(b)

चित्र 5.12 एक (a) प्रतिचुंबकीय (b) अनुचुंबकीय पदार्थ के निकट किसी बाह्य चुंबकीय क्षेत्र के कारण चुंबकीय क्षेत्र रेखाओं का व्यवहार।

जिनके परमाणु में परिणामी चुंबकीय आघूर्ण शून्य होता है। जब कोई बाह्य चुंबकीय क्षेत्र आरोपित किया जाता है तो जिन इलेक्ट्रॉनों के कक्षीय चुंबकीय आघूर्ण क्षेत्र की दिशा में होते हैं उनकी गति मंद हो जाती है और जिनके चुंबकीय आघूर्ण क्षेत्र के विपरीत दिशा में होते हैं उनकी गति बढ़ जाती है। ऐसा लेंज के नियम के अनुसार प्रेरित धारा के कारण होता है जिसके विषय में आप अध्याय 6 में अध्ययन करेंगे। इस प्रकार पदार्थ में परिणामी चुंबकीय आघूर्ण आरोपित क्षेत्र के विपरीत दिशा में विकसित होता है और इस कारण यह प्रतिकर्षित होता है।

कुछ प्रतिचुंबकीय पदार्थ हैं– बिस्मथ, ताँबा, सीसा, सिलिकन, नाइट्रोजन (STP पर), पानी एवं सोडियम क्लोराइड। प्रति चुंबकत्व सभी पदार्थों में विद्यमान होता है। परंतु, अधिकांश पदार्थों के लिए यह इतना क्षीण होता है कि अनुचुंबकत्व एवं लौह चुंबकत्व जैसे प्रभाव इस पर हावी हो जाते हैं।

सबसे अधिक असामान्य प्रतिचुंबकीय पदार्थ हैं *अति चालक।* ये ऐसी धातुएँ हैं, जिनको यदि बहुत निम्न ताप तक ठंडा कर दिया जाता है तो ये पूर्ण चालकता एवं पूर्ण प्रतिचुंबकत्व दोनों प्रदर्शित करती हैं। चुंबकीय क्षेत्र रेखाएँ पूर्णतः इनके बाहर रहती हैं, $\chi = -1$ एवं $\mu_r = 0$। एक अतिचालक, एक चुंबक को प्रतिकर्षित करेगा और (न्यूटन के तृतीय नियमानुसार) स्वयं इसके द्वारा प्रतिकर्षित होगा। अतिचालकों में पूर्ण प्रतिचुंबकत्व की यह परिघटना इसके आविष्कारक के नाम पर *माइस्नर प्रभाव* कहलाती है। अनेक भिन्न परिस्थितियों में जैसे कि, चुंबकीकृत अधरगामी अति तीव्र रेलगाड़ियों को चलाने में अतिचालक चुंबकों का लाभ उठाया जा सकता है।

5.6.2 अनुचुंबकत्व

अनुचुंबकीय पदार्थ ऐसे पदार्थ होते हैं जो बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षीण चुंबकत्व प्राप्त कर लेते हैं। उनमें क्षीण चुंबकीय क्षेत्र से सशक्त चुंबकीय क्षेत्र की ओर जाने की प्रवृत्ति होती है अर्थात ये चुंबक की ओर क्षीण बल द्वारा आकर्षित होते हैं।

के अनुक्रमानुपाती एवं परम ताप T के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

$$M = C\frac{B_0}{T} \qquad [5.20(a)]$$

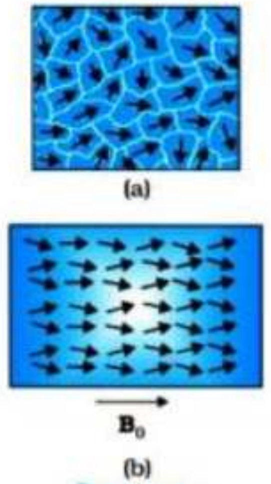
या दूसरे समतुल्य रूप में, समीकरण (5.12) एवं (5.17) के प्रयोग से

$$\chi = C\frac{\mu_0}{T} \qquad [5.20(b)]$$

यह इसके शोधकर्ता पियरे क्यूरी (1859-1906) के सम्मान में *क्यूरी का नियम* कहलाता है। नियतांक C को *क्यूरी नियतांक* कहते हैं। अतः किसी अनुचुंबकीय पदार्थ के लिए χ एवं μ_r दोनों का मान न केवल पदार्थ पर निर्भर करता है, वरन् (एक सरल रूप में) इसके ताप पर भी निर्भर करता है। बहुत उच्च चुंबकीय क्षेत्रों में या बहुत निम्न ताप पर, चुंबकन अपना अधिकतम मान ग्रहण करने लगता है, जबकि सभी परमाण्वीय द्विध्रुव आघूर्ण चुंबकीय क्षेत्र में रेखाओं के अनुदिश संरेखित हो जाते हैं। यह संतृप्त चुंबकन मान M_s कहलाता है। इसके परे, क्यूरी का नियम [समीकरण (5.20)] मान्य नहीं रह जाता है।

5.6.3 लौह चुंबकत्व

लौह चुंबकीय पदार्थ ऐसे पदार्थ होते हैं जो बाह्य चुंबकीय क्षेत्र में रखे जाने पर शक्तिशाली चुंबक बन जाते हैं। उनमें चुंबकीय क्षेत्र के क्षीण भाग शक्तिशाली भाग की ओर चलने की तीव्र प्रवृत्ति होती है अर्थात वे चुंबक की ओर भारी आकर्षण बल का अनुभव करते हैं। किसी लौह चुंबकीय पदार्थ के एकल परमाणुओं (या आयनों या अणुओं) का भी अनुचुंबकीय पदार्थों की तरह ही चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण होता है। परंतु, वे एक-दूसरे के साथ इस प्रकार अन्योन्य क्रिया करते हैं कि एक स्थूल आयतन में (जिसे डोमेन कहते हैं) सब एक साथ एक दिशा में संरेखित हो जाते हैं। इस सहकारी प्रभाव की व्याख्या के लिए क्वांटम यांत्रिकी की आवश्यकता होती है, जो इस पाठ्यपुस्तक के क्षेत्र से बाहर है। प्रत्येक डोमेन का अपना परिणामी चुंबकन होता है। प्रारूपी डोमेन का आकार 1 mm है, और एक डोमेन में लगभग 10^{11} परमाणु होते हैं। प्रथमदृष्टया चुंबकन एक डोमेन से दूसरे डोमेन तक जाने पर यादृच्छिक रूप से बदलता है तथा कुल पदार्थ में कोई चुंबकन नहीं होता। यह चित्र 5.13 (a) में दिखाया गया है। जब हम बाह्य चुंबकीय क्षेत्र $\mathbf{B}_0$ लगाते हैं, तो डोमेन $\mathbf{B}_0$ के अनुदिश उन्मुख होने लगते हैं और साथ ही वे डोमेन जो $\mathbf{B}_0$ की दिशा में हैं, साइज़ में बढ़ने लगते हैं। डोमेनों का अस्तित्व और $\mathbf{B}_0$ के अनुदिश उनके होने वाली गति केवल अनुमान नहीं है। लौह चुंबकीय पदार्थ के पाउडर को किसी द्रव में छिड़क कर उसके निलंबन



चित्र 5.13
(a) यादृच्छिक अभिविन्यासित डोमेन, (b) संरेखित डोमेन।

© NCERT not to be republished

पदार्थ कहा जाता है। बहुत से तत्व लौह चुंबकीय हैं; जैसे–लोहा, कोबाल्ट, निकल, गैडोलिनियम आदि। इनकी आपेक्षिक चुंबकशीलता 1000 से अधिक है।

लौह चुंबकीय गुण भी ताप पर निर्भर करता है। पर्याप्त उच्च ताप पर एक लौह चुंबक, अनुचुंबक बन जाता है। ताप बढ़ने पर डोमेन संरचनाएँ विघटित होने लगती हैं। ताप बढ़ने पर चुंबकन का विलोपन धीरे-धीरे होता है। यह एक तरह का प्रावस्था (Phase) परिवर्तन है वैसे ही जैसे किसी ठोस मणिभ (क्रिस्टल) का पिघलना। वह ताप जिस पर कोई लौह चुंबक, अनुचुंबक में परिवर्तित हो जाता है *क्यूरी ताप* (T_c) कहलाता है। सारणी 5.4 कुछ लौह चुंबकों के क्यूरी ताप दर्शाती है।

क्यूरी ताप से उच्चतर ताप पर अर्थात अनुचुंबकीय प्रावस्था में चुंबकीय प्रवृत्ति,

$$\chi = \frac{C}{T - T_c} \quad (T > T_c) \tag{5.21}$$

सारणी 5.4 कुछ लौह चुंबकीय पदार्थों के क्यूरी ताप T_c

पदार्थ का नाम	T_c (K)
कोबाल्ट	1394
लोहा	1043
Fe_2O_3	893
निकल	631
गैडोलिनियम	317

5.7 स्थायी चुंबक एवं विद्युत चुंबक

वह पदार्थ जो कमरे के ताप पर अपने लौह-चुंबकीय गुण दीर्घ काल के लिए बनाए रख सकते हैं, *स्थायी चुंबक* कहलाते हैं। स्थायी चुंबक विभिन्न तरीकों से बनाए जा सकते हैं। लोहे की एक

छड़ को उत्तर-दक्षिण दिशा में रख कर बार-बार इस पर हथौड़े से प्रहार करते हैं तो वह चुंबक बन जाती है। यह विधि चित्र 5.15 में दर्शायी गई है। यह चित्र एक 400 साल पुरानी पुस्तक से यह दर्शाने के लिए लिया गया है कि स्थायी चुंबक बनाने की कला काफी पुरानी है। स्थायी चुंबक बनाने के लिए एक स्टील की छड़ को पकड़ कर उसके ऊपर किसी छड़ चुंबक का एक सिरा एक ओर से दूसरी ओर स्पर्श कराते हुए बार-बार ले जाते हैं।

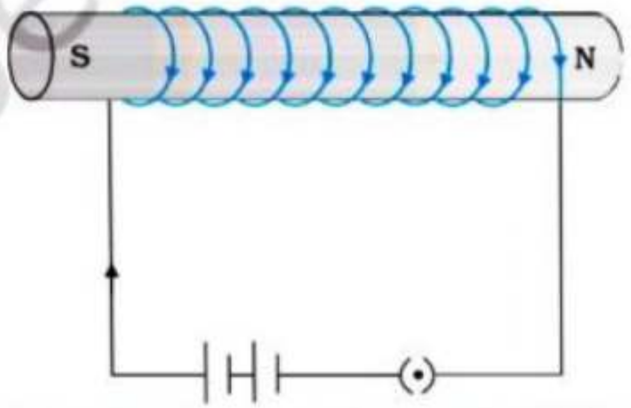
स्थायी चुंबक बनाने का एक प्रभावी तरीका यह है कि किसी परिनालिका के अंदर एक लौह चुंबकीय पदार्थ की छड़ रखी जाए और उस परिनालिका में नियत दिष्ट धारा प्रवाहित की जाए। परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र छड़ को चुंबकित कर देता है।

चुंबकीय शैथिल्य वक्र (चित्र 5.14) हमें स्थायी चुंबकों के लिए उचित पदार्थ चुनने में सहायता करते हैं। शक्तिशाली चुंबक बनाने के लिए पदार्थ की उच्च चुंबकीय धारणशीलता और उच्च निग्राहिता होनी चाहिए ताकि इधर-उधर के चुंबकीय क्षेत्रों या तापीय उतार-चढ़ावों या क्षुद्र यांत्रिक हानियों के कारण इसका चुंबकत्व आसानी से खत्म न हो जाए।

ा चिकित्सक
मैग्नेटे
से है।

इसके अलावा पदार्थ की उच्च चुंबकशीलता होनी चाहिए। स्टील ऐसा ही एक पदार्थ है। इसकी धारणशीलता नर्म लोहे से कुछ कम है पर नर्म लोहे की निग्राहिता इतनी कम है कि सब गुणों को सोचें तो स्थायी चुंबक बनाने के लिए स्टील नर्म लोहे से बेहतर है। स्थायी चुंबकों के लिए उपयुक्त अन्य पदार्थों के नाम हैं–ऐलनिको (लोहे, एलुमिनियम, निकल, कोबाल्ट एवं ताँबे का एक मिश्रातु), कोबाल्ट-स्टील एवं टिकोनल।

विद्युत चुंबक ऐसे लौह चुंबकीय पदार्थों के बने होते हैं जिनकी चुंबकशीलता बहुत अधिक एवं धारणशीलता बहुत कम होती है। नर्म लोहा विद्युत चुंबकों के लिए एक उपयुक्त पदार्थ है। किसी परिनालिका के अंदर नर्म लोहे की छड़ रख कर हम उसमें नियत दिष्ट धारा प्रवाहित करते हैं, तो परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र हज़ार गुना बढ़ जाता है। जब हम परिनालिका में धारा प्रवाहित करना बंद कर देते हैं तो चुंबकीय क्षेत्र भी वस्तुतः समाप्त हो जाता है क्योंकि नर्म लोहे वाले क्रोड की चुंबकीय धारणशीलता बहुत कम है। यह व्यवस्था चित्र 5.16 में दर्शायी गई है।



चित्र 5.16 एक नर्म लौह-क्रोड युक्त परिनालिका विद्युत चुंबक की तरह व्यवहार करती है।

कुछ अनुप्रयोगों में पदार्थ एक लंबे समय तक चुंबकन के प्रत्यावर्ती चक्र से गुजरता है। ट्रांसफॉर्मर के क्रोड एवं टेलीफोन के डायफ्राम में ऐसा ही होता है। इनमें प्रयुक्त पदार्थों के चुंबकीय शैथिल्य वक्र संकीर्ण होने चाहिए। परिणामस्वरूप इनमें ऊष्मा क्षय एवं ताप वृद्धि कम होगी। इन पदार्थों की प्रतिरोधकता भी कम होनी चाहिए ताकि भँवर धाराओं के कारण ऊर्जा क्षय में कमी रहे। भँवर धाराओं के विषय में हम अध्याय 6 में अध्ययन करेंगे।

विद्युत चुंबकों का अनुप्रयोग विद्युत घंटियों, ध्वनि विस्तारक एवं दूरभाष यंत्रों में होता है। विशालकाय विद्युत चुंबकों का क्रेनों में मशीनों या लोहे एवं स्टील की भारी वस्तुओं को उठाने के लिए इस्तेमाल किया जाता है।

लिया है जब **m** चुंबकीय क्षेत्र **B** के लंबवत है।

3. लंबाई l एवं चुंबकीय आघूर्ण **m** का एक छड़ चुंबक लीजिए। इसके मध्य बिंदु से r दूरी पर, जहाँ $r >> l$, इस छड़ के कारण चुंबकीय क्षेत्र **B** का मान होगा,

$$\mathbf{B} = \frac{\mu_0 \mathbf{m}}{2\pi r^3} \quad \text{(अक्ष के अनुदिश)}$$

$$= -\frac{\mu_0 \mathbf{m}}{4\pi r^3} \quad \text{(विषुवत वृत्त के अनुदिश)}$$

4. चुंबकत्व संबंधी गाउस के नियमानुसार, किसी बंद पृष्ठ में से गुजरने वाला कुल चुंबकीय फ्लक्स हमेशा शून्य होता है।

$$\phi_B = \sum_{\substack{\text{सभी क्षेत्रफल} \\ \text{अंशों } \Delta\mathbf{S} \text{ के लिए}}} \mathbf{B}.\Delta\mathbf{S} = 0$$

5. पृथ्वी का चुंबकीय क्षेत्र, पृथ्वी के केंद्र पर रखे एक चुंबकीय द्विध्रुव (परिकल्पित) के समतुल्य है। पृथ्वी के भौगोलिक उत्तरी ध्रुव के समीप के ध्रुव को *उत्तरी चुंबकीय ध्रुव* कहते हैं। इसी प्रकार से, पृथ्वी के भौगोलिक दक्षिणी ध्रुव के समीप के ध्रुव को *दक्षिण चुंबकीय ध्रुव* कहते हैं। यह द्विध्रुव पृथ्वी के घूर्णन अक्ष से एक छोटा कोण बनाता है। पृथ्वी की सतह पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण $\approx 4 \times 10^{-5}$ T है।

9. चुंबकीय पदार्थों को मोटे तौर पर तीन श्रेणियों में विभाजित करते हैं : प्रतिचुंबकीय, अनुचुंबकीय एवं लौह चुंबकीय। प्रतिचुंबकीय पदार्थों के लिए χ का मान ऋणात्मक और प्राय: बहुत कम होता है, अनुचुंबकीय पदार्थों के लिए χ धनात्मक एवं बहुत कम है। लौह चुंबकों के लिए χ धनात्मक एवं बहुत अधिक मान वाला है और ये **B** एवं **H** के रैखिक संबंधों से भी पहचाने जाते हैं। वे शैथिल्यता का गुण प्रदर्शित करते हैं।
10. वे पदार्थ जो सामान्य ताप पर लंबे समय के लिए लौह चुंबकीय गुण दर्शाते हैं, स्थायी चुंबक कहलाते हैं।

भौतिक राशि	प्रतीक	प्रकृति	विमाएँ	मात्रक	टिप्पणी
निर्वात की चुंबकशीलता	μ_0	अदिश	$[MLT^{-2}A^{-2}]$	$T\,m\,A^{-1}$	$\mu_0/4\pi = 10^{-7}$
चुंबकीय क्षेत्र; चुंबकीय प्रेरण; चुंबकीय फ्लक्स घनत्व	**B**	सदिश	$[MT^{-2}A^{-1}]$	T (टेस्ला)	10^4 G (गाउस) = 1 T
चुंबकीय आघूर्ण	**m**	सदिश	$[L^{-2}A]$	$A\,m^2$	
चुंबकीय फ्लक्स	ϕ_B	अदिश	$[ML^2T^{-2}A^{-1}]$	W (वेबर)	$W = T\,m^2$
चुंबकन	**M**	सदिश	$[L^{-1}A]$	$A\,m^{-1}$	$\frac{\text{चुंबकीय आघूर्ण}}{\text{आयतन}}$
चुंबकीय तीव्रता चुंबकीय क्षेत्र सामर्थ्य	**H**	सदिश	$[L^{-1}A]$	$A\,m^{-1}$	$\mathbf{B} = \mu_0(\mathbf{H}+\mathbf{M})$
चुंबकीय प्रवृत्ति	χ	अदिश	-	-	$\mathbf{M} = \chi\mathbf{H}$
आपेक्षिक चुंबकशीलता	μ_r	अदिश	-	-	$\mathbf{B} = \mu_0\mu_r\mathbf{H}$
चुंबकशीलता	μ	अदिश	$[MLT^{-2}A^{-2}]$	$T\,m\,A^{-1}$ $N\,A^{-2}$	$\mu = \mu_0\mu_r$ $\mathbf{B} = \mu\mathbf{H}$

© NCERT not to be republished