

14-Amaliy mashg'ulot

Mavzu: To'liq optikasi.

Asosiy tenglamalar va formulalar.

Yorug'likning to'liq tabiati. Yorug'lik tezligi.

Yorug'likning vakuumdagi va muhitdagi to'liq uzunligi:

$$\lambda_0 = \frac{C}{\nu} \quad \lambda = \frac{g}{\nu} = \frac{c}{n\nu}$$

Dopler effekti:

$$\nu' = \nu \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{g^2}{c^2}}}{1 + \frac{g}{c} \cos \Theta}$$

Manba kuzatuvchidan uzoqlashayotganda ($\theta=0$):

$$\nu' = \nu_0 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{g}{c}}{1 + \frac{g}{c}}}$$

Manba kuzatuvchiga yaqinlashayotganda ($\theta=\pi$):

$$\nu' = \nu_0 \cdot \sqrt{\frac{1 + \frac{g}{c}}{1 - \frac{g}{c}}}$$

Kogarent nurlarning optik yo'llar farqi va fazalari farqi orasidagi bog'lanish:

$$\Delta l = \Delta \varphi \cdot \frac{\lambda}{2\pi}$$

Ikki kogarent yorug'lik nurining qo'shilishi

Natijaviy amplituda: $E_0^2 = E_{0_1}^2 + E_{0_2}^2 + 2E_{0_1}E_{0_2} \cos \Delta \varphi$

Natijaviy intensivlik: $I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta \varphi$

Maksimumlik sharti:
$$\begin{cases} \Delta l = 2k \cdot \frac{\lambda}{2} \\ \Delta \varphi = 2\pi k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} E_0 = |E_{0_1} + E_{0_2}|^2 \\ I = (\sqrt{I_1} + \sqrt{I_2})^2 \end{cases}$$

Minimumlik sharti:
$$\begin{cases} \Delta l = (2k+1) \cdot \frac{\lambda}{2} \\ \Delta \varphi = \pi + 2\pi k \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} E_0 = |E_{0_1} - E_{0_2}|^2 \\ I = (\sqrt{I_1} - \sqrt{I_2})^2 \end{cases}$$

Nyuton halqalari:

Qaytgan yorug'lik uchun qorong'u (yoki o'tgan yorug'lik uchun yorug')

halqa radiusi:
$$r_k = \sqrt{k\lambda R}$$

Qaytgan yorug'lik uchun yorug' (yoki o'tgan yorug'lik uchun qorong'u)

halqa radiusi:
$$r_k = \sqrt{\frac{2k+1}{2}} \lambda R$$

Frenel zonalari sferik to'lqinlar uchun k-tartibli Frenel zonasi:

$$\rho_k = \sqrt{\frac{ab}{a+b}} k \lambda$$

Yassi to'lqinlar uchun k-tartibli Frenel zonasi:

$$\rho_k = \sqrt{bk\lambda}$$

Yorug'lik intensivligining maksimumlik sharti:

$$a \cdot \sin \varphi' = (2k+1) \frac{\lambda}{2}$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

Yorug'lik intensivligining minimumlik sharti:

$$a \cdot \sin \varphi = \pm 2k \cdot \frac{\lambda}{2} = \pm k \lambda$$

$$k = 1, 2, 3, \dots$$

Difraksion panjara davri:

$$\begin{cases} d = a + b \\ d = \frac{l}{N} \end{cases}$$

Ekranida kuzatilishi mumkin bo'lgan eng katta tartibli maksimum:

$$k_{\max} = \left[\frac{d}{\lambda} \right]$$

Ekranida kuzatilishi mumkin bo'lgan jami maksimumlar soni:

$$n = 2k_{\max} + 1 = 2 \left[\frac{d}{\lambda} \right] + 1$$

Difraksion panjaraning ajrata olish qobiliyati:

$$R = \frac{\lambda}{\Delta\lambda} = kN$$

Difraksion panjaraning burchak dispersiyasi:

$$D_{\varphi} = \frac{\delta\varphi}{\delta\lambda} = \frac{k}{d \cdot \cos \varphi}$$

Difraksion panjaraning chiziqli dispersiyasi:

$$D_l = \frac{\delta l}{\delta\lambda}$$

Yorug'likning qutblanishi

Yorug'lik dielektrikdan qaytganda qaytgan nurning to'la qutblanish sharti

(Bryuster qonuni): $tg \alpha_B = n_{2,1}$

Tabiiy yorug'lik dielektrikdan qaytganda Frenel formulalari o'rinli bo'ladi:

$$I_{\perp} = 0,5I_0 \left[\frac{\sin(\alpha - \beta)}{\sin(\alpha + \beta)} \right]^2, \quad I_{\parallel} = 0,5I_0 \left[\frac{tg(\alpha - \beta)}{tg(\alpha + \beta)} \right]^2$$

Polyarizator va analizatordan o'tgan yorug'lik intensivligi (Malyus qonuni):

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$

Qalinligi l bo'lgan modda qatlamidan o'tgan yorug'lik intensivligi (Buger qonuni):

$$I = I_0 e^{-kl}$$

Yorug'likning eritmalarda yutilishi: $I = I_0 e^{-k_l Cl}$

Yorug'lik intensivligining sochilish tufayli kamayishi: $I = I_0 e^{-k'l}$

Yutilish va sochilish bir vaqtda yuz berganda yorug'lik intensivligining o'zgarishi: $I = I_0 e^{-\mu l}$ bu yerda $\mu = k + k'$.

MASALALAR YECHISH BO'YICHA USLUBIY TAVSIYALAR

1 – masala. Monoxromatik nurlanish manbai $v=0,8c$ tezlik bilan kuzatuvchidan uzoqlashmoqda. Kuzatuvchining spektral asbobi bu manbaning to'liq uzunligi 750 nm bo'lgan nurlanishni qayd qildi. Manba nurlantirayotgan to'liq uzunligi qanday bo'lgan?

Berilgan	Yechilishi
$v=0,8c$ $\lambda=750 \text{ nm}$	<p>Doppler effektiga asosan, yorug'lik tezligiga yaqin tezlikda harakatlanayotgan manba nurlatayotgan yorug'lik chastotasi kuzatuvchiga nisbatan quyidagi ifoda yordamida aniqlanadi:</p> $\nu' = \nu \cdot \frac{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}{1 + \frac{v}{c} \cos \theta}$ <p>Manba kuzatuvchidan uzoqlashayotganda ($\theta=0$):</p> $\nu' = \nu_0 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} \quad \text{hamda} \quad \nu = \frac{c}{\lambda} \text{ ekanligidan}$ $\lambda_0 = \lambda \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}} = 750 \cdot \sqrt{\frac{1 - \frac{0.8c}{c}}{1 + \frac{0.8c}{c}}} = 250 \text{ nm}$ <p>Demak, $\lambda_0=250 \text{ nm}$</p>
$\lambda_0=?$	

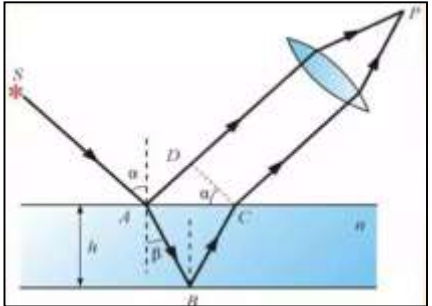
2 – masala. Agar monoxromatik yorug'likning interferensiyalanuvchi ikkita to'liqlari orasidagi optik yo'llar farqi $1,5 \lambda$ ga teng bo'lsa, fazalar farqi nima teng bo'ladi?

Berilgan

Yechilishi

$\Delta d = 2,5 \lambda$	Monoxrmatik yorug'likning interferensiyanuvchi ikkita to'lqinlari orasidagi fazalar farqini topish formulasi quyidagicha: $\Delta \varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \Delta d$ ifoda yordamida aniqlaymiz.
$\Delta \varphi = ?$	Javob: $\Delta \varphi = 3\pi$

3 – masala. Sovun pufagiga ($n=1,33$) 30° burchak bilan oq yorug'lik tushmoqda. Pufak pardasi qanchalik yupqa bo'lganida qaytgan nurlar sariq rangga ($\lambda=600 \text{ nm}$) bo'yaladi?

Berilgan	Yechilishi
$n=1,33$ $\alpha=30^\circ$ $\lambda=600 \text{ nm}$	<p>Havoda joylashgan yupqa yassi parallel plastinka yoki yupqa pardaning yuqori va quyi sirtlaridan qaytgan nurlarning optik yo'llar farqi:</p> $\Delta x = 2h\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha} + \frac{\lambda}{2}$ $\Delta x = k\lambda$ <p>Yuqoridagi formulalardan foydalanib quyidagiga ega bo'lamiz:</p> $h = \frac{\lambda}{4\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}$ <p>Hisoblash:</p> $h = \frac{0,6 \text{ mkm}}{4\sqrt{1,33^2 - \sin^2 30^\circ}} = 0,122 \text{ mkm.}$ <p>Javob: $h = 0,122 \text{ mkm.}$</p>
$\Delta \varphi = ?$	

4 – masala. Difraksion panjaraning 1 mm da 800 ta shtrixi bor. Panjaraga monoxrmatik yorug'lik ($\lambda=500 \text{ nm}$) tik ravishda tushadi. Bu panjara qanday eng yuqori tartibli maksimumni beradi?

Berilgan	Yechilishi
$l=1\text{ mm}$ $N=800$ $\lambda=500\text{ nm}$	Difraksion panjara doimiysini quyidagi formula yordamida topamiz: $d = \frac{l}{N}$ Ekranda kuzatilishi mumkin bo'lgan eng katta tartibli maksimum: $k_{\max} = \left[\frac{d}{\lambda} \right]$
$k_{\max} = ?$	Ifodalarni umumlashtirib kerakli ifodani hosil qilamiz: $k_{\max} = \left[\frac{d}{\lambda} \right] = \left[\frac{l}{\lambda N} \right] = \left[\frac{10^{-3}\text{ m}}{5 \cdot 10^{-7} \cdot 800} \right] = [2,5] = 2$ Javob: $k_{\max} = 2$

5 – masala. Eni 4 cm bo'lgan difraksion panjaraning doimiysi 4 μm . Bu panjaraning beshinchi tartibli spektrdagi ajratish qobiliyatini aniqlang.

Berilgan	Yechilishi
$l=2,5\text{ cm}$ $d= 50\text{ }\mu\text{m}$ $k=5$	Dastlab, difraksion panjaradagi shtrixlar sonini topamiz, $N=l/d=2,5\text{ cm}/ 50\text{ }\mu\text{m}=5000$ ta Difraksion panjaraning ajrata olish qobiliyati: $R=kN$
$k_{\max} = ?$	Javob: $R=25000$

TO‘LQIN OPTIKASI BO‘LIMIDAN MUSTAQIL YECHISH UCHUN MASALALAR

14.1. Agar yashil yorug‘lik ($\gamma=500$ nm) filtrini qizil yorug‘lik ($\gamma=650$ nm) filtriga almashtirilsa, Yung tajribasida ekrandagi qo‘shni interferensiyon yo‘llar masofasi necha marta oshadi?

14.2. Tirqishga γ to‘lqin uzunlikdagi monoxromatik yorug‘likning parallel dastasi normal tushadi. Tirqish masofasi 6γ ga teng. Yorug‘likning uchinchi difraksiya minimumi qanday burchak ostida kuzatiladi?

14.3. Vakuumda yorug‘likning to‘lqin uzunligi $5 \cdot 10^{-7}$ m bo‘lsa, uning tebranish chastotasini toping.

14.4. Agar olmosda chastotasi $2,73 \cdot 10^{14}$ Hz bo‘lgan yorug‘likning to‘lqin uzunligi 450 nm bo‘lsa, yorug‘likning olmosdagi tezligi qancha bo‘ladi?

14.5. 2,25 mm uzunlikda chastotasi $4 \cdot 10^{14}$ Hz bo‘lgan qizil nurlanishning nechta to‘lqin uzunligi joylashadi?

14.6. Elektromagnit tebranishlar chastotasi vakuumda 1 MHz bo‘lsa, sindirish ko‘rsatkichi 2 ga teng bo‘lgan bir jinsli muhitda chastota qanday bo‘ladi?

14.7. Agar 480 nm to‘lqin uzunlikdagi yorug‘lik vakuumdan biror muhitga o‘tganda to‘lqin uzunligi 192 nm ga qisqarsa yorug‘likning shu muhitdagi tezligini toping.

14.8. Shishada tarqalayotgan elektromagnit to‘lqinning to‘lqin uzunligi 625 nm va chastotasi $3 \cdot 10^{14}$ Gs. Shishaning sindirish ko‘rsatkichini toping.

14.9. Yorug‘likning qandaydir shaffof muhitdagi tezligi $1,5 \cdot 10^8$ m/s bo‘lsa, shu muhitning dielektrik singdiruvchanligini aniqlang.

14.10. Chastotasi $5 \cdot 10^{14}$ Hz bo‘lgan yorug‘likning sindirish ko‘rsatkichi 1,5 bo‘lgan muhitdagi to‘lqin uzunligini aniqlang.

14.11. Vakuumda 1 m kesmaga monoxromatik nurlanish chastotasi $6 \cdot 10^{14}$ Hz bo‘lgan nechta to‘lqin uzunligi joylashadi?

14.12. Yorug‘lik tezligi 0,625 c ga teng bo‘lgan muhitning absolyut sindirish ko‘rsatkichini toping.

14.13. Shishada tarqalayotgan elektromagnit to‘lqinning chastotasi $3 \cdot 10^{14}$

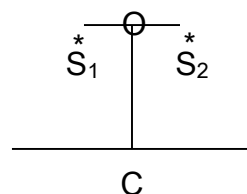
Hz, to‘lqin uzunligi 625 nm. Shishaning sindirish ko‘rsatkichini aniqlang.

14.14. Yorug‘likning suvdagi tarqalish tezligi $2,26 \cdot 10^8$ m/s. Shishaning suvga nisbatan sindirish ko‘rsatkichi 1,13 ga teng, shishaning absolyut sindirish ko‘rsatkichini toping.

14.15. To‘lqin uzunligi $0,5 \mu\text{m}$ bo‘lgan 2 kogerent yorug‘lik nuri bir nuqtada uchrashmoqda. Agar nurlarning optik yo‘llar farqi $3 \mu\text{m}$ bo‘lsa uchrashish nuqtasida interferensiyaning qanday sharti kuzatiladi ?

14.16. Ekrandan 2,5 m uzoqlikda joylashgan, orasidagi masofa 1 mm bo‘lib ikkita kogerent manbalardan to‘lqin uzunligi $0,55 \mu\text{m}$ bo‘lgan monoxromatik nurlar chiqmoqda. Markaziy maksimumga nisbatan ikkinchi maksimum qanday masofada kuzatiladi?

14.17. Ikkita S_1 va S_2 kogerent manba monoxromatik yorug‘lik nurlarini chiqarmoqdi. Agar ekrandagi ikki qo‘shni maksimumlar orasidagi masofa 1,2 mm ga teng bo‘lsa manbadan chiqayotgan yorug‘likning to‘lqin uzunligini aniqlang. $OC=4$ m va $S_1S_2 = 1$ mm ga teng.



14.18. Interferensiyalanuvchi ikki to‘lqinning yo‘llar farqi $\lambda/8$ bo‘lganda, to‘lqinlarning fazalar farqi qanday bo‘ladi?

14.19. Difraksiyalovchi panjaraning 1 mm masofasida 500 ta shtrix bo‘lsa, ikkinchi tartibli difraksiya maksimumi 30° burchak ostida kuzatilayotgan yorug‘likning to‘lqin uzunligi qancha bo‘ladi?

14.20. Doimiysi (davri) 2,2 mm bo‘lgan difraksion panjaraga to‘lqin uzunligi $0,5 \text{ mm}$ bo‘lgan yassi monoxromatik to‘lqin normal tushmoqda. Kuzatish mumkin bo‘lgan maksimumlar sonini toping.

14.21. Davri 0,01 mm bo‘lgan difraksion panjara yordamida hosil qilingan 1-tartibli spektrda yashil yorug‘lik nurlarining ($0,55 \mu\text{m}$) og‘ish burchagini aniqlang.

14.22. Difraksion panjarada 1 mm da 120 shtrix bor. Agar 1-tartibli ikki spektr orasidagi burchak 8° ga teng bo‘lsa panjaaga tushayotgan monoxromatik yorug‘lik to‘lqinining uzunligini toping.

14.23. Agar difraksion panjaraning 1 mm masofasida 625 ta shtrix bo'lsa va birinchi tartibli maksimum 30° burchak ostida kuzatilayotgan bo'lsa, yorug'likning to'lqin uzunligini toping.

14.24. Davri 0,02 mm bo'lgan difraksion panjara yordamida hosil qilingan 2-tartibli spektrdagi zangori $0,5 \mu\text{m}$ rangli nurlarning og'ish burchagini aniqlang.

14.25. Doimiysi (davri) 1,2 mkm bo'lgan difraksion panjara orqali 30° burchak ostida ko'rinayotgan birinchi tartibli spektral chiziqqa mos keladigan to'lqin uzunligini toping.

14.26. Davri 0,001 mm bo'lgan difraksion panjara yordamida hosil qilingan birinchi tartibli spektrda yashil ($\lambda=0,5 \mu\text{m}$) nur qanday burchak ostida ko'rinadi?

14.27. Biror difraksion panjaraning har bir millimetrida 250 ta shtrix bor. Difraksion panjaraga to'lqin uzunligi 500 nm bo'lgan monoxromatik yorug'lik tushmoqda. To'rtinchi difraksion maksimum qanday burchak ostida kuzatiladi?

14.28. 1 mm da 100 ta shtrixi bo'lgan difraksion panjaraga yorug'lik tushmoqda. Ekrandagi birinchi maksimum nolinchidan 14 cm uzoqlikda kuzatildi. Ekran bilan difraksion panjara orasidagi masofa 2 m bo'lsa, yorug'likning to'lqin uzunligini toping.

14.29. Rangi yashil ($\lambda=0,5 \mu\text{m}$) nur bilan yoritilgan va doimiysi $100 \mu\text{m}$ bo'lgan difraksiyalash panjarasi nechta difraksiyaviy maksimum hosil qiladi?

14.30. Difraksiya panjarasiga tik tushayotgan oq yorug'lik difraksiyalanganida, 3-tartibli spektrdagi 780 nm to'lqin uzunlikli chiziq bilan 4-tartibli spektrdagi qanday to'lqin uzunlikli chiziq ustma-ust tushadi?

14.31. To'lqin uzunligi 600 nm bo'lgan monoxromatik yorug'lik manbai kuzatuvchi tomonga $\theta=0,1\text{c}$ tezlik bilan harakatlanmoqda. Kuzatuvchining spektral asbobi qayd etadigan nurlanishning to'lqin uzunligi aniqlansin.

14.32. Ikkita kogerent yorug'lik ($\lambda= 500 \text{ nm}$) manbalari orasidagi masofa 0,1 m. Interferensiya manzarasining o'rta qismida ekrandagi interferensiya yo'llari orasidagi masofa 1 cm. Manbalardan ekrangacha bo'lgan masofa aniqlansin.

14.33. Yung tajribasida ikkita tirqish orasidagi masofa 1 mm, tirqishlardan

ekrangacha bo'lgan masofa 3 m. Agar ekranda interferensiyalar yo'llarining kengligi 1,5 mm bo'lsa, monoxromatik yorug'lik manbai chiqarayotgan to'lqinning uzunligi aniqlansin.

14.34. Yung tajribasida tirqishlar orasidagi masofa 0,8 mm. Interferensiyalar yo'llarining kengligi 2 mm bo'lishi uchun ekranni tirqishdan qanday masofada joylashtirish kerak?

14.35. Ko'zgular bilan o'tkazilgan Frenel tajribasida yorug'lik manbaining mavhum tasvirlari orasidagi masofa 0,5 mm ga, ulardan ekrangacha bo'lgan masofa esa 3 m ga teng. To'lqin uzunligi $\lambda = 600$ nm. Ekrandagi interferensiyalar yo'llarining kengligi aniqlansin.

14.36. Yassi-qavariq linzaning ($n=1,5$) optik kuchi 0,5 dptr. Linza qavariq tomoni bilan shisha plastinka ustida qo'yilgan. Undan o'tgan ($\lambda = 500$ nm) yorug'likdagi yettinchi qora Nyuton halqasini radiusini toping.

14.37. Ikkinchi tartibli spektrdagi qizil chiziqni ($\lambda = 700$ nm) ko'rmoq uchun ko'rish trubasini kollimator o'qiga 30° burchak bilan o'rganishga to'g'ri kelsa, difraksiya anjara doimiysi nimaga teng? Mazkur panjara uzunligining 1 cm ga shtrix chizilgan? Panjaraga yorug'lik tik tushadi.

14.38. Eni 2,5 cm difraksiya panjara doimiysi 2 μ m ga teng. Mazkur panjara ikkinchi tartibli spektrining sariq nurlar (600 nm) sohasida qanday to'lqin uzunliklari farqini ajrata oladi?

14.39. Davri 10 μ m bo'lgan difraksiya panjaraga 30° burchak ostida to'lqin uzunligi 0,6 μ m bo'lgan monoxromatik yorug'lik tushadi. Ikkinch bosh maksimumga mos keluvchi difraksiya burchagi aniqlansin.

14.40. To'lqin uzunligi 71,2 pm bo'lgan monoxromatik rentgen nurlanishi kristallning tabiiy sirtidan ko'zgu qoidasi bo'yicha qaytgan bo'lsa, natriy xloridi (NaCl) kristallining panjara doimiysi qanday? Birinchi tartibli maksimum $7^\circ 18'$ burchak ostida kuzatiladi.

14.41. Sirt egrilik radiuslari 40 cm bo'lgan ikki yoqlama qavariq linzaga linzaning linzaning optik o'qida undan 50 cm masofada joylashgan nuqtaviy manbadan oq yorug'lik tushmoqda. Linzaning oldiga yorug'lik oqimini ko'ndalang

kesimini chegaralovchi diametri 1 cm bo'lgan diafragma jips qilib joylashtirilgan. Ko'rinma spektrni chetki nurlari uchun sindirish ko'rsatkichi $n_q=1,74$, $n_b=1,8$ ga teng. Linzadan 50 cm masofada uning optiko'qiga perpendikulyar joylashgan ekranda qanday manzarani kuzatish mumkin?

14.42. Qutblagich va analizatorlarning o'tkazish tekisliklari orasidagi burchak 45° . Agar burchak 60° gacha orttirilsa, analizatoridan chiqayotgan yorug'lik intensivligi necha marta kamayadi?

14.43. Tabiiy yorug'lik suv bilan to'ldirilgan shisha idishning tubidan qaytmoqda. Qaytgan nur maksimal qutblangan bo'lishi uchun tushish burchagi qanday bo'lishi kerak? Shishaning sindirish ko'rsatkichi 1,52, suvniki esa 1,33.

14.44. Qutblagich va analizator bosh tekisliklari orasidagi burchak 45° . Bu burchakni 60° gacha orttirilganda analizatoridan chiqayotgan yorug'lik intensivligi necha marta kamayadi?

14.45. Davri 0,1 mm bo'lgan difraksion panjara yordamida markaziy maksimumdan 3 mm masofada uchinchi maksimum hosil qilindi. Panjaradan ekrangacha bo'lgan masofa 10 cm bo'lsa, yorug'likning to'lqin uzunligi qanday?

14.46. Har bir santimetrida 4000 ta shtrixi bo'lgan difraksion panjaraga to'lqin uzunligi $0,5 \mu\text{m}$ bo'lgan monoxromatik nur tik tushmoqda. Kuzatishi mumkin bo'lgan difraksion maksimumlar soni qanday?

14.47. Davri 0,4 mm bo'lgan difraksion panjara yordamida markaziy maksimumdan 4 mm masofada beshinchi maksimum hosil qilindi. Panjaradan ekrangacha bo'lgan masofa 10 cm bo'lsa, yorug'likning to'lqin uzunligi qanday?

14.48. Davri 0,5 mm bo'lgan difraksion panjara yordamida markaziy maksimumdan 2 mm masofada ikkinchi maksimum hosil qilindi. Panjaradan ekrangacha bo'lgan masofa 10 cm bo'lsa, yorug'likning to'lqin uzunligi qanday?

14.49. Har bir santimetrida 500 ta shtrixi bo'lgan difraksion panjaraga to'lqin uzunligi $1 \mu\text{m}$ bo'lgan monoxromatik nur tik tushmoqda. Kuzatishi mumkin bo'lgan difraksion maksimumlarning eng yuqori tartibini aniqlang?

14.50. Davri 20 nm bo'lgan difraksion panjara ekranida jami 7 ta oq yo'lak hosil bo'ladi. Panjaraga tushayotgan nurning to'lqin uzunligini toping.