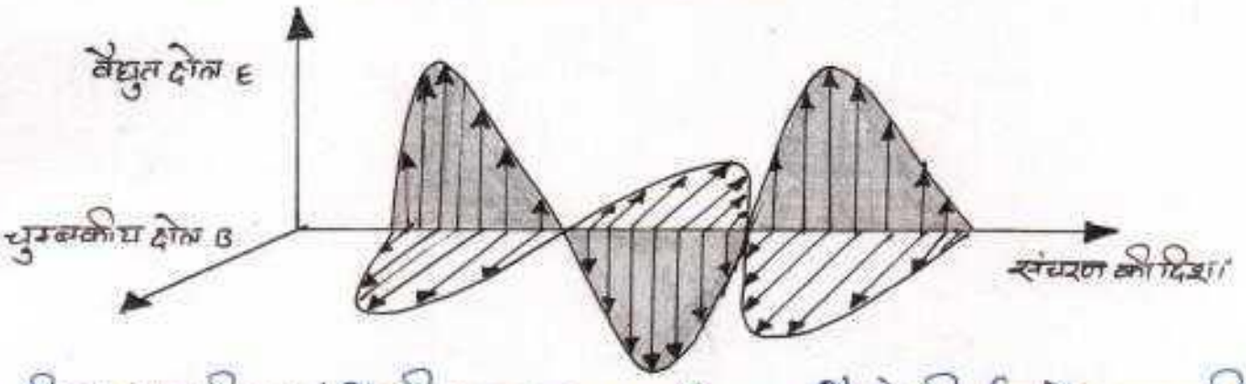
विद्युत चुम्बकीय तरंगें (Electromagnetic Waves)

मैक्सवेल ने विद्युत चुम्बकीय तरंगों के अस्तित्व की सैद्धान्तिक रूप से सन् 1861 में प्रायुक्ति की। ये वे तरंगे हैं जिनके संचरण हेतु किसी माध्यम की आवश्यकता नहीं होती। जब किसी वैद्युत परिपथ में वैद्युत धारा बहुत उच्च आवृत्ति से बदलती है, तो ऊर्जा तरंग रूप में चारों ओर प्रसारित होती है। यह तरंगे ही विद्युत चुम्बकीय तरंगें कहलाती हैं। इन तरंगों में विद्युत क्षेत्र E तथा चुम्बकीय क्षेत्र B परस्पर तथा संचरण की दिशा के भी लम्बवत् होते हैं।



विद्युत चुम्बकीय तरंगों की चाल 3.0×10^8 m/sec है जो निर्वात में प्रकाश की चाल है।

विद्युत चुम्बकीय तरंगों के अभिलक्षण (Characteristic of E.W.)

(i) विद्युत चुम्बकीय तरंगें त्वरित आवेश द्वारा उत्पन्न की जाती हैं।

(ii) विद्युत चुम्बकीय तरंगें उदासीन होती हैं अतः वे विद्युत व चुम्बकीय क्षेत्रों द्वारा विक्षेपित नहीं होती।

(iii) विद्युत चुम्बकीय तरंगें परावर्तन, अपवर्तन, व्यतिकरण, विवर्तन तथा ध्रुवण की घटनाओं को प्रदर्शित करती हैं।

(iv) मुक्त आकाश मे चलती विद्युत चुम्बकीय तरंग के विद्युत और चुम्बकीय क्षेत्रों के परिमाणों का अनुपात प्रकाश के वेग के बराबर होता है अर्थात्

$$\frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = C$$

(v) वैद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों मे साथ-साथ परिवर्तन होते हैं, तथा क्षेत्रों के महत्तम मान E_0 व B_0 एक ही स्थान व समय पर होते हैं; इनका अनुपात $E_0 / B_0 = C$।

Bhaskar Pandey

(vi) निर्वात में, वैद्युत ऊर्जा घनत्व $u_e = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$ तथा चुम्बकीय ऊर्जा घनत्व $u_m = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$ होता है।

अतः कुल ऊर्जा घनत्व $u = u_e + u_m = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0}$

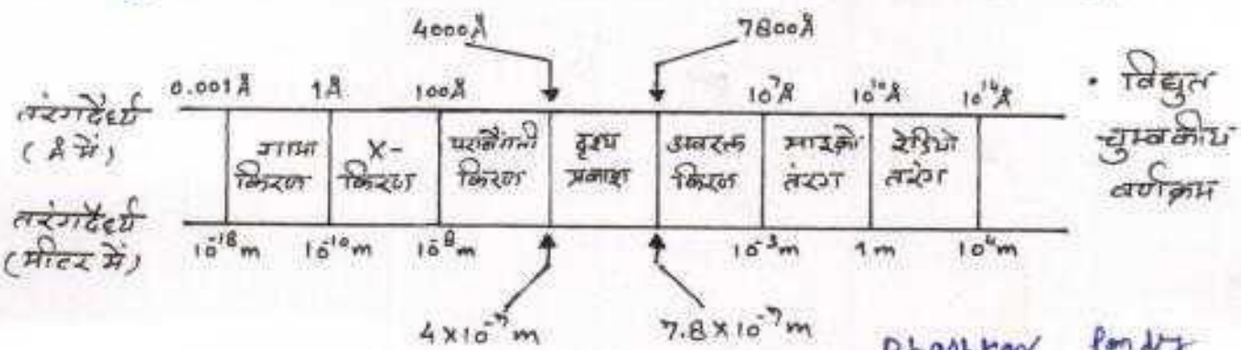
(vii) विद्युत चुम्बकीय तरंगों में औसतन ऊर्जा घनत्व वैद्युत तथा चुम्बकीय क्षेत्रों में बराबर-बराबर विभाजित होता है।

(viii) विद्युत चुम्बकीय तरंग में प्रकाशिक प्रभाव वैद्युत वेक्टर $\vec{E}$ के कारण होता है, वैद्युत क्षेत्र हमारी दृष्टि नाड़ियों को उत्तेजित करता है, जिससे हमें प्रकाश का अनुभव होता है। अतः वैद्युत चुम्बकीय तरंग के वैद्युत क्षेत्र वेक्टर को प्रकाशिक वेक्टर कहते हैं।

विद्युतचुम्बकीय स्पेक्ट्रम (Electromagnetic Spectrum)

श्वेत प्रकाश के स्पेक्ट्रम मे लाल से लेकर बैंगनी रंग तक सभी रंग दिखाई पड़ते हैं, इसको ही "दृश्य स्पेक्ट्रम" कहते हैं। "दृश्य स्पेक्ट्रम — 7.8×10^{-7} मीटर (लाल रंग) से लेकर 4.0×10^{-7} मीटर (बैंगनी रंग) तरंगदैर्ध्य परिसर में फैला हुआ है। खोजों से पता चला कि यह क्षेत्र केवल लाल से बैंगनी रंग तक ही सीमित नहीं है, बल्कि इसका विस्तार लाल रंग से ऊपर व बैंगनी रंग से नीचे भी है, यह भाग आँखों से नहीं दिखाई पड़ता, अतः इसे "अदृश्य स्पेक्ट्रम" कहते हैं। लाल रंग से बड़ी तरंग-दैर्ध्य वाला भाग जो अवरक्त प्रभाव दिखाता है "अवरक्त" तथा बैंगनी रंग से नीचे छोटी तरंग दैर्ध्य वाला भाग जो रासायनिक प्रभाव दिखाता है - "पराबैंगनी स्पेक्ट्रम" कहलाता है।

पश्चात् में खोजों द्वारा X किरण, रेडियो किरण आदि का ज्ञान हुआ तथा यह स्थापित हो चुका है कि ये सभी किरणें विद्युत चुम्बकीय तरंगें हैं, क्योंकि ये सभी गुण प्रदर्शित करती हैं, केवल इनकी तरंग दैर्ध्य में भिन्नता है।



Bhaskar Pandey

सम्पूर्ण विद्युत चुम्बकीय स्पेक्ट्रम का संक्षिप्त विवरण इस प्रकार है -

किरणें	तरंगदैर्ध्य परिसर	आवृत्ति परिसर	उत्पादन	गुण	उपयोग
गामा किरण	1×10^{-14} से 1×10^{-10} मीटर तक	3×10^{22} से 3×10^{18} हर्ट्ज तक	परमाणुओं के नाभिक विघटन होने पर उत्सर्जित होती है।	फोटोग्राफिक प्लेटों पर, प्रतिदीप्ति, स्फुरदीप्ति, विवर्तन आवेश रहित, आयनीकरण।	परमाणु के नाभिक के बारे में सूचना देती है तथा कैंसर कोशिकाओं को नष्ट करने में।
X-किरण	1×10^{-11} से 3×10^{-8} मीटर तक	3×10^{19} से 1×10^{16} हर्ट्ज तक	तीव्रगामी परमाणुओं के इलेक्ट्रॉनों के उच्च-परमाणु क्रमांक के लक्ष्य पर टकराने से उत्पन्न होती है।	गामा किरण के सभी गुण परन्तु वेधनक्षमता अपेक्षाकृत कम।	परमाणु के भीतरी कोश की संरचना ज्ञात करने में, रोगों के निदान हेतु
पराबैंगनी किरण	1×10^{-8} से 4×10^{-7} मीटर तक	3×10^{16} से 8×10^{14} हर्ट्ज तक	सूर्य, आर्क, स्पार्क, गर्म निर्वात स्पार्क तथा आयनित गैसों द्वारा उत्पन्न होती है।	गामा किरण के सभी गुण - वेधनक्षमता अपेक्षाकृत कम तथा वायुमण्डल में ओजोन द्वारा अवशोषित हो जाती है।	अदृश्य लिखाई, खाद्य परिरक्षण नकली दस्तावेज और अंगुली के निशानों का पता लगाने और जल में जीवाणुओं को नष्ट करने हेतु।
दृश्य विकिरण	4×10^{-7} से 7.8×10^{-7} मीटर तक	8×10^{14} से 4×10^{14} हर्ट्ज तक	आयनित गैसों के उत्तेजित परमाणुओं द्वारा तथा तापदीप्त वस्तुओं से विकिरण।	दृष्टि संवेदन, परावर्तन, अपवर्तन, व्यतिकरण, ध्रुवण, प्रकाश वैद्युत प्रभाव।	अणुओं की संरचना तथा परमाणु के बाह्य कोशों में इलेक्ट्रॉनों के प्रबन्धन का पता लगाने में।
अवरक्त किरण	7×10^{-7} से 5×10^{-3} मीटर तक	4×10^{14} से 6×10^{10} हर्ट्ज तक	गर्म वस्तुओं से तथा अणुओं में घूर्णन तथा कम्पित संक्रमण से।	ताप पुंजों तथा बोलोमीटर इत्यादि पर ऊष्मीय प्रभाव, अधिक वेधन शक्ति, परावर्तन, अपवर्तन, विवर्तन।	पौधा घर में पौधों को गर्म रखने और युद्ध क्षेत्र में धुंध के पार देखने हेतु।
माइक्रो तरंगें	1×10^{-3} से 3×10^{-1} मीटर तक	3×10^{11} से 1×10^{9} हर्ट्ज तक	स्फुलिंग विसर्जन द्वारा।	परावर्तन, अपवर्तन, व्यतिकरण, विवर्तन, ध्रुवण।	रेडार में, उपग्रहों तथा लम्बी दूरी वाले बेतार संचार में, माइक्रोवेव ओवन में।
रेडियो तरंगें	1×10^{-1} से 1×10^{4} मीटर तक	3×10^{9} से 3×10^{5} हर्ट्ज तक	दोलित वैद्युत परिपथों से।	परावर्तन तथा विवर्तन	रेडियो तथा टी०वी० के संचारण हेतु।

Bhaskar Pandey

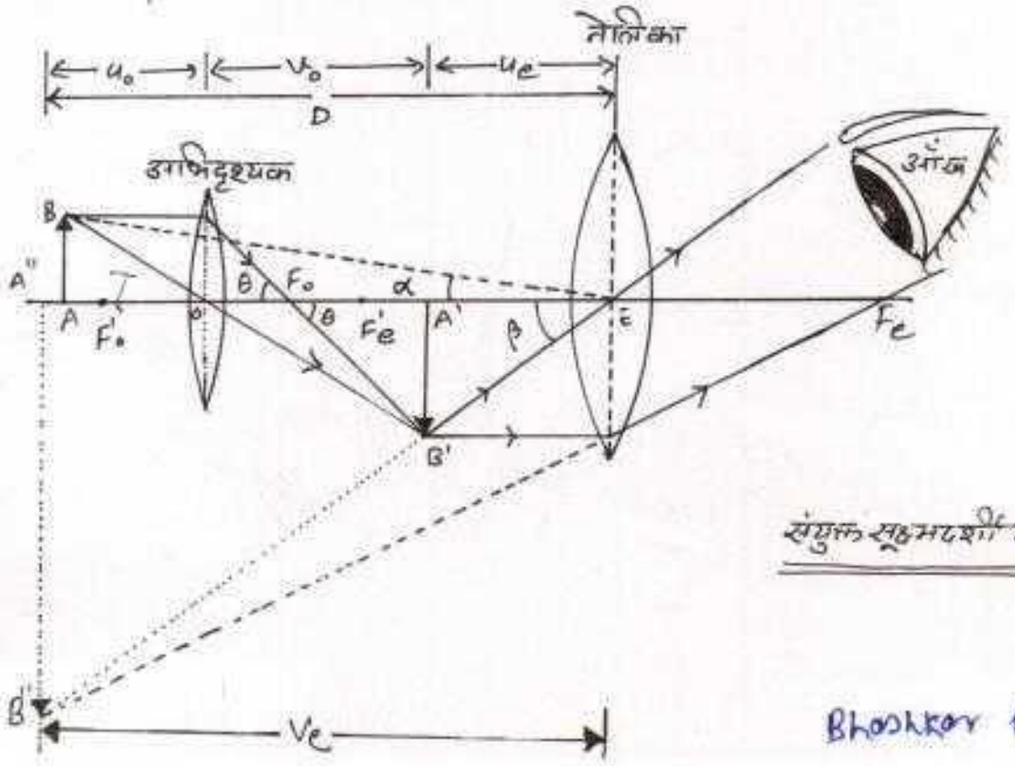
संयुक्त सूक्ष्मदर्शी -

संयुक्त सूक्ष्मदर्शी एक ऐसा यंत्र है जिसकी सहायता से छोटी सूक्ष्म वस्तुओं को स्पष्ट देखा जाता है. यह आँख के लिए दर्शन कोण को बड़ा बना देता है।

रचना :- इसमें दो उत्तल लेंस लगे होते हैं, एक कम द्वारक तथा कम फोकस दूरी वाला लेंस तथा दूसरा अपेक्षाकृत बड़े द्वारक और अधिक फोकस वाला लेंस जो आँखों की तरफ होता है। बड़ा द्वारक वाला लेंस 'नेत्रिका' की भांति और छोटा 'अभिदृश्यक लेन्स कहलाता है।

समायोजन :- ये दो नलियों में लगे होते हैं, अतः नलियों को खिसकाकर नेत्र लेंस को क्रॉस तार पर फोकस कर लेते हैं; अब वस्तु को अभिदृश्यक के ठीक सामने रख पेच-चक्की व्यवस्था को इतनी व्यवस्था द्वारा नलियों पर लगा नलियों को खिसकाते हैं कि वस्तु के प्रतिबिम्ब तथा क्रॉस तार के मध्य कोई लम्बन न रहे। जिससे वस्तु का स्पष्ट प्रतिबिम्ब दिखता है।

कार्यविधि :- माना AB एक छोटी वस्तु अभिदृश्यक लेन्स के प्रथम फोकस F_o' से कुछ दूर स्थित है, अभिदृश्यक लेंस का वास्तविक, उल्टा व बड़ा प्रतिबिम्ब A'B' बनाता है, यह प्रतिबिम्ब नेत्रिका के लिए वस्तु का कार्य करता है, की इस प्रकार की व्यवस्था की जाती है कि प्रतिबिम्ब A'B' नेत्रिका व उसके प्रथम फोकस F_e' के बीच स्थित हो। नेत्रिका द्वारा A'B' का प्रतिबिम्ब A"B" आभासी, बड़ा व सीधा बनता है, इस प्रकार सूक्ष्मदर्शी द्वारा बना अंतिम प्रतिबिम्ब A"B" बड़ा व उल्टा बनता है, जिसकी स्थिति अभिदृश्यक व नेत्रिका से बाहर अभिदृश्यक की ओर होती है।



संयुक्त सूक्ष्मदर्शी कार्यविधि

Bhaskar Pandey

आवर्धन क्षमता :- माना अंतिम प्रतिबिम्ब $A''B''$ नेत्रिका E पर β कोण बनाता है, आँख नेत्रिका के समीप है अतः $A''B''$ द्वारा आँख पर बनने वाले कोण को भी β मान सकते हैं। माना यदि वस्तु AB आँख से स्पष्ट दूरी की न्यूनतम दूरी D पर हो, तो वह आँख पर α कोण बनाती है, अब, सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता

$$M = \frac{\text{अंतिम प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर बना दर्शन कोण}}{\text{वस्तु द्वारा आँख पर बना दर्शन कोण जब वस्तु } D \text{ पर सीधे देखी जा रही हो}}$$

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

चूंकि वस्तु छोटी है अतः α व β भी छोटे होंगे, तब

$$\beta = \tan\beta = \frac{A'B'}{EA'} \quad \text{तथा} \quad \alpha = \tan\alpha = \frac{AB}{D}$$

$$\therefore \quad M = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{A'B'/EA'}{AB/D} = \frac{A'B'}{D}\left[\frac{D}{EA'}\right]$$

यदि वस्तु AB तथा प्रतिबिम्ब $A'B'$ की अभिदृश्यक O से दूरी क्रमशः u_o व v_o हों, तो आवर्धन सूत्र से $\frac{A'B'}{AB} = \frac{+v_o}{-u_o}$, इसी प्रकार यदि $A'B'$ की नेत्रिका से दूरी u_e हो, तो $EA' = -u_e$

अतः उपरोक्त समीकरण से,

$$M = -\frac{v_o}{u_o}\left[\frac{-D}{-u_e}\right] = -\frac{v_o}{u_o}\left[\frac{D}{u_e}\right] \qquad \text{-----}(i)$$

अब दो स्थितियाँ सम्भव हैं,

(1) जब अंतिम प्रतिबिम्ब स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी पर बनता है - यदि अन्तिम प्रतिबिम्ब $A''B''$ की नेत्रिका से दूरी D है, तब लेन्स के सूत्र में नेत्रिका हेतु $v = -D$, $u = -u_e$ तथा $f = +f_e$ (जहाँ f_e नेत्रिका की फोकस दूरी है) रखने पर

$$\frac{1}{-D} - \frac{1}{-u_e} = \frac{1}{f_e} \quad \text{या} \quad \frac{1}{u_e} = \frac{1}{D} + \frac{1}{f_e} \quad \text{या} \quad \frac{D}{u_e} = 1 + \frac{D}{f_e} \qquad \text{-----}(ii)$$

समी० (ii) का मान (i) में रखने पर,

$$M = -\frac{v_o}{u_o}\left[1 + \frac{D}{f_e}\right]$$

(इस स्थिति में सूक्ष्मदर्शी की लम्बाई $= v_o + u_e$)

Bhaskar Pandey

(2) जब प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनता है : शांत आँख (relaxed eye) के लिए प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनता है। इस दशा में प्रतिबिम्ब $A'B'$ नेत्रिका E के फोकस F_e' पर होगा अर्थात् $u_e = f_e$ । इस मान को समीकरण (i) में रखने पर शांत आँखों हेतु आवर्धन क्षमता

$$M = -\frac{v_0}{u_0}\left[\frac{D}{f_e}\right]$$

इस स्थिति में सूक्ष्मदर्शी की लम्बाई $v_0 + f_e$ होगी।

दोनों ही स्थितियों में v_0, u_0, f_e तथा D के केवल आंकिक मान रखेंगे, तथा सूत्रों में स्थित ऋण चिन्ह इस बात का सूचक है कि अन्तिम प्रतिबिम्ब उल्टा बनता है। इस प्राप्त सूत्रों से स्पष्ट है कि सूक्ष्मदर्शी की आवर्धन क्षमता बढ़ाने हेतु निम्न शर्तें हैं :-

(i) अभिदृश्यक लेन्स की फोकस दूरी बहुत कम होनी चाहिए।
(ii) वस्तु को अभिदृश्यक लेन्स के प्रथम मुख्य फोकस के समीप रखना चाहिए।
(iii) नेत्रिका की फोकस दूरी कम होनी चाहिए।

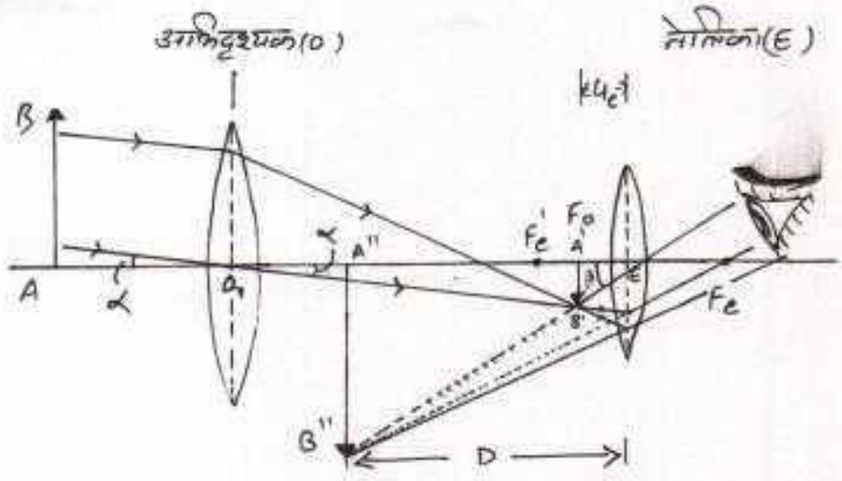
स्पष्टतः सूक्ष्मदर्शी की अधिक आवर्धन क्षमता हेतु अभिदृश्यक व नेत्रिका दोनों की फोकस दूरियाँ कम होनी चाहिए। परन्तु एक निश्चित सीमा के पश्चात् फोकस दूरी कम करने पर सूक्ष्मदर्शी की विभेदन क्षमता कम हो जाती है, अर्थात् वस्तु के सूक्ष्म विवरण स्पष्ट नहीं होते, भले ही उनमें सभी विपथनों को दूर कर दिया जाये।

खगोलीय दूरदर्शी

इस दूरदर्शी का प्रयोग आकाशीय पिंडों को देखने के लिए किया जाता है, इसके द्वारा बना प्रतिबिम्ब उल्टा होता है, चूंकि ये गोलीय होते हैं, अतः इनका उल्टा आकार प्रेक्षकों के प्रेक्षण में प्रभाव नहीं डालता।

रचना : इसमें धातु की एक लम्बी बेलनाकार नली के एक सिरे पर बड़ी फोकस दूरी तथा बड़े द्वारक का अवर्णक उत्तल लेंस लगा रहता है, जिसे अभिदृश्यक लेंस कहते हैं, तथा दूसरे सिरे पर रैक पिनियन व्यवस्था द्वारा दूसरी नली जुड़ी रहती है, जिसके सिरे पर छोटी फोकस दूरी व छोटे द्वारक का अवर्णक उत्तल लेंस लगा होता है, यह नेत्रिका की भांति कार्य करता है, जिसके फोकस पर क्रॉस तार लगे होते हैं; क्रॉस तार पर फोकस कर वस्तु को अभिदृश्यक में स्थिर कर लेते हैं; फिर आगे-पीछे खिसकाकर इसे इस प्रकार समायोजित करते हैं कि प्रतिबिम्ब तथा क्रॉस तार में लम्बन न हो, यह प्रतिबिम्ब अपवर्तन से बनता है, अतः इसे अपवर्तक प्रकार का दूरदर्शी कहते हैं।

Bhaskar Pandey



कार्यविधि – माना AB एक दूरस्थ वस्तु है, जिसका A सिरा दूरदर्शी के अक्ष पर है। लेन्स O द्वारा AB का वास्तविक, उल्टा व छोटा प्रतिबिम्ब A'B' लेन्स के द्वितीय फोकस F_o पर बनता है, यह प्रतिबिम्ब नेत्रिका E के प्रथम फोकस F_e' के भीतर तथा नेत्रिका हेतु वस्तु होता है। नेत्रिका इसका सीधा, बड़ा, आभासी प्रतिबिम्ब A'' B'' बनाती है।

आवर्धन क्षमता :- चूंकि आँख नेत्रिका E के समीप है अतः नेत्रिका पर बने A''B'' द्वारा β कोण को आँख पर बना कोण मान लेते हैं, तथा दूरस्थ होने के कारण वस्तु द्वारा O पर बने कोण α को वस्तु द्वारा आँख पर बना कोण मान लेते हैं, तब

$$M = \frac{\beta}{\alpha}$$

कोण α व β बहुत छोटे हैं अतः $\beta = \tan\beta = \frac{A'B'}{EA'}$ तथा $\alpha = \tan\alpha = \frac{A'B'}{OA'}$

$$\therefore M = \frac{A'B'/EA'}{A'B'/OA'} = \frac{OA'}{EA'}$$

यदि अभिदृश्यक O की फोकस दूरी f_o हो तथा A'B' की नेत्रिका E से दूरी u_e हो, तो $OA' = +f_o$ तथा $EA' = -u_e$, अतः

$$M = \frac{-f_o}{u_e} \qquad \text{—(I)}$$

यह आवर्धन क्षमता का व्यापक सूत्र है, अब दो स्थितियाँ सम्भव हैं –

(1) जब अंतिम प्रतिबिम्ब स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी D पर बनता है – यदि अंतिम प्रतिबिम्ब A''B'' की नेत्रिका से दूरी D है, तब लेन्स सूत्र में नेत्रिका हेतु $v = -D$, $u = -u_e$ तथा $f = +f_e$ रखने पर,

$$\frac{1}{-D} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{-u_e} \quad \text{या} \quad \frac{1}{-D} - \frac{1}{-u_e} = \frac{1}{f_e}$$

या

$$\frac{1}{u_e} = \frac{1}{f_e} + \frac{1}{D} = \frac{1}{f_e}\left(1 + \frac{f_e}{D}\right)$$

यह मान समीकरण (1) में रखने पर

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

इस सूत्र में f_e, f_o, D के आंकिक मान रखेंगे, इस स्थिति दूरदर्शी की लम्बाई $f_o + u_e$ होगी।

(2) जब प्रतिबिम्ब अनन्त पर हो - शांत आँखों से देखने के लिए अंतिम प्रतिबिम्ब अनन्त पर बनना चाहिए। इसके लिए नेत्रिका तथा अभिदृश्यक लेंस के मध्य इतनी दूरी रखते हैं कि वस्तु AB का O द्वारा बना प्रतिबिम्ब A'B', नेत्रिका के फोकस F_e पर पड़े ($u_e = f_e$)। दूरदर्शी का यह समायोजन "सामान्य समंजन" कहलाता है।

$u_e = f_e$ समी० (1) में रखने पर ...,

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

इस स्थिति में दूरदर्शी की लम्बाई $f_o + f_e$ होगी।

अतः सूत्रों से स्पष्ट है कि दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता बढ़ाने हेतु अभिदृश्यक लेंस की फोकस दूरी बड़ी तथा नेत्रिका की फोकस दूरी f_e छोटी होनी चाहिए।

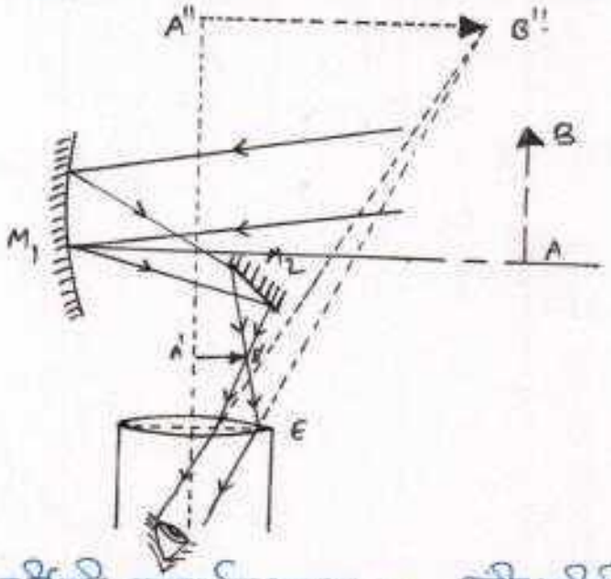
परावर्ती दूरदर्शी

अपवर्ती दूरदर्शी से दूर स्थित वस्तु का चमकीला प्रतिबिम्ब बनाने हेतु यह आवश्यक है कि उसका अभिदृश्यक बड़े द्वारक का हो। परन्तु बड़े द्वारक के लेन्स तैयार करना बहुत कठिन है क्योंकि इनमें गोलीय विपथन दोष बढ़ जाता है। इसी कार्य को बड़े आकार के अवतल अथवा परवलयाकार दर्पण से किया जा सकता है।

रचना :- इस दूरदर्शी में अभिदृश्यक एक बड़ी फोकस दूरी व बड़े आकार का अवतल दर्पण M_1 होता है, जो एक चौड़ी नली के सिरे पर लगा होता है, नली का खुला सिरा दूरस्थ वस्तु की ओर किया जाता है। नली में अवतल दर्पण के फोकस से कुछ दूरी पहले ही एक समतल दर्पण M_2 मुख्य अक्ष से 45° का कोण बनाते हुए रखा जाता है। दूरदर्शी - नली की बगल में एक पतली नली में छोटी फोकस-दूरी व छोटे द्वारक का लेन्स E लगा होता है, जिसे नेत्रिका कहते हैं।

Bhaskar Pandey

कार्यविधि- अवतल दर्पण M, दूरस्थ वस्तु से आने वाली किरणों को अपने फोकस पर केन्द्रित करता है, परन्तु ये किरणें फोकस पर केन्द्रित होने से पहले समतल दर्पण पर गिरती हैं। जो इन्हें परावर्तित कर AB का वास्तविक, छोटा व उल्टा - प्रतिबिम्ब A'B' बनाता है। नेत्रिका E द्वारा इसका सीधा व बड़ा प्रतिबिम्ब A"B" स्पष्ट दृष्टि की न्यूनतम दूरी व अनन्तता के बीच में बनता है। यदि प्रतिबिम्ब A'B' नेत्रिका के फोकस तल में हो, तो अंतिम प्रतिबिम्ब अनन्तता पर बनेगा।



आवर्धन - क्षमता - दूरदर्शी की आवर्धन क्षमता $M = \frac{\text{अंतिम प्रतिबिम्ब द्वारा आँख पर दर्शनकोण}}{\text{वस्तु द्वारा आँख पर दर्शनकोण}}$

जब यह सिद्ध किया जा सकता है कि प्रतिबिम्ब अनन्तता पर बनता है, तब आवर्धन क्षमता

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

जहाँ f_o अवतल दर्पण व f_e नेत्रिका लेन्स की फोकस दूरी है।

परावर्ती दूरदर्शी, अपवर्ती दूरदर्शी से अपेक्षाकृत अधिक चमकीला प्रतिबिम्ब बनाता है, इस प्रतिबिम्ब में वर्ण-विपथन का दोष नहीं होता तथा गोलीय विपथन का दोष भी नहीं होता है। संसार का सबसे बड़ा परावर्ती दूरदर्शी कैलिफोर्निया में माउण्ट पोलोमार में रखा है, जिसकी अभिदृश्यक का द्वारक लगभग 5 मीटर का है।

Bhaskar Pandey