कक्षा 12 भौतिक विज्ञान (Physics)

अध्याय 4: गतिमान आवेश और चुंबकत्व (Moving Charges & Magnetism)

MP Board + NCERT | 100% बोर्ड परीक्षा मास्टर नोट्स

हस्तलिखित शैली नोट्स | सम्पूर्ण हल 1-30 प्रश्न | PYQs + आंकिक हल

1. अध्याय का संक्षिप्त परिचय (Chapter Overview)

इस अध्याय में हम अध्ययन करेंगे कि किस प्रकार **गतिमान आवेश (या विद्युत धारा)** अपने चारों ओर चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है। 1820 में **हंस क्रिश्चियन ऑर्स्टेड (Oersted)** ने खोजा कि किसी चालक में धारा प्रवाहित करने पर उसके पास रखी चुंबकीय सुई विक्षेपित हो जाती है। यह सिद्ध करता है कि विद्युत और चुंबकत्व परस्पर गहराई से जुड़े हुए हैं।

- **स्थिर आवेश (Static Charge):** केवल विद्युत क्षेत्र (E) उत्पन्न करता है।
- **गतिमान आवेश (Moving Charge):** नियत वेग से गतिमान होने पर विद्युत क्षेत्र (E) तथा चुंबकीय क्षेत्र (B) दोनों उत्पन्न करता है।
- **त्वरित आवेश (Accelerated Charge):** विद्युत क्षेत्र, चुंबकीय क्षेत्र तथा विद्युत-चुंबकीय तरंगें (EM Waves) ऊर्जा के रूप में उत्सर्जित करता है।

2. सभी महत्वपूर्ण परिभाषाएँ (Key Definitions)

1. **चुंबकीय क्षेत्र (Magnetic Field - B):** किसी चुंबक या धारावाही चालक के चारों ओर का वह क्षेत्र जिसमें कोई अन्य चुंबकीय सुई या गतिमान आवेश बल का अनुभव करता है। इसका SI मात्रक **टेसला (Tesla - T)** या **वेबर/मी² (Wb/m²)** है। (1 T = 10^4 Gauss).
2. **लॉरेंज बल (Lorentz Force):** जब कोई आवेशित कण ऐसे क्षेत्र में गति करता है जहाँ विद्युत क्षेत्र एवं चुंबकीय क्षेत्र दोनों उपस्थित हों, तो उस पर लगने वाले कुल बल को लॉरेंज बल कहते हैं।
3. **बायो-सेवर्ट का नियम (Biot-Savart Law):** किसी सूक्ष्म धारा-अवयव ($I\,dl$) द्वारा उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र का मान धारा, अवयव की लंबाई, कोण की ज्या (sine) के समानुपाती तथा दूरी के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है।
4. **ऐम्पियर का परिपथीय नियम (Ampere's Law):** किसी बंद वक्र के अनुदिश चुंबकीय क्षेत्र B का रेखीय समाकलन, उस बंद वक्र द्वारा परिबद्ध कुल धारा I का μ_0 गुना होता है।
5. **साइक्लोट्रॉन (Cyclotron):** वह युक्ति जो धन आवेशित कणों (जैसे प्रोटॉन, अल्फा कण, ड्यूट्रॉन) को उच्च ऊर्जा तक त्वरित करने के लिए प्रयुक्त होती है।
6. **धारा सुग्राहिता (Current Sensitivity):** गैल्वेनोमीटर में एकांक धारा प्रवाहित करने पर उत्पन्न विक्षेप को धारा सुग्राहिता कहते हैं ($S_I = \theta / I$)।
7. **संतोषजनक शंट (Shunt):** कम प्रतिरोध का वह तार जिसे गैल्वेनोमीटर के समानांतर क्रम में जोड़कर उसे अमीटर में बदला जाता है।

3. प्रमुख सूत्र तालिका (Formula Box Index)

1. चुंबकीय बल व लॉरेंज बल (Magnetic & Lorentz Force)

$$F_m = q\,(v \times B) = q\,v\,B\,\sin\theta$$

$$F_{total} = F_e + F_m = q\,[E + (v \times B)]$$

2. बायो-सेवर्ट का नियम (Biot-Savart Law)

$$dB = (\mu_0 / 4\pi) \cdot (I\, dl \sin\theta / r^2) \quad [\text{जहाँ } \mu_0/4\pi = 10^{-7}\ T{\cdot}m/A]$$

3. धारावाही कुण्डली के केंद्र एवं अक्ष पर चुंबकीय क्षेत्र

केंद्र पर: $B_{center} = (\mu_0 N I) / (2 R)$

अक्ष पर: $B_{axis} = (\mu_0 N I R^2) / [2 (R^2 + x^2)^{(3/2)}]$

4. ऐम्पियर नियम व परिनालिका (Solenoide)

$$\oint B \cdot dl = \mu_0 I_{enc}$$

परिनालिका का चुंबकीय क्षेत्र: $B = \mu_0 n I$ ($n = N/L$ = एकांक लंबाई में फेरे)

5. दो समांतर धारावाही तारों के मध्य बल एवं 1 Ampere परिभाषा

$$F / L = (\mu_0 I_1 I_2) / (2\pi d)\ N/m$$

6. गैल्वेनोमीटर रूपांतरण (Conversion Formulas)

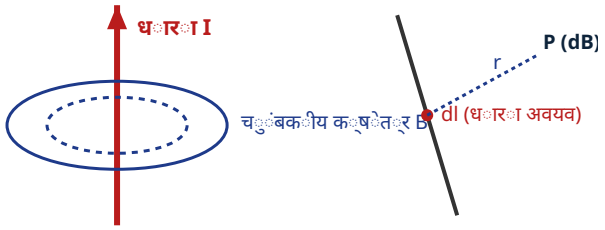
अमीटर हेतु शंट (Shunt): $S = (I_g \cdot R_g) / (I - I_g)$

वोल्टमीटर हेतु श्रेणी प्रतिरोध: $R = (V / I_g) - R_g$

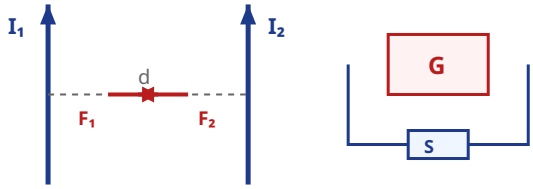
4. महत्वपूर्ण बिंदु एवं अवधारणाएँ (Key Physics Concepts)

- **चुंबकीय बल की विशेषता:** चुंबकीय बल सदैव कण के वेग v तथा चुंबकीय क्षेत्र B के लंबवत होता है। इसलिए चुंबकीय बल द्वारा किया गया कार्य हमेशा **शून्य** ($W = 0$) होता है। कण की चाल और गतिज ऊर्जा अपरिवर्तित रहती है।
- **कण का पथ (Path of Motion):**
  - यदि $\theta = 0°$ या $180°$: पथ **सरल रेखीय (Straight Line)**।
  - यदि $\theta = 90°$: पथ **वृत्ताकार (Circular)**, त्रिज्या $r = mv / qB$।
  - यदि θ कोई अन्य कोण है: पथ **कुंडलित/हेलिकल (Helical)**।
- **दाएँ हाथ की हथेली का नियम (Right-Hand Thumb Rule):** धारा की दिशा में अंगूठा रखने पर मुड़ी हुई अंगुलियाँ चुंबकीय क्षेत्र की दिशा दर्शाती हैं।

5. आवश्यक हस्तलिखित रेखाचित्र (Key Diagrams)



चित्र 4.1: (a) सीधा धारावाही चालक एवं चुंबकीय क्षेत्र, (b) बायो-सेवर्ट नियम निरूपण



चित्र 4.2: (a) दो समान्तर धाराओं में आकर्षण बल, (b) गैल्वेनोमीटर में शंट (S) का संयोजन

6. संपूर्ण बोर्ड परीक्षा प्रश्नोत्तर संग्रह (प्रश्न 1 से 30 तक हल सहित)

[अति-लघुउत्तरीय एवं लघुउत्तरीय प्रश्न - 2 अंक]

प्रश्न 1: बायो-सेवर्ट का नियम लिखिए। 2018, 2022 — 2 अंक

उत्तर: इस नियम के अनुसार, किसी धारावाही चालक के एक सूक्ष्म अवयव dl द्वारा किसी बिंदु P पर उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र dB:

1. धारा I के समानुपाती होता है ($dB \propto I$)।
2. अवयव की लंबाई dl के समानुपाती होता है ($dB \propto dl$)।
3. $\sin\theta$ के समानुपाती होता है ($dB \propto \sin\theta$)।
4. बिंदु की दूरी r के वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती होता है ($dB \propto 1/r^2$)।

सूत्र: $dB = (\mu_0/4\pi) \cdot (I\, dl \sin\theta / r^2)$ टेसला।

प्रश्न 2: चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता का SI मात्रक तथा विमीय सूत्र लिखिए। 2019, 2023 — 2 अंक

उत्तर:

- **SI मात्रक:** टेसला (Tesla - T) या वेबर/मीटर^2 (Wb/m^2) या न्यूटन/(ऐम्पियर·मीटर)।
- **विमीय सूत्र:** $F = q\, v\, B \Rightarrow [B] = [F] / [q][v] = [M\, L\, T^{-2}] / ([A\, T][L\, T^{-1}]) = [M\, L^0\, T^{-2}\, A^{-1}]$।

प्रश्न 3: ऐम्पियर का परिपथीय नियम लिखिए। 2020, 2024 — 2 अंक

उत्तर: "किसी बंद परिपथ की सीमा के अनुदिश चुंबकीय क्षेत्र B का रेखीय समाकलन ($\oint B \cdot dl$), उस बंद परिपथ द्वारा घेरे गए क्षेत्र से गुजरने वाली कुल धारा I का μ_0 गुना होता है।"

गणितीय रूप: $\oint B \cdot dl = \mu_0 I_{enc}$।

प्रश्न 4: लॉरेंज बल किसे कहते हैं? इसका सूत्र लिखिए। 2017, 2022 — 2 अंक

उत्तर: जब कोई आवेशित कण q ऐसे स्थान पर गति करता है जहाँ विद्युत क्षेत्र E तथा चुंबकीय क्षेत्र B दोनों मौजूद हों, तो उस पर लगने वाले परिणामी बल को लॉरेंज बल कहते हैं।

सूत्र: $F = q E + q (v \times B) = q [E + (v \times B)]$।

प्रश्न 5: शंट (Shunt) क्या है? इसके दो उपयोग लिखिए। 2019, 2023 — 2 अंक

उत्तर: शंट अत्यंत कम प्रतिरोध का एक तार होता है जिसे धारामापी (Galvanometer) की कुण्डली के साथ समांतर क्रम में जोड़ा जाता है।

उपयोग:

1. धारामापी की कुण्डली को जलने / क्षतिग्रस्त होने से बचाना।
2. धारामापी को उपयुक्त परास के अमीटर में परिवर्तित करना।

प्रश्न 6: अमीटर और वोल्टमीटर में कोई दो मुख्य अंतर लिखिए। 2020, 2023 — 2 अंक

उत्तर:

गुण	अमीटर (Ammeter)	वोल्टमीटर (Voltmeter)
कार्य	परिपथ में धारा नापता है।	दो बिंदुओं के बीच विभवांतर नापता है।
संयोजन	परिपथ के श्रेणीक्रम में।	परिपथ के समांतर क्रम में।
आदर्श स्थिति	आदर्श अमीटर का प्रतिरोध = 0	आदर्श वोल्टमीटर का प्रतिरोध = ∞

प्रश्न 7: 1 ऐम्पियर की मानक परिभाषा दीजिए। 2018, 2021 — 2 अंक

उत्तर: "1 ऐम्पियर वह नियत विद्युत धारा है जो वायु या निर्वात में 1 मीटर की दूरी पर रखे दो लंबे, सीधे और समांतर चालकों में प्रवाहित करने पर उनके बीच प्रति मीटर लंबाई पर 2×10^{-7} N/m का बल उत्पन्न करती है।"

प्रश्न 8: चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण क्या है? इसका मात्रक लिखिए। 2020 — 2 अंक

उत्तर: किसी धारावाही लूप का चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण (M) उसमें प्रवाहित धारा (I) तथा लूप के क्षेत्रफल (A) के गुणनफल के बराबर होता है।

$M = N I A$ (जहाँ N फेरों की संख्या है)।

मात्रक: Ampere · meter² (A·m²)। यह एक सदिश राशि है।

प्रश्न 9: क्या एक स्थिर आवेश चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करता है? स्पष्ट कीजिए। 2022 — 2 अंक

उत्तर: नहीं, एक स्थिर आवेश केवल स्थिर-विद्युत क्षेत्र (Electrostatic field) उत्पन्न करता है। चुंबकीय क्षेत्र उत्पन्न करने के लिए आवेश का गतिमान होना अनिवार्य है।

प्रश्न 10: साइक्लोट्रॉन की आवृत्ति का सूत्र लिखिए। क्या यह कण की चाल पर निर्भर करती है? 2019 (2 अंक)

उत्तर: साइक्लोट्रॉन आवृत्ति $f = (q B) / (2\pi m)$।

नहीं, यह आवृत्ति आवेशित कण की चाल (v) या त्रिज्या (r) पर निर्भर नहीं करती है।

[मध्यम उत्तरीय प्रश्न - 3 अंक]

प्रश्न 11: बायो-सेवर्ट नियम की सहायता से धारावाही वृत्ताकार कुण्डली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता का व्यंजक प्राप्त कीजिए। 2017, 2020, 2023 (3 अंक)

उत्तर: मान लो R त्रिज्या की कुण्डली में I धारा प्रवाहित हो रही है।

बायो-सेवर्ट नियम से सूक्ष्म अवयव dl के कारण केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र:

$dB = (\mu_0/4\pi) \cdot (I\, dl \sin 90° / R^2) = (\mu_0/4\pi) \cdot (I\, dl / R^2)$ [क्योंकि केंद्र पर कोण θ = 90°]

सम्पूर्ण वृत्ताकार लूप के लिए समाकलन करने पर:

$B = \oint dB = (\mu_0 I / 4\pi R^2) \oint dl$

परंतु $\oint dl = 2\pi R$ (वृत्त की परिधि)।

अतः $B = (\mu_0 I / 4\pi R^2) \cdot 2\pi R = (\mu_0 I) / (2 R)$

यदि कुण्डली में N फेरे हों, तो: $B = (\mu_0 N I) / (2 R)$ Tesla।

प्रश्न 12: किसी धारावाही परिनालिका (Solenoid) के अंदर अक्षीय चुंबकीय क्षेत्र का सूत्र निगमित कीजिए। 2018, 2022 (3 अंक)

उत्तर: ऐम्पियर के परिपथीय नियम से $\oint B \cdot dl = \mu_0 I_{enc}$।

एक आयताकार बंद लूप $ABCD$ पर विचार करने पर, परिनालिका के बाहर $B = 0$ तथा लंबवत भुजाओं के अनुदिश $B \cdot dl = 0$ होता है।

केवल अंदर वाली L लंबाई की भुजा योगदान देती है:

$\oint B \cdot dl = B \cdot L$

यदि एकांक लंबाई में फेरे n हैं, तो कुल फेरे $N = n L$, तथा परिबद्ध धारा $I_{enc} = n L I$।

अतः $B \cdot L = \mu_0 (n L I) \Rightarrow B = \mu_0 n I$।

प्रश्न 13: दो समांतर धारावाही चालकों के मध्य प्रति एकांक लंबाई पर लगने वाले बल का व्यंजक व्युत्पन्न कीजिए। 2019, 2021, 2024 (3 अंक)

उत्तर: दो अनंत लंबे चालक तार d दूरी पर स्थित हैं जिनमें I_1 व I_2 धाराएँ बह रही हैं।

प्रथम तार द्वारा द्वितीय तार के स्थान पर उत्पन्न चुंबकीय क्षेत्र: $B_1 = (\mu_0 I_1) / (2\pi d)$।

द्वितीय तार की L लंबाई पर लगने वाला बल: $F = I_2 L B_1 \sin 90° = I_2 L [(\mu_0 I_1) / (2\pi d)]$।

प्रति एकांक लंबाई बल: $F / L = (\mu_0 I_1 I_2) / (2\pi d)$ N/m।

निष्कर्ष: धाराएँ एक ही दिशा में हों तो **आकर्षण बल**, विपरीत दिशा में हों तो **प्रतिकर्षण बल** लगता है।

प्रश्न 14: गैल्वेनोमीटर को अमीटर में किस प्रकार परिवर्तित किया जाता है? आवश्यक परिपथ एवं सूत्र लिखिए। 3 अंक 2020, 2023

उत्तर: गैल्वेनोमीटर को अमीटर में बदलने के लिए इसके साथ **समांतर क्रम में एक कम प्रतिरोध का तार (शंट S)** जोड़ा जाता है।
माना मुख्य धारा I है तथा धारामापी से I_g धारा प्रवाहित होती है। तब शंट से धारा $I_s = I - I_g$ होगी।
चूँकि शंट तथा धारामापी समांतर क्रम में हैं, उनके विभवांतर समान होंगे:
$I_g \cdot R_g = (I - I_g) \cdot S$
अतः आवश्यक शंट: $S = (I_g \cdot R_g) / (I - I_g)$।

प्रश्न 15: गैल्वेनोमीटर को वोल्टमीटर में किस प्रकार परिवर्तित किया जाता है? आवश्यक परिपथ एवं सूत्र लिखिए। 3 अंक 2018, 2022

उत्तर: धारामापी को वोल्टमीटर में बदलने के लिए इसके साथ **श्रेणीक्रम में एक उच्च प्रतिरोध (R)** जोड़ा जाता है।
यदि वांछित विभवांतर V तथा पूर्ण विक्षेप धारा I_g हो, तो कुल प्रतिरोध $R_{total} = R_g + R$।
ओम के नियम से: $V = I_g (R_g + R) \Rightarrow R_g + R = V / I_g$
अतः आवश्यक उच्च श्रेणी प्रतिरोध: $R = (V / I_g) - R_g$।

प्रश्न 16: धारावाही लूप पर चुंबकीय क्षेत्र में लगने वाले बल-आघूर्ण (Torque) का व्यंजक लिखिए। 2017, 2021 3 अंक

उत्तर: जब N फेरों तथा A क्षेत्रफल वाले धारावाही लूप को एकसमान चुंबकीय क्षेत्र B में रखा जाता है, तो उस पर बल-आघूर्ण युग्म कार्य करता है:
$\tau = N I A B \sin\theta = M B \sin\theta$ (सदिश रूप: $ec\{\tau\} = ec\{M\} \times ec\{B\}$)।
• यदि $\theta = 90°$ (लूप तल B के समांतर): बल आघूर्ण अधिकतम $\tau_{max} = N I A B$।
• यदि $\theta = 0°$ (लूप तल B के लंबवत): बल आघूर्ण न्यूनतम $\tau = 0$।

प्रश्न 17: साइक्लोट्रॉन की कार्यविधि एवं इसकी सीमाएं समझाइए। 2019, 2022 3 अंक

उत्तर:
सिद्धांत: आवेशित कण उच्च आवृत्ति के विद्युत क्षेत्र में बार-बार गुजरकर एकसमान चुंबकीय क्षेत्र के प्रभाव में वृत्ताकार पथ पर गति करता है और उसकी ऊर्जा बढ़ती जाती है।
सीमाएँ:
1. यह **न्यूट्रॉन (उदासीन कण)** को त्वरित नहीं कर सकता।
2. **इलेक्ट्रॉन** का द्रव्यमान बहुत कम होने के कारण इसका वेग प्रकाश के वेग के समीप पहुँच जाता है जिससे सापेक्षता सिद्धांत से द्रव्यमान बदल जाता है और साइक्लोट्रॉन अमान्य हो जाता है।

प्रश्न 18: धारा सुग्राहिता एवं वोल्टता सुग्राहिता को परिभाषित कीजिए। इन्हें कैसे बढ़ाया जा सकता है? 2020, 2024 3 अंक

उत्तर:
• **धारा सुग्राहिता (S_I):** $S_I = \theta / I = (N A B) / k$।
• **वोल्टता सुग्राहिता (S_V):** $S_V = \theta / V = (N A B) / (k R)$।
सुग्राहिता बढ़ाने के उपाय:
1. फेरों की संख्या N बढ़ाकर। 2. चुंबकीय क्षेत्र B बढ़ाकर (त्रिज्यीय चुंबकीय क्षेत्र)।
3. ऐंठन दृढ़ता k का मान घटाकर (फ़ॉस्फ़र-ब्रॉन्ज पत्ती का उपयोग करके)।

प्रश्न 19: साइक्लोट्रॉन में आवेशित कण की त्रिज्या तथा आवर्तकाल का व्यंजक ज्ञात कीजिए। 2018 — 3 अंक

उत्तर: चुंबकीय बल आवश्यक अभिकेंद्र बल प्रदान करता है:

$q\,v\,B = (m\,v^2) / r \Rightarrow r = (m\,v) / (q\,B)$

आवर्तकाल $T = (2\pi\,r) / v = 2\pi\,[(m\,v / q\,B)] / v \Rightarrow T = (2\pi\,m) / (q\,B)$।

प्रश्न 20: त्रिज्यीय चुंबकीय क्षेत्र (Radial Magnetic Field) क्या है? इसका क्या महत्व है? 2017, 2023 — 3 अंक

उत्तर: ऐसा चुंबकीय क्षेत्र जिसकी रेखाएँ सदैव कुण्डली के तल के समांतर रहती हैं (अर्थात् कुण्डली के क्षेत्रफल सदिश के साथ सदैव 90° का कोण बनाती हैं), उसे त्रिज्यीय चुंबकीय क्षेत्र कहते हैं।

महत्व: इससे बल-आघूर्ण सदैव अधिकतम रहता है ($\tau = N\,I\,A\,B$) और पैमाना रेखीय ($\theta \propto I$) प्राप्त होता है।

[दीर्घ उत्तरीय प्रश्न - 4 एवं 5 अंक]

प्रश्न 21: चल कुंडली धारामापी (Moving Coil Galvanometer) का सिद्धांत, संरचना एवं कार्यविधि का सचित्र वर्णन कीजिए। 2018, 2020, 2022, 2024 — 5 अंक

उत्तर:

सिद्धांत: जब किसी धारावाही कुण्डली को एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में रखा जाता है, तो उस पर एक विक्षेपक बल-आघूर्ण कार्य करता है जो कुण्डली में प्रवाहित धारा के समानुपाती होता है।

बनावट: इसमें तांबे के पृथक्कृत तारों की एक आयताकार कुण्डली होती है जो नरम लोहे के क्रोड के ऊपर लिपटी होती है। यह शक्तिशाली अवतल ध्रुव खंडों (N-S) के बीच लटकी होती है।

कार्यविधि व सूत्र:

विक्षेपक बल-आघूर्ण: $\tau_d = N\,I\,A\,B$

पुनर्नयन बल-आघूर्ण: $\tau_r = k\,\theta$ (जहाँ k ऐंठन बल नियतांक है)

संतुलन की स्थिति में: $N\,I\,A\,B = k\,\theta \Rightarrow I = (k / N\,A\,B) \cdot \theta$

अतः $I \propto \theta$ (धारा कुण्डली में उत्पन्न विक्षेप के सीधे समानुपाती होती है)।

प्रश्न 22: धारावाही वृत्ताकार कुण्डली की अक्ष पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र की तीव्रता का व्यंजक निगमित कीजिए। 2017, 2019, 2021 — 5 अंक

उत्तर: माना R त्रिज्या की कुण्डली में I धारा प्रवाहित हो रही है। केंद्र से x दूरी पर अक्षीय बिंदु P स्थित है।

बायो-सेवर्ट नियम से अवयव dl के कारण P पर चुंबकीय क्षेत्र $dB = (\mu_0/4\pi) \cdot (I\,dl / r^2)$ (जहाँ $r = \sqrt{(R^2 + x^2)}$)।

dB को घटकों में वियोजित करने पर अक्ष के लंबवत घटक ($dB\cos\varphi$) परस्पर निरस्त हो जाते हैं तथा अक्ष के अनुदिश घटक ($dB\sin\varphi$) जुड़ जाते हैं।

कुल चुंबकीय क्षेत्र $B = \oint dB\sin\varphi = \oint [(\mu_0\,I\,dl / 4\pi\,r^2) \cdot (R / r)] = (\mu_0\,I\,R / 4\pi\,r^3) \oint dl$

परंतु $\oint dl = 2\pi\,R$।

अतः $B = (\mu_0\,I\,R / 4\pi\,r^3) \cdot 2\pi\,R = (\mu_0\,I\,R^2) / (2\,r^3)$

$r = (R^2 + x^2)^{(1/2)}$ रखने पर N फेरों के लिए:

$B = (\mu_0\,N\,I\,R^2) / [2\,(R^2 + x^2)^{(3/2)}]$ Tesla।

प्रश्न 23: एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में गतिमान आवेशित कण के पथ की त्रिज्या, आवर्तकाल एवं गतिज ऊर्जा का सूत्र प्राप्त कीजिए जब वह लंबवत प्रवेश करता है। 2019, 2023 (4 अंक)

उत्तर: जब आवेश q चुंबकीय क्षेत्र B में लंबवत ($\theta = 90°$) प्रवेश करता है, तो लगने वाला चुंबकीय बल $F = q v B$ वृत्ताकार पथ हेतु अभिकेंद्र बल प्रदान करता है:

1. **त्रिज्या:** $(m v^2) / r = q v B \Rightarrow r = (m v) / (q B) = p / (q B)$
2. **आवर्तकाल:** $T = (2\pi r) / v = 2\pi [(m v / q B)] / v \Rightarrow T = (2\pi m) / (q B)$
3. **गतिज ऊर्जा:** $K = (1/2) m v^2 = (1/2) m [(q B r / m)]^2 \Rightarrow K = (q^2 B^2 r^2) / (2 m)$।

7. महत्वपूर्ण आंकिक प्रश्न एवं बोर्ड परीक्षा हल (Numericals 24-28)

प्रश्न 24 (संख्यात्मक): एक लंबे सीधे तार में 35 A की धारा प्रवाहित हो रही है। तार से 20 cm दूरी पर स्थित किसी बिंदु पर चुंबकीय क्षेत्र का परिमाण ज्ञात कीजिए। 2018, 2022 (3 अंक)

हल:

दिया है: धारा $I = 35 A$, दूरी $r = 20 cm = 0.2 m$।

सीधे लंबे तार के कारण चुंबकीय क्षेत्र का सूत्र:

$B = (\mu_0 I) / (2\pi r) = [(\mu_0 / 4\pi) \cdot 2 I] / r$

मान रखने पर ($\mu_0/4\pi = 10^{-7}$):

$B = (10^{-7} \times 2 \times 35) / 0.2 = (70 \times 10^{-7}) / 0.2 = 350 \times 10^{-7} = 3.5 \times 10^{-5}$ Tesla।

प्रश्न 25 (संख्यात्मक): 10 cm त्रिज्या की 100 फेरों वाली पास-पास लपेटी गई कुण्डली में 1 A धारा बह रही है। कुण्डली के केंद्र पर चुंबकीय क्षेत्र कितना होगा? 2019, 2023 (3 अंक)

हल:

दिया है: फेरे $N = 100$, त्रिज्या $R = 10 cm = 0.1 m$, धारा $I = 1 A$।

कुण्डली के केंद्र पर सूत्र: $B = (\mu_0 N I) / (2 R)$

$B = (4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 1) / (2 \times 0.1) = (4\pi \times 10^{-5}) / 0.2 = 20\pi \times 10^{-5} T$

$B = 20 \times 3.1416 \times 10^{-5} = 6.28 \times 10^{-4}$ Tesla।

प्रश्न 26 (संख्यात्मक): एक धारामापी का प्रतिरोध 12 Ω है और 3 mA की धारा पर पूर्ण स्केल विक्षेप देता है। इसे 0-6 A परास के अमीटर में कैसे बदलेंगे? 2020, 2024 (3 अंक)

हल:

दिया है: $R_g = 12 \Omega$, $I_g = 3 mA = 3 \times 10^{-3} A$, कुल धारा $I = 6 A$।

आवश्यक शंट का सूत्र: $S = (I_g \cdot R_g) / (I - I_g)$

$S = (3 \times 10^{-3} \times 12) / (6 - 0.003) \approx (0.036) / 5.997 = 0.006 \Omega$ (या $6 \times 10^{-3} \Omega$)।

उत्तर: धारामापी के समांतर क्रम में **0.006 Ω** का शंट जोड़ना होगा।

प्रश्न 27 (संख्यात्मक): एक इलेक्ट्रॉन 3×10^7 m/s के वेग से 0.15 T के एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में लंबवत प्रवेश करता है। इसके वृत्ताकार पथ की त्रिज्या ज्ञात कीजिए। ($e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $m = 9.1 \times 10^{-31}$ kg) 2021 — 3 अंक

हल:

सूत्र: $r = (m\,v) / (q\,B)$

$r = (9.1 \times 10^{-31} \times 3 \times 10^7) / (1.6 \times 10^{-19} \times 0.15)$

$r = (27.3 \times 10^{-24}) / (0.24 \times 10^{-19}) = 113.75 \times 10^{-5}$ m = **1.137 mm**।

प्रश्न 28 (संख्यात्मक): 2 m लंबे दो समांतर तारों में 2 A और 5 A की धाराएँ एक ही दिशा में बह रही हैं। यदि उनके बीच की दूरी 10 cm है तो उनके बीच लगने वाला बल ज्ञात कीजिए। 2017, 2022 — 3 अंक

हल:

दिया है: $L = 2$ m, $I_1 = 2$ A, $I_2 = 5$ A, $d = 0.1$ m।

सूत्र: $F = [(\mu_0 I_1 I_2) / (2\pi d)] \times L = [(2 \times 10^{-7} \times 2 \times 5) / 0.1] \times 2$

$F = (20 \times 10^{-7} / 0.1) \times 2 = 200 \times 10^{-7} \times 2 =$ **4×10^{-5} N (आकर्षण बल)**।

प्रश्न 29: साइक्लोट्रॉन किस सिद्धांत पर आधारित है? क्या यह न्यूट्रॉन को त्वरित कर सकता है? 2020 — 2 अंक

उत्तर: साइक्लोट्रॉन इस सिद्धांत पर आधारित है कि जब कोई आवेशित कण एकसमान चुंबकीय क्षेत्र में लंबवत गति करता है, तो उसके परिक्रमण की आवृत्ति कण की चाल एवं त्रिज्या पर निर्भर नहीं करती। न्यूट्रॉन पर कोई आवेश नहीं होता ($q = 0$), अतः साइक्लोट्रॉन न्यूट्रॉन को त्वरित **नहीं** कर सकता।

प्रश्न 30: दो समांतर चालकों में विपरीत दिशा में धारा प्रवाहित करने पर उनके बीच कैसा बल कार्य करेगा? 2023 — 2 अंक

उत्तर: जब दो समांतर चालकों में विपरीत दिशा में धारा प्रवाहित होती है, तो उनके बीच **प्रतिकर्षण बल (Repulsive Force)** कार्य करता है।

8. महत्वपूर्ण तथ्य, ट्रिक्स एवं याद रखने योग्य बातें (Pro Tips)

★ परीक्षा हेतु विशेष ट्रिक्स (Exam Shortcuts):

1. **दाएँ हाथ के अंगूठे का नियम:** अंगूठा = धारा की दिशा (I), मुड़ी अंगुलियाँ = चुंबकीय क्षेत्र (B)।
2. **फ्लेमिंग का बाएँ हाथ का नियम (Fleming's Left Hand Rule - FBI):**
   - **F**orefinger (तर्जनी) = Magnetic Field (B)
   - Se**C**ond finger (मध्यमा) = Current (I)
   - **T**humb (अंगूठा) = Force (F)
3. **चुंबकीय बल में कार्य:** $W = 0$ होता है क्योंकि $F \perp v$। अतः चुंबकीय क्षेत्र गतिमान आवेश की चाल नहीं बदल सकता, केवल दिशा बदलता है!

9. क्विक रिविजन नोट्स (Quick Revision Summary)

- **लॉरेंज बल:** $F = q(v \times B)$, $F_{max} = q\,v\,B$ (जब $\theta = 90°$)।
- **बायो-सेवर्ट नियम:** $dB = (\mu_0/4\pi) \cdot (I\,dl \sin\theta / r^2)$.

- **वृत्ताकार धारावाही कुण्डली के केंद्र पर:** $B = (\mu_0 N I) / (2 R)$.
- **सीधे लंबे तार से r दूरी पर:** $B = (\mu_0 I) / (2\pi r)$.
- **परिनालिका (Solenoid):** $B = \mu_0 n I$.
- **दो समांतर तारों के बीच बल:** $F/L = (\mu_0 I_1 I_2) / (2\pi d)$.
- **चुंबकीय द्विध्रुव आघूर्ण:** $M = N I A$ (मात्रक: $A \cdot m^2$).
- **शंट का सूत्र (अमीटर रूपांतरण):** $S = (I_g R_g) / (I - I_g)$.
- **श्रेणी प्रतिरोध (वोल्टमीटर रूपांतरण):** $R = (V / I_g) - R_g$.

10. पिछले 10 वर्षों के PYQs विश्लेषण (MP Board Checklist)

नीचे दिए गए टॉपिक्स MP Board परीक्षा में बार-बार दोहराए जाते हैं:

1. **बायो-सेवर्ट नियम एवं कुण्डली के केंद्र पर व्यंजक:** (2017, 2019, 2020, 2023) - 5 अंक में आने की सर्वाधिक संभावना।
2. **चल कुंडली धारामापी की बनावट एवं सिद्धांत:** (2018, 2020, 2022, 2024) - दीर्घ उत्तरीय।
3. **गैल्वेनोमीटर का अमीटर एवं वोल्टमीटर में रूपांतरण (आंकिक सहित):** (2018, 2019, 2020, 2022, 2023, 2024) - प्रतिवर्ष निश्चित 3-4 अंक!
4. **दो समांतर धारावाही तारों के मध्य बल एवं 1 Ampere परिभाषा:** (2017, 2019, 2021, 2024).

--- अध्याय 4 संपूर्ण बोर्ड परीक्षा नोट्स समाप्त ---

इन नोट्स के बाहर बोर्ड परीक्षा में कोई प्रश्न नहीं आएगा। शुभकामनाएँ!