प्रकाशिक उपकरण (Optical Instruments)

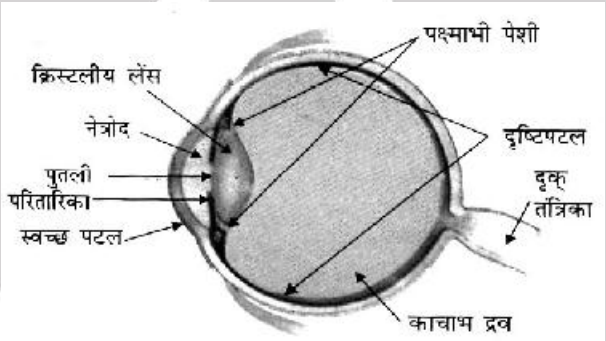
1 मानव नैत्र (Human Eye)

1.1 नैत्र की संरचना (Structure of Eye)

चित्र में नेत्र दर्शाया गया है प्रकाश नेत्र में सामने के वक्रीय पृष्ठ जिसे कॉर्निया या स्वच्द पटल कहते है, से प्रवेश करता है। पत्पश्चात यह पुतली से जो कि परितारिका में केन्द्रीय छिद्र होता है से गुजरता है। पुतली के आकार को पेशियॉ नियंत्रित करती है। नेत्र लेंस इस प्रकाश को ओर फोकसित करके दृष्टिपटल (रेटिना) पर प्रतिबिंब बना देता है। दृष्टिपटल तंत्रिका तंतुओ की एक पतली झिल्ली होती है जो नेत्र के पीछे की वक्रित पृष्ठ को ढके रखती है। दृष्टिपटल में शलाका और शंकु होते है जो क्रमशः प्रकाश की तीव्रता तथा वर्ण के प्रति संवेदनशील होते है तथा दृक तंत्रिकाओ से होकर विद्युतीय सिगनलो को मस्तिष्क तक प्रेषित करते है, जो इस सूचना को अतंत संसाधित करता है पक्ष्माभी पेशिया (ciliary) के द्वारा नेत्र लेंस की आकृति वक्रता और इसलिए फोकस दूरी कुछ–कुछ आपरिवर्तित की जा सकती है। उदाहरण के लिए जब पेशियॉ शिथिल होती है तो नेत्र लेंस की फोकस दूरी लगभग 2.5 cm होती है तथा अनंत दूरी के पिण्ड दृष्टिपटल पर स्पष्ट फोकसित होते है।

जब वस्तु को नेत्र के निकट लाया जाता है तो प्रतिबिंब तथा लेंस के बीच की दूरी (2.5 cm) वही बनाए रखने के लिए पक्ष्माभी पेशियो की क्रिया (सिकुडने) द्वारा लेंस की फोकस दूरी कम हो जाती है। नेत्र के इस गुण को **समंजन क्षमता** कहते है।

यदि वस्तु नेत्र के बहुत निकट है तो लेंस इतना अधिक वक्रित नही हो पाता कि उस वस्तु का स्पष्ट प्रतिबिंब दृष्टिपटल पर बना सके, जिसके फलस्वरूप वस्तु का धुधला प्रतिबिंब बनता है।

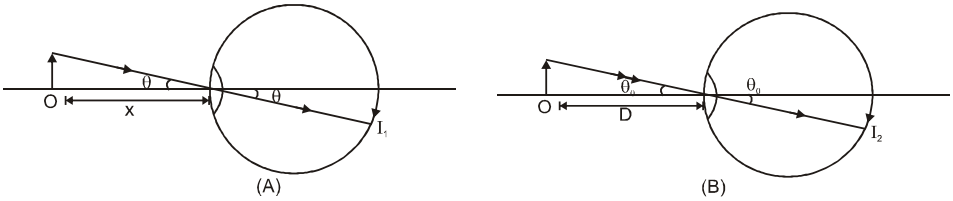


नेत्र के सम्मुख वह न्यूनतम दूरी जिस पर रखी वस्तु से आने वाली प्रकाश किरणे रेटिना पर, ऑख पर बिना दबाव के फोकस होती है इस बिन्दु को निकट बिन्दु कहते है जिसका मानक मान (सामान्य दृष्टि के लिए) 25 cm के लिए होता है तथा इसे निकट बिन्दु कहते है (तथा D से दर्शायी जाती है)

जब प्रतिबिंब अनन्त पर रखी वस्तु के लिए प्राप्त करना होता है तो आंख की मांस पेंशियो पर कोई दबाव नही पडता तथा रेटिना पर बनता है इसे **सामान्य संयोजन** कहते है।

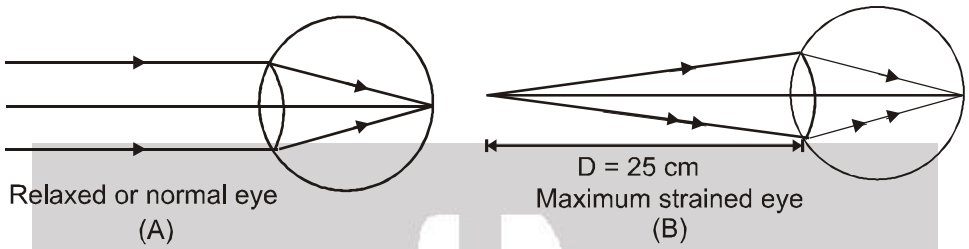
1.2 Regarding Eye:

1. मानव नेत्र लेंस, उतल लेंस होता है जो उल्टा व छोटा तथा वास्तविक प्रतिबिंब रेटिना पर बनाता है लेंस की उतलता बदली जा सकती है (नेत्र लेंस तथा रेटिना के मध्य दूरी नियत रहती है)
2. मानव नेत्र पीले हरे रंग के लिए, अत्यधिक संवदेनशील होता है जिसकी तरंगदैर्ध्य 5550 Å है तथा बैगनी (4000Å) एवं लाल रंग (7000 Å) के लिए न्यूनतम संवेदनशील होता है।
3. ऑख द्वारा देखा गया वस्तु का आकार दर्शन कोण पर निर्भर करता है, दूर स्थित वस्तु द्वारा दर्शन कोण आख के रेटिना पर प्रतिबिंब (छोटे आकार का) I_1 बनता है, जबकि इसे पास लाने पर वस्तु दर्शन कोण ऑख पर बनाती है जिससे प्रतिबिंब I_2 का आकार तुलनात्मक रूप से अधिक प्रतित होता है।



4. सामान्य आंख के लिए निकट बिन्दु तथा दूर बिन्दु क्रमशः 25 cm तथा अनन्त पर लिये जाते है अर्थात सामान्य आख बहुत दूर स्थित वस्तु को स्पष्ट देख पाती है जबकि यह वस्तु आंख के समीप 25 cm तो भी उसे स्पष्ट देख लेती है नेत्र की इस क्षमता को **नेत्रसमजंन** क्षमता कहते है।

5. यदि वस्तु अनन्त पर है तो आने वाली प्रकाश किरण समान्तर आंख में प्रवेश करती है ऐसी स्थिति में आंख श्रान्त (relaxed or unstrained) अवस्था मे रहती है इसी प्रकार यदि वस्तु स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी (L.D.D.V, D = 25 cm) पर रखी है तो आंख पर अधिकतम दबाव (strain) पडता है ऐसी स्थिति में दर्शन कोण अधिकतम होता है।



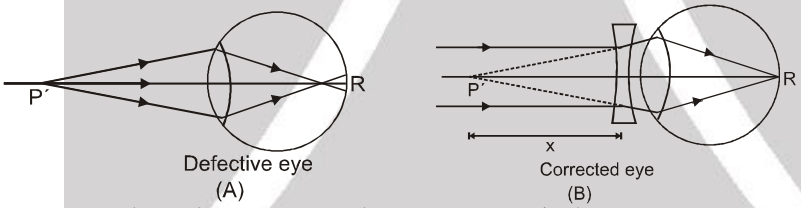
6. आंख की विभेदन सीमा ''एक मिनट'' होती है अर्थात दो वस्तुओ को उपरोक्त कोण से कम कोण पर रखने पर उनमें विभेदन नही किया जा सकता है

7. परसिस्टेंस समय (1/10) सेकण्ड होता है, अर्थात इस समय अन्तराल से कम समय अन्तराल में यदि दो प्रकाश पल्स हमारी आंख पर गिरती है अर्थात 0.1 sec से कम समय में तो हमें पल्स अर्थात चित्र के बदलने का एहसास नही होता है।

1.3 दृष्टि दोष (Defects of vision)

1. निकट दृष्टि दोष (Myopia) [or short-sightendness or near - sightendness]

इस प्रकार के दृष्टि दोष में दूरस्थ स्थित वस्तुओं स्पष्ट दिखाई नही पडती है तथा दूर बिन्दु अनन्त पर ना होकर समीप होता है।



माना P´ उपरोक्त दोष युक्त आंख के लिए दूर बिन्दु है तो P´ पर रखी वस्तु का प्रतिबिंब चित्र (A) में दर्शाये अनुसार रेटिना के पूर्व बन जाता है।

निकट दृष्टि दोष आंख को यदि अनन्त पर रखी वस्तु को स्पष्ट देखना है तो इस दृष्टि दोष को हटाने पर उचित फोकस दूरी पर अवतल लेंस आंख के समीप रखना होगा ये चित्र (B) में प्रदिर्शित।

माना x आंख से दूर बिन्दु की दूरी तो आंख के पहले स्थित अवतल लेंस के लिए

$u = \infty$ तथा $v = -x$

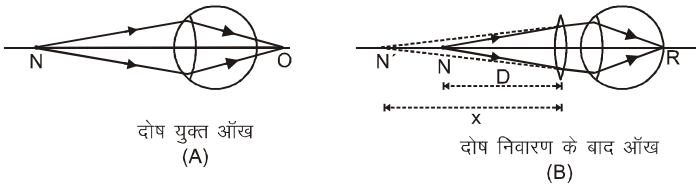
$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

हल करने पर, $f = -x$

स्पष्ट है कि निकट दृष्टि दोष वाले व्यक्ति के लिए दूर बिन्दु की दूरी के तुल्य फोकस दूरी का अवतल लेंस आंख के समीप रख कर उपरोक्त दोष को दूर किया जाता है।

2. दूर दृष्टि दोष (Hypermetropia) [Or Long-sightendness or far-sightendness]

इसके लिए निकट बिन्दु पर वस्तु स्पष्ट दिखाई नही देती अर्थात आंख से निकट बिन्दु 25 cm से अधिक दूर चला जाता है। निकट बिन्दु पर स्थित वस्तु का प्रतिबिंब रेटिना के पीछे बनता है।



दूर दृष्टि दोष व्यक्ति के लिए जब वस्तु बिन्दु N (सामान्य आंख के लिए निकट बिन्दु) पर रखी हो तो इसका प्रतिबिंब रेटिना के पीछे चित्र (A) के अनुसार बनता है।

निकट बिन्दु N´ वास्तव में दृष्टि दोष युक्त व्यक्ति के लिए N, से दूर होता है।

इस प्रकार के दोष को हटाने के लिए एक आवश्यक फोकस दूरी का उतल लेंस आंख के आगे रखा जाता है जिससे N रखी वस्तु से चलने वाली प्रकाश किरणें लेंस से गुजरने के बाद N´ से आती प्रतित होती है फलस्वरूप दूर दृष्टि दोष युक्त व्यक्ति को N पर रखी वस्तु साफ दिखाई पडती है। इसे चित्र (B) में प्रदर्शित किया जाता है।

माना x, निकट बिन्दु, N´ की आंख से दूरी है तथा D स्पष्ट दृष्टि के न्यूनतम अर्थात सामान्य आंख के लिए निकट बिन्दु N के लिए है तो आंख के सम्मुख रखे उतल लेंस के लिए

$u = -D$

तथा $v = -x$

यदि f आवश्यक उतल लेंस की फोकस दूरी है तो लेंस सूत्र से

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{-x} - \frac{1}{-D} = \frac{1}{f}$$

$$f = \frac{xD}{x - D} \qquad ...(1)$$

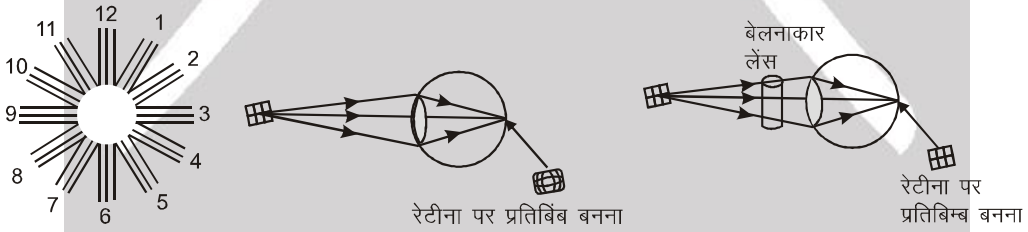
स्पष्ट है कि समीकरण (1) द्वारा दी गई फोकस दूरी उतल लेंस लेकर दूर दृष्टि दोष को दूर किया जाता है।

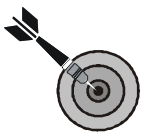
3. जरा दृष्टि दोष (Presbyopia)

इस प्रकार के दोष में निकट बिन्दु तथा दूर पर स्थित वस्तुओं को व्यक्ति साफ नही देख पाता अर्थात निकट बिन्दु 25 cm दूर तथा दूर बिन्दु अनन्त से समीप होता है। वास्तव में यह आयु बढने के साथ वृद्धा अवस्था के साथ सीलियरी मांसपेशियो के फेलने अथवा सिकुडने की क्षमता में कमी की वजह से अर्थात वे अपनी प्रत्यास्थता खोने लगती है। इस कारण नेत्र समजंन क्षमता कम हो जाती है।

4. अति बिन्दुकता (Astigmatism)

यह दोष वास्तव में आंख के लेंस का पूर्ण रूप से गोलिय न होने की वजह से होता है। इस दोष से पीड़ित व्यक्ति को समान दूरी पर स्थित ऊर्ध्वाधर तथा क्षैतिज रेखाएँ समान रूप से स्पष्ट नहीं पड़ती हैं। यह दोष नेत्र की कोर्निया की वक्रता भिन्न–भिन्न तलों में भिन्न–भिन्न होने के कारण या नेत्र लैंस का पृष्ठ एक समान गोलीय न होने के कारण उत्पन्न होता है। इस दोष के निवारण के लिये विशेष प्रकार के बने बेलनाकार लैंस का प्रयोग किया जाता हैं।





Example 1. एक व्यक्ति 50 cm से दूर स्पष्ट नही देख पा रहा है तो आवश्यक लेंस की फोकस दूरी ज्ञात करें।

Solution : $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$

आवश्यक फोकस दूरी $u = -\infty$, $v = -50$ cm

$$-\frac{1}{50} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{f}$$

$f = -50$ cm

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{-0.5} = -2D$$

Example 2. एक निकट दृष्टि दोष युक्त व्यक्ति का दूर बिन्दु 150 cm है (a) उस किस लेंस शक्ति का लेंस काम में लेना चाहिए की दूरस्थ वस्तु को स्पष्ट देख सके। (b) यदि वह व्यक्ति चश्मा पहन कर, 25 cm पर स्थित किताब पढ सकता है क्या उसका निकट बिन्दु, 25 cm से समीप है।

Solution : (a) यहां दूर बिन्दु की दूरी x = 150 cm

इस दोष को अवतल लेंस का उपयोग करके दूर किया जा सकता है जिसकी फोकस दूरी

f = –x = –150 cm = –1.5 m

लेंस शक्ति

$$P = \frac{1}{f} = \frac{1}{-1.5} = 0.67\ D$$

(b) यहां u = –25 cm ; f = –150 cm

लेंस समीकरण से $v = \frac{uf}{u+f} = \frac{(-25)\times(-150)}{(-25)+(-150)} = 21.43$ cm

स्पष्ट है कि निकट बिन्दु 21.43 cm पर जो 25cm से कम है

प्रकाशीय उपकरण आँख का किसी वस्तु को देखने में सहायता करते हैं।

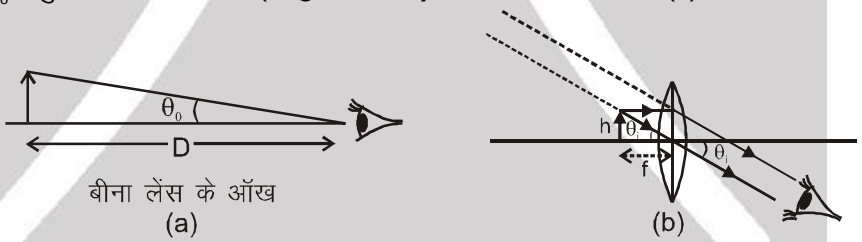
1. सूक्ष्मदर्शी (Microscope)

किसी साफ वस्तु का दर्शन कोण बढ़ाने के लिए प्रयोग किये जाने वाला प्रकाशीय उपकरण हैं जो कि सामान्य आंखों से बहुत छोटी दिखती हैं।

1.1 सरल सूक्ष्मदर्शी (Simple Microscope)

यदि वस्तु अनन्त तथा निकट बिन्दु **(D)** के मध्य कही भी रखी हो तो सामान्य नेत्र अनन्त पर रखी वस्तु का स्पष्ट प्रतिबिंब रेटिना पर बनाता है। यदि हम वस्तु को ओर अधिक निकट लाते है तो रेटिना पर बना प्रतिबिंब स्पष्ट नही दिखाई पडता है यदि कोई वस्तु निकट बिन्दु जो सामान्य प्रक्षेक के लिए D = 25 cm है, पर वस्तु रखी है तो निकट बिन्दु पर वस्तु का प्रतिबिंब आंख के रेटिना पर महत्तम आकार बनता है।

वस्तु के आभासी आकार का ज्ञान रेटिना पर बने, इसके प्रतिबिंब इसके आकार से निर्धारित होता है आंख पर बना, वस्तु द्वारा दर्शन कोण θ_0 वस्तु के **कोणीय आकार** (**angular size)** कहलाता है। जो चित्र (a) में प्रदशित है।



जैसे छोटे किस्टल कीट पतंगें आदि को देखने के लिए हम हमारी आंख के समीप लाते है जिससे आंख पर आरोपित कोण तथा रेटिना पर बने प्रतिबिंब का आकार अधिकतम हो सके। लेकिन यदि निकट बिन्दु से ओर अधिक समीप है तो हमारे रेटिना पर स्पष्ट फोकस नही होगी तथा साफ नही दिखाई पडेगी। इसलिए केवल वस्तु को निकट बिन्दु पर रख कर ही (अधिकतम दर्शन कोण पर ही) स्पष्ट देखा जा सकता है

यदि एक उतल लेंस उपरोक्त वस्तु को दखने के लिए काम में ले चित्र (b) के अनुसार वस्तु का काल्पनिक प्रतिबिंब तुलनांत्मक रूप से अधिक दर्शन कोण आरोपित करता है। यदि वस्तु को आंख की ओर लाते है तो इसके आकार में वृद्धि होती है तथा यह यदि निकट बिन्दु पर अर्थात 25 cm पर है तो इसका आकार, बिना लेंस के उपयोग से देखने की तुलना में, अधिकतम दिखाई पडता है। उपयोग में आने वाला लेंस **साधारण सूक्ष्मदर्शी** कहलाता है। इस **आवर्धक लेंस** भी कहते है

साधारण सूक्ष्मदर्शी के उपयोग

(i) यदि प्रतिबिंब अनन्त पर बनता है **(**सामान्य संयोजन**):** काल्पनिक प्रतिबिंब जो अनन्त पर बनता है आंख द्वारा देखने में अत्यन्त सुगम होता है क्योकि इस स्थिति में सिलियरी मांसपेशियो में तनाव नही होता है अर्थात जब वस्तु को आवर्धक लेंस के फोकस पर रख दिया जाये तो हम कोणीय आवर्धन निम्न प्रकार से ज्ञात कर सकते है।

कोणीय आवर्धन अथवा आवर्धन क्षमता (M) : यह वस्तु के प्रतिबिम्ब को अनन्त पर रख कर आंख पर बने दर्शन कोण तथा बिना लेंस के वस्तु को निकट बिन्दु D पर रख कर आंख पर बने दर्शन कोण का अनुपात होता है।

चित्र (a) में वस्तु निकट बिन्दु पर रखी है तथा θ_0 दर्शन कोण बनता है।

$$\theta_o \approx \tan\theta_o \approx \frac{h}{D} \qquad ...(1)$$

चित्र (b) में आंख के सम्मुख एक आवर्धक लेंस रखा जिससे वस्तु का प्रतिबिंब अनन्त पर बनता है तथा आरोपित दर्शन कोण θ_i है।

$$\theta_i \approx \tan\theta_i \approx \frac{h}{f} \qquad ...(2)$$

कोणीय आवर्धन, $M = \frac{\theta_i}{\theta_o} = \frac{D}{f}$ ...(3)

(ii) **यदि प्रतिबिंब निकट बिन्दु D पर बनता है :** रेखीय आवर्धन 'm' का मान, जब प्रतिबिंब D पर बना हो तो साधारण सूक्ष्मदर्शी के लिए

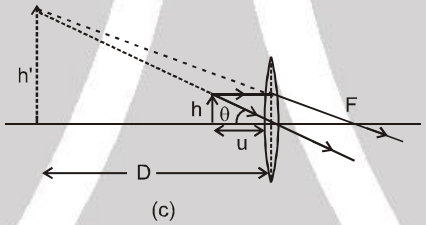
$$m = \frac{h'}{h} = \frac{v}{u} = \left(1 - \frac{v}{f}\right) \qquad ...(4)$$

यदि h वस्तु का आकार h' प्रतिबिंब का आकार हो तो

$$m = \left(1 + \frac{D}{f}\right) \qquad ...(5) \qquad (v = -D)$$

कोणीय आवर्धन अथवा आवर्धन क्षमता (M) : यह वस्तु के प्रतिबिम्ब द्वारा आंख पर बने दर्शन कोण तथा बिना लेंस के वस्तु को निकट बिन्दु D पर रख कर आंख पर बने दर्शन कोण का अनुपात होता है।

चित्र (c) में आवर्धक लेंस के सम्मुख रखी वस्तु का प्रतिबिंब D पर बनता है जिसका आरोपित दर्शन कोण θ_i है



(c)

Example 3. एक व्यक्ति के लिए निकट बिन्दु (25 cm) पर है जो किताब में लिखे छोटे अक्षरो को 5 cm फोकस दूरी वाले आवर्धक लेंस की सहायता से पढता है (a) लेंस का उपयोग करके आंख के निकटतम तथा दूरस्थ स्थित बिन्दु की (किताब की) दूरिया क्या होगी तोकि अक्षरो को साफ पढा जा सके (b) उपरोक्त साधारण सूक्ष्मदर्शी के लिए अधिकतम तथा न्यूतम सम्भव आवर्धन क्षमता क्या होगी।

Solution : (a) सामान्य आंख के लिए दूर बिन्दु तथा निकट बिन्दु क्रमशः अनन्त तथा 25 cm होता है इसलिए $v_{max} = -\infty$ तथा $v_{min} = -25\,cm$ लेंस सूत्र से $\frac{1}{v} - \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$ i.e., $u = \frac{f}{\left(\frac{f}{v}\right) - 1}$

u का मान न्यूनतम होगा जब $v_{min} = -25\,cm$ अर्थात $(u)_{min} = \frac{5}{\left(\frac{-5}{25}\right) - 1} = -\frac{25}{6} = -4.17\,cm$

u अधिकतम होगा जब $v_{max} = \infty$

इसलिए आंख (आवर्धक लेंस) से किताब की न्यूनतम एवं अधिकतम दूरी क्रमशः 4.17 cm तथा 5 cm होगी।

(b) साधारण सूक्ष्मदर्शी के लिए $M.P. = \frac{D}{u}$. अतः M.P. न्यूनतम होगा जब $u_{max} = 5$ cm

अर्थात $(MP)_{min} = \frac{-25}{-5} = 5 \qquad \left[= \frac{D}{f}\right]$

तथा M.P. अधिकतम होगा जब $u_{min} = \left(\frac{25}{6}\right) cm$ अर्थात $(MP)_{max} = \frac{-25}{-\left(\frac{25}{6}\right)} = 6\left[= 1 + \frac{D}{f}\right]$

1.2 संयुक्त सूक्ष्मदर्शी (Compound Microscope)

यदि हमें उच्च आवर्धन की आवश्यकता होती है तब हम साधारण आवर्धक लेंसो का उपयोग करके सयुक्त सूक्ष्मदर्शी बना लेते है।

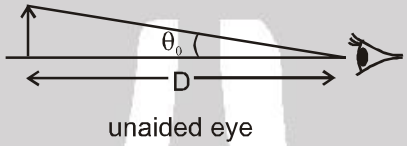
सयुक्त सूक्ष्मदर्शी के आवश्यक भाग दो अलग–अलग फोकस दूरी के समाक्षीय उतल लेंस होते है जिन्हे निम्न प्रकार से जाना जाता है।

(a) अभिदृश्यक (Objective lens or objective): ये छोटे द्वारक का लेंस होता है जो वस्तु की ओर रखा जाता है

(b) अभिनेत्र लेंस (Eye piece): ये बडे द्वारक का लेंस होता है जो आंख की ओर रखा जाता है।

यदि एक वस्तु O को अभिदृश्यक के पहले फोकस से दूर रेखा जाये तो इसका वास्तविक तथा आवर्धित प्रतिबिंब I´ चित्रानुसार बनता है उपकरण के संयोजन को इस प्रकार व्यस्थित किया जाता है कि उपरोक्त प्रतिबिंब अभिनेत्र लेंस के प्रथम फोकस के अन्दर बने, अब स्पष्ट है कि, अभिनेत्र लेंस साधारण सूक्ष्मदर्शी का कार्य करेगा। तथा अन्तिम प्रतिबिंब I प्राप्त होगा जो निकट बिन्दु से दूर बिन्दु तक कही भी हो सकता है।

चित्र (a) में वस्तु निकट बिन्दु पर रखी है जो आंख पर θ_o दर्शन कोण आरोपित करती है।

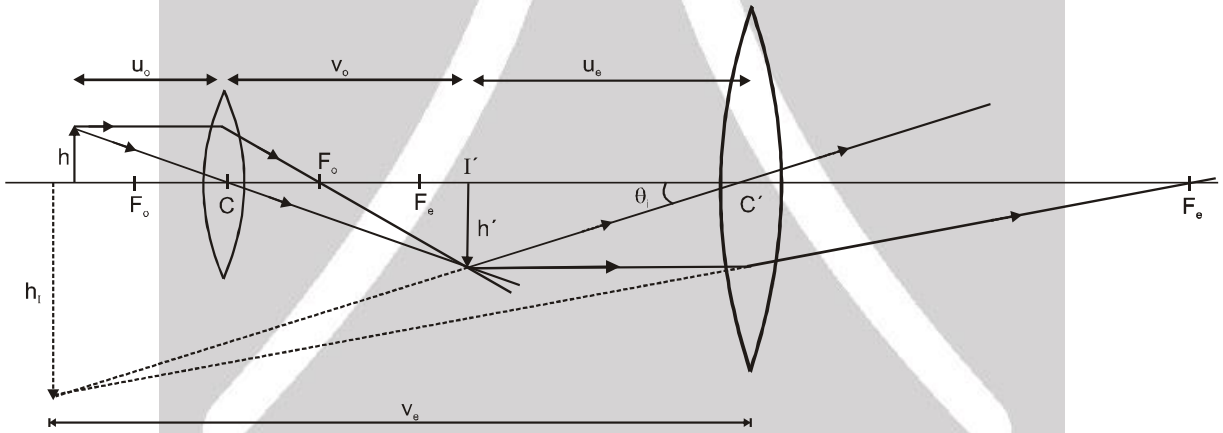


unaided eye

(a)

$$\theta_o \approx \tan\theta_o \approx \frac{h}{D} \qquad .....(1)$$

(i) जब प्रतिबिंब निकट बिन्दु **D** पर बनता है **:** माना θ_i अन्तिम प्रतिबिंब द्वारा आंख पर चित्र (b) के अनुसार बना दर्शन कोण है।



(b)

कोणीय आवर्धन अथवा आवर्धन क्षमता (M) : यह वस्तु के प्रतिबिम्ब द्वारा आंख पर बने दर्शन कोण तथा बिना लेंस के वस्तु को निकट बिन्दु D पर रख कर आंख पर बने दर्शन कोण का अनुपात होता है।

कोणीय आवर्धन का मान

$$M = \frac{\theta_i}{\theta_o} \approx \frac{\tan\theta_i}{\tan\theta_o} \qquad .....(2)$$

$$\theta_i \approx \tan\theta_i = \frac{h_i}{v_e} = \frac{h_i}{D} \qquad (\because \quad v_e = D \text{ परिमाण में })$$

$$\theta_o \approx \tan\theta_o = \frac{h}{D}$$

$$M = \frac{h_i}{h} \qquad .....(3)$$

रेखीय आवर्धन, $m = \frac{h_i}{h} = m_o \times m_e$ .....(4)

$M = m_o \times m_e$ (समीकरण (3) तथा (4) से)

जहां m_o = अभिदृश्यक लेंस द्वारा उत्पन्न रेखीय आवर्धन = $\frac{v_o}{u_o}$ .....(5)

m_e = अभिनेत्र लेंस द्वारा उत्पन्न रेखीय आवर्धन = $\frac{v_e}{u_e}$

लेंस सूत्र के उपयोग करने पर , $\frac{1}{v_e}-\frac{1}{u_e}=\frac{1}{f_e}$

$m_e=\frac{v_e}{u_e}=1-\frac{v_e}{f_e}=1+\frac{D}{f_e}$ .....(6)

$(\because v_e=-D)$

समीकरण (3), (4) तथा (6) से

$M=\frac{v_o}{u_o}\left(1+\frac{D}{f_e}\right)$, ...(7)

वास्तव में अभिदृश्यक लेंस की फोकस दूरी बहुत कम होती है तथा वस्तु को फोकस के ठीक बाहर रखा जाता है इसलिए

$u_o = -f_o$

चुंकि अभिनेंत्र लेंस की फोकस दूरी भी छोटी होती है इसलिए प्रतिबिंब I' की अभिदृश्यक से दूरी सयुक्त सूक्ष्मदर्शी की नलिका की लम्बाई L के लगभग बराबर होती है अर्थात्

$v_o = L$

समीकरण (7) से, $M=-\frac{L}{f_o}\left(1+\frac{D}{f_e}\right)$

समीकरण से स्पष्ट है कि सयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता उच्च होती है, यद्यपि अभिनेंत्र तथा अभिदृश्यक लेंस की फोकस दूरीया छोटी हो। यहां ऋणात्मक चिन्ह यह प्रदर्शित करते है कि वस्तु के सापेक्ष अन्तिम प्रतिबिंब उल्टा (inverted) है

(ii) **जब प्रतिबिंब अनन्त पर बनता है** : सयुक्त सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

$M = m_o \times m_e$

अभिदृश्यक लेंस द्वारा उत्पन्न आवर्धन, $m_o = \frac{v_o}{u_o}$

अभिनेत्र लेंस प्रतिबिंब को अनन्त पर बनता है अतः

$m_e = \frac{D}{f_e}$ (साधारण सूक्ष्मदर्शी के लिए)

इसलिए, $M=\frac{v_o}{u_o}\frac{D}{f_e}$,

$M=-\frac{L}{f_o}\frac{D}{f_e}$

Example 4. एक सयुक्त सूक्ष्मदर्शी के अभिदृश्यक लेंस तथा अभिनेत्र लेंस की फोकस दूरिया क्रमशः 2 cm तथा 5 cm है एवं दोनो लेंसो की दूरी 20 cm है तो वस्तु की अभिदृश्यक लेंस से दूरी क्या होगी ताकि अभिनेत्र द्वारा बनाया गया प्रतिबिंब, आंख से 25 cm दूरी पर देखा जा सकता है। आवर्धन क्षमता भी ज्ञात करों

Solution : दिया है $f_0 = 2$ cm, $f_e = 5$ cm

$|v_o| + |u_e| = 20$ cm $\quad\therefore\quad v_e = -25$ cm

लेंस सूत्र से $\frac{1}{f_e}=\frac{1}{v_e}-\frac{1}{u_e}$; $\frac{1}{u}=\frac{1}{v_e}-\frac{1}{f_e}=-\frac{1}{25}-\frac{1}{5}$ $\quad\therefore\quad u_e=-\frac{25}{6}$ cm

वास्तविक प्रतिबिंब की अभिदृश्यक से दूरी

$$v_o = 20 - |u_e| = 20 - \frac{25}{6} = \frac{120-25}{6} = \frac{95}{6} \text{ cm}$$

अब $\frac{1}{f_o} = \frac{1}{v_o} - \frac{1}{u_o}$

दिया है $\frac{1}{u_o} = \frac{1}{v_o} - \frac{1}{f_o} = \frac{1}{(95/6)} - \frac{1}{2}$ अर्थात $\frac{1}{u_o} = \frac{6}{95} - \frac{1}{2} = \frac{12-95}{190} = -\frac{83}{190}$

$\therefore \quad u_o = -\frac{190}{83} = -2.3 \text{ cm}$

आवर्धन क्षमता $M = -\frac{v_o}{u_o}\left(1+\frac{D}{f_e}\right) = -\frac{95/6}{(190/83)}\left(1+\frac{25}{3}\right) = -41.5$

2. दूरबीन (Telescope)

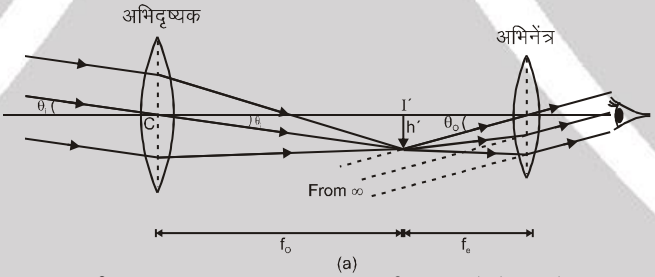
2.1 खगोलिय दूरदर्शी (Astronomical Telescope)

बहुत दूर स्थित बडी वस्तु जैसे तारे ग्रह उपग्रह को देखने के लिए तथा दर्शन कोण बढाने के लिए इस उपकरण का उपयोग होता है इसमें भी दो उतल लेंस का उपयोग होता है जिसमें से एक वस्तु की ओर स्थित होता है, जिसे **अभिदृश्यक लेंस** कहते है इसकी फोकस दूरी तथा द्वारक दोनो ही बडे होते है। दूसरा लेंस **अभिनेत्र लेंस** कहलाता है जिसकी फोकस दूरी तथा द्वारक (अभिदृश्यक की तुलना में) दोनो ही छोटे होते है यह लेंस आंख की ओर रहता है। दोनो लेंसो के मध्य की दूरीयो को व्यवस्थित किया जा सकता है।

अभिदृश्यक लेंस दूरस्थ स्थित वस्तुओ का वास्तविक तथा उल्टा प्रतिबिंब I' इसके फोकस तल पर बनाता है अभिनेत्र की दूरी को व्यवस्थित किया जा सकता है इस कारण अन्तिम प्रतिबिंब नेत्र के निकट बिन्दु D पर बनाया जा सकता है। उपरोक्त में अभिनेत्र की स्थिति को इस प्रकार से भी व्यवस्थित किया जा सकता है कि अन्तिम प्रतिबिंब अनन्त पर बने, इसे सामान्य संयोजन कहते है।

(i) जब प्रतिबिंब अनन्त पर बनता हो (सामान्य संयोजन)

जब दूरस्थ स्थित वस्तुओ से आने वाली सामान्तर प्रकार किरण पुंज अभिदृश्यक लेंस पर गिरती है तो इसका वास्तविक एवं उल्टा प्रतिबिंब I′ अभिदृश्यक लेंस के दूसरी ओर f_o दूरी पर बनता है। यदि अभिनेत्र की स्थिति को संयोजित करे ताकि प्रतिबिंब I′ इसके फोकस पर आ जाये तो अन्तिम आवर्धित प्रतिबिंब अनन्त पर बनता है।



(a)

रेखीय आवर्धन तथा रखीय आवर्धन क्षमता (M) : यह दूरदर्शी द्वारा देखे जाने पर अन्तिम प्रतिबिंब द्वारा आंख पर आरोपित किया गया दर्शन कोण तथा जब वस्तु प्रतिबिंब अनन्त पर है तब आंख से सीधे देखे जाने पर आरोपित किये गये दर्शन कोण का अनुपात होता है।

$$M = \frac{\theta_i}{\theta_o} = \frac{\tan\theta_i}{\tan\theta_o} \qquad (\text{छोटे कोण के लिए } \tan\theta \approx \theta)$$

चित्र (a) से $\tan\theta_i = \frac{h'}{CI'}$, $\tan\theta_o = \frac{h'}{C'I'}$

$$M = \frac{CI'}{C'I'} = -\frac{f_o}{f_e} \qquad (CI' = f_o,\ C'I' = -f_e)$$

यदि f_o का मान बडा तथा f_e का मान छोटा हो तो आवर्धन उच्च होगा सामान्य संयोजन (normal adjustment) में नलिका की लम्बाई निम्न होगी।

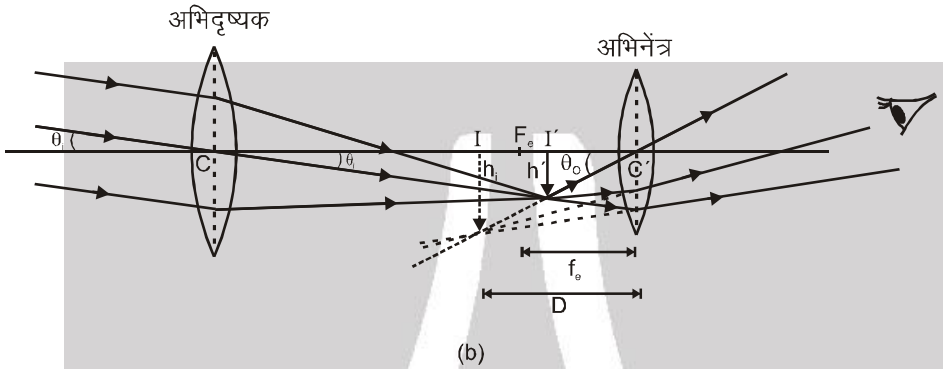
$$L = (f_0 + u_e)$$

(ii) यदि अन्तिम प्रतिबिंब D (निकट बिन्दु) पर बनता है

जब दूरस्थ से आपतित प्रकाश पुंज अभिदृश्यक लेंस से गुजरती है तो यह वास्तविक तथा उल्टा प्रतिबिंब I′ अभिदृश्यक के दूसरी ओर f_o पर बनाती है यदि अभिनेत्र की स्थिति को संमजित करे तो अन्तिम प्रतिबिंब I निकट बिन्दु D पर बनाया जा सकता है।

रेखीय आवर्धन अथवा रेखीय आवर्धन क्षमता (M) : यहां इसे निकट बिन्दु पर बने अन्तिम प्रतिबिंब द्वारा आंख पर बनाये गये कोण तथा वस्तु के अनन्त पर होने पर, वस्तु द्वारा, सीधे आंख पर बनाये गये कोण का अनुपात होता है, द्वारा परिभाषीत करते है।

$$M = \frac{\theta_i}{\theta_o} = \frac{\tan\theta_i}{\tan\theta_o} \qquad \text{(छोटे कोण के लिए } \tan\theta \approx \theta\text{)}$$



(b)

चित्र (b) से $\tan\theta_o = \frac{h'}{CI'}$, $\tan\theta_i = \frac{h'}{C'I'}$

$$M = \frac{CI'}{C'I'} = -\frac{f_o}{u_e}$$

नेत्र लेंस के लिए $\frac{1}{v_e} - \frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e}$,

$$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D} \qquad (u_e = -u_e,\ v_e = -D)$$

$$M = -\frac{f_o}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$$

स्पष्ट है कि यदि f_o का मान बडा एवं f_e का मान छोटा है तो आवर्धन उच्च होगा

2.2 पार्थिव सूक्ष्मदर्शी (Terrestrial Telescope)

दूरदर्शी में यदि निम्न चित्रानुसार तीन लेंसो का उपयोग करे तो तीसरे लेंस की सहायता से अन्तिम प्रतिबिंब सीधा प्राप्त किया जा सकता यह लेंस अभिदृश्यक द्वारा बने उल्टे प्रतिबिब को बिना आवर्धन के पुनः उलट देता है।

नलिका की लम्बाई $L = f_0 + f_e + 4f$

Example 5. एक दूरदर्शी मे दो उतल लेंस क्रमशः 16 cm तथा 2 cm फोकस दूरी के लगाये गये है यदि जब आंख श्रान्त अवस्था (relaxed eye) मे हो तब कोणीय आवर्धन क्या होगा? तथा लेंसो के मध्य दूरी क्या होगी ? यदि वस्तु आंख पर 0.5º का कोण आरोपित करती है तो प्रतिबिंब कितना कोण आरोपित करेगा।

Solution : कोणीय आवर्धन

$$M = \frac{\alpha}{\beta} = \frac{F}{f} = \frac{16}{2} = 8 \text{ cm}$$

लेंसो के मध्य दूरी $= F + f = 16 + 2 = 18$ cm

यहां $\alpha = 0.5^o$

∴ प्रतिबिंब दूरा आरोपित दूरी

$\beta = M\alpha = 8 \times 0.5^o = 4^o$

Example 6. श्रान्त नेंत्र के लिए, एक दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता का मान 9 है तथा दोनो लेंसो के मध्य की दूरी 20 cm है तो दोनो लेंसो की फोकस दूरी ज्ञात करो।

Solution : आवर्धन $M = \frac{F}{f}$

लेंसो के मध्य दूरी $d = F + f$

दिया गया है $\frac{F}{f} = 9$ i.e., $F = 9f$ .....(1)

तथा $F + f = 20$ .....(2)

समीकरण (1) तथा समीकरण (2) से

$$9f + f = 20 \Rightarrow 10f = 20 \Rightarrow f = \frac{20}{10} = 2cm$$

$\therefore$ $F = 9f = 9 \times 2 = 18$ cm

$\therefore$ $F = 18$ cm, $f = 2$ cm

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी तथा खगोलीय दूरदर्शी की तुलना

S.No.	संयुक्त सूक्ष्मदर्शी	खगोलीय दूरदर्शी
1.	इसका उपयोग समीप स्थित अत्यन्त छोटी वस्तुओ के लिए दर्शन कोण बढाने मे होता है	इसका उपयोग दूरस्थ बडे आकार की वस्तुओ के लिए दर्शन कोण बढाने में होता है
2.	इसमें क्षेत्रलेंस तथा नेंत्रलेंस दोनो ही कम फोकस दूरी के अभिसारी लेंस होते है जिनका द्वारक छोटे आकार का होता है	इसमें क्षेत्रलेंस की फोकस दूरी तथा द्वारक बडा होता है जबकि नेंत्र लेंस की फोकस दूरी एवं द्वारक छोटा होता है, तथा दोनो ही लेंस अभिसारी होते है।
3.	अन्तिम प्रतिबिंब उल्टा काल्पनिक तथा आवर्धित होता है आंख से, D से लेकर अनन्त दूरी तक उपस्थित हो सकता है	अन्तिम प्रतिबिंब उल्टा काल्पनिक तथा बडा होता है तथा यह आंख से, D से लेकर अनन्त दूरी तक उपस्थित हो सकता है
4.	यदि दोनो लेंसो को परस्पर बदल दे तो आवर्धन में कोई विशेष अन्तर नही आता है[MP ~ $(LD/f_0 f_e)$]	यदि दोनो लेंस को परस्पर बदल देवे तो आवर्धन $(1/m^2)$ गुना हो जाता है [MP ~$[f_0/f_e]$
5.	दोनो लेंस की फोकस दूरिया घटाकर आवर्धन क्षमता को बढाया जा सकता है	अभिदृश्यक लेंस की फोकस दूरी को बढाकर अथवा अभिनेत्र की फोकस दूरी को घटाकर आवर्धन क्षमता को बढाया जा सकता है
6.	विभेदन क्षमता को उपयोग में आने वाली प्रकाश तरंगदैर्ध्य को घटाकर बढा सकते है	विभेदन क्षमता को उपयोग में आने वाली अभिदृश्यक के द्वारक को बढाकर बडा सकते है।

विभेदन क्षमता (R.P.)

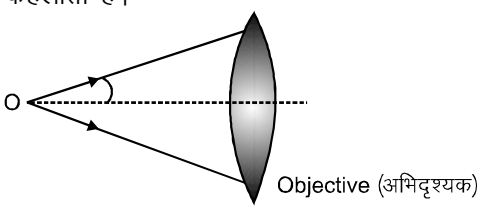
(1) सूक्ष्मदर्शी : सूक्ष्मदर्शी की स्थिति में दो रेखाओं के मध्य न्यूनतम् दूरी जिस पर रेखाओं को ठीक विभेदित किया जा सके। विभेदन सीमा (RL) कहलाती है तथा इसका व्युत्क्रम विभेदन क्षमता (RPO) कहलाता है।

$R.L. = \frac{\lambda}{2\mu \sin\theta}$ तथा $R.P. = \frac{2\mu \sin\theta}{\lambda} \Rightarrow R.P. \propto \frac{1}{\lambda}$

λ = वस्तुओं को प्रकाशित करने के लिए प्रयुक्त प्रकाश की तंरगदैर्ध्य

μ = वस्तु तथा अभिदृश्यक के मध्य माध्यम का अपवर्तनांक

θ = बिन्दुवत वस्तु के शंकु का अर्द्धकोण, $\mu \sin\theta$ = गणितिय द्वारक



(2) दूरदर्शी (Telescope) : दो दूरस्थ बिन्दुओं के मध्य न्यूनतम् कोणीय अन्तर $(d\theta)$ जिनके प्रतिबिम्ब दूरदर्शी में एक दूसरे से अलग–अलग हो विभेदन सीमा (RL) कहलाती है। अतः विभेदन सीमा $d\theta = \frac{1.22\lambda}{a}$

तथा विभेदन क्षमता (RP) = $\frac{1}{d\theta} = \frac{a}{1.22\lambda} \Rightarrow R.P. \propto \frac{1}{2}$ यहॉ a = अभिदर्शक लैंस का द्वारक

Example 7. 12×10^{-5} cm चौड़ाई की स्लिट के फ्रानहॉर्फर विवर्तन प्रतिरूप में जब स्लिट को 6000Å तरंगदैर्ध्य के एक वर्णीय प्रकाश से प्रकाशित किया जाता है। तब केन्द्रिय दीप्त फ्रिन्ज की कोणीय अर्द्ध चौड़ाई ज्ञात करो।

Solution. यहां $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$

जहां θ केन्द्रिय दीप्त की कोणीय अर्द्ध चौड़ाई है।

$A = 12 \times 10^{-5}$ cm, $\lambda = 6000Å = 6 \times 10^{-5}$cm

$\therefore \quad \sin\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{6\times10^{-5}}{12\times10^{-5}} = 0.50 \quad$ या $\quad \theta = 30°$

Example 8. संकीर्ण छिद्र के कारण फॉर्नहॉफर विवर्तन में विवर्तन प्रतिरूप प्राप्त करने के लिए एक पर्दा लैंस से 2m की दूरी पर रखा जाता है। यदि स्लिट की चौड़ाई 0.2 mm है तथा प्रथम निम्नष्ठि केन्द्रिय उच्चिष्ठ के किसी भी एक ओर 5 mm पर स्थित है। तब प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात कीजिए।

Solution. एक संकीर्ण आयताकार द्वारक से फॉर्नहॉफर विवर्तन की स्थिति में

$a \sin\theta = n\lambda$

$n = 1$

$\therefore \quad a \sin\theta = \lambda \quad \Rightarrow \quad \sin\theta = \frac{x}{D}$

$\therefore \quad \frac{ax}{D} = \lambda \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{ax}{D}$

यहाँ $a = 0.2$ mm $= 00.2$cm

$x = 5$ mm $= 0.5$ cm

$D = 2$m $= 200$ cm

$\therefore \quad \lambda = \frac{0.02\times0.5}{200} \quad \Rightarrow \quad \lambda = 5 \times 10^{-5}$ cm $\quad \Rightarrow \quad L = 5000Å$

Example 9. 6000Å तरंगदैर्ध्य का प्रकाश 0.30 nm चौड़ाई की स्लिट पर आपतित है। पर्दा स्लिट से 2m की दूरी पर है। ज्ञात करो।

(a) प्रथम अदीप्त फ्रिन्ज की स्थिति (b) केन्द्रिय दीप्त फ्रिन्ज की चौड़ाई

Solution. प्रथम अदीप्त फिन्ज केन्द्रिय दीप्त फिन्ज के एक ओर है।

यहां, $n = \pm1$, $D = 2$m

$\lambda = 6000Å = 6 \times 10^{-7}$m

$\sin\theta = \frac{x}{D}$

$a = 0.30$ mm $= 3 \times 10^{-4}$ m

$a \sin\theta = n\lambda$

(a) $x = \frac{n\lambda D}{a}$

$x = \pm\left[\frac{1\times6\times10^{-7}\times2}{3\times10^{-4}}\right]$

$x = \pm4 \times 10^{-3}$m

धनात्मक तथा ऋणात्मक चिन्ह केन्द्रिय दीप्त फ्रिन्ज के एक ओर अदीप्त फ्रिन्ज के सगंत है।

(b) केन्द्रिय दीप्त फ्रिन्ज की चौड़ाई $y = 2x = 2 \times 4 \times 10^{-3} = 8 \times 10^{-3}$ m $= 8$ mm

Example 10. 0.14 mm चौड़ाई का एक एकल स्लिट एकवर्णी प्रकाश के द्वारा प्रकाशित किया जाता है। तथा विवर्तन बैण्ड पर्दे से 2m की दूरी पर है। यदि दितीयक अदीप्त बैण्ड का केन्द्र केन्द्रिय दीप्त बैण्ड के मध्य से 1.6 cm पर है तब प्रयुक्त प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात करो।

Solution. संकीर्ण आयताकार छिद्र के कारण फ्रानहार्फर विवर्तन की स्थिति में

$a \sin\theta = n\lambda$

यहां θ निम्निठ को दार्ता है।

$n = 2, \ \lambda = ?$

$a = 0.14$ mm $= 0.14 \times 10^{-3}$ m

D = 2 m
x = 1.6 cm = 1.6 × 10^{-2} m

$\sin\theta = \frac{x}{D} = \frac{n\lambda}{a}$ ∴ $\lambda = \frac{xa}{nD}$

$= \frac{1.6\times10^{-2}\times0.14\times10^{-3}}{2\times2}$ = 5.6 × 10^{-7} m = 5600Å

Example 11. 6000Å तरंगदैर्ध्य के प्रकाश से प्रकाशित एक सकीर्ण स्लिट से पर्दा 2m की दूरी पर स्थित है। यदि प्रथम निम्निष्ठ केन्द्रिय उच्चिष्ठ के एक ओर 50 mm पर स्थित है तब स्लिट की चौड़ाई ज्ञात करो।

Solution. संकीर्ण स्लिट के कारण फ्रानहार्फर विवर्तन की स्थिति में

$a\sin\theta = n\lambda$

$\sin\theta = \frac{x}{D}$ ∴ $\frac{ax}{D} = n\lambda$

यहाँ स्लिट की चौड़ाई = a = ?
x = 5 mm = 5 × 10^{-3} m
D = 2m
λ = 6000Å = 6 × 10^{-7}m
n = 1

$a = \left(\frac{n\lambda D}{x}\right)$ ⇒ $a = \left(\frac{1\times6\times10^{-7}\times2}{5\times10^{-3}}\right)$

a = 2.4 × 10^{-4} m ⇒ a = 0.24 mm

Example 12. 12 × 10^{-5} cm चौड़ाई की स्लिट के फ्रानहार्फर विवर्तन प्रतिरूप में जब स्लिट को 6000Å तरंगदैर्ध्य के एकवर्णीय प्रकाश से प्रकाशित किया जाता है तब केन्द्रिय दीप्त उच्चिष्ठ की कोणीय चौड़ाई ज्ञात करो।

Solution. यहां $\sin\theta = \frac{\lambda}{a}$

जहां θ केन्द्रिय उच्चिठ की कोणीय अर्द्ध चौड़ाई है।
a = 12 × 10^{-5} cm = 12 × 10^{-7} m
λ = 6000Å = 6 × 10^{-7} m

$\sin\theta = \frac{6\times10^{-7}}{12\times10^{-7}} = 0.5$

$\theta = 30°$
केन्द्रिय उच्चिष्ठ की कोणीय चौड़ाई $2\theta = 60°$

Example 13. 0.5 cm चौड़ाई के एकल स्लिट के विवर्तन प्रतिरूप में 40 cm फोकस दूरी का लैन्स बनता है। अक्ष से प्रथम अदीप्त तथा अगले दीप्त फ्रिन्ज के मध्य दूरी ज्ञात करो।

Solution. न्यूनतम तीव्रता के लिए $a\sin\theta_n = n\lambda$

$\sin\theta_n = \frac{x_1}{f'}$ ⇒ n = 1

$\frac{x_1}{f} = \frac{\lambda}{a}$

यहां λ = 4890Å = 4890 × 10^{-10} m
a = 0.5 cm = 5 × 10^{-3} m
f = 40 cm = 0.4 m

$x_1 = \frac{f\lambda}{a}$

$x_1 = \frac{0.4\times4890\times10^{-10}}{5\times10^{-3}}$

x_1 = 3.912 × 10^{-5} m

द्वितीयक उच्चिष्ठ के लिए $a\sin\theta_n = \frac{(2n+1)\lambda}{2}$

प्रथम द्वितीयक उच्चिष्ठ के लिए n = 1

$\sin\theta_n = \frac{x_2}{f}$

$\frac{x_2}{f} = \frac{3\lambda}{2a}$

$x_2 = \frac{3\lambda f}{2a}$

$x_2 = \frac{3\times 4890\times 10^{-10}\times 0.4}{2\times 5\times 10^{-5}}$

$x_2 = 5.868 \times 10^{-5}$ m

अन्तर $x_2 - x_1 = 5.868 \times 10^{-5} - 3.912 \times 10^{-5} = 1.956 \times 10^{-5}$ m $= 1.596 \times 10^{-2}$ mm

Example 14. चन्द्रमा पर दो बिन्दुओं के मध्य दूरी ज्ञात करो जिसे 500 cm व्यास के दूरदर्शी के द्वारा विभेदित किया जा सकता है। चन्द्रमा की दूरी 3.8×10^5 km है। और 5500 Å तरंगदैर्ध्य के प्रकाश के एक अधिक संवेदी है।

Solution. दूरदर्शी के विमेदन की सीमा निम्न प्रकार ही जाती है।

$d\theta = \frac{1.22\lambda}{a}$

यहां $\lambda = 5500 \times 10^{-8}$cm, a = 500 cm

$\therefore \quad d\theta = \frac{1.22\times 5500\times 10^{-8}}{500}$

$\therefore \quad d\theta = 13.42 \times 10^{-8}$ radian

माना दो बिन्दुओं के मध्य दूरी x है।

$\therefore \quad d\theta = \frac{x}{R}$

यहां $R = 3.8 \times 10^{10}$ cm

$x = R.d\theta = 3.8 \times 10^{10} \times 13.42 \times 10^{-8} = 50.996 \times 10^2$ cm $= 50.996$ meters

Example 15. दूरदर्शी के अभिन्द्रश्यक का व्यास ज्ञात करो जिसे 6000Å तरंगदैर्ध्य के प्रकाश के लिए 4.88×10^{-6} रेडियन के द्वारा तारो को पृथक करने में प्रयुक्त किया जाता है।

Solution. यहां $\lambda = 6000Å = 6 \times 10^{-5}$ cm, $\theta = 4.88 \times 10^{-6}$ radian

D = ?

$\theta = \frac{1.22\lambda}{\theta}$ या $D = \frac{1.22\lambda}{\theta} = \frac{1.22\times 6\times 10^{-5}}{4.88\times 10^{-8}} = 15$cm

Example 16. एक दूसरे से 1.5 mm की दूरी पर स्थित दो पिन होल 5.5×10^{-5} cm तरंगदैर्ध्य के प्रकाश स्त्रोत के सामने स्थित है तथा एक दूरदर्शी के द्वारा इन्हें देखा जाता है। इस दूरदर्शी का द्वारक 0.4 cm तक बन्द है। दूरदर्शी से अधिकतम दूरी ज्ञात कीजिए, जहाँ तक पिन होल को विभेदित किया जा सकता है।

Solution. यहाँ, $\lambda = 5.5 \times 10^{-5}$ cm

a = 0.4 cm

$d\theta = \frac{1.22\lambda}{a}$

तथा $d\theta = \frac{x}{d}$

x = 1.5 mm = 0.15 cm

$\therefore \quad \frac{x}{d} = \frac{1.22\lambda}{a} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{xa}{1.22\lambda}$

$d = \frac{0.15\times 0.4}{1.22\times 5.5\times 10^{-5}}$ cm

d = 894.2 cm = 8.942 m