud del camp elèctric de l'ona resultant en un punt que es troba a 20 m d'una font i 24 m de l'altra:

- a) 2 V/m
- b) 1.5 V/m
- c) 1. V/m
- d) 0 V/m

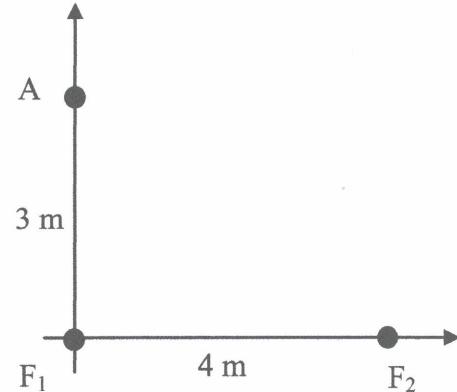
45 Dues fonts coherents emeten ones electromagnètiques en fase, polaritzades linealment en la mateixa direcció, amb una amplitud del camp elèctric  $E_0 = 1 \text{ V/m}$  i longitud d'ona 1 m.

Considerem un punt  $P$  que dista  $d_1$  i  $d_2$  de les dues fonts. Digueu quina afirmació és FALSA:

- a) Si  $d_1 = d_2$ , trobarem interferència constructiva.
- b) Si  $d_2 - d_1 = 4 \text{ m}$ ,  $E_0(P) = 2 \text{ V/m}$ .
- c) Si  $d_2 - d_1 = 4.5 \text{ m}$ ,  $E_0(P) = 0.5 \text{ V/m}$
- d) Si  $d_2 - d_1 = 2.25 \text{ m}$ ,  $E_0(P) = \sqrt{2} \text{ V/m}$

46 Els dos focus puntuals de la figura emeten llum monocromàtica i en fase. Si al punt A es produeix interferència destructiva, quin és el màxim valor possible de la longitud d'ona?

- a) 1 m.
- b) 2 m.
- c) 3 m.
- d) 4 m.



47. Quants fotons per segon emet un làser blau d'heli-cadmi amb longitud d'ona de 442 nm i una potència de 6.3 mW? ( $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J/s}$ )

- a)  $4.5 \times 10^{19} \text{ s}^{-1}$
- b)  $7.1 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$
- c)  $1.4 \times 10^{16} \text{ s}^{-1}$
- d)  $1.4 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$

**48** Un làser emet un feix de llum infraroja amb una longitud d'ona en el buit de 780 nm. Si la potència d'emissió és de 5 mW, el valor més aproximat del nombre de fotons que hi ha en un segment del feix de llargada 1 mm és ( $h = 6.63 \cdot 10^{-34}$  Js,  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s)

- a)  $65 \times 10^3$  fotons
- b)  $65 \times 10^6$  fotons
- c)  $65 \times 10^9$  fotons
- d) No tenim prou dades per saber-ho.

**49** Un cirurgià utilitza un làser de CO<sub>2</sub> caracteritzat per un longitud d'ona de 10.2 μm i una potència de 20 W. Quants fotons impacten sobre els teixits si l'aplica durant 2 s?

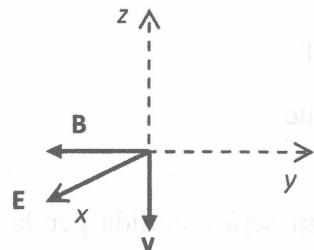
- (a)  $4 \cdot 10^{19}$
- b)  $2 \cdot 10^{21}$**
- c)  $5 \cdot 10^{11}$
- d)  $3 \cdot 10^{22}$



**Respostes**

1. b)  $y(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \phi) \rightarrow A = 15 \text{ cm}, k = 100\pi \cdot \text{rad/m} \text{ i } \omega = 100\pi \text{ rad/s}$   
 $v = \omega/k = 20 \text{ m/s}, \lambda = 2\pi/k = 0.02 \text{ m.}$
2. a)  $k = 4\pi/\lambda = 1.26 \text{ rad/m}, \omega = vk = 25.13 \text{ rad/s, i la màxima elongació és l'amplitud}$   
 $A = 4\sqrt{2} \text{ m. Per tant, al viatjar cap a l'esquerra}$   
 $y(x,t) = A \sin(kx + \omega t) = (4\sqrt{2} \text{ m}) \sin(1.26x + 25.13t)$
- 3 d) La diferència de fase entre dos punts separats una distància  $\Delta x$  és  $\Delta\phi = 2\pi \Delta x / \lambda$ , de forma que per  $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$  tenim  $\Delta\phi = \pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$ , i per  $\Delta x = 4 \text{ cm}$  tenim  $\Delta\phi = 4\pi \text{ rad} = 0^\circ$   
La diferència de fase entre dos instants de temps i en el mateix punt s'expressa  $\Delta\phi = 2\pi \Delta t / T$ , de forma que per  $\Delta t = 3 \text{ s}$  tenim  $\Delta\phi = \pi/2 \text{ rad} = 270^\circ$ , i per  $\Delta t = 2 \text{ s}$  tenim  $\Delta\phi = \pi \text{ rad} = 180^\circ$
4. b)
5. b) Si amb els 4 dits de la ma dreta anem de  $E$  a  $B$ , el polze indica el sentit de  $v$
6. c)  $v = -cj$  i  $E = Ei$ . Si amb els 4 dits de la ma dreta anem de  $v$  a  $E$ , el polze indica el sentit positiu de l'eix de les  $z$ .
7. c)  $v = -cj$  i  $E = -Ek$ . Si amb els 4 dits de la ma dreta anem de  $v$  a  $E$ , el polze indica el sentit positiu de l'eix de les  $x$ .

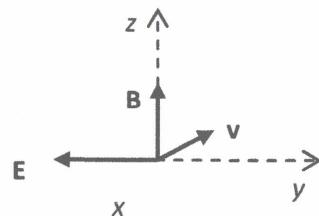
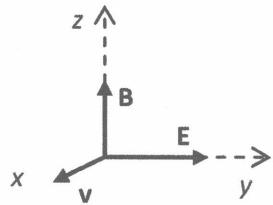
8 d) Tindrem la configuració de l'esquema següent



9. c)  $E(x,t) \rightarrow$  l'ona es propaga en la direcció de l'eix de les  $x$   
 $E(x,t) = f(kx - \omega t) \rightarrow$  es propaga en el sentit positiu  $\rightarrow v = ci$   
 $E_0 = E_0 k$ . Si amb els 4 dits de la ma dreta anem de  $v$  a  $E$ , el polze indica el sentit negatiu de l'eix de les  $y$ . Per tant  $B_0 = -B_0 j$ , i  $B = (-B_0 j) \sin(kx - \omega t)$

- 10 d) Es propaga en el sentit positiu de  $x$ , i l'amplitud del camp elèctric està dirigida segons el sentit positiu de  $y$ .

- 11 b) L'esquema del raig incident és el de l'esquerra, mentre que el del raig reflectit haurà de ser el de la dreta, cal notar que  $v$  i  $E$  estan invertits de forma que el sentit de  $B$  no canvia. A més el signe de  $\omega t$  canvia donat que l'ona viatja ara en sentit oposat.



**12.** a) Una ona electromagnètica està constituïda per un camp elèctric i un camp magnètic que oscil·len en direccions perpendiculars entre sí i perpendiculars a la direcció de propagació, i transporten la mateixa quantitat d'energia elèctrica que magnètica.

**13.** b)  $I = P/(4\pi r^2) \rightarrow r = [P/(4\pi I)]^{1/2} = [(10 \times 10^3 \text{ W})/(4\pi \times 10^{-4} \text{ W/m}^2)]^{1/2} = 2821 \text{ m}$

**14.** b)  $P = I_1 4\pi r_1^2 = I_2 4\pi r_2^2 \rightarrow I_2/I_1 = r_1^2/r_2^2 \rightarrow (I_1/4)/I_1 = r_1^2/r_2^2 \rightarrow r_2 = 2r_1$

**15.** b)  $I = E_0 B_0 / (2\mu_0) = c \epsilon_0 E_0^2 / 2$  i en ones esfèriques  $I_2/I_1 = r_1^2/r_2^2$ . Per tant

$$E_{02}^2/E_{01}^2 = r_1^2/r_2^2 \rightarrow (E_{01}/2)^2/E_{01}^2 = r_1^2/r_2^2 \rightarrow r_2 = 2r_1$$

**16.** a)  $P = I_1 4\pi r_1^2 = I_2 4\pi r_2^2 \rightarrow I_2 = I_1 r_1^2/r_2^2 = (0.1 \text{ W/m}^2)(100 \text{ m})^2/(200 \text{ m})^2 = 0.025 \text{ W/m}^2$

**17** a) La relació entre potència i mòdul del camp elèctric en el cas d'una electromagnètica esfèrica és  $P = I S = I (4\pi r^2) = c \epsilon_0 / 2 E_0^2 (4\pi r^2)$ , i podem escriure el mòdul del camp com  $E_0 = (P/c \epsilon_0 2\pi r^2)^{1/2}$ , on es veu que depèn de la distància i de la potència. En el cas que  $r = 2d$ , en resulta  $E_0(2d) = (2P/c \epsilon_0 4\pi d^2)^{1/2}/2 = E_0(d)/2 = 3 \text{ V/m}$

**18.** d)  $I = P/(4\pi r^2) = (50 \times 10^3) / [4\pi (4 \times 10^3)^2] = 9.9 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$

$$I = E_0 B_0 / (2\mu_0) = c \epsilon_0 E_0^2 / 2 \rightarrow E_0 = [2I/(c \epsilon_0)]^{1/2} = 0.0866 \text{ V/m}$$

$$B_0 = E_0/c = 2.89 \times 10^{-10} \text{ T}$$

**19.** a)  $S = 9 \times 10^6 \text{ km}^2 (10^3 \text{ m}/1 \text{ km})^2 = 9 \times 10^{12} \text{ m}^2$

$$I = P/S = (12 \times 10^3) / (9 \times 10^{12}) = 1.33 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$$

$$E_0^2 E_0 = [2I/(c \epsilon_0)]^{1/2} = 0.0001 \text{ V/m} \quad \text{i} \quad B_0 = E_0/c = 3.34 \times 10^{-12} \text{ T}$$

**20** c) Per una banda  $P = I 4\pi r^2$ , i també  $I = c u = c B_0^2 / (2\mu_0)$ , de forma que

$$P = c B_0^2 / (2\mu_0) 4\pi r^2 \Rightarrow r^2 = (\mu_0 P) / (c B_0^2 2\pi) \Rightarrow r = 1633 \text{ m}$$

**21.** a) Tota l'energia radiada per un segment de longitud  $L = 0.1 \text{ m}$  serà recollida per la superfície del cilindre de radi  $R = 0.05 \text{ m}$  que l'envolta i que té una àrea  $S = 2\pi RL$ .

Per tant,  $I = P/S = 6366 \text{ W}$

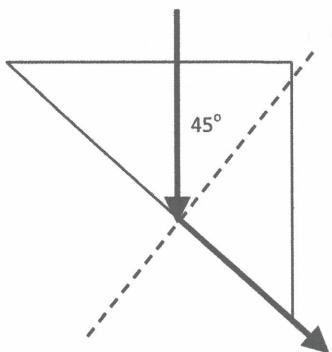
**22.** a) Correspon a les microones. La llum visible es troba en el rang (aproximat) de  $1 \text{ }\mu\text{m}$ , els raigs X en el de  $0.1 \text{ nm}$ , i els raigs gamma en el de  $1 \text{ pm}$ .

**23.** b) La velocitat al segon medi passa a ser  $v_2 = (n_1/n_2)v_1$ , la freqüència  $f$  no canvia, i la longitud d'ona passa a ser  $\lambda_2 = v_2/f$ .

**24.** a)  $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ , si  $n_1 < n_2$  s'ha de satisfer  $\sin \theta_1 < n_2 \sin \theta_2$  i, per tant,  $\theta_1 > \theta_2$

Així, el sistema de referència 3 ve desplaçat cap a la dreta respecte del sistema 1, i el sistema 2 respecte del sistema 3.

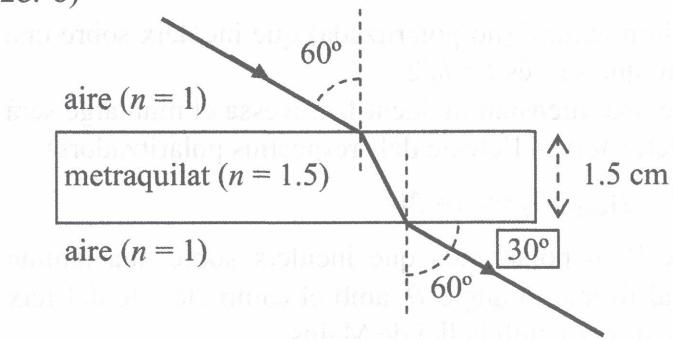
**25 a)** El valor mínim es produirà quan hi hagi refracció total interna, de forma que el raig surti paral·lel a la superfície D, com es veu a l'esquema. Es complirà  $n \cdot \sin(45^\circ) = 1 \cdot \sin(90^\circ) = 1$ , i per tant  $n = 1.41$



$$26 \text{ b) } n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \rightarrow 1 \sin 30^\circ = n_2 \cdot \sin 20^\circ \rightarrow n_2 = 1.4619 \rightarrow v_2 = c/n_2 = 3 \times 10^8 / 1.4619 = 2.05 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$27. \text{ a) } n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1 \quad \text{amb } n_1 = 1, \theta_1 = 30^\circ, \theta_2 = 20^\circ \rightarrow n_2 = n_1 \sin \theta_1 / \sin \theta_2 = 1.46$$

28. b)



**29 b)** Entrarà a la fibra, l'angle de refracció serà:  $\sin\theta = \sin(12^\circ)/1.5 \Rightarrow \theta = 7.97^\circ$ , per tant xocarà amb la paret lateral formant un angle amb la perpendicular a la paret de  $90^\circ - 7.97^\circ = 82^\circ$ , com aquest angle és més gran que el de reflexió total interna ( $\theta_C = \sin^{-1}(1/n) = 41.8^\circ$ ), el feix es propagarà per l'interior de la fibra.

30. b) Si  $n_v$  representa l'índex de refracció del vidre i  $n_a$  el de l'aigua, en el cas de reflexió total interna es complirà  $n_v \cdot \sin 60^\circ = n_a \cdot \sin 90^\circ = n_a$

en el caso de reflexión total interna es cumplir  $n_v \sin 0^\circ = n_a \sin 90^\circ = n_a$ .

En el segon cas tindrem  $n_v \cdot \sin 45^\circ = n_a \cdot \sin \theta$  on  $\theta$  és l'angle que busquem.

Si dividim una eqüació entre l'altra en resulta  $\sin\theta = \sin 45^\circ / \sin 60^\circ \rightarrow \theta = 54.7^\circ$

Per tenir reflexió total interna, per a l'angle críric s'ha de de satisfer

31. d) Per tenir reflexió total interna, per a l'angle crític s'ha de de satisfer

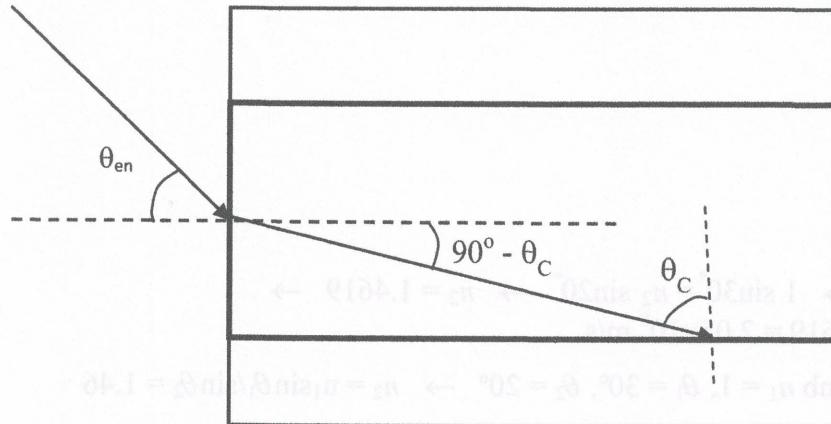
$$\sin \theta_c = n_{\text{capa}} / n_{\text{nucli}} < 1$$

**32 d)** De l'esquema podem veure que si apliquem la llei de la refracció a l'entrada, resulta la següent relació entre l'angle d'entrada i l'angle crític

$$\sin(\theta_{en}) = n_{nucli} \cdot \sin(90^\circ - \theta_C) \quad \text{i per tant} \quad \theta_{en} = \sin^{-1}(n_{nucli} \cdot \sin(90^\circ - \theta_C))$$

Com per l'angle crític tenim  $\theta_C = \sin^{-1}(n_{recobriment}/n_{nucli})$  arribem a

$$\theta_{en} = \sin^{-1}(n_{nucli} \cdot \sin(90^\circ - \sin^{-1}(n_{recobriment}/n_{nucli}))) = 9.8^\circ$$



**33. c)** Si  $I_0$  és la intensitat d'un feix de llum natural (no polaritzada) que incideix sobre una làmina polaritzadora, la intensitat de la llum que surt és  $I = I_0/2$

**34 b)** La intensitat resultant ( $I$ ) després que una intensitat incident  $I_0$  travessa el muntatge serà (on els tres darrers factors entre parèntesi reflecteixen l'efecte dels respectius polaritzadors)

$$I_{\text{sortida}} = I_0 \cdot (1/2) \cdot (\cos \theta)^2 \cdot (\cos \theta)^2 \Rightarrow (\cos \theta)^4 = 2I_{\text{sortida}}/I_0 \Rightarrow \theta = 30^\circ$$

**35. d)** Si  $I_1$  és la intensitat d'un feix de llum polaritzada que incideix sobre una làmina polaritzadora, l'eix de transmissió de la qual forma un angle  $\theta$  amb el camp elèctric del feix incident, la intensitat de la llum que surt és, d'acord amb la llei de Malus,

$$I_2 = I_1 \cos^2 \theta = (8 \text{ W/m}^2) (\cos 60^\circ)^2 = (8 \text{ W/m}^2) (1/2)^2 = 2 \text{ W/m}^2$$

**36. d)** Tenint en compte les dues qüestions anteriors,

després del primer filtre  $I_1 = I_0/2$ ,

i després del segon  $I_2 = I_1 \cos^2 60^\circ = (I_0/2)(1/2)^2 = I_0/8$

**37. b)** Com a la qüestió anterior,  $I_2 = I_1 \cos^2 30^\circ = (I_0/2)(\sqrt{3}/2)^2 = (3/8)I_0 = 0.375I_0$

**38 c)** Tindrem que el primer polaritzador redueix la intensitat a la meitat i la resta de polaritzadors un factor  $\cos^2 \theta$  cadascun, de forma que  $I_0/2 (\cos^2 \theta)^9 = 0.3 I_0$ , d'on obtenim  $\theta = 13.58^\circ$

**39 b)** Tindrem  $I_{\text{sortida}} = I_{\text{entrada}} \cdot (1/2) \cdot \cos^2(30^\circ) \cdot \cos^2(60^\circ) = I_{\text{entrada}} \cdot 0.09385$

**40. b)** Quan la llum travessa un píxel, ho fa creuant una cel·la formada per un cristall líquid amb dos polaritzadors a cada costat que tenen els eixos de polarització perpendiculars. En absència de camp elèctric, les molècules del cristall estan orientades progressivament de manera que fan girar  $90^\circ$  el pla de polarització de la llum polaritzada pel primer polaritzador i aquesta pot travessar el segon. En canvi, quan s'aplica el camp elèctric, orienta totes les molècules de cristall en la seva direcció, el pla de polarització no gira  $90^\circ$  i la llum no pot travessar el segon polaritzador

**41. b)** En el cas d'ones que provenen de focus que emeten en fase, si  $\Delta d = n\lambda$ , a P estan en fase i es produeix interferència constructiva, i si  $\Delta d = (n+\frac{1}{2})\lambda$ , a P estan desfasades  $\pi$  (oposició de fase) i la interferència és destructiva.

**42. c)** Veure la resposta a la qüestió anterior.

**43. b)** En el cas d'ones que provenen de focus que emeten en oposició de fase, és a dir amb un desfassament de  $\pi$  rad, les interferències en un punt són com les que es produirien si emmetessin en fase però estessin separades una distància adicional de  $\lambda/2$ . Llavors, si  $\Delta d = n\lambda$ , a P estan en oposició de fase i es produeix interferència destructiva, i si  $\Delta d = (n+\frac{1}{2})\lambda$ , a P estan en fase i la interferència és constructiva.

**44. a)** Atès que emeten en fase i la diferència de distàncies (4 m) és exactament igual a quatre longituds d'ona, hi haurà interferència constructiva i l'amplitud del camp elèctric serà  $2E_0 = 2 \text{ V/m}$ .

**45 c)** Donat que emeten en fase tindrem interferència constructiva quan la diferència de camins sigui igual a un nombre sencer de longituds d'ona, i destructiva quan sigui semi enter. Aquest darrer cas es dóna per una diferència de 4.5 m, de forma que l'amplitud del camp hauria de ser nul·la. En general, per ones en fase, tenim  $E = 2 E_0 \cos(k \cdot \Delta x / 2) = 2 E_0 \cos(\pi \Delta x / \lambda)$ . En el cas  $\Delta x = 2.25 \text{ m}$ , tindrem  $E = 2 \cos(2.25\pi) = 2 \cos(45^\circ) = 2/\sqrt{2} = \sqrt{2} \text{ V/m}$

**46 d)** Les distàncies respectives del punt A a cadascun dels focus són:

$$x_1 = 3 \text{ m}, x_2 = (3^2 + 4^2)^{1/2} = 5 \text{ m}$$

si tenim interferència destructiva es complirà:

$x_2 - x_1 = 2 = (2n+1)\lambda/2$ , amb  $n = 0, 1, \dots \Rightarrow 2 = (2n+1)/2\lambda$ , les longituds d'ona possibles seran  $\lambda = 4/(2n+1)$ , i la més gran correspondrà a  $n=0 \Rightarrow \lambda = 4 \text{ m}$

**47. c)** L'energia d'un fotó és  $E = hc/\lambda = 4.5 \times 10^{-19} \text{ J}$ . Si dividim la potència per aquesta energia, tindrem els fotons que s'emeten per segon:  $N = P/E = 1.4 \times 10^{16} \text{ s}^{-1}$ .

**48 a)** L'energia total continguda en un segment de longitud  $L$  és

$$\Delta U = P \cdot \Delta t \text{ on } \Delta t \text{ és el temps que triga la llum en recórrer una longitud } L \text{ (} \Delta t = L/c \text{)}$$

$$\text{El nombre de fotons és doncs } N = \Delta U / (hf) = \Delta U \lambda / (hc) = P L \cdot \lambda / (hc^2) = 65359 \text{ fotons}$$

**49 b)** Obtindrem el nombre de fotons si fem el quotient entre l'energia total emesa ( $E_{\text{total}} = P \cdot \Delta t$ ) i l'energia d'un fotó ( $E = hc/\lambda$ ), obtindrem el nombre de fotons:  $N = P \cdot \Delta t \cdot \lambda / (hc) = 2 \cdot 10^{21}$  fotons.

