

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:

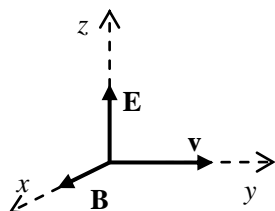
- a) Entre 2 punts separats 0.5 cm és de 45° .
- b) Entre 2 punts separats 4 cm és de 90° .
- c) En un cert punt, en un interval de 3 s, és de 45° .
- d) En un cert punt, en un interval de 2 s, és de 180° .

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

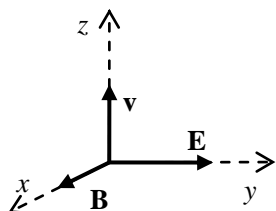
- a) perpendiculars entre si i paral·lels a la direcció de propagació de l'ona.
- b) perpendiculars entre si i a la direcció de propagació de l'ona.
- c) paral·lels a la direcció de propagació de l'ona.
- d) paral·lels entre si i perpendiculars a la direcció de propagació de l'ona.

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 \mathbf{v} . Quina representació és INCORRECTA?

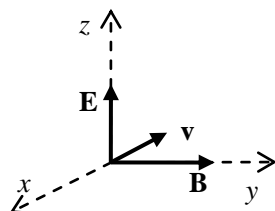
a)



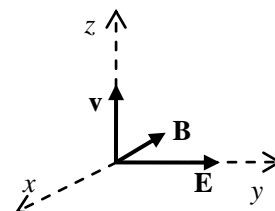
b)



c)



d)



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^2 , a quina distància ens trobem de l'emissora?

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

14. Una emissora de radio 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) $r_2 = r_1/4$

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^2
- b) 0.05 W/m^2
- c) 0.1 W/m^2
- d) 0.125 W/m^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 $E_0(d) = 6 \text{ V/m}$, podem 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 podem 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 W/m^2
- b) 366 W/m^2
- c) 66 W/m^2
- d) 3 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.

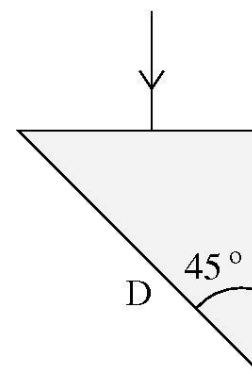
- a) La seva velocitat no varia.
- b) La seva freqüència no varia.
- c) La seva longitud d'ona no varia.
- d) Cap de les anteriors.

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° 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° respecte de la normal. La velocitat de propagació de la llum en el medi no conductor és

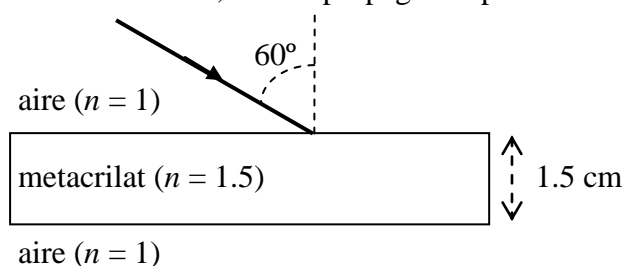
- a) $1.46 \times 10^8 \text{ m/s}$
- b) $2.05 \times 10^8 \text{ m/s}$
- c) $2.46 \times 10^8 \text{ m/s}$
- d) $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

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° amb l'eix perpendicular a la superfície del vidre. Mesurem un angle de 20° 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.

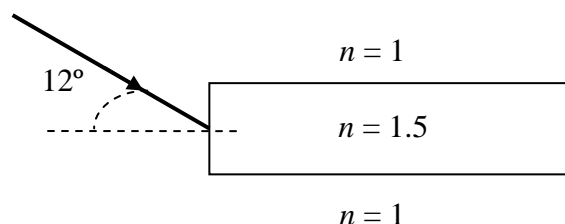
28. Un raig de llum es propaga per l'aire i incideix sobre una làmina de metacrilat de 1.5 cm de gruix que té un índex de refracció $n = 1.5$. Com s'indica a la figura, l'angle d'incidència format pel raig i la normal a la làmina és de 60° . Quin angle formarà el raig amb la superfície de la làmina (no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

- a) 0°
- b) 30°
- c) 60°
- d) 90°



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 entrarà 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° es produeix la reflexió total interna. Si un raig que es propaga pel vidre incideix amb un angle de 45° , 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°
- c) 45°
- d) 37.76°

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 λ_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° .
- 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 perquè 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°
- b) 83.3°
- c) 6.7°
- d) 9.8°

33. Un feix de llum natural no polaritzada que és propaga amb una intensitat de 8 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° amb l'eix de les y , quina és la intensitat de la llum polaritzada que surt de la làmina?

- a) 8 W/m^2
- b) 6 W/m^2
- c) 4 W/m^2
- d) 2 W/m^2

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

- a) 15°
- b) 30°
- c) 45°
- d) 60°

35. Un feix de llum polaritzada que és propaga amb una intensitat de 8 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° amb l'eix de les y , quina és la intensitat de la llum polaritzada que surt de la làmina?

- a) 8 W/m^2
- b) 6 W/m^2
- c) 4 W/m^2
- d) 2 W/m^2

36. 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° . 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° . 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°
- b) 19.68°
- c) 13.58°
- d) 20.72°

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° amb el del primer, i el tercer un angle de 60° 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 λ . 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 π
- 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° , i una longitud d'ona λ . 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) $1. \text{ V/m}$
- d) 0 V/m

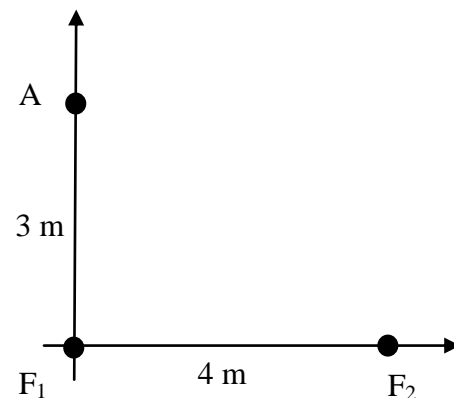
45 Dues fonts coherents emeten ones electromagnètiques en fase, polaritzades linealment en la mateixa direcció, amb una amplitud del camp elèctric $E_0 = 1 \text{ V/m}$ i longitud d'ona 1 m .

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

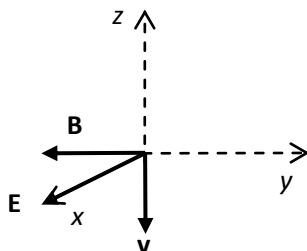
49 Un cirurgià utilitza un làser de CO₂ caracteritzat per un longitud d'ona de 10.2 μm i una potència de 20 W. Quants fotons impacten sobre els teixits si l'aplica durant 2 s?

($h = 6.626 \times 10^{-34}$ J·s, $c = 3 \cdot 10^8$ m/s)

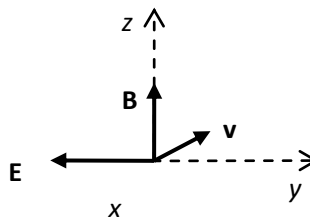
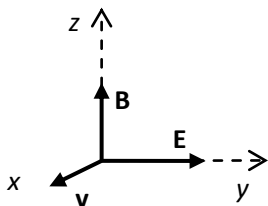
- a) $4 \cdot 10^{19}$
- b) $2 \cdot 10^{21}$
- c) $5 \cdot 10^{11}$
- d) $3 \cdot 10^{22}$

Respostes

1. b) $y(x,t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi) \rightarrow A = 15 \text{ cm}, k = 100\pi \text{ rad/m}$ 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 Δx és $\Delta\varphi = 2\pi \Delta x/\lambda$, de forma que per $\Delta x = 0.5 \text{ cm}$ tenim $\Delta\varphi = \pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$, i per $\Delta x = 4 \text{ cm}$ tenim $\Delta\varphi = 4\pi \text{ rad} = 0^\circ$
 La diferència de fase entre dos instants de temps i en el mateix punt s'expressa $\Delta\varphi = 2\pi \Delta t/T$, de forma que per $\Delta t = 3 \text{ s}$ tenim $\Delta\varphi = \pi/2 \text{ rad} = 90^\circ$, i per $\Delta t = 2 \text{ s}$ tenim $\Delta\varphi = \pi \text{ rad} = 180^\circ$
4. b)
5. b) Si amb els 4 dits de la ma dreta anem de **E** a **B**, el polze no indica el sentit de **v**
6. c) $\mathbf{v} = -c\mathbf{j}$ i $\mathbf{E} = E\mathbf{i}$. 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) $\mathbf{v} = -c\mathbf{j}$ i $\mathbf{E} = -E\mathbf{k}$. 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) $\mathbf{E}(x,t) \rightarrow$ l'ona es propaga en la direcció de l'eix de les *x*
 $\mathbf{E}(x,t) = f(kx - \omega t) \rightarrow$ es propaga en el sentit positiu $\rightarrow \mathbf{v} = c\mathbf{i}$
 $\mathbf{E}_0 = E_0\mathbf{k}$. 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 $\mathbf{B}_0 = -B_0\mathbf{j}$, i $\mathbf{B} = (-B_0\mathbf{j})\sin(kx - \omega t)$
- 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 ωt 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 $E_0(2d) = (2P/c \epsilon_0 4\pi d^2)^{1/2}/2 = E_0(d)/2 = 3 \text{ V/m}$

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

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

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

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

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

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

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 $S = 2\pi R L$.

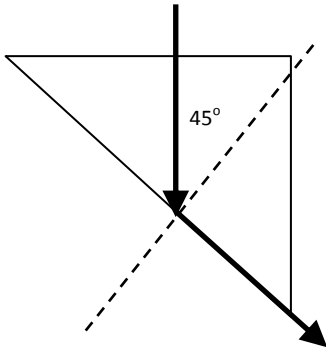
Per tant, $I = P/S = 6366 \text{ W}$

22. a) Correspon a les microones. La llum visible es troba en el rang (aproximat) de $1 \mu\text{m}$, els raigs X en el de 0.1 nm , i els raigs gamma en el de 1 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, $\theta_1 > \theta_2$

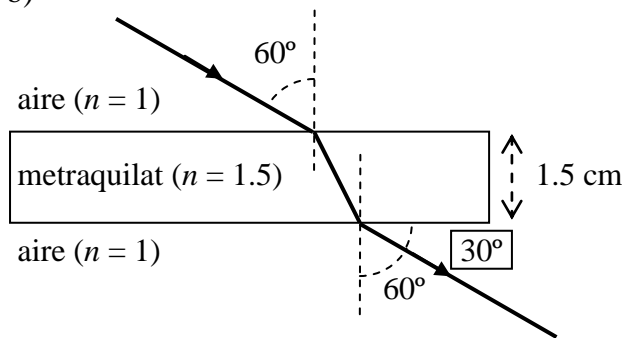
25 a) El valor mínim es produirà quan hi hagi refracció total interna, de forma que el raig surti paral·lel a la superfície D, com es veu a l'esquema. Es complirà $n \cdot \sin(45^\circ) = 1 \cdot \sin(90^\circ) = 1$, i per tant $n = 1.41$



26 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. a) $n_2 \sin \theta_2 = n_1 \sin \theta_1$ 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 segon cas tindrem $n_v \cdot \sin 45^\circ = n_a \cdot \sin \theta$ on θ és l'angle que busquem. Si dividim una equació entre l'altra en resulta $\sin \theta = \sin 45^\circ / \sin 60^\circ \rightarrow \theta = 54.7^\circ$

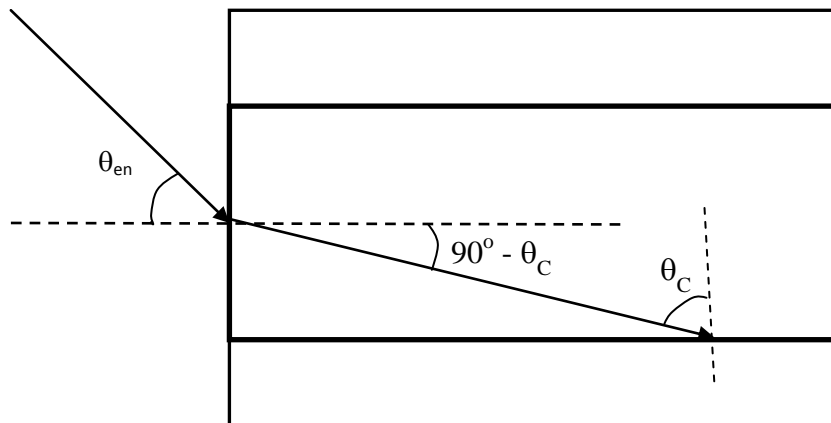
31. d) Per tenir reflexió total interna, per a l'angle crític s'ha de de satisfer $\sin \theta_c = n_{\text{capa}} / n_{\text{nucli}} < 1$

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)

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

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 θ 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 $I_{sortida} = I_{entrada} \cdot (1/2) \cdot \cos^2(30^\circ) \cdot \cos^2(60^\circ) = I_{entrada} \cdot 0.09385$

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° 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° 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 $\Delta d = (n+1/2)\lambda$, a P estan desfasades π (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 π rad, les interferències en un punt són com les que es produirien si emmetessin en fase però estessin separades una distància addicional de $\lambda/2$. Llavors, si $\Delta d = n\lambda$, a P estan en oposició de fase i es produeix interferència destructiva, i si $\Delta d = (n+1/2)\lambda$, 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 dona 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 $E = 2 E_0 \cos(k \cdot \Delta x / 2) = 2 E_0 \cos(\cdot \pi \Delta x / \lambda)$. 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 $\Delta U = P \cdot \Delta t$ on Δt és el temps que triga la llum en recórrer una longitud L ($\cdot \Delta t = L/c$)
 El nombre de fotons és doncs $N = \Delta U / (hf) = \Delta U \lambda / (h c) = P L \cdot \lambda / (h c^2) = 65359$ fotons
- 49 b)** Obtindrem el nombre de fotons si fem el quocient 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: $N = P \cdot \Delta t \cdot \lambda / h \cdot c = 2 \cdot 10^{21}$ fotons.