पॉलिटेक्निक
Board of Technical Education

NSQF
के अनुसार

नवीनतम् पाठ्यक्रम
सत्र 2019-20
पर आधारित

विद्या® न्यूपैटर्न
QUESTION® BANK
सर्वश्रेष्ठ परीक्षा मार्गदर्शक

अनुप्रयुक्त भौतिकी-II
(Applied Physics-II)

Common Paper
Semester-II

विगत 10 वर्षों के परीक्षा प्रश्नों का अध्यायवार समावेश

स्वमूल्यांकन हेतु मॉडल प्रश्न–पत्र

41 Years of Incredible Publishing Since 1979

Scanned with CamScanner

New Syllabus

1. WAVE MOTION AND ITS APPLICATIONS

Wave motion, transverse and longitudinal wave motion with examples, sound and light waves, relationship among wave velocity, frequency and wavelength and its application. Wave equation $y = r \sin wt$, phase, phase difference, principle of superposition of waves. Simple Harmonic Motion (SHM): definition and characteristic, expression for displacement, velocity, acceleration, time period, frequency in S.H.M., Energy of a body executing S. H. M., simple pendulum, concept of simple harmonic progressive wave. Free, Damped and forced oscillations, Resonance with examples, Q-factor. Definition of pitch, loudness, quality and intensity of sound waves, intensity level, Echo and reverberation, Sabine formula for reverberation time(without derivation), coefficient of absorption of sound, methods to control reverberation time and their applications, Accoustics of building defects and remedy. Ultrasonics –production, detection, properties and applications in engineering and medical applications.

2. WAVE OPTICS

Dual nature of light, wave theory of light, laws of reflection and refraction, Snell's law, Power of lens, magnification. Two-Source Interference, Double-Slit interference, Interference due to thin films, Fresnel's biprism. use of interference making highly efficient solar panel. diffraction, Single Slit diffraction, Intensity calculation etc. Polarization of electromagnetic waves, polarizing sheets, polarizing by Reflection (Brewser's law), Malus law, use of polariods.

3. ELECTROSTATICS

Concept of charge, Coulombs law, Electric field of point charges, Electric lines of force and their properties, Electric flux, Electric potential and potential difference. Gauss law of electrostatics: Application of Gauss law to find electric field intensity of straight charged conductor, plane charged sheet and charged sphere. Capacitor and its working principle, Capacitance and its units. Capacitance of parallel plate capacitor. Series and parallel combination of capacitors (numericals), charging and discharging of a capacitor. Dielectric and its effect on capacitance, dielectric break down. Application of electrostatics in electrostatic precipitation of microbes and moisture separation from air and gases in industry for pollution control (Brief explanation only)

4. CURRENT ELECTRICITY

Electric Current, Resistance, Specific Resistance, Conductance, Specific Conductance, Series and Parallel combination of Resistances. Factors affecting Resistance, Colour coding of carbon Resistances, Ohm's law. Superconductivity. Kirchhoff's laws, Wheatstone bridge and its applications (meter bridge and slide wire bridge). Concept of terminal potential difference and Electro motive force (EMF), potentiometer. Heating effect of current, Electric power, Electric energy and its units (related numerical problems), Advantages of Electric Energy over other forms of energy. Examples of application of DC circuits in various electrical and electronics equipment such as C.R.O, T.V., Audio-Video System, Computers etc.

5. MAGNETO STATICS AND ELECTROMAGNETISM

Magnetic poles, force on a moving charge, circulating charges, force on a current carrying wire, Hall effect, torque on a current loop. Magnetic field due to moving charge(Biot-Savart Law), due to current (Biot-Savart Law), parallel currents, field of a solenoid, Ampere's law. Faraday's law, Lenz' law, motional emf, induced electric fields. Magnetic dipole and force on a magnetic dipole in a non-uniform field, Magnetization, Gauss' law for magnetism. Types of magnetic materials. Dia, para and ferromagnetic materials with their properties. Application of electromagnetism in ac/dc motors and generators.

Scanned with CamScanner

6. SEMICONDUCTOR PHYSICS

Types of materials (insulator, semiconductor, conductor), intrinsic and extrinsic semiconductors, *p-n* junction diode and its V-I characteristics. Diode as rectifier – half wave and full wave rectifier (centre taped). Semiconductor transistor, pnp and npn (concepts only). Application of semiconductor diodes (Zener, LED) and that of transistor as amplifier and oscillator.

7. MODERN PHYSICS

Lasers: concept of energy levels, ionizations and excitation potentials; spontaneous and stimulated emission; laser and its characteristics, population inversion, Types of lasers; Ruby and He-Ne lasers, engineering and medical applications of lasers. Fibre optics: Total internal reflection and its applications, Critical angle and conditions for total internal reflection, introduction to optical fibers, light propagation, types, acceptance angle and numerical aperture, types and applications of optical fibre in communication. Introduction to nanotechnology, nanoparticles and nano materials,

LIST OF PRACTICALS

1. To determine the velocity of sound with the help of resonance tube.
2. To find the focal length of convex lens by displacement method.
3. To find the refractive index of the material of given prism using spectrometer.
4. To find the wavelength of sodium light using Fresnel's biprism.
5. To verify laws of resistances in series and parallel combination
6. To verify ohm's laws by drawing a graph between voltage and current.
7. To measure very low resistance and very high resistances using Slide Wire bridge
8. Conversion of Galvanometer into an Ammeter and Voltmeter of given range.
9. To draw hysteresis curve of a ferromagnetic material.
10. To draw characteristics of a *p-n* junction diode and determine knee and break down voltages.
11. To find wavelength of the laser beam.
12. To find numerical aperture of an optical fiber.

Contents

1. तरंग गति एवं इसकी विशेषताएँ (Wave Motion and its Applications) ... 5
2. ध्वनियों के लक्षण एवं पराध्वनि (Characteristics of Sound and Ultrasonics) ... 17
3. तरंग प्रकाशिकी (Wave Optics) ... 29
4. स्थिर वैद्युतिकी (Electrostatics) ... 45
5. वैद्युत धारा (Current Electricity) ... 68
6. अर्द्धचालक भौतिकी (Semiconductor Physics) ... 93
7. आधुनिक भौतिकी (Modern Physics) ... 120
8. चुम्बकीय पदार्थ एवं उनके गुण (Magnetic Materials and Their Properties) ... 134

- प्रयोगात्मक कार्य (Practical Work) ... 148
- मॉडल प्रश्न पत्र (Model Question Paper) ... 175

Scanned with CamScanner

1 तरंग गति एवं इसकी विशेषताएँ
(Wave motion and its Applications)

खण्ड 'अ' : **अतिलघु उत्तरीय प्रश्न**

प्रश्न 1. यांत्रिक तरंग से आप क्या समझते हैं?

उत्तर किसी भौतिक माध्यम (Physical medium) में उत्पन्न वह विक्षोभ जो अपना स्वरूप बिना बदले माध्यम से एक निश्चित चाल से आगे बढ़ता है, यांत्रिक तरंग कहलाता है।

प्रश्न 2. यांत्रिक तरंग कितने प्रकार की होती हैं?

उत्तर यांत्रिक तरंग निम्न दो प्रकार की होती हैं—
(i) अनुप्रस्थ तरंग (Transverse wave) तथा (ii) अनुदैर्घ्य तरंग (Longitudinal wave)

प्रश्न 3. आयाम को परिभाषित कीजिए।

उत्तर माध्यम के किसी कम्पित कण के अपनी माध्य स्थिति के दोनों ओर अधिकतम विस्थापन को उस कण का आयाम कहते हैं, इसे a से व्यक्त करते हैं।

प्रश्न 4. आवर्तकाल किसे कहते हैं?

उत्तर माध्यम में कोई भी कण एक कम्पन्न पूरा करने में जितना समय लेता है वह उस कण का आवर्तकाल कहलाता है, इसे T से व्यक्त करते हैं।

प्रश्न 5. आवृत्ति की परिभाषा लिखिए।

उत्तर माध्यम में कोई कम्पित कण एक सेकण्ड में जितने कम्पन्न करता है, वह कण की आवृत्ति कहलाती है, इसे n से व्यक्त करते हैं।

प्रश्न 6. आवृत्ति तथा आवर्तकाल में सम्बन्ध लिखिए।

उत्तर आवृत्ति $= \frac{1}{\text{आवर्तकाल}}$ अर्थात् $n = \frac{1}{T}$

प्रश्न 7. कलान्तर से आप क्या समझते हैं?

उत्तर दो कलाओं के अन्तर को कलान्तर (Phase difference) कहते हैं। कला को प्राय: कोण या आवर्तकाल (T) के पदों में लिखा जाता है। जिन कणों की कलाओं में 0 या 2π का अन्तर होता है वे समान कला में तथा जिनमें π या 3π का अन्तर होता है वे विपरीत कला में होते हैं।

प्रश्न 8. तरंगदैर्घ्य को परिभाषित कीजिए।

उत्तर माध्यम के किसी भी कण के एक पूरे कम्पन के समय में अर्थात् आवर्तकाल T में तरंग द्वारा तय की गयी दूरी तरंगदैर्घ्य कहलाती है, इसे ग्रीक अक्षर λ से व्यक्त करते हैं।

प्रश्न 9. तरंग की चाल को स्पष्ट कीजिए।

उत्तर एक सेकण्ड में कोई तरंग जितनी दूरी तय करती है वह उसकी चाल कहलाती है, इसे v से प्रदर्शित करते हैं।

प्रश्न 10. तरंग की चाल, आवृत्ति तथा तरंगदैर्घ्य में सम्बन्ध लिखिए।

उत्तर चाल = आवृत्ति × तरंगदैर्घ्य
अथवा $v = n\lambda$

Scanned with CamScanner

प्रश्न 11. कला को परिभाषित कीजिए।

उत्तर जब कोई कण कम्पन करता है तो कण का साम्य स्थिति से विस्थापन तथा गति की दिशा आवर्त रूप से बदलती रहती है। जिस राशि के द्वारा किसी क्षण कण के विस्थापन तथा गति की दिशा को व्यक्त करते हैं उसे कण की 'कला' कहते हैं।

प्रश्न 12. अध्यारोपण का सिद्धान्त लिखिए।

उत्तर किसी माध्यम मे दो अथवा अधिक प्रगामी तरंगे एकसाथ परन्तु एक-दूसरे की गति को बिना प्रभावित किए चल सकती हैं। अत: माध्यम के प्रत्येक कण का किसी क्षण परिणामी विस्थापन दोनों तरंगों द्वारा अलग-अलग उत्पन्न विस्थापनों के सदिश योग के बराबर होता है। इस सिद्धान्त को 'अध्यारोपण का सिद्धान्त' कहते हैं।

प्रश्न 13. सरल आवर्त गति की परिभाषा लिखिए।

उत्तर जब कोई कण अपनी माध्य स्थिति के दोनो ओर सरल रेखा में दोलनी गति करता है तो ऐसी गति को सरल आवर्त गति कहते हैं। जैसे— स्प्रिंग से लटके द्रव्यमान की गति, सरल लोलक का दोलन।

प्रश्न 14. सरल आवर्त गति की विशेषताएँ लिखिए।

उत्तर सरल आवर्त गति की विशेषताएँ निम्नलिखित हैं—

1. सरल आवर्त गति में विस्थापन के घनात्मक मान के लिए त्वरण का मान घनात्मक होता है तथा विस्थापन के ऋणात्मक मान के लिए त्वरण घनात्मक होता है। अत: त्वरण की दिशा विस्थापन की दिशा के सदैव विपरीत होती है।
2. कण का कोणीय वेग (ω) स्थिर रहे तो त्वरण कण के विस्थापन के समानुपाती होता है।
3. इसमें लगने वाले प्रत्यानन बल की दिशा सदैव विस्थापन (Y) की दिशा के विपरीत होती है।

बहुविकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 1. यदि एक सरल लोलक मुक्त रूप से गुरुत्वाकर्षण बल के अन्तर्गत नीचे गिर रहा है, तो उसका आवर्तकाल होगा। (2019)

(अ) $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (ब) शून्य (स) अनन्त

उत्तर (स) अनन्त

लघु एवं दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. अनुप्रस्थ तरंगों (Transverse waves) तथा अनुदैर्घ्य तरंगों (Longitudinal waves) की उदाहरण सहित स्पष्ट कीजिए।

उत्तर **अनुप्रस्थ तरंगें** Transverse waves—"जब किसी माध्यम में तरंग के संचरित होने के कारण माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा के लम्बवत् कम्पन करते हैं तो उस तरंग को अनुप्रस्थ तरगें कहते हैं।"

उदाहरणार्थ—जब हम रस्सी के एक सिरे को हुक से बाँधकर दूसरे सिरे को ऊपर-नीचे हिलाते हैं तो रस्सी में उसकी लम्बाई की दिशा में तरगें आगे बढ़ती हुई दिखायी देती हैं। यदि हम रस्सी के किसी स्थान पर चॉक से निशान लगाकर उसे ध्यान से देखें तो निशान अपने ही स्थान पर ऊपर-नीचे अर्थात् रस्सी की लम्बाई के लम्बवत् कम्पन करता दिखाई देता है। स्पष्ट है कि रस्सी में उत्पन्न हुई यान्त्रिक तरंगें अनुप्रस्थ हैं।

अनुप्रस्थ तरंग में ऊपर की ओर अधिकतम विस्थापन की स्थिति शृंग (crest) और नीचे की ओर अधिकतम विस्थापन की स्थिति गर्त (trough) कहलाती है।

अनुदैर्घ्य तरंगें Longitudinal Waves—जब किसी माध्यम में यान्त्रिक तरंग के संचरित होने पर माध्यम के कण तरंग के चलने की दिशा के समान्तर कम्पन करते हैं तो उस तरंग को अनुदैर्घ्य तरंग कहते हैं। अनुदैर्घ्य तरगें ध्वनि तथा गैसों में संचरित होती हैं।

उदाहरणार्थ—एक सर्पिल स्प्रिंग (flat spiral spring) के एक सिरे को एक दीवार से बाँधकर दूसरे सिरे को हाथ से पकड़कर आगे-पीछे करने पर स्प्रिंग की लम्बाई के अनुदिश कम्पन करने लगती है तथा स्प्रिंग में विक्षोभ आगे बढ़ता दिखायी देता है। इस प्रकार का विक्षोभ अनुदैर्घ्य तरंग को प्रदर्शित करता है। यदि किसी क्षण स्प्रिंग की लम्बाई को एकसाथ

ध्यान से देखें तो कुछ स्थानों पर स्प्रिंग की कुण्डलियाँ सामान्य अवस्था की अपेक्षा पास-पास तथा कुछ स्थानों पर दूर-दूर दिखायी देती है। जिन स्थानों पर कुण्डलियाँ पास-पास हैं, वे स्थान सम्पीडन (compression) की अवस्था में तथा जिन स्थानों पर कुण्डलियाँ दूर-दूर हैं, वे स्थान **'विरलन'** (rarefaction) की अवस्था में कहलाते हैं। सम्पीडन तथा विरलन की ये अवस्थाएँ स्प्रिंग की लम्बाई की दिशा में बढ़ती रहती हैं।

अनुदैर्घ्य तरंगें सभी माध्यमों (ठोस, द्रव तथा गैस) में उत्पन्न की जा सकती है। गैसों (वायु) में उत्पन्न तरंगें सदैव अनुदैर्घ्य तरंगें ही होती हैं। द्रवों में अनुदैर्घ्य तरंगें द्रव के भीतर ही संचरित होती हैं, उसके पृष्ठ पर नहीं ध्वनि तरंगें भी अनुदैर्घ्य होती हैं।

प्रश्न 2. कलान्तर के लिए व्यंजक को व्युत्पन्न कीजिए।

उत्तर माना कि किसी माध्यम में सरल आवर्त प्रगामी तरंग धनात्मक x दिशा में चल रही है। मूल-बिन्दु से x दूरी पर स्थित माध्यम के कण का किसी समय t पर विस्थापन निम्नलिखित है—

$$y = a\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

इसी समीकरण में sin का कोणांक (argument) $2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$ है। यह इस कण की, जिसकी स्थिति x है, समय t पर कला (ϕ) है। अत: कला

$$\phi = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \quad \text{—(i)}$$

माना कि समय t पर दो कणों की कलायें, जिनकी मूल-बिन्दु से दूरियाँ x_1 व x_2 हैं, क्रमश: ϕ_1 व ϕ_2 हैं।

समी० (i) से,

$$\phi_1 = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_1}{\lambda}\right)$$

तथा $$\phi_2 = 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x_2}{\lambda}\right)$$

$$\therefore \quad \phi_1 - \phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda}(x_2 - x_1)$$

अथवा $$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \times \Delta x$$

यह उन दो कणो का कलान्तर है जिनके बीच की दूरी Δx है। यदि $\Delta x = \lambda$ हो, तब

$$\Delta\phi = 2\pi$$

अत: माध्यम में ऐसे दो कणों में जिनके बीच λ (तरंगदैर्घ्य) दूरी हो, कलान्तर 2π होता है अर्थात् वे कम्पन को समान कला में होते है।

अब माना कि किसी कण की, जिसकी स्थिति x है, समय t_1 पर कला ϕ_1 तथा समय t_2 पर कला ϕ_2 है। तब

समी० (i) से,

$$\phi_1 = 2\pi\left(\frac{t_1}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

तथा $$\phi_2 = 2\pi\left(\frac{t_2}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$\therefore \quad \phi_1 - \phi_2 = \frac{2\pi}{T}(t_1 - t_2)$$

अथवा $$\Delta\phi = \frac{2\pi}{T} \times \Delta t$$

यह किसी कण के लिए समयान्तराल Δt में होने वाला कलान्तर है। यदि $\Delta t = T$ हो, तब

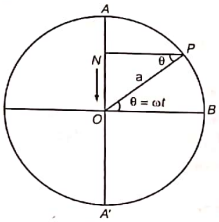
$$\Delta\phi = 2\pi$$

अत: एक आवर्तकाल के पश्चात् कण के कम्पन की कला वही हो जाती है जो प्रारम्भ में थी।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 3. सरल आवर्त गति के लिए विस्थापन समीकरण लिखिए।

उत्तर माना कण P विन्दु B से चलना प्रारम्भ करता है तथा t सेकण्ड में θ रेडियन का कोण घूम जाता है, (चित्र 1.1)। यदि कण का कोणीय वेग ω हो तो



चित्र 1.1

$$\omega = \theta/t \text{ अथवा } \theta = \omega t$$

t सेकण्ड में पाद N का विन्दु O से विस्थापन ON है।

तब चित्रानुसार, $ON = y$

$$y = ON = OP \sin NPO$$

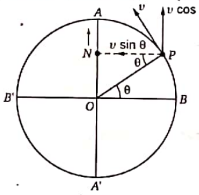
परन्तु, $OP = a$ तथा $\angle NPO = \angle POB = \theta = \omega t$

$$\therefore \quad y = a \sin \omega t$$

यही सरल आवर्त गति का विस्थापन समीकरण है।

प्रश्न 4. सरल आवर्त गति करते हुए किसी कण के वेग का सूत्र प्राप्त कीजिए।

उत्तर **सरल आवर्त गति में कण का वेग** Velocity of a particle in S.H.M.—निर्देश वृत्त की परिधि पर चलते कण P के वेग v को परस्पर दो लम्बवत् घटकों में वियोजित करने पर (चित्र 1.2);



चित्र 1.2

v का PN के समान्तर घटक $= v \sin \theta$

v का PN के लम्बवत् घटक $= v \cos \theta$

घटक $v \cos \theta$, कण P से वृत्त के व्यास पर खींचे गये लम्ब के पाद N की गति की दिशा OA के समान्तर है। अत: यह पाद N के वेग के बराबर है। इस प्रकार, पाद N का वेग $u = v \cos \theta$

परन्तु $v = a\omega$ तथा $\theta = \omega t$; ($\omega = P$ का रेखीय वेग)

$$\therefore \quad u = a\omega \cos \omega t = a\omega \sqrt{(1 - \sin^2 \omega t)}$$

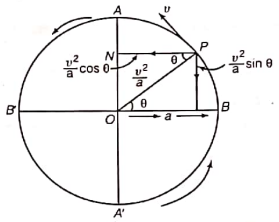
$$= a\omega \sqrt{1 - (y^2/a^2)} \qquad (\because \sin \omega t = y/a)$$

अथवा $$u = \omega \sqrt{(a^2 - y^2)}$$

इस समीकरण से यह पता चलता है कि सरल आवर्त गति करते हुए किसी कण का वेग (u) उसके विस्थापन (y) के साथ-साथ बदलता है। जब विस्थापन शून्य होता है ($y = 0$) अर्थात् जब कण अपनी साम्य स्थिति से गुजरता है तब वेग अधिकतम होता है ($u_{max} = a\omega$) तथा जब विस्थापन अधिकतम होता है ($y = a$) तब वेग शून्य होता है ($u = 0$).

प्रश्न 5. सरल आवर्त गति करते हुए किसी कण के लिए त्वरण का सूत्र प्राप्त कीजिए।

उत्तर **सरल आवर्त गति में त्वरण** Acceleration in S. H. M. कण P एक वृत्त की परिधि पर चल रहा है। अत: इसकी गति में एक (अभिकेन्द्र) त्वरण v^2/a है जिसकी दिशा वृत्त के केन्द्र की ओर है, (चित्र 1.3)। इस त्वरण को दो घटकों में वियोजित किया जा सकता है—



चित्र 1.3

v^2/a का PN के समान्तर घटक $= (v^2/a) \cos \theta$

तथा $\frac{v^2}{a}$ का PN के लम्बवत् घटक $= \frac{v^2}{a} \sin \theta$

घटक $(v^2/a) \sin \theta$, पाद N की गति की दिशा OA के समान्तर है, परन्तु इसकी दिशा N की गति के विपरीत (अर्थात् साम्य स्थिति O की ओर को) है। अत: यह N के त्वरण के बराबर है। इस प्रकार, N का त्वरण

$$\alpha = -(v^2/a) \sin \theta$$

ऋण चिह्न यह दर्शाता है कि N का त्वरण इसकी गति की विपरीत दिशा में है। चित्रानुसार, $\sin \theta = ON/OP = y/a$ जहाँ y ($= ON$) इस क्षण N का विस्थापन है तथा a वृत्त की त्रिज्या है।

$$\therefore \quad \alpha = -(v^2/a^2)y$$

परन्तु $$v = a\omega$$

$$\therefore \quad \alpha = -\omega^2 y \qquad \text{...(i)}$$

यह त्वरण एवं विस्थापन में सम्बन्ध है। चूँकि ω^2 एक नियतांक है, अत:

$$\alpha \propto -y$$

इससे पता चलता है कि N का त्वरण, विस्थापन y के अनुक्रमानुपाती है तथा इसकी दिशा विस्थापन के विपरीत दिशा में है।

$\because N$ का आवर्तकाल

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

समी० (i) से, $$\omega^2 = \frac{\alpha}{y} = \frac{\text{त्वरण}}{\text{विस्थापन}}$$

$$\therefore \quad T = 2\pi \sqrt{\left(\frac{\text{विस्थापन}}{\text{त्वरण}}\right)}$$

इस सूत्र से सरल आवर्त गति का आवर्तकाल ज्ञात कर सकते हैं।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 6. सरल आवर्त गति करते हुए किसी कण के लिए आवर्तकाल एवं आवृत्ति का सूत्र लिखिए।

उत्तर **आवर्तकाल**—जितने समय में पाद N अपना एक कम्पन पूरा करता है वह T का 'आवर्तकाल' T है। N के एक कम्पन के समय में कण P वृत्त का एक चक्कर पूरा करता है अर्थात् 2π रेडियन के कोण से घूम जाता है। इस प्रकार, P के एक चक्कर का समय $2\pi/\omega$ है। अत: N का आवर्तकाल

$$T = 2\pi/\omega$$

आवृत्ति—एक सेकण्ड में पाद N जितने कम्पन करता है उसे आवृत्ति (n) कहते हैं। आवृत्ति आवर्तकाल के व्युत्क्रम के बराबर होती है।

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$$

प्रश्न 7. सरल आवर्त गति करते हुए पिण्ड की दोलन गतिज ऊर्जा, स्थितिज ऊर्जा तथा सम्पूर्ण ऊर्जा के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।

उत्तर **गतिज ऊर्जा** Kinetic energy सरल आवर्त गति करते हुए कण का जब किसी क्षण उसकी साम्य स्थिति से विस्थापन y हो तो उस क्षण उसका वेग $u = \omega\sqrt{(a^2 - y^2)}$

जहाँ, a = कण का आयाम तथा ω = कण की कोणीय आवृत्ति है। यदि पिण्ड (कण) का द्रव्यमान m हो तो इसकी गतिज ऊर्जा $K = \frac{1}{2}mu^2 = \frac{1}{2}m\{\omega\sqrt{(a^2 - y^2)}\}^2$

या $$K = \frac{1}{2}m\omega^2(a^2 - y^2) \quad \ldots(i)$$

स्थितिज ऊर्जा Potential energy सरल आवर्त गति करते हुए कण का जब किसी क्षण उसकी साम्य स्थिति से विस्थापन y है तो उस क्षण उसका त्वरण $\alpha = -\omega^2 y$ (जहाँ ω = कोणीय आवृत्ति)

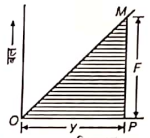
यदि कण का द्रव्यमान m हो तो इस क्षण कण पर लगने वाला प्रत्यानयन बल

F = द्रव्यमान × त्वरण

या $F = m \times \alpha = m \times (-\omega^2 y) = -m\omega^2 y$

ऋण चिह्न केवल बल की दिशा (विस्थापन y के विपरीत) का प्रतीक है।

अत: बल का परिमाण $F = m\omega^2 y$



चित्र 1.4

यदि हम कण पर लगे बल F तथा कण के विस्थापन y के बीच एक ग्राफ खींचे तो चित्र 1.4 की भाँति एक सरल रेखा प्राप्त होती है। यह एक बल विस्थापन ग्राफ है। अत: इस ग्राफ (सरल रेखा) तथा विस्थापन अक्ष के बीच घिरा क्षेत्रफल कण पर किये गये कार्य अर्थात् कण की स्थितिज ऊर्जा को व्यक्त करेगा।

अत: कण की स्थितिज ऊर्जा U = समकोण ΔOPM का क्षेत्रफल

$$= \frac{1}{2}(OP) \times (PM) = \frac{1}{2} \times y \times F$$

F का आंकिक मान ($F = m\omega^2 y$) रखने पर

$$U = \frac{1}{2} \times y \times m\omega^2 y = \frac{1}{2}m\omega^2 y^2 \quad \ldots(ii)$$

सम्पूर्ण ऊर्जा Total energy

कण की कुल ऊर्जा E = गतिज ऊर्जा + स्थितिज ऊर्जा

अर्थात् $E = K + U$

समी० (i) व (ii) से K तथा U के मान रखकर सरल करने पर

या $$E = \frac{1}{2}m\omega^2 a^2 \quad \ldots(iii)$$

समी० (iii) से स्पष्ट है कि कण की सम्पूर्ण ऊर्जा समय के बन्धन से मुक्त है, अत: सरल आवर्त गति करते हुए कण की सम्पूर्ण ऊर्जा कण की गति के दौरान नियत रहती है।

∵ कोणीय आवृत्ति $\omega = 2\pi n$ (जहाँ n = कण की दोलन आवृत्ति)

∴ यह मान उपर्युक्त समी० (iii) में रखने पर

$$E = \frac{1}{2}m(2\pi n)^2 a^2$$

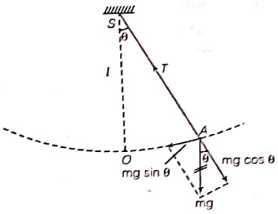
या $$E = 2\pi^2 mn^2 a^2 \quad \ldots(iv)$$

इस प्रकार समी० (iv) से स्पष्ट है कि **सरल आवर्त गति करते कण (पिण्ड) की कुल ऊर्जा आयाम के वर्ग (a^2) के तथा आवृत्ति के वर्ग (n^2) के अनुक्रमानुपाती होती है।**

प्रश्न 8. सरल लोलक (Simple Pendulum) से आप क्या समझते हैं? सरल लोलक का आवर्तकाल के लिए सूत्र का निगमन कीजिए।

उत्तर **सरल लोलक** Simple Pendulum—यदि पदार्थ के अत्यन्त सूक्ष्म किन्तु भारी कण को एक भारहीन, लम्बाई में न बढ़ने वाले तथा पूर्ण लचकदार धागे के एक सिरे से बाँधकर किसी दृढ़ आधार से लटका दें तो यह समायोजन 'सरल लोलक' कहलाता है। परन्तु व्यवहार में इस प्रकार का समायोजन सम्भव नहीं है। अत: इसे आदर्श सरल लोलक कहा जाता है।

प्रयोगशाला में धातु के किसी ठोस गोले को एक हल्के व पतले धागे से बाँधकर किसी दृढ़ आधार से लटका देते हैं। यही व्यवहारिक सरल लोलक है जो कि आदर्श लोलक के गुणों के निकटतम है। धातु के गोले को 'गोलक' (bob) कहते हैं तथा निलम्बन-बिन्दु (point of suspension) से गोलक के गुरुत्व-केन्द्र तक की दूरी को 'प्रभावी लम्बाई' (effective length) कहते हैं। जब गोलक को उसकी साम्य स्थिति से थोड़ा एक ओर हटाकर छोड़ देते हैं तो वह साम्य स्थिति के इधर-उधर लगभग एक सीधी रेखा में दोलन करने लगता है।



चित्र 1.5

सरल लोलक का आवर्तकाल—माना किसी सरल लोलक की प्रभावी लम्बाई l है तथा उसके गोलक का द्रव्यमान m है। गोलक को बिन्दु S (चित्र 1.5) से लटकाया गया है तथा उसकी साम्य स्थिति O है। माना दोलन करते समय गोलक किसी क्षण स्थिति A में है, जबकि उसका विस्थापन $OA = x$ है तथा धागा ऊर्ध्वाधर से θ कोण बनाता है। इस स्थिति में गोलक पर दो बल कार्य करते हैं—

1. गुरुत्व-बल mg, जो कि उसके गुरुत्व-केन्द्र पर ऊर्ध्वाधर दिशा में नीचे की ओर कार्य करता है तथा
2. धागे का तनाव T, जो कि AS दिशा में कार्य करता है।

mg को दो घटकों में वियोजित कर सकते हैं : घटक $mg\sin\theta$, जो कि धागे की सीध में T के विपरीत दिशा में कार्य करता है तथा घटक $mg\sin\theta$, जो कि धागे के लम्बरूप दिशा में कार्य करता है। घटक $mg\cos\theta$ तथा धागे में तनाव T का परिणामी, गोलक को आवश्यक अभिकेन्द्र बल देता है। घटक $mg\sin\theta$ गोलक को साम्य स्थिति O में लाने का प्रयत्न करता है। इसे 'प्रत्यानयन बल' (restoring force) कहते हैं। इस प्रकार गोलक पर प्रत्यानयन बल

$$F = -mg\sin\theta$$

ऋण चिह्न यह दर्शाता है कि बल F, विस्थापन की विपरीत दिशा में, अर्थात् साम्य स्थिति की ओर को दिष्ट है।

यदि गोलक का कोणीय विस्थापन θ छोटा हो तथा रेडियन में नापा जाये, तब

$$\sin\theta = \theta = OS/SA = x/l \qquad \left[\because \text{कोण} = \frac{\text{चाप}}{\text{त्रिज्या}}\right]$$

∴ $$F = -(mg/l)x$$

परन्तु न्यूटन के गति-विषयक नियम के अनुसार, बल = द्रव्यमान × त्वरण। अत: यदि गोलक का त्वरण α हो, तब

$$F = m\alpha = -(mg/l)x$$

∴ $$\alpha = -(g/l)x \quad \ldots(i)$$

इस समीकरण में (g/l) किसी निश्चित स्थान पर दी हुई प्रभावी लम्बाई के लोलक के लिये नियतांक है। अत:

$$\alpha \propto -x$$

इस प्रकार गोलक का त्वरण α उसके विस्थापन x के अनुक्रमानुपाती है तथा उसकी दिशा विस्थापन के विपरीत है। अत: **गोलक की गति सरल आवर्त है।** इसका आवर्तकाल

Scanned with CamScanner

$$T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{\text{विस्थापन}}{\text{त्वरण}}\right)}$$

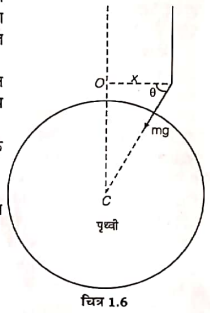
समी० (i) से, $\quad \frac{\text{विस्थापन } (x)}{\text{त्वरण } (\alpha)} = \frac{l}{g}$

$\therefore \quad T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{l}{g}\right)}$

यह सरल लोलक के आवर्तकाल का सूत्र है। इसमें m नहीं है। इससे पता चलता है कि **लोलक का आवर्तकाल गोलक के द्रव्यमान पर निर्भर नहीं करता।** यदि एक लड़की झूला झूल रही हो तथा उसी झूले पर एक अन्य लड़की आकर बैठ जाये तो झूले के आवर्तकाल पर कोई प्रभाव नहीं पड़ेगा।

प्रश्न 9. किसी अनन्त लम्बाई के सरल लोलक के आवर्तकाल के सूत्र का निगमन कीजिए।

उत्तर **अनन्त लम्बाई के सरल लोलक का आवर्तकाल**—सरल लोलक के आवर्तकाल के सूत्र $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ से ऐसा लगता है कि सरल लोलक की लम्बाई अनन्त हो जाने पर, आवर्तकाल भी अनन्त हो जायेगा। परन्तु वास्तव मे ऐसा नहीं है। अनन्त लम्बाई के लोलक का आवर्तकाल 84.6 मिनट होता है (अनन्त नहीं।)। यह सरल लोलक के आवर्तकाल की अधिकतम सीमा है। इसे हम निम्न प्रकार सिद्ध कर सकते हैं—



चित्र 1.6

लोलक की लम्बाई अनन्त हो जाने पर, लोलक एक ऋजु रेखा के अनुदिश दोलन करेगा। माना कि गोलक की साम्य स्थिति O (चित्र 1.6) है तथा दोलन करते समय किसी क्षण स्थिति O' है जिसका माध्य स्थिति से विस्थापन $OO' = x$ है।

गोलक पर कार्यरत गुरुत्व-बल $F = mg$, जहाँ mg गोलक का भार है जो कि पृथ्वी के केन्द्र C की ओर को दिष्ट है। इस बल का गोलक की गति के अनुदिश घटक

$$F_x = -mg\cos\theta$$

ऋण चिह्न यह दर्शाता है कि बल F_x, विस्थापन की विपरीत दिशा में अर्थात् साम्य स्थिति की ओर को दिष्ट है। यही गोलक पर 'प्रत्यानयन' बल है। चित्र 1.6 से,

$$\cos\theta = \frac{OO'}{O'C} = \frac{x}{R_e},$$

जहाँ R_e, पृथ्वी के केन्द्र से गोलक की दूरी अर्थात् पृथ्वी की त्रिज्या है।

$\therefore \quad F_x = -mg\frac{x}{R_e}$

गोले का त्वरण $\alpha = \frac{F_x}{m}$

अथवा $\quad \alpha = -(g/R_e)x \qquad \ldots(i)$

इस समीकरण में g/R_e किसी निश्चित स्थान पर नियतांक है। अत:

$$\alpha \propto -x$$

इस प्रकार गोले का त्वरण α उसके विस्थापन x के अनुक्रमानुपाती होता है तथा त्वरण की दिशा विस्थापन के विपरीत है। अत: गोलक की गति सरल आवर्त है। इसका आवर्तकाल

$$T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{\text{विस्थापन}}{\text{त्वरण}}\right)}$$

समी० (i) से, $\quad \frac{\text{विस्थापन } (x)}{\text{त्वरण } (\alpha)} = \frac{R_e}{g} \quad \therefore \quad T = 2\pi\sqrt{\left(\frac{R_e}{g}\right)}$

इसमें $R_e = 6.4 \times 10^6$ मीटर तथा $g = 9.8$ मी/से^{2} रखने पर

$$T = 2 \times 3.14 \times \sqrt{\left(\frac{6.4 \times 10^6}{9.8}\right)} = 5075 \text{ सेकण्ड} = \mathbf{84.6 \text{ मिनट}}$$

प्रश्न 10. समतल प्रगामी तरंग से आप क्या समझते हैं? समतल प्रगामी तरंग समीकरण निगमन कीजिए।

उत्तर **समतल प्रगामी तरंग समीकरण** Plane Progressive Wave Equation—यदि किसी माध्यम मे तरंग संचरित होने पर माध्यम के कण सरल आवर्त गति में कम्पन करें तो इस तरंग को 'सरल आवर्त प्रगामी तरंग' (simple harmonic progressive wave) कहते हैं।

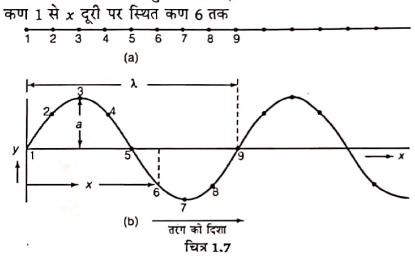
माना कि किसी माध्यम में एक सरल आवर्त प्रगामी तरंग x-अक्ष की धन दिशा में (बाईं से दाईं ओर को) संचरित हो रही है। चित्र 1.7 (a) में माध्यम के कणों 1, 2, 3, ... की साम्य स्थितियाँ दिखाई गई हैं। तरंग के संचरित होने पर ये सभी कण अपनी-अपनी साम्य स्थिति के इधर-उधर कम्पन करने लगते हैं। चित्र [1.7 (b)] में इन कणों की एक विशेष क्षण पर तात्कालिक स्थितियाँ दिखाई गई हैं। इन स्थितियों को मिलाने पर जो वक्र प्राप्त होता है, वही तरंग को प्रदर्शित करता है।

माना कि हम उस क्षण से समय मापना प्रारम्भ करते हैं, जबकि मूल-बिन्दु (origin) पर स्थित कण 1 अपना कम्पन प्रारम्भ करता है। यदि t सेकण्ड के बाद इस कण का विस्थापन y हो, तब

$$y = a\sin\omega t \qquad \ldots(i)$$

जबकि a, कम्पन का आयाम है तथा $\omega = 2\pi n$, जहाँ n आवृत्ति है।

ज्यों-ज्यों तरंग, कण 1 से आगे अन्य कणों तक पहुँचती जाती है, त्यों-त्यों ये कण कम्पन प्रारम्भ करते जाते हैं। यदि तरंग की चाल v हो तो वह कण 1 से x दूरी पर स्थित कण 6 तक



चित्र 1.7

x/v सेकण्ड में पहुँचेगी। अत: कण 6, कण 1 से x/v सेकण्ड के बाद अपना कम्पन प्रारम्भ करेगा। स्पष्ट है कि किसी समय पर कण 6 का विस्थापन वही होगा जो कि उस समय से x/v सेकण्ड पहले कण 1 का था, अर्थात् समय t पर कण 6 का विस्थापन वही होगा जोकि समय $t - (x/v)$ पर कण 1 का था। कण 1 का समय $t - (x/v)$ पर विस्थापन, समीकरण (i) में t के स्थान पर $t - (x/v)$ रख कर प्राप्त कर सकते है। अत: मूल-बिन्दु (कण 1) से x दूरी पर स्थित कण (6) का समय t पर विस्थापन

$$y = a\sin\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

परन्तु $\omega = 2\pi n$

$\therefore \quad y = a\sin 2\pi n\left(t - \frac{x}{v}\right) \qquad \ldots(ii)$

अब, $n = v/\lambda$ जहाँ λ तरंगदैर्ध्य है। अत:

$$y = a\sin\frac{2\pi v}{\lambda}\left(t - \frac{x}{v}\right)$$

अथवा $\quad y = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x) \qquad \ldots(iii)$

पुन: $v = v\lambda = \lambda/T$, जहाँ T आवर्तकाल है। अत:

$$y = a\sin\frac{2\pi}{\lambda}\left(\frac{\lambda}{T}t - x\right)$$

Scanned with CamScanner

अथवा
$$y = a\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \qquad \text{...(iv)}$$

यह धनात्मक x दिशा में चलने वाली सरल आवर्त तरंग की समीकरण है। यदि तरंग ऋणात्मक x दिशा में [illegible] उपरोक्त समीकरणों में काष्ठ के भीतर ऋण के स्थान पर धन चिह्न होगा। उदाहरण के लिए समी० (iv) का तब निम्न स्वरूप होगा—

$$y = a\sin 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right)$$

यदि धनात्मक x दिशा में चलने वाली सरल आवर्त तरंग तथा किसी अन्य तरंग में कलान्तर ϕ हो तो उस तरंग की समीकरण निम्न होगी—

$$y = a\sin\left\{2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right) \pm \phi\right\}$$

उपरोक्त समीकरण से हम माध्यम के किसी भी कण का किसी भी क्षण पर विस्थापन प्राप्त कर सकते हैं।

प्रश्न 11. मुक्त (Free), प्रणोदित (Forced) तथा अवमन्दित (Damped) दोलन को परिभाषित कीजिए।

उत्तर 1. **मुक्त दोलन** Free oscillation—जब किसी दोलन करने वाले पिण्ड को उसकी साम्य स्थिति से थोड़ा-सा विस्थापित कर छोड़ दिया जाता है तो पिण्ड अपनी साम्य स्थिति के इधर-उधर दोलन करने लगता है। इस अवस्था में पिण्ड अपनी स्वाभाविक आवृत्ति (natural frequency) से दोलन करता है। पिण्ड के दोलनों का आयाम स्थिर रहता है तथा समय के साथ परिवर्तित नहीं होता है। अत: जब कोई पिण्ड बिना किसी बाह्य बल (without external force) के दोलन करता है तथा उसके आयाम में समय के साथ परिवर्तन न हो तो इस प्रकार के दोलन को मुक्त दोलन कहते हैं। उदाहरण के लिए, सरल लोलक की दोलन गति। इस प्रकार के दोलन में पिण्ड की कुल ऊर्जा सदैव नियत रहती है। परन्तु इस प्रकार के दोलन प्राप्त करना प्रायोगिक दृष्टि से सम्भव नहीं होता है।

2. **प्रणोदित दोलन** Forced oscillation—जब कोई पिण्ड अपनी स्वाभाविक आवृत्ति से दोलन न करके किसी बाह्य बल की आवृत्ति से दोलन करता है तो इस प्रकार के दोलन को प्रणोदित दोलन कहते हैं। उदाहरण के लिये, यदि सरल लोलक को हाथ से पकड़ कर दोलन कराया जाये तो यह प्रणोदित दोलन होगा।
3. **अवमन्दित दोलन** Damped Oscillation—यदि दोलन करते हुये किसी पिण्ड का आयाम समय के साथ घटता जाये तो इस प्रकार के दोलनों को अवमन्दित दोलन कहते हैं। दोलन करते हुये पिण्ड को घर्षण बल, श्यान बल इत्यादि विरोधी बलों के विरुद्ध कार्य करना पड़ता है। यही कारण है कि पिण्ड की ऊर्जा समय के साथ घटती जाती है तथा दोलनों का आयाम भी घटता जाता है।

अवमन्दन बल का मान माध्यम (surrounding medium) की प्रकृति पर निर्भर करता है। अवमन्दन बल दोलन करते हुये पिण्ड के वेग के समानुपाती होता है। यदि किसी क्षण पिण्ड का वेग v है तो अवमन्दन बल

$$F_d \propto -v \qquad \text{या} \qquad F_d = -bv$$

जहाँ 'b' अवमन्दन नियतांक है। अवमन्दन नियतांक का मान माध्यम (surrounding medium) तथा पिण्ड के आकार (size) व आकार (shape) पर निर्भर करता है।

प्रश्न 12. अनुनाद से क्या तात्पर्य है? व्याख्या कीजिए। ध्वनि अनुनाद, यान्त्रिक अनुनाद तथा विद्युत चुम्बकीय अनुनाद के एक-एक उदाहरण दीजिए।

उत्तर जब किसी दोलन करने वाली वस्तु पर कोई बाह्य आवर्त बल लगाया जाता है तो वस्तु बल की आवृत्ति से प्रणोदित दोलन करने लगती है। यदि बाह्य बल की आवृत्ति, वस्तु की स्वाभाविक आवृत्ति के बराबर (अथवा इसकी पूर्ण गुणज) हो तो वस्तु के प्रणोदित दोलनों का आयाम बहुत बढ़ जाता है। इस घटना को **अनुनाद** (resonance) कहते हैं। बाह्य बल और वस्तु की आवृत्ति में थोड़ा-सा ही अन्तर होने पर आयाम बहुत कम हो जाता है। स्पष्ट है कि अनुनाद, प्रणोदित दोलनों की ही एक विशेष अवस्था है।

अनुनाद की व्याख्या जब बाह्य बल की आवृत्ति वस्तु की स्वाभाविक आवृत्ति के बराबर होती है तो दोनों समान कला में कम्पन करते हैं। अत: आवर्त बल द्वारा लगाये गये उत्तरोत्तर आवेग वस्तु की ऊर्जा लगातार बढ़ाते जाते हैं और वस्तु का आयाम लगातार बढ़ता जाता है। सिद्धान्त रूप से वस्तु का आयाम अनन्त तक बढ़ता रहना चाहिए, परन्तु व्यवहार में दोलन करती हुई वस्तु में वायु के घर्षण तथा ध्वनि विकिरण के कारण ऊर्जा-क्षय होता रहता है। दोलन आयाम बढ़ने के

साथ-साथ ऊर्जा-क्षय भी बढ़ता जाता है और एक ऐसी स्थिति आ जाती है कि बाह्य बल द्वारा प्रति दोलन दी गई ऊर्जा, वस्तु द्वारा प्रति दोलन में ऊर्जा-क्षय के बराबर हो जाती है। इस स्थिति में आयाम का बढ़ना रुक जाता है।

उदाहरणार्थ

1. ध्वनि अनुनाद

(i) **डोरियों में कम्पन** यदि समान आवृत्ति की दो डोरियाँ एक ही बोर्ड पर तनी हों तथा उनमें से एक को कम्पित किया जाये तो दूसरी स्वयं कम्पन करने लगती है।

(ii) **बर्तन में जल भरना** काँच के एक लम्बे जार के मुँह पर किसी स्वरित्र को बजाकर रखने पर एक धीमी ध्वनि सुनाई देती है। जार में पानी भरना शुरू कर देने पर जार के वायु-स्तम्भ की लम्बाई कम होने लगती है एवं एक निश्चित लम्बाई पर तेज ध्वनि सुनाई पड़ती है। इसका कारण यह है कि एक निश्चित लम्बाई पर वायु स्तम्भ की स्वाभाविक आवृत्ति, स्वरित्र की आवृत्ति के बराबर हो जाती है और अनुनाद के कारण वायु स्तम्भ में बड़े आयाम के कम्पन होते हैं जिससे ध्वनि तेज सुनाई देती है।

(iii) **वातावरण के कम्पन** कान के ऊपर खाली गिलास रखने पर गुनगुन की ध्वनि सुनाई पड़ती है। इसका कारण यह है कि वातावरण में अनेक प्रकार के कम्पन उपस्थित रहते हैं। इन कम्पनों में से जिसकी आवृत्ति गिलास के भीतर वायु की स्वाभाविक आवृत्ति के बराबर होती है वे वायु को अनुनादित करते हैं।

2. यान्त्रिक अनुनाद

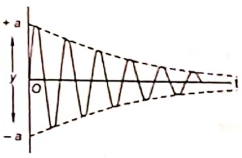
सेना का पुल पार करना जब सेना किसी पुल को पार करती है तब सैनिक कदम मिलाकर नहीं चलते। इसका कारण यह है कि यदि सैनिकों के कदमों की आवृत्ति, पुल की स्वाभाविक आवृत्ति के बराबर हो जायेगी तो पुल में बड़े आयाम के कम्पन होने लगेंगे और पुल के टूटने का खतरा हो जाएगा।

3. विद्युत-चुम्बकीय अनुनाद

रेडियो यह विद्युत अनुनाद का उदाहरण है। विभिन्न प्रसारण केन्द्रों से अलग-अलग आवृत्तियों पर तरंगे प्रसारित की जाती हैं। रेडियो पर एक $L-C$ परिपथ लगा होता है। इसमें लगे संधारित्र की धारिता (C) बदलने पर $L-C$ परिपथ की आवृत्ति $\left(t = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}\right)$ बदल जाती है। जब इस विद्युत परिपथ की आवृत्ति किसी प्रसारण केन्द्र (स्टेशन) की आवृत्ति के बराबर हो जाती है तो विद्युत-परिपथ उन तरंगों को ग्रहण कर लेता है और स्टेशन से प्रोग्राम सुनाई देने लगता है।

प्रश्न 13. आरेख की सहायता से अवमन्दित कम्पन को समझाइए। अवमन्दित कम्पन के दो उदाहरण दीजिए। अवमन्दित कम्पन को प्रणोदित कम्पन में बदलने के लिए क्या करना पड़ता है?

उत्तर **अवमन्दित कम्पन** Damped Vibrations किसी वस्तु के कम्पन करते समय कोई-न-कोई बाह्य अवमन्दक बल (damping force) अवश्य विद्यमान रहता है जिसके कारण कम्पन करती वस्तु की ऊर्जा लगातार घटती रहती है, इसके परिणामस्वरूप वस्तु के कम्पन का आयाम भी निरन्तर घटता जाता है या कुछ समय पश्चात् वस्तु कम्पन करना बन्द कर देती है। यह वह स्थिति है जब वस्तु को दी गयी कुल ऊर्जा समाप्त हो चुकी होती है।



इस प्रकार बाह्य अवमन्दक बलों के विरुद्ध दोलन करने वाली वस्तु की ऊर्जा का निरन्तर कम होते रहना ऊर्जा क्षय कहलाता है। इस ऊर्जा क्षय के कारण ही कम्पित वस्तु के कम्पनों का आयाम धीरे-धीरे घटता जाता है।

चित्र 1.8

ऐसे कम्पन को जिनका आयाम समय के साथ घटता जाता है, अवमन्दित कम्पन (damped vibrations) कहते हैं।

उदाहरणार्थ—(i) सरल लोलक के गोलक के दोलन करते समय लोलक को लटकाने वाले दृढ़ आधार का घर्षण तथा वायु की श्यानता बाह्य अवमन्दक का कार्य करते हैं जिससे इसके दोलनों का आयाम धीरे-धीरे घटता जाता है तथा अन्त में गोलक दोलन करना बन्द कर देता है।

(ii) ऊर्ध्वाधर स्प्रिंग से लटके पिण्ड को थोड़ा नीचे खींचकर छोड़ देने पर पिण्ड के दोलन अवमन्दित दोलन हैं। यहाँ पिण्ड का वायु के साथ घर्षण (श्यानता) अवमन्दक बल का कार्य करता है।

अवमन्दित कम्पन को प्रणोदित कम्पन में बदलने के लिए कम्पित वस्तु पर बाह्य आवर्त बल आरोपित करना होता है।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 14. एक कण सरल आवर्त गति कर रहा है। यदि माध्य स्थिति से x_1 तथा x_2 दूरियों पर कण के वेग क्रमशः u_1 तथा u_2 है, तो सिद्ध कीजिये कि इसका आवर्तकाल $T = 2x\sqrt{\left[\frac{x_2^2 - x_1^2}{u_1^2 - u_2^2}\right]}$ होगा।

हल $u = \omega\sqrt{(a^2 - y^2)}$

जब $y = x_1$ तो $u = u_1$

तथा $y = x_2$ तो $u = u_2$

$\therefore \quad u_1 = \omega\sqrt{a^2 - x_1^2}$

या $u_1^2 = \omega^2(a^2 - x_1^2)$ ... (i)

तथा $u_2 = \omega\sqrt{(a^2 - x_2^2)}$

या $u_2^2 = \omega^2(a^2 - x_2^2)$ ... (ii)

समीकरण (i) में से समीकरण (ii) को घटाने पर,

$$u_1^2 - u_2^2 = \omega^2(x_2^2 - x_1^2)$$

या $$\omega = \sqrt{\left(\frac{u_1^2 - u_2^2}{x_2^2 - x_1^2}\right)}$$

आवर्तकाल $T = \frac{2\pi}{\omega}$

$$= 2\pi\sqrt{\left(\frac{x_2^2 - x_1^2}{u_1^2 - u_2^2}\right)}$$

प्रश्न 15. Q-गुणांक को परिभाषित कीजिए।

उत्तर **Q-गुणांक** Q-Factor—प्रणोदित दोलनों में अवमन्दन बलों के कारण होने वाली ऊर्जा हानि की पूर्ति बाह्य बलों के द्वारा की जाती है। Q-गुणांक किसी अवमन्दित दोलन प्रणाली की दक्षता की माप है। यह एक विमा विहीन राशि होती है।

किसी अवमन्दित दोलन का Q-गुणांक (Q-factor or quality factor) दोलन के दौरान एकत्रित ऊर्जा तथा उसके एक कम्पन में क्षय ऊर्जा के अनुपात का 2π गुना होता है।

$$Q = 2\pi\left[\frac{\text{एकत्रित औसत ऊर्जा}}{\text{एक कम्पन में क्षय ऊर्जा}}\right]$$

मुक्त दोलन में ऊर्जा क्षय का मान शून्य होता है; अतः मुक्त दोलनों के लिये Q का मान अनन्त होता है।

प्रश्न 16. रेडियो तरंगें 3×10^8 मी०/से की चाल से प्रसारित होती हैं। एक रेडियो प्रसारण केन्द्र 1.2 मेगा साइकिल/सेकण्ड पर कार्यक्रम प्रसारित कर रहा है। प्रसारित तरंग की तरंगदैर्घ्य क्या होगी? (2019)

उत्तर ∵ रेडियो तरंगों की चाल $(v) = 3 \times 10^8$ मी/से

आवृति $(n) = 1.2$ मेगा साइकिल/सेकण्ड

$= 1.2 \times 10^6$ साइकिल / सेकण्ड

प्रसारित तरंग की तरंगदैर्घ्य = ?

सूत्र $v = n\lambda$ से,

$$\lambda = \frac{v}{n}$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{1.2 \times 10^6} = \frac{30 \times 10^2}{12} = 2.5 \times 10^2$$

$= 2.5 \times 100 = 250$ मी.

ध्वनियों के लक्षण एवं पराध्वनि

(Characteristics of Sound and Ultrasonics)

खण्ड 'अ' : अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. तारत्व (Pitch) की परिभाषा लिखिए।

उत्तर ध्वनि का वह गुण जिसके कारण पुरुषों की ध्वनि तथा स्त्रियों या बच्चों की ध्वनि के मध्य अन्तर किया जाता है, तारत्व कहलाता है। मोटी ध्वनि को कम तारत्व की ध्वनि तथा बारीक ध्वनि को उच्च तारत्व की ध्वनि कहा जाता है।

प्रश्न 2. प्रबलता (loudness) को परिभाषित कीजिए।

उत्तर ध्वनि का वह गुण जिसके कारण कोई ध्वनि धीमी तथा कोई ध्वनि तेज सुनाई पड़ती है, प्रबलता कहलाती है।

प्रश्न 3. यदि ध्वनि तीव्रता का मान देहली श्रवणता का 100 गुना हो तो ध्वनि की प्रबलता ज्ञात कीजिए।

हल प्रश्नानुसार, $I = 100\, I_0$, जहाँ I_0 देहली श्रवणता है।

अतः प्रबलता $(L) = 10\log_{10}\frac{I}{I_0} = 10\log_{10}\frac{100 I_0}{I_0}$

$$L = 10\log_{10}10^2 = \mathbf{20\ dB}$$

प्रश्न 4. सामान्य व्यक्ति का कान कितनी ध्वनि तीव्रता से कम नहीं सुन सकता है?

उत्तर सामान्य व्यक्ति का कान 10^{-12} वाट/मी^{2} की ध्वनि तीव्रता से कम नहीं सुन सकता है।

प्रश्न 5. ध्वनि की गुणता का एक उदाहरण लिखिए।

उत्तर ऑरकेस्ट्रा में एक-साथ बजने वाले यंत्र।

प्रश्न 6. ध्वनि की तीव्रता (Intensity) की परिभाषा लिखिए।

उत्तर किसी ध्वनि स्रोत से उत्पन्न ध्वनि के संचरण की दिशा के लम्बवत् प्रति एकांक क्षेत्रफल से प्रति सेकण्ड निकलने वाली ध्वनि ऊर्जा को ध्वनि की तीव्रता कहते हैं, इसे I से प्रदर्शित करते हैं।

प्रश्न 7. ध्वनि की तीव्रता का मात्रक एवं विमीय सूत्र लिखिए।

उत्तर ध्वनि की तीव्रता का मात्रक— $\frac{\text{जूल}}{\text{सेकण्ड-मी}^2} = \frac{\text{वाट}}{\text{मी}^2} = \text{w/m}^2$

विमीय सूत्र $\frac{[ML^2T^{-2}]}{[T]\,[L^2]} = [ML^0\,T^{-3}]$

प्रश्न 8. ध्वनि की गुणता की परिभाषा लिखिए।

उत्तर ध्वनि का वह गुण जिसके कारण समान आवृत्ति तथा समान तीव्रता होने पर भी वाद्य यन्त्रों की ध्वनि के मध्य अंतर स्थापित किया जाता है, ध्वनि की गुणता कहलाता है।

प्रश्न 9. प्रतिध्वनि (echo) से आप क्या समझते हैं?

उत्तर वह ध्वनि जो परावर्तित होकर सुनी जाती है, प्रतिध्वनि (echo) कहलाती है।

प्रश्न 10. सैबाइन का नियम लिखिए। (2019)

उत्तर किसी सतह का ध्वनि अवशोषण गुणांक का मान खुली खिड़की के एक वर्ग मीटर क्षेत्रफल तथा सतह का वह क्षेत्रफल, जो एक वर्ग मीटर खुली खिड़की के समान ध्वनि अवशोषण करता है, के अनुपात के बराबर होता है।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 11. अनुरणन (Reverberation) की परिभाषा लिखिए।

उत्तर ध्वनि स्रोत को बन्द कर देने पर जो ध्वनि कुछ देर तक सुनायी देती है, वह ध्वनि ही अनुरणन (reverberation) कहलाता है।

बहुविकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 1. वायु में चल रहीं ध्वनि और प्रकाश तरंगें हैं— (2019)

(अ) अनुदैर्घ्य और अनुप्रस्थ क्रमशः (ब) दोनों अनुदैर्घ्य (स) दोनों अनुप्रस्थ

उत्तर (स) दोनों अनुप्रस्थ

लघु एवं दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. अनुरणन काल (Reverberation Time) को सूत्र सहित समझाइए।

उत्तर **अनुरणन काल** Reverberation Time—माना किसी कक्ष में एक ध्वनि स्रोत से ध्वनि उत्पन्न की जा रही है। कक्ष में ध्वनि की तीव्रता शीघ्र ही अपने उच्चतम स्तर पर पहुँच जाती है। अब यदि ध्वनि स्रोत को किसी क्षण बंद कर दिया जाये तो फिर भी कुछ समय तक ध्वनि सुनायी देती रहती है। अत: **ध्वनि स्रोत बंद कर देने पर जितने समय तक ध्वनि सुनाई देती रहती है, वह समय उस कक्ष का अनुरणन काल कहलाता है।**

सैबाइन में अपने प्रयोगों द्वारा सिद्ध किया कि किसी कक्ष का अनुरणन काल कक्ष के आयतन तथा कक्ष में स्थित वस्तुओं द्वारा ध्वनि के अवशोषण पर निर्भर करता है। अत: सैबाइन के अनुसार किसी कक्ष का अनुरणन काल

$$T = \frac{0.165V}{A} \text{ सेकण्ड}$$

जहाँ, V = कक्ष का आयतन (मीटर^3 में) तथा

A = कक्ष का कुल ध्वनि अवशोषण (ओपन विन्डो यूनिट में) है।

जबकि $A = \sum as$, जहाँ 'a' किसी सतह का अवशोषण गुणांक तथा 's' सतह का क्षेत्रफल (मीटर^2) है।

प्रश्न 2. प्रतिध्वनि के लिए प्रतिबन्ध को स्पष्ट कीजिए।

उत्तर माना श्रोता तथा परावर्तन तल के मध्य d दूरी है। श्रोता एक तीव्र ध्वनि उत्पन्न करता है तो ध्वनि श्रोता से दीवार तथा दीवार से पुन: श्रोता तक पहुँचने में $2d$ दूरी तय करती है। यदि ध्वनि की चाल v हो तो कुल लगा समय

$$t = \frac{\text{कुल तय दूरी}}{\text{ध्वनि की चाल}} = \frac{2d}{v}$$

अब, परावर्तन तल की दूरी $d = \frac{Vt}{2}$

यदि $t = 0.1$ सेकण्ड (मूल ध्वनि तथा प्रतिध्वनि के मध्य समयान्तराल) तथा ध्वनि की चाल (v) = 340 मी/से

तब, $d = \frac{340 \times 0.1}{2} = 17$ मीटर

अत: प्रतिध्वनि सुनने के लिए श्रोता तथा परावर्तन तल के मध्य कम-से-कम 17 मीटर की दूरी होनी चाहिए।

प्रश्न 3. कक्ष में ध्वनि ऊर्जा की वृद्धि, क्षय तथा अनुरणन काल के लिए सैबाइन सूत्र की व्युत्पत्ति कीजिए।

उत्तर **सैबाइन सूत्र**

माना PQ = समतल दीवार (plane wall)

ds = दीवार का अत्यन्त छोटा क्षेत्रफल (small elementary area of wall)

O = ds का मध्य बिन्दु

ON = ds पर अभिलम्ब (normal on ds)

सर्वप्रथम O को केन्द्र मानते हुये अभिलम्ब के तल में r तथा $(r + dr)$ त्रिज्या के दो वृत्त खींच लिये जाते हैं। माना त्रिज्या r अभिलम्ब के साथ θ तथा त्रिज्या $(r + dr)$ अभिलम्ब के साथ $(\theta + d\theta)$ कोण बनाती है। अत: दोनों वृत्तों के मध्य स्थित शेड (shade) किये भाग $ABCD$ की त्रिज्य लम्बाई (radial length, DC) dr है तथा वृत्तीय लम्बाई (circular length or arc length, BC) $rd\theta$ है।

अब छायांकित (shaded) भाग $ABCD$ का क्षेत्रफल = लम्बाई × चौड़ाई

$$= dr \times rd\theta = dr \cdot rd\theta$$

समकोण त्रिभुज OAE में, $AE = r \sin\theta$

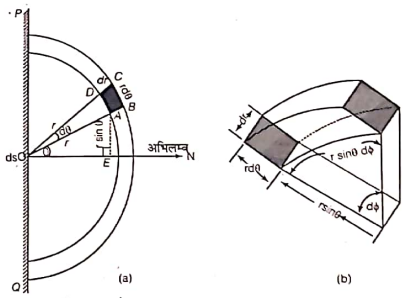
यदि छायांकित भाग $ABCD$ को अभिलम्ब ON के परित: अत्यंत छोटे कोण $d\phi$ में घुमाया जाये तो चित्र 2.1 (a) से स्पष्ट है कि वृत्तीय पथ की त्रिज्या $r \sin\theta$ के बराबर होगी। अत: छायांकित भाग की वृत्तीय लम्बाई $r \sin\theta \times d\phi$ के बराबर है। चित्र 2.1 (b) से छायांकित भाग की वृत्तीय लम्बाई का सूक्ष्म आयतन (volume)

dV = क्षेत्रफल × लम्बाई

या $dV = (dr \cdot rd\theta) \times (r \sin\theta \cdot d\phi)$

या $dV = r^2 \sin\theta \, d\theta \cdot dr \cdot d\phi$

माना किसी क्षण कक्ष में ध्वनि ऊर्जा का घनत्व (sound energy density) E है तो dV आयतन में स्थित ध्वनि ऊर्जा की मात्रा



चित्र 2.1 सैबाइन का सूत्र (Sobine's Formula)

$$= E \cdot r^2 \sin\theta \, d\theta \cdot dr \cdot d\phi$$

यह ध्वनि ऊर्जा प्रत्येक दिशा में संचरित होती है।

चूँकि घन कोण (solid angle) का कुल मान 4π स्टेरेडियन होता है। अत: सूक्ष्म आयतन dV से प्रति एकांक घन कोण संचरित ध्वनि ऊर्जा का मान

$$= \frac{E \cdot r^2 \sin\theta \cdot d\theta \cdot dr \cdot d\phi}{4\pi}$$

चूँकि ds क्षेत्रफल द्वारा dV आयतन पर बनाया गया घन कोण $\frac{ds \cos\theta}{r^2}$ होता है। इसलिए dV आयतन में स्थित ध्वनि ऊर्जा का वह भाग जो ds क्षेत्रफल की ओर संचरित होता है—

$$= \left(\frac{E \cdot r^2 \sin\theta \cdot d\theta \cdot dr \cdot d\phi}{4\pi}\right) \times \left(\frac{ds \cos\theta}{r^2}\right)$$

$$= \frac{Eds}{4\pi} \sin\theta \cos\theta \, d\theta \cdot dr \cdot d\phi$$

अब सभी दिशाओं से ds क्षेत्रफल पर एकांक समय में आपतित ध्वनि ऊर्जा का मान ज्ञात किया जाता है। इसके लिए समीकरण का निश्चित समाकलन करने पर,

θ का समाकलन 0 से $\pi/2$ के मध्य,

ϕ का समाकलन 0 से 2π के मध्य तथा

r का समाकलन 0 से v के मध्य, जहाँ v ध्वनि की चाल (ध्वनि द्वारा 1 सेकण्ड में चली गयी दूरी) है।

अत: ds क्षेत्रफल पर सभी दिशाओं से एकांक समय में आपतित ध्वनि ऊर्जा

Scanned with CamScanner

$$= \frac{Eds}{4\pi} \int_0^{\pi/2} \sin\theta \cos\theta \, d\theta \cdot \int_0^{2\pi} d\phi \cdot \int_0^{v} dr$$

$$= \frac{Eds}{4\pi} \int_0^{\pi/2} \frac{2\sin\theta\cos\theta d\theta}{2} \cdot \int_0^{2\pi} d\phi \cdot \int_0^{v} dr$$

$$= \frac{Eds}{4\pi} \int_0^{\pi/2} \sin 2\theta \, d\theta \cdot \int_0^{2\pi} d\phi \cdot \int_0^{v} dr$$

$$= \frac{Eds}{8\pi} \times 1 \times 2\pi \times v = \frac{Evds}{4}$$

यदि PQ दीवार का अवशोषण गुणांक 'a' हो तो एक सेकण्ड में ds क्षेत्रफल द्वारा ध्वनि ऊर्जा का अवशोषण

$$= \frac{Ev(a \times ds)}{4}$$

यदि कक्ष का कुल अवशोषण $\Sigma a \times ds = A$ हो तो, कक्ष में ध्वनि अवशोषण की दर $= \frac{EvA}{4}$

माना कक्ष का सम्पूर्ण आयतन V है। यदि ध्वनि स्रोत आरंभ होने के बाद किसी क्षण कक्ष का ऊर्जा घनत्व E हो तो कक्ष में कुल ध्वनि ऊर्जा का मान VE के बराबर होगा। इसलिए कक्ष में ध्वनि ऊर्जा की वृद्धि की दर $V\frac{dE}{dt}$ होगी। जबकि कक्ष में ध्वनि अवशोषण की दर $\frac{EvA}{4}$ है। यदि ध्वनि स्रोत की शक्ति (स्रोत द्वारा प्रति सेकण्ड उत्सर्जित ध्वनि ऊर्जा) P हो तो ऊर्जा संरक्षण के नियम से,

$$V\frac{dE}{dt} + \frac{EvA}{4} = P \quad \text{या} \quad \frac{dE}{dt} + \frac{vA}{4V}E = \frac{P}{V}$$

या $$\frac{dE}{dt} + \frac{vA}{4V}E = \frac{P}{V} \times \frac{vA}{4} \times \frac{4}{vA}$$

या $$\frac{dE}{dt} + \left(\frac{vA}{4V}\right)E = \frac{4P}{vA}\left(\frac{vA}{4V}\right)$$

माना $\frac{vA}{4V} = b$

अत: $$\frac{dE}{dt} + bE = \frac{4P}{vA}b$$

दोनों पक्षों में e^{bt} से गुणा करने पर

$$\left(\frac{dE}{dt} + bE\right)e^{bt} = \frac{4Pb}{vA} \times e^{bt}$$

या $$\frac{d}{dt}(Ee^{bt}) = \frac{4Pb}{vA}e^{bt} \quad \text{या} \quad d(E\,e^{bt}) = \frac{4\,Pb}{vA}e^{bt}dt$$

दोनों पक्षों का समाकलन करने पर $$\int d(Ee^{bt}) = \frac{4\,Pb}{vA}\int e^{bt}dt$$

$$E\,e^{bt} = \frac{4\,P}{vA}e^{bt} + K \qquad \ldots(i)$$

यहाँ K समाकलन स्थिरांक है जिसका मान आरंभिक स्थितियों पर निर्भर करता है।

1. **कक्ष में ध्वनि ऊर्जा की वृद्धि के लिए**—माना $t = 0$ पर ध्वनि स्रोत आरंभ किया जाता है। अत: समीकरण (i) में $t = 0$ पर $E = 0$ रखने पर

$$(0) \times e^{b(0)} = \frac{4P}{vA}e^{b(0)} + K$$

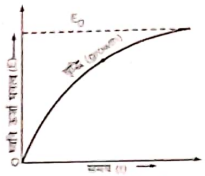
या $$K = -\frac{4P}{vA}$$

K का यह मान समीकरण (i) में रखने पर

$$E\,e^{bt} = \frac{4P}{vA}e^{bt} - \frac{4P}{vA}$$

या $$E\,e^{bt} = \frac{4P}{vA}(e^{bt} - 1)$$

या $$E = \frac{4P}{vA}(1 - e^{-bt})$$



चित्र 2.2 ध्वनि की वृद्धि (Growth of Sound)

जहाँ, $\frac{4P}{vA} = E_0$, कक्ष की ध्वनि ऊर्जा का घनत्व का अधिकतम मान है। अत: ध्वनि स्रोत आरंभ करने के 't' सेकण्ड बाद कक्ष में ध्वनि ऊर्जा घनत्व (E) का मान

$$E = E_0(1 - e^{-bt})$$

उपरोक्त समीकरण के अनुसार ध्वनि ऊर्जा घनत्व की वृद्धि चित्र 2.2 में दिखायी गयी है।

2. **कक्ष में ध्वनि ऊर्जा के क्षय के लिए**—माना कक्ष की ध्वनि ऊर्जा घनत्व अपने अधिकतम मान E_0 पर पहुँच चुका है। अब यदि किसी क्षण ध्वनि स्रोत बंद कर दिया जाता है तो समय की गणना ध्वनि स्रोत को बंद करने के क्षण से की जाती है।

$$E\,e^{bt} = \frac{4P}{vA}e^{bt} + K$$

अत: $t = 0$ पर ध्वनि स्रोत की शक्ति $P = 0$ तथा कक्ष का ऊर्जा घनत्व $E = E_0$ है।

समीकरण (i) में उपरोक्त मानों को रखने पर,

$$E_0 \times e^{b(0)} = \frac{4(0)}{vA}e^{b(0)} + K$$

$$E_0 = 0 + K \quad \text{या} \quad K = E_0$$

K का मान समीकरण (i) में पुन: रखने पर

$$E\,e^{bt} = \frac{4(0)}{vA}e^{bt} + E_0 = E_0$$

या $$E = E_0e^{-bt}$$

उपरोक्त समीकरण द्वारा स्रोत बंद करने के 't' सेकण्ड पश्चात् कक्ष मे ऊर्जा घनत्व का शेष मान प्राप्त होता है। ऊर्जा घनत्व का क्षय चित्र 2.3 के माध्यम से दर्शाया गया है।

3. **अनुरणन काल**—सैबाइन के अनुसार मानक अनुरणन काल वह समय है जिसमे ध्वनि स्रोत बंद कर देने के पश्चात् कक्ष मे ध्वनि ऊर्जा का घनत्व अपने अधिकतम मान E_0 का $\frac{1}{10^6}$ गुना रह जाता है, चित्र 2.3। अत: ध्वनि ऊर्जा के क्षय के समीकरण

$$E = E_0e^{-bt} \text{ मे}$$

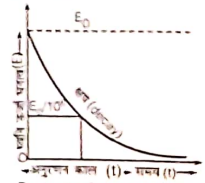
$E = \frac{E_0}{10^6}$ तथा $t = T$ (अनुरणन काल) रखने पर,

$$\frac{E_0}{10^6} = E_0 \times e^{-bt}$$

$$10^{-6} = e^{-bt}$$

या $$e^{b-t} = 10^{-6}$$, दोनों पक्षो का लघुगणक लेने पर

$$-bT\log_e e = -6\log_e 10$$



चित्र 2.3 ध्वनि का क्षय (Decay of Sound)

Scanned with CamScanner

या $$T = \frac{6 \times 2.30258}{b} = \frac{13.816}{\upsilon A/4V}$$

या $$T = \frac{13.816 \times 4 \times V}{\upsilon \times A}$$

ध्वनि की चाल (υ) का मान 334 मी/से रखने पर

$$T = \frac{13.816 \times 4 \times V}{334 \times A}$$

अत: अनुरणन काल $T = \frac{0.165V}{A}$

प्रश्न 4. अवशोषण गुणांक (coefficient of absorption) को परिभाषित कीजिए तथा अनुरणन काल की निर्भरता को स्पष्ट कीजिए।

उत्तर **अवशोषण गुणांक**—किसी सतह का ध्वनि अवशोषण गुणांक खुली खिड़की के एक वर्ग मीटर क्षेत्रफल तथा सतह का वह क्षेत्रफल जो एक वर्ग मीटर खुली खिड़की के समान ध्वनि अवशोषण करता है, के अनुपात के बराबर होता है।

$$\text{अवशोषण } (a) = \frac{1}{x}$$

अनुरणन काल की निर्भरता Depèndence of Reverberation Time—किसी कक्ष का अनुरणन काल निम्न बिन्दुओं पर निर्भर करता है—

1. **कठोर सतह** (hard surface)—किसी कठोर सतह की परावर्तन क्षमता अधिक होती है, जैसे दीवारें, फर्श, छत, दरवाजे इत्यादि। इसलिये ध्वनि तीव्रता का स्तर गिरने में अधिक समय लगता है। अत: अनुरणन काल का मान अधिक होता है।
2. **तीव्रता** (intensity)—अनुरणन काल ध्वनि की तीव्रता पर भी निर्भर करता है। ध्वनि की तीव्रता जितनी अधिक होगी तो ध्वनि स्रोत बन्द कर देने पर ध्वनि तीव्रता का स्तर अश्रवणीय (inaudible) होने में उतना ही अधिक समय लगता है। इसलिये अनुरणन काल का मान अधिक होता है।
3. **अवशोषण गुणांक** (coefficient of absorption)—अनुरणन काल का मान सतहों की अवशोषण क्षमता पर भी निर्भर करता है। अत: कक्ष के भीतर रखी वस्तुओं का अवशोषण गुणांक जितना अधिक होगा तो अनुरणन काल का मान उतना ही कम होता है।
4. **कक्ष का आयतन** (volume of room)—किसी कक्ष का अनुरणन काल कक्ष के आकार (size) से प्रभावित होता है कक्ष का आयतन जितना अधिक होगा तो अनुरणन काल का मान भी उतना ही अधिक होता है।
5. **आवृत्ति** (frequency)—किसी कक्ष का अनुरणन काल कक्ष के आकार (size) से प्रभावित होता है कक्ष का आयतन जितना अधिक होगा तो अनुरणन काल का मान भी उतना ही अधिक होता है।

प्रश्न 5. अनुरणन काल को नियंत्रण कैसे किया जाता है? स्पष्ट कीजिए।

उत्तर **अनुरणन काल का नियंत्रण** Control of Reverberation Time—किसी कक्ष को डिजाइन (design) करते समय अनुरणन काल का मान सदैव नियन्त्रित रखने का प्रयास करना चाहिये। अनुरणन काल का मान बहुत अधिक नहीं होना चाहिये। अन्यथा दो ध्वनियों में भेद कर पाना कठिन हो जाता है। इसी प्रकार अनुरणन काल का मान बहुत कम भी नहीं होना चाहिये। अन्यथा ध्वनि के मृत (dead) होने का आभास होगा जैसा कि खुले मैदान पर बोलने पर होता है। सैबाइन के अनुरणन काल के सूत्र $\left(T = \frac{0.165V}{A}\right)$ से स्पष्ट है कि किसी कक्ष का आयतन (V) तथा कक्ष का कुल अवशोषण (A) अनुरणन काल को सीधे तौर पर प्रभावित करते हैं। अनुरणन काल का मान कक्ष का आयतन घटने पर घटता है तथा आयतन बढ़ने पर बढ़ता है। इसके विपरीत कक्ष का कुल अवशोषण बढ़ने पर अनुरणन काल घटता है। **कक्ष का कुल अवशोषण बढ़ाने के लिये परदे** (curtains), **कुशन** (cushions) **तथा कारपेट** (carpet) **इत्यादि का प्रयोग प्रमुखता से किया जाता है।** अत: स्पष्ट है कि किसी कक्ष के अनुरणन काल का नियंत्रण कक्ष के आयतन के अनुरूप कुल अवशोषण (A) को घटा-बढ़ा कर किया जा सकता है।

सामान्यत: किसी सेमिनार कक्ष (seminar room), जहाँ भाषण इत्यादि दिये जाते हैं, के लिये 0.5 सेकण्ड का अनुरणन काल उत्तम माना जाता है। हालांकि किसी ऑडिटोरियम (auditorium), जहाँ संगीत इत्यादि के कार्यक्रम होते हैं, के लिये अनुरणन काल का मान 1 से 2 सेकण्ड के मध्य रखा जाता है।

प्रश्न 6. भवनों की ध्वनिकता पर प्रकाश डालिए।

उत्तर किसी भवन, हॉल या ऑडिटोरियम की सफलता इस तथ्य पर निर्भर करती है कि उसमें दिया गया भाषण, गाया गया गाना अथवा संगीत कितनी अच्छी तरह से श्रोताओं को सुनाई पड़ता है। इसलिये भवनों की ध्वनिकता (acoustic) का डिजाइन करते समय ध्वनि के अवशोषण, परावर्तन तथा व्यतिकरण का विशेष ध्यान रखा जाता है। इसके अतिरिक्त यह भी ध्यान रखा जाता है कि भाषण या संगीत की दो क्रमागत ध्वनियाँ एक-दूसरे पर अध्यारोपित न होने पायें। साथ ही भाषण या संगीत की गुणता अपरिवर्तित होनी चाहिए। श्रोता द्वारा सुनी जाने वाली ध्वनि की प्रबलता (loudness) आवश्यकता के अनुरूप होनी चाहिए। यह भी ध्यान रखा जाना चाहिए कि ध्वनि की प्रतिध्वनि न उत्पन्न होने पाये और बाहर का शोर (कोलाहल) कक्ष में प्रवेश न कर पाये।

उपरोक्त आवश्यकताओं की पूर्ति हेतु निम्न बिन्दुओं पर ध्यान देना आवश्यक है—

1. भवन में ध्वनि का अनुरणन काल न तो बहुत अधिक ओर न ही बहुत कम हो।
2. प्रत्येक श्रोता को स्पष्ट सुनाई पड़े इसके लिये ध्वनि की प्रबलता तथा तीव्रता अधिक होनी चाहिए।
3. वक्राकार परावर्तक सतहों (curved reflector surfaces) का प्रयोग करके कक्ष में बैठे सभी श्रोताओं को अच्छी ध्वनि भेजी जा सकती है।
4. यदि किसी ध्वनि स्रोत के सामने सीढ़ी बनी हो तो विभिन्न सीढ़ियों से क्रमानुसार प्रतिध्वनियाँ सुनाई पड़ेंगी। इन क्रमानुसार प्रतिध्वनियों को **एकीलॉन प्रभाव** (echelon effect) कहते हैं। एकीलॉन प्रभाव कम करने के लिये सीढ़ी पर मोटा कपड़ा (carpet) डाल दिया जाता है।
5. वायु जनित (air borne) तथा भवन संरचना जनित (building structure borne) कोलाहल (extraneous noise) को रोककर भवन की ध्वनिकता बढ़ाई जा सकती है।
6. भवनो की अनुनाद आवृत्ति सामान्यत: 20 Hz से भी कम होती है, अत: इसका कोई अप्रिय प्रभाव नहीं पड़ता है।

प्रश्न 7. प्रतिध्वनि तथा अनुरणन में अन्तर स्पष्ट कीजिए।

उत्तर **प्रतिध्वनि तथा अनुरणन में अन्तर**

क्र०सं०	प्रतिध्वनि	अनुरणन
1.	किसी सतह से टकराकर परावर्तन के फलस्वरूप एक बार सुनायी देती है।	ध्वनि स्त्रोत बन्द कर देने पर भी अनगिनत परावर्तनों के फलस्वरूप ध्वनि कुछ देर तक सुनायी देती रहती है।
2.	खुले स्थान पर जहाँ सामने कोई रूकावट हो वहाँ अनुभव होता है।	किसी बन्द कक्ष/हॉल/थियेटर में अनुभव किया जा सकता है।
3.	ध्वनि को जाने तथा टकराकर वापस आने में लगा समय प्रतिध्वनि काल कहलाता है। $t = \frac{2d}{\upsilon}$	ध्वनि स्रोत बन्द कर देने के पश्चात् ध्वनि तीव्रता का स्तर $1/10^6$ गुना कम होने का समय अनुरणन काल कहलाता है। $T = \frac{0.165\,V}{A}$
4.	प्रतिध्वनि काल का मान न्यूनतम 0.1 सेकण्ड होना चाहिये।	अनुरणन काल का मान सामान्यत: 1 से 2 सेकण्ड के मध्य रखा जाता है।
5.	प्रतिध्वनि काल को नियन्त्रित नहीं किया जा सकता है।	कक्ष में परदे/कुशल इत्यादि लगाकर अनुरणन काल को नियंत्रित किया जा सकता है।

प्रश्न 8. पराश्रव्य तरंगों से आप क्या समझते है? पराश्रव्य तरंगों के लाभ एवं उनके उपयोग लिखिए।

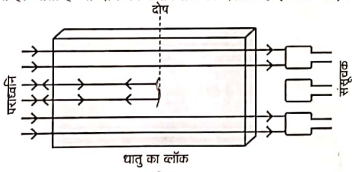
उत्तर **पराश्रव्य तरंगें** Ultrasonic Waves—उन ध्वनि तरंगों को जिनकी आवृत्ति 20,000 हर्ट्ज से अधिक होती है, पराश्रव्य तरंगें कहते हैं। लगभग 20,000 हर्ट्ज से अधिक आवृत्ति की तरंगे होने के कारण ये तरंगे मनुष्य को सुनाई नहीं देती हैं। चमगादड़ 1,00,000 हर्ट्ज तक की तरंगों को सुन लेता है। इन पराश्रव्य तरंगों को गाल्टन की सीटी द्वारा तथा दाब-वैद्युत प्रभाव (Piezo-electric effect) की विधि द्वारा क्वार्ट्ज के क्रिस्टल के कम्पनों से उत्पन्न करते हैं। उच्च

Scanned with CamScanner

आवृत्ति की तरंगें होने के कारण ये तरंगें अपने साथ बहुत अधिक ऊर्जा ले जाती हैं तथा कम तरंगदैर्घ्य होने के कारण ये माध्यम में बहुत अधिक दूरी तक चली जाती हैं। इन गुणों के कारण आजकल इन तरंगों का प्रयोग कई कार्यों में किया जाता है।

पराश्रव्य तरंगों के लाभ व उनके उपयोग

1. **संकेत (Signal) भेजना**—पराश्रव्य तरंगो की आवृत्ति बहुत अधिक तथा तरंगदैर्घ्य कम होती है। इस कारण से इनको महीन किरण पुँज के रूप मे भेजा जा सकता है। इनके इस गुण के कारण किसी विशेष दिशा में संकेत भेजे जा सकते हैं।
2. **वस्तुओं को साफ करने में**—पराध्वनि प्राय: उन भागो को साफ करने में उपयोग की जाती हैं जिन तक पहुँचना कठिन होता है; जैसे—सर्पिलाकार नली, विषम आकार के पुर्जे, इलेक्ट्रॉनिक अवयव आदि। जिन वस्तुओं को साफ करना होता है उन्हें साफ करने वाले मार्जन विलयन में रखते हैं और इस विलयन में पराध्वनि तरंगें भेजी जाती हैं। उच्च आवृत्ति के कारण, धूल, चिकनाई तथा गंदगी के कण अलग होकर नीचे गिर जाते हैं। इस प्रकार वस्तु पूर्णतया साफ हो जाती है।
3. **धातु के ब्लॉकों में दोषों का पता लगाने में**—पराध्वनि तरंगों का उपयोग धातु के ब्लॉकों (पिंडों) में दरारों तथा अन्य दोषों का पता लगाने के लिए किया जा सकता है। धात्विक घटकों को प्राय: बड़े-बड़े भवनों, पुलों, मशीनों तथा वैज्ञानिक उपकरणो को बनाने के लिए उपयोग में लाया जाता है। धातु के ब्लॉकों में विद्यमान दरार या छिद्र जो बाहर से दिखाई नहीं देते, भवन या पुल की संरचना की मजबूती को कम कर देते हैं। पराध्वनि तरंगें धातु के ब्लॉक से गुजारी (प्रेषित की) जाती हैं और प्रेषित तरंगों का पता लगाने के लिए संसूचकों का उपयोग किया जाता है। यदि थोड़ा-सा भी दोष होता है, तो पराध्वनि तरंगें परावर्तित हो जाती हैं जो दोष की उपस्थिति को दर्शाती है (चित्र 2.4)।
4. **समुद्र की गहराई ज्ञात करना व छिपे पदार्थों का पता लगाना**—पराश्रव्य तरंगों को समुद्र के ऊपरी तल से नीचे की ओर भेजा जाता है तथा वे समुद्र की तली से परावर्तित होकर वापस लौट आती हैं। इन तरंगों के नीचे जाने और वापस लौटने का समय नाप लिया जाता है। जल में तरंगों का वेग ज्ञात होने पर समुद्र की गहराई ज्ञात की जा सकती है। इन तरंगों से समुद्र में डूबी हुई चट्टानों, मछलियों तथा पनडुब्बियों की स्थितियाँ ज्ञात की जा सकती हैं। इन तरंगों के द्वारा उड़ते हुए हवाई जहाज की पृथ्वी से ऊँचाई नापी जा सकती है।



चित्र 2.4

5. **उद्योगों में**—पराश्रव्य तरंगों का उपयोग वायुयानों तथा घड़ी के पुर्जों की सफाई में, चिमनियों की कालिख हटाने में, रेशमी तथा ऊनी कपड़ों की सफाई में भी होता है। इनकी सहायता से वस्तुओं में छिद्र भी किया जा सकता है।
6. **कृषि में**—कुछ ऐसे छोटे-छोटे पौधे हैं जो पराश्रव्य तरंगों के डालने पर तेजी से बढ़ते हैं। अत: इन पौधों की उचित वृद्धि तथा विकास में इन तरंगों का उपयोग किया जा सकता है।
7. **जीव तथा चिकित्सा विज्ञान में**—इन तरंगों द्वारा बैक्टीरिया नष्ट हो जाते हैं। अत: इनका उपयोग पेय पदार्थों; जैसे—दूध, जल आदि में उपस्थित हानिकारक जीवाणुओं को नष्ट करने में किया जा सकता है। गठिया रोग के उपचार तथा मस्तिष्क में ट्यूमर का पता लगाने में पराश्रव्य तरंगें उपयोग में लायी जाती हैं।
पराध्वनि तरंगों को हृदय के विभिन्न भागों से परावर्तित कराकर हृदय का प्रतिबिंब बनाया जाता है, इस तकनीक को "**इकोकार्डियोग्राफी**" (ECG) कहा जाता है। पराध्वनि का उपयोग गुर्दे की छोटी पथरी को बारीक कणों में तोड़ने के लिए भी किया जा सकता है। ये कण बाद में मूत्र के साथ बाहर निकल जाते हैं।
8. **अन्य उपयोग**—कुछ पशु (विशेष रूप से कुत्ते) तथा पक्षी (चमगादड़) पराश्रव्य तरंगों को सुन लेते हैं। इस प्रकार की सीटी बनायी गयी है जिसे बजाने पर पराश्रव्य तरंगें निकलती हैं। अत: इस सीटी को बजाने पर कुत्ता आ जाएगा परन्तु आस-पास कोई आदमी उसे नहीं सुन सकेगा। इस प्रकार की सीटी बजाकर पेड़ों पर से चिड़ियों को भी उड़ाया जाता है। चमगादड़ स्वयं 50,000 साइकिल प्रति से० से अधिक आवृत्ति की तरंगें उत्पन्न करता है। जब चमगादड़ उड़ते हैं तो ये तरंगें रास्ते में आने वाली वस्तुओं से टकराकर वापस चमगादड़ के पास पहुँचकर उसे रास्ते की वस्तुओं का आभास करा देती हैं जिससे वह इन वस्तुओं से टकराये बिना उड़ता रहता है।

प्रश्न 9. प्रतिध्वनि का प्रयोग लिखिए।

उत्तर प्रतिध्वनि के प्रयोग निम्नलिखित हैं—

1. **लेसर** Laser लेसर का तात्पर्य Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation होता है। चूँकि लेसर प्रकाश पुँज है, अत: इसकी गति c (3×10^8 m/s) होती है। इसके द्वारा चन्द्रमा की सटीक दूरी ज्ञात की जाती है। यदि लेसर के आने व जाने का समय 't' है तो दूरी
$$d = \frac{c \times t}{2}$$
2. **राडार** Radar राडार का तात्पर्य Radio Detection and Ranging होता है। चूँकि राडार में रेडियो तरंग का प्रयोग होता है जोकि एक विद्युत चुम्बकीय तरंग है इसलिये यह भी प्रकाश की गति से संचरित होती है। इसके द्वारा विमानों की स्थिति व गति ज्ञात की जाती है। यदि रेडियो तरंग के भेजे जाने व विमान से टकराकर वापस आने के मध्य 't' समय अंतराल है तो विमान की दूरी
$$d = \frac{c \times t}{2}$$
3. **सोनार** Sonar सोनार का तात्पर्य Sound Navigation and Ranging होता है। इसके अन्तर्गत उच्च आवृत्ति की ध्वनि तरंग का प्रयोग किया जाता है। जिसे पराश्रव्य तरंग (ultrasonic wave) कहते हैं। इसके द्वारा समुद्र के भीतर स्थित पनडुब्बी (submarine) या समुद्री चट्टान इत्यादि का पता लगाया जाता है। यदि जल के भीतर ध्वनि की चाल 'v' तथा ध्वनि के भेजे जाने व वापस आने के मध्य 't' समय है तो किसी वस्तु की दूरी
$$d = \frac{v \times t}{2}$$

प्रश्न 10. एक ध्वनि की तीव्रता 10^5 गुना बढ़ा दी जाती है। उसका ध्वनि-स्तर कितने डेसिबल बढ़ जायेगा?

हल माना आरम्भिक ध्वनि प्रबलता L_1 है तब $L_1 = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$ तथा ध्वनि की तीव्रता 10^5 गुना बढ़ाने पर ध्वनि की प्रबलता यदि L_2 है तो

$$L_2 = 10 \log_{10} \frac{I \times 10^5}{I_0}$$

$$\therefore \quad \text{प्रबलता में वृद्धि} = L_2 - L_1 = 10 \log_{10} \frac{I \times 10^5}{I_0} - 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

$$= 10 \log_{10} \frac{\frac{I \times 10^5}{I_0}}{\frac{I}{I_0}} = 10 [\log_{10} 10^5] = \mathbf{50\ dB}$$

प्रश्न 11. 100 dB ध्वनि स्तर की ध्वनि तीव्रता ज्ञात कीजिए।

हल : $\because L = 100$ dB

अत:
$$L = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

$$100 = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

$$\frac{I}{I_0} = 1 \times 10^{10}$$

अत:
$$I = I_0 \times 10^{10} = 10^{-12} \times 10^{10} = \mathbf{0.01\ वाट/मी^2}$$

प्रश्न 12. एक व्यक्ति किसी मीनार से 167 m दूर खड़ा है। यदि ध्वनि की चाल 334 m/s हो तो व्यक्ति गोली चलाने के कितने समय बाद प्रतिध्वनि सुनेगा?

हल : व्यक्ति तथा मीनार के बीच की दूरी (d) = 167 m

ध्वनि की चाल (v) = 334 m/s

Scanned with CamScanner

∵ व्यक्ति गोली चलाने के t सेकण्ड पश्चात् प्रतिध्वनि सुनता है, तब

$$v = \frac{2d}{t}$$

$$\Rightarrow \quad t = \frac{2d}{v} = \frac{2 \times 167}{334} = \mathbf{1.0 \text{ सेकण्ड}}$$

प्रश्न 13. एक व्यक्ति किसी घाटी (Valley) में खड़ा है। यदि गोली चलाने के 2.5 सेकण्ड के पश्चात् व्यक्ति को गोली की प्रतिध्वनि सुनाई पड़ती है तो पहाड़ की दूरी ज्ञात कीजिए। ध्वनि की चाल 335 m/s है।

हल : ∵ गोली की प्रतिध्वनि सुनने में लगा समय = 2.55 सेकण्ड

ध्वनि की चाल = 335 m/s

माना व्यक्ति एवं पहाड़ के बीच की दूरी d है, तब

$$d = \frac{vt}{2} \text{ से,}$$

∴ व्यक्ति से पहाड़ की दूरी $\quad d = \frac{v \times t}{2} = \frac{335 \times 2 \cdot 5}{2} = \mathbf{418.75 \text{ m}}$

प्रश्न 14. दो व्यक्ति किसी ऊँची दीवार के सम्मुख खड़े हैं एवं दीवार तथा व्यक्तियों के मध्य 175 m की दूरी है। एक व्यक्ति तीव्र ध्वनि उत्पन्न करता है। यदि ध्वनि उत्पन्न करने वाला व्यक्ति दीवार की ओर 5 m/s की गति से दौड़ लगाए तो ज्ञात कीजिए दोनों व्यक्तियों को ध्वनि की प्रतिध्वनि कितने समय अंतराल पश्चात् सुनायी देगी। ध्वनि का वेग 340 m/s है।

हल : ∵ व्यक्ति तथा दीवार के बीच की दूरी $(d) = 175$ m

ध्वनि की चाल $(v) = 340$ m/s

∵ दूसरे व्यक्ति को अपने स्थान पर प्रतिध्वनि सुनने में लगा समय,

सूत्र $\quad d = \frac{vt}{2}$ से,

$$t = \frac{2d}{v} = \frac{2 \times 175}{340} = 1.035$$

तीव्र ध्वनि उत्पन्न करने वाला व्यक्ति 5 m/s के वेग से दीवार की तरफ दौड़ता है, इसलिए t समय में व्यक्ति द्वारा चली दूरी $5t$.

अब ध्वनि द्वारा चली कुल दूरी $= 175 + (175 - 5t)$

$= 175 + 175 - 5t$

$(d) = 350 - 5t$

अतः $v = \frac{2d}{t}$ से, (∵ $2d$ ध्वनि द्वारा कुल चली दूरी है।)

$$340 = \frac{350 - 5t}{t}$$

$\Rightarrow \quad 340t = 350 - 5t \Rightarrow 340t + 5t = 350$

$\Rightarrow \quad 345t = 350$

$$t = \frac{350}{345} = \mathbf{1.015 \text{ सेकण्ड}}$$

प्रश्न 15. किसी देश की एक पनडुब्बी (submarine) समुद्र के भीतर गतिमान है। पनडुब्बी सभी दिशाओं में पराश्रव्य तरंगें संचरित कर रही है। यदि किसी एक दिशा से पराश्रव्य तरंगें 3 सेकण्ड में वापस आ रही हैं तो दुश्मन पनडुब्बी की दूरी ज्ञात कीजिए। जल के भीतर ध्वनि की चाल 1450 मी/से है।

हल ∵ पराश्रव्य तरंगें वापस आने में लगा समय = 3 सेकण्ड

जल में ध्वनि की चाल = 1450 मी/से

माना दुश्मन पनडुब्बी की दूरी d मी है, तब

सूत्र $\quad d = \frac{vt}{2}$ से,

$$d = \frac{1450 \times 3}{2} = 2175 \text{ m}$$

अतः दुश्मन पनडुब्बी की दूरी **2175 m** है।

प्रश्न 16. 2200 m^3 आयतन वाले सभागार का अनुरणन काल ज्ञात कीजिए, जबकि सतह का क्षेत्रफल 1650 m^2 तथा औसत अवशोषण गुणांक 0.15 है।

हल ∵ सभागार कक्ष का आयतन $(V) = 2200 \text{ m}^3$

औसत अवशोषण गुणांक $(a) = 0.15$

सतह का क्षेत्रफल $(s) = 1650 \text{ m}^2$

∴ अनुरणन काल $\quad (T) = \frac{0.165\,V}{A} = \frac{0.165\,V}{a \times s} \quad [\because A = a \times s]$

$$T = \frac{0.165 \times 2200}{0.15 \times 1650} = \mathbf{1.47 \text{ सेकण्ड}}$$

प्रश्न 17. किसी कक्ष की भीतरी सतह का कुल क्षेत्रफल 210 m^2 है। यदि 1 कक्ष का 20 m^2 क्षेत्रफल उतनी ही ध्वनि ऊर्जा का अवशोषण करता है जितनी ध्वनि ऊर्जा एक वर्ग मीटर क्षेत्रफल की खुली खिड़की द्वारा की जाती है तो ज्ञात कीजिए—(i) कक्ष का अवशोषण गुणांक तथा (ii) कक्ष का कुल अवशोषण।

हल : ∵ कक्ष की भीतरी सतह का कुल क्षेत्रफल $(S) = 210 \text{ m}^2$

ध्वनि ऊर्जा का अवशोषण करने वाले भाग का क्षेत्रफल $(x) = 20 \text{ m}^2$

(i) कक्ष का अवशोषण गुणांक $\quad (a) = \frac{1}{x} = \frac{1}{20} = \mathbf{0.05}$

(ii) कक्ष का कुल अवशोषण $(\Delta) = a \times s = 0.05 \times 210 = \mathbf{10.5 \text{ O.W.U.}}$

प्रश्न 18. किसी कक्ष का कुल अवशोषण 560 O.W.U. है। यदि इस कक्ष के भीतर ध्वनि का अनुरणन कात 0.75 S हो तो कक्ष का आयतन ज्ञात कीजिए।

हल ∵ कक्ष का कुल अवशोषण $(\Delta) = 560$ O.W.U.

ध्वनि का अनुरणन काल $(T) = 0.75$ s

माना कक्ष का आयतन s है, तब

अनुरणन काल के सूत्र से, $\quad T = \frac{0.165\,V}{A}$

अतः कक्ष का आयतन (V) $\quad = \frac{T \times A}{0.165} = \frac{0.75 \times 560}{0.165}$

$$= \mathbf{2545.4 \text{ m}^3}$$

प्रश्न 19. किसी कक्ष का कुल आयतन 1850 m^3 तथा कुल अवशोषण 110.5 O.W.U. है। अनुरणन कात ज्ञात कीजिए। यदि कक्ष के फर्श पर कालीन डाल दिया जाए तो अनुरणन में परिवर्तन ज्ञात कीजिए। दिया है, फर्श का अवशोषण गुणांक = 0.04 तथा कालीन का अवशोषण गुणांक = 0.2 तथा फर्श का क्षेत्रफल 850 m^2

हल ∵ कक्ष का कुल आयतन $(V) = 1850 \text{ m}^3$

कुल अवशोषण $(A) = 110.5$ O.W.U.

फर्श का अवशोषण गुणांक $(a) = 0.04$

कालीन का अवशोषण गुणांक = 0.2

फर्श का क्षेत्रफल $= 850 \text{ m}^2$

∵ अनुरणन काल $(T) = \frac{0.165\,V}{A} = \frac{0.165 \times 1850}{110.5}$

$T = 2.765$

Scanned with CamScanner

∵ जब फर्श पर कालीन डाल दिया जाता है तो फर्श के स्थान पर कालीन द्वारा ध्वनि का अवशोषण होने लगता है।

अत: ध्वनि का अवशोषण $A = 110.5 + (0.2 - 0.04) \times 850$

$= 110.5 + 136 = 246.5$ O.W.U.

अब, कालीन डालने के पश्चात् अनुरणन काल

$$T' = \frac{0.165 \times 1850}{246.5}$$

$T' = 1.24$ s

अत: अनुरणन काल में परिवर्तन $= T - T'$

$= 2.76 - 1.24 = \mathbf{1.525\ s}$

प्रश्न 20. लकड़ी से बने किसी कक्ष का कुल अवशोषण 48 O.W.U. है। यदि लकड़ी का अवशोषण गुणांक 0.035 हो तो कक्ष की सतह का कुल क्षेत्रफल ज्ञात कीजिए।

हल ∵ कक्ष का कुल अवशोषण $(A) = 48$ O.W.U.

लकड़ी का अवशोषण गुणांक $(a) = 0.035$

कक्ष की सतह का कुल क्षेत्रफल $(A) = a \times s$

या $$s = \frac{A}{a} = \frac{48}{0.035} = \mathbf{1371.4\ m^2}$$

प्रश्न 21. व्यतिकरण तथा विस्पन्द में अन्तर समझाइए। (2019)

उत्तर **व्यतिकरण तथा विस्पन्द में अन्तर** जब व्यतिकरण करने वाली ध्वनि-तरंगों की आवृत्तियाँ ठीक एक-दूसरे के बराबर होती है, तो किसी भी बिन्दु पर उनके बीच कलान्तर स्थिर रहता है। अत: वहाँ ध्वनि की तीव्रता भी स्थिर रहती है। इस प्रकार प्रबलता तथा नीरवता के जो क्षेत्र बनते हैं, स्थिर रहते हैं। इसे अचर व्यतिकरण अथवा व्यतिकरण कहते है।

यदि दोनो तरंगो की आवृत्तियो मे कुछ भिन्नता है, तो प्रत्येक बिन्दु पर दोनो के बीच कलान्तर समय के साथ बदलता रहता है। यदि किसी क्षण किसी बिन्दु विशेष पर दोनो तरंगे एक ही कला मे है, तो कुछ समय पश्चात् जब एक तरंग दूसरी से आधा कम्पन अधिक कर लेगी दोनो तरंगे विपरीत कलाओ मे हो जाएंगी। इस प्रकार एक ही बिन्दु पर ध्वनि की तीव्रता का मान एकान्तर क्रम मे उच्चतम तथा न्यूनतम होता रहता है। इस घटना को "विस्पन्द' कहते हैं।

इस प्रकार व्यतिकरण मे प्रत्येक बिन्दु पर ध्वनि की तीव्रता का मान स्थिर रहता है, जबकि विस्पन्दो मे प्रत्येक बिन्दु पर ध्वनि की तीव्रता का मान समय के साथ बदलकर एकान्तर क्रम मे उच्चतम तथा न्यूनतम होता रहता है।

3 तरंग प्रकाशिकी (Wave Optics)

खण्ड 'अ' : अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. प्रकाश किरणों से सम्बन्धित तीन तथ्य लिखिए।

उत्तर प्रकाश किरणो से सम्बन्धित तीन तथ्य निम्नलिखित हैं—

(i) प्रकाश किरणें सदैव सीधी रेखाओं में चलती हैं।

(ii) प्रकाश किरणे निर्वात् मे भी चल सकती हैं।

(iii) प्रकाश किरणे ठोस तल से परावर्तित हो जाती हैं।

प्रश्न 2. कला सम्बद्ध स्रोत किसे कहते है?

उत्तर वे प्रकाश स्रोत कला सम्बद्ध कहलाते है, जिनसे निकलने वाली प्रकाश तरंगो की आवृत्ति, तरंगदैर्घ्य तथा कला समान होती है।

प्रश्न 3. विनाशी व्यतिकरण किसे कहते है?

उत्तर किसी माध्यम मे जब दो कला सम्बद्ध प्रकाश तरंगें चलती है तो अध्यारोपण से माध्यम के कुछ बिन्दुओं की तीव्रता न्यूनतम हो जाती है। अत: इन बिन्दुओं पर हुए व्यतिकरण को विनाशी व्यतिकरण कहते हैं।

प्रश्न 4. ध्रुवित व अध्रुवित प्रकाश में मुख्य अन्तर क्या है?

उत्तर ध्रुवित प्रकाश मे विद्युत वेक्टर के कम्पन एक ही दिशा में होते है, परन्तु अध्रुवित प्रकाश में विद्युत वेक्टर के कम्पन एक ही तल मे स्थित सभी दिशाओं मे होते हैं।

प्रश्न 5. प्रकाश तरंगों में विवर्तन होने के लिए क्या दशा होनी चाहिए?

उत्तर अवरोध या छिद्र का आकार आपतित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य की कोटि का होना चाहिए।

प्रश्न 6. यंग का प्रयोग जल में करने से फ्रिन्ज चौड़ाई पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

उत्तर जल में प्रकाश तरंगदैर्घ्य घट जाएगी अर्थात् $W \propto \lambda$. इसलिए फ्रिन्ज कम चौड़ी बनेगी।

प्रश्न 7. विवर्तन की घटना किस प्रकार की तरंगों में हो सकती है?

उत्तर विवर्तन की घटना अनुप्रस्थ व अनुदैर्घ्य दोनों प्रकार की तरंगो में हो सकती है।

प्रश्न 8. यंग का द्विक रेखा छिद्र प्रयोग प्रकाश की किस घटना से सम्बन्धित है?

उत्तर व्यतिकरण से।

प्रश्न 9. यंग के प्रयोग में अदीप्त फ्रिन्जों की स्थिति का सूत्र बताइए।

उत्तर $x(2m-1)\frac{\lambda}{2}\frac{D}{\lambda} = x(2m-1)\frac{D}{2}$.

प्रश्न 10. यंग के प्रयोग में वैंगनी प्रकाश (V) के स्थान पर पीला प्रकाश (Y) प्रयुक्त करें तो फ्रिन्ज की चौड़ाई पर क्या प्रभाव पड़ेगा?

उत्तर $\because \lambda_V < \lambda_Y$ अर्थात् $W \propto \lambda$ ∴ फ्रिन्ज की चौड़ाई बढ़ जाएगी।

प्रश्न 11. ब्रूस्टर का नियम बताइए।

उत्तर जब अध्रुवित प्रकाश की किरण किसी एक माध्यम में चलती हुई किसी दूसरे माध्यम की सतह पर ध्रुवण कोण पर आपतित होती है तो परावर्तित प्रकाश पूर्णतया समतल-ध्रुवित हो जाता है तथा इसके कम्पनो की दिशा आपतन तल के लम्बवत् हो जाती है।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 12. किसी सघन माध्यम का क्रान्तिक कोण उसके अपवर्तनांक से किस प्रकार सम्बन्धित है? (2017)

उत्तर **अपवर्तनांक तथा क्रान्तिक कोण में सम्बन्ध** यदि विरल माध्यम को माध्यम-1 तथा सघन माध्यम को माध्यम-2 से दर्शित करें तो स्नैल के नियम से, $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_1}{n_2}$

क्रान्तिक कोण आपतन पर $i = c$ तथा $r = 90°$

अत: पहले माध्यम के सापेक्ष दूसरे माध्यम का अपवर्तनांक ${}_1n_2 = \frac{\sin C}{\sin 90°} = \frac{\sin C}{1}$

अर्थात् ${}_1n_2 = \sin C$ ...(i)

परन्तु प्रकाश के उत्क्रमणीयता के सिद्धान्त से, ${}_1n_2 = 1/{}_1n_2$

अत: ${}_1n_2 = \frac{1}{\sin C}$ ...(ii)

अत: क्रान्तिक कोण की ज्या (sin) का व्युत्क्रम विरल माध्यम के सापेक्ष सघन माध्यम के अपवर्तनांक के बराबर होता है।

प्रश्न 13. जर्मेनियम और सिलिकॉन में बैन्ड गैप ऊर्जा का मान क्या होता है? (2017)

उत्तर जर्मेनियम 0.7 eV तथा सिलिकॉन –1.1 eV.

प्रश्न 14. प्रकाश की दोहरी प्रवृत्ति का क्यों माना जाता है?

अथवा **प्रकाश को दोहरी प्रवृत्ति से क्या तात्पर्य है?** (2019)

उत्तर प्रकाश में तरंग (wave) तथा कण (particle) दोनों की प्रवृत्ति होती है, इसलिए प्रकाश को दोहरी प्रवृत्ति का माना जाता है।

प्रश्न 15. प्रकाश के परावर्तन से आप क्या समझते हैं?

उत्तर जब प्रकाश किसी पॉलिशदार व चिकने तल पर गिरता है तो उसका अधिकांश भाग वापस लौट आता है। प्रकाश के चिकने तल से टकराकर लौटने की इस प्रक्रिया को प्रकाश 'परावर्तन' कहते हैं।

प्रश्न 16. परावर्तन के नियम (Laws of Reflection) लिखिए।

उत्तर परावर्तन के दो नियम हैं—

(i) आपतित किरण, आपतन बिन्दु पर अभिलम्ब तथा परावर्तित किरण तीनों एक ही तल में होते हैं।

(ii) परावर्तन कोण सदैव आपतन कोण के बराबर होता है।

आपतन कोण $\angle i$ = परावर्तन कोण $\angle r$

प्रश्न 17. प्रकाश के अपवर्तन (Refraction) से आप क्या समझते हैं?

उत्तर प्रकाश-किरण के एक माध्यम से दूसरे माध्यम में जाने पर, अपने मार्ग से विचलित होने को प्रकाश का अपवर्तन (refraction) कहते हैं।

प्रश्न 18. अपवर्तन के नियम (laws of refraction) लिखिए।

उत्तर अपवर्तन के दो नियम हैं—

(i) आपतित किरण, अपवर्तित किरण तथा आपतन बिन्दु पर अभिलम्ब तीनों एक ही तल में होते हैं।

(ii) किन्हीं दो माध्यमों के लिए तथा एक ही रंग के प्रकाश के लिए, आपतन कोण की ज्या (sine) तथा अपवर्तन कोण की ज्या (sine) का अनुपात एक नियतांक होता है।

प्रश्न 19. प्रकाश का व्यतिकरण क्या है?

उत्तर किन्हीं दो प्रकाश तरंगों के किसी माध्यम में अध्यारोपण से प्रकाश ऊर्जा का असमान वितरण प्रकाश का व्यतिकरण कहलाता है।

प्रश्न 20. सरल आवर्ती प्रगामी तरंगों से आप क्या समझते हैं?

उत्तर यदि किसी माध्यम में तरंग संचरित होने पर माध्यम के कण सरल आवर्त गति से कम्पन्न करें, तो इस तरंग को 'सरल आवर्त प्रगामी तरंग' कहते हैं।

प्रश्न 21. व्यतिकरण कितने प्रकार का होता है?

उत्तर व्यतिकरण दो प्रकार का होता है—(i) संपोषी व्यतिकरण तथा (ii) विनाशी व्यतिकरण।

बहुविकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 1. यदि निर्वात्, जल तथा काँच में प्रकाश के वेग क्रमशः C, v_W तथा v_g हों तो कौन-सा सम्बन्ध सही है?
(अ) C, $> v_W > v_g$ (ब) $C < v_W < v_g$ (स) $C > v_W < v_g$

उत्तर (स) $C > v_W < v_g$

खण्ड 'ब' : लघु एवं दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. तरंग-कण द्वैत सिद्धान्त पर अपने विचार व्यक्त कीजिए।

अथवा **तरंग और कण के द्वैत लक्षण की विवेचना कीजिए।**

उत्तर **तरंग-कण द्वैत सिद्धान्त** कुछ प्रकरण में प्रकाश एक कण की तरह व्यवहार करता है तथा कुछ में प्रकाश तरंग की तरह व्यवहार करता है। व्यतिकरण, विवर्तन तथा ध्रुवण (interference, diffraction, polarization) आदि प्रकाश की तरंग प्रकृति के उदाहरण हैं अर्थात् हम इसकी तुलना प्रकाश की तरंग के नियम से कर सकते हैं। दूसरी तरफ, फोटो विद्युत प्रभाव (photo electric effect), रमन प्रभाव (Raman effect), क्रॉम्पटन प्रभाव (Crompton effect) की घटनाएँ सिद्ध करती हैं कि प्रकाश कण बनते हैं। इसे क्वाण्टम सिद्धान्त या फोटॉन सिद्धान्त से समझा जा सकता है। सन् 1926 में डी-ब्रॉगली ने यह तर्क प्रस्तुत किया कि कण को तरंगो के तुल्य समझा जा सकता है। उसने क्वाण्टम तरंग सिद्धान्त (quantum wave principle) को परस्पर सम्बन्धित करके एक सिद्धान्त का प्रतिपादन किया जिसे तरंग-कण द्वैत सिद्धान्त (dual nature of wave particle principle) कहते हैं। यह सिद्धान्त सिद्ध करता है कि प्रकाश द्वैत प्रकृति रखता है अर्थात् कण प्रकृति तथा तरंग प्रकृति दोनों प्रकार के गुण प्रकाश में होते हैं।

इस नियमानुसार,

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \text{या} \quad \lambda = \frac{h}{mv}$$

जहाँ λ = तरंगदैर्ध्य, m = कण का द्रव्यमान, v =कण का वेग तथा h = प्लांक नियतांक

प्रश्न 2. कला सम्बद्ध स्रोत किसे कहते हैं?

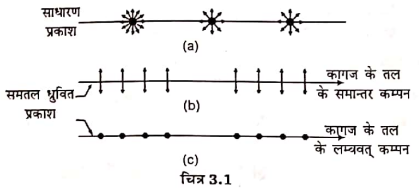
उत्तर "यदि प्रकाश के दो स्रोत लगातार एकसमान तरंगदैर्ध्य, समान आवृत्ति तथा नियत कलान्तर (phase difference) का प्रकाश उत्सर्जन करें तो उन्हें कला सम्बद्ध प्रकाश स्रोत कहते हैं।" परन्तु दो स्वतन्त्र प्रकाश के स्रोत आपस में कभी भी कला सम्बद्ध नहीं हो सकते हैं। इसका कारण यह है कि प्रकाश स्रोत में असंख्य परमाणु होते हैं। बाहरी स्रोत से ऊर्जा प्राप्त करके परमाणु अधिक ऊर्जा वाली अवस्था को प्राप्त कर लेता है, परन्तु वह 10^{-8} सेकण्ड के भीतर पुन: अपनी पूर्वावस्था को प्राप्त कर लेता है। इस प्रकार परमाणु दोनो अवस्थाओं की ऊर्जा अन्तर के संगत तरंगदैर्ध्य का प्रकाश उत्सर्जन करता है। विभिन्न परमाणुओं से होने वाला उत्सर्जन अनियमित होता है। इसी कारण दो स्वतन्त्र प्रकाश के स्रोतों से कला सम्बद्ध उत्सर्जन कभी प्राप्त नहीं किया जा सकता है।

अब यदि प्रकाश के एक ही स्रोत को दो भागों में बाँट दिया जाये तो प्रकाश स्रोत का कोई भी परिवर्तन दोनों भागों को समान रूप से प्रभावित करेगा। अब दोनों भाग समान तरंगदैर्ध्य का प्रकाश एक ही कला में उत्सर्जित करते हैं जिन्हें कला सम्बद्ध प्रकाश स्रोत कहते हैं।

प्रश्न 3. अध्रुवित प्रकाश व समतल ध्रुवित प्रकाश में क्या अन्तर है?

1. **अध्रुवित प्रकाश** अध्रुवित प्रकाश को एक तारे (Star) द्वारा प्रदर्शित किया (चित्र 3.1) जाता है, क्योंकि इसमें वैद्युत सदिश के कम्पन, तरंग संचरण की दिशा के लम्बवत् तल में साधारण दिशा में होते हैं।

Scanned with CamScanner

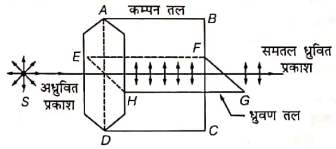


चित्र 3.1

2. **समतल ध्रुवित प्रकाश** समतल ध्रुवित प्रकाश में कम्पन एक सीधी रेखा के अनुदिश होते हैं।
   (a) यदि कम्पन कागज के तल के समान्तर है तो उन्हें तीरों द्वारा प्रदर्शित करते हैं। (चित्र 3.1)
   (b) यदि कम्पन कागज के तल के लम्बवत् एक सीधी रेखा में है तो वे बिन्दुओं (dots) के द्वारा निरूपित किये जाते हैं।

प्रश्न 4. कम्पन तल तथा ध्रुवण तल किसे कहते हैं?

उत्तर समतल ध्रुवित प्रकाश में उस तल को, जिसमें वैद्युत सदिशों के कम्पन तथा प्रकाश तरंग संचरण की दिशा, दोनों ही स्थित हों, कम्पन तल कहते हैं।



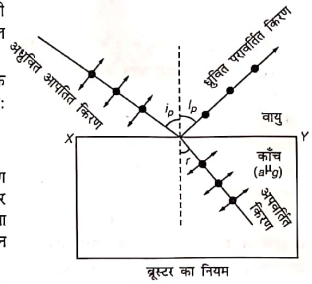
चित्र 3.2

कम्पन तल के लम्बवत् उस तल को जिसमें प्रकाश तरंग संचरण की दिशा स्थित हो तथा वैद्युत-सदिश के घटक शून्य हों, ध्रुवण तल कहते हैं।

उपरोक्त से स्पष्ट है कि ध्रुवण तल तथा कम्पन तल एक-दूसरे के लम्बवत् होते हैं। चित्र 3.2 में तल *ABCD* तथा *EFGH* क्रमशः कम्पन-तल तथा ध्रुवण-तल को निरूपित करते हैं।

प्रश्न 5. ब्रूस्टर का नियम लिखिए।

उत्तर ब्रूस्टर के अनुसार, "जब अध्रुवित प्रकाश की किरण किसी एक माध्यम में चलती हुई किसी दूसरे माध्यम की सतह पर ध्रुवण कोण पर आपतित होती है तो परावर्तित प्रकाश पूर्णतया समतल-ध्रुवित हो जाता है तथा इसके कम्पनों की दिशा आपतन तल के लम्बवत् हो जाती है।"



ब्रूस्टर का नियम

चित्र 3.3

यदि दूसरे माध्यम का पहले माध्यम के सापेक्ष अपवर्तनांक μ तथा ध्रुवण कोण का मान i_p हो तो ब्रूस्टर के अनुसार,

$$\mu = \tan i_p \quad \ldots(i)$$

चित्र 3.3 से स्पष्ट है कि वायु में चलती हुई आपतित किरण का काँच में अपवर्तन होता है। आपतन कोण का मान i_p तथा अपवर्तन कोण का मान r है।

अब XY-सतह पर स्नैल का नियम (Snell's Law) लगाने पर,

$$_a\mu_g = \frac{\sin i_p}{\sin r}$$

समीकरण (i) से, $\frac{\sin i_p}{\sin r} = \tan i_p$

या $\frac{\sin i_p}{\sin r} = \frac{\sin i_p}{\cos i_p}$

या $\sin r = \sin(90° - i_p)$

या $i_p + r = 90°$

अत: चित्र 3.3 से परावर्तित किरण तथा अपवर्तित किरण के मध्य कोण $= 180° - (i_p + r) = 180° - 90° = 90°$. इसलिए यदि आपतन कोण का मान ध्रुवण कोण के बराबर हो तो परावर्तित किरण तथा अपवर्तित किरण आपस में लम्बवत् हो जाती हैं।

प्रश्न 6. मैलस का नियम लिखिए।

उत्तर इस नियमानुसार, जब पूर्णतया समतल ध्रुवित प्रकाश किसी विश्लेषक (analyser) पर गिरता है तो विश्लेषक से निर्गत् प्रकाश की तीव्रता (I), $\cos^2\theta$ के अनुक्रमानुपाती होती है, जहाँ θ ध्रुवक (polariser) तथा विश्लेषक (analyser) के संचरण तल के बीच का कोण है।

यदि I_0 = विश्लेषक पर गिरने वाले समतल ध्रुवित प्रकाश की तीव्रता

तथा I = विश्लेषक से निकलने वाले प्रकाश की तीव्रता

तो मैलस के नियम से, $I = I_0 \cos^2\theta$

विशेष स्थितियाँ

(i) यदि $\theta = 0°$ या $180°$ अर्थात् ध्रुवक तथा विश्लेषक आपस में समान्तर हों तो

$$I = I_0 \cos 0° = I_0 \times 1 \qquad (\because \cos 0° = 1)$$

अथवा $I = I_0$

अत: निर्गत् प्रकाश की तीव्रता अपरिवर्तित रहती है।

(ii) यदि $\theta = 90°$ अर्थात् ध्रुवक व विश्लेषक आपस में लम्बवत् हैं, तब

$$I = I_0 \cos 90° \qquad (\because \cos 90° = 0)$$

अर्थात् $I = I_0(0) = 0$

अत: निर्गत् प्रकाश की तीव्रता शून्य होगी।

(iii) यदि विश्लेषक पर गिरने वाला प्रकाश अध्रुवित है तो,

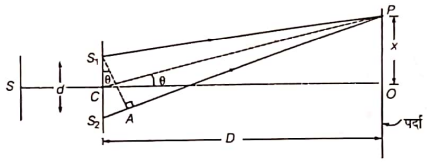
$$I = \frac{1}{2} I_0$$

प्रश्न 7. यंग के द्वि-स्लिट प्रयोग में दीप्त फ्रिन्ज की चौड़ाई के लिए व्यंजक $x = m\left(\frac{D\lambda}{d}\right)$ प्राप्त कीजिए।

अथवा **व्यतिकरण से सम्बन्धित यंग के डबल स्लिट प्रयोग को बताइए।** (2015)

उत्तर **फ्रिन्जों की चौड़ाई के लिए सूत्र** चित्र 3.4 में, S एक रेखा-छिद्र है जिसे एकवर्णी प्रकाश से प्रकाशित किया जाता है। इस रेखा-छिद्र से आगे दो रेखा-छिद्र S_1 व S_2 हैं जो एक-दूसरे के बहुत समीप हैं, S के समान्तर हैं तथा उससे समान दूरी पर स्थित हैं। S से चलने वाली द्वितीयक तरंगिकाएँ S_1 व S_2 पर समान कला में पहुँचती हैं। S_1 व S_2 भी द्वितीयक तरंगिकाओं के स्रोत बन जाते हैं। इससे निकली तरंगें एक-दूसरे के साथ अध्यारोपण के पश्चात् D दूरी पर स्थित पर्दे पर व्यतिकरण फ्रिन्जें बनाती हैं। इन फ्रिन्जों की चौड़ाई नापकर प्रकाश की तरंगदैर्ध्य की भी गणना की जा सकती है। माना कि पर्दे के बिन्दु P पर दीप्त फ्रिन्ज बनती है।

Scanned with CamScanner



चित्र 3.4

माना $S_1 S_2$ का लम्ब-अर्द्धक CO, पर्दे पर O पर मिलता है तथा P की O से दूरी x है। अत: S_1 व S_2 से P पर पहुँचने वाली तरंगिकाओं के बीच पथान्तर $(S_2R \cdot TP - S_1P)$ है। अब S_1 से S_2P पर लम्ब S_1A डाला गया है। तब विन्दु P पर दोनों तरंगों के बीच पथान्तर, $S_2R \cdot TP - S_1P = S_2A$

ΔS_1S_2A व ΔOCP समरूप हैं; अत:
$$\frac{S_2A}{S_1S_2} = \frac{OP}{CP}$$

दूरी CO, S_1S_2 की तुलना में बहुत बड़ी है। अत: CP को CO के बराबर लेने पर

$$\frac{S_2A}{S_1S_2} = \frac{OP}{CO} \quad \text{अथवा} \quad \frac{S_2A}{d} = \frac{x}{D}$$

$\therefore$ पथान्तर $S_2A = \dfrac{xd}{D}$

दीप्त फ्रिन्जों की स्थितियाँ यदि तरंगिकाओं के बीच पथान्तर $0, \lambda, 2\lambda, \ldots$ हैं तो प्रकाश की तीव्रता अधिकतम होगी। अत: दीप्त फ्रिन्जों के लिए

$$\frac{xd}{D} = m\lambda \qquad (\text{जहाँ, } m = 0, 1, 2, \ldots)$$

अथवा
$$x = m\left(\frac{D\lambda}{d}\right) \qquad \ldots(i)$$

उपरोक्त समीकरण (i) में, $m = 0$ रखने पर केन्द्रीय दीप्त फ्रिन्ज (अथवा शून्य-क्रम फ्रिन्ज) की स्थिति, $m = 1$ रखने पर पहली दीप्त फ्रिन्ज की स्थिति और $m = 2$ रखने पर दूसरी दीप्त फ्रिन्ज की स्थिति........ इत्यादि प्राप्त होती है।

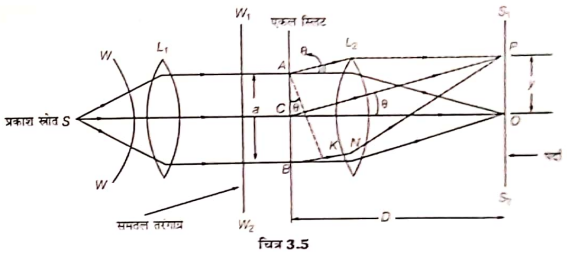
प्रश्न 8. प्रकाश के विवर्तन से आप क्या समझते हैं? एक पतली स्लिट से फ्रॉनहोफर विवर्तन की व्याख्या कीजिए। (2013)

अथवा **प्रकाश के विवर्तन से आप क्या समझते हैं?** (2014)

अथवा **सिंगल स्लिट विवर्तन (diffraction) का उल्लेख कीजिए।** (2015)

उत्तर **प्रकाश का विवर्तन** प्रकाश का आंशिक रूप से, किसी स्लिट (slit) या किसी अवरोधक के तीक्ष्ण किनारों (sharp corners) से मुड़ना (bending), प्रकाश का विवर्तन कहलाता है। इस प्रकाश के मुड़ने की मात्रा, अवरोध के आकार तथा तरंगदैर्ध्य (wavelength) पर निर्भर करती है।

फ्रॉनहोफर विवर्तन (एक एकल स्लिट पर) इस श्रेणी के विवर्तन में स्रोत तथा पर्दा (screen) स्लिट से अनन्त में रखे जाते हैं तथा आपतित और विवर्तित दोनों तरंगाग्र समतल होते हैं, जोकि चित्र 3.5 में एक फ्रॉनहोफर के विवर्तन की व्याख्या द्वारा दर्शाये गए हैं। एक स्लिट S उत्तल लेंस L_1 के फोकस (focus) पर रखा जाता है जिस पर प्रकाश पड़ता है। स्लिट S से प्रकाश की किरण समान्तर किरणों की तरह बाहर निकलती है और दूसरे स्लिट 'B' जिसकी चौड़ाई 'a' है, समतल तरंगाग्र (plane wavelets) $W_1 W_2$ की तरह पड़ती है। इस प्रकार S तथा AB के बीच की दूरी अनन्त होती है। जब समतल तरंगाग्र W_1, W_2, AB स्लिट पर आता है, तब AB स्लिट का प्रत्येक विन्दु, प्रत्येक दिशा में प्रगामी तरंगाग्र (stationary wavelets) उत्सर्जित करता है जो दूसरे उत्तल लेंस के द्वारा S_1S_2 पर्दे पर फोकस किया जाता है। S_1S_2 पर्दा उत्तल लेंस L_2 के फोकस पर रखा होता है। स्लिट का तीक्ष्ण प्रतिबिम्ब S_1S_2 पर्दे पर बनना चाहिए।



चित्र 3.5

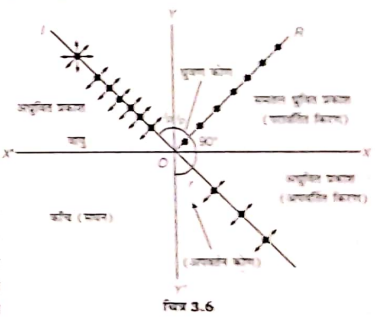
जब प्रकाश स्रोत S पर पड़ता है तो पर्दे के केन्द्र O पर मुख्य उच्चिष्ठ बनता है। अधिकांश प्रकाश ऊर्जा मुख्य उच्चिष्ठ में ही केन्द्रित रहती है जिसके अगल-बगल क्रमागत अदीप्त फ्रिन्ज तथा तेजी से घटती तीव्रता की दीप्त फ्रिन्ज बनती है। पर्दे के केन्द्र पर सर्वाधिक तीव्रता वाली फ्रिन्ज बनती है। विन्दु P पर अदीप्त फ्रिन्ज प्राप्त होती है। इसे ही विवर्तन में प्रथम **द्वितीयक निम्निष्ठ** (secondary minima) कहते हैं।

प्रश्न 9. ध्रुवित प्रकाश (polarised light) क्या है? यह निम्न के द्वारा कैसे उत्पादित किया जाता है?
(i) अपवर्तन, (ii) द्वि-अपवर्तन द्वारा। (2010)

अथवा **ध्रुवित प्रकाश क्या है?** (2014)

उत्तर **ध्रुवित प्रकाश** वह प्रकाश जिसमें प्रकाश, वेक्टर प्रकाश संचरण की दिशा के अभिलम्बवत् तल में एक निश्चित रेखा के अनुदिश कम्पन करता है, ध्रुवित प्रकाश कहलाता है।

(i) **अपवर्तन या परावर्तन द्वारा प्रकाश का ध्रुवण** यह विधि ध्रुवित प्रकाश को उत्पन्न करने की सबसे आसान विधि है। जब अध्रुवित प्रकाश (simple light) किरणें वायु से सघन माध्यम में प्रवेश करती हैं, तब ये अभिलम्ब YY' पर मुड़ जाती हैं जो परावर्तन कहलाता है। इस विधि में प्रकाश का अधिकतम भाग परावर्तित हो जाता है, लेकिन इसका कुछ छोटा भाग आंशिक रूप से, पारदर्शी सघन माध्यम से परावर्तित होकर समतल ध्रुवित हो जाता है (OR)। ध्रुवण का मान ध्रुवण कोण I_p पर निर्भर करता है। यद्यपि ध्रुवण कोण या परावर्तन कोण I_p बढ़ता है तो समानुपात रूप से ध्रुवण का मान भी बढ़ जाता है। यदि ध्रुवण कोण का मान धीरे-धीरे बढ़ता है और ऐसी स्थिति बन जाती है कि I_p के एक विशेष मान पर परावर्तित किरणें (OR) पूरी तरह से ध्रुवित हो जाती हैं, जैसा चित्र 3.6 में दर्शाया गया है।

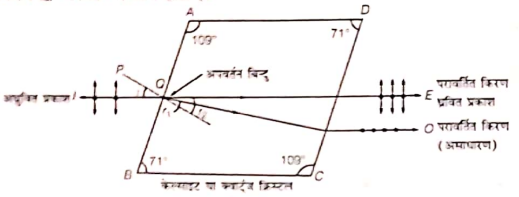


चित्र 3.6

(ii) **द्वि-अपवर्तन द्वारा प्रकाश का ध्रुवण** जब अध्रुवित या साधारण प्रकाश किरणें द्वि-अपवर्तन क्रिस्टल प्लेट पर पड़ती हैं तो ये दो अपवर्तित किरणों PE तथा PO में विभक्त हो जाती हैं। इस प्रकार जो परावर्तित किरण परावर्तन के नियम का पालन करती है, उसे साधारण किरण PE कहते हैं और जो परावर्तन के नियम का पालन नहीं करती है, वह असाधारण किरण PO कहलाती है। इस प्रणाली को चित्र 3.7 में दर्शाया गया है। साधारण तथा असाधारण ध्रुवित

Scanned with CamScanner

किरणें आपस में एक-दूसरे के लम्बवत् स्थिति में, समतल ध्रुवित किरणें होती हैं। इस प्रकार *PO* तथा *PE* दो ध्रुवित प्रकाश किरणें द्वि-अपवर्तन में प्राप्त होती हैं।



चित्र 3.7

प्रश्न 10. प्रकाश के व्यतिकरण और विवर्तन में अन्तर समझाइए। यंग के द्वि-स्लिट प्रयोग में एक स्लिट के सामने यदि एक पारदर्शक पट्टिका रख दी जाये तो व्यतिकरण फ्रिन्जों पर क्या प्रभाव पड़ेगा? (2011)

अथवा **व्यतिकरण तथा विवर्तन में अन्तर समझाइए।**

उत्तर **व्यतिकरण तथा विवर्तन में अन्तर**

क्र.सं.	व्यतिकरण	विवर्तन
1.	दो कला सम्बद्ध स्रोतों से आने वाली प्रकाश-तरंगों के अध्यारोपण से व्यतिकरण होता है।	एक ही तरंगाग्र के विभिन्न बिन्दुओं से आने वाली द्वितीयक तरंगिकाओं के बीच व्यतिकरण से विवर्तन होता है।
2.	व्यतिकरण फ्रिन्जों की चौड़ाई समान भी हो सकती है अथवा नहीं भी।	विवर्तन फ्रिन्जें कभी भी समान चौड़ाई की नहीं हो सकती हैं।
3.	व्यतिकरण प्रतिरूप में सभी दीप्त फ्रिन्जों की तीव्रता समान होती है।	विवर्तन प्रतिरूप में दीप्त फ्रिन्जों की तीव्रता लगातार घटती जाती है।
4.	व्यतिकरण प्रतिरूप में, अदीप्त फ्रिन्जों की तीव्रता बहुत कम (लगभग शून्य) होती है; अतः दीप्त व अदीप्त फ्रिन्जों के बीच अन्तर स्पष्ट दिखाई देता है।	विवर्तन प्रतिरूप में निम्निष्ठ की तीव्रता कभी शून्य नहीं होती; अतः दीप्त व अदीप्त फ्रिन्जों के बीच अन्तर स्पष्ट दिखाई नहीं देता।

यंग के द्विस्लिट प्रयोग में एक स्लिट के सामने यदि एक पारदर्शक पट्टिका रख दी जाये तो दो स्रोतों से एक-सी आवृत्ति, एक-सी तरंगदैर्ध्य की प्रकाश किरणें उत्सर्जित नहीं होती हैं तथा समान समय में व्यतिकरण फ्रिन्जों की तीव्रता एकान्तर क्रम में अधिकतम तथा न्यूनतम होगी अर्थात् फ्रिन्ज अदीप्त तथा दीप्त होंगी और व्यतिकरण की गुणता निम्न प्रकृति की होगी।

प्रश्न 11. ध्रुवित प्रकाश से आप क्या समझते हो? आप किस प्रकार जाँच करेंगे कि दिया हुआ प्रकाश ध्रुवित है, अथवा नहीं? (2012)

उत्तर उस प्रकाश को जिसमें प्रकाश संचरण की दिशा के सापेक्ष सममिति का अभाव होता है अर्थात् जिसमें कम्पन संचरण के अभिलम्बवत् सभी दिशाओं में न होकर केवल एक रेखा के अनुदिश होता है, 'ध्रुवित प्रकाश' कहते हैं।

यदि दिए गए प्रकाश में विद्युत क्षेत्र के कम्पन संचरण के लम्बवत् सभी दिशाओं में समान रूप से वितरित होते हैं तो यह प्रकाश अध्रुवित प्रकाश कहलाता है।

यदि दिए गए प्रकाश में विद्युत क्षेत्र के कम्पन केवल एक ही दिशा में होते हैं, अन्य सभी दिशाओं के कम्पन शून्य हो जाते हैं तो ऐसे प्रकाश को ध्रुवित प्रकाश कहेंगे।

प्रश्न 12. 1 मिमी की दूरी पर स्थित दो समानान्तर पतली झिर्री को एकवर्णीय प्रकाश से प्रकाशित किया जाता है। 100 सेमी दूर स्थित पर्दे पर फ्रिन्ज प्राप्त होती है जिनके मध्य दूरी 0.5 मिमी है। प्रकाश की तरंगदैर्ध्य ज्ञात कीजिए।

हल दिया है, $\beta = 0.5$ मिमी या 0.05 सेमी

$d = 1$ मिमी या 0.01 सेमी

$D = 100$ सेमी

तथा

सूत्र से, $\beta = \dfrac{\lambda \times D}{d}$

$$0.5 = \frac{\lambda \times 100 \times 10}{1} \text{ मिमी}$$

$$\lambda = \frac{0.5}{1000} \text{ मिमी} = 5 \times 10^{-4} \text{ मिमी}$$

$$= \frac{5 \times 10^{-4}}{1000} = 5 \times 10^{-7} = \frac{5 \times 10^{-7} \times 10^{-3}}{10^{-3}} \text{ मीटर}$$

$$= 5 \times 10^{-10} \times 10^{3} = 5000 \text{ Å}$$

अतः तरंगदैर्ध्य = **5000 Å**

प्रश्न 13. उन प्रतिबन्धों का उल्लेख कीजिए जिनके अन्तर्गत दो तरंगों के अध्यारोपण से (i) विस्पन्द, (ii) अप्रगामी तरंगें उत्पन्न होती हैं। प्रगामी तरंगों से किस प्रकार अप्रगामी तरंगें भिन्न हैं?

उत्तर **विस्पन्द के लिए प्रतिबन्ध** 1. दोनों तरंगों का आयाम तथा आवृत्ति एकसमान होनी चाहिए।

2. दोनों तरंगें समान दिशा तथा समान वेग के साथ-साथ एक ही माध्यम में संचारित होनी चाहिए।

3. दो तरंगों के अध्यारोपण के बाद, एक उच्चतम तथा न्यूनतम तीव्रता की ध्वनि मिलकर एक विस्पंद उत्पन्न करती है।

अप्रगामी तरंग के लिए प्रतिबन्ध 1. अप्रगामी तरंगों को बनाने वाली दोनों प्रगामी तरंगें सभी प्रकार से एक जैसी होनी चाहिए। अर्थात् उनके आयाम, तरंगदैर्ध्य, आवृत्ति समान होनी चाहिए।

2. दोनों प्रगामी तरंगों को एक-दूसरे के विपरीत दिशा में चलना चाहिए।

3. दोनों प्रगामी तरंगों के अध्यारोपण से प्राप्त नई अप्रगामी तरंग को किसी भी दिशा में आगे चलता हुआ प्रतीत नहीं होना चाहिए।

प्रगामी तथा अप्रगामी तरंगों में अन्तर

क्र०सं०	प्रगामी तरंगें	अप्रगामी तरंगें
1.	इस प्रकार की तरंगें माध्यम में एक निश्चित वेग (finite velocity) से अग्रसर होती हैं।	इस प्रकार की तरंगें किसी भी दिशा में अग्रसर होती हैं।
2.	इन तरंगों में, माध्यम का प्रत्येक कण, समान आयाम (amplitude) के साथ कम्पन करता है अर्थात् S.H.M. execute करते हैं।	इन तरंगों में, माध्यम का प्रत्येक कण निस्पंदों के अलावा असमान या भिन्न-भिन्न आयामों के साथ कम्पन करता है।
3.	इन तरंगों में किसी भी क्षण एक कण से दूसरे कण की कम्पन की कला (phase of vibration) लगातार बदलती रहती है।	इन तरंगों में दो क्रमागत निस्पंदों (nodes) के बीच के सभी कण, कम्पन की समान कला में कम्पन करते हैं।
4.	इन तरंगों के माध्यम के सभी कणों पर दाब परिवर्तन या घनत्व के कम्पन का परिवर्तन समान होता है।	इन तरंगों में निस्पंदों (nodes) पर दाब या घनत्व परिवर्तन सबसे अधिक तथा प्रस्पंदों पर सबसे कम होता है।
5.	इन तरंगों द्वारा माध्यम में तथा संचरण (propagation) की दिशा में ऊर्जा का संचार होता है।	इन तरंगों द्वारा माध्यम में तथा संचरण की दिशा में ऊर्जा का संचार नहीं होता है।

प्रश्न 14. प्रकाश का व्यतिकरण उत्पन्न करने के लिए आवश्यक प्रतिबन्ध लिखिए।

अथवा **शून्य फ्रिन्ज की तीव्रता I_0 है। जब एक स्लिट को ढक दिया जाता है तो तीव्रता I हो जाती है। I_0 तथा I में सम्बन्ध स्थापित कीजिए।**

Scanned with CamScanner

उत्तर **प्रकाश का व्यतिकरण उत्पन्न करने के लिए आवश्यक प्रतिबन्ध** प्रकाश का व्यतिकरण उत्पन्न करने के लिए आवश्यक प्रतिबन्ध निम्नलिखित हैं—

1. प्रकाश के दोनों स्रोत, कला सम्बद्ध (coherent) होने चाहिए।
2. प्रकाश के दोनों स्रोतों से आवृत्ति, तरंगदैर्घ्य, आवर्तकाल तथा एकसमान तरंग उत्सर्जित होनी चाहिए।
3. दोनों प्रकाश स्रोत के बीच अलगाव छोटा होना चाहिए।
4. दोनों प्रकाश स्रोत के बीच की दूरी तथा पर्दे (screen) की दूरी छोटी होनी चाहिए।
5. पिछला पृष्ठ काला होना चाहिए।
6. व्यतिकरण तरंगों का आयाम लगभग बराबर होना चाहिए।
7. स्रोत बहुत पतले होने चाहिए।
8. स्रोत मोनोक्रोमेटिक (monochromatic) होने चाहिए।
9. स्रोत संकुचित (narrow) होने चाहिए अर्थात् बहुत छोटे होने चाहिए।

I_0 तथा I में सम्बन्ध क्योंकि फ्रिन्ज का तीव्रता I बनती है, जब स्लिट (slit) बन्द कर दी जाती है तो पर्दे पर शून्य फ्रिन्ज बनती है, जहाँ पर दो तरंगों के बीच कला सम्बद्ध अन्तर शून्य होता है। अब हम जानते हैं कि,

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\phi$$

तब परिणामी तीव्रता $$I_0 = I + I + 2\sqrt{I \times I \times \cos\phi} \quad [\because I = I_1 + I_2 \text{ तथा } \cos\phi = 1]$$

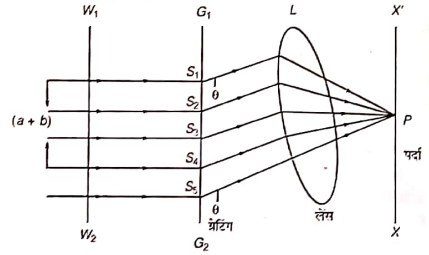
या $$I_0 = I + I + 2\sqrt{I \times I \times 1}$$

या $$I_0 = 2I + 2\sqrt{I^2} = 4I \quad \text{या} \quad I = \frac{I_0}{4}$$

प्रश्न15. विवर्तन ग्रेटिंग का कार्य-सिद्धान्त समझाइए। इसकी विक्षेपण और विभेदन क्षमताओं में क्या अन्तर है? इन्हें किस प्रकार बढ़ाया जाता है?

उत्तर **विवर्तन ग्रेटिंग** विवर्तन ग्रेटिंग वह व्यवस्था होती है जो समान चौड़ाइयों की समान्तर स्लिट्स की अत्यधिक संख्या से बनी होती है।

व्याख्या माना G_1G_2 एक विवर्तन ग्रेटिंग है, जैसा कि चित्र 3.8 में दर्शाया गया है, जिसमें N समान्तर स्लिट्स (slits) $S_1, S_2, S_3, S_4, \ldots$ आदि हैं। स्लिट कागज के तल के लम्बवत् हैं। माना प्रत्येक स्लिट की चौड़ाई a तथा अपारदर्शी भाग की चौड़ाई b है। $(a + b)$ को **ग्रेटिंग तत्त्व** (grating element) कहा जाता है।



चित्र 3.8

ग्रेटिंग के बिन्दु $S_1, S_2, S_3, S_4, \ldots$ संगत बिन्दु एवं इनसे चलने वाली तरंगें समान कला में होती हैं जिनकी क्रमागत दूरी $(a + b)$ है। माना W_1W_2 समतल तरंगाग्र (wavelet) ग्रेटिंग G_1G_2 पर आपतित होता है तथा स्लिट $S_1, S_2, S_3, S_4, \ldots$ से विवर्तित हुआ प्रकाश लेंस L द्वारा स्क्रीन $X X'$ जो लेंस के फोकस तल पर है, पर प्राप्त होता है। इस विवर्तन प्रारूप को N स्लिट्स के कारण या विवर्तन ग्रेटिंग पैटर्न कहते हैं। स्लिट्स से द्वितीयक तरंगाग्र (second wavelet) का उत्सर्जन होता है जिससे स्क्रीन पर उच्चिष्ठ व निम्निष्ठ (maxima and minima) मान प्राप्त होते हैं। ये तरंगाग्र बिन्दु P पर, भिन्न-भिन्न फेजों में उत्तल लेंस (convex lens) से गुजरकर पहुँचते हैं जिसके कारण अदीप्त तथा दीप्त (dark and bright) दोनों के नियन्त्रित उच्चिष्ठ बैण्ड (band) प्राप्त किये जाते हैं।

P बिन्दु पर प्रकाश की तीव्रता, फ्रॉनहोफर विवर्तन के सिद्धान्त (Theory of Fraunhofer Diffraction) को एक एकल स्लिट पर प्रयुक्त करके ज्ञात की जा सकती है। $\theta°$ दिशा के अनुदिश एक स्लिट में जो तरंगाग्र सभी बिन्दुओं से शुरू होती है, स्लिट के मध्य बिन्दु से शुरू होने वाली $\left(A\sin\frac{\alpha}{\alpha}\right)$ आयाम की एकल तरंग के बराबर होती है।

ग्रेटिंग की विक्षेपण क्षमता किसी ग्रेटिंग की विक्षेपण क्षमता तरंगदैर्घ्य के कोणीय हटाव से है, अर्थात् $\frac{d\theta}{d\lambda}$ से है। ग्रेटिंग के लिए $(a + b)\sin\theta = n\lambda$ में θ, nवें क्रम के स्पेक्ट्रम का विवर्तन कोण है। λ के सापेक्ष अवकलित करने पर,

$$(a + b)\cos\theta\frac{d\theta}{d\lambda} = n \quad \text{या} \quad \frac{d\theta}{d\lambda} = \frac{n}{(a + b)\cos\theta}$$

जो दर्शाता है कि विक्षेपण क्षमता n के क्रम से बढ़ती है तथा $(a + b)$ या ग्रेटिंग तत्त्व (grating element) को कम करने से भी बढ़ती है।

ग्रेटिंग की विभेदन क्षमता किसी ग्रेटिंग द्वारा दो निकटवर्ती तरंगदैर्घ्यों की भिन्न स्पेक्ट्रमी (spectrumy) लाइनें बनाने (या विभेदित करने) की क्षमता को विभेदन क्षमता कहते हैं। इसे $\lambda/d\lambda$ द्वारा दर्शाया जाता है। यहाँ पर $d\lambda$ ग्रेटिंग पर समान्तर रूप से पड़ने वाली दो प्रकाश तरंगों के मध्य सूक्ष्मतम तरंगदैर्घ्य अन्तर है। $d\lambda$ का मान जितना कम होगा, उतनी ही ग्रेटिंग की विभेदन क्षमता अधिक होगी।

$$\text{विभेदन क्षमता, } \frac{\lambda}{d\lambda} = Nn$$

जहाँ N = ग्रेटिंग में कुल लाइनों की संख्या

n = उच्चिष्ठ स्पेक्ट्रम का क्रम होता है।

सूत्र से यह स्पष्ट है कि विभेदन क्षमता N तथा n दोनों के बढ़ने से बढ़ती है।

प्रश्न 16. यंग के प्रयोग में दो स्लिट्स के मध्य दूरी 0.2 मिमी है। जब स्लिट्स पर 6000 Å का प्रकाश डाला जाता है तो स्लिट्स से 1 मीटर की दूरी पर स्थित, पर्दे पर प्राप्त फ्रिन्जों की चौड़ाई ज्ञात कीजिए।

हल दिया है, $d = 0.2$ मिमी $= 2 \times 10^{-4}$ मीटर, $D = 1$ मीटर

$$\lambda = 6000\text{ Å} = 6000 \times 10^{-10} = 6 \times 10^{-7} \text{ मीटर}$$

फ्रिन्जों की चौड़ाई, $$\beta = \frac{D\lambda}{d} = \frac{1 \times (6 \times 10^{-7})}{2 \times 10^{-4}} = 3 \times 10^{-3} \text{ मीटर} = \mathbf{3 \text{ मिमी}}$$

प्रश्न 17. यंग के प्रयोग में लाल प्रकाश ($\lambda = 6600$ Å) प्रयुक्त करने पर दृष्टि क्षेत्र में 60 फ्रिन्जें दिखाई पड़ती हैं। वैंगनी प्रकाश ($\lambda = 4400$ Å) प्रयुक्त करने पर कितनी फ्रिन्जें दिखाई पड़ेंगी?

हल चूँकि लाल प्रकाश ($\lambda = 6600$ Å) प्रयोग करने पर 60 फ्रिन्जें दिखाई पड़ती हैं, अत: दृष्टि क्षेत्र का विस्तार $60 \times \beta = 60 \times \frac{D\lambda}{d}$ होगा। वैंगनी प्रकाश ($\lambda' = 4400$ Å) प्रयुक्त करने पर यदि n फ्रिन्जें दिखाई पड़ें तो

$$\text{दृष्टि क्षेत्र का विस्तार} = \frac{nD\lambda'}{d}$$

$\therefore$ $$60 \times \frac{D\lambda}{d} = n\frac{D\lambda'}{d} \quad \text{या} \quad 60 \times \lambda = n\lambda' \quad \text{या} \quad n = \frac{60 \times \lambda}{\lambda'}$$

अत: फ्रिन्जों की संख्या $$n = 60 \times \frac{6600}{4400} = \mathbf{90}$$

Scanned with CamScanner

प्रश्न 18. **5721.24 Å तथा 5721.85 Å तरंगदैर्घ्य की दो रेखाओं को विभेदित करने के लिए, किसी डिफ्रेक्शन ग्रेटिंग की विभेदन क्षमता क्या होगी?**

हल विभेदन क्षमता $= \frac{\lambda}{d\lambda}$

यहाँ $\lambda =$ औसत तरंगदैर्घ्य $= \frac{5721.24 + 5721.85}{2} = 5721.54$

$d\lambda = 5721.85 - 5721.24 = 0.61$ Å

अत: ग्रेटिंग की विभेदन क्षमता $= \frac{\lambda}{d\lambda} = \frac{5721.54}{0.61} = \mathbf{9380}$

प्रश्न 19. **एक ही आवृत्ति की दो तरंगों के आयाम 2 : 1 के अनुपात में हैं। व्यतिकरण क्षेत्र में कम्पनों के महत्तम व न्यूनतम आयामों तथा तीव्रताओं का अनुपात ज्ञात कीजिए।**

हल माना दोनों तरंगों के आयाम क्रमश: a_1 व a_2 हैं।

तो $A_{max} = (a_1 + a_2)$ तथा $A_{min} = (a_1 - a_2)$

दिया है $\frac{a_1}{a_2} = \frac{2}{1}$ या $a_1 = 2a_2$

$\therefore \quad \frac{A_{max}}{A_{min}} = \frac{a_1 + a_2}{a_1 - a_2}$ या $\frac{A_{max}}{A_{min}} = \frac{2a_2 + a_2}{2a_2 - a_2} = \frac{3a_2}{a_2} = \frac{3}{1}$

$= \mathbf{3 : 1}$

प्रश्न 20. **दो तरंगों की तीव्रताओं का अनुपात 16 : 9 है। उनके आयामों का अनुपात क्या है? यदि दोनों तरंगें व्यतिकरण करें तो महत्तम एवं न्यूनतम तीव्रताओं का अनुपात क्या होगा?**

हल माना तरंगों के आयाम तथा उनकी तीव्रताएँ क्रमश: a_1, a_2 व I_1, I_2 हैं।

दिया है, $I_1 : I_2 = 16 : 9$

$\therefore \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{a_1^2}{a_2^2} = \frac{16}{9} \quad \therefore \quad \frac{a_1}{a_2} = \frac{4}{3}$ अत: $a_1 = \frac{4}{3}a_2$

सूत्र $\frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{(a_1 + a_2)^2}{(a_1 - a_2)^2}$ से, $\frac{I_{max}}{I_{min}} = \frac{\left(\frac{4}{3}a_2 + a_2\right)^2}{\left(\frac{4}{3}a_2 - a_2\right)^2} = \frac{(7)^2}{(1)^2} = \frac{49}{1} = \mathbf{49 : 1}$

प्रश्न 21. **दो स्रोतों से निर्गत प्रकाश तरंग की तीव्रताएँ I तथा $4I$ हैं। उस विन्दु पर तीव्रता ज्ञात कीजिए, जहाँ (i) कलान्तर शून्य हो, (ii) कलान्तर π हो तथा (iii) पथान्तर $\frac{\lambda}{4}$ हो।**

हल हम जानते हैं कि, परिणामी तीव्रता $I_R = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 \times I_2}\cos\phi$

यहाँ $I_1 = I, \quad I_2 = 4I$ तथा $\phi =$ कलान्तर है

$\therefore \quad I_R = I + 4I + 2\sqrt{I \times 4I}\cos\phi = I(5 + 4\cos\phi)$

(i) $\phi = 0°$ तो $\cos 0° = +1, \quad \therefore \quad I_R = I(5 + 4 \times 1) = 9I$

(ii) $\phi = \pi$ तो $\cos\pi = -1, \quad \therefore \quad I_R = I[5 + 4(-1)] = I$

(iii) कलान्तर $\phi = \frac{2\pi}{\lambda}x = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{\lambda}{4} = \frac{\pi}{2}$, इसलिए $\cos\frac{\pi}{2} = 0$

अत: $I_R = I(5 + 4 \times 0) = \mathbf{5I}$

प्रश्न 22. **दो प्रकाश तरंगें जिनकी तीव्रताओं का अनुपात 9 : 4 है, व्यतिकरण उत्पन्न करती हैं। दीप्त तथा अदीप्त फ्रिन्जों की तीव्रताओं का अनुपात ज्ञात कीजिए।**

हल दिया है, दो प्रकाश तरंगो की तीव्रताओं का अनुपात $= 9 : 4$

दीप्त तथा अदीप्त फ्रिन्जों की तीव्रताओं का अनुपात = ?

$I_1 : I_2 = 9 : 4$ या $\frac{I_1}{I_2} = \frac{9}{4}$

प्रकाश तरंगों की तीव्रताओं का अनुपात, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{(f_1)^2}{(f_2)^2}$ या $\frac{(f_1)^2}{(f_2)^2} = \frac{9}{4}$

या $\frac{f_1}{f_2} = \sqrt{\frac{9}{4}} = \frac{3}{2}$ या $f_2 = \frac{2}{3}f_1$

माना दीप्त फ्रिन्जों की तीव्रता I_{max} है तथा अदीप्त फ्रिन्जों की तीव्रता I_{min} है।

तब $I_{max} = (f_1 + f_2)^2 = \left(f_1 + \frac{2}{3}f_1\right)^2$

$= f_1^2 + \frac{4}{9}f_1^2 + 2f_1\frac{2}{3}f_1 = \frac{25f_1^2}{9}$

इसी प्रकार, $I_{min} = (f_1 - f_2)^2 = \frac{f_1^2}{9}$

दीप्त तथा अदीप्त फ्रिन्जों की तीव्रताओं का अनुपात $= I_{max} : I_{min} = \frac{25f_1^2}{9} : \frac{f_1^2}{9}$

$I_{max} : I_{min} = \mathbf{25 : 1}$

प्रश्न 23. **पोलेरॉइड क्या है? यह किस प्रकार कार्य करता है? I_0 तीव्रता का ध्रुवित प्रकाश एक पोलेरॉइड पर पड़ता है जिसकी परिगमन अक्ष आपाती कम्पनों से 30° कोण बनाती है। पोलेरॉइड से निर्गत प्रकाश की तीव्रता ज्ञात कीजिए।** (2012)

उत्तर **पोलेरॉइड** यह समतल ध्रुवित प्रकाश उत्पन्न करने की एक ऐसी सस्ती एवं सुविधाजनक विधि है, जो वरणात्मक अवशोषण या डाइक्रोइस्म की घटना पर आधारित होती है।

जब अध्रुवित प्रकाश की एक किरण एक टूरमैलीन प्लेट के अन्दर अपवर्तित होती है, तब यह दो समतल ध्रुवित O तथा E किरणों में विभक्त हो जाती है। इन दोनों किरणो के कम्पन परस्पर अभिलम्बवत् तलों में होते हैं। इनमे से O किरण प्लेट द्वारा रोक दी जाती है तथा E किरण बाहर निकल जाती है। अत: क्रिस्टल से निर्गत् प्रकाश पूर्णत: समतल ध्रुवित होता है। पोलेरॉइड इसी सिद्धान्त पर कार्य करता है।

पोलेरॉइड से निर्गत् प्रकाश की तीव्रता $I = I_0\cos^2\theta$

$I = I_0 \times (\cos 30°)^2$

$= I_0 \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 = I_0 \times \frac{3}{4} \Rightarrow I = \mathbf{\frac{3}{4}I_0}$

प्रश्न 24. **I_0 तीव्रता का ध्रुवित प्रकाश एक पोलेरॉइड पर लम्बवत् पड़ता है। यदि आपाती कम्पन पोलेरॉइड के निर्गत् अक्ष से 60° का कोण बनाता है तो निकलने वाले प्रकाश की तीव्रता ज्ञात कीजिए।** (2017)

हल दिया है, I_0 तीव्रता का ध्रुवित प्रकाश एक पोलेराइड पर लम्बवत् पड़ता है तो,

पोलेरॉइड से निर्गत् प्रकाश की तीव्रता $I = I_0\cos^2\theta$

$I = I_0 \times (\cos 60°)^2$

Scanned with CamScanner

$$I = I_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 \qquad [\because \cos 60^\circ = \frac{1}{2}]$$

$$I = \frac{I_0}{4}$$

प्रश्न 25. दो पोलेरॉइड्स की अक्षें एक-दूसरे से 30° के कोण पर हैं। दूसरे पोलेरॉइड से निकलने वाले प्रकाश की तीव्रता पहले पोलेरॉइड पर आपतित प्रकाश की तीव्रता की कितने प्रतिशत होगी?

हल माना पहले पोलेरॉइड पर आपतित अध्रुवित प्रकाश की तीव्रता I_0 है तो मैलस के नियम से पहले पोलेरॉइड से निर्गत् प्रकाश की तीव्रता सदैव आधी हो जाती है। इसलिए

$$I_1 = \frac{I_0 \cos^2\theta}{} = \frac{I_0}{2}$$

अब $\frac{I_0}{2}$ तीव्रता का प्रकाश दूसरे पोलेरॉइड पर आपतित है, इसीलिए दूसरे पोलेरॉइड से निर्गत् प्रकाश की तीव्रता

$$I_2 = I_1 \cos^2\theta = \frac{I_0}{2} \times \cos^2 30^\circ$$

या $$I_2 = \frac{I_0}{2} \times \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)^2 = \frac{I_0}{2} \times \frac{3}{4} = \frac{3I_0}{8}$$

अत: निर्गत् प्रकाश की प्रतिशत तीव्रता $= \frac{I_2}{I_0} \times 100 = \frac{\frac{3I_0}{8}}{I_0} \times 100 = \mathbf{37.5\%}$

प्रश्न 26. यदि स्लिट की चौड़ाई 0.1 मिमी हो और प्रयुक्त तरंगदैर्घ्य 5800 Å हो तो केन्द्रीय दीप्त फ्रिन्ज की चौड़ाई की गणना कीजिए। (2013, 17)

हल फ्रॉनहोफर विवर्तन में एकल स्लिट के लिए प्रथम निम्नित्त

$$a \sin\theta = m\lambda$$

यहाँ $a = 0.1$ मिमी $= 10^{-4}$ मी, $\lambda = 5800$ Å $= 5800 \times 10^{-10}$ m, $m = 1$ (प्रथम निम्नित्त)

$$\sin\theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{5800 \times 10^{-10}}{10^{-4}} = 5800 \times 10^{-6}$$

$$\sin\theta = 0.0058$$

$$\Rightarrow \quad \theta = \sin^{-1}(0.0058) = 0.33232 \text{ रेडियन}$$

केन्द्रीय दीप्त फ्रिन्ज की चौड़ाई $2\theta = \mathbf{0.66464}$ रेडियन

प्रश्न 27. प्रकाश के व्यतिकरण से आप क्या समझते हैं? (2014, 17)

उत्तर **प्रकाश का व्यतिकरण** किन्हीं दो प्रकाश तरंगों के किसी माध्यम में अध्यारोपण से प्रकाश ऊर्जा का असमान वितरण प्रकाश का व्यतिकरण कहलाता है। माध्यम के कुछ बिन्दुओं को प्रकाश तीव्रता सदैव अधिकतम होती है तथा कुछ बिन्दुओं की प्रकाश तीव्रता सदैव न्यूनतम होती है। समान आयाम की स्थिति में न्यूनतम प्रकाश तीव्रता शून्य होती है। इस प्रकार स्क्रीन पर अधिकतम प्रकाश तीव्रता तथा न्यूनतम प्रकाश तीव्रता (या शून्य प्रकाश तीव्रता) की क्रमागत (alternate) पट्टियाँ (bands) दिखाई पड़ती हैं, जिन्हें व्यक्तिकरण फ्रिन्ज (fringe) कहते हैं। इसलिए दो कला सम्बद्ध प्रकाश स्रोत से निकलने वाले प्रकाश के अध्यारोपण से प्रकाश ऊर्जा का पुनर्वितरण प्रकाश का व्यतिकरण कहलाता है।

प्रश्न 28. स्नैल के नियम को स्पष्ट कीजिए।

उत्तर **स्नैल का नियम** किन्हीं दो माध्यमों के लिए तथा किसी निश्चित तरंगदैर्घ्य के प्रकाश के लिए, आपतन कोण की ज्या (sin) तथा अपवर्तन कोण की ज्या (sin) का अनुपात एक नियतांक होता है। यदि आपतन कोण i तथा अपवर्तन कोण r है, तब

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \text{नियतांक।}$$

इस नियम को 'स्नैल का नियम' (Snell's law) भी कहते हैं। इस नियतांक को पहले माध्यम के सापेक्ष दूसरे माध्यम का 'अपवर्तनांक' (refractive index) कहते हैं। यदि पहले माध्यम को 1 से तथा दूसरे को 2 से प्रदर्शित किया जाये तो अपवर्तनांक को ${}_1n_2$ से प्रदर्शित किया जाता है। इस प्रकार—

$$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_1n_2$$

यदि प्रकाश का मार्ग उल्टा हो जाये तो प्रकाश के उत्क्रमणीयता (reversibility) के सिद्धान्त से,

$$\frac{\sin r}{\sin i} = {}_2n_1$$

$$\therefore \quad {}_1n_2 \times {}_2n_1 = 1$$

अथवा $$ {}_1n_2 = \frac{1}{{}_2n_1}$$

यदि तीन माध्यम 1, 2 व 3 हों, तब

$${}_1n_2 \times {}_2n_3 \times {}_3n_1 = 1$$

यदि माध्यम 1 वायु हो, माध्यम 2 जल हो तथा माध्यम 3 काँच हो, तब

$${}_an_w \times {}_wn_g \times {}_gn_a = 1$$

अथवा $$ {}_wn_g = \frac{1}{{}_an_w \times {}_gn_a} = \frac{{}_an_g}{{}_an_w}$$

प्रश्न 29. लेन्स की क्षमता (Power of Lens) के लिए सूत्र की व्युत्पत्ति कीजिए।

उत्तर **लेन्स की क्षमता** Power of Lens लेन्स का कार्य प्रकाश की किरणों को मुख्य अक्ष की ओर (उत्तल लेन्स से) अथवा उससे दूर (अवतल लेन्स से) मोड़ने का है। कोई लेन्स प्रकाश की किरणों को जितना अधिक मोड़ता है, उसकी क्षमता उतनी ही अधिक कहलाती है। हम जानते हैं कि किसी लेन्स की फोकस-दूरी जितनी कम होगी वह प्रकाश की किरणों को उतना ही अधिक मोड़ेगा, अर्थात् उसकी क्षमता उतनी ही अधिक होगी।

किसी लेन्स की क्षमता (P) लेन्स की फोकस-दूरी के प्रतिलोम (reciprocal) के बराबर होती है, जबकि फोकस-दूरी मीटर में नापी जाती है, अत:

$$P = \frac{1}{f}$$

जहाँ f का मान मीटर में है। लेन्स-क्षमता का मात्रक 'डायोप्टर' (dioptre) होता है। 1 डायोप्टर उस लेन्स की क्षमता है जिसकी फोकस-दूरी 1 मीटर है।

यदि लेन्स की फोकस-दूरी f का मान सेमी में दिया हो, तब

$$f \text{ सेमी} = \frac{f}{100} \text{ मीटर;}$$

अत: $$P = \frac{1}{f/100} = \frac{100}{f} \text{ डायोप्टर।}$$

चिह्न परिपाटी के अनुसार, उत्तल लेन्स की फोकस-दूरी धनात्मक होती है, अत: इसकी क्षमता भी धनात्मक होती है। अवतल लेन्स की क्षमता ऋणात्मक होती है।

प्रश्न 30. रेखीय आवर्धन किसे कहते हैं? गोलीय दर्पण में बने प्रतिबिम्ब के रेखीय आवर्धन के लिए सूत्र $m = -\frac{v}{u}$ स्थापित कीजिए।

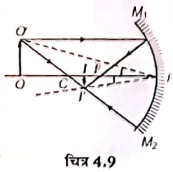
उत्तर **रेखीय आवर्धन** Linear Magnification प्रतिबिम्ब की लम्बाई तथा वस्तु की लम्बाई के अनुपात को रेखीय आवर्धन (m) कहते हैं, जबकि दोनों लम्बाइयाँ मुख्य अक्ष के लम्बवत् नापी गई हों। चूँकि मुख्य अक्ष के ऊपर की

Scanned with CamScanner

दूरियाँ धनात्मक तथा नीचे की दूरियाँ ऋणात्मक ली जाती हैं, अतः सीधे प्रतिबिम्बों के लिये आवर्धन धनात्मक तथा उल्टे प्रतिबिम्बों के लिये ऋणात्मक होता है।

चित्र 4.9

आवर्धन के लिये सूत्र माना कि M_1M_2 (देखें चित्र 3.9) एक अवतल दर्पण है। इसका ध्रुव P, मुख्य फोकस F तथा वक्रता-केन्द्र C है। इसके मुख्य अक्ष पर एक वस्तु OO' रखी है जिसका उल्टा तथा वास्तविक प्रतिबिम्ब II' बनता है। अतः वस्तु की नोक O' से चलने वाली किरण $O'P$, परावर्तन के पश्चात् प्रतिबिम्ब की नोक I' से होकर जायेगी। चूँकि अक्ष PO, दर्पण के बिन्दु P पर अभिलम्ब है, अतः $\angle O'PO$ आपतन कोण तथा $\angle OPI'$ परावर्तन कोण होगा।



अब $\angle O'PO = \angle OPI'$ (परावर्तन का नियम)

$\angle POO' = \angle PII'$ (समकोण है)

अतः $\Delta OO'P$ तथा $\Delta II'P$ समकोणिक है। $\dfrac{II'}{OO'} = \dfrac{PI}{PO}$

माना कि $II' = -y_2$, $OO' = +y_1$, $PI = -v$ तथा $PO = -u$ (चिह्न परिपाटी के अनुसार y_1 धनात्मक और u, v तथा y_2 ऋणात्मक है)। तब

$$\frac{-y_2}{y_1} = \frac{-v}{-u}$$

अतः आवर्धन $$m = \frac{y_2}{y_1} = -\frac{v}{u}$$

उत्तल दर्पण के लिए भी आवर्धन का यही सूत्र होगा।

प्रश्न 31. प्रकाश के व्यतिकरण से क्या तात्पर्य है? इसके लिए आवश्यक प्रतिबन्ध क्या है?

उत्तर समान आवृत्ति की दो प्रकाश-तरंगें जिनके आयाम समान हों, जब किसी माध्यम में एक साथ चलती हैं तो माध्यम के विभिन्न बिन्दुओं पर प्रकाश की तीव्रता उन तरंगों की अलग-अलग तीव्रताओं के योग से भिन्न होती है। कुछ स्थानों पर प्रकाश की तीव्रता न्यूनतम (लगभग शून्य) होती है, जबकि कुछ स्थानों पर प्रकाश की तीव्रता अधिकतम होती है। प्रकाश-तरंगों की इस घटना को **प्रकाश का व्यतिकरण** कहते हैं। जिन स्थानों पर तीव्रता न्यूनतम होती है, उन स्थानों पर हुए व्यतिकरण को **'विनाशी-व्यतिकरण'** तथा जिन स्थानों पर तीव्रता अधिकतम होती है, उन स्थानों पर हुए व्यतिकरण को **'संपोषी व्यतिकरण'** कहते हैं।

प्रकाश के व्यतिकरण के लिए आवश्यक शर्तें—प्रकाश के व्यतिकरण के लिए आवश्यक शर्तें निम्नलिखित हैं—

(i) दोनों प्रकाश-स्रोत **'कला सम्बन्ध'** होने चाहिए, अर्थात् दोनों स्रोतों से प्राप्त तरंगों के बीच कलान्तर समय के साथ स्थिर रहना चाहिए।

(ii) दोनों तरंगों की आवृत्तियाँ (अथवा तरंगदैर्ध्य) बराबर होनी चाहिए।

(iii) दोनों तरंगों के आयाम बराबर होने चाहिए।

(iv) प्रकाश के दोनों स्रोतों के बीच दूरी बहुत कम होनी चाहिए जिससे दोनों तरंगाग्र एक ही दिशा में चलें और फ्रिन्जें अधिक चौड़ी बनें।

(v) दोनों प्रकाश-स्रोत बहुत संकीर्ण होने चाहिए।

4 स्थिर वैद्युतिकी
(Electrostatics)

खण्ड 'अ' : अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. आवेश से आप क्या समझते है?

उत्तर द्रव्य का वह गुण जिसके कारण वैद्युत तथा चुम्बकीय प्रभाव उत्पन्न तथा अनुभव किये जाते हैं, आवेश कहलाता है।

प्रश्न 2. आवेश के प्रकार लिखिए।

उत्तर आवेश निम्न दो प्रकार का होता है—
(i) ऋणात्मक आवेश तथा (ii) धनात्मक आवेश

प्रश्न 3. वैद्युत आवेश का मात्रक लिखिए।

उत्तर वैद्युत आवेश का मात्रक ऐम्पियर-सेकण्ड है।

प्रश्न 4. मूल आवेश को परिभाषित कीजिए।

उत्तर वह छोटे से छोटा आवेश जो किसी भी आवेशित कण पर हो, मूल आवेश कहलाता है।

प्रश्न 5. यदि किसी आवेशित संधारित्र की प्लेटों को ताँबे के तार से जोड़ दें तो क्या होगा?

उत्तर संधारित्र निरावेशित हो जाएगा।

प्रश्न 6. धातु का बड़ा गोला, दूसरे बाहरी छोटे गोले से तार द्वारा जुड़ा है। इस समायोजन को कुछ आवेश दिया जाता है। किस गोले पर आवेश अधिक होगा?

उत्तर बड़े गोले पर, क्योंकि इसकी धारिता ($4\pi\varepsilon_0 R$) अधिक होगी।

प्रश्न 7. आवेशित संधारित्र में संचित ऊर्जा किस रूप में रहती है।

उत्तर आवेशित संधारित्र की ऊर्जा, संधारित्र की प्लेटो के बीच विद्युत क्षेत्र के रूप में संचित रहती है।

प्रश्न 8. यदि एक वायु संधारित्र में N प्लेटें हों व दो समीपवर्ती प्लेटों के बीच दूरी d हो तो संधारित्र की धारिता का सूत्र लिखिए।

उत्तर $C = \dfrac{(N-1)\varepsilon_0 A}{d}$ फैरड

प्रश्न 9. संधारित्र की धारिता को कैसे बढ़ा सकते है?

उत्तर संधारित्र की धारिता को प्लेटों का क्षेत्रफल बढ़ाकर, प्लेटों के बीच की दूरी कम करके तथा प्लेटों के बीच परावैद्युत माध्यम भरकर बढ़ा सकते हैं।

प्रश्न 10. R त्रिज्या के धातु के खोखले गोले की धारिता का सूत्र बताइए।

उत्तर $C = 4\pi\varepsilon_0 R$ फैरड।

प्रश्न 11. यदि किसी बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र शून्य हो तो क्या उस बिन्दु पर विद्युत विभव भी शून्य होगा?

उत्तर नहीं।

प्रश्न 12. यदि किसी आवेश पर विद्युत बल-रेखाएँ आकर मिलती हैं तो इस आवेश की प्रकृति बताइए।

उत्तर ऋणात्मक।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 13. दो समान व बराबर आवेश एक-दूसरे से कुछ दूरी पर रखे हैं तो इनकी विद्युत स्थितिज ऊर्जा कितनी होगी?

उत्तर $U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q^2}{r}\right)$ जूल होगी।

प्रश्न 14. कूलॉम नियम का गणितीय रूप लिखिए।

उत्तर $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Qq}{d^2}$ न्यूटन।

जहाँ, Q व q दो आवेश हैं तथा d दूरी है।

प्रश्न 15. किसी समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता, परावैद्युत माध्यम भर देने पर घट या बढ़ जाती है?

उत्तर बढ़ जाती है, $\because C' = \frac{K\varepsilon_0 A}{d}$.

प्रश्न 16. समय स्थिरांक CR की विमा लिखिए।

उत्तर CR की विमा = समय की विमा $= [T]$

प्रश्न 17. समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता का सूत्र लिखिए।

उत्तर $C = \frac{KA\varepsilon_0}{d}$ फैरड।

प्रश्न 18. पृथ्वी का विद्युत विभव शून्य होता है, स्पष्ट कीजिए।

उत्तर पृथ्वी की धारिता अनन्त होती है।

$\therefore \quad q = CV$ से, $\quad V = \frac{q}{C} = \frac{q}{\infty} = 0$

प्रश्न 19. किसी आवेशित चालक की धारिता C फैरड तथा आवेश q के कारण उसमें संचित ऊर्जा का व्यंजक लिखिए।

उत्तर $U = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}$

प्रश्न 20. दो संधारित्र C_1 व C_2 धारिता के श्रेणी क्रम में जोड़े गए हैं। तुल्य धारिता लिखिए।

उत्तर तुल्य धारिता $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$

प्रश्न 21. धारिता का मात्रक व विमीय सूत्र लिखिए।

उत्तर मात्रक-फैरड तथा विमीय सूत्र $[M^{-1}L^{-2}T^4A^2]$

प्रश्न 22. विभव प्रवणता का मात्रक बताइए?

उत्तर वोल्ट/मीटर।

प्रश्न 23. एक प्रोटॉन को दूसरे प्रोटॉन के पास ले जाने पर निकाय की स्थितिज ऊर्जा में क्या परिवर्तन होगा?

उत्तर बढ़ जाएगी।

प्रश्न 24. विद्युत फ्लक्स किसे कहते हैं?

उत्तर विद्युत फ्लक्स वह राशि है जिससे यह ज्ञात होता है कि किसी क्षेत्र से कितनी बल-रेखाएँ गुजर रही हैं। इसे ϕ से प्रदर्शित करते हैं। $\phi = E\cos 0$

प्रश्न 25. विन्दु आवेश Q के कारण विद्युत क्षेत्र की तीव्रता तथा विद्युत विभव, दूरी d के साथ कैसे बदलती है?

उत्तर विद्युत क्षेत्र $E \propto \frac{1}{d^2}$ अतः, विद्युत विभव $V \propto \frac{1}{d}$.

प्रश्न 26. यदि एक गोले को धनावेशित किया जाता है तो इसके द्रव्यमान में क्या अन्तर होगा?

उत्तर चूँकि इलेक्ट्रॉन द्रव्यमान कण है। अतः जब गोले में से इलेक्ट्रॉन निकल जाते हैं तो गोला धनावेशित हो जाता है तथा गोले का द्रव्यमान कम हो जाता है।

प्रश्न 27. आवेश का क्वाण्टाइजेशन समझाइए।

उत्तर जब इलेक्ट्रॉन का आदान-प्रदान होता है तो इलेक्ट्रॉन की संख्या सदैव पूर्णांक होती है। इस गुण को आवेश का क्वाण्टाइजेशन कहते हैं अर्थात् $Q = \pm ne$.

प्रश्न 28. 'K' परावैद्युतांक से भरे समानान्तर पट्ट संधारित्र की धारिता का सूत्र लिखिए। (2017)

उत्तर $C = \frac{A\varepsilon_0}{(d-t)+t/K}$

प्रश्न 29. वैद्युत क्षेत्र को परिभाषित कीजिए।

उत्तर किसी आवेश या आवेश समुदाय के चारों ओर का वह क्षेत्र जिसमें कोई अन्य आवेश वैद्युत बल का अनुभव करता है, वैद्युत क्षेत्र कहलाता है।

प्रश्न 30. संधारित्र किसे कहते हैं?

उत्तर संधारित्र एक ऐसा समायोजन है जिसमें किसी चालक के आकार में परिवर्तन किये बिना उस पर आवेश की पर्याप्त मात्रा संचित की जा सकती है।

प्रश्न 31. संधारित्र की धारिता की परिभाषा लिखिए।

उत्तर किसी संधारित्र की धारिता, उसकी एक प्लेट को दिए गए आवेश तथा दोनों प्लेटों के बीच उत्पन्न विभवान्तर के अनुपात के बराबर होती है।

अर्थात् संधारित्र की धारिता $C = \frac{q}{V}$.

प्रश्न 32. M.K.S. पद्धति में धारिता की विमा लिखिए। इसका मात्रक क्या है?

उत्तर धारिता की विमा $[M^{-1}L^{-2}T^4A^2]$ तथा मात्रक फैरड है।

प्रश्न 33. संधारित्र में साधारणतया प्रयुक्त होने वाले किन्हीं दो परावैद्युत पदार्थों के नाम लिखिए।

उत्तर अभ्रक व काँच।

प्रश्न 34. क्या वैद्युत क्षेत्र में दो बल-रेखाएँ एक-दूसरे को काट सकती है?

उत्तर नहीं। क्योंकि, यदि काटती हैं तो उस विन्दु (कटान-विन्दु) पर दो स्पर्श-रेखाएँ खींची जा सकती हैं जिसका अर्थ होगा कि एक ही विन्दु पर विद्युत क्षेत्र की दो दिशाएँ हैं जो असम्भव हैं।

प्रश्न 35. गौसियन पृष्ठ क्या है? (2019)

उत्तर स्थिर वैद्युतिकी में किसी काल्पनिक बन्द पृष्ठ को 'गौसियन पृष्ठ' कहते हैं।

प्रश्न 36. निर्वात् के लिए परावैद्युतांक का क्या मान होता है? (2019)

उत्तर किसी परिच्छेद से प्रति सेकण्ड 6.25×10^{18} इलेक्ट्रॉन गुजरे तो उत्पन्न धारा 1 ऐम्पियर होती है।

बहुपिकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 1. निम्न में वैद्युत धारिता का मात्रक कौन है? (2019)

(अ) कूलॉम (ब) वोल्ट (स) कूलॉम/वोल्ट

उत्तर (स) कूलॉम/वोल्ट

प्रश्न 2. तीन प्रतिरोध समान्तर क्रम में जुड़े हैं, इनके लिए कौन-सी भौतिक राशि समान है? (2019)

(अ) वैद्युत धारा (ब) वैद्युत शक्ति (स) विभवान्तर

उत्तर (स) विभवान्तर

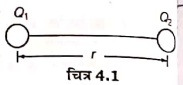
खण्ड 'ब' : लघु एवं दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. कूलॉम का नियम बताइए तथा ε_0 का मात्रक व विमा लिखिए।

उत्तर सन् 1785 में कूलॉम (Coulomb) ने अनेक प्रयोगों के आधार पर दो आवेशों के बीच कार्य करने वाले आकर्षण या प्रतिकर्षण बल के सम्बन्ध में एक नियम दिया, जिसे कूलॉम का नियम (या कूलॉम का व्युत्क्रम नियम) कहते हैं। इसके अनुसार, "**किन्हीं दो स्थिर विन्दु आवेशों के मध्य लगने वाला आकर्षण अथवा प्रतिकर्षण बल, दोनों आवेशों की मात्राओं के गुणनफल के अनुक्रमानुपाती** (directly propor...) **तथा उनके बीच की दूरी के**

Scanned with CamScanner

वर्ग के व्युत्क्रमानुपाती (inversely proportional) होता है। इस बल की दिशा उन आवेशों को मिलाने वाली रेखा के अनुदिश होती है।''



चित्र 4.1

यदि दो विन्दु-आवेश Q_1 व Q_2 एक-दूसरे से r दूरी पर हों तो उनके मध्य लगने वाला (चित्र 4.1) वल F, कूलॉम के नियमानुसार,

$$F \propto Q_1Q_2 \quad ...(i)$$

और

$$F \propto \frac{1}{r^2} \quad ...(ii)$$

द्वितीय नियम के आधार पर इसे कूलॉम का व्युत्क्रम नियम भी कहते हैं। समीकरण (i) व (ii) को मिलाने पर,

$$F \propto \frac{Q_1Q_2}{r^2} = k\frac{Q_1Q_2}{r^2} \quad ...(iii)$$

जहाँ k एक स्थिरांक है, प्रयोगों द्वारा जिसका मान 9.0×10^9 न्यूटन-मी^{2}-कूलॉम$^{-2}$ आता है। इस समानुपाती स्थिरांक को निर्वात् या वायु के लिए $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$ लिखा जाता है।

अत:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q_1Q_2}{r^2} \text{ न्यूटन} \quad ...(iv)$$

जहाँ ε_0 (एपसाइलन जीरो) = रिक्त स्थान या निर्वात् की विद्युतशीलता (permittivity of free space or vacuum)

ε_0 का मान तथा मात्रक

$\because$

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.0 \times 10^9 \text{ न्यूटन-मी}^2\text{-कूलॉम}^{-2}$$

$\therefore$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9.0 \times 10^9 \text{ न्यूटन-मी}^2\text{-कूलॉम}^{-2}}$$

$$= \frac{1}{4 \times 3.14 \times 9.0 \times 10^9} \text{ कूलॉम}^2\text{- न्यूटन}^{-1}\text{- मी}^{-2}$$

$$= 8.85 \times 10^{-12} \text{ कूलॉम}^2\text{ - न्यूटन}^{-1}\text{ - मी}^{-2}$$

ε_0 का विमीय सूत्र

समीकरण (iv) से,

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi}\frac{Q_1 \times Q_2}{F \times r^2} \text{ न्यूटन}$$

$\therefore$

$$\varepsilon_0 \text{ की विमा} = \frac{(Q_1 \text{ की विमा})(Q_2 \text{ की विमा})}{(F \text{ की विमा})(r \text{ की विमा})^2}$$

$$= \frac{[AT][AT]}{[MLT^{-2}][L^2]} = \frac{[A^2T^2]}{[ML^3T^{-2}]} = [M^{-1}L^{-3}T^4A^2]$$

प्रश्न 2. वैद्युत विभवान्तर (Electric Potential Difference) को परिभाषित कीजिए तथा इसके लिए सूत्र की व्युत्पत्ति कीजिए।

उत्तर **विद्युत विभवान्तर** Electric Potential—वैद्युत क्षेत्र में किसी परीक्षण आवेश को एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक ले जाने में किए गए कार्य तथा परीक्षण आवेश के मान की निष्पत्ति को उन बिन्दुओं के बीच विभवान्तर कहते हैं।

सूत्र की व्युत्पत्ति—माना $+q$ एक धन आवेश है जिसके कारण उसके चारों ओर एक वैद्युत क्षेत्र है। यदि इस क्षेत्र में कोई अन्य आवेश $+q_0$ हो तो उस पर $+q$ के कारण वैद्युत प्रतिकर्षण वल F लगता है। अत: यदि हम परीक्षण आवेश को बिन्दु B से विन्दु A तक ले जाएँ तो हमें प्रतिकर्षण वल के विरुद्ध कार्य करना पड़ेगा। यदि परीक्षण आवेश q_0 को बिन्दु B से A तक ले जाने में किया गया कार्य W हो तो विन्दु A एवं B के बीच विभवान्तर

$$V_A - V_B = \frac{W}{q_0}$$

$\therefore$ कार्य W तथा आवेश q_0 दोनों अदिश राशि हैं। अत: विभवान्तर $V_A - V_B$ भी एक अदिश राशि होगी।

प्रश्न 3. स्थिर-विद्युतिकी (वैद्युत-स्थैतिकी) में गौस के नियम का उल्लेख कीजिए। (2019)

उत्तर **गौस की प्रमेय** Gauss' Theorem—गौस की प्रमेय वैद्युत-क्षेत्र के कारण किसी वन्द पृष्ठ से निर्गत वैद्युत-फ्लक्स तथा उस पृष्ठ से परिबद्ध कुल वैद्युत आवेश के वीच सम्बन्ध व्यक्त करती है। इसके अनुसार—''किसी वैद्युत-क्षेत्र में स्थित बन्द पृष्ठ से निर्गत सम्पूर्ण वैद्युत-फ्लक्स का मान उस पृष्ठ द्वारा परिवद्ध कुल आवेश का $(1/\varepsilon_0)$ गुना होता है।''

अर्थात्

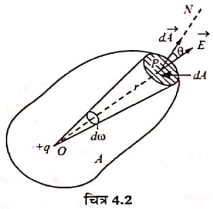
$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{1}{\varepsilon_0}(q)$$

जहाँ ε_0 = वायु या निर्वात् की वैद्युतशीलता।

उपपत्ति Proof—चित्र 4.2 में एक बन्द पृष्ठ दर्शाया गया है जिसका क्षेत्रफल A है। इस बन्द पृष्ठ में किसी बिन्दु O पर एक बिन्दु आवेश $+q$ रखा है। इस प्रकार बन्द पृष्ठ $+q$ आवेश के वैद्युत-क्षेत्र में स्थित है। इस पृष्ठ के बिन्दु P पर एक अत्यन्त लघु क्षेत्रफल dA लिया गया है। इस बिन्दु P की O से दूरी r है।

इस लघु क्षेत्रफल dA को इस पर खींचे गये अभिलम्ब PN की दिशा में क्षेत्रीय वेक्टर $d\vec{A}$ द्वारा प्रदर्शित किया गया है। बिन्दु P पर $+q$ आवेश के कारण उत्पन्न वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता

चित्र 4.2



$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r^2}\right) \quad ...(i)$$

$\vec{E}$ की दिशा O से P की ओर होगी।

क्षेत्रफल dA से निर्गत वैद्युत-फ्लक्स $d\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A}$

अथवा

$$d\Phi_E = EdA\cos\theta \quad ...(ii)$$

जहाँ $\theta = \vec{E}$ तथा $d\vec{A}$ के बीच कोण।

समीकरण (i) से E का मान समीकरण (ii) में रखने पर,

$$d\Phi_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r^2}\right)dA\cos\theta = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{dA\cos\theta}{r^2}\right)$$

परन्तु $\frac{dA\cos\theta}{r^2}$ = क्षेत्रफल dA द्वारा बिन्दु O पर अन्तरित घन कोण $= d\omega$ (माना)

$\therefore$

$$d\Phi_E = \left(\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\right)d\omega \quad ...(iii)$$

अत: सम्पूर्ण बन्द पृष्ठ क्षेत्रफल A से अभिलम्बवत् निर्गत सम्पूर्ण वैद्युत-फ्लक्स

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\oint d\omega \quad ...(iv)$$

परन्तु $\oint d\omega$ = सम्पूर्ण बन्द पृष्ठ द्वारा बिन्दु O पर अन्तरित घन कोण $= 4\pi$ स्टेरेडियन

$\therefore$

$$\Phi_E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \times 4\pi \text{ अथवा } \Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0}(q) \quad ...(v)$$

यही गौस-प्रमेय का कथन है।

प्रश्न 4. गौस-प्रमेय की सहायता से दो बिन्दु आवेशों के बीच कार्य करने वाले बल के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।

उत्तर माना कोई विलगित बिन्दु आवेश $+q$, वायु या निर्वात् में बिन्दु O पर रखा है। इससे r दूरी पर एक बिन्दु P है। इस बिन्दु से गुजरता हुआ q को परिबद्ध किये हुए एक गोलीय गौसियन-पृष्ठ खींचा गया है। इस बिन्दु पर q के कारण वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता O से P की दिशा में पृष्ठ के लम्बवत् होगी। P के परित: किसी पृष्ठ अवयव के क्षेत्रफल $d\vec{A}$ का क्षेत्रफल सदिश $d\vec{A}$ भी $\vec{E}$ की दिशा में होगा।

Scanned with CamScanner

अत: इस क्षेत्रफल अवयव से गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स

$$d\Phi_E = \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

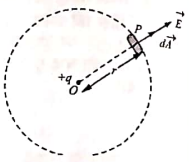
$$= EdA \cos\theta = EdA \cos 0° = EdA \qquad (\because \cos 0° = 1)$$

अत: सम्पूर्ण गौसियन पृष्ठ से होकर गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स,

$$d\Phi_E = \oint d\Phi_E = \oint EdA = E \oint dA = E \times 4\pi r^2$$

परन्तु गौस-प्रमेय के अनुसार, $\Phi_E = q/\varepsilon_0$

अत: $E \times 4\pi r^2 = \frac{q}{\varepsilon_0}$ अथवा $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q}{r^2}\right)$ ...(i)



चित्र 4.3

यही बिन्दु आवेश q के कारण इससे r दूरी पर उत्पन्न वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता का व्यंजक है जिसकी दिशा आवेश से दूर होगी।

यदि इस बिन्दु पर एक परीक्षण धनावेश q_0 रखें, तो q_0 पर आरोपित बल

$$F = q_0 E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{qq_0}{r^2}\right) \qquad ...(ii)$$

यही कूलॉम का नियम है जो कि गौस-प्रमेय से व्युत्पन्न किया गया है। इस प्रकार, स्थिर विद्युतिकी में कूलॉम का नियम तथा गौस का नियम परस्पर तुल्य हैं। ये दो भौतिक नियम नहीं हैं, बल्कि एक ही नियम है जिसे विभिन्न रूपों में अभिव्यक्त किया गया है।

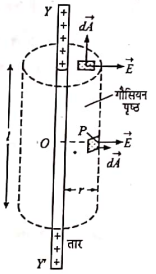
प्रश्न 5. गौस के नियम का उपयोग करके एक अनन्त लम्बाई के पतले, सीधे एकसमान आवेशित तार द्वारा उत्पन्न वैद्युत क्षेत्र की तीव्रता के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।

उत्तर **अनन्त लम्बाई के आवेशित तार के निकट वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता**—चित्र 4.4 में एक अनन्त लम्बाई का चालक तार प्रदर्शित है जिसके आवेश का रेखीय घनत्व q कूलॉम प्रति मीटर है। माना यह तार K परावैद्युतांक वाले माध्यम में रखा है। इसकी अक्ष से r दूरी पर एक बिन्दु P है जहाँ इस चालक तार के कारण वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात करनी है।

चित्र 4.4 में इस चालक तार के चारों ओर r त्रिज्या का एक ऐसा बेलन दर्शाया गया है जिसकी लम्बाई l है तथा प्रेक्षण बिन्दु P इसके वक्र-पृष्ठ पर है। इस बेलन की अक्ष तथा तार की अक्ष एक ही है। चूँकि तार समान रूप से आवेशित है, अत: इसकी अक्ष से समान दूरी पर स्थित प्रत्येक बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता $\vec{E}$ समान होगी तथा इसकी दिशा अक्ष के लम्बवत् बाहर की ओर होगी।

अत: वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता की दिशा इस बेलन के अनुप्रस्थ-काट के समान्तर है। अत: इस बेलन के समतल पृष्ठों से गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स शून्य होगा, क्योंकि इसका क्षेत्रफल वेक्टर $\vec{A}$, वेक्टर $\vec{E}$ के लम्बवत् होगा, इसलिए वैद्युत-फ्लक्स

$$\Phi_{E_1} = \vec{E} \cdot \vec{A} = E\,A \cos 90° = 0$$



चित्र 4.4

बेलन के वक्रपृष्ठ का क्षेत्रफल $= 2\pi rl$

अत: बेलन के वक्रपृष्ठ से गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स $\Phi_{E_2} = KE\,(2\pi rl)$

∴ बेलन से गुजरने वाला कुल वैद्युत-फ्लक्स

$$\Phi_E = \Phi_{E_1} + \Phi_{E_2} = 0 + KE\,(2\pi rl)$$

अर्थात् $\Phi_E = 2\pi rl\,KE$ ...(i)

इस बेलन के अन्दर परिबद्ध वैद्युत आवेश q'

= बेलन के अन्दर तार की लम्बाई × प्रति एकांक लम्बाई पर आवेश $= l \times q$

∴ गौस-प्रमेय के अनुसार, बेलन से गुजरने वाला सम्पूर्ण वैद्युत-फ्लक्स

$$\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0}(q')$$

∴ $$\Phi_E = \frac{1}{\varepsilon_0}(l \times q) \qquad ...(ii)$$

∴ समी० (i) तथा समी० (ii) से, $K \times E \times 2\pi rl = \frac{1}{\varepsilon_0}(dl)$

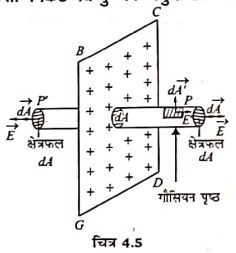
अथवा $$E = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0 K}\left(\frac{q}{r}\right)$$

प्रश्न 6. अनन्त विस्तार की समतल आवेशित प्लेट के कारण किसी निकट विन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।

उत्तर **अनन्त विस्तार की समतल आवेशित प्लेट के कारण किसी निकट बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता**—चित्र 4.5 में $BCDG$ एक अनन्त विस्तार की आवेशित समतल प्लेट है, जिसकी मोटाई नगण्य है। इस प्रकार की प्लेट के दोनों पृष्ठों पर समान आवेश होता है। माना इसके प्रत्येक पृष्ठ पर आवेश का पृष्ठ घनत्व σ है।

यदि प्लेट धनावेशित है तो इसके कारण वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता प्लेट के लम्बवत् बाहर की ओर होती है और यदि प्लेट ऋणावेशित है तो तीव्रता प्लेट के लम्बवत् अन्दर की ओर होती है। चित्र 4.5 में धनावेशित प्लेट दिखायी गयी है।

माना इस प्लेट के निकट बिन्दु P पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात करनी है। इसके लिए इस प्लेट के आर-पार एक बेलनाकार गौसियन पृष्ठ की कल्पना करते हैं जिसकी अनुप्रस्थ-काट P के परित: क्षेत्रफल अवयव dA है जो सीट (प्लेट) के समान्तर है। बेलन के P तथा P' सिरे प्लेट से समान दूरी पर हैं। सिरे P पर dA के प्रत्येक बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता ($\vec{E}$) समान होगी। यह वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता $\vec{E}$ पृष्ठ के लम्बवत् बाहर की ओर होगी। क्षेत्रफल अवयव dA को क्षेत्रफल सदिश $d\vec{A}$ से प्रदर्शित किया गया है जो $\vec{E}$ की ही दिशा में होगा। अत: सिरे P पर इस पृष्ठ से गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स



चित्र 4.5

$$\Phi_P = \vec{E} \cdot d\vec{A}$$

$$= EdA \cos 0° = EdA$$

इसी प्रकार गौसियन पृष्ठ के सिरे P' से गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स $\Phi_{P'} = EdA$

गौसियन पृष्ठ के वक्र तल पर स्थित प्रत्येक बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता तथा बाहर की ओर खींचे गये अभिलम्ब परस्पर लम्बवत् होंगे,

अर्थात् $\theta = 90°$ अथवा $\cos 90° = 0$

इसलिए $\vec{E} \cdot d\vec{A} = 0$

अर्थात् गौसियन पृष्ठ (Gaussian surface) के वक्र तल से गुजरने वाला वैद्युत-फ्लक्स शून्य होगा।

अत: बन्द पृष्ठ (बेलनाकार गौसियन पृष्ठ) से गुजरने वाला कुल वैद्युत-फ्लक्स

$$\Phi_E = \Phi_P + \Phi_{P'} + \text{वक्र तल से गुजरने वाला फ्लक्स}$$

$$= EdA + EdA + 0 = 2EdA$$

परन्तु बन्द पृष्ठ के अन्दर समतल प्लेट का घिरा क्षेत्रफल $= dA$

इस पृष्ठ पर उपस्थित आवेश $q = \sigma \times dA$

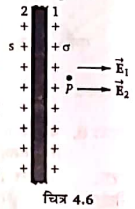
परन्तु गौसियन प्रमेय से, $\Phi_E = \frac{q}{\varepsilon_0}$ (जहाँ, $q = \sigma \cdot dA$)

अर्थात् $2E\,dA = \frac{\sigma dA}{\varepsilon_0}$ अथवा $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

Scanned with CamScanner

प्रश्न 7. गौस प्रमेय की सहायता से अनन्त विस्तार की समतल आवेशित चालक प्लेट के कारण वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता के सूत्र का निगमन कीजिए।

उत्तर माना अनन्त विस्तार एवं परिमित लघु मोटाई की एक धन-आवेशित 'समतल चालक' प्लेट निर्वात् (अथवा वायु) में स्थित है (चित्र 4.6)। चूँकि प्लेट एक 'समतल चालक' है, अत: प्लेट को दिया गया सम्पूर्ण आवेश प्लेट के बाह्य पृष्ठों 1 व 2 पर एकसमान रूप से वितरित हो जाता है। प्लेट के भीतर वैद्युत क्षेत्र सर्वत्र शून्य होता है तथा प्लेट के पृष्ठों पर एवं समीपवर्ती बाह्य बिन्दुओं पर वैद्युत क्षेत्र प्लेट के पृष्ठों के लम्बवत् होता है। माना कि प्लेट पर आवेश का पृष्ठ-घनत्व σ है। माना कि चालक प्लेट के एक ओर ठीक बाहर एक बिन्दु P है जिस पर वैद्युत क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात करनी है। चूँकि प्लेट के भीतर कोई आवेश नहीं है, अत: इस प्लेट को आवेश की दो समतल चादरों 1 व 2, के तुल्य माना जा सकता है। बिन्दु P पर चादर 1 के कारण वैद्युत-क्षेत्र $\vec{E}_1$ (माना) की तीव्रता



चित्र 4.6

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \quad \text{(चादर 1 से)} \qquad \text{(गौस प्रमेय से)}$$

इसी प्रकार, बिन्दु P पर चादर 2 के कारण वैद्युत क्षेत्र $\vec{E}_2$ की तीव्रता

$$E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \quad \text{(चादर 2 से परे)}$$

चूँकि $\vec{E}_1$ व $\vec{E}_2$ एक ही दिशा में हैं, अत: बिन्दु P पर दोनों चादरों के कारण परिणामी तीव्रता

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$\therefore \quad E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} + \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \quad \text{अथवा} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

धन-आवेशित चालक प्लेट के कारण वैद्युत क्षेत्र $\vec{E}$ की दिशा प्लेट के लम्बवत् तथा प्लेट से परे की ओर को दिष्ट है। यदि प्लेट ऋण-आवेशित हो तब क्षेत्र की दिशा प्लेट के लम्बवत् तथा प्लेट की ओर को दिष्ट होगी।

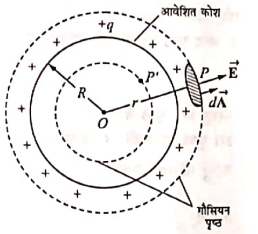
हमने उपरोक्त सूत्र एक समतल आवेशित चालक के लिए प्राप्त किया है। वास्तव में यह 'किसी भी आकृति' के चालक के लिए सत्य है। इस सूत्र से स्पष्ट है कि अनन्त विस्तार के आवेशित चालक के 'निकट' किसी बिन्दु पर वैद्युत क्षेत्र की तीव्रता चालक के क्षेत्रफल अथवा चालक से इस बिन्दु की दूरी पर निर्भर नहीं करती। इसका अर्थ है कि चालक के 'निकट' सभी बिन्दुओं पर वैद्युत क्षेत्र की तीव्रता समान होती है।

प्रश्न 8. गौस प्रमेय की सहायता से किसी आवेशित गोलीय कोश के बाहर किसी बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात कीजिए।

उत्तर माना कि त्रिज्या R का एक विलगित (isolated) गोलीय कोश है जिस पर ओवश $+q$ एकसमान रूप से वितरित है। हमें इस कोश के बाहर, कोश के पृष्ठ पर तथा कोश के भीतर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात करनी है।

बाह्य बिन्दु पर At an External Point माना कि आवेशित कोश के केन्द्र O (चित्र 4.7) से दूरी r पर ($r > R$) एक बिन्दु P है जिस पर वैद्युत क्षेत्र की तीव्रता ज्ञात करनी है।

इसके लिये, हम बिन्दु P से गुजरने वाला, त्रिज्या r का संकेन्द्री गोलीय पृष्ठ खींचते हैं जिसे 'गौसियन पृष्ठ' (Gaussian surface) कहते हैं। आवेश-वितरण की सममिति के कारण, गौसियन पृष्ठ के सभी बिन्दुओं पर वैद्युत-क्षेत्र का परिमाण E समान होगा तथा दिशा बाहर की ओर को त्रिज्यत: (radially outward) होगी।



चित्र 4.7

हम गौसियन पृष्ठ पर, बिन्दु P के चारों ओर एक क्षेत्रफल-अवयव dA पर विचार करते हैं। इस अवयव पर वैद्युत-क्षेत्र वेक्टर $\vec{E}$ तथा क्षेत्रफल वेक्टर $d\vec{A}$ दोनों ही बाहर की ओर को त्रिज्यत: दिष्ट हैं, अर्थात् उनके बीच कोण शून्य है। अब, क्षेत्रफल-अवयव dA से होकर जाने वाला वैद्युत फ्लक्स

$$d\Phi_E = \vec{E} \cdot d\vec{A} = EdA \cos 0 = EdA$$

अत: सम्पूर्ण गौसियन पृष्ठ से होकर जाने वाला वैद्युत फ्लक्स

$$\Phi_E = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \oint EdA = E \oint dA = E \oint dA$$

क्योंकि सम्पूर्ण पृष्ठ पर E नियत है।

परन्तु $\oint dA = 4\pi r^2$ (गोले का पृष्ठ-क्षेत्रफल), अत: $\Phi_E = E(4\pi r^2)$, परन्तु गौस की प्रमेय से, $\Phi_E = q/\varepsilon_0$, जहाँ q बन्द गौसियन पृष्ठ द्वारा परिबद्ध सम्पूर्ण आवेश है। अत:

$$E(4\pi r^2) = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

अथवा

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2} \qquad (r > R \text{ के लिये}) \ldots (1)$$

किसी बिन्दु-आवेश q से दूरी r पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता E के लिए यही सूत्र है। अत: स्पष्ट है कि एकसमान आवेशित गोलीय कोश बाह्य बिन्दुओं के लिये ठीक वैसे ही व्यवहार करती है जैसे कि सम्पूर्ण आवेश कोश के केन्द्र पर स्थित हो।

यदि कोश पर आवेश का पृष्ठ-घनत्व (surface density of charge) σ हो, तब

$$q = 4\pi R^2\sigma$$

q का यह मान समीकरण (1) में रखने पर,

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}\frac{R^2}{r^2} \qquad \ldots (2)$$

यह एकसमान आवेशित गोलीय कोश के बाहर वैद्युत-क्षेत्र का वैकल्पिक सूत्र है।

कोश के पृष्ठ पर At the Surface of Spherical Shell—यदि बिन्दु P कोश के ठीक पृष्ठ पर है ($r = R$), तब समीकरण (1) व समीकरण (2) से,

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{R^2} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

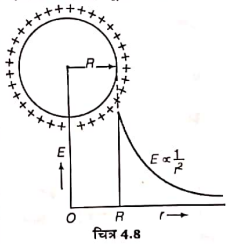
आन्तरिक बिन्दु पर At an Internal Point—माना कि कोश के भीतर एक बिन्दु P' (चित्र 4.8) है। चूँकि आवेश कोश के पृष्ठ पर वितरित है तथा कोश के भीतर कोई आवेश नहीं है, अत: बिन्दु P' से गुजरने वाले गौसियन पृष्ठ के भीतर कोई आवेश नहीं होगा तथा गौसियन पृष्ठ से निर्गत फ्लक्स शून्य होगा, अर्थात्

$$\Phi_E = \oint E\, dA = E \oint dA = E(4\pi r^2) = 0$$

अथवा $\quad E = 0$

स्पष्ट है कि आवेशित गोलीय कोश के भीतर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता सर्वत्र शून्य होती है।

एकसमान आवेशित गोलीय कोश के कारण, कोश के केन्द्र से दूरी r के साथ वैद्युत-क्षेत्र E का विचरण (variation) चित्र में दर्शाया गया है। कोश के भीतर ($r = 0$ से $r = R$ तक) वैद्युत-क्षेत्र E सर्वत्र शून्य है, कोश के पृष्ठ पर अधिकतम है तथा कोश के बाहर व्युत्क्रम-वर्ग के नियमानुसार तेजी से घटता जाता है ($E \propto 1/r^2$).

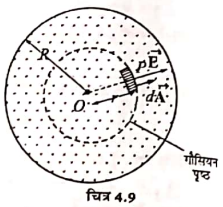


चित्र 4.8

Scanned with CamScanner

प्रश्न 9. एकसमान आवेशित अचालक गोले के भीतर किसी बिन्दु पर गौस प्रमेय की सहायता से वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता का सूत्र स्थापित कीजिए।

उत्तर माना कि बिन्दु P गोले के भीतर केन्द्र O से r दूरी पर है (चित्र 4.9)। P पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता प्राप्त करने के लिए बिन्दु P से गुजरने वाला गोलीय गौसियन पृष्ठ खींचते हैं। माना आवेशित गोले के कारण P पर उत्पन्न वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता $\vec{E}$ है।



चित्र 4.9

आवेश वितरण की सममिति के कारण गौसियन पृष्ठ के प्रत्येक बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता का परिमाण E समान होगा तथा दिशा पृष्ठ के लम्बवत् होगी।

P के परित: गौसियन पृष्ठ के अल्पांश क्षेत्रफल अवयव dA का क्षेत्रीय सदिश $d\vec{A}$ भी पृष्ठ के लम्बवत् अर्थात् $\vec{E}$ की दिशा में ही होगा अर्थात् उनके बीच कोण शून्य है। अत: क्षेत्रफल अवयव dA से होकर जाने वाला वैद्युत फ्लक्स

$$d\Phi_E = \vec{E} \cdot d\vec{A} = EdA \cos 0° = EdA$$

अत: सम्पूर्ण गौसियन पृष्ठ से होकर जाने वाला वैद्युत फ्लक्स

$$\Phi_E = \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = \int EdA = E \int dA$$

[$\because$ E सभी अवयवों के लिए समान है।]

$$= E(4\pi r^2)$$

परन्तु गौस की प्रमेय के अनुसार, $\Phi_E = q'/\varepsilon_0$

जहाँ q', आवेश q का वह भाग है, जो त्रिज्या r के बन्द गौसियन पृष्ठ द्वारा परिबद्ध है।

$$E(4\pi r^2) = \frac{q'}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{q'}{r^2}\right) \quad ...(1)$$

क्योंकि (अचालक) गोला एकसमान रूप से आवेशित है, इसलिए आवेश का आयतन घनत्व ρ पूरे गोले में एकसमान (uniform) होगा।

अर्थात् $\rho = \frac{q'}{(4/3)\pi R^3} = \frac{q'}{(4/3)\pi r^3}$ या $q' = q\left(\frac{r}{R}\right)^3$

q' का यह मान समी० (1) मे रखने पर, $E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{qr}{R^3}\right)$ ($r < R$ के लिए) ...(2)

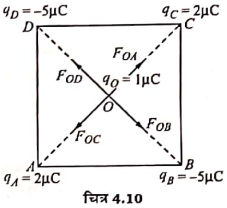
इसमें $q = \frac{4}{3}\pi R^3\rho$ रखने पर,

$$E = \frac{\rho}{\varepsilon_0}\left(\frac{r}{3}\right) \quad (r < R \text{ के लिए}) \quad ...(3)$$

समी० (2) व (3) अचालक आवेशित गोले के भीतर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता के व्यंजक हैं। स्पष्ट है कि एकसमान आवेशित अचालक गोले के भीतर किसी बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता, उस बिन्दु की गोले के केन्द्र से दूरी (r) के अनुक्रमानुपाती होती है।

प्रश्न 10. चार बिन्दु आवेश $q_A = 2\,\mu C$, $q_B = -5\,\mu C$, $q_C = 2\,\mu C$ तथा $q_D = -5\,\mu C$, 10 cm भुजा के किसी वर्ग $ABCD$ के शीर्षों पर अवस्थित हैं। वर्ग के केन्द्र पर रखे $1\,\mu C$ आवेश पर लगने वाला बल कितना है?

उत्तर किसी आवेश पर कार्य करने वाले अन्य आवेशों के कारण कूलॉम बलों को सदिश विधि द्वारा जोड़ा जाता है। अत: वर्ग के केन्द्र पर रखे आवेश $q_0 = 1\,\mu C$ पर बल चारों आवेशों q_A, q_B, q_C व q_D के कारण कूलॉम बलों के सदिश योग के बराबर होगा।



चित्र 4.10

स्पष्टत: $OA = OB = OC = OD = \frac{1}{2}\sqrt{10^2 + 10^2}$

$$= \frac{10\sqrt{2}}{2}\text{ cm} = 5\sqrt{2}\text{ cm} = 5\sqrt{2} \times 10^{-2}\text{ m}$$

आवेश $q_A = 2\,\mu C$ के कारण $q_0 = 1\,\mu C$ पर बल

$\vec{F}_{OA} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_0 q_A}{(OA)^2}$, O से C की ओर

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{(1 \times 10^{-6}) \times (2 \times 10^{-6})}{(5\sqrt{2} \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3.6\text{ N } (\vec{OC} \text{ के अनुदिश})$$

आवेश $q_C = -2\,\mu C$ के कारण $q_0 = 1\,\mu C$ पर बल

$\vec{F}_{OC} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_0 q_C}{(OC)^2}$, O से A की ओर

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{(1 \times 10^{-6}) \times (2 \times 10^{-6})}{(5\sqrt{2} \times 10^{-2})^2}$$

$$= 3.6\text{ N}, \vec{OA} \text{ के अनुदिश}$$

स्पष्टत: $\vec{F}_{OA} + \vec{F}_{OC} = 0$

आवेश $q_B = -5\,\mu C$ के कारण $q_0 = 1\,\mu C$ पर बल

$\vec{F}_{OB} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_0 q_B}{(OB)^2}$, $\vec{OB}$ की दिशा में

$$= 9 \times 10^9 \frac{(1 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(5\sqrt{2} \times 10^{-2})^2}, O \text{ से } B \text{ की ओर}$$

$$= 9.0\text{ N } (\vec{OB} \text{ के अनुदिश})$$

आवेश $q_D = -5\,\mu C$ के कारण $q_0 = 1\,\mu C$ पर बल

$F_{OD} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_0 q_D}{(OD)^2}$, O से D की ओर

$$= 9 \times 10^9 \times \frac{(1 \times 10^{-6})(5 \times 10^{-6})}{(5\sqrt{2} \times 10^{-2})^2}$$

$$= 9.0\text{ N } (\vec{OD} \text{ के अनुदिश})$$

स्पष्टत: $\vec{F}_{OB} + \vec{F}_{OD} = 0$

Scanned with CamScanner

कुल बल

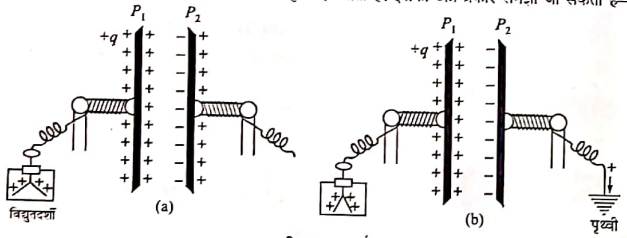
$$F = \vec{F_{OA}} + \vec{F_{OB}} + \vec{F_{OC}} + \vec{F_{OD}}$$
$$= (\vec{F_{OA}} + \vec{F_{OC}}) + (\vec{F_{OB}} + \vec{F_{OD}})$$
$$= 0 + 0 = 0$$

अर्थात् q_0 पर नेट बल शून्य है।

प्रश्न 11. संधारित्र से आप क्या समझते हैं? संधारित्र का सिद्धान्त लिखिए।

उत्तर **"संधारित्र एक ऐसा समायोजन है जिसमें किसी चालक के आकार में परिवर्तन किए बिना उसका विभव कम करके चालक की धारिता बढ़ायी जा सकती है। अत: इस समायोजन में आवेश की पर्याप्त मात्रा संचित की जा सकती है।"** इस प्रकार संधारित्र एक छोटे-से क्षेत्र में वैद्युत आवेश अर्थात् वैद्युत ऊर्जा की पर्याप्त मात्रा संचित करने का एक साधन है।

संधारित्र का सिद्धान्त Principle of Capacitor संधारित्र का कार्य सिद्धान्त इस तथ्य पर आधारित है कि जब किसी आवेशित चालक के समीप एक अन्य अनावेशित चालक रख दिया जाता है तो आवेशित चालक का विभव कम हो जाता है। यदि अनावेशित चालक भूसम्पर्कित (earthed) हो तो आवेशित चालक का विभव और भी कम हो जाता है। इसके परिणामस्वरूप आवेशित चालक की धारिता में पर्याप्त वृद्धि हो जाती है। इसको अग्र प्रकार समझा जा सकता है—



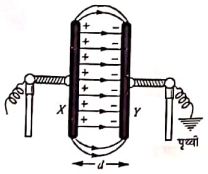
चित्र 4.11

चित्र 4.11 (a) में धातु की एक प्लेट P_1 है, जो विद्युतरोधी स्टैण्ड पर लगी है तथा जिसे किसी विद्युत मशीन द्वारा धनावेश दिया गया है। इसका सम्बन्ध स्वर्णपत्र विद्युतदर्शी से करने पर पत्तियाँ फैल जाती हैं। **पत्तियों का फैलाव प्लेट P_1 के विभव को मापता है।** जब प्लेट P_1 के समीप धातु की ही एक अन्य आवेशित प्लेट P_2, जो विद्युतरोधी स्टैण्ड पर लगी है, लायी जाती है तो पत्तियों का फैलाव कुछ कम हो जाता है। अब यदि प्लेट P_2 को पृथ्वी से जोड़ दें तो पत्तियों का फैलाव और कम हो जाता है [चित्र 4.11 (b)]। अब यदि प्लेट P_1 व P_2 के बीच की दूरी कम कर दी जाए तब पत्तियों का फैलाव और अधिक कम हो जाता है।

प्रश्न 12. समान्तर-प्लेट संधारित्र की धारिता के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए। (2019)

उत्तर **समान्तर-प्लेट संधारित्र की धारिता**—चित्र 4.12 में एक समान्तर-प्लेट संधारित्र दिखाया गया है जिसमें मुख्यत: धातु की लम्बी व समतल दो प्लेटें X व Y होती हैं जो एक-दूसरे के आमने-सामने थोड़ी दूरी पर दो विद्युतरोधी स्टैण्डों में लगी रहती हैं। इन समान्तर-प्लेटों के बीच वायु के स्थान पर कोई विद्युतरोधी माध्यम (परावैद्युतांक K) भरा है। समतल प्लेटों में से प्रत्येक का क्षेत्रफल A मीटर^2 तथा उनके बीच की दूरी d मीटर है।

जब प्लेट X को $+q$ आवेश दिया जाता है तो प्रेरण के कारण प्लेट Y पर अन्दर की ओर $-q$ आवेश तथा बाहर की ओर $+q$ आवेश उत्पन्न हो जाता है, चूँकि प्लेट Y



चित्र 4.12

पृथ्वी से जुड़ी है; अत: इसके बाहरी तल का $+q$ आवेश पृथ्वी में चला जाएगा। अत: प्लेटों के बीच वैद्युत-क्षेत्र उत्पन्न हो जाएगा और लगभग सभी जगह क्षेत्र की तीव्रता एकसमान होगी।

प्लेटों पर आवेश का पृष्ठ घनत्व $\sigma = q/A$

प्लेटों के बीच में किसी बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता $E = \sigma/\varepsilon$, जहाँ $\varepsilon (= K\varepsilon_0)$ परावैद्युत की वैद्युतशीलता है।

σ तथा ε का मान रखने पर वैद्युत-क्षेत्र की तीव्रता

$$E = \frac{q}{K\varepsilon_0 A} \quad ...(1)$$

माना दोनों प्लेटों के बीच विभवान्तर V वोल्ट है व इनके बीच की दूरी d है।

अत: प्लेटों के बीच वैद्युत-क्षेत्र $E = \frac{V}{d}$ अथवा $V = Ed$

समीकरण (1) से E का मान रखने पर

$$V = \frac{qd}{K\varepsilon_0 A}$$

$\therefore$ संधारित्र की धारिता $C = \frac{q}{V} = \frac{q}{qd / K\varepsilon_0 A}$

अथवा $$C = \frac{K\varepsilon_0 A}{d} \text{ फैरड} \quad ...(2)$$

यदि प्लेटों के मध्य निर्वात् (या वायु) हो, तो $K = 1$; अत: इस दशा में धारिता

$$C_0 = \varepsilon_0 \left(\frac{A}{d}\right) \text{ फैरड}$$

जहाँ, $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ फैरड/मीटर (निर्वात् की वैद्युतशीलता है।)

समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता को निम्नलिखित प्रकार से बढ़ाया जा सकता है—

1. प्रयुक्त प्लेटें अधिक क्षेत्रफल की होनी चाहिए।
2. प्लेटों के बीच ऐसा माध्यम रखना चाहिए जिसका परावैद्युतांक अधिक हो।
3. प्लेटों के बीच की दूरी (d) कम लेनी चाहिए अर्थात् प्लेटें परस्पर समीप रखनी चाहिए।

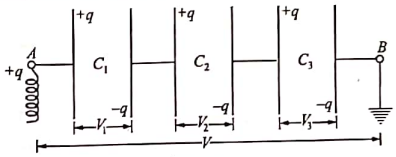
प्रश्न 13. संधारित्रों के संयोजन को स्पष्ट कीजिए।

उत्तर विभिन्न विद्युत परिपथों में वांछित धारिता प्राप्त करने के लिए दो या दो से अधिक संधारित्रों को जोड़ने की आवश्यकता पड़ती है। संधारित्रों को परस्पर जोड़ने की निम्न दो प्रमुख विधियाँ हैं—

(i) श्रेणीक्रम संयोजन (Combination in series), (ii) समान्तर क्रम संयोजन (Combination in parallel)

(i) श्रेणीक्रम संयोजन Combination in series—श्रेणीक्रम संयोजन में पहले संधारित्र की पहली प्लेट को वैद्युत स्रोत से, दूसरी प्लेट को दूसरे संधारित्र की पहली प्लेट से तथा दूसरे संधारित्र की दूसरी प्लेट को तीसरे संधारित्र की पहली प्लेट से जोड़ते हैं। इस प्रकार जोड़ने के पश्चात् अन्तिम संधारित्र की दूसरी प्लेट को पृथ्वी से जोड़ देते हैं।

चित्र 4.13 में C_1, C_2 तथा C_3 धारिता वाले तीन संधारित्रों का श्रेणीक्रम संयोजन प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 4.13

Scanned with CamScanner

माना किसी वैद्युत स्रोत द्वारा C_1 धारिता वाले पहले संधारित्र को $+q$ कूलॉम आवेश दिया गया है। स्थिर वैद्युत प्रेरण द्वारा इस संधारित्र की दूसरी प्लेट के अन्दर वाले तल पर $-q$ आवेश उत्पन्न हो जाता है तथा इसके बाहर वाले तल पर उत्पन्न स्वतन्त्र आवेश $+q$ चालक तार से होकर C_2 धारिता वाले दूसरे संधारित्र की पहली प्लेट पर चला जाता है। यही क्रम आगे वाले संधारित्र पर होगा। इस प्रकार श्रेणी संयोजन में प्रत्येक संधारित्र की पहली प्लेट पर $+q$ आवेश तथा दूसरी प्लेट पर $-q$ आवेश उत्पन्न हो जाता है।

माना C_1, C_2 तथा C_3 धारिता वाले संधारित्रों की प्लेटों के बीच उत्पन्न विभवान्तर क्रमशः V_1, V_2 तथा V_3 हैं। अतः सूत्र $V = q/C$ के अनुसार,

$$V_1 = \frac{q}{C_1}, V_2 = \frac{q}{C_2} \quad \text{तथा} \quad V_3 = \frac{q}{C_3}$$

यदि विन्दु A और B के बीच परिणामी विभवान्तर V हो, तब

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$\therefore \quad V = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

अथवा
$$V = q\left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right] \quad \text{...(1)}$$

यदि विन्दु A व B के बीच इन तीनों संधारित्रों के स्थान पर केवल एक ऐसा संधारित्र रख दिया जाए जिसे q आवेश देने पर उसकी प्लेटों के बीच विभवान्तर V हो तो इसे तीनों संधारित्रों का **तुल्य संधारित्र** (equivalent capacitor) कहते हैं। यदि इसकी धारिता C हो तो

$$V = \frac{q}{C} \quad \text{...(2)}$$

जहाँ C को इस संयोजन की तुल्य धारिता (equivalent capacitance) कहते हैं।

समी० (1) तथा समी० (2) की तुलना करने पर,

$$\frac{q}{C} = q\left[\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}\right]$$

या
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad \text{...(3)}$$

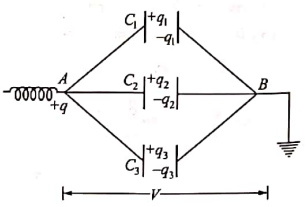
इसी प्रकार यदि n संधारित्र श्रेणीक्रम में जोड़े जाएँ तो उनकी तुल्य संधारित्र की धारिता निम्नलिखित सूत्र से प्राप्त होती है

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \ldots + \frac{1}{C_n}$$

अतः **"स्पष्ट है कि यदि अनेक संधारित्र श्रेणी क्रमबद्ध किए जाएँ तो उनके तुल्य संधारित्र की धारिता का व्युत्क्रम (reciprocal) प्रत्येक संधारित्र की अलग-अलग धारिता के व्युत्क्रमों के योग के बराबर होता है।"**

समान्तर क्रम संयोजन Combination in parallel—समान्तरक्रम संयोजन में जोड़े गए सभी संधारित्रों की पहली प्लेटों को एक विन्दु से तथा दूसरी प्लेटों को एक-दूसरे विन्दु से जोड़ देते हैं एवं दूसरे विन्दु को पृथ्वी से जोड़ देते हैं अर्थात् भू-सम्पर्कृत करते हैं।

चित्र 4.14 में C_1, C_2 तथा C_3 धारिता वाले तीन संधारित्रों का समान्तर क्रम संयोजन दर्शाया गया है। इन तीनों संधारित्रों की पहली प्लेटें विन्दु A पर तथा दूसरी प्लेटें विन्दु B पर जोड़ी गई हैं।



चित्र 4.14

विन्दु B पृथ्वी से जोड़ा गया है। विन्दु A पर किसी वैद्युत स्रोत द्वारा $(+q)$ आवेश दिया जाता है। यह आवेश तीनों संधारित्रों पर उनकी धारिताओं के अनुपात में विभाजित हो जाता है, जो इनकी पहली प्लेटों पर रहता है। माना C_1, C_2 तथा C_3 धारिताओं वाले संधारित्रों की पहली प्लेटों पर विभाजित आवेश क्रमशः $+q_1, +q_2$ तथा $+q_3$ हैं। स्थिर वैद्युत प्रेरण द्वारा इन संधारित्रों की दूसरी प्लेटों के अन्दर के तल पर क्रमशः $-q_1, -q_2$ तथा $-q_3$ आवेश उत्पन्न हो जायेगा तथा दूसरी प्लेटों के बाहरी तलों पर उत्पन्न स्वतन्त्र घनावेश क्रमशः $+q_1, +q_2$ तथा $+q_3$ पृथ्वी से आने वाले इलेक्ट्रॉनों द्वारा निरावेशित हो जाता है।

इस प्रकार C_1, C_2 तथा C_3 धारिता वाले संधारित्रों पर क्रमशः q_1, q_2 तथा q_3 आवेश रहता है।

अतः कुल आवेश $q = q_1 + q_2 + q_3$ ...(i)

चूँकि तीनों संधारित्र विन्दु A व B के बीच जुड़े हैं, अतः प्रत्येक संधारित्र की प्लेटों के बीच एक ही विभवान्तर होगा। माना यह विभवान्तर V वोल्ट है।

तब $q_1 = C_1V; q_2 = C_2V$ तथा $q_3 = C_3V$

ये मान उपरोक्त समी० (1) में रखने पर, $q = C_1V + C_2V + C_3V$

अथवा
$$q = (C_1 + C_2 + C_3)V \quad \text{...(ii)}$$

यदि इन तीनों संधारित्रों के स्थान पर एक संधारित्र रखा जाए तथा उसे q आवेश देने पर उसकी प्लेटों के बीच विभवान्तर V हो, तो यह संधारित्र 'तुल्य संधारित्र' होगा। यदि इस संधारित्र की धारिता C हो तो

$$q = CV \quad \text{...(iii)}$$

यहाँ C समान्तर क्रम संयोजन की तुल्य धारिता कहलाती है।

समी० (2) व समी० (3) की तुलना करने पर,

$$CV = (C_1 + C_2 + C_3)V$$

अथवा
$$C = C_1 + C_2 + C_3 \quad \text{...(iv)}$$

इसी प्रकार, यदि n संधारित्र समान्तर क्रमबद्ध किए जाएँ, तो उनकी तुल्य धारिता

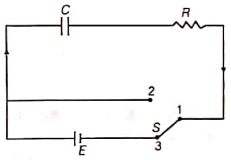
$$C = C_1 + C_2 + \ldots + C_n \quad \text{...(v)}$$

स्पष्ट है कि संधारित्रों को समान्तर क्रम में जोड़ने पर संधारित्रों की तुल्य धारिता उनकी पृथक्-पृथक् धारिताओं के योग के बराबर होती है।

प्रश्न 14. संधारित्र के आवेशन के लिए सूत्र की व्युत्पत्ति कीजिए।

उत्तर **आवेशन** Charging—चित्र 4.15 में C धारिता का एक संधारित्र 'R' प्रतिरोध के साथ श्रेणीक्रम में दिखाया गया है। संधारित्र व प्रतिरोध का यह संयोजन एक बैटरी जिसका विद्युत वाहक बल E तथा द्विमार्गी स्विच S से जुड़ा है।

चित्रानुसार, जब 1 एवं 3 को जोड़ा जाता है तो संधारित्र आवेशित होने लगता है तथा प्रतिरोध में धारा वहती है तथा कुछ समय पश्चात् संधारित्र पूर्ण रूप से आवेशित हो जाता है। इस स्थिति मे संधारित्र की प्लेटों के मध्य विभवान्तर E के बराबर होता है तथा परिपथ में धारा का मान शून्य हो जाता है। माना 1 एवं 3 को जोड़ने के t समय पश्चात् संधारित्र पर q आवेश आ जाता है तथा परिपथ में बहने वाली धारा का मान i मान लेते हैं।



चित्र 4.15

तब संधारित्र की प्लेटों के मध्य विभवान्तर $= \frac{q}{C}$

तथा प्रतिरोध के सिरों पर विभवान्तर $= iR$

अतः
$$E = \frac{q}{C} + iR \quad \text{...(i)}$$

माना पूर्ण रूप से आवेशित संधारित्र का आवेश q_0 है। चूँकि संधारित्र के पूर्ण आवेशन के पश्चात् परिपथ मे धारा का मान शून्य हो जाता है। अतः

Scanned with CamScanner

समी० (i) में $q = q_0$ तथा $i = 0$ रखने पर,

$$E = \frac{q_0}{C} + 0 \cdot R = \frac{q_0}{C}$$

समी० (i) में $E = \frac{q_0}{C}$ रखने पर

$$\frac{q_0}{C} = \frac{q}{C} + iR$$

या $$\frac{q_0 - q}{C} = iR$$

$$\frac{q_0 - q}{C} = \frac{dq}{dt} R \qquad \left[\because i = \frac{dq}{dt}\right]$$

$$\frac{dt}{CR} = \frac{dq}{q_0 - q}$$

दोनों ओर का समाकलन करने पर

$$\frac{t}{CR} = -\log(q_0 - q) + K$$

(जहाँ K = समाकलन स्थिरांक है) ...(ii)

∵ प्रारम्भ में संधारित्र पर आवेश का मान शून्य था।

अतः समीकरण (ii) में $t = 0$ तथा $q = 0$ रखने पर

$$0 = \log_e q_0 + K$$

या $$K = \log_e q_0$$

K का मान समी० (ii) में रखने पर

$$\frac{t}{CR} = \log_e(q_0 - q) + \log_e q_0$$

$$\Rightarrow \quad \log_e(q_0 - q) - \log_e q_0 = -\frac{t}{CR}$$

$$\Rightarrow \quad \log_e\left(\frac{q_0 - q}{q_0}\right) = -\frac{t}{CR}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{q_0 - q}{q_0} = e^{-t/CR}$$

$$\Rightarrow \quad q_0 - q = q_0 e^{-t/CR}$$

$$\Rightarrow \quad -q = -q_0 + q_0 e^{-t/CR}$$

$$\Rightarrow \quad q = q_0 - q_0 e^{-t/CR}$$

$$q = q_0(1 - e^{-t/CR})$$

जहाँ q संधारित्र को बैटरी से जोड़ने के 't' समय पश्चात् संधारित्र पर एकत्रित आवेश है, जबकि q_0 पूर्ण रूप से आवेशित संधारित्र का आवेश है।

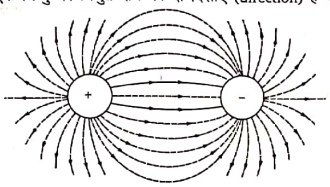
प्रश्न 15. विद्युत बल-रेखाएँ किसे कहते है?

उत्तर विद्युत क्षेत्र में बल-रेखा (line of force) वह मार्ग है जिस पर एक स्वतन्त्र धनावेश चलने की चेष्टा करता है। दूसरे शब्दों में, विद्युत बल-रेखा विद्युत क्षेत्र में वह वक्राकार रेखा है जिसके किसी बिन्दु पर खींची गई स्पर्श-रेखा, उस बिन्दु पर परिणामी बल की दिशा प्रदर्शित करती है।

इन बल-रेखाओं में निम्न गुण होते हैं—

1. विद्युत बल-रेखाएँ धन आवेश से चलकर ऋण आवेश पर समाप्त होती हैं (देखें चित्र 4.16)।

2. किसी भी बिन्दु पर खींची गई स्पर्श-रेखा उस बिन्दु पर धन आवेश पर लगने वाले बल की दिशा को प्रदर्शित करती है।
3. कोई भी दो बल-रेखाएँ परस्पर काट नहीं सकती। यदि काटेंगी तो कटान बिन्दु पर दो स्पर्श-रेखाएँ खींची जा सकती हैं जिसका अर्थ है कि एक बिन्दु पर विद्युत क्षेत्र की दो दिशाएँ (direction) हैं जो असम्भव है।



चित्र 4.16

4. ये लचकदार डोरी की तरह लम्बाई में सिकुड़ने का प्रयत्न करती हैं। इसी कारण विपरीत आवेशों में आकर्षण होता है।
5. ये अपनी लम्बाई की लम्ब दिशा में, एक-दूसरे से दूर हटने का प्रयास करती हैं। यही कारण है कि समान आवेशों में प्रतिकर्षण होता है।

प्रत्येक आवेश वायु में 4π बल-रेखाओं की उत्पत्ति करता है।

प्रश्न 16. विद्युत विभव किसे कहते हैं?

उत्तर विद्युत विभव की तुलना द्रव (liquid) में तल से और ऊष्मा में ताप से की जा सकती है। हम जानते हैं कि द्रव हमेशा उच्च तल से निम्न तल की ओर बहता है। ऊष्मा सदैव उच्च ताप से निम्न ताप की ओर ही प्रवाहित होती है। जिस प्रकार द्रव का प्रवाह द्रव के द्रव्यमान पर और ऊष्मा का संचरण ऊष्मा की मात्रा पर निर्भर नहीं करता है, उसी प्रकार चालकों में आवेश का प्रवाह चालकों मे विद्यमान आवेश की मात्रा पर नहीं बल्कि चालकों के विभव पर निर्भर करता है। अतः **किसी चालक का विद्युत विभव वह वैद्युत अवस्था है, जिससे यह पता चलता है कि दूसरे चालक से जोड़ने पर आवेश किस दिशा में प्रवाहित होगा।**

विद्युत क्षेत्र के किसी बिन्दु पर विभव, काम की उस मात्रा से नापा जाता है, जो किसी मात्रक धनावेश (unit positive charge) **को अनन्त** (infinity) **से उस बिन्दु तक लाने में करना पड़ता है।**

विद्युत क्षेत्र के किसी बिन्दु A पर विभव, $V_A = \frac{W}{q_0}$

जहाँ W = परीक्षण आवेश q_0 को अनन्त से विद्युत क्षेत्र के A बिन्दु तक लाने में किया गया कार्य

विद्युत विभव का मात्रक

$$\because \quad \text{विभव } V = \frac{W}{q}$$

$$\therefore \quad \text{विभव का मात्रक} = \frac{W \text{ का मात्रक}}{q \text{ का मात्रक}} = \frac{\text{जूल}}{\text{कूलॉम}}$$

अतः विद्युत विभव का मात्रक 'जूल/कूलॉम' होगा, इसे वोल्ट (Volt) **भी कहते हैं।**

इस प्रकार, यदि किसी आवेश को अनन्त से वैद्युत क्षेत्र के किसी बिन्दु तक लाने में 1 जूल प्रति कूलॉम कार्य करना पड़े तो उस बिन्दु का विभव 1 वोल्ट होगा।

$$\therefore \quad 1 \text{ वोल्ट} = \frac{1 \text{ जूल}}{1 \text{ कूलॉम}}$$

Scanned with CamScanner

विद्युत विभव की विमाएँ

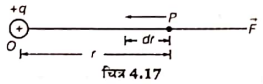
विद्युत विभव के मात्रक = न्यूटन × मीटर, $V = \frac{\text{जूल}}{\text{कूलॉम}} = \frac{\text{न्यूटन} \times \text{मीटर}}{\text{ऐम्पियर} \times \text{सेकण्ड}} = \frac{[\text{किग्रा} \times \text{मीटर} \times \text{सेकण्ड}^{-2}] \times \text{मीटर}}{\text{ऐम्पियर} \times \text{सेकण्ड}}$

$= \text{किग्रा} \times \text{मीटर}^2 \times \text{सेकण्ड}^{-3} \times \text{ऐम्पियर}^{-1}$

अत: विद्युत विभव की विमाएँ $= [ML^2T^{-3}A^{-1}]$

प्रश्न 17. विन्दु आवेश के कारण किसी विन्दु पर विद्युत विभव के सूत्र का निगमन कीजिए।

उत्तर **विन्दु आवेश के कारण किसी विन्दु पर विद्युत विभव** माना कि $+q$ कूलॉम का आवेश किसी माध्यम में विन्दु O पर स्थित है, माध्यम का परावैद्युतांक K है। विन्दु O से r मीटर की दूरी पर एक विन्दु P है, जिस पर विद्युत विभव ज्ञात करना है।



चित्र 4.17

माना विन्दु P पर एक कूलॉम का धन आवेश रखा है, तब उस धन आवेश पर $+q$ के कारण लगने वाला वैद्युत बल

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0 K} \frac{q \times 1}{r^2} \text{ न्यूटन}$$

और इस इकाई धन आवेश को q कूलॉम की ओर लघु दूरी dr तक ले जाने में किया गया कार्य,

$$-F \times dr = -\left(\frac{1}{4\pi\varepsilon_0 K} \times \frac{q}{r^2}\right) \times dr \qquad [\because \text{कार्य} = \text{बल} \times \text{समय}]$$

(ऋण चिह्न प्रकट करता है कि कार्य बल के विरुद्ध किया गया है।)

इकाई धन आवेश को q कूलॉम आवेश की ओर अनन्त से किसी विन्दु तक, जो r मीटर की दूरी पर है, लाने में किया गया कुल कार्य,

$$W = \int_{\infty}^{r} -F \times dr = -\int_{\infty}^{r} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{dr}{Kr_2}$$

$$= -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 K} \int_{\infty}^{r} \frac{1}{r^2} dr = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 K} \left[\frac{-1}{r}\right]_{\infty}^{r}$$

$$= -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 K} \left[-\frac{1}{r} - 0\right] \qquad \left[\because \frac{-1}{\infty} = 0\right]$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 Kr} \text{ जूल}$$

परन्तु इकाई आवेश को अनन्त से किसी विन्दु P तक लाने में किया गया कार्य, परिभाषानुसार विन्दु पर विभव होता है,

$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 Kr}$$

अत: माध्यम में, $V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 Kr} = 9 \times 10^9 \frac{q}{Kr}$ वोल्ट

वायु में, $V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} = 9 \times 10^9 \frac{q}{r}$ वोल्ट

इसी प्रकार $-q$ कूलॉम आवेश के कारण विन्दु P पर विभव,

$$V = \frac{-q}{4\pi\varepsilon_0 r} = -9 \times 10^9 \frac{q}{r} \text{ वोल्ट (वायु में)}$$

प्रश्न 18. संधारित्र किसे कहते हैं? इसकी धारिता की निर्भरता समझाइए।
अथवा **संधारित्र क्या है?** (2019)

उत्तर **दो चालकों के युग्म का एक ऐसा वैद्युत-समायोजन (electric derive) जिसमें चालकों के आकार में परिवर्तन किये बिना इन पर पर्याप्त मात्रा में आवेश संचित किया जा सकता है, संधारित्र कहलाता है।**

दोनों चालक एक-दूसरे के समीप होते हैं तथा इन पर बराबर व विपरीत आवेश होता है। इन चालकों को **संधारित्र की प्लेटें** कहते हैं। संधारित्र की धारिता निम्न विन्दुओं पर निर्भर करती है

(i) **प्लेटों के क्षेत्रफल पर** संधारित्र की धारिता प्लेटों के क्षेत्रफल (A) के अनुक्रमानुपाती होती है।
अर्थात् $C \propto A$

(ii) **प्लेटों के मध्य दूरी पर** संधारित्र की धारिता उसकी दोनों प्लेटों के मध्य की दूरी d के व्युत्क्रमानुपाती होती है।
अर्थात् $C \propto \frac{1}{d}$

(iii) **प्लेटों के बीच के माध्यम पर** संधारित्र की दोनों प्लेटों के बीच वायु की जगह यदि किसी वैद्युतरोधी पदार्थ, जैसे-काँच, अभ्रक, मोम, पैराफिन, तेल इत्यादि को भर दिया जाये तो उसकी धारिता बढ़ जाती है। इन **वैद्युतरोधी पदार्थों को परावैद्युत्** (dielectric) कहते हैं। संधारित्र की धारिता इन परावैद्युत (dielectric) पदार्थों के परावैद्युतांक (dielectric constant) K के अनुक्रमानुपाती होती है।
अर्थात् $C \propto K$

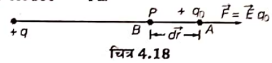
प्रश्न 19. विद्युत क्षेत्र तथा विद्युत विभव के मध्य सम्बन्ध स्थापित कीजिए। (2017)

उत्तर माना विन्दु A पर आवेश $+q$ के कारण विद्युत क्षेत्र E है तो $+q_0$ पर प्रतिकर्षण बल Eq_0 होगा। यदि $+q_0$ को विद्युत क्षेत्र के विरुद्ध dr दूरी विस्थापित करने के लिये किया गया कार्य dW हो तो

$$dW = \vec{F} \cdot \vec{dr} = Fdr \cos 180° = -Fdr$$

या $dW = -Eq_0\, dr$

या $\frac{dW}{q_0} = -E\, dr$



चित्र 4.18

चूँकि $\frac{dW}{q_0}$, विन्दु B व A के मध्य का विभवान्तर dV है तो $\frac{dW}{q_0} = dV$ मानने पर,

$$dV = -Edr \quad \text{या} \quad E = -\frac{dV}{dr}$$

जहाँ $\frac{dV}{dr} = \frac{\text{विभवान्तर}}{\text{विस्थापन}}$ को **विभव प्रवणता** (potential gradient) कहते हैं। अत: विभव प्रवणता का ऋणात्मक मान विद्युत क्षेत्र के बराबर होता है। ध्यान रखें, विद्युत विभव एक अदिश राशि है, परन्तु विभव प्रवणता एक सदिश राशि है, जिसे विद्युत क्षेत्र कहते हैं।

प्रश्न 20. किसी आवेशित चालक की स्थितिज ऊर्जा के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।

उत्तर माना किसी संधारित्र को q आवेश देने पर उसका विभव V हो जाता है। यदि संधारित्र की धारिता C हो तो

$$C = \frac{q}{V} \quad \text{या} \quad V = \frac{q}{C}$$

संधारित्र को अतिरिक्त dq आवेश देने के लिये किया गया कार्य

$$dW = V \times dq = \frac{q}{C} \times dq$$

अत: संधारित्र को कुल आवेश Q देने में किया गया कार्य $\int_0^W dW = \frac{1}{C}\int_0^Q q\,dq$

Scanned with CamScanner

या $$W = \frac{1}{C}\left[\frac{q^2}{2}\right]_0^Q = \frac{1}{2}\left[\frac{Q^2}{C}\right]$$

वैटरी द्वारा किया गया यही कार्य संधारित्र में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। अत: संधारित्र की

स्थितिज ऊर्जा $$U = \frac{1}{2}\frac{Q^2}{C}$$

या $$U = \frac{1}{2}QV, \quad \text{या} \quad U = \frac{1}{2}CV^2$$

यदि C फैरड में, V वोल्ट में तथा Q कूलॉम में है तो स्थितिज ऊर्जा (U) जूल में होती है।

नोट (1) संधारित्र की स्थितिज ऊर्जा उसके आवेश पर निर्भर करती है।

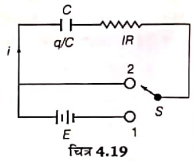
(2) संधारित्र की स्थितिज ऊर्जा दोनों प्लेटों के मध्य विद्युत क्षेत्र के रूप में संचित हो जाती है।

(3) संधारित्र की स्थितिज ऊर्जा वास्तव में आवेशन वैटरी की रासायनिक ऊर्जा का दूसरा रूप है।

प्रश्न 21. प्रतिरोध द्वारा एक संधारित्र के निरावेशन की व्याख्या कीजिए। (2013)

उत्तर **प्रतिरोध द्वारा संधारित्र का निरावेशन** प्रारम्भ में अर्थात् समय $t = 0$ पर संघारित्र पर आवेश अधिकतम q_0 है। अब स्विच को स्थिति 2 पर लाया जाता है। वैटरी परिपथ से असंयोजित (disconnect) हो जाती है तथा पूर्णतया आवेशित संधारित्र प्रतिरोध R के माध्यम से निरावेशित होना प्रारम्भ हो जाता है। माना किसी समय t पर परिपथ में धारा I तथा संधारित्र पर आवेश q है। चूँकि वैटरी परिपथ में नहीं है, अत:

$$0 = IR + \frac{q}{C}$$



चित्र 4.19

परन्तु $$I = \frac{dq}{dt}$$

अत: $$0 = \frac{dq}{dt}R + \frac{q}{C}$$

अथवा $$\frac{dq}{q} = -\frac{1}{CR}dt$$

दोनों पक्षों का समाकलन करने पर,

$$\int\frac{dq}{q} = -\frac{1}{CR}\int dt \quad \text{अथवा} \quad \log_e q = -\frac{1}{CR}t + K \qquad ...(i)$$

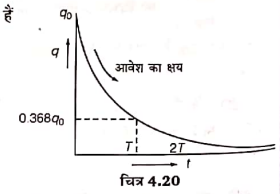
जहाँ K एक नियतांक है, इसका मान निम्न प्रकार ज्ञात कर सकते हैं

चूँकि समय $t = 0$ पर, $q = q_0$

समीकरण (i) में, $t = 0$ तथा $q = q_0$ रखने पर, $\log_e q_0 = K$

समीकरण (i) में, K का मान रखने पर,

$$\log_e q = -\frac{1}{CR}t + \log_e q_0$$



चित्र 4.20

अथवा $$\log_e \frac{q}{q_0} = -\frac{1}{CR}t \quad \text{अथवा} \quad \frac{q}{q_0} = e^{-\frac{1}{CR}t}$$

अथवा $$q = q_0 e^{-\frac{1}{CR}t} \qquad ...(ii)$$

समीकरण (ii) में एक निरावेशित हुए संधारित्र पर समय t पर आवेश है। समीकरण (ii) में, $t = CR$ रखने पर,

$$q = q_0 e^{-\frac{1}{CR}CR} = q_0 e^{-1} = 0.368q_0 \qquad ...(iii)$$

CR परिपथ का समय नियतांक है। यह वह समय है जिसमें एक निरावेशित होते हुए संधारित्र पर आवेश घटकर, अधिकतम आवेश q_0 का 0.368 रह जाता है।

समीकरण (iii) के लिए संधारित्र का निरावेशन वक्र ($q - t$ वक्र) चित्र में दिखाया गया है। यह सिद्ध किया जा सकता है कि

(i) $2T, 3T, 4T$ समय पश्चात् एक निरावेशित होते हुए संधारित्र पर आवेश घटकर $0.135q_0$, $0.050q_0$ तथा $0.018q_0$ आदि रह जाता है।

(ii) संधारित्र पर अनन्त समय पश्चात् आवेश शून्य होता है।

प्रश्न 22. एक आवेशित संधारित्र को $2\ k\Omega$ के प्रतिरोध द्वारा निरावेशित किया जाता है। यदि परिपथ का समय नियतांक 5×10^{-2} sec हो, तो धारिता ज्ञात कीजिए (2013)

हल हम जानते हैं कि, धारा का समय नियतांक $t = CR$

$\because$ $t = 5 \times 10^{-2}$ सेकण्ड, $C = ?$, $R = 2 \times 10^3 \Omega$

$\therefore$ $$5 \times 10^{-2} = C \times 2 \times 10^3$$

$$C = \frac{5 \times 10^{-2}}{2 \times 10^3} = 2.5 \times 10^{-5}\ \text{F}$$

$$C = \mathbf{25\ \mu F}$$

प्रश्न 23. प्रोटॉन पर 1.6×10^{-19} कूलॉम आवेश होता है। दो प्रोटॉनों के बीच की दूरी 4.0×10^{-15} मीटर है। उनके बीच कितने न्यूटन का प्रतिकर्षण बल है?

हल कूलॉम के नियमानुसार,

प्रोटॉनों के बीच प्रतिकर्षण बल, $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{1.6 \times 10^{-19} \times 1.6 \times 10^{-19}}{(4.0 \times 10^{-15})^2}$

$$= \mathbf{14.4}\ \text{न्यूटन}$$

प्रश्न 24. एक छोटे धातु के गोले पर 8 माइक्रो कूलॉम आवेश है। जब इस आवेशित गोले को वायु में एक अन्य बिन्दु आवेश से 0.10 मीटर दूर रखते हैं तो दोनों आवेशों में 7.2 न्यूटन के बराबर विद्युत बल आरोपित होने लगता है। दूसरे आवेश के मान का परिकलन कीजिए।

हल कूलॉम के नियमानुसार, $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}$

या $$q_2 = \frac{Fr^2}{q_1} \times 4\pi\varepsilon_0 = \frac{7.2 \times (0.10)^2 \times 4 \times 3.14 \times 8.85 \times 10^{-12}}{8 \times 10^{-6}}\ \text{कूलॉम}$$

$$= 1 \times 10^{-6}\ \text{कूलॉम} = 1\mu\text{C} = \mathbf{1}\ \text{माइक्रो कूलॉम}$$

प्रश्न 25. दो सजातीय आवेशों में 1.6 न्यूटन प्रतिकर्षण बल लगता है, जब उनके बीच की दूरी 0.04 मीटर है। उनके बीच कितना बल लगेगा, यदि दूरी 0.02 मीटर कर दी जाये?

हल कूलॉम के नियमानुसार, $F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r^2}$ (जहाँ $r = 0.04$ मीटर, $F = 1.6$ न्यूटन)

माना आवेशों के बीच दूरी 0.02 मीटर हो जाने पर उनके बीच बल F' हो जाता है।

अत: $$F' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1q_2}{r'^2} \qquad (\text{यहाँ } r' = 0.02 \text{ मीटर})$$

अब $$\frac{F'}{F} = \frac{r^2}{r'^2}$$

$$F' = F \times \frac{r^2}{(r'^2)} = 1.6 \times \frac{(0.04)^2}{(0.02)^2} = \mathbf{6.4}\ \text{न्यूटन}$$

Scanned with CamScanner

प्रश्न 26. हाइड्रोजन परमाणु में इलेक्ट्रॉन तथा प्रोटॉन के मध्य 0.53 Å की दूरी होती है। उनके मध्य लगने वाले वैद्युत आकर्षण बल की गणना कीजिए। इस बल की तुलना गुरुत्वाकर्षण बल से भी कीजिए। दिया है, इलेक्ट्रॉन का आवेश = 1.6×10^{-19} कूलॉम, इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान = 9.1×10^{-31} किग्रा, प्रोटॉन का द्रव्यमान = 1.67×10^{-27} किग्रा।

हल यहाँ $q_1 = q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ कूलॉम, $r = 0.53$ Å $= 0.53 \times 10^{-10}$ मीटर, $m_e = 9.1 \times 19^{-31}$ किग्रा, $m_p = 1.67 \times 10^{-27}$ किग्रा

विद्युत आकर्षण बल

$$F_E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \times q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2}$$

$$F_E = 9 \times 10^9 \times \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(0.53 \times 10^{-10})^2}$$

$$F_E = 8.2 \times 10^{-8} \text{ न्यूटन}$$

गुरुत्वाकर्षण बल

$$F_G = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F_G = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(0.53 \times 10^{-10})^2}$$

$$F_G = 3.6 \times 10^{-47} \text{ न्यूटन}$$

इलेक्ट्रॉन व प्रोटॉन के मध्य लगने वाले विद्युत आकर्षण बल व गुरुत्वाकर्षण बल की तुलना

$$\frac{F_E}{F_G} = \frac{8.2 \times 10^{-8}}{3.6 \times 10^{-47}} = 2.27 \times 10^{39}$$

अतः विद्युत आकर्षण बल, गुरुत्वाकर्षण बल का 2.27×10^{39} गुना होता है।

प्रश्न 27. परावैद्युत पदार्थ क्या है?

उत्तर परावैद्युत पदार्थ वह पदार्थ होता है जिसके अन्दर सभी परमाणुओं में उनके सभी इलेक्ट्रॉन नाभिक के आकर्षण बल से दृढ़तापूर्वक बँधे रहते हैं। अतः ऐसे पदार्थों में वैद्युत चालन के लिए कोई भी मुक्त इलेक्ट्रॉन उपलब्ध नहीं होता अथवा मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या नगण्य होती है। अतः परावैद्युत पदार्थ वे पदार्थ हैं जिनमें होकर वैद्युत प्रवाह नहीं होता। फिर भी यदि कोई वैद्युत क्षेत्र किसी परावैद्युत पदार्थ पर आरोपित किया जाता है तो परावैद्युत पदार्थ के पृष्ठों पर प्रेरित आवेश उत्पन्न हो जाता है।

अतः "परावैद्युत पदार्थ वे कुचालक (insulator) पदार्थ हैं जिनमें वैद्युत प्रभाव (electric effects) बिना वैद्युत चालन के संचरित होते हैं।"

किसी वैद्युत चालक के किसी बिन्दु पर दिया गया आवेश उसकी पूरी सतह पर शीघ्रता से फैल जाता है, जबकि किसी परावैद्युत के किसी बिन्दु पर दिया गया आवेश उसी के निकटवर्ती क्षेत्र में स्थिर रहता है।

उदाहरणार्थ काँच, रबर, प्लास्टिक, ऐबोनाइट, माइका, मोम, कागज, लकड़ी आदि।

प्रश्न 28. संधारित्रों में परावैद्युत के उपयोग से धारिता क्यों बढ़ जाती है?

उत्तर संधारित्रों की प्लेटों के बीच परावैद्युत भरने से इसके अन्दर प्लेटों के बीच उपस्थित वैद्युत क्षेत्र के विपरीत दिशा में एक आन्तरिक वैद्युत-क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है, जो इसकी सतह पर प्लेटों के विपरीत आवेश के प्रेरित होने से उत्पन्न होता है। अतः प्लेटों के बीच विभवान्तर घट जाता है जिसके परिणामस्वरूप धारिता बढ़ जाती है।

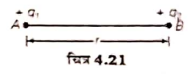
प्रश्न 29. वैद्युत स्थितिज ऊर्जा की परिभाषा बताइए। (2015)

उत्तर दो या दो से अधिक आवेशित कणों को दूर ले जाने या समीप लाने के लिए कार्य किया जाता है। यह कार्य कणों में स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है।

"अतः विद्युत आवेशों के किसी निकाय की स्थितिज ऊर्जा उस कार्य के बराबर होती है जो निकाय के आवेशों को अनंत से उनके निर्दिष्ट स्थानों तक लाने में किया जाता है।"

माना $+q_1$ तथा $+q_2$ आवेशों के मध्य दूरी r है। इस निकाय की स्थितिज ऊर्जा निकालने के लिए कल्पना कीजिए कि सर्वप्रथम दोनों आवेश एक-दूसरे से अनंत दूरी पर थे। अनंत से $+q_1$ को बिन्दु A तक लाने में किया गया कार्य शून्य है परन्तु $+q_2$ को अनंत से बिन्दु B तक लाने के लिए किया गया कार्य

$$W = (\text{बिन्दु } B \text{ पर } +q_1 \text{ का विभव}) \times (+q_2)$$



चित्र 4.21

या $$W = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1}{r} \times q_2$$

या $$W = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \times q_2}{r}$$

यही कार्य निकाय की स्थितिज ऊर्जा के रूप में संचित हो जाता है। अतः निकाय की स्थितिज ऊर्जा

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 \times q_2}{r}$$

प्रश्न 30. 100 μF के संधारित्र कि प्लेटों पर विभवान्तर 10 वोल्ट है, संधारित्र में वैद्युत स्थितिज ऊर्जा की गणना कीजिए। (2015)

हल दिया है, $C = 100 \times 10^{-6}$ F तथा $V = 10$ V

अब सूत्र $U = \frac{1}{2}CV^2$ से,

$$U = \frac{1}{2} \times 100 \times 10^{-6} \times 10^2$$

$$= \frac{1}{2} \times 10^2 \times 10^{-6} \times 10^2 = 5 \times 10^{-3} \text{ जूल}$$

Scanned with CamScanner

5 वैद्युत धारा
Current Electricity

खण्ड 'अ' : अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. वैद्युत प्रतिरोध की परिभाषा लिखिए।
उत्तर जब किसी चालक के सिरों के बीच विभवान्तर स्थापित किया जाता है तो उस चालक में वैद्युत धारा बहने लगती है। लगाए गए विभवान्तर (V) तथा चालक में प्रवाहित धारा (i) के अनुपात को चालक का 'वैद्युत प्रतिरोध' R कहते हैं।

अत: $$R = \frac{V}{i}$$

प्रश्न 2. प्रतिरोध का मात्रक लिखिए।
उत्तर प्रतिरोध का मात्रक 'ओम' है।

प्रश्न 3. विशिष्ट प्रतिरोध से आप क्या समझते हैं?
उत्तर किसी चालक-तार का प्रतिरोध तार की लम्बाई के अनुक्रमानुपाती तथा उसके अनुप्रस्थ-काट के क्षेत्रफल के व्युत्क्रमानुपाती होता है। अत: यदि किसी तार की लम्बाई l हो तथा अनुप्रस्थ-काट का क्षेत्रफल A हो तो उस तार का प्रतिरोध

$$R \propto \frac{l}{A} \quad \text{या} \quad R = K\frac{l}{A}$$

जहाँ K एक नियतांक है जिसका मान तार के पदार्थ पर निर्भर करता है। इसे विशिष्ट प्रतिरोध कहते हैं।

$$K = \frac{RA}{l}$$

अर्थात् किसी पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध उस पदार्थ के 1 मीटर लम्बे तथा 1 वर्ग मीटर अनुप्रस्थ-काट के क्षेत्रफल वाले तार के प्रतिरोध के बराबर होता है। इसका मात्रक 'ओम-मीटर' है।

प्रश्न 4. वैद्युत चालकता को परिभाषित कीजिए।
उत्तर वैद्युत प्रतिरोध के व्युत्क्रम को वैद्युत चालकता कहते हैं। वैद्युत चालकता का मात्रक 'ओम' है।

प्रश्न 5. विशिष्ट चालकता की परिभाषा लिखिए।
उत्तर विशिष्ट प्रतिरोध के व्युत्क्रम को विशिष्ट चालकता कहते हैं। इसे σ से प्रदर्शित करते हैं।

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

विशिष्ट चालकता का मात्रक ओम-मीटर$^{-1}$ है।

प्रश्न 6. 1 किलोवाट, 1 मेगावाट तथा 1 अश्व शक्ति को वाट में लिखिए।
उत्तर 1 किलोवाट $= 10^3$ वाट, 1 मेगावाट $= 10^6$ वाट तथा 1 अश्व शक्ति $= 746$ वाट।

प्रश्न 7. इलेक्ट्रॉन-वोल्ट को स्पष्ट कीजिए।
उत्तर **इलेक्ट्रॉन-वोल्ट** Electron-Volt or eV—इलेक्ट्रॉन-वोल्ट, कार्य अथवा ऊर्जा का एक बहुत छोटा मात्रक है। 1 इलेक्ट्रॉन-वोल्ट (1 eV) वह कार्य है जोकि किसी इलेक्ट्रॉन को एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक ले जाने में किया जाता है जबकि उन बिन्दुओं के बीच 1 वोल्ट विभवान्तर हो।
विभवान्तर की परिभाषा के अनुसार, यदि दो बिन्दुओं के बीच विभवान्तर V हो, तब एक इलेक्ट्रॉन एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक ले जाने में किया गया कार्य

$$W = eV$$

जहाँ e इलेक्ट्रॉन का आवेश है।
अथवा 1 इलेक्ट्रॉन-वोल्ट $= 1.6 \times 10^{-19}$ जूल

प्रश्न 8. किलोवाट घण्टा तथा जूल में सम्बन्ध स्पष्ट कीजिए।
उत्तर **किलोवाट-घण्टा तथा जूल में सम्बन्ध**

1 किलोवाट-घण्टा $=$ 1000 वाट $\times$ 1 घण्टा
$=$ 1000 जूल/सेकण्ड $\times$ (3600 सेकण्ड)
$=$ 36,00,000 जूल $= \mathbf{3.6 \times 10^6}$ जूल

प्रश्न 9. विद्युत धारा किसे कहते हैं? मात्रक भी लिखिए।
उत्तर किसी चालक में से एकांक समय में प्रवाहित होने वाले आवेश को चालक में प्रवाहित विद्युत धारा कहते हैं।

विद्युत धारा $i = \frac{q}{t}$

विद्युत धारा का SI मात्रक कूलॉम/सेकण्ड या ऐम्पियर है।

प्रश्न 10. माना किसी परिपथ में 4 सेकण्ड में 8 इलेक्ट्रॉन प्रवाहित हो रहे हैं तो कुल आवेश व प्रवाहित धारा का मान क्या होगा?
हल कुल आवेश $q = ne = \mathbf{8e}$ कूलॉम
प्रवाहित धारा $i = \frac{q}{t} = \frac{8e}{4} = \mathbf{2e}$ ऐम्पियर

प्रश्न 11. यदि l लम्बाई तथा r त्रिज्या के तार को खींचकर उसकी त्रिज्या पहले की आधी कर दी जाए तो प्रतिरोध कितने गुना हो जाएगा?
हल माना $r_1 = r,\ l_1 = l$

$$r_2 = \frac{r}{2},\ l_2 = ?$$

∵ आयतन नहीं बदलेगा

$$\therefore \quad \pi r_1^2 l_1 = \pi r_2^2 l_2$$

$$r^2 l = \frac{r^2}{4} l_2 \quad \therefore \quad l_2 = 4l$$

सूत्र $R = \frac{\rho l}{A}$ से, $R \propto \frac{l}{A}$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{l_2 A_1}{A_2 l_1} = \frac{4l \times \pi r^2}{\pi \frac{r^2}{4} \times l} = 16$$

$$R_2 = \mathbf{16}\, R_1$$

प्रश्न 12. एक तार का प्रतिरोध R है। यदि इसे खींचकर इसकी लम्बाई n गुना कर दें तो नया प्रतिरोध कितने गुना हो जाएगा?
उत्तर n^2 गुना।

प्रश्न 13. चालक का प्रतिरोध किन कारकों पर निर्भर करता है?
उत्तर चालक का प्रतिरोध चालक के पदार्थ, लम्बाई व परिच्छेद क्षेत्रफल पर निर्भर करता है।

प्रश्न 14. धात्वीय चालक के प्रतिरोध पर ताप का प्रभाव समझाइए।
उत्तर ताप बढ़ाने से प्रतिरोध बढ़ जाएगा; क्योंकि $R_t = R_0(1 + \alpha t)$
जहाँ, $R_t \to t°C$ पर चालक पर प्रतिरोध है व $R_0 \to 0°C$ पर चालक का प्रतिरोध है।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 15. किसी बल्ब पर 50 W-220 V लिखा है। इसका क्या अर्थ है?
उत्तर यदि बल्ब को 220 वोल्ट पर जलाएँ तो बल्ब द्वारा 1 सेकण्ड में 50 जूल ऊर्जा ऊष्मा व प्रकाश में बदल जाएगी।

प्रश्न 16. विद्युत परिपथ में सामर्थ्य का सूत्र लिखिए।
उत्तर विद्युत सामर्थ्य $P = Vi$

$$P = i^2R = \frac{V^2}{R} \text{ वाट}$$

प्रश्न 17. 1 किलोवाट-घण्टा किसका मात्रक है? इसका जूल से सम्बन्ध लिखिए।
उत्तर यह विद्युत ऊर्जा का मात्रक है।
अत: 1 किलोवाट घण्टा $= 3.6 \times 10^6$ जूल।

प्रश्न 18. व्हीटस्टोन ब्रिज के सन्तुलन की स्थिति लिखिए।
उत्तर $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

प्रश्न 19. मीटर ब्रिज के प्रयोग में सन्तुलन बिन्दु सिरे से 40 सेमी दूर आता है। $\frac{P}{Q}$ ज्ञात कीजिए।
हल $\frac{P}{Q} = \frac{l}{100-l} = \frac{40}{100-40} = \frac{40}{60} = \mathbf{\frac{2}{3}}$

प्रश्न 20. किस परिस्थिति में सेल का विद्युत वाहक बल उसके विभवान्तर के बराबर होगा?
उत्तर $\because V = E - ir$, यदि $i = 0$
अत: $V = E$

प्रश्न 21. विभवमापी किस सिद्धान्त पर कार्य करता है?
उत्तर जब एकसमान परिच्छेद के तार में नियत धारा बह रही है तो तार के किन्हीं भी दो बिन्दुओं के बीच विभवान्तर, उन बिन्दुओं के बीच दूरी के अनुक्रमानुपाती होता है।
अर्थात् $V \propto l$

प्रश्न 22. विभव-प्रवणता किसे कहते हैं?
उत्तर विभवमापी के तार की प्रति एकांक लम्बाई पर होने वाले विभव में पतन ही विभव-प्रवणता कहलाती है।

प्रश्न 23. विभवमापी की सुग्राहिता तार की लम्बाई बढ़ने पर घटती या बढ़ती है?
उत्तर बढ़ती है।

प्रश्न 24. विभवमापी तार में नल बिन्दु की स्थिति पर क्या प्रभाव पड़ेगा, यदि तार की लम्बाई दोगुनी कर दी जाए?
उत्तर नल बिन्दु दोगुनी दूरी पर प्राप्त होगा।

प्रश्न 25. 'ऐम्पियर का नियम' लिखिए।
उत्तर 1 ऐम्पियर वैद्युत धारा वह धारा है जो निर्वात् (अथवा वायु) में परस्पर 1 मीटर की दूरी पर स्थित दो ऋजुरेखीय, लम्बे व समान्तर तारों में प्रवाहित होने पर, प्रत्येक तार की प्रति मीटर लम्बाई पर 2×10^{-7} न्यूटन बल उत्पन्न करती है। (2019)

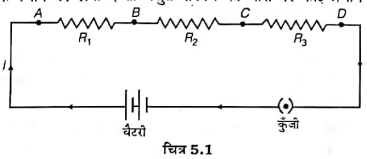
प्रश्न 26. '1 वोल्ट' को परिभाषित कीजिए। पृथ्वी तल का वैद्युत विभव क्या है? (2019)
उत्तर यदि वैद्युत क्षेत्र में किसी परीक्षण-आवेश को एक बिन्दु से दूसरे बिन्दु तक ले जाने में 1 जूल प्रति कूलॉम कार्य किया जाए, जो उन बिन्दुओं के बीच विभवान्तर 1 वोल्ट होगा। पृथ्वी तल का वैद्युत विभव शून्य होता है।

प्रश्न 27. किसी परिच्छेद से प्रति सेकण्ड कितने इलेक्ट्रान गुजरें कि उत्पन्न धारा 1 ऐम्पियर हो? (2019)
उत्तर किसी परिच्छेद से प्रति सेकण्ड 6.25×10^{18} इलेक्ट्रॉन गुजरे तो उत्पन्न धारा 1 ऐम्पियर होती है।

खण्ड 'ब' : लघु एवं दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. प्रतिरोधों के संयोजन (Combinations of Resistances) को स्पष्ट कीजिए।
उत्तर **प्रतिरोधों के संयोजन** Combination of Resistances—बहुत से प्रयोगात्मक कार्यों में दो अथवा दो से अधिक प्रतिरोधों को संयोजित करने की आवश्यकता होती है। साधारणत: प्रतिरोधों को संयोजित करने की निम्न दो विधियाँ हैं—

1. **श्रेणीक्रम में** In Series—श्रेणीक्रम संयोजन में प्रतिरोधों को इस प्रकार जोड़ा जाता है कि प्रत्येक प्रतिरोध का दूसरा सिरा अगले वाले प्रतिरोध के पहले सिरे से जुड़े। इस प्रकार इस संयोजन में सभी प्रतिरोधों में एक ही धारा प्रवाहित होती है।
चित्र 5.1 में AB, BC व CD तीन प्रतिरोध-तार श्रेणीक्रम में जुड़े हैं। मान लिया इनके प्रतिरोध क्रमश: R_1, R_2 व R_3 हैं तथा इन प्रतिरोधों का 'तुल्य-प्रतिरोध' (equivalent resistance) R है। तुल्य-प्रतिरोध वह प्रतिरोध है जिसे यदि जुड़े हुए प्रतिरोधों के स्थान पर लगा दें तो वैद्युत परिपथ की धारा पर कोई प्रभाव नहीं पड़ेगा।



चित्र 5.1

माना कि इन तीनों प्रतिरोधों में धारा i तथा प्रतिरोधों R_1, R_2 व R_3 के सिरों के बीच विभवान्तर क्रमश: V_1, V_2 व V_3 हैं। तब ओम के नियम से,

$$V_1 = iR_1, V_2 = iR_2 \text{ व } V_3 = iR_3$$

माना कि बैटरी का विभवान्तर V है, अर्थात् बिन्दुओं A तथा D के बीच विभवान्तर V है तब,

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$
$$= iR_1 + iR_2 + iR_3 \quad \text{...(i)}$$
$$= i(R_1 + R_2 + R_3)$$

यदि बिन्दुओं A व D के बीच तुल्य-प्रतिरोध R हो, तो ओम के नियम से

$$V = iR \quad \text{...(ii)}$$

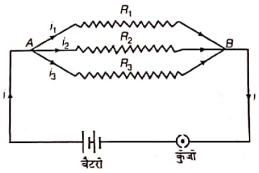
समीकरण (i) व (ii) की तुलना करने पर

$$iR = i(R_1 + R_2 + R_3)$$

अथवा $R = R_1 + R_2 + R_3$

अर्थात् श्रेणीक्रम में जुड़े प्रतिरोधों का तुल्य-प्रतिरोध उन प्रतिरोधों के योग के बराबर है।

2. **समान्तर क्रम में** In Parallel—समान्तर क्रम संयोजन में प्रतिरोधों को इस प्रकार जोड़ा जाता है कि सभी के पहले सिरे एक बिन्दु से तथा दूसरे सिरे एक दूसरे बिन्दु से जुड़े। इस प्रकार के संयोजन में सभी प्रतिरोधों के सिरों के बीच एक ही विभवान्तर होता है।
चित्र 5.2 में बिन्दुओं A व B के बीच तीन प्रतिरोध R_1, R_2 व R_3 समान्तर क्रम में जुड़े हैं। मान लिया कि बैटरी द्वारा दी गई वैद्युत-धारा i है।
बिन्दु A पर यह धारा तीन भागों में बँट जाती है। मान लिया प्रतिरोधों R_1, R_2 व R_3 में क्रमश: i_1, i_2 व i_3 धारा बहती है। बिन्दु B पर ये धाराएँ मिल जाती हैं और धारा i बन जाती है। इस प्रकार



चित्र 5.2

Scanned with CamScanner

$$i = i_1 + i_2 + i_3 \quad \ldots(i)$$

माना कि बिन्दुओं A व B के बीच विभवान्तर V है। चूँकि प्रत्येक प्रतिरोध A तथा B के बीच जुड़ा है, अत: प्रत्येक के सिरों के बीच विभवान्तर V ही होगा। अत: ओम के नियमानुसार,

$$i_1 = \frac{V}{R_1}, \quad i_2 = \frac{V}{R_2} \quad \text{व} \quad i_3 = \frac{V}{R_3}$$

इन मानों को समीकरण (i) में रखने पर,

$$i = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \quad \ldots(ii)$$

यदि बिन्दुओं A व B के बीच तुल्य-प्रतिरोध R हो, तो ओम के नियम से

$$i = \frac{V}{R} \quad \ldots(iii)$$

समीकरण (i) व (iii) की तुलना करने पर

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \qquad \text{अथवा} \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

अर्थात् समान्तर क्रम में जुड़े प्रतिरोधों के तुल्य-प्रतिरोध का व्युत्क्रम (reciprocal) उन प्रतिरोधों के व्युत्क्रमों के योग के बराबर होता है।

प्रश्न 2. ओम का नियम लिखिए। अपवाह वेग के आधार पर ओम के नियम की व्युत्पत्ति कीजिए।

उत्तर **ओम का नियम**—सन् 1826 में जर्मन वैज्ञानिक डॉ० जॉर्ज साइमन ओम ने किसी चालक के सिरों पर लगाये वैद्युत विभान्तर तथा उसमें प्रवाहित होने वाली वैद्युत धारा का सम्बन्ध एक नियम के द्वारा व्यक्त किया जिसे ओम का नियम कहते हैं।

अर्थात् यदि किसी चालक की भौतिक अवस्थाओं जैसे ताप इत्यादि में परिवर्तन न हो तो उसके सिरों पर लगाये गए विभवान्तर तथा उसमें बहने वाली वैद्युत धारा का अनुपात नियत रहता है।

$$R = \frac{V}{i}$$

जहाँ V = विभवान्तर तथा i धारा है।

अपवाह वेग के आधार पर ओम के नियम की व्युत्पत्ति Derivation of Ohm's Law on the basis of Drift Velocity—माना कि धातु के एक तार की लम्बाई l तथा परिच्छेद-क्षेत्रफल A है। जब इसके सिरों के बीच एक वैद्युत विभवान्तर V स्थापित किया जाता है तो इसमें वैद्युत धारा i प्रवाहित होने लगती है। यदि तार में मुक्त इलेक्ट्रॉनों का घनत्व, अर्थात् तार के प्रति एकांक आयतन में मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या n हो तथा इलेक्ट्रॉनों का अपवाह वेग v_d हो, तब

$$i = n\, e\, A v_d \quad \ldots(i)$$

जहाँ e इलेक्ट्रॉन का आवेश है। चूँकि तार की लम्बाई l के सिरों के बीच वैद्युत विभवान्तर V है, अत: तार के प्रत्येक बिन्दु पर वैद्युत क्षेत्र का मान

$$E = V/l$$

इस वैद्युत क्षेत्र द्वारा प्रत्येक मुक्त इलेक्ट्रॉन पर आरोपित बल

$$F = eE = eV/l$$

यदि इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान m हो, तब इस बल के कारण इलेक्ट्रॉन में उत्पन्न त्वरण

$$a = F/m = eV/ml \quad \ldots(ii)$$

तार के भीतर मुक्त इलेक्ट्रॉन धातु के घन आयनों से बारम्बार टकराते रहते हैं। किसी घन आयन से टकराने के पश्चात् इलेक्ट्रॉन का वेग वैद्युत क्षेत्र E की विपरीत दिशा में बढ़ने लगता है। यदि किसी इलेक्ट्रॉन की घन आयनों से हुई दो क्रमागत टक्करो के बीच का समयान्तराल τ है तो इलेक्ट्रॉन के वेग में $a\tau$ वृद्धि होगी। यदि किसी क्षण वैद्युत क्षेत्र की अनुपस्थिति में किसी इलेक्ट्रॉन का ऊष्मीय वेग u_1 है, तब वैद्युत क्षेत्र E की उपस्थिति में उसका वेग बढ़कर $u_1 + a\tau_1$ हो जायेगा; जहाँ τ_1 उस इलेक्ट्रॉन का दो क्रमागत टक्करों के बीच का समयान्तराल है। इसी प्रकार, अन्य इलेक्ट्रॉनों के वेग $(u_2 + a\tau_2), (u_3 + a\tau_3)$... होंगे। सभी n इलेक्ट्रॉनो का औसत वेग ही मुक्त इलेक्ट्रॉनों का अपवाह वेग v_d है। इस प्रकार

$$v_d = \frac{(u_1 + a\tau_1) + (u_2 + a\tau_2) + \ldots + (u_n + a\tau_n)}{n}$$

$$= \frac{u_1 + u_2 + \ldots + u_n}{n} + a\frac{\tau_1 + \tau_2 + \ldots \tau_n}{n}$$

$$= 0 + a\tau = a\tau \quad \ldots(iii)$$

जहाँ $\tau = [(\tau_1 + \tau_2 + \ldots + \tau_n)/n]$ इलेक्ट्रॉनों का दो क्रमागत टक्करों के बीच का 'औसत' समय-अन्तराल अर्थात् श्रांतिकाल (relaxation time) है। अधिकतर धातुओं के लिए श्रांतिकाल 10^{-14} सेकण्ड की कोटि का होता है।

समीकरण (ii) से a का मान समीकरण (iii) में रखने पर

$$v_d = \left(\frac{eV}{ml}\right)\tau$$

यह तार में मुक्त इलेक्ट्रॉनों के अपवाह वेग v_d तथा श्रांतिकाल तथा τ तार के सिरों के बीच उत्पन्न वैद्युत विभवान्तर V में सम्बन्ध है।

v_d का यह मान समीकरण (i) में रखने पर

$$i = neA\left(\frac{eV}{ml}\right)\tau = \frac{ne^2\tau}{m}\frac{A}{l}V \qquad \text{अथवा} \qquad \frac{V}{i} = \frac{m}{ne^2\tau}\frac{l}{A}$$

$\frac{m}{ne^2\tau}\frac{l}{A}$, एक निश्चित ताप पर दिये गये तार के लिए एक नियतांक (constant) है। इसे तार का वैद्युत प्रतिरोध R कहते हैं।

$$R = \frac{ml}{ne^2\tau A} \qquad \text{अत:} \quad \frac{V}{i} = R \text{ (नियतांक)}$$

यही **ओम का नियम** है।

प्रश्न 3. अतिचालकता पर टिप्पणी लिखिए।

उत्तर **अतिचालकता** (Superconductivity)

कुछ पदार्थों में ताप तथा प्रतिरोधकता के बीच एक असामान्य सम्बन्ध देखा जाता है। जैसे-जैसे पदार्थ को ठण्डा किया जाता है, पदार्थ की प्रतिरोधकता, शुद्ध धातुओं की भाँति, धीरे-धीरे घटती जाती है, परन्तु एक विशेष ताप से नीचे ठण्डा होने पर प्रतिरोधकता बहुत तेजी से घट कर 'शून्य' हो जाती है। उदाहरणार्थ—पारे की प्रतिरोधकता 4.2 K ताप पर अचानक शून्य हो जाती है। इस घटना को 'अतिचालकता' कहते हैं तथा ठण्डा किये गये पदार्थ को 'अतिचालक' (superconductor) कहते हैं। यह घटना अति निम्न तापों पर (10 K से 0.1 K तक) ही होती है। वह ताप जिस पर प्रतिरोधकता अचानक शून्य हो जाती है, 'संक्रमण ताप' (transition temperature) कहलाता है, जो विभिन्न पदार्थों के लिए भिन्न-भिन्न होता है।

अतिचालकता का गुण सभी पदार्थों में नहीं पाया जाता है जो पदार्थ सामान्यत: सुचालक हैं, जैसे—ताँबा, चाँदी, सोना, लीथियम तथा सोडियम, उनमें 1 K से भी छोटी भिन्न तक के नीचे ताप पर भी अतिचालकता का गुण नहीं पाया जाता। इसके विपरीत, कुछ धातुएँ तथा मिश्र धातुएँ, जैसे कि टंगस्टन, कैडमियम, ऐलुमिनियम, टिन तथा सीसा क्रमश: 0.01 K, 0.56 K, 1.19 K, 3.7 K तथा 7.2 K तापों पर अतिचालक अवस्था में होते हैं।

शून्य प्रतिरोधकता किसी पदार्थ की अतिचालक अवस्था का लक्षण है। यदि हम किसी ऐसे तार में जो अतिचालकता की अवस्था में है, एक बार किसी वैद्युत स्रोत से धारा प्रवाहित कर दें तो फिर स्रोत को हटा लेने पर भी तार में धारा घण्टों, दिनों अथवा महीनों तक प्रवाहित होती रहेगी।

3 K ताप पर रखे गये टिन के तार में 100 ऐम्पियर की वैद्युत धारा बहुत समय तक प्रवाहित करने पर भी तार में कोई विशेष ऊष्मा उत्पन्न नहीं होती। इससे स्पष्ट है कि तार में कोई प्रतिरोध नहीं है।

अतिचालक पदार्थों के निम्न उपयोग हैं—

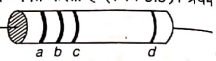
(i) ऊर्जा को वैद्युत तारों में बिना किसी प्रतिरोधात्मक ह्रास के भेजा जा सकता है तथा संग्रहीत किया जा सकता है। पावर कम्पनी जब माँग कम होती है तब वैद्युत उत्पादित करके अतिचालक रिंगों में संग्रहीत कर सकती है जिसे अधिकतम माँग के दौरान दे सकते हैं।

(ii) अतिचालक वैद्युत चुम्बकों से प्रबल चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न किया जा सकता है जिसे साधारण वैद्युत चुम्बक उत्पन्न नहीं कर सकते।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 4. कार्बन प्रतिरोधों के वर्ण कोड को समझाकर लिखिए।

उत्तर **कार्बन प्रतिरोधों के वर्ण कोड** Colour Codes of Carbon Resistances—कार्बन प्रतिरोधों के मानों को प्रदर्शित करने के लिए वर्ण कोड का प्रयोग किया जाता है। प्रतिरोध पर विभिन्न रंगों की चार वलयाकार पट्टियाँ (bands) होती हैं, पहली तीन पट्टियाँ a, b तथा c प्रतिरोध के मान को व्यक्त करती हैं तथा चौथी पट्टी d विश्वसनीयता की प्रतिशत (percentage reliability) जिसे सहनशीलता (tolerance) कहते हैं, को व्यक्त करती है (चित्र 5.3)। प्रथम पट्टी a का रंग ओम में प्रतिरोध के प्रथम सार्थक अंक तथा द्वितीय पट्टी b ओम में प्रतिरोध के दूसरे सार्थक अंक को व्यक्त करते हैं तथा तीसरी पट्टी c दोनों सार्थक अंकों की दस की घात व्यक्त करती है जिससे दोनों सार्थक अंकों की गुणा करने पर प्रतिरोध का मान प्राप्त होता है। चौथी पट्टी d का रंग (या तो सुनहरा या चाँदी का होता है) सहनशीलता व्यक्त करता है। यदि इस पट्टी का रंग सुनहरा है तो सहनशीलता ±5% होती है, यदि यह चाँदी का है, तो सहनशीलता ±10% है। कभी-कभी चौथी पट्टी होती ही नहीं है, तब सहनशीलता ±20% होती है।



चित्र 5.3

कार्बन प्रतिरोधों के वर्ण कोड को निम्न सारणी में व्यक्त किया गया है—

रंग	प्रथम व द्वितीय पट्टी (अंक)	तीसरी पट्टी (गुणक)	चौथी पट्टी	
			रंग	सहनशीलता
काला (Black) B	0	10^0	सुनहरा (Gold)	± 5%
भूरा (Brown) B	1	10^1	चाँदी (Silver)	± 10%
लाल (Red) R	2	10^2	कोई रंग नहीं	± 20%
नारंगी (Orange) O	3	10^3		
पीला (Yellow) Y	4	10^4		
हरा (Green) G	5	10^5		
नीला (Blue) B	6	10^6		
बैंगनी (Violet) V	7	10^7		
सलेटी (Grey) G	8	10^8		
सफेद (White) W	9	10^9		

प्रश्न 5. वैद्युत सेल पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।

उत्तर वैद्युत सेल एक ऐसी युक्ति है जो रासायनिक ऊर्जा को वैद्युत ऊर्जा में परिवर्तित करके, किसी परिपथ में आवेश के प्रवाह को निरन्तर बनाये रखती है। इसमें विभिन्न धातुओं की दो छड़ें होती हैं जिन्हें 'इलेक्ट्रोड' (electrodes) अथवा 'प्लेटें' कहते हैं। ये एक द्रव में डूबी रहती हैं जिसे 'वैद्युत-अपघट्य' (electrolyte) कहते हैं। इस द्रव में यह गुण होता है कि प्लेटों को इसमें डुबाने पर एक प्लेट धनावेशित हो जाती है तथा दूसरी ऋणावेशित हो जाती है। जब दोनों प्लेटों को किसी तार से जोड़ देते हैं तो तार में आवेश प्रवाहित होने लगता है। सेल के भीतर वैद्युत-अपघट्य में ऐसी रासायनिक क्रिया होती है जिससे प्लेटों पर आवेशों की पूर्ति होती रहती है तथा तार में आवेश-प्रवाह (वैद्युत धारा) बना रहता है। इस प्रकार वैद्युत सेल रासायनिक ऊर्जा को वैद्युत ऊर्जा में बदलती रहती है।

प्रश्न 6. सेल के विद्युत वाहक बल को समझाइए।

उत्तर **सेल का विद्युत वाहक बल** E.M.F. of a Cell—वैद्युत परिपथ में आवेश का अनवरत् प्रवाह (अर्थात् वैद्युत धारा) बनाये रखने के लिए कुछ कार्य करना पड़ता है। यह कार्य सेल द्वारा किया जाता है। सेल में होने वाली रासायनिक क्रियाओं में जो ऊर्जा मुक्त होती है वह ही परिपथ में आवेश को प्रवाहित करती है। इस प्रकार सेल अपने इलेक्ट्रोडों तथा वैद्युत-अपघट्य की रासायनिक ऊर्जा को वैद्युत ऊर्जा में रूपान्तरित करता है। एकांक आवेश को पूरे परिपथ में (सेल सहित) प्रवाहित करने में सेल द्वारा दी गई ऊर्जा को सेल का 'वैद्युत वाहक बल' कहते हैं। विद्युत वाहक बल प्रत्येक सेल का एक लाक्षणिक गुण होता है जो सेल में प्रयुक्त प्लेटों तथा वैद्युत-अपघट्य की प्रकृति पर निर्भर करता है। वैद्युत-अपघट्य की मात्रा तथा प्लेटों के आकार अथवा उनके बीच की दूरी का इस पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

यदि किसी परिपथ में q कूलॉम आवेश प्रवाहित होने में सेल द्वारा दी गई ऊर्जा (किया गया कार्य) W जूल हो तो सेल का विद्युत वाहक बल

$$E = \frac{W}{q} \text{ जूल/कूलॉम}$$

विद्युत वाहक बल का मात्रक जूल/कूलॉम है जिसे 'वोल्ट' कहते हैं। यदि किसी परिपथ में 1 कूलॉम आवेश प्रवाहित करने पर सेल द्वारा दी गई ऊर्जा 1 जूल हो तो सेल का विद्युत वाहक बल 1 वोल्ट होता है।

प्रश्न 7. टर्मिनल विभवान्तर की अवधारणा लिखिए।

उत्तर **टर्मिनल विभवान्तर** Terminal Potential Difference—माना कि किसी वैद्युत परिपथ में जुड़ी सेल का विद्युत वाहक बल E है तथा परिपथ में q आवेश के प्रवाहित होने पर सेल द्वारा दी गई ऊर्जा W है। तब

$$E = \frac{W}{q}$$

परिपथ के सभी भागों में प्रवाहित आवेश q ही होगा। यदि परिपथ के भिन्न-भिन्न भागों में व्यय होने वाली ऊर्जाएँ $W_1, W_2, W_3 \ldots$ हों, तो उनका योग सदैव W ही होगा। अत:

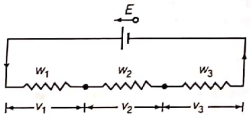
$$E = \frac{W}{q} = \frac{W_1 + W_2 + W_3 + \ldots\ldots}{q} = \frac{W_1}{q} + \frac{W_2}{q} + \frac{W_3}{q} + \ldots\ldots$$

माना कि $\frac{W_1}{q} = V_1, \frac{W_2}{q} = V_2, \frac{W_3}{q} = V_3, \ldots\ldots\ldots$

तब $E = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots\ldots$

स्पष्ट है कि $V_1, V_2, V_3 \ldots$ एकांक आवेश को प्रवाहित करने में, परिपथ के विभिन्न भागों में व्यय होने वाली ऊर्जाएँ हैं। इन्हें परिपथ के भिन्न-भिन्न भागों के 'टर्मिनल विभवान्तर' कहते हैं (चित्र 5.4)।

किसी परिपथ के दो बिन्दुओं के बीच एकांक आवेश को प्रवाहित करने में किये गये कार्य को उन बिन्दुओं के बीच 'टर्मिनल विभवान्तर' कहते हैं। इस प्रकार, यदि वैद्युत परिपथ के दो बिन्दुओं के बीच q कूलॉम आवेश प्रवाहित करने पर W' जूल कार्य करना पड़े (W' जूल ऊर्जा व्यय हो) तो उन बिन्दुओं के बीच टर्मिनल विभवान्तर $V = W'/q$ वोल्ट होगा। टर्मिनल विभवान्तर को वोल्टमीटर से नापते हैं।



चित्र 5.4

प्रश्न 8. वैद्युत धारा का ऊष्मीय प्रभाव क्या है? किसी तार में उत्पन्न ऊष्मा के सूत्र का निगमन कीजिए।

उत्तर **वैद्युत धारा का ऊष्मीय प्रभाव** Heating Effect of Current—जब किसी तार में वैद्युत धारा प्रवाहित की जाती है तो तार गर्म हो जाता है। इसे वैद्युत धारा का 'ऊष्मीय प्रभाव' कहते हैं।

वास्तव में तार के भीतर विद्यमान मुक्त इलेक्ट्रॉनों के गतिशील हो जाने को ही वैद्युत-धारा कहते हैं। जब इलेक्ट्रॉन तार में चलते हैं तो वे तार के परमाणुओं से बार-बार टकराते हैं तथा अपनी गतिज ऊर्जा का कुछ भाग उन्हें देते रहते हैं। इससे तार में परमाणुओं की अनियमित ऊष्मीय गति बढ़ जाती है। अत: तार का ताप बढ़ जाता है। इस प्रकार वैद्युत ऊर्जा (इलेक्ट्रॉनों की गतिज ऊर्जा) ऊष्मा ऊर्जा में बदल जाती है।

तार में उत्पन्न ऊष्मा का सूत्र—माना किसी तार का प्रतिरोध R ओम है तथा इसके सिरों के बीच विभवान्तर V वोल्ट है। इसमें i ऐम्पियर की धारा t सेकण्ड तक प्रवाहित की जाती है तब t सेकण्ड में तार में व्यय वैद्युत ऊर्जा

$$W = Vit \text{ जूल}$$

यह ऊर्जा ही ऊष्मा के रूप में उत्पन्न हो जाती है। ऊष्मा की माप 'कैलोरी' में की जाती है। हम जानते हैं कि,

$$1 \text{ कैलोरी} = 4.2 \text{ जूल}$$

अथवा $1 \text{ जूल} = \frac{1}{4.2} \text{ कैलोरी}$

अथवा $W \text{ जूल} = \frac{W}{4.2} \text{ कैलोरी}$

∴तार में t सेकण्ड में उत्पन्न ऊष्मा $H = \frac{W}{4.2} \text{ कैलोरी}$

Scanned with CamScanner

$$H = \frac{Vit}{4.2} \text{ कैलोरी}$$

यह तार में उत्पन्न ऊष्मा का विभवान्तर तथा धारा के पदों में सूत्र है।

विभवान्तर व प्रतिरोध के पदों में, $W = \frac{V^2t}{R}$ जूल

अत: $$H = \frac{V^2t}{4.2R} \text{ कैलोरी}$$

धारा व प्रतिरोध के पदों में, $W = i^2Rt$ जूल।

अत: $$H = \frac{i^2Rt}{4.2} \text{ कैलोरी}$$

उपरोक्त सूत्र से स्पष्ट है कि चालक में उत्पन्न ऊष्मा
(i) वैद्युत धारा के वर्ग (i^2) के अनुक्रमानुपाती है, यदि R व t स्थिर हैं;
(ii) प्रतिरोध (R) के अनुक्रमानुपाती है, यदि i व t स्थिर हैं;
(iii) समय (t) के अनुक्रमानुपाती है, यदि i व R स्थिर हैं।

उपरोक्त तीनों नियम ऊष्मा उत्पादन के जूल के नियम कहलाते हैं।

प्रश्न 9. वैद्युत शक्ति के लिए सूत्र का निगमन कीजिए।

उत्तर **वैद्युत सामर्थ्य अथवा वैद्युत शक्ति** Electric Power—किसी वैद्युत परिपथ में वैद्युत-ऊर्जा के व्यय होने की दर को 'वैद्युत सामर्थ्य' कहते हैं, अर्थात्

$$\text{सामर्थ्य} = \frac{\text{ऊर्जा}}{\text{समय}}$$

यदि किसी परिपथ में t सेकण्ड में W जूल ऊर्जा व्यय हो, तब परिपथ की वैद्युत सामर्थ्य

$$P = \frac{W \text{ जूल}}{t \text{ सेकण्ड}} = \frac{W}{t} \text{ जूल/सेकण्ड}$$

सामर्थ्य के मात्रक 'जूल/सेकण्ड' को 'वाट' (watt) कहते हैं।

$$P = \frac{W}{t} \text{ वाट}$$

अत: यदि किसी वैद्युत परिपथ में 1 जूल प्रति सेकण्ड की दर से ऊर्जा व्यय हो रही हो तो परिपथ की वैद्युत शक्ति 1 वाट होगी।

यदि परिपथ में V वोल्ट विभवान्तर पर i ऐम्पियर धारा t सेकण्ड तक प्रवाहित हो, तब व्यय ऊर्जा

$$W = Vit \text{ जूल}$$

अत: परिपथ की सामर्थ्य $$P = \frac{W}{t} = \frac{Vit}{t} \text{ वाट}$$

अथवा $$P = Vi \text{ वाट} \quad ...(i)$$

अत: यदि किसी वैद्युत परिपथ में V वोल्ट के विभवान्तर पर i ऐम्पियर की धारा बह रही हो तो परिपथ में व्यय वैद्युत शक्ति Vi वाट होगी।

माना कि परिपथ का वैद्युत प्रतिरोध R ओम है। समीकरण (i) में $V = iR$ रखने पर

$$P = i^2R \text{ वाट} \quad ...(ii)$$

पुन: समी० (i) में $i = V/R$ रखने पर $$P = \frac{V^2}{R} \text{ वाट}$$

प्रश्न 10. वैद्युत ऊर्जा (Electric Energy) को मात्रक सहित समझाइए।

उत्तर **वैद्युत ऊर्जा** Electric Energy—किसी चालक में वैद्युत आवेश के प्रवाहित होने से जो ऊर्जा व्यय होती है उसे 'वैद्युत ऊर्जा' कहते हैं।

विभवान्तर की परिभाषा के अनुसार, 1 कूलॉम आवेश को 1 वोल्ट विभवान्तर पर किसी चालक के एक सिरे से दूसरे सिरे तक ले जाने में 1 जूल कार्य करना पड़ता है अथवा 1 जूल ऊर्जा व्यय होती है। अत: यदि किसी चालक के सिरों के बीच विभवान्तर V वोल्ट हो तो q कूलॉम आवेश को चालक के एक सिरे से दूसरे सिरे तक ले जाने में $V \times q$ जूल कार्य करना पड़ेगा (अथवा $V \times q$ जूल ऊर्जा व्यय होगी)। इस प्रकार किया गया कार्य अथवा व्यय वैद्युत ऊर्जा

$$W = V \times q \text{ जूल}$$

1. **वैद्युत ऊर्जा, विभवान्तर तथा धारा के पदों में**—माना कि किसी चालक के सिरों के बीच विभवान्तर V वोल्ट है तथा इसमें i ऐम्पियर की धारा t सेकण्ड तक प्रवाहित होती है तब चालक में t सेकण्ड में प्रवाहित आवेश

$$q = i \times t \text{ कूलॉम}$$

अत: चालक में t सेकण्ड में व्यय हुई वैद्युत ऊर्जा

$$W = V \times q = V \times i \times t$$

अथवा $$W = Vit \text{ जूल} \quad ...(i)$$

2. **वैद्युत ऊर्जा, धारा तथा प्रतिरोध के पदों में**—यदि चालक का प्रतिरोध R ओम हो, तब ओम के नियमानुसार

$$V = iR$$

V का यह मान समीकरण (i) में रखने पर

$$W = i^2Rt \text{ जूल} \quad ...(ii)$$

3. **वैद्युत ऊर्जा, विभवान्तर तथा प्रतिरोध के पदों में**—पुन: ओम के नियम से,

$$i = \frac{V}{R}$$

i का यह मान समीकरण (i) में रखने पर

$$W = \frac{V^2t}{R} \text{ जूल} \quad ...(iii)$$

प्रश्न 11. किसी परिपथ में 5 ऐम्पियर धारा 8 सेकण्ड तक प्रवाहित की जाती है। इस समयान्तर में परिपथ से कुल कितने इलेक्ट्रॉन गुजरते हैं? यदि परिपथ का प्रतिरोध 20 ओम हो तो उसमें उत्पन्न ऊष्मा की गणना कीजिए। इलेक्ट्रॉन का आवेश = 1.6×10^{-19} कूलॉम।

हल परिपथ में प्रवाहित कुल आवेश = वैद्युत धारा × समय = 5 ऐम्पियर × 8 सेकण्ड = 40 कूलॉम

परिपथ से गुजरने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या

$$= \frac{\text{कुल आवेश}}{\text{एक इलेक्ट्रॉन का आवेश}} = \frac{40 \text{ कूलॉम}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ कूलॉम}} = 25 \times 10^{19}$$

परिपथ में उत्पन्न ऊष्मा $$H = i^2Rt$$
$$= (5 \text{ ऐम्पियर})^2 \times 20 \text{ ओम} \times 8 \text{ सेकण्ड} = \mathbf{4000} \text{ **जूल**}$$

प्रश्न 12. एक विजली के वल्व पर 40 वाट लिखा है। यह 200 वोल्ट के विद्युत-स्रोत में संयोजित कर दिया जाता है। (i) वल्व में धारा का मान, (ii) वल्व के तन्तु का प्रतिरोध तथा (iii) वल्व में प्रति सेकण्ड उत्पन्न ऊष्मा की गणना कीजिए।

हल (i) V वोल्ट पर जलने वाले वल्व की सामर्थ्य

$$P = V \times i$$

जहाँ i वल्व में धारा है

$\therefore$ $$i = \frac{P}{V} = \frac{40 \text{ वाट}}{200 \text{ वोल्ट}} = 0.2 \text{ ऐम्पियर}$$

(ii) ओम के नियमानुसार, वल्व के तन्तु का प्रतिरोध

$$R = \frac{V}{i} = \frac{200 \text{ वाट}}{0.2 \text{ ऐम्पियर}} = 1000 \text{ ओम}$$

(iii) वल्व में प्रति सेकण्ड उत्पन्न ऊष्मा $$H = i^2R = (0.2 \text{ ऐम्पियर})^2 \times 1000 \text{ ओम} = \mathbf{40} \text{ जूल}$$

Scanned with CamScanner

प्रश्न 13. 60 वाट सामर्थ्य के वैद्युत बल्ब को 10 घण्टे प्रतिदिन जलाने पर 30 दिनों में कितने जूल ऊर्जा व्यय होगी?

हल व्यय वैद्युत ऊर्जा $= V i t$

वैद्युत बल्ब की सामर्थ्य $P = V \times i = 60$ वाट तथा समय $t = 30 \times 10 \times 60 \times 60 = 108 \times 10^4$ सेकण्ड

$\therefore$ व्यय वैद्युत ऊर्जा $= 60$ वाट $\times 108 \times 10^4$ सेकण्ड

$= \mathbf{6.48 \times 10^7}$ **जूल**

प्रश्न 14. एक वैद्युत हीटर की सामर्थ्य 1 किलोवाट है। इसे 20 मिनट तक उपयोग में लाने से कितनी ऊष्मा उत्पन्न होगी? ($J = 4.18$ जूल/कैलोरी)

हल वैद्युत हीटर की सामर्थ्य $= 1$ किलोवाट $= 10^3$ वाट

हीटर द्वारा 20 मिनट में व्यय वैद्युत ऊर्जा

$W = 10^3$ वाट $\times 20 \times 60$ सेकण्ड $= 12 \times 10^5$ जूल

4.18 जूल कार्य से 1 कैलोरी ऊष्मा उत्पन्न होती है।

$\therefore$ 12×10^5 जूल कार्य से उत्पन्न ऊष्मा $= \dfrac{12 \times 10^5}{4.18} = \mathbf{2.87 \times 10^5}$ **कैलोरी**

प्रश्न 15. एक विद्युत मोटर की सामर्थ्य 5 किलोवाट है। इसे प्रतिदिन 6 घण्टे की दर से 30 दिन तक प्रयोग में लाने के लिए कितने यूनिट विद्युत ऊर्जा व्यय होगी?

हल व्यय वैद्युत ऊर्जा $= \dfrac{\text{वाट} \times \text{घण्टे}}{1000} = \dfrac{(5 \times 10^3) \times (6 \times 30)}{1000} = \mathbf{900}$ **यूनिट**

प्रश्न 16. एक वैद्युत बल्ब पर '250 V –200 W' लिखा है। इसे 200 वोल्ट के मेन्स से जोड़ने पर बल्ब में कितनी धारा प्रवाहित होगी?

हल V वोल्ट पर जलने वाले बल्ब की सामर्थ्य

$$P = V \times i$$

जहाँ i बल्ब में वैद्युत धारा है।

$\therefore$ $$i = \frac{P}{V} \quad \ldots(i)$$

बल्ब के तन्तु का प्रतिरोध $$R = \frac{V}{i} = \frac{V}{P/V} = \frac{V^2}{P}$$

$$= \frac{250 \times 250}{200} = \frac{625}{2} = 312.5 \text{ ओम}$$

ओम के नियमानुसार $V = iR$

यहाँ $V = 200$ वोल्ट तथा $R = 312.5$ ओम

$\therefore$ $$i = \frac{V}{R} = \frac{200}{312.5} = \mathbf{0.64}$$ **ऐम्पियर**

प्रश्न 17. 50 वाट के एक बल्ब को 200 वोल्ट के वैद्युत स्रोत से जोड़ा जाता है। बल्ब के प्रतिरोध का परिकलन कीजिए।

हल बल्ब के तन्तु का प्रतिरोध

$$R = \frac{V^2}{P}$$

दिया है, $V = 200$ वोल्ट, $P = 50$ वाट

$\therefore$ $$R = \frac{(200)^2}{50} = \mathbf{800}$$ **ओम**

प्रश्न 18. दो बल्बों, जिनमें एक पर 100 वाट 220 वोल्ट तथा दूसरे पर 60 वाट 220 वोल्ट लिखा है, को एक 220 वोल्ट की सप्लाई लाइन से समान्तर क्रम में जोड़ा गया है। सप्लाई लाइन से निर्गत धारा की गणना कीजिए।

हल बल्ब के तन्तु का प्रतिरोध $$R = \frac{V^2}{P}$$

100 वाट –220 वोल्ट के बल्ब का प्रतिरोध $$R_1 = \frac{(220)^2}{100} = 484 \text{ ओम}$$

60 वाट –220 वोल्ट के बल्ब का प्रतिरोध $$R_2 = \frac{(220)^2}{60} = \frac{2420}{3} \text{ ओम}$$

दोनों बल्बों को समान्तर क्रम में जोड़ने पर तुल्य-प्रतिरोध

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{484 \times \frac{2420}{3}}{484 + \frac{2420}{3}}$$

$$= \frac{484 \times 2420}{3872} = 302.5 \text{ ओम}$$

सप्लाई लाइन से निर्गत् धारा $$i = \frac{V}{R} = \frac{220}{302.5} = \mathbf{0.73}$$ **ऐम्पियर**

प्रश्न 19. 200 ओम प्रतिरोध के एक तार में 1.5 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित करने से ऊर्जा व्यय की दर ज्ञात कीजिए। यदि उपर्युक्त तार में ऊर्जा व्यय की दर 1250 वाट हो तो तार के सिरों का विभवान्तर कितना होगा?

हल यदि R ओम के तार में i ऐम्पियर की धारा बह रही है तो तार में ऊर्जा व्यय की दर

$$P = i^2 R \text{ वाट}$$

दिया है, $i = 1.5$ ऐम्पियर तथा $R = 200$ ओम

$\therefore$ $$P = (1.5)^2 \times 200 = \mathbf{450}$$ **वाट**

माना प्रतिरोध R के तार के सिरों के बीच विभवान्तर V है। तब तार में ऊर्जा व्यय की दर

$$P = V^2/R$$

दिया है, $P = 1250$ वाट

$\therefore$ $$V^2 = P \cdot R = 1250 \times 200 = 250000$$

अथवा $$\boldsymbol{V = 500}$$ **वोल्ट**

प्रश्न 20. दो प्रतिरोध 3 ओम तथा 5 ओम के हैं। इन्हें किसी सेत से जोड़ने पर कौन-सा प्रतिरोध अधिक गर्म होगा यदि इन्हें परस्पर (i) श्रेणीक्रम में तथा (ii) समान्तर क्रम में जोड़ा जाये?

हल (i) श्रेणीक्रम में जोड़ने पर दोनो प्रतिरोधों R_1 व R_2 मे समान धारा i बहेगी। यदि इनमे t सेकण्ड मे उत्पन्न ऊष्माएँ H_1 व H_2 जूल हों, तब

$$H_1 = i^2 R_1 t \text{ जूल}$$

तथा $$H_2 = i^2 R_2 t \text{ जूल}$$

$\therefore$ $$\frac{H_1}{H_2} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{3}{5}$$

अथवा $$H_1 : H_2 = R_1 : R_2 = 3:5$$

स्पष्ट है, **दूसरे प्रतिरोध में अधिक ऊष्मा उत्पन्न होगी।**

(ii) समान्तर क्रम में जोड़ने पर दोनों प्रतिरोधों के सिरो के बीच वोल्टेज V एक ही होगी। तब t सेकण्ड मे उत्पन्न ऊष्मा

Scanned with CamScanner

$$H_1 = \frac{V^2 t}{R_1} \text{ जूल} \quad \text{तथा} \quad H_2 = \frac{V^2 t}{R_2} \text{ जूल}$$

$$\therefore \quad \frac{H_1}{H_2} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{5}{3} \quad \text{अथवा} \quad H_1 : H_2 = R_2 : R_1 = 5 : 3$$

स्पष्ट है कि अब पहले प्रतिरोध में अधिक ऊष्मा उत्पन्न होगी।

प्रश्न 21. 250 वोल्ट, 5 ऐम्पियर फ्यूज वाले परिपथ में 25 वाट के कितने बल्ब जल सकते हैं?

हल एक बल्ब में प्रवाहित धारा,

$$i = \frac{P}{V} = \frac{25 \text{ वाट}}{250 \text{ वोल्ट}} = 0.1 \text{ ऐम्पियर}$$

घरों के परिपथ में सभी बल्ब समान्तर क्रम मे जोड़े जाते हैं। अत: प्रत्येक बल्ब अलग-अलग 0.1 ऐम्पियर धारा लेगा। कुल धारा 5 ऐम्पियर से अधिक नहीं होनी चाहिए, वरना फ्यूज उड़ जायेगा।

माना कि 5 ऐम्पियर धारा लेने के लिए परिपथ में n बल्ब लगाये जा सकते हैं। तब

$$n \times 0.1 \text{ ऐम्पियर} = 5 \text{ ऐम्पियर}$$

अथवा $$n = \frac{5}{0.1} = 50$$

अत: 5 ऐम्पियर फ्यूज वाले परिपथ में **50 बल्ब** तक जल सकते हैं।

प्रश्न 22. एक घर में 220 वोल्ट, 40 वाट के 5 बल्ब लगे हैं। बल्ब 30 दिन तक 5 घंटे प्रतिदिन की दर से जलते हैं। यदि वैद्युत-ऊर्जा का मूल्य ₹ 4 प्रति यूनिट हो तो ज्ञात कीजिए—(i) बल्बों के संयोग का तुल्य-प्रतिरोध, (ii) व्यय वैद्युत यूनिटों की संख्या, (iii) व्यय वैद्युत ऊर्जा का मूल्य।

हल **(i)** एक बल्ब का प्रतिरोध

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{220 \times 220}{40} = 1210 \text{ ओम}$$

घर में बल्ब सदैव समान्तर क्रम में लगते हैं। अत: 1210 ओम प्रतिरोध के 5 बल्ब समान्तर क्रम में लगे हैं। यदि इनका तुल्य-प्रतिरोध R' हो, तब

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{5}{R}$$

$$\therefore \quad R' = \frac{R}{5} = \frac{1210 \text{ ओम}}{5} = \mathbf{242 \text{ ओम}}$$

(ii) व्यय वैद्युत यूनिटों की संख्या $= \dfrac{\text{वाट} \times \text{घण्टे}}{1000} = \dfrac{(5 \times 40) \times (5 \times 30)}{1000} = \mathbf{30 \text{ यूनिट}}$

(iii) वैद्युत ऊर्जा का मूल्य $= 30 \times ₹ 4 = ₹ \mathbf{120}$

प्रश्न 23. एक भवन में 40 वाट के 10 बल्ब, 100 वाट के 5 बल्ब, 80 वाट के 5 पंखे तथा 1.0 किलोवाट का एक हीटर लगा है। प्रतिदिन बल्बों का उपयोग 5 घण्टे, पंखों का उपयोग 8 घण्टे तथा हीटर का उपयोग 1 घण्टे होता है। विद्युत-मेन्स की वोल्टता 220 वोल्ट है। गणना कीजिए—

(i) भवन में वैद्युत परिपथ की अधिकतम सामर्थ्य (शक्ति),

(ii) भवन में मेन फ्यूज की न्यूनतम क्षमता,

(iii) एक सप्ताह में व्यय वैद्युत ऊर्जा का, ₹ 4 /यूनिट की दर से मूल्य।

हल **(i)** बल्बों की कुल सामर्थ्य

$$= (40 \times 10) + (100 \times 5) = 900 \text{ वाट}$$

पंखों की कुल सामर्थ्य $= 80 \times 5 = 400$ वाट

तथा हीटर की सामर्थ्य $= 1.0$ किलोवाट $= 1000$ वाट

$\therefore$ भवन में सभी उपकरणों की कुल सामर्थ्य $P = 900 + 400 + 1000 = \mathbf{2300 \text{ वाट}}$

(ii) सभी उपकरणों को एकसाथ चलाने पर मेन्स से अधिकतम धारा प्रवाहित होगी। माना यह धारा i है। तब

$$i = \frac{P}{V} = \frac{2300 \text{ वाट}}{220 \text{ वोल्ट}} = \mathbf{10.45 \text{ ऐम्पियर}}$$

यही मेन फ्यूज की न्यूनतम क्षमता 10.45 ऐम्पियर होनी चाहिए।

(iii) प्रतिदिन बल्बों में व्यय यूनिट $= \dfrac{\text{वाट} \times \text{घण्टे}}{1000} = \dfrac{900 \times 5}{1000} = 4.5$

प्रतिदिन पंखों में व्यय यूनिट $= \dfrac{400 \times 8}{1000} = 3.2$

तथा प्रतिदिन हीटर में व्यय यूनिट $= \dfrac{1000 \times 1}{1000} = 1.0$

प्रतिदिन व्यय कुल यूनिट $= 4.5 + 3.2 + 1.0 = 8.7$

1 सप्ताह (7 दिन) में व्यय यूनिट $= 8.7 \times 7 = 60.9$

अत: 1 सप्ताह में वैद्युत ऊर्जा का मूल्य $= 60.9$ यूनिट $\times ₹ 4$ यूनिट $= ₹ \mathbf{243.60}$

प्रश्न 24. एक वैद्युत मीटर में 440 वोल्ट पर 15 ऐम्पियर की धारा प्रवाहित हो रही है। यदि मोटर की दक्षता 60% हो तो गणना कीजिए कि 10 मिनट में 30 मीटर की ऊँचाई पर स्थित जल की टंकी में कितना जल चढ़ाया जा सकता है? ($g = 10$ मीटर/सेकण्ड^2)

हल मोटर की वैद्युत सामर्थ्य

$$P = Vi = 440 \text{ वोल्ट} \times 15 \text{ ऐम्पियर} = 6600 \text{ वाट}$$

मोटर केवल 60% वैद्युत ऊर्जा को यान्त्रिक ऊर्जा में बदलता है। अत: मोटर की यान्त्रिक सामर्थ्य

$$P = 6600 \times \frac{60}{100} = 3960 \text{ वाट} = 3960 \text{ जूल/सेकण्ड}$$

अत: मोटर 1 सेकण्ड में 3960 जूल कार्य करती है। अत: मोटर द्वारा 10 मिनट (= 10 × 60 सेकण्ड) में किया गया कार्य

$$= 3960 \times (10 \times 60) = 2376000 \text{ जूल}$$

माना इस कार्य के करने से पम्प m किग्रा जल h मीटर ऊँचाई तक चढ़ा सकता है। तब टंकी में जल चढ़ाने में व्यय ऊर्जा mgh जूल होगी। अत:

$$mgh = 2376000 \text{ जूल}$$

अथवा $$m = \frac{2376000 \text{ जूल}}{gh} = \frac{2376000 \text{ जूल}}{(10 \text{ न्यूटन/किग्रा}) \times (30 \text{ मीटर})} = \mathbf{7920 \text{ किग्रा}}$$

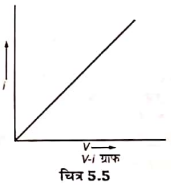
प्रश्न 25. ओम के नियम को लिखते हुए V-i ग्राफ खींचिए।

उत्तर **ओम का नियम** ओम के नियमानुसार, "यदि किसी चालक की भौतिक अवस्था तथा तापमान मे परिवर्तन न हो तो चालक के सिरों पर लगाये गये विभवान्तर तथा चालक मे बहने वाली धारा का अनुपात नियत रहता है।" यदि चालक के सिरो पर लगाया गया विभवान्तर V तथा उसमें बहने वाली धारा i है तो

$$\frac{V}{i} = \text{नियतांक} \quad \text{या} \quad \frac{V}{i} = R \quad \text{या} \quad V = Ri$$

जहाँ R एक नियतांक है जिसे चालक का विद्युत प्रतिरोध कहते हैं। अत: पदार्थ का वह गुण, जो धारा के बहने का विरोध करता है, प्रतिरोध कहलाता है। यदि V तथा i के मान समानुपाती हों तो सूत्र $R = \dfrac{V}{i}$ से किसी चालक के लिए विद्युत प्रतिरोध R का मान नियत रहता है। इसलिये किसी चालक के लिये V-i का ग्राफ एक सीधी रेखा प्राप्त होता है। सामान्यत: सभी धातुएँ स्थिर ताप पर ओम के नियम का पालन करती हैं।

$$R \text{ का S.I. मात्रक} = \frac{\text{वोल्ट}}{\text{ऐम्पियर}} = \text{ओम} = \Omega$$



चित्र 5.5

"यदि किसी चालक के सिरों पर 1 V विभवान्तर उत्पन्न करने पर चालक में 1 A धारा प्रवाहित होती है तो चालक का प्रतिरोध 1 Ω कहलाता है।"

Scanned with CamScanner

R की विमा $= \frac{\text{विभवान्तर की विमा}}{\text{धारा की विमा}}$

$= \frac{[ML^2T^{-3}A^{-1}]}{[A]} = [ML^2T^{-3}A^{-2}]$

प्रश्न 26. किरचॉफ का वोल्टेज तथा धारा सम्बन्धी नियम लिखिए। किरचॉफ के नियमों की सहायता से व्हीटस्टोन सेतु (Wheatstone Bridge) के सन्तुलन के प्रतिबन्ध का निगमन कीजिए। (2014, 15, 17)

उत्तर **किरचॉफ के नियम** सरल परिपथ मे विद्युत धारा तथा विभवान्तर सम्बन्धी गणना ओम के नियम की सहायता से करते है, लेकिन जटिल परिपथो मे धारा तथा वोल्टता सम्बन्धी गणनाएँ आसानी से नहीं होती हैं। अत: किरचॉफ ने सन् 1842 मे धारा तथा वोल्टता सम्बन्धी दो नियमो को दिया जिनकी सहायता से किसी भी जटिल परिपथ के विभिन्न चालको मे धारा का वितरण आसानी से ज्ञात किया जा सकता है। ये नियम निम्नलिखित हैं—

1. **धारा सम्बन्धी नियम** इसे धारा नियम भी कहते है। इस नियम के अनुसार, किसी विद्युत परिपथ में, एक संधि पर मिलने वाली सभी धाराओ का बीजीय योग शून्य होता है।

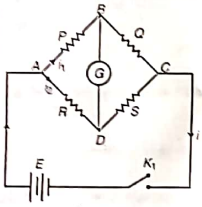
अर्थात् $\Sigma I = 0$ (जहाँ I = धारा होती है) ...(i)

2. **वोल्टता सम्बन्धी नियम** इसे वोल्टता नियम भी कहते है। इसके अनुसार, किसी चालक के एक नेटवर्क के विद्युत परिपथ मे बहने वाली धाराओ तथा संगत प्रतिरोधो के गुणनफल का बीजीय योग, उस परिपथ मे कार्य करने वाले विद्युत वाहक बलो के बीजीय योग के बराबर होता है।

अत: $\Sigma(IR) = \Sigma E$ ...(ii)

अर्थात् पृथक् भाग के लिए, वोल्टतापात (IR) बीजीय योग परिपथ में कुल E.M.F. (E) के योग के बराबर होता है।

दिये हुए चित्र 5.6 के अनुसार, जब गैल्वेनोमीटर G से कोई भी धारा नहीं बहती है, तब व्हीटस्टोन ब्रिज को संतुलित होना कहते हैं अन्यथा यह असंतुलित होता है। माना सभी बंद परिपथो मे प्रवाहित होने वाली सभी धाराएँ धनात्मक तथा $ABDA$ परिपथ सन्तुलित है। अब किरचॉफ का वोल्टता का नियम लगाने पर,



चित्र 5.6

$I_1P + I_gP - I_2 = 0$ या $I_1P + I_gP = I_2P$ ...(iii)

इसी प्रकार, बन्द परिपथ $BCDB$ के लिए,

$(I_1 - I_g) - Q(I_2 + I_g)S - I_gG = 0$

या $I_1Q - I_2S = I_g(Q + S + G)$ ...(iv)

क्योंकि ब्रिज सन्तुलित है; अत: $I_g = 0$, तब I_g का मान समीकरण (ii) तथा (iv) में रखने पर,

$I_1P = I_2P$ ...(v) [समी० (iii) से]

तथा $I_1Q = I_2S$ ...(vi) [समी० (v) से]

समीकरण (5) को समीकरण (6) से भाग देने पर,

$\frac{I_1P}{I_1Q} = \frac{I_2R}{I_2S}$ या $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ (यही सन्तुलन का प्रतिबन्ध है)

अत: अज्ञात प्रतिरोध $R = \frac{P \times S}{Q}(\Omega)$ ओम।

प्रश्न 27. विभवमापी का कार्य सिद्धान्त क्या है? (2017)

उत्तर किसी सेल का विद्युत वाहक बल अथवा आन्तरिक प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए विभवमापी का प्रयोग किया जाता है।

सिद्धान्त—माना l लम्बाई के किसी तार का प्रतिरोध R है। यदि तार से एकसमान धारा i छोड़ी जाए तो तार के सिरों पर विभवान्तर $V = Ri$ या $V = \rho\frac{l}{A}i$

जहाँ ρ तार के पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध, A तार के काट का क्षेत्रफल है तथा l तार की लम्बाई है।

चूँकि परिपथ की धारा i, तार का विशिष्ट प्रतिरोध ρ तथा क्षेत्रफल A नियत है। इसलिए

$V \propto l$

अत: तार के सिरो पर विभवान्तर, तार की लम्बाई के समानुपाती होता है, जबकि तार मे एकसमान धारा प्रवाहित हो रही है।

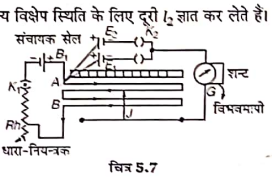
प्रश्न 28. विभवमापी द्वारा दो सेलों के विद्युत वाहक बलों की तुलना कैसे की जाती है?

उत्तर **विभवमापी द्वारा दो सेलों के विद्युत वाहक बलों की तुलना करना** सिरे AB के मध्य संचायक सेल B_1, धारा नियन्त्रक (Rh) तथा एक कुँजी (K_1) जोड़ देते है। B_1 का धन सिरा A से जोड़ते है। जिन दो सेलो E_1, E_2 के E.M.F. की तुलना करनी है, उनके धन सिरों को A से जोड़ देते है तथा ऋण सिरो को एक द्वि-मार्गी कुँजी (two way key) K_2 के द्वारा एक धारामापी (शन्ट युक्त) G से जोड़कर, जॉकी J से जोड़ देते है।

पहले कुँजी K_1 को लगाकर AB के सिरों के बीच विभवान्तर स्थापित करते हैं। फिर कुँजी K_2 को दबाकर, पहले सेल E_1 को परिपथ में डालते हैं और शून्य विक्षेप स्थिति (null point) ज्ञात कर लेते हैं। माना यह स्थिति A से l_1 दूरी पर आती है। अत:

$E_1 = xl_1$

इसी प्रकार कुँजी K_2 द्वारा अब दूसरे सेल E_2 को परिपथ में डालकर, शून्य विक्षेप स्थिति के लिए दूरी l_2 ज्ञात कर लेते है। अत:



चित्र 5.7

$E_2 = xl_2$

अब $\frac{E_1}{E_2} = \frac{xl_1}{xl_2}$

या $\frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}$

इस सूत्र से $\frac{E_1}{E_2}$ की गणना कर सकते हैं।

यदि इनमें से एक सेल प्रामाणिक है जिसका विद्युत वाहक बल ज्ञात है तो दूसरे सेल का विद्युत वाहक बल ज्ञात कर सकते है।

प्रश्न 29. विभवमापी द्वारा सेल का आन्तरिक प्रतिरोध किस प्रकार मापा जाता है? वर्णन कीजिए। समझाइए कि वोल्ट मीटर की तुलना में विभवमापी सेल का E.M.F. किस प्रकार अधिक शुद्ध मापता है?

अथवा **परिपथ चित्र की सहायता से वर्णन कीजिए कि विभवमापी का उपयोग एक सेल के आन्तरिक प्रतिरोध नापने में किस प्रकार किया जाता है?** (2017)

उत्तर **विभवमापी द्वारा सेल का आन्तरिक प्रतिरोध मापना** एक सेल का आन्तरिक प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए चित्र 5.8 के अनुसार संयोजन करते हैं। अब विभवमापी के तार की लम्बाई माप लेते हैं। माना यह l_1 है।

अब $E = xl_1$

अब जिस सेल का प्रतिरोध ज्ञात करना होता है, उसका भाग एक मानक प्रतिरोध 'R' से अवरुद्ध करके सेतु को सन्तुलित कर तार की लम्बाई l_2 ज्ञात कर लेते है।

$V = xl_2$

$\therefore \quad \frac{E}{V} = \frac{R + r}{R}$ ...(1)

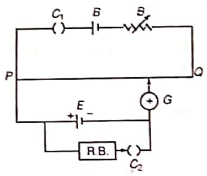
[माना r = आन्तरिक प्रतिरोध]

V तथा E का मान समी० (1) में रखने पर,

$\frac{xl_1}{xl_2} = \frac{R + r}{R}$ या $\frac{l_1}{l_2} = \frac{R + r}{R}$

या $r = R\left(\frac{l_1 - l_2}{l_2}\right)$

अब क्योंकि मानक प्रतिरोध का मान ज्ञात होता है तो r का मान ज्ञात किया जा सकता है। विभवमापी एक वोल्टमीटर से निम्नलिखित प्रकार से श्रेष्ठ होता है



चित्र 5.8

Scanned with CamScanner

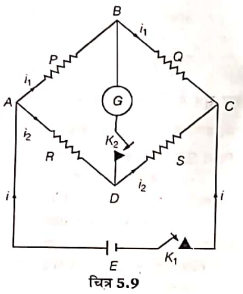
1. एक वोल्टमीटर, एक सेल के E.M.F. का वास्तविक मान नहीं पढ़ता है; क्योंकि जब सेल को वोल्टमीटर से जोड़ते हैं तो वोल्टमीटर सेल की कुछ धारा ले लेता है तो सेल खुले परिपथ मे नहीं रह पाता जिससे सेल के विभव की कुछ क्षति हो जाती है जिसके परिणामस्वरूप, सेल के सिरो का विभवान्तर, इसके E.M.F. से कम हो जाता है। इसलिए यह स्पष्ट है कि वोल्टमीटर केवल सेल की प्लेटों के बीच विभवान्तर मापता है, न कि सेल का वि०वा० बल (E.M.F.)।
   लेकिन एक विभवमापी सेलो के E.M.F. का वास्तविक मान देता है; क्योंकि जब विभवमापी से सेल का E.M.F. मापते हैं तो नल बिन्दु (null point) में, सेल के परिपथ मे कोई धारा प्रवाहित नहीं होती है तथा विभवमापी सेल से कोई धारा ग्रहण नहीं करता है। इस स्थिति में सेल खुले परिपथ में होता है। इस प्रकार से विभवमापी, वोल्टमीटर पर श्रेष्ठता रखता है।
2. वोल्टमीटर में सूई के विक्षेपण को पढ़ने में गलती हो सकती है, जबकि विभवमापी मे ऐसा कोई खतरा नहीं रहता अर्थात् यह शून्य विक्षेप पर आधारित है।

प्रश्न 30. व्हीटस्टोन सेतु के सिद्धान्त का उल्लेख कीजिए। प्रयोग द्वारा समझाइए कि इसका उपयोग किसी तार का प्रतिरोध ज्ञात करने के लिए किस प्रकार किया जाता है? (2013)

अथवा **व्हीटस्टोन सेतु का सिद्धान्त लिखिए।** (2019)

उत्तर **व्हीटस्टोन सेतु का सिद्धान्त** इंग्लैण्ड के वैज्ञानिक प्रो० व्हीटस्टोन ने प्रतिरोधों की एक विशेष व्यवस्था का आविष्कार किया जिसके द्वारा किसी चालक का प्रतिरोध ज्ञात किया जा सकता है। इस व्यवस्था को 'व्हीटस्टोन सेतु' कहते हैं।

इसमें चार प्रतिरोधों को श्रेणीक्रम मे जोड़कर एक चतुर्भुज बनाते हैं। इस चतुर्भुज के एक विकर्ण में एक धारामापी तथा दूसरे विकर्ण मे एक सेल जोड़ देते हैं। अब यदि चतुर्भुज की चारों भुजाओं के प्रतिरोधों को इस प्रकार समायोजित किया जाये कि सेल द्वारा सेतु में विद्युत धारा प्रवाहित करने पर धारामापी मे कोई विक्षेप न हो तो सेतु सन्तुलित (balanced) कहा जाता है। इस दशा में चतुर्भुज की किन्हीं दो संलग्न भुजाओ के प्रतिरोधो का अनुपात, शेष दो संलग्न भुजाओं में लगे प्रतिरोधों के अनुपात के बराबर होता है।



चित्र 5.9

चित्र 5.9 में चार प्रतिरोध P, Q, R तथा S चतुर्भुज $ABCD$ की चार भुजाओं के रूप में जुड़े हैं। B और D के बीच मे एक सुग्राही धारामापी तथा A और C के बीच में एक सेल लगा है। K_1 और K_2 दो कुँजियाँ हैं। जब कुँजी K_1 को दबाकर सेल से धारा i प्रवाहित की जाती है तो बिन्दु A पर यह धारा दो भागों में बँट जाती है। एक भाग i_1, भुजा AB में दूसरा भाग i_2, भुजा AD में प्रवाहित होता है। प्रतिरोधों P, Q, R व S के मान इस प्रकार समायोजित किये जाते हैं कि K_2 को दबाने पर धारामापी G में कोई विक्षेप न हो। स्पष्ट है कि इस दशा मे विकर्ण BD में कोई धारा नहीं होगी। अत: भुजा BC मे वही धारा i_1 होगी जो भुजा AB में है तथा भुजा DC में वही धारा i_2 होगी जो भुजा AD में है।

कुँजी K_2 को दबाने पर भुजा BD में धारा नहीं होती। बन्द पाश $ABDA$ के लिए किरचॉफ का दूसरा नियम लगाने पर

$$i_1P - i_2R = 0 \quad \text{...(i)}$$

इसी प्रकार, बन्द पाश $BCDB$ के लिए, $i_1Q - i_2S = 0$ ...(ii)

समी० (i) को समी० (ii) से भाग करने पर, $\frac{i_1P}{i_1Q} = \frac{i_2R}{i_2S}$ अथवा $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

इस सूत्र से स्पष्ट है कि यदि प्रतिरोधों P व Q का अनुपात तथा प्रतिरोध R का मान ज्ञात हो तो अज्ञात प्रतिरोध S की गणना की जा सकती है। यही कारण है कि P तथा Q भुजाओं को 'अनुपाती भुजाएँ' (ratio arms), भुजा AD को 'ज्ञात भुजा' (known arm) तथा भुजा CD को 'अज्ञात भुजा' (unknown arm) कहते हैं। सेतु के सन्तुलित होने पर धारामापी तथा सेल की स्थितियों को आपस में बदलने पर सेतु की सन्तुलन अवस्था पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता। अत: सेतु की BD तथा AC भुजाओं को 'संयुग्मी भुजाएँ' (conjugate arms) कहते हैं।

सेतु की सुग्राहिता प्रतिरोधों के मानों पर निर्भर करती है। सेतु उस समय अधिक सुग्राही होता है जब चारों प्रतिरोध एक ही कोटि (order) के हों।

प्रश्न 31. कैरी फोस्टर सेतु के कार्य सिद्धान्त का वर्णन कीजिए। मीटर ब्रिज की तुलना में इसे क्यों अच्छा माना जाता है? (2012)

उत्तर **कैरी फोस्टर सेतु का कार्य सिद्धान्त** इसका उपयोग दो लगभग समान प्रतिरोधो का अन्तर ज्ञात करने के लिए किया जाता है जिसमे एक प्रतिरोध मानक होता है तथा दूसरा कोई अज्ञात प्रतिरोध होता है। दो प्रतिरोध, R तथा S को दो अन्तरालों में, श्रेणी में तार के साथ रखा जाता है। ब्रिज द्वारा R तथा S प्रतिरोधो का अन्तर स्लाइड वायर की प्रयुक्त लम्बाइयों के पदों मे प्राप्त है। चित्र 5.10 में ब्रिज के संयोजन दर्शाये गये हैं। सर्वप्रथम प्रतिरोध 'P' तथा 'Q' को अतिरिक्त अन्तराल में श्रेणी में इस प्रकार लगाया जाता है कि P/Q का मान R/S के मान के बराबर हो।

माना α तथा β क्रमश: सिरे पर प्रतिरोध हैं तथा null बिन्दु D, पहले सिरे से l_1 दूरी पर प्राप्त किया जाता है; जैसा चित्र 5.10 में दर्शाया गया है।

अर्थात् $$\frac{P}{Q} = \frac{R + \alpha + \rho l_1}{S + \beta + \rho(100 - l_1)} \quad \text{...(i)}$$

जहाँ, ρ ब्रिज वायर का प्रति इकाई प्रतिरोध होता है।

अब, R तथा S का आपस में अन्तर परिवर्तन (interchange) करते हैं तथा फिर से null बिन्दु प्राप्त करते हैं। माना यह पहले सिरे से l_2 की दूरी पर है, तब

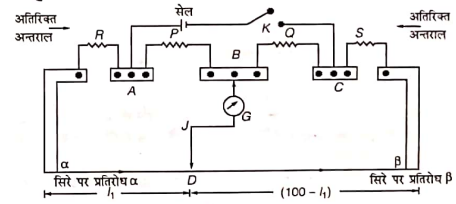
$$\frac{P}{Q} = \frac{R + \alpha + \rho l_2}{S + \beta + \rho l_2} \quad \text{...(ii)}$$

समी० (i) तथा (ii) को हल करने पर,

$$\frac{R + \alpha + \rho l_1}{S + \beta + \rho l_1} = \frac{R + \alpha + \rho l_2}{R + \beta + \rho l_2}$$

या $$R - S = \rho(l_1 - l_2)$$

जो सिरे के प्रतिरोधों से मुक्त होता है।



चित्र 5.10

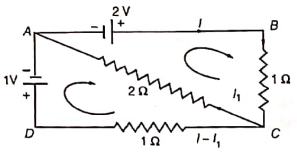
यह स्पष्ट है कि मीटर ब्रिज के सिरों पर स्ट्रिप रखने के कारण, सिरो का संशोधन अपने आप दूर हो जाता है। यदि हम ρ का मान जान जाते हैं तो दो प्रतिरोधों का अन्तर ज्ञात कर सकते हैं।

S के लिये अन्तराल में, ρ का मान ज्ञात करने के लिए, धातु की एक मोटी स्ट्रिप जोड़ देते हैं, तब S को शून्य बनाते हैं तथा R के स्थान पर एक आंशिक प्रतिरोध बक्सा (fractional resistance box) लगाया जाता है। R के अज्ञात मान के लिए l_1' तथा l_2' पाठ्यांक फिर से प्राप्त किये जाते हैं, तब सूत्र, $\rho = \frac{R}{(l_2 - l_1)}$ से ρ का मान ज्ञात कर लिया जाता है।

इसे मीटर ब्रिज की तुलना में अच्छा माना जाता है; क्योंकि इस ब्रिज की सुग्राहिता तथा यथार्थता मीटर ब्रिज से अधिक होती है। यह ब्रिज दो प्रतिरोधों के अन्तर या उनमें से किसी एक प्रतिरोध को ज्ञात करने के लिए उपयुक्त होता है। इस ब्रिज द्वारा निम्न मान के प्रतिरोधों को यथार्थतापूर्वक ज्ञात किया जा सकता है; क्योंकि इसमें तार के सिरों पर उत्पन्न अन्त:प्रतिरोधों के मानों का मापन पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 32. किरचॉफ के नियमों की सहायता से निम्न परिपथ में 2Ω प्रतिरोध में जाने वाली धारा की गणना कीजिए।



चित्र 5.11

हल माना परिपथ में धारा प्रवाह की दिशा चित्रानुसार है। मेश (mesh) *ABCA* में किरचॉफ के नियम से,

$$1 \times I + 2I_1 = 2 \quad \ldots(i)$$

इसी प्रकार मेश (mesh) *ACDA* से,

$$1 \times (I - I_1) - 2I_1 = -1$$

या $$I - 3I_1 = -1 \quad \ldots(ii)$$

अब समी० (ii) को (i) में से घटाने पर, $5I_1 = 3$

$$I_1 = 3/5 = \mathbf{0.6\ A}$$

प्रश्न 33. एक मीटर लम्बे तार वाले मीटर ब्रिज के एक प्रयोग में सन्तुलन बिन्दु, सिरे से 30 सेमी पर आता है। प्रयोगाधीन दोनों प्रतिरोधों का अनुपात ज्ञात कीजिए।

हल माना प्रयोगाधीन दोनों प्रतिरोधों के मान क्रमशः P तथा Q हैं तो मीटर ब्रिज के सूत्र से,

$$\frac{P}{Q} = \frac{l}{(100 - l)}$$

$l = 30$ सेमी तथा $100 - l = (100 - 30) = 70$ सेमी रखने पर, $\frac{P}{Q} = \frac{30}{70} = \frac{3}{7}$

∴ अनुपात = **3 : 7**

प्रश्न 34. दो सेलों के श्रेणीक्रम संयोग का वि०वा० बल विभवमापी तार के 20 सेमी लम्बाई पर सन्तुलित होता है। जब निर्बल सेल के ध्रुवों को पलट देते हैं तो सन्तुलन बिन्दु 8 सेमी लम्बाई पर आता है। उनके वि०वा० बलों का अनुपात ज्ञात कीजिए।

हल माना कि विभवमापी के तार पर विभव प्रवणता, K वोल्ट/सेमी तथा सेलों के विद्युत वाहक बल (e.m.f.) क्रमशः E_1 तथा E_2 हैं।

जब दोनों सेल श्रेणीक्रम (series) में जोड़े जाते हैं तो

उनका तुल्य वि०वा० बल(e.m.f.) $= E_1 + E_2$ वोल्ट

तब $$E_1 + E_2 = K \times 20 \quad \ldots(i)$$

जब निर्बल सेल (weaker cell) की ध्रुवता (polarity) पलट (reverse) दी जाती है तो

तुल्य वि०वा० बल (e.m.f.) $= E_1 - E_2$

तब $$E_1 - E_2 = K \times 8 \quad \ldots(ii)$$

समीकरण (i) को समीकरण (ii) से भाग देने पर,

$$\frac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} = \frac{K \times 20}{K \times 8} \quad \text{या} \quad \frac{E_1 + E_2}{E_1 - E_2} = \frac{5}{2}$$

या $5E_1 - 5E_2 = 2E_1 + 2E_2$ या $3E_1 = 7E_2$

या $\frac{E_1}{E_2} = \frac{7}{3}$ अनुपात = **7 : 3**

प्रश्न 35. एक तार का प्रतिरोध 16 ओम है। इसे पिघलाकर पहले से आधी लम्बाई का तार खींचा जाता है। नए तार का प्रतिरोध क्या होगा?

हल ∵ आयतन = क्षेत्रफल × लम्बाई ∴ $l_1 A_1 = l_2 A_2$

जहाँ l_1 = तार की प्रारम्भिक लम्बाई, A_1 = तार के अनुप्रस्थ-काट का क्षेत्रफल, l_2 = तार की लम्बाई खींचने के बाद, A_2 = तार के अनुप्रस्थ-काट का क्षेत्रफल खींचने के बाद

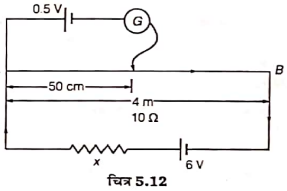
या $$\frac{A_1}{A_2} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{1}{2}$$

माना तार का प्रारम्भिक एवं अन्तिम प्रतिरोध क्रमशः R_1 व R_2 हैं,

तो $$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho \frac{l_2}{A_2}}{\rho \frac{l_1}{A_1}} = \frac{l_2}{l_1} \times \frac{A_1}{A_2} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$$

∴ नये तार का प्रतिरोध, $R_2 = R_1 \cdot \frac{1}{4} = \frac{16}{4} = \mathbf{4}$ ओम

प्रश्न 36. एक विभवमापी में 4 मीटर तथा 10Ω प्रतिरोध का तार *AB* लगा है। इसके सिरों से 6 वोल्ट की बैटरी एक श्रेणीक्रम में अज्ञात प्रतिरोध x सहित चित्र के अनुसार जोड़ी गई है। यदि 0.5 वोल्ट विभव तार की 50 सेमी लम्बाई पर संतुलित हो तो प्रतिरोध x ज्ञात कीजिए।



चित्र 5.12

हल दिया है, प्रतिरोध = 10Ω, तार की लम्बाई = 4 मीटर या 400 सेमी, $V = 6$ वोल्ट, प्रतिरोध $x = ?$

अब तार में कुल प्रतिरोध $R_1 = (10 + x)\Omega$, लेकिन तार AB में धारा $i = \frac{V}{R_1} = \frac{6}{(10 + x)}$ ऐम्पियर

अब विभवान्तर $= i \times R = \left(\frac{6}{10 + x}\right) \times 10$

लेकिन विभव प्रवणता (potential gradient) $= \frac{\text{विभवान्तर}}{\text{तार की लम्बाई}}$

$$= \frac{\left(\frac{6}{10 + x}\right) \times 10}{400} = \frac{6}{40(10 + x)} \text{ वोल्ट/सेमी}$$

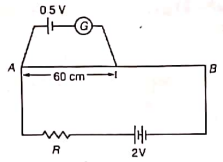
A तथा C के बीच विभवान्तर = प्रवणता × AC लम्बाई $\quad 0.5 = \frac{6}{(10 + x)40} \times 50$

या $4(10 + x) \times 0.5 = 6 \times 5$ या $2x = 30 - 20 = 10\Omega$

$x = \mathbf{5\Omega}$

प्रश्न 37. एक विभवमापी तार की मूल आवश्यकताएँ क्या है? चित्र में 1 मीटर लम्बाई और 10Ω प्रतिरोध का एक विभवमापी तार दिखाया गया है जिसके सिरों से 2 वोल्ट E.M.F. और नगण्य प्रतिरोध की बैटरी अज्ञात प्रतिरोध R को श्रेणीक्रम में लेते हुए जोड़ी गई है। यदि 0.5 वोल्ट का सेल तार की 60 सेमी लम्बाई पर सन्तुलित होता है तो 'R' की गणना कीजिए।

Scanned with CamScanner



चित्र 5.13

हल विभवमापी तार की निम्नलिखित मूल आवश्यकताएँ होती हैं—

1. तार की लम्बाई अधिक नहीं होनी चाहिए; क्योंकि तार की अधिक लम्बाई होने से विभवमापी तार की विभव प्रवणता (potential gradient) घट जाती है।
2. तार के काट का क्षेत्रफल, इसकी पूर्ण लम्बाई पर एकसमान होना चाहिए, अन्यथा तार की विभव प्रवणता इसकी पूरी लम्बाई के लिए एकसमान नहीं होगी; क्योंकि विभव प्रवणता $K = \frac{V}{l}$.
3. विभव तार मिश्रधातु का बना होना चाहिए तथा निम्न ताप गुणांक वाला होना चाहिए और इसका specific resistance अधिक होना चाहिए; जैसे—मैंगनिन।

प्रश्नानुसार, दिया है, तार की लम्बाई $l = 1$ मीटर या 100 सेमी, तार का प्रतिरोध $R_Y = 10\Omega$, E.M.F $= 2$ वोल्ट

अज्ञात प्रतिरोध $K = ?$

AB तार में बहने वाली विद्युत धारा (सेल से), $I = \frac{V}{R + R_1} = \frac{2}{R + 10}$

तार AB के सिरों पर विभवान्तर, $V = I \times R_1$

या $V = \frac{2}{R+10} \times 10 = \frac{20}{R+10}$

AB तार की विभव प्रवणता, $K = \frac{V}{l}$ या $K = \frac{V}{100} = \frac{20}{R+10} \times \frac{1}{100}$

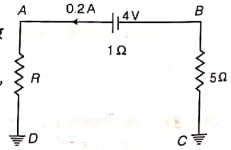
या $K = \frac{20}{100(R+10)} = \frac{1}{5(R+10)}$

अत: सेल का E.M.F., $E = K \times l_1 = 0.5 \times \frac{1}{5(R+10)} \times 60 = \frac{12}{R+10}$

[$\because l_1 = 60$ सेमी और $K = 0.5$ वोल्ट]

या $0.50\,R + 0.5 \times 10 = 12$ या $R = \mathbf{14\,\Omega}$

प्रश्न 38. नीचे दर्शाए गए परिपथ में, (i) प्रतिरोध R एवं (ii) बिन्दु B पर विभव की गणना कीजिए।



चित्र 5.14

हल चित्र 5.14 के अनुसार, बिन्दु D तथा C, earth किये हुए हैं, इसलिये $ABCD$ एक पूर्ण परिपथ है।

$ABCD$ में कुल प्रतिरोध, $R' = (R + 5) + 1$

(i) अब ओम के नियम से, $V = IR$

या $I = \frac{V}{R'}$ या $I = \frac{E}{(R+5)+1}$ ...(i)

[जहाँ पर E = सेल का E.M.F. है]

लेकिन $I = 0.2$ ऐम्पियर तथा $E = 4$ V दिया है।

समी० (i) में E तथा I के मान रखने पर,

$0.2 = \frac{4}{(R+5)+1}$ या $0.2 = \frac{4}{R+6}$

या $0.2\,(R + 6) = 4$ या $0.2R + 1.20 = 4$

या $0.2R = 2.80$ या $R = \frac{2.80}{0.2} = 14\Omega \quad \therefore R = \mathbf{14\,\Omega}$

(ii) ओम के नियमानुसार, B तथा C के बीच विभवान्तर,

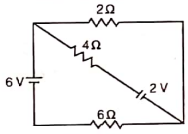
$V_C - V_B = I \times R'$

$0 - V_B = 0.2 \times 5$ [$V_c = 0$ ... पृथ्वी V_c का विभव शून्य होता है तथा $R' = 5\Omega$]

या $V_B = 1.00$ वोल्ट

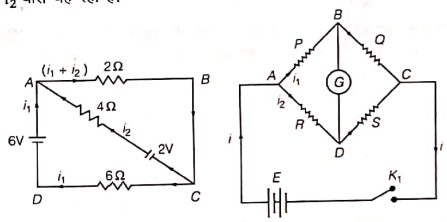
बिन्दु 'B' पर विभव $V_B = \mathbf{1}$ वोल्ट

प्रश्न 39. किरचॉफ के नियमों द्वारा चित्र में दर्शाए गए परिपथ में $4\,\Omega$ प्रतिरोध में प्रवाहित विद्युत धारा की गणना कीजिए। (सेलों का आन्तरिक प्रतिरोध नगण्य है)



चित्र 5.15

हल प्रश्नानुसार तथा दिये गये चित्र 5.15 से, माना i_1 तथा i_2 धारा परिपथ में बह रही हैं। प्रतिरोध $6\,\Omega$ में धारा i_1 तथा प्रतिरोध $2\,\Omega$ में i_2 धारा बह रही है।



चित्र 5.16

$\therefore$ प्रतिरोध $4\,\Omega$ में बहने वाली धारा की मात्रा $= (i_1 - i_2)$

अब $ABOA$ परिपथ बन्द है तो किरचॉफ के नियम से,

$6i + 4(i_1 - i_2) = 6$

या $6i + 4i_1 - 4i_2 = 6$

या $10i_1 - 4i_2 = 6$ ...(i)

Scanned with CamScanner

अब $BCDB$ बन्द परिपथ में,

$$2i_2 + 4(i_1 - i_2) = 2$$

या $$2i_2 + 4i_1 - 4i_2 = 2$$

या $$4i_1 - 2i_2 = 2 \quad \ldots(ii)$$

समी० (i) तथा (ii) को हल करने पर,

$$i_1 = 1 \text{ ऐम्पियर} \quad \text{तथा} \quad i_2 = 1 \text{ ऐम्पियर}$$

अतः प्रतिरोध 4Ω में बहने वाली धारा की मात्रा $= (i_1 - i_2) = (1 - 1) = 0$

अतः प्रतिरोध 4Ω में कोई धारा नहीं बह रही है।

प्रश्न 40. एक तार का प्रतिरोध R ओम है। यदि इसकी लम्बाई खींचकर n गुनी बढ़ा दी जाये तो नया प्रतिरोध ज्ञात कीजिए।

हल माना तार की आरंभिक लम्बाई l तथा काट का क्षेत्रफल A है। यदि तार के पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध ρ है तो

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad \ldots(i)$$

माना l' तथा A' तार को खींच देने पर नई लम्बाई तथा काट के क्षेत्रफल हैं, जहाँ $l' = nl$; अतः तार के आयतन संरक्षण से,

$$A'l' = Al \quad \text{या} \quad A' = \frac{Al}{l'} = \frac{Al}{nl} \quad \text{या} \quad A' = \frac{A}{n}$$

अतः तार के काट का क्षेत्रफल $1/n$ गुना रह जाता है। यदि तार का नया प्रतिरोध R' है तो

$$R' = \frac{\rho l'}{A'} = \rho \frac{nl}{A/n}$$

या $$R' = n^2 \frac{\rho l}{A} \quad \ldots(ii)$$

समीकरण (i) व (ii) को हल करने पर, $R' = n^2 R$

अतः खींचकर तार की लम्बाई n गुनी कर देने पर तार का प्रतिरोध n^2 गुना बढ़ जाता है।

प्रश्न 41. एक विद्युत हीटर पर 550 वाट व 220 वोल्ट अंकित है। इसका प्रतिरोध ज्ञात कीजिए। इसको 10 घण्टे प्रयोग करने पर ₹ 1.0 प्रति किलोवाट घण्टे की दर से कितना खर्च आयेगा?

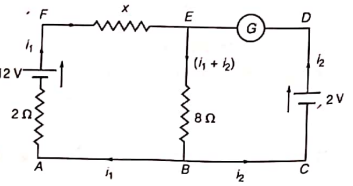
हल यहाँ $P = 550$ वाट, $V = 220$ वोल्ट तथा $t = 10$ घण्टे

$P = \frac{V^2}{R}$ से, हीटर का प्रतिरोध $R = \frac{V^2}{P} = \frac{220 \times 220}{550} = 88\ \Omega$

कुल व्यय ऊर्जा (kWh) $= \frac{P_{(W)}}{1000} \times h = \frac{550}{1000} \times 10 = 5.5$ kWh

कुल खर्च $= 5.5$ kWh × ₹ 1/kWh = ₹ 5.5

प्रश्न 42. चित्र 5.17 में दर्शाए गए परिपथ में गैल्वेनोमीटर का पाठ शून्य है। अज्ञात प्रतिरोध X की गणना कीजिए।



चित्र 5.17

हल माना 12 V सेल से i_1 धारा तथा 2 V सेल से i_2 धारा निकलती है।

बन्द पाश $ABEFA$ में

$$i_1 \times 2 + i_1 \times x + (i_1 + i_2) \times 8 = 12$$

या $$2i_1 \times xi_1 + 8i_1 + 8i_2 = 12$$

या $$xi_1 + 10i_1 + 8i_2 = 12 \quad \ldots(i)$$

बन्द पाश $BCDEB$ में

$$-(i_1 + i_2) \times 8 = -2 \quad \ldots(ii)$$

परन्तु गैल्वेनोमीटर में धारा शून्य है; अतः समीकरण (ii) में $i_2 = 0$ रखने पर,

$$-8i_1 = -2$$

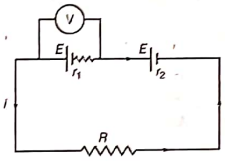
या $$i_1 = \frac{1}{4}\text{A}$$

i_1 तथा i_2 का मान समीकरण (1) में रखने पर,

$$x \times \frac{1}{4} + 10 \times \frac{1}{4} + 8(0) = 12$$

अतः $$x = 38\ \Omega$$

प्रश्न 43. निम्न विद्युत परिपथ में यदि वोल्टमापी का पाठ शून्य हो तो प्रतिरोध R और सेलों के आन्तरिक प्रतिरोध r_1 एवं r_2 में सम्बन्ध ज्ञात कीजिए।



चित्र 5.18

हल परिपथ में बहने वाली धारा $i = \frac{E + E}{R + (r_1 + r_2)} = \frac{2E}{R + r_1 + r_2}$

r_1 आंतरिक प्रतिरोध वाली सेल का टर्मिनल विभवान्तर

$$V = E - ir_1 = E - \frac{2E}{R + r_1 + r_2} \times r_1$$

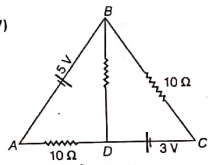
या $$V = E - \frac{2Er_1}{R + r_1 + r_2}$$

परन्तु वोल्टमीटर का पाठ शून्य है। अतः उपरोक्त में $V = 0$ रखने पर,

$$0 = E - \frac{2Er_1}{R + r_1 + r_2}$$

या $$E = \frac{2Er_1}{R + r_1 + r_2} \quad \text{या} \quad R = r_1 - r_2$$

प्रश्न 44. दर्शाए गए परिपथ में विभवांतर $(V_B - V_D)$ ज्ञात कीजिए। (2017)



चित्र 5.19

हल किरचॉफ का वोल्टेज नियम बन्द पाश $ABDA$ के लिए लगाने पर

$$i_1 + (i_1 + i_2)5 + 10i_1 = 5$$

$$i_1 + 5i_1 + 5i_2 + 10i_1 = 5$$

$$16i_1 + 5i_2 = 5 \quad \ldots(i)$$

किरचॉफ का वोल्टेज नियम बन्द पाश $BCDB$ के लिए लगाने पर

$$i_2 + 5(i_1 + i_2) + 10i_2 = 2$$

$$i_2 + 5i_1 + 5i_2 + 10i_2 = 3$$

Scanned with CamScanner

$$5i_2 + 16i_2 = 3 \quad \ldots(ii)$$

समी० (i) एवं (ii) को हल करने पर

$$i_1 = 0.238 \text{ ऐम्पियर}$$

$$i_2 = 0.099 \text{ ऐम्पियर}$$

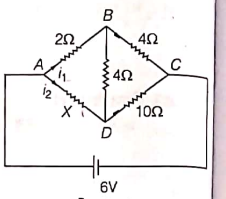
$\therefore$ 5Ω में धारा $= i_1 + i_2 = 0.099 + 0.338$ ऐम्पियर $= 0.337$ ऐम्पियर

$$V_B - V_D = (i_1 + i_2)R = 0.337 \times 5 = \mathbf{1.685} \text{ वोल्ट}$$

प्रश्न 45. चित्र में एक संतुलित व्हीटस्टोन सेतु दिखाया गया है— (2019)

(i) अज्ञात प्रतिरोध X का मान ज्ञात कीजिए।

(ii) धाराओं i_1 तथा i_2 के मान ज्ञात कीजिए।



चित्र 5.20

उत्तर (i) हम जानते हैं कि $\frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$

$$\Rightarrow \quad \frac{2}{4} = \frac{x}{10}$$

$$\Rightarrow \quad x = \frac{2 \times 10}{4} = 5\Omega$$

(ii) बन्द पाश $BADB$ में किरचॉफ का द्वितीय नियम लगाने पर,

$$2i_1 + 4i_g - 5i_2 = 0 \quad \ldots(i)$$

बन्द पाश $BCDB$ में किरचॉफ का द्वितीय नियम लगाने पर,

$$4(i_1 - i_g) - 4i_g - 10(i_2 + i_g) = 0$$

$$2i_1 - 9i_g - 5i_2 = 0 \quad \ldots(ii)$$

बन्द पाश $ADCEA$ में

$$5i_2 + 10(i_2 + i_g) = 4$$

$$15i_2 + 10i_g = 4 \quad \ldots(iii)$$

समी० (i) और (ii) को हल करने पर,

$$i_g = 0$$

i_g का मान समी० (iii) में रखने पर,

$$15i_2 = 4$$

$$i_2 = \frac{4}{15}$$

i_g तथा i_2 का मान समी० (i) में रखने पर,

$$2i_1 + 4 \times 0 - 5 \times \frac{4}{15} = 0$$

$$2i_1 = \frac{4}{3}, \qquad i_1 = \frac{2}{3}$$

अत: $\quad i_1 = \frac{2}{3}$ तथा $i_2 = \frac{4}{15}$

6 अर्द्धचालक भौतिकी
(Semiconductor Physics)

खण्ड 'अ' : अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. ठोसों में दो ऊर्जा बैण्डों के नाम लिखिए।

उत्तर (i) चालन बैण्ड तथा (ii) संयोजी बैण्ड।

प्रश्न 2. क्या दो सन्धि डायोड का प्रयोग करके ट्रांजिस्टर बनाया जा सकता है?

उत्तर नहीं; क्योंकि इस स्थिति में आधार (base) बहुत मोटा हो सकता है।

प्रश्न 3. अवक्षय परत (depletion layer) किसे कहते है?

उत्तर जंक्शन डायोड में जंक्शन के दोनों ओर की वह परत जो बहुसंख्यक आवेश वाहकों से मुक्त होती है, अवक्षय परत कहलाती है।

प्रश्न 4. p-टाइप अर्द्धचालक से क्या तात्पर्य है? इसमें आवेश-वाहक क्या होते है?

उत्तर p-टाइप अर्द्धचालक वह है जो शुद्ध अर्द्धचालक में संयोजकता 3 वाला अपद्रव्य अपमिश्रित करके बनाया जाता है। इसमें आवेश-वाहक कोटर होते हैं।

प्रश्न 5. निज अर्द्धचालकों को वाह्य अर्द्धचालकों में क्यों परिवर्तित किया जाता है?

उत्तर क्योंकि निज अर्द्धचालक की चालकता बहुत कम होती है परन्तु अपद्रव्य मिला देने पर इसकी चालकता बढ़ जाती है।

प्रश्न 6. सिलिकॉन व जर्मेनियम में ऊर्जा बैण्ड अन्तराल कितना होता है?

उत्तर Si → 1.12 eV, Ge → 0.75 eV.

प्रश्न 7. उभयनिष्ठ आधार ट्रांजिस्टर परिपथ में धारा लाभ का सूत्र लिखिए।

उत्तर धारा लाभ $\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$.

प्रश्न 8. डायोड के अग्र अभिनत व उत्क्रम अभिनत में मुख्य अन्तर समझाइए।

उत्तर अग्र अभिनत (forward biased) में p-क्षेत्र को बाह्य बैटरी के धन सिरे से व n-क्षेत्र को बैटरी के ऋण सिरे से जोड़ते हैं। उत्क्रम अभिनत में इसका विपरीत करते हैं।

प्रश्न 9. सिलिकॉन बोरॉन मिलाने से किस प्रकार का अर्द्धचालक बनेगा?

उत्तर p-टाइप अर्द्धचालक।

प्रश्न 10. n-टाइप अर्द्धचालक विद्युत रूप से कैसा होता है?

उत्तर उदासीन।

प्रश्न 11. सिलिकॉन में थोड़ा-सा आर्सेनिक (As) मिलाने पर इसकी चालकता पर क्या प्रभाव पड़ता है?

उत्तर चालकता बढ़ जाती है।

प्रश्न 12. अर्द्धचालकों की चालकता पर ताप का क्या प्रभाव पड़ता है?

उत्तर ताप बढ़ाने पर चालकता बढ़ती है।

प्रश्न 13. ऊर्जा बैण्ड किसे कहते है?

उत्तर किसी निश्चित लघु ऊर्जा परिसर में अत्यन्त निकट रूप से स्थित ऊर्जा स्तरों की एक बड़ी संख्या का समूह ऊर्जा बैण्ड कहलाता है।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 14. अर्द्धचालक क्या होता है? किसी एक अर्द्धचालक का नाम लिखिए।

उत्तर वे ठोस पदार्थ जिनकी वैद्युत चालकता, चालकों से कम; परन्तु अचालकों से अधिक होती है, अर्द्धचालक कहलाते हैं। उदाहरण—जर्मेनियम।

प्रश्न 15. अर्द्धचालकों में निवेश ऊर्जा में कितना अन्तर होता है?

उत्तर सिलिकॉन तथा जर्मेनियम नामक अर्द्धचालकों की निवेश ऊर्जा क्रमशः 1.12 eV तथा 0.75 eV होती है।

प्रश्न 16. ताप बढ़ाने पर अर्द्धचालक के प्रतिरोध में क्या परिवर्तन होता है?

उत्तर ताप बढ़ाने पर सहसंयोजक बन्ध टूट जाने के कारण अर्द्धचालक के मुक्त इलेक्ट्रॉनों की संख्या बढ़ जाती है जिससे अर्द्धचालक की चालकता बढ़ जाती है, अर्थात् उसका प्रतिरोध कम हो जाता है।

प्रश्न 17. एक ट्रांजिस्टर प्रवर्धक के लिए $\beta = 30$, लोड प्रतिरोध $R_L = 4\,k\Omega$ तथा निवेशी प्रतिरोध $R_i = 400\,\Omega$ है। इसका वोल्टता प्रवर्धन ज्ञात कीजिए।

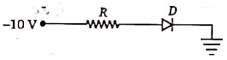
हल वोल्टता प्रवर्धनांक, $A = \beta\left(\frac{R_L}{R_i}\right)$

$$= 30\left(\frac{4 \times 10^3\,\Omega}{400\,\Omega}\right) = 300$$

प्रश्न 18. जर्मेनियम को किस प्रकार से *p*-टाइप का अर्द्धचालक बनाया जाता है?

उत्तर इसमें त्रिसंयोजी अपद्रव्य (ऐलुमिनियम) मिलाकर।

प्रश्न 19. दिए गये चित्र में सन्धि डायोड *D* अग्र अभिनत है अथवा उत्क्रम-अभिनत है?



चित्र 6.1

उत्तर दिय गये चित्र 6.1 में सन्धि डायोड *D* उत्क्रम अभिनत है।

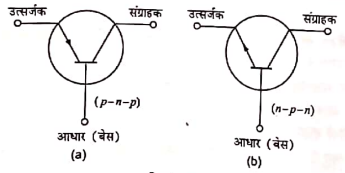
प्रश्न 20. एक उभयनिष्ठ आधार प्रवर्धक में निर्गत परिपथ का लोड प्रतिरोध 600 kΩ तथा निवेशी परिपथ का प्रतिरोध 150 kΩ है। यदि धारा प्रवर्धन 0.90 हो, तो वोल्टता प्रवर्धन की गणना कीजिए।

हल ∵ वोल्टता प्रवर्धन $A = \alpha \times$ प्रतिरोध लाभ $= \alpha \times \frac{R_L}{R_i}$

$$\therefore \quad A = 0.90 \times \frac{600\,k\Omega}{150\,k\Omega} = 3.6$$

प्रश्न 21. *p-n-p* तथा *n-p-n* ट्रांजिस्टरों के नामांकित प्रतीक चिह्न (परिपथ प्रतीक) बनाइए।

उत्तर



चित्र 6.2

प्रश्न 22. एक *p-n* सन्धि डायोड का अग्र अभिनति में प्रतिरोध 20 ओम है। यदि अग्र वोल्टेज में 0.025 वोल्ट का परिवर्तन करें, तो डायोड धारा में कितना परिवर्तन होगा ?

हल $\Delta i = \frac{\Delta V}{R} = \frac{0.025 \text{ वोल्ट}}{20 \text{ ओम}} = 0.00125$ ऐम्पियर

$$= 1.25 \times 10^{-3} \text{ ऐम्पियर}$$

$$= \mathbf{1.25 \text{ मिली ऐम्पियर}}$$

प्रश्न 23. *p*-क्रिस्टल तथा *n*-क्रिस्टल में बहुसंख्यक आवेश वाहकों के नाम बताइए।

उत्तर *p*-क्रिस्टल में बहुसंख्यक आवेश वाहक कोटर तथा *n*-क्रिस्टल में बहुसंख्यक आवेश वाहक इलेक्ट्रॉन होते हैं।

प्रश्न 24. *n-p-n* ट्रांजिस्टर से आप क्या समझते हैं?

उत्तर वह ट्रांजिस्टर जिसमें *p*-टाइप अर्द्धचालक की एक बहुत महीन तराश (slice) को *n*-टाइप अर्द्धचालकों के दो छोटे-छोटे गुटकों के बीच दबाकर बनाया जाता है, *n-p-n* ट्रांजिस्टर कहलाता है।

प्रश्न 25. सन्धि डायोड में अवक्षय परत से आप क्या समझते हैं?

उत्तर **अवक्षय परत** सन्धि डायोड में *p-n* सन्धि के निकट दोनों ओर वह क्षेत्र जिसमें कोई स्वतन्त्र आवेश वाहक उपलब्ध नहीं होते हैं, अवक्षय परत कहलाती है।

प्रश्न 26. अवक्षय परत की चौड़ाई पर क्या प्रभाव पड़ेगा, यदि अग्र-अभिनत विभव बढ़ा दिया जाए?

उत्तर कम हो जाएगी।

प्रश्न 27. वायु वेग मापन में किस उपकरण का प्रयोग किया जाता है? (2017)

उत्तर वायु वेग मापन में एनोमीटर उपकरण का प्रयोग किया जाता है।

प्रश्न 28. एक ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक और संग्राहक धाराओं में क्या सम्बंध है? (2017)

उत्तर $I_E = I_B + I_C$

I_E = उत्सर्जक धारा, I_B = बेस धारा तथा I_C = संग्राहक धारा

प्रश्न 29. अर्द्धचालकों में अपमिश्रण क्यों आवश्यक है? (2017)

उत्तर किसी अर्द्धचालक पदार्थों की चालकता बढ़ाने के लिए उस अर्द्धचालक पदार्थ में डोपिंग (अपमिश्रण) किया जाता है।

प्रश्न 30. *n*- टाइप अर्द्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक और अल्पसंख्यक आवेश वाहकों के नामों का उल्लेख कीजिए। (2019)

उत्तर **बहुसंख्यक आवेश वाहक** *n*-टाइप अर्द्धचालक में इलेक्ट्रॉन की संख्या अधिक होने के कारण बहुसंख्यक आवेश वाहक कहलाते हैं।

अल्पसंख्यक आवेश वाहक n-टाइप अर्द्धचालक में विवर की संख्या कम होने के कारण अल्पसंख्यक आवेश कहलाते हैं।

बहुविकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 1. *p*- टाइप अर्द्ध-चालक में वैद्युत धारा मुख्यतः निम्न में किसके चालन द्वारा प्रवाहित होती है? (2019)

(अ) इलेक्ट्रान (ब) प्रोटान (स) कोटर (विवर)

उत्तर (स) कोटर (विवर)

प्रश्न 2. ट्रांजिस्टर की रचना में प्रयुक्त सर्वाधिक सामान्य पदार्थ है। (2019)

(अ) चाँदी (ब) सिलिकॉन (स) ताँबा

उत्तर (ब) सिलिकॉन

Scanned with CamScanner

खण्ड ब : लघु एवं दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. अवयवों की विद्युतीय चालकता से क्या तात्पर्य है?

उत्तर किसी धातु के परमाणु में, उसकी नाभिक (nucleus) से दूर वाली कक्षाओं (orbits) में विद्यमान इलेक्ट्रॉनों पर, नाभिक की तरफ आकर्षण बल का मान कम होने के कारण इलेक्ट्रॉनों को इनके स्थान से सरलता से हटाया जा सकता है, इसलिए इन इलेक्ट्रॉनों को स्वतंत्र-इलेक्ट्रॉन कहते हैं। इनमें से अनेक स्वतन्त्र-इलेक्ट्रॉन तो अपने परमाणुओं से अलग होकर सम्पूर्ण पदार्थ में स्वतंत्रतापूर्वक भ्रमण करते हैं। इसी कारण से धातुओं में स्वतन्त्र-इलेक्ट्रॉनों के समूह को इलेक्ट्रॉन गैस भी कहते हैं तथा धातु में ये स्वतन्त्र-इलेक्ट्रॉन एक नली में भरी गैस के समान व्यवहार करते हैं।

इलेक्ट्रॉन गैस सिद्धान्त के अनुसार धातु के मुक्त इलेक्ट्रॉन, धातु के अन्दर लगातार अनियमित (random) गति से स्वतन्त्र रूप से इधर-उधर चलते रहते हैं तथा इलेक्ट्रॉन की दिशा में तभी परिवर्तन होता है जब वह किसी अन्य इलेक्ट्रॉन से टकराता है। एक इलेक्ट्रॉन द्वारा दो क्रमिक टक्करों (successive collisions) के मध्य चली गई दूरी को उस इलेक्ट्रॉन का मध्य युक्त ("mean-free path") कहते हैं। यदि धातु चालक के आर-पार कोई विभव न प्रयुक्त किया जाए तो धातु के अन्दर औसत धारा का मान शून्य होता है क्योंकि धातु के एक इकाई क्षेत्रफल से एक दिशा में गुजरने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या, उस इकाई क्षेत्रफल से उसकी विपरीत दिशा में गुजरने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या के लगभग बराबर होती है।

यदि धातु के आर-पार, एक स्थिर विद्युत क्षेत्र (constant electric field), E volt/metre प्रयुक्त की जाए तो स्वतन्त्र-इलेक्ट्रॉनों में त्वरण (acceleration) उत्पन्न होता है जिसके कारण समय के साथ उनकी गति में लगातार वृद्धि होती रहती है, परन्तु चूँकि इलेक्ट्रॉनों में परस्पर टक्कर होती है जिसके फलस्वरूप, इलेक्ट्रॉनों में ऊर्जा का ह्रास होता है। इसके कारण कुछ समय पश्चात् इलेक्ट्रॉनों की गति की एक स्थायी (stable condition) स्थिति आ जाती है, जबकि इलेक्ट्रॉन एक निश्चित गति ग्रहण कर लेते हैं, जिसे **अनुगमन गति** (drift velocity), v कहते हैं।

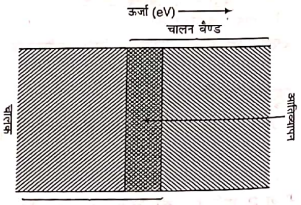
प्रश्न 2. चालकता पर आधारित ठोस पदार्थों का वर्गीकरण कीजिए और ऊर्जा बैंड आरेख के आधार पर उनके व्यवहार को समझाइए।

अथवा **ऊर्जा बैण्ड सिद्धान्त के आधार पर चालक, प्रतिरोध एवं अर्द्धचालक को विभाजित कीजिए।** (2015)

उत्तर चालकता के आधार पर ठोस पदार्थों को तीन वर्गों में बाँटा जाता है—

1. **चालक** Conductor चालक वे पदार्थ होते हैं जिनमें मुक्त इलेक्ट्रॉनों (free electrons) की संख्या बहुत अधिक होती है ($=10^{22}$ per unit volume), इसलिए थोड़ा-सा विद्युत क्षेत्र (electric field) लगाते ही उनमें आवेश का प्रवाह सुगमता से होने लगता है। इनकी प्रतिरोधकता बहुत-कम तथा चालकता बहुत अधिक होती है। सामान्यतः सभी धातुएँ (metals) तथा मिश्र धातुएँ (alloys) चालक होती हैं; जैसे—चाँदी, पीतल, ऐलुमिनियम इत्यादि।

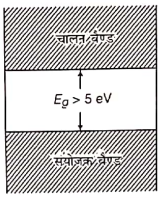
चालक का ऊर्जा बैण्ड आरेख Energy Band Diagram of Conductor धातुओं (चालकों) में सामान्य ताप पर मुक्त इलेक्ट्रॉन पाये जाते हैं। अतः इनके संयोजक बैण्ड (valence band) तथा चालन बैण्ड (conduction band) के बीच वर्जित ऊर्जा अन्तराल नहीं होता [चित्र 6.3 (a)]। यह दोनों बैण्ड एक-दूसरे को ढक देते हैं। अतः इसमें संयोजक बैण्ड ऊर्जा तथा चालन वैण्ड ऊर्जा समान होती हैं। इसलिए, एक संयोजक बैण्ड इलेक्ट्रॉन को चालन बैण्ड बनने में कोई परेशानी नहीं होती, अतः धातुएँ सामान्य ताप पर भी एक अच्छे चालक की तरह व्यवहार करती हैं।



चित्र 6.3 (a) चालक का ऊर्जा बैण्ड आरेख

2. **कुचालक** Insulator कुचालक वे पदार्थ होते हैं जिनमें मुक्त इलेक्ट्रॉन नहीं होते हैं। अतः इनमें अत्यधिक विद्युत क्षेत्र लगाने पर भी आवेश का प्रवाह नगण्य (बहुत कम) होता है। इनकी प्रतिरोधकता बहुत अधिक एवं चालकता बहुत कम होती है; जैसे— ग्लास, रबर, माइका इत्यादि।

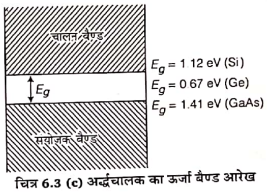
कुचालक का ऊर्जा बैण्ड आरेख Energy Band Diagram of Insulator इनका ऊर्जा बैण्ड चित्र (energy band diagram) चित्र 6.3 (b) में प्रदर्शित है। इनका वर्जित ऊर्जा अंतराल (forbidden energy gap) बहुत अधिक ($E_g > 5$ eV) होता है। अतः संयोजक बैण्ड के इलेक्ट्रॉन को चालन बैण्ड (conduction band) में आने के लिए अत्यधिक ऊर्जा की आवश्यकता होती है। अतः सामान्य ताप पर इसमें मुक्त इलेक्ट्रॉन नहीं होते और आवेश का प्रवाह सम्भव नहीं हो पाता।



चित्र 6.3 (b) कुचालक का ऊर्जा बैण्ड आरेख

3. **अर्द्धचालक** Semiconductor अर्द्धचालक वे पदार्थ होते हैं जिनकी प्रतिरोधकता चालकों व कुचालकों के बीच की होती है; जैसे— जर्मेनियम (Ge), सिलिकॉन (Si), सेलेनियम (Se) इत्यादि।

अर्द्धचालक का ऊर्जा बैण्ड आरेख Energy Band Diagram of Semiconductor चित्र 6.3 (c) में अर्द्धचालकों का ऊर्जा बैण्ड प्रदर्शित है। इनमें वर्जित ऊर्जा अन्तराल का मान लगभग 1eV होता है। उदाहरणतः सिलिकॉन का $E_g = 1.12$ eV, जर्मेनियम का $E_g = 0.72$ eV तथा GaAs का 1.41 eV है। अतः सामान्य ताप पर अर्द्धचालकों के कुछ संयोजी इलेक्ट्रॉनों को इतनी ऊर्जा प्राप्त हो जाती है जिसमें यह संयोजी इलेक्ट्रॉन संयोजक बैण्ड से चालन वैण्ड में चले जाते हैं तथा इनमें कुछ चालकता सम्भव हो जाती है।



चित्र 6.3 (c) अर्द्धचालक का ऊर्जा बैण्ड आरेख

प्रश्न 3. शुद्ध अर्द्धचालक की परिभाषा दीजिए तथा शुद्ध अर्द्धचालकों के सन्दर्भ में निम्न पर टिप्पणी लिखिए

1. परम शून्य ताप **2. थर्मल जेनरेशन या इलेक्ट्रॉन-होल पेयर**

3. विवर का विस्थापन **4. मुक्त इलेक्ट्रॉन व गतिशील होल्स की गतिशीलता**

अथवा **आन्तरिक अर्द्धचालकों पर सूक्ष्म टिप्पणी लिखिए।**

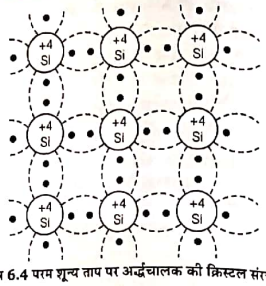
उत्तर "शुद्ध अर्द्धचालक वह होते हैं जिनमें केवल मूल पदार्थ (जैसे-जर्मेनियम या सिलिकॉन) के ही परमाणु हों अर्थात् शुद्ध अर्द्धचालकों को इन्ट्रिजिक या आन्तरिक अर्द्धचालक भी कहा जाता है।

इस पर अर्द्धचालक कुचालक की भाँति व्यवहार करते हैं

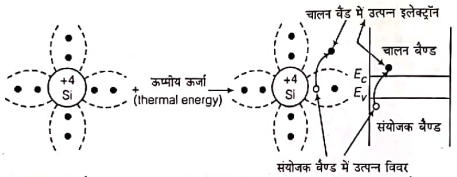
1. **परम शून्य ताप** Absolute Zero Temperature Behaviour of Intrinsic Semiconductors at 0 K अर्द्धचालक परमाणु के चार इलेक्ट्रॉन पड़ोसी इलेक्ट्रॉनों से सहसंयोजक बंध बनाते हैं (चित्र 6.4)। एक सहसंयोजक बन्ध में दो इलेक्ट्रॉन होते हैं, जिनमें एक-एक इलेक्ट्रॉन दोनों परमाणुओं का होता है। परम शून्य ताप पर सभी संयोजी इलेक्ट्रॉन परमाणुओं से कसकर बँधे रहते हैं। अतः परम शून्य ताप पर अर्द्धचालक में मुक्त इलेक्ट्रॉन नहीं होते तथा यह कुचालक की भाँति व्यवहार करता है।
2. **थर्मल जेनरेशन या इलेक्ट्रॉन-होल पेयर** Thermal Generation or Electron-Hole Pair परम शून्य ताप पर इन्ट्रिंजिक अर्द्धचालक कुचालक की भाँति व्यवहार करता है, किन्तु सामान्य ताप (room temperature या 300 K) पर कुछ संयोजी इलेक्ट्रॉनों को इतनी ऊर्जा मिल जाती है जिससे वह मुक्त हो जाते हैं।

Scanned with CamScanner

जब किसी बन्ध से इलेक्ट्रॉन टूट कर दूर हो जाता है तो वहाँ एक रिक्त स्थान बन जाता है। इस रिक्त स्थान को विवर कहते हैं। अत: इलेक्ट्रॉन व होल साथ-साथ या जोड़े में बनते हैं। इस प्रकार मुक्त इलेक्ट्रॉनों तथा होल्स की सान्द्रता इन्ट्रिंजिक अर्द्धचालक में समान होती है। इस प्रकार इलेक्ट्रॉन व होल के जोड़े का बनना ऊष्मीय जेनरेशन कहलाता है। चित्र 6.5 से स्पष्ट है कि मुक्त इलेक्ट्रॉन (चालन बैण्ड मे) तथा विवर (संयोजी बैण्ड में) युग्म के रूप में उत्पन्न होते हैं। अत: इन्ट्रिंजिक अर्द्धचालक में आवेश वाहक इलेक्ट्रॉन व होल दोनों होते हैं।



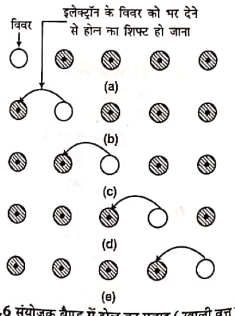
चित्र 6.4 परम शून्य ताप पर अर्द्धचालक की क्रिस्टल संरचना



चित्र 6.5 इन्ट्रेंजिक अर्द्धचालक में ऊष्मीय ऊर्जा के कारण इलेक्ट्रॉन-होल युग्म का उत्पन्न होना

3. **विवर का विस्थापन** Displacement of Hole **"यदि कोई इलेक्ट्रॉन अपने बन्ध से टूटता है तो जो रिक्त स्थान बन जाता है, होल कहलाता है।"**

इलेक्ट्रॉन पर ऋण आवेश (negative charge) होता है तो उसके हटने से विवर पर धनावेश (positive charge) रह जाता है। मान लीजिए कि कोई सहसंयोजी बन्ध टूटने से इलेक्ट्रॉन विवर युग्म बनता है। इसका इलेक्ट्रॉन क्रिस्टल में अन्यत्र कहीं चला जाता है, किन्तु होल वहीं पर रह जाता है। इस होल को चित्र 6.6 (a) के खाली वृत्त से प्रदर्शित किया गया है। अब यह होल पड़ोस के परमाणु के संयोजी इलेक्ट्रॉन को आकर्षित करता है तथा वह अपना सहसंयोजी बन्ध तोड़कर इस होल को भर देता है जो इलेक्ट्रॉन अपना बन्ध तोड़कर होल को भरता है, उसके स्थान पर नया विवर बन जाता है [चित्र 6.6 (b)]। यह क्रिया चलती रहेगी [चित्र 6.6 (c), (d), (e)]। इलेक्ट्रॉनों के विवरों को भरते रहने के कारण विवर एक स्थान से दूसरे स्थान पर खिसकता जायेगा।



चित्र 6.6 संयोजक बैण्ड में होल का प्रवाह (खाली वृत्त होल को व भरे वृत्त इलेक्ट्रॉन को दर्शाते हैं)

4. **मुक्त इलेक्ट्रॉन व गतिशील होल्स की गतिशीलता** Mobility of Free Electron and Moving Hole हालाँकि शुद्ध अर्द्धचालक में 0 K पर मुक्त इलेक्ट्रॉन नहीं होते, परन्तु ताप बढ़ने पर शुद्ध अर्द्धचालकों में इलेक्ट्रॉन-होल पेयर उत्पन्न होते हैं। इस प्रकार के अर्द्धचालक शुद्ध अर्द्धचालक कहलाते हैं; क्योंकि इनमें किसी भी अन्य पदार्थ के

परमाणु नहीं होते, केवल मूल पदार्थ (अर्थात् एक ही पदार्थ) के परमाणु होते हैं। दूसरी बात यह कि शुद्ध अर्द्धचालकों में सहसंयोजक बन्ध के टूटने से एक इलेक्ट्रॉन व एक होल उत्पन्न होता है अर्थात् शुद्ध अर्द्धचालकों में इलेक्ट्रॉन व होल हमेशा युग्म में उत्पन्न होते हैं अर्थात् इनमें इलेक्ट्रॉन का घनत्व (n) व होल का घनत्व (p) समान होता है।

$$p = n = n_i$$

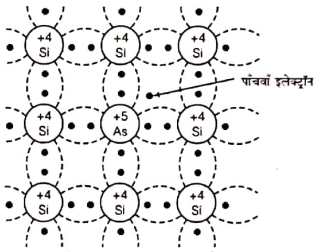
जहाँ n_i को इन्ट्रिंजिक सान्द्रण कहा जाता है। n_i का मान ताप पर निर्भर करता है तथा किसी विशेष ताप पर इसका मान निश्चित होता है। ऊष्मीय कम्पन से नये इलेक्ट्रॉन होल पेयर उत्पन्न होते रहते हैं, जबकि पुन: सयोजन से पिछले समाप्त होते रहते हैं।

प्रश्न 4. विभिन्न प्रकार के अशुद्ध अर्द्धचालक कौन-कौन-से हैं? इनकी संरचना बनाइए व समझाइए।
अथवा अर्द्धचालकों में डोपिंग पर सूक्ष्म टिप्पणी लिखिए।

उत्तर शुद्ध अर्द्धचालक मे अशुद्धि परमाणु मिलाकर उसके वैद्युत गुणों को बदला जा सकता है। अशुद्धि परमाणुओं की मात्रा अत्यन्त कम होने पर भी ($1 : 10^7$) यह अर्द्धचालक के वैद्युत गुणों को पूर्ण रूप से बदलने में सक्षम होते हैं। अशुद्धि मिलाने की इस प्रक्रिया को डोपिंग कहते हैं।

इस प्रकार शुद्ध अर्द्धचालक में अशुद्धि मिलाकर बनने वाले अर्द्धचालक को अशुद्ध अर्द्धचालक कहते हैं। अशुद्ध अर्द्धचालक दो प्रकार के होते हैं—

(i) **n-टाइप अर्द्धचालक** किसी शुद्ध अर्द्धचालक में पाँचवें समूह के परमाणु; जैसे—ऐण्टिमनी, फॉस्फोरस, आर्सेनिक मिलाकर n-टाइप अर्द्धचालक प्राप्त किया जा सकता है।



चित्र 6.7 (a) n-टाइप अर्द्धचालक

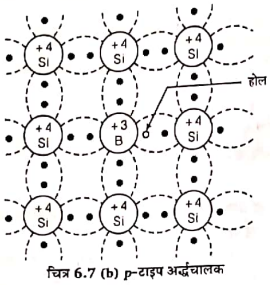
शुद्ध Si में आर्सेनिक (As) अशुद्धि मिलायी गयी है। एक As परमाणु, एक Si परमाणु की जगह लेता है तथा अपने चार संयोजी इलेक्ट्रॉन से पास के सिलिकॉन परमाणुओं के साथ सहसंयोजी बन्ध बना लेता है, किन्तु As का पाँचवाँ इलेक्ट्रॉन मुक्त हो जाता है; अत: As परमाणु अपना एक इलेक्ट्रॉन दान कर देता है।

इस प्रकार n-टाइप अर्द्धचालक में इलेक्ट्रॉन की संख्या अधिक होती है जिसे बहुसंख्यक वाहक (majority carrier) कहते हैं तथा विवर की संख्या कम होती है जिसे अल्पसंख्यक वाहक (minority carrier) कहते हैं।

(ii) **p-टाइप अर्द्धचालक** किसी शुद्ध अर्द्धचालक मे तृतीय समूह के परमाणु; जैसे—बोरॉन, गैलियम, इंडियम मिलाकर p-टाइप अर्द्धचालक प्राप्त किया जाता है।

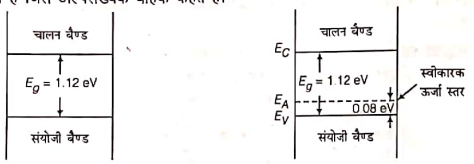
शुद्ध Si में बोरॉन की अशुद्धि मिलाने पर, प्रत्येक बोरॉन एक Si परमाणु का स्थान ले लेता है। चूँकि बोरॉन के पास केवल तीन संयोजी इलेक्ट्रॉन हैं। इस प्रकार यह केवल तीन सहसंयोजी बन्ध बना पाता है अत: क्रिस्टल मे अशुद्धि परमाणु के एक ओर रिक्त स्थान रह जाता है; जिसे विवर (hole) कहते है। यह विवर, इलेक्ट्रॉन को स्वीकार कर सकते हैं, अत: इस प्रकार की अशुद्धि परमाणु स्वीकारक (acceptor) कहलाती है।

Scanned with CamScanner



चित्र 6.7 (b) p-टाइप अर्द्धचालक

इस प्रकार p-टाइप अर्द्धचालक में विवर की अधिकता होती है, जिसे बहुसंख्यक वाहक कहते हैं तथा इलेक्ट्रॉन की कमी होती है जिसे अल्पसंख्यक वाहक कहते हैं।



(a) शुद्ध अर्द्धचालक (b) p-टाइप अर्द्धचालक

चित्र 6.8 स्वीकारक अशुद्धि मिलाने पर ऊर्जा बैण्ड पर प्रभाव

प्रश्न 5. अशुद्ध अर्द्धचालक पर ताप का क्या प्रभाव पड़ता है?

उत्तर यदि दाता या स्वीकारक अशुद्धि को बहुत कम मात्रा में भी अर्द्धचालक में मिलाया जाये तो उसमें बड़ी संख्या में मुक्त आवेशवाहक (charge carriers) पैदा हो जाते हैं। वास्तव में सामान्य ताप पर अशुद्ध अर्द्धचालक की चालकता शुद्ध अर्द्धचालक की चालकता से कई गुना होती है।

यदि ताप को बढ़ाया जाये तो ऊष्मीय कम्पनों (thermal agitation) से सहसंयोजी बन्ध टूटने से अल्पसंख्यक वाहकों की संख्या बढ़ने लगेगी तथा ऐसी स्थिति आ जायेगी, जब अल्पसंख्यक वाहक की संख्या बहुसंख्यक वाहक के समान हो जायेगी। अब अर्द्धचालक एक शुद्ध अर्द्धचालक की तरह व्यवहार करने लगेगा तथा उसकी चालकता कम हो जायेगी।

अत: हम देखते हैं कि ताप बढ़ाने पर अशुद्ध अर्द्धचालक की चालकता कम हो जाती है।

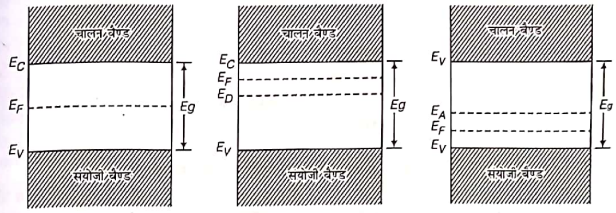
प्रश्न 6. अर्द्धचालक युक्ति के लिए सिलिकॉन और जर्मेनियम क्यों प्रयोग किए जाते है?

उत्तर अर्द्धचालक युक्ति में सिलिकॉन और जर्मेनियम का प्रयोग निम्न कारणों से होता है—

1. ये पदार्थ अत्यधिक शुद्धता में प्राप्त होते हैं या उन्हें बनाया जाना आसान है।
2. इन पदार्थों के अभिलक्षण अशुद्धि मिलाकर परिवर्तित किये जा सकते हैं, लेकिन संरचना अपरिवर्तित रहती है।
4. इन पदार्थों के अभिलक्षण ऊष्मा, प्रकाश द्वारा भी बदले जा सकते हैं।
5. इन पदार्थों की संरचना जालक तथा चतुष्फलकीय (tetrahedral) होती है।

प्रश्न 7. फर्मी सतह पर टिप्पणी लिखिए।

उत्तर **फर्मी सतह** Fermi Level फर्मी सतह किसी पदार्थ के ऊर्जा बैण्ड चित्र 6.9 में उस ऊर्जा स्तर को व्यक्त करता है जिसकी संयोजी बैण्ड के इलेक्ट्रॉन द्वारा भरे जाने की प्रायिकता 50% होती है।



(a) शुद्ध अर्द्धचालक (b) n-टाइप अर्द्धचालक (c) p-टाइप अर्द्धचालक

चित्र 6.9 ऊर्जा बैण्ड चित्र में फर्मी सतह

फर्मी-डायरैक प्रायिकता फंक्शन (fermi-dirac probability function) को $P(E)$ द्वारा व्यक्त किया जाता है। $P(E)$ यह व्यक्त करता है कि किसी विशेष ऊर्जा स्तर E पर इलेक्ट्रॉन के पाये जाने की प्रायिकता कितनी है।

$$P(E) = \frac{1}{1 + e^{(E - E_F)/kT}}$$

उदाहरणत: यदि $E = E_F$ तो $\quad P(E) = \frac{1}{1+1} = \frac{1}{2}$

अर्थात् फर्मी ऊर्जा स्तर $E = E_F$ पर इलेक्ट्रॉनों के पाये जाने की प्रायिकता 0.5 अर्थात् 50% है।

शुद्ध अर्द्धचालकों में फर्मी सतह ऊर्जा अन्तराल के मध्य में (संयोजी व चालन बैण्ड के बीच में) होती है। n-टाइप अर्द्धचालकों में चालन बैण्ड के निकट होती है, जबकि p-टाइप अर्द्धचालकों में यह संयोजी बैण्ड के निकट होती है [चित्र 6.9 (b) व (c)]।

प्रश्न 8. मास एक्शन का नियम समझाइए।

उत्तर हम जानते हैं कि शुद्ध अर्द्धचालक में मुक्त इलेक्ट्रॉनों व होल्स की संख्या समान होती है। यदि शुद्ध अर्द्धचालक में n-टाइप अशुद्धि की डोपिंग की जाती है तो मुक्त इलेक्ट्रॉनों की सान्द्रता बढ़ जाती है (तथा दूसरे शब्दों में, होल की सान्द्रता शुद्ध इन्ट्रिजिक सान्द्रता मान से कम हो जाती है)। इसी प्रकार p-टाइप अशुद्धि की डोपिंग करने पर होल्स की सान्द्रता बढ़ जाती है (तथा मुक्त इलेक्ट्रॉनों की सान्द्रता उनकी शुद्ध सान्द्रता से कम हो जाती है)।

सैद्धान्तिक विश्लेषण से यह पता चला है कि ऊष्मीय संतुलन (thermal equilibrium) में अर्द्धचालक में मुक्त इलेक्ट्रॉनों की सान्द्रता तथा होल्स की सान्द्रता का गुणनफल नियत होता है तथा डोपिंग की मात्रा पर निर्भर नहीं करता। इसको मास एक्शन (mass action) नियम कहा जाता है। अत: मास एक्शन के नियम के अनुसार,

$$np = n_i^2$$

जहाँ, n = मुक्त इलेक्ट्रॉनों की सान्द्रता
p = होल्स की सान्द्रता
n_i = होल्स व मुक्त इलेक्ट्रॉनों की शुद्ध सान्द्रता

शुद्ध अर्द्धचालक में,

$$n = p = n_i$$

प्रश्न 9. एक शुद्ध अर्द्धचालक की 300 K तापमान पर चालकता व प्रतिरोधकता की गणना कीजिए, जबकि $n_i = 2.5 \times 10^3/\text{cm}^3$, $\mu_n = 3800\ \text{cm}^2/\text{s}$, $\mu_p = 1800\ \text{cm}^2/\text{sV}$।

हल प्रश्नानुसार,

$$n_i = 2.5 \times 10^{13}/\text{cm}^3;$$
$$\mu_p = 1800\ \text{cm}^2/\text{sV}$$

Scanned with CamScanner

$\mu_n = 3800\ cm^2/sV$

तथा $q = 1.6 \times 10^{-19}\ C$

अत: चालकता $\sigma_i = n_i q(\mu_p + \mu_n)$

$= 2.5 \times 10^3 \times 1.6 \times 10^{-19}\ (1800 + 3800)$

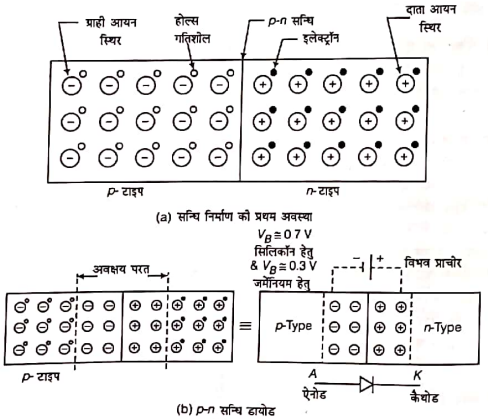
$= \mathbf{0.0224\ mho/cm}$

प्रतिरोधकता $\rho_i = \frac{1}{\sigma_i} = \frac{1}{0.0224} = \mathbf{44.64\ \Omega\text{-cm}}$

प्रश्न 10. चित्र 6.10 की सहायता से *p-n* संधि (डायोड) निर्माण प्रक्रिया समझाइए।

उत्तर जब एक *p*-टाइप अर्द्धचालक को एक *n*-टाइप अर्द्धचालक के साथ जोड़ा जाता है तो उसके मध्य की स्पर्श सतह (संधि) को *p-n* संधि कहते हैं। इस *p-n* संधि को प्राय: अर्द्धचालक डायोड या *p-n* संधि डायोड कहते हैं।

p-टाइप एवं *n*-टाइप अर्द्धचालकों को परस्पर चिपकाकर रखने से *p-n* संधि का निर्माण नहीं होता है और न ही यह संयुक्त युक्ति *p-n* संधि (डायोड) के अभिलक्षण या गुण रखती है। वास्तव में *p-n* संधि के निर्माण के लिए एक शुद्ध अर्द्धचालक (सिलिकॉन अथवा जर्मेनियम) क्रिस्टल के एक आधे भाग में, कुछ मात्रा में त्रि-संयोजकता (trivalent : बाहरी कक्ष में 3 इलेक्ट्रॉन) वाले तत्त्व; जैसे—इण्डियम इत्यादि को अशुद्धि के रूप में मिलाते हैं तथा क्रिस्टल के दूसरे आधे भाग में, कुछ मात्रा में पाँच संयोजकता (pentavalent) वाले तत्त्व; जैसे—आर्सेनिक इत्यादि को मिलाते हैं। इस प्रकार अर्द्धचालक में *p-n* संधि निर्मित हो जाती है जिसके एक तरफ *p*-टाइप अर्द्धचालक तथा दूसरी तरफ *n*-टाइप अर्द्धचालक बन जाते हैं, इसे चित्र 6.10 में प्रदर्शित किया गया है।



चित्र 6.10

p-टाइप एवं *n*-टाइप अर्द्धचालकों में ऊष्मीय ऊर्जा के कारण बन्ध टूटने से स्वतन्त्र इलेक्ट्रॉन एवं विवर (holes) उत्पन्न हो जाते हैं जोकि अल्पसंख्यक आवेश वाहक कहलाते हैं। अत: *n*-टाइप में इलेक्ट्रॉनों (अशुद्धि एवं ताप द्वारा उत्पन्न) की संख्या अधिक होती है, जबकि *p*-टाइप में इलेक्ट्रॉनों (ताप द्वारा उत्पन्न) की संख्या कम होती है। इसी प्रकार, विवरों की संख्या *p*-टाइप में अधिक तथा *n*-टाइप में कम होती है। अत: सन्धि पर आवेश वाहकों के विसरण (diffusion) की क्रिया होती है जिसके कारण *p*-टाइप अर्द्धचालक के विवर, *n*-टाइप अर्द्धचालक में तथा *n*-टाइप अर्द्धचालक के इलेक्ट्रॉन,

p-टाइप अर्द्धचालक में विसरित हो जाते हैं तथा ये विसरित आवेशवाहक संधि के पास में उपस्थित विपरीत आवेशों से संयोग करके उदासीन हो जाते हैं।

प्रश्न 11. *p-n* संधि में अनुगमन व विसरण धारा क्या होती है?

उत्तर **अनुगमन धारा** Drift Current अर्द्धचालक में बाहरी विभव प्रयुक्त करने से आवेश वाहक प्रवाहित होते हैं जिसके परिणामस्वरूप धारा प्रवाहित होती है इसे अनुगमन धारा कहते हैं।

बाहरी वि०वा० बल के कारण, आवेश वाहक एक निश्चित वेग से प्रवाह करते हैं जिसे अनुगमन वेग कहते हैं, इसका मान आवेश वाहकों की चालकता ("μ" $cm^2/V/sec$) तथा प्रयुक्त विद्युत क्षेत्र की तीव्रता 'E' का गुणनफल होता है। इलेक्ट्रॉनों का बहाव बैटरी के धनात्मक टर्मिनल की ओर तथा विवरों का बहाव बैटरी के ऋणात्मक टर्मिनल की ओर होता है।

इन आवेश वाहकों के बहाव के संयुक्त प्रभाव से एक धारा उत्पन्न होती है जिसे अनुगमन धारा कहते हैं।

विसरण धारा Diffusion Current अर्द्धचालक में विभिन्न स्थानों पर, एक ही प्रकार के आवेश वाहको के असमान घनत्व के कारण, बिना बाहरी वि०वा० बल (E) प्रयुक्त किये भी अर्द्धचालक में धारा प्रवाहित होती है, जिसे विसरण धारा कहते हैं।

अर्द्धचालक पदार्थ में एक ही प्रकार के आवेश वाहकों; जैसे—इलेक्ट्रॉनों या विवरों की संख्या एक क्षेत्र में अधिक तथा दूसरे क्षेत्र में कम होती है तथा आवेश वाहकों की यह प्रवृत्ति होती है कि वे उच्च घनत्व से कम घनत्व की तरफ प्रवाह करते हैं जिससे पूर्ण अर्द्धचालक में उन आवेश वाहकों का समान रूप से फैलाव हो जाये। इस प्रकार आवेश वाहकों के चलने के परिणामस्वरूप अर्द्धचालक में एक धारा प्रवाहित होती है जिसे विसरण धारा कहते हैं।

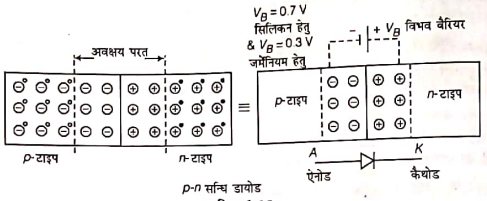
प्रश्न 12. विभव वैरियर (Potential barrier) क्या है? *p-n* संधि में विभव वैरियर के निर्माण के बारे में बताइए।

उत्तर **विभव वैरियर** Potential Barries इसे चित्र 6.11 में प्रदर्शित किया गया है। *p-n* जंक्शन निर्माण की प्रारम्भिक अवस्था में एक अर्द्धचालक क्रिस्टल के एक आधे भाग में स्वीकारक अशुद्धि (acceptor impurity) तथा दूसरे आधे भाग में दाता (donor) अशुद्धि मिलाते ही, *p*-टाइप एवं *n*-टाइप क्रिस्टलों के निर्माण के साथ ही उनके मध्य उत्पन्न संधि के दोनों ओर वैद्युतीय उदासीन (neutral) क्षेत्र (*p*-टाइप एवं *n*-टाइप दोनों मे) होने के कारण, संधि पर आवेश वाहकों का विसरण (diffusion) सरलता से होता है। *n*-भाग से *p*-भाग में विसरित (diffuse) इलेक्ट्रॉनों को संधि के पास ही विवर (holes) प्राप्त हो जाने से वे परस्पर पुन:संयोग (recombination) करके उदासीन (neutral) हो जाते हैं। इस प्रकार *p*-भाग में संधि के पास जितने विवर उदासीन होते हैं, उतने ही ऋणात्मक ध्रुवता (negative polarity) युक्त स्थिर (immovable) स्वीकारक आयनों के पास विवर न होने से सक्रिय (active) हो जाते हैं। इसी प्रकार *n*-भाग में संधि के पास धनात्मक ध्रुवता युक्त स्थिर दाता आयन (donor ions) सक्रिय हो जाते हैं।

अत: सन्धि पर एक वि०वा० बल (Electromotive Force, EMF) V_B कार्य करने लगता है, जिसका धनात्मक सिरा *n*-भाग तथा ऋणात्मक सिरा *p*-भाग के द्वारा संयोजित (connect) माना जाता है। यह वि०वा० बल इलेक्ट्रॉनों एवं विवरों को सन्धि पार करने में प्रतिकर्षित बल (repulsive force) द्वारा रोकता है; क्योंकि V_B की धनात्मक ध्रुवता *p*-भाग के विवरो को तथा ऋणात्मक ध्रुवता, *n*-भाग के इलेक्ट्रॉनों को प्रतिकर्षित करती है। धीरे-धीरे बढ़ते हुए इस वि०वा० बल का आयाम इतना प्राप्त हो जाता है कि उससे उत्पन्न प्रतिकर्षण के कारण, इलेक्ट्रॉन एवं विवरों का विसरण (diffusion : सन्धि पार करना) पूर्ण रूप से रुक जाता है, जिससे अवक्षय परत (depletion layer) की मोटाई और नहीं बढ़ पाती है। अवक्षय परत की मोटाई लगभग 10^{-4} cm होती है।

अवक्षय का अर्थ है कि—वह स्थान जहाँ पर चल आवेश वाहक (mobile charge carriers) नहीं है। चूँकि *p-n* संधि के पास इलेक्ट्रॉनों एवं विवरों के संयोग से एक आवेश रहित परत का निर्माण होता है, इसलिए इसे अवक्षय परत कहते हैं तथा चूँकि इस परत में केवल स्थिर (immobile) आवेशयुक्त आयन ही होते हैं, जोकि संधि पर वि०वा० बल (V_B) उत्पन्न करते हैं, इसलिए अवक्षय परत को स्पेस चार्ज पर्त या क्षेत्र (space-charge layer or region) कहते हैं तथा इस पर्त को रोधिका (barrier) भी कहते हैं।

Scanned with CamScanner



चित्र 6.11

चूँकि p-n संधि के बैरियर पर विद्यमान वि०वा० बल (V_B) आवेश वाहकों को बैरियर पार करने से रोकता है, इसलिए बैरियर को प्राय: विभव रोधिका अवक्षय परत तथा इस वि०वा० बल (V_B) को रोधिका विभव (barrier potential) या सम्पर्क विभव (contact potential) कहते हैं।

साधारण ताप पर बैरियर पोटेन्शियल का मान सिलिकॉन p-n सन्धि के लिए लगभग 0.7 वोल्ट तथा जर्मेनियम p-n सन्धि के लिए 0.3 वोल्ट होता है।

प्रश्न 13. क्या कारण है कि ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक तथा संग्राहक की तुलना में आधार बहुत पतला बनाया जाता है?

उत्तर ऐसा इसलिए किया जाता है ताकि कोटर एवं इलेक्ट्रॉन, इनमें कम-से-कम संयोग कर सकें। ऐसा करने से उत्सर्जक से आने वाले अधिकांश कोटर p-n-p में अथवा इलेक्ट्रॉन n-p-n में आधार को पार करके संग्राहक मे पहुँच जाते हैं। अत: संग्राहक धारा तथा उत्सर्जक धारा लगभग बराबर और आधार धारा अपेक्षाकृत बहुत क्षीण होती है। ट्रांजिस्टर द्वारा शक्ति प्रवर्धन तथा वोल्टता प्रवर्धन का यही मुख्य कारण है। यदि आधार को मोटा बनाया जाता है तो संग्राहक धारा बहुत कम होती है तथा इसका कोई उपयोग नहीं होता।

प्रश्न 14. *n-p-n* संधि ट्रांजिस्टर V_{CB} = 3 V पर उभयनिष्ठ-बेस विन्यास में प्रयुक्त किया जाता है। इसके उत्सर्जक की धारा 13.55 mA से 20.15 mA कर देने से संग्राहक धारा 13.4 mA से 19.9 mA हो जाती है। इसमें धारा लाभ (α) ज्ञात कीजिए।

हल दिया है,

$$\Delta I_C = 19.9 - 13.4 = 6.5 \text{ mA}, \ \Delta I_E = 20.15 - 13.55 = 6.6 \text{ mA}$$

$$\therefore \quad \alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \frac{6.5}{6.6} = \mathbf{0.9849}$$

प्रश्न 15. एक ट्रांजिस्टर उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में जोड़ा गया है। इसमें आधार धारा में 0.1 mA का परिवर्तन हो जाता है, जबकि संग्राहक धारा में 7.9 mA का परिवर्तन किया जाता है तथा संग्राहक-उत्सर्जक वोल्टता नियत रखी जाती है। β का मान ज्ञात कीजिए।

हल

$$\beta = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}\right)_{V_{CE}} = \frac{7.9 \text{ mA}}{0.1 \text{ mA}} = \mathbf{79}$$

प्रश्न 16. किसी ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक धारा में 8.0 mA का परिवर्तन संग्राहक धारा में 7.9 mA का परिवर्तन कर देता है, जबकि संग्राहक-आधार वोल्टता नियत रखी जाती है। α का मान ज्ञात कीजिए।

हल

$$\alpha = \left(\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}\right)_{V_{CB}}$$

$$= \frac{7.9 \text{ mA}}{8.0 \text{ mA}} = \mathbf{0.99}$$

प्रश्न 17. एक सिलिकॉन ट्रांजिस्टर में आधार धारा 20 μA का परिवर्तन करने से आधार-उत्सर्जक वोल्टता में 0.02 वोल्ट का परिवर्तन तथा संग्राहक धारा में 2 mA का परिवर्तन हो जाता है। इस ट्रांजिस्टर का निवेश प्रतिरोध; $\beta_{a.c.}$ तथा अन्योन्य चालकता ज्ञात कीजिए।

हल यहाँ $\Delta I_B = 20 \mu\text{A} = 20 \times 10^{-6}$ A; $\Delta V_{BE} = 0.02$ V

तथा $$\Delta I_C = 2 \text{ mA} = 2 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$\therefore$ निवेशी प्रतिरोध $$R_i = \frac{\Delta V_{BE}}{\Delta I_B} = \left(\frac{0.02}{20 \times 10^{-6}}\right) \Omega = 1000 \, \Omega$$

$$\beta_{ac} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \left(\frac{2 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}}\right) = 100$$

अन्योन्य चालकता $$g_m = \frac{\Delta I_C}{\Delta V_{BE}} = \left(\frac{2 \times 10^{-3}}{0.02}\right) \Omega^{-1} = \mathbf{0.1 \, \Omega^{-1}}$$

प्रश्न 18. उभयनिष्ठ उत्सर्जक ट्रांजिस्टर प्रवर्धक के लिए धारा लाभ 59 है। यदि उत्सर्जक धारा 6.0 mA हो तो ज्ञात कीजिए— (i) संग्राहक धारा, (ii) आधार धारा।

हल यहाँ $\beta = 59$; $I_E = 6.0$ mA

(i) $\therefore$ $$\alpha = \frac{\beta}{1+\beta} = \frac{59}{1+59} = \frac{59}{60}$$

परन्तु $$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \quad \Rightarrow \quad \frac{I_C}{I_E} = \frac{59}{60}$$

या $$I_C = \frac{59}{60} \times I_E$$

$\therefore$ $$I_C = \frac{59}{60} \times 6.0 \text{ mA}$$

$$= \mathbf{5.9 \text{ mA}}$$

(ii) $$I_B = I_E - I_C = (6.0 - 5.9) \text{ mA} = \mathbf{0.1 \text{ mA}}$$

प्रश्न 19. किसी उभयनिष्ठ उत्सर्जक ट्रांजिस्टर का निवेशी प्रतिरोध 1000 Ω है। इसकी आधार धारा में 10 μA का परिवर्तन करने से संग्राहक धारा में 2 mA की वृद्धि हो जाती है। यदि परिपथ में प्रयुक्त लोड प्रतिरोध 5 kΩ हो तो प्रवर्धक के लिए गणना कीजिए—
(i) धारा लाभ (current gain) **(ii) वोल्टता लाभ (voltage gain)**

हल यहाँ $R_i = 1000 \, \Omega$, $\Delta I_B = 10 \mu\text{A} = 10^{-5}$A;

$$\Delta I_C = 2 \text{ mA} = 2 \times 10^{-3} \text{ A}$$

तथा $$R_L = 5 \text{ k}\Omega = 5 \times 10^3 \, \Omega$$

(i) धारा लाभ $$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{2 \times 10^{-3}}{10^{-5}} = \mathbf{200}$$

(ii) वोल्टता लाभ $$A = \beta \left(\frac{R_L}{R_i}\right) = \frac{200 \times (5 \times 10^3)}{1000} = \mathbf{1000}$$

Scanned with CamScanner

प्रश्न 20. एक अर्द्धचालक में इलेक्ट्रॉन सान्द्रता 6×10^{12} सेमी$^{-3}$ तथा कोटर सान्द्रता 9×10^{13} सेमी$^{-3}$ है। यह किस प्रकार का अर्द्धचालक है? इस अर्द्धचालक की चालकता ज्ञात कीजिए। इलेक्ट्रॉन की गतिशीलता = $2.6\ m^2V^{-1}s^{-1}$ तथा कोटर की गतिशीलता = $0.02\ m^2V^{-1}s^{-1}$ है।

हल ∵ दिये गये अर्द्धचालक में कोटरों की सान्द्रता इलेक्ट्रॉनों की सान्द्रता की तुलना में अधिक है; अत: यह अर्द्धचालक p-प्रकार का अर्द्धचालक है।

दिया है, $n_e = 6 \times 10^{12} \times 10^6$ मी$^{-3} = 6 \times 10^{18}$ मी$^{-3}$; $\mu_e = 2.6$ मी^{2} वोल्ट$^{-1}$ सेकण्ड$^{-1}$

$n_h = 9 \times 10^{13} \times 10^6$ मी$^{-3} = 9 \times 10^{19}$ मी$^{-3}$; $\mu_h = 0.02$ मी^{2} वोल्ट$^{-1}$ सेकण्ड$^{-1}$

एवं $e = 1.6 \times 10^{-19}$ कूलॉम

चालकता $\sigma = e[n_e\mu_e + n_h\mu_h]$

$= 1.6 \times 10^{-19}[6 \times 10^{18} \times 2.6 + 9 \times 10^{19} \times 0.02]$ सीमेन मीटर$^{-1}$

$= 2.784$ सीमेन मीटर$^{-1}$

प्रश्न 21. उभयनिष्ठ आधार व्यवस्था में एक ट्रांजिस्टर का धारा प्रवर्धन गुणांक $\alpha = 0.97$ है, यदि उत्सर्जक धारा (emitter current) I_E का मान 50 mA हो तो संग्राहक धारा (collector current) I_C, आधार धारा (base current) I_B तथा β-लाभ (β-gain) का मान ज्ञात कीजिए।

हल हम जानते हैं कि, $\alpha = \frac{I_C}{I_E}$

(i) अत: संग्राहक धारा, $I_C = \alpha \times I_E = 0.97 \times 50 = \mathbf{48.5\ mA}$

(ii) ∵ $I_E = I_B + I_C$

अत: $I_B = I_E - I_C = 50 - 48.5 = \mathbf{1.5\ mA}$

(iii) β-लाभ $= \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.97}{1-0.97} = \frac{0.97}{0.03} = \mathbf{32.33}$

प्रश्न 22. एक n-p-n ट्रांजिस्टर का धारा लाभ 0.98 है (उभयनिष्ठ बेस-विन्यास में)। उत्क्रमण धारा $I_{CBO} = 12.5\mu A$ है। आधार तथा संग्राहक धारा का मान ज्ञात कीजिए, यदि उत्सर्जक धारा का मान 2 mA हो।

हल दिया है, $\alpha = 0.98$, $I_{CBO} = 12.5\ \mu A = 0.0125 \times 10^{-3}$A, $I_E = 2$ mA $= 2 \times 10^{-3}$ A

अब $I_C = \alpha \cdot I_E + I_{CBO}$

$= 0.98 \times 2 \times 10^{-3} + 0.0125 \times 10^{-3} = 1.97$ mA

पुन: $I_E = I_B + I_C$

या $I_B = I_E - I_C = (2 - 1.97)$ mA $= \mathbf{30\ \mu A}$

प्रश्न 23. n-p-n ट्रांजिस्टर के एक उभयनिष्ठ-उत्सर्जक परिपथ में बेस-धारा में 50 μA की वृद्धि होने पर संग्राहक धारा में 1.0 mA की वृद्धि होती है। धारा लाभ β तथा उत्सर्जक धारा ज्ञात कीजिए।

उत्तर दिया है, $I_B = 50\mu A = 50 \times 10^{-6}$A, $I_C = 1.0$ mA $= 1.0 \times 10^{-3}$A

अब $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{1.0 \times 10^{-3}\text{A}}{50 \times 10^{-6}\text{A}} = 20$

∴ $I_E = I_B + I_C = 50 \times 10^{-6}\text{A} + 1.0 \times 10^{-3}\text{A}$

$= (50 \times 10^{-6}) + (1000 \times 10^{-6}) = \mathbf{1050 \times 10^{-6}\ A}$

प्रश्न 24. उभयनिष्ठ उत्सर्जक धारा-लाभ (β) एवं उभयनिष्ठ आधार धारा-लाभ (α) के बीच सम्बन्ध स्थापित कीजिए।

उत्तर **β तथा α के बीच सम्बन्ध**

उभयनिष्ठ आधार प्रवर्धक में धारा-लाभ $\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}$ (जबकि V_{CB} नियत) ...(i)

उभयनिष्ठ-उत्सर्जक प्रवर्धक में धारा-लाभ $\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$ (जबकि V_{CE} नियत) ...(ii)

समी० (ii) को पुनर्व्यवस्थित ढंग से इस प्रकार लिखा जा सकता है

$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} \times \frac{\Delta I_E}{\Delta I_E} = \alpha \cdot \frac{\Delta I_E}{\Delta I_B}$ [∵ समी० (i) से $\frac{\Delta I_C}{\Delta I_E} = \alpha$] ...(iii)

परन्तु $I_E = I_B + I_C$ अर्थात् $I_B = I_E - I_C$

∴ $\Delta I_B = \Delta I_E - \Delta I_C$

ΔI_B का यह मान समी० (iii) में रखने पर, $\beta = \alpha\left(\frac{\Delta I_E}{\Delta I_E - \Delta I_C}\right) = \frac{\alpha}{\left(1 - \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E}\right)}$

परन्तु समी० (i) से, $\Delta I_C / \Delta I_E = \alpha$

∴ $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$ ...(iv)

अथवा $\beta(1-\alpha) = \alpha$

अथवा $\beta = \alpha + \beta\alpha = \alpha(1+\beta)$

अथवा $\alpha = \left(\frac{\beta}{1+\beta}\right)$

प्रश्न 25. ट्रांजिस्टर क्या है? आधार, उत्सर्जक तथा संग्राही धारा से आप क्या समझते हैं?

उत्तर **ट्रांजिस्टर** दो p-n संधियों को सम्पर्क में रखकर बनायी गयी वह युक्ति जो एक ट्रायोड वाल्व की भाँति व्यवहार करती है, ट्रांजिस्टर कहलाती है।

दो संधियों को जोड़ने की विधि की दृष्टि से यह निम्न दो प्रकार के होते हैं—

(i) p-n-p संधि ट्रांजिस्टर यह ट्रांजिस्टर एक p-n संधि के साथ p-टाइप के क्रिस्टल; जैसे-जर्मेनियम की परत को p-n के बायीं ओर जोड़कर बनाया जाता है।

(ii) n-p-n संधि ट्रांजिस्टर यह ट्रांजिस्टर एक p-n संधि के साथ n-टाइप के क्रिस्टल; जैसे-जर्मेनियम की परत को p-n के दायीं ओर जोड़कर बनाया जाता है।

आधार धारा वह धारा जो आधार सिरे (base terminal) से शुरू होती है तथा तीव्रता में क्षीण होती है, आधार धारा (base current) कहलाती है। इसे I_B से दर्शाते हैं।

संग्राहक धारा वह धारा जो संग्राहक सिरे (collector terminal) से शुरू होती है तथा तीव्रता में प्रबल होती है, संग्राहक धारा कहलाती है। इसे I_C से प्रदर्शित करते हैं।

उत्सर्जक धारा जब आधार तथा संग्राहक धारा दोनों संयुक्त होकर उत्सर्जक सिरे (emmitter terminal) में प्रवेश करती हैं तो ऐसी धारा को उत्सर्जक धारा (emmitter current) कहते हैं। इसे I_E से प्रदर्शित करते हैं।

अर्थात् $I_E = I_B + I_C$

Scanned with CamScanner

प्रश्न 26. ट्रांजिस्टर की निर्वात् ट्यूब से तुलना कीजिए।

उत्तर **ट्रांजिस्टर की निर्वात् ट्यूब से तुलना**

गुण निर्वात् ट्यूब (vacuum tubes) की तुलना मे ट्रांजिस्टरों के निम्नलिखित लाभ हैं—

1. ट्रांजिस्टर निर्वात् ट्यूब की अपेक्षा मजबूत, सस्ते तथा आकार में बहुत छोटे (केवल कुछ मिमी के) होते हैं तथा ट्रांजिस्टरों के उपयोग से बने इलेक्ट्रॉनिक उपकरण भी बहुत छोटे आकार के होते हैं।
2. निर्वात् ट्यूब की अपेक्षा ट्रांजिस्टर कम वोल्टेज पर ही कार्य करने लगते हैं। निर्वात् ट्यूब के प्रचालन के लिए 220 V की वोल्टेज चाहिए, जबकि ट्रांजिस्टर के लिए 2 या 3 V ही काफी है।
3. निर्वात् ट्यूब की आयु कैथोड पर निर्भर करती है जो उपयोग से निरन्तर कम होती रहती है तथा कैथोड जलकर नष्ट भी हो सकता है। ट्रांजिस्टर में कैथोड नहीं होता; अत: इसकी आयु असीमित होती है।
4. निर्वात् ट्यूब से बने यंत्र स्विच खोलने के कुछ समय बाद गरम होकर कार्य करना प्रारम्भ करते हैं, जबकि ट्रांजिस्टरयुक्त यंत्र स्विच खोलते ही कार्य करना प्रारम्भ कर देते हैं।
5. ट्रांजिस्टर की दक्षता निर्वात् ट्यूब की अपेक्षा अधिक होती है। ये 3-वोल्ट के स्रोत से 3 मि० वाट शक्ति ले सकते हैं।
6. ट्रांजिस्टर ठोस क्रिस्टल होते हैं; अत: इनमे यांत्रिक आघातों को सहन करने की क्षमता होती है, जबकि निर्वात् ट्यूब शीशे के होते हैं जो जरा सी असावधानी से टूट सकते हैं।

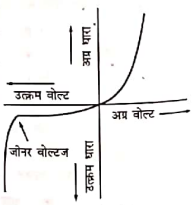
दोष निर्वात् ट्यूब की तुलना मे ट्रांजिस्टर मे निम्नलिखित दोष होते हैं—

1. माइक्रोफोनिक शोर के अतिरिक्त ट्रांजिस्टर मे अन्य शोर अधिक होते हैं।
2. अत्यधिक गर्म होने पर इनके क्षतिग्रस्त होने का डर रहता है। अत: ये उच्च वैद्युत-धारा के लिये उपयुक्त नहीं है।
3. उच्च आवृत्ति पर निर्वात् ट्यूब की अपेक्षा प्रभावित होते हैं।
4. ट्रांजिस्टर में अधिकतम निर्गत शक्ति (100 kW), निर्वात् ट्यूब की अपेक्षा (=300 kW) काफी कम होती है।

प्रश्न 27. एक अर्द्धचालक डायोड (Semiconductor diode) क्या होता है? इसके लाक्षणिक वक्र खींचिए। जंक्शन पर विभव प्राचीर का बनना समझाइए।

अथवा ***p-n* सन्धि पर प्राचीर विभव किस प्रकार उत्पन्न होता है? समझाइए।** (2014)

उत्तर **अर्द्धचालक डायोड** एक विशेष विधि के द्वारा जब एक *p*-प्रकार का अर्द्धचालक, *n*-प्रकार के अर्द्धचालक से जोड़ा जाता है तो इस संयुक्ति को *p-n* संधि या डायोड (diode) कहते हैं। जब एक *p-n* संधि या डायोड के प्रथम आधे भाग मे ग्राही अर्द्धचालक अशुद्धि तथा दूसरे आधे भाग में दाता अर्द्धचालक अशुद्धि मिला दी जाती है तो इस युक्ति को *p-n* संधि या अर्द्धचालक डायोड कहते हैं। अर्द्धचालक अशुद्धि के रूप मे जर्मेनियम को लिया जा सकता है।



चित्र 6.12

डायोड संधि का अभिलाक्षणिक वक्र एक डायोड संधि का अभिलाक्षणिक वक्र चित्र 6.12 मे दर्शाया गया है। इसे *V-I* (volt-current) वक्र भी कहते हैं। इस वक्र के अनुसार, संधि डायोड के सिरो पर आरोपित विभवान्तर '*V*' तथा उसके कारण संधि मे प्रवाहित धारा '*I*' के बीच खींचा गया वक्र होता है, इसीलिए इसे *V-I* वक्र कहते हैं। इस वक्र से स्पष्ट है कि अग्र अभिनत वोल्टता (forward bias voltage) के बढ़ाने पर विद्युत धारा तेजी से बढ़ती है, जबकि उत्क्रम अभिनत (reverse bias) में वोल्टता बढ़ाने पर शुरू मे तो लगभग नियत या स्थिर रहती है, लेकिन वोल्टता की एक निश्चित सीमा से ज्यादा बढ़ाने पर उत्क्रम धारा अचानक बहुत बढ़ जाती है। वोल्टता की इस सीमा को जेनर वोल्टेज (zener voltage) कहते हैं। डायोड के इस गुण को वोल्टेज रेगुलेटर (voltage regulator) कहते हैं।

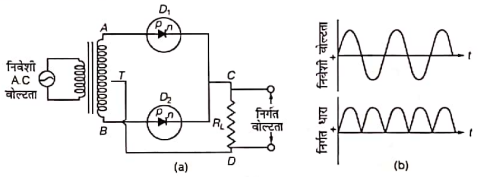
प्राचीर विभव *p-n* संधि के दोनो ओर का वह क्षेत्र जोकि गतिशील आवेश वाहकों (charged carriers) से मुक्त हो जाता है, अवक्षय-क्षेत्र (depletion region) कहलाता है। इस प्रकार संधि में आवेश वाहकों के विसरण के कारण संधि के पास

n-क्षेत्र में धन आवेशित दाताओं (donors) तथा *p*-क्षेत्र में ऋण आवेशित ग्राहियों (acceptors) की संख्या अधिक हो जाती है। इन दाता आयनों (ions) तथा ग्राही आयनों के आवेशो के कारण एक विद्युत क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है। इसी विद्युत क्षेत्र को प्राचीर (barrier) कहते हैं। जब संधि पर diffusion की finishing समाप्त हो जाती है तो मेजोरिटी इलेक्ट्रॉन तथा होल्स संधि इसी विद्युत क्षेत्र के कारण cross नहीं कर पाते हैं। इसे प्राचीर विभव (barrier potential) कहते हैं। एक जर्मेनियम *p-n* संधि तथा सिलिकॉन *p-n* संधि के प्राचीर विभव का मान क्रमश: 0.30 वोल्ट तथा 0.70 वोल्ट होता है।

प्रश्न 28. *p-n* सन्धि डायोडों का प्रयोग करते हुए पूर्ण-तरंग दिष्टकारी का परिपथ चित्र बनाइए। इसकी कार्यविधि समझाइए।

उत्तर ***p-n* सन्धि डायोड** "जब एक *p*-प्रकार के अर्द्धचालक क्रिस्टल को किसी विशेष विधि द्वारा *n*-प्रकार के अर्द्धचालक क्रिस्टल के साथ जोड़ दिया जाता है तो जिस स्थान पर क्रिस्टल एक-दूसरे से जुड़ते हैं, वह सन्धि कहलाती है। इस संयोजन के वैद्युत लक्षण डायोड वाल्व की भाँति होते हैं; अत: इस संयोजन को सन्धि डायोड कहते हैं।"

पूर्ण तरंग दिष्टकारी में निवेश प्रत्यावर्ती वोल्टेज के दोनों अर्द्ध-चक्रों के दौरान निर्गत् धारा प्राप्त होती है। इसमें दो सन्धि डायोड इस तरह प्रयुक्त किये जाते हैं कि पहला डायोड धारा के पहले आधे चक्र का दिष्टकरण करता है और दूसरा डायोड दूसरे आधे चक्र का। इसका परिपथ चित्र 6.13 मे दिखाया गया है। A.C. स्रोत को एक ट्रांसफॉर्मर की प्राथमिक कुण्डली से जोड़ते हैं तथा द्वितीयक कुण्डली के सिरो *A* व *B* के बीच दोनो डायोडों 1 तथा 2 के *p*-क्षेत्रों को जोड़ा जाता है तथा *n*-क्षेत्रों को आपस मे जोड़ दिया जाता है। लोड प्रतिरोध R_L को द्वितीयक कुण्डली के केन्द्रीय निष्कास (centre tap) *T* तथा *n*-क्षेत्रों के बीच जोड़ते हैं। निवेशी वोल्टेज के पहले आधे चक्र के दौरान जब ट्रांसफॉर्मर का *A* सिरा, *T* के सापेक्ष धनात्मक तथा *B* सिरा, *T* के सापेक्ष ऋणात्मक होता है, तब डायोड 1 अग्र-अभिनत होता है और धारा प्रवाहित होने देता है, जबकि डायोड 2 उत्क्रम-अभिनत होता है और धारा प्रवाहित नहीं होने देता। अत: लोड-प्रतिरोध R_L मे धारा *C* से *D* की ओर बहती है। दूसरे आधे चक्र के दौरान *A* सिरा *T* के सापेक्ष ऋणात्मक होता है तथा *B* सिरा धनात्मक होता है। अत: अब डायोड 1 उत्क्रम-अभिनत तथा डायोड 2 अग्र-अभिनत होता है। अब धारा डायोड 2 में से प्रवाहित होती है तथा R_L में पुन: धारा *C* से *D* की ओर को बहती है।



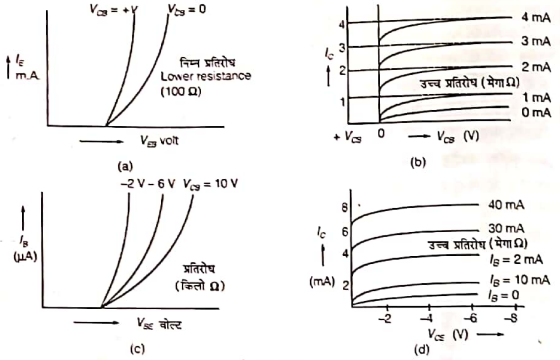
चित्र 6.13

R_L में धारा की दिशा दोनों अर्द्धचक्रों मे एक ही ओर रहती है; अत: R_L पर निर्गत वोल्टता की दिशा एक ही प्राप्त होती है तथा पूर्ण-तरंग के लिए वोल्टता प्राप्त होती रहती है।

प्रश्न 29. एक ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक, आधार और संग्राहक से क्या तात्पर्य है? ट्रांजिस्टर के लाक्षणिक वक्र दर्शाइए। ट्रांजिस्टर का α-gain 0.95 है, इसका β-gain ज्ञात कीजिए।

उत्तर **ट्रांजिस्टर** ट्रांजिस्टर या संधि ट्रांजिस्टर एक अर्द्धचालक युक्ति होती है जिसमें $p-n$ संधि डायोड परस्पर मिलाकर रखी जाती है जिनमें प्रथम अग्र अभिनत तथा दूसरी व्युत्क्रम अभिनत होती है। इस प्रकार एक ट्रायोड संधि (triode junction) तैयार हो जाती है। अग्र-अभिनत *p-n* संधि द्वारा मार्ग में अल्प प्रतिरोध लगाती है तथा इस पर आरोपित एक सूक्ष्म सिगनल व्युत्क्रम अभिनत संधि पर उच्च वोल्टता पर प्राप्त होता है। इस प्रकार एक ट्रांजिस्टर प्रवर्धक की तरह कार्य करता है।

Scanned with CamScanner



चित्र 6.14

उत्सर्जक ट्रांजिस्टर का बायाँ भाग उत्सर्जक कहलाता है। इसका आकार आधार से अधिक तथा संग्राहक से कम होता है। यह उच्च डोपिंग (doping) का क्षेत्र होता है। इसका कार्य, आधार को बहुसंख्यक आवेशवाहकों की आपूर्ति करना होता है।

आधार यह ट्रांजिस्टर का मध्य भाग होता है जिसके बायीं ओर उत्सर्जक तथा दायीं ओर संग्राहक होता है। इसका आकार (एक पतली परत, 10^{-6} m) बहुत छोटा होता है तथा इसमे डोपिंग भी बहुत कम होती है। इसका मुख्य कार्य उत्सर्जक से आवेश-वाहको को संग्राहक तक पहुँचाना होता है।

संग्राहक यह ट्रांजिस्टर का सबसे बड़े आकार वाला दाईं ओर का भाग होता है। इसमें डोपिंग आधार से अधिक तथा उत्सर्जक से कम होती है। इसका कार्य *p-n-p* में होल तथा *n-p-n* में इलेक्ट्रॉन को खींचकर एकत्रित करना होता है।

ट्रांजिस्टर के लाक्षणिक वक्र ट्रांजिस्टर के कॉमन बेस विन्यास (common base configuration) तथा कॉमन उत्सर्जक विन्यास (common emitter configuration) के आधार पर निम्नलिखित लाक्षणिक वक्र हैं—

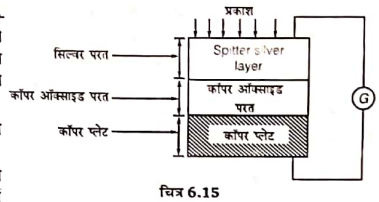
1. **कॉमन बेस विन्यास के आधार पर लाक्षणिक वक्र**
   (i) निविष्ट CB लाक्षणिक वक्र (Input CB Characteristic Curve)
   (ii) निर्गत् CB लाक्षणिक वक्र (Output CB Characteristic Curve)
2. **कॉमन उत्सर्जक विन्यास के आधार पर लाक्षणिक वक्र**
   (i) निविष्ट CB लाक्षणिक वक्र (Input CB Characteristic Curve)
   (ii) निर्गत् CB लाक्षणिक वक्र (Output CB Characteristic Curve)

प्रश्न 30. फोटो वोल्टेइक सेल क्या होते है? ये साधारण विद्युत सेलों से किस प्रकार भिन्न होते है?

उत्तर **फोटो वोल्टेइक सेल** सैद्धान्तिक रूप से, यह सेल एक *p-n* संधि डायोड होता है जो सूर्य की किरणों को सीधा विद्युत ऊर्जा में बदल देता है। उत्पन्न विद्युत ऊर्जा, सूर्य की किरणों की तीव्रता के अनुक्रमानुपाती होती है।

जब प्रकाश के प्रोटॉन *p-n* संधि डायोड पर पड़ते है, तो माइनरटी वाहक (minority carrier), *p* तथा *n* क्षेत्र में घुस जाते है। जब डायोड उत्क्रम बायस (inverse bias) तथा खुले परिपथ मे होता है तो धारा का उत्पादन (माइनरटी वाहकों के कारण). माइनरटी वाहकों के द्वारा उत्पन्न धारा के द्वारा सन्तुलित किया जाता है, लेकिन माइनरटी वाहको का प्रवाह केवल तभी सम्भव होता है जब संधि के परित: विभव प्राचीर कम होता है। अत: जब सूर्य का प्रकाश डायोड पर पड़ता है, संधि के परित: वोल्टेज का परिमाण ठीक उतना ही उत्पन्न होता है। इस वोल्टेज के कारण धारा उत्पन्न होती है। यह धारा तब तक

उपलब्ध रहती है जब तक सूर्य की किरणे या प्रकाश *p-n* संधि पर पड़ता रहता है। इस धारा का मान, पड़ने वाले सूर्य के प्रकाश की तीव्रता के अनुक्रमानुपाती होता है। इस प्रकार से, एक फोटो वोल्टेइक सेल का कार्य-सिद्धान्त वही होता है जो एक *p-n* संधि डायोड का होता है।



चित्र 6.15

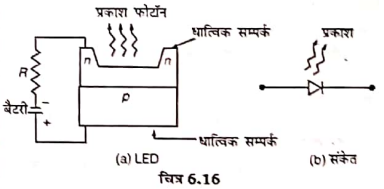
फोटो-वोल्टेइक सेल की साधारण विद्युत सेलों से भिन्नता

1. साधारण विद्युत सेलों में रसायनों का प्रयोग किया जाता है, जबकि फोटो वोल्टेइक सेलो मे रसायनो का प्रयोग नहीं किया जाता है।
2. साधारण विद्युत सेलो का आकार बड़ा होता है, जबकि फोटो वोल्टेइक सेल बटन के आकार के भी बनाये जा सकते हैं।
3. साधारण विद्युत सेलों में रासायनिक अभिक्रिया के फलस्वरूप विद्युत ऊर्जा प्राप्त होती है, जबकि फोटो वोल्टेइक सेलो में प्रकाशिक अभिक्रिया के फलस्वरूप विद्युत ऊर्जा प्राप्त होती है।

प्रश्न 31. प्रकाश उत्सर्जक डायोड (LED) क्या है? इसका अनुप्रयोग कहाँ किया जाता है?
अथवा **प्रकाश उत्सर्जक डायोड (LED) किस प्रकार कार्य करता है? इसका उपयोग क्या है?** (2014)

उत्तर **प्रकाश उत्सर्जक डायोड** "यह एक अग्र-अभिनत *p-n* सन्धि डायोड होता है जो अग्र अभिनति के लिए प्रयुक्त वैद्युत ऊर्जा को प्रकाश मे बदलता है।"

सिद्धान्त *p-n* सन्धि को अग्र अभिनति स्थिति मे इलेक्ट्रॉन तथा कोटर के पुर्नसंयोजन के कारण अग्र धारा प्रवाहित होती है। जब कोई चालक इलेक्ट्रॉन संयोजकता बैण्ड में किसी कोटर से संयोग करता है तो यह उच्च ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर पर आ जाता है और इस प्रक्रिया मे इन ऊर्जा स्तरो की ऊर्जाओं के अन्तर के बराबर ऊर्जा मुक्त होती है। Si तथा Ge में इस ऊर्जा का अधिकांश प्रतिशत भाग ऊष्मा के रूप मे मुक्त होता है, परन्तु गैलियम आर्सेनाइड (GaAs), गैलियम फॉस्फाइड (GaP) आदि से बने डायोडो मे इलेक्ट्रॉन तथा कोटरो के पुनर्संयोजन के समय मुक्त ऊर्जा का अधिकांश प्रतिशत भाग प्रकाश के रूप मे उत्सर्जित होता है। अत: प्रकाश उत्सर्जक डायोड इन्हीं अर्द्धचालको के बनाये जाते हैं।



चित्र 6.16

रचना इसमें उपयुक्त अर्द्धचालको से एक $p-n$ सन्धि डायोड बनाकर उसके p व n क्षेत्रो से चित्र 6.16 (a) को भाँति धात्विक सम्पर्क बना लेते हैं तथा इसको बैटरी से प्रतिरोध R के माध्यम से अग्र अभिनत विन्यास मे व्यवस्थित कर लेते है। इसको अग्र अभिनत करने पर यह प्रकाश उत्सर्जित करता है। चित्र 6.16 (b) मे इसका संकेत प्रदर्शित किया गया है।

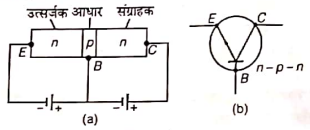
इनके अनुप्रयोग निम्नलिखित हैं—

1. चोर घण्टी निकाय मे इनका प्रयोग किया जाता है।
2. अनेक उपकरणो मे पावर ऑन/ऑफ की स्थिति दर्शाने मे इनका प्रयोग किया जाता है।
3. कैलकुलेटर, डिजिटल घड़ी आदि में इनका प्रयोग किया जाता है।
4. सॉलिड स्टेट वीडियो प्रदर्शो मे इनका प्रयोग किया जाता है।
5. प्रकाशीय संचार के क्षेत्र में इनका प्रयोग किया जाता है।

Scanned with CamScanner

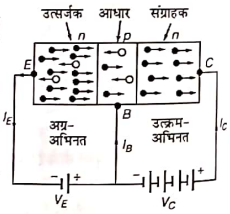
प्रश्न 32. ***n-p-n* ट्रांजिस्टर की कार्यविधि का वर्णन कीजिए। एक ट्रांजिस्टर के आधार में 20 μA विद्युत धारा प्रवाहित होती है। यदि उत्सर्जक द्वारा उत्सर्जित कुल आवेश वाहकों का केवल 98% संग्राहक में पहुँच पाता है तो उत्सर्जक धारा ज्ञात कीजिए।** (2010)

उत्तर ***n-p-n* ट्रांजिस्टर** इसमें *p*-टाइप अर्द्धचालक की एक पतली परत दो *n*-टाइप अर्द्धचालकों के छोटे-छोटे क्रिस्टलों के बीच में दबाकर रखी जाती है [चित्र 6.17 (a)]। आधार के सापेक्ष उत्सर्जक को ऋण-विभव पर तथा संग्राहक को धन-विभव पर रखा जाता है। स्पष्ट है कि उत्सर्जक-धारा (*n-p*) सन्धि अग्र-अभिनत है और आधार-संग्राहक (*p-n*) सन्धि उत्क्रम-अभिनत है। [चित्र 6.17 (b)] में ट्रांजिस्टर का प्रतीक प्रदर्शित है जिसमें बाण की दिशा वैद्युत धारा अर्थात् इलेक्ट्रॉनों की गति के विपरीत की दिशा बताती है।



चित्र 6.17

कार्यविधि चित्र में *n-p-n* ट्रांजिस्टर का उभयनिष्ठ आधार परिपथ प्रदर्शित किया गया है। इसके दोनों *n*-क्षेत्रों में चलनशील इलेक्ट्रॉन हैं, जबकि बीच के पतले *p*-क्षेत्र में +ve कोटर होते हैं। इसमें बायीं ओर के उत्सर्जक-आधार (*n-p*) सन्धि को बैटरी से अग्र-अभिनत विभव V_E अल्प मात्रा में दिया जाता है, जबकि दायीं ओर के आधार-संग्राहक (*p-n*) सन्धि को बैटरी से उत्क्रम-अभिनत विभव V_C अधिक मात्रा में दिया जाता है।



चित्र 6.18

अग्र-अभिनत होने के कारण उत्सर्जक (*n*-क्षेत्र) से इलेक्ट्रॉन आधार की ओर गति करते हैं, जबकि आधार से कोटर उत्सर्जक की ओर। आधार के पतले होने के कारण अधिकतर इलेक्ट्रॉन, जो इसमें प्रवेश करते हैं, संग्राहक *C* तक पहुँच जाते हैं। इनमें से कुछ ही इलेक्ट्रॉन आधार में उपस्थित कोटरों से संयोग करते हैं। जैसे ही कोई इलेक्ट्रॉन किसी कोटर से संयोग करता है, वैसे ही एक नया इलेक्ट्रॉन बैटरी V_E के –ve सिरे से निकलकर टर्मिनल *E* के द्वारा उत्सर्जक में प्रवेश करता है। ठीक इसी समय V_E का +ve सिरा आधार से एक इलेक्ट्रॉन प्राप्त करता है। इससे आधार में एक कोटर उत्पन्न हो जाता है तथा संयोग के कारण नष्ट हुए कोटर की क्षतिपूर्ति हो जाती है।

इस प्रकार आधार उत्सर्जक परिपथ में धारा प्रवाहित होने लगती है।

जो इलेक्ट्रॉन संग्राहक में प्रवेश कर जाते हैं, वे उत्क्रम-अभिनत के कारण टर्मिनल *C* को छोड़कर बैटरी V_C के धन सिरे में प्रवेश करता है, वैसे ही बैटरी V_E के ऋण सिरे से एक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक में प्रवेश करता है। इस प्रकार संग्राहक-उत्सर्जक परिपथ में भी धारा प्रवाहित होने लगती है। आधार टर्मिनल *B* में प्रवेश करने वाली क्षीण धारा को आधार-धारा I_B तथा संग्राहक टर्मिनल *C* में प्रवेश करने वाली धारा को संग्राहक-धारा I_C कहा जाता है। ये दोनों धाराएँ मिलकर उत्सर्जक टर्मिनल *E* से निकलती हैं जोकि उत्सर्जक-धारा I_E है।

अत: $$I_E = I_B + I_C$$

अत: *n–p–n* ट्रांजिस्टर के अन्दर तथा बाह्य परिपथ में धारा का प्रवाह इलेक्ट्रॉनों के कारण ही होता है।

प्रश्नानुसार दिया है,

बेस धारा $I_B = 20\ \mu A = 20 \times 10^{-6} A,\ \alpha = 0.98$

उत्सर्जक धारा $I_E = ?$

अब बेस ट्रांसपोर्ट फैक्टर $$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.98}{1-0.98} = 49$$

लेकिन $$\beta = \frac{I_C}{I_B} \quad \text{या} \quad 49 = \frac{I_C}{20 \times 10^{-6}}$$

या $$I_C = 49 \times 20 \times 10^{-6} = 9.8 \times 10^{-4}\ A$$

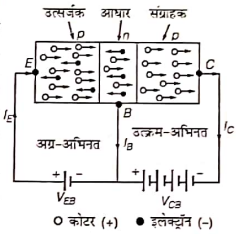
लेकिन $$\alpha = \frac{I_C}{I_E} = \frac{9.8 \times 10^{-4}}{I_E} \quad \text{या} \quad I_E = \frac{9.8 \times 10^{-4}}{0.98} = 1 \times 10^{-3}\ A$$

$$I_E = 1\ mA$$

प्रश्न 33. ***p-n-p* ट्रांजिस्टर की कार्यविधि समझाइए। एक ट्रांजिस्टर परिपथ में उत्सर्जक धारा 100 mA है। यदि 5% आवेशवाहक आधार में नष्ट हो जाते हैं तो संग्राहक की धारा की गणना कीजिए।** (2011)

***अथवा* *p-n-p* ट्रांजिस्टर की कार्यविधि समझाइए।** (2017)

उत्तर ***p-n-p* ट्रांजिस्टर की कार्यविधि** चित्र 6.19 में एक *p–n–p* ट्रांजिस्टर का उभयनिष्ठ आधार परिपथ प्रदर्शित है। उत्सर्जक-आधार (*p-n*) सन्धि अग्र-अभिनत विभव V_{EB} (1 वोल्ट से कम) पर रखते हैं और आधार-संग्राहक (*n-p*) सन्धि को कुछ अधिक उत्क्रम-अभिनत विभव V_{CB} (कुछ वोल्ट) पर रखते हैं। चूँकि उत्सर्जक (*p*-क्षेत्र) अग्र-अभिनत है; अत: इसमें उपस्थित धन 'कोटर' आधार की ओर चलते हैं और 'आधार' (*n*-क्षेत्र) में उपस्थित इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक की ओर चलते हैं। आधार के पतला होने के कारण इसमें प्रवेश करने वाले कोटरों में अधिकांश (लगभग 98%)इसे पार करके संग्राहक तक पहुँच जाते हैं, जबकि अवशेष (लगभग 2%)कोटर आधार में उपस्थित इलेक्ट्रॉनों से संयोग करते हैं। कोटर के इलेक्ट्रॉन से संयोग करते ही एक नया इलेक्ट्रॉन बैटरी V_{EB} के ऋण सिरे से निकलकर आधार में प्रवेश करता है। ठीक इसी क्षण एक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक में से टर्मिनल *E* के द्वारा निकलकर V_{CB} के धन सिरे पर पहुँचता है। इससे उत्सर्जक *E* में एक कोटर उत्पन्न हो जाता है जो आधार की ओर चलना प्रारम्भ कर देता है। स्पष्ट है कि आधार-उत्सर्जक परिपथ में एक क्षीण-धारा बहने लगती है।



चित्र 6.19

संग्राहक (उत्क्रम-अभिनत है तथा कोटरों के चलने में सहायक है) में प्रवेश कर जाने वाले कोटर *C* टर्मिनल तक पहुँच जाते हैं। किसी कोटर के *C* पर पहुँचते ही, बैटरी V_{EB} के ऋण सिरे से एक इलेक्ट्रॉन आकर इसे उदासीन कर देता है। पुन: ठीक इसी क्षण एक इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक में से टर्मिनल *E* के द्वारा निकलकर बैटरी V_{CB} के धन सिरे पर पहुँचता है। इससे उत्सर्जक में एक कोटर उत्पन्न हो जाता है जो आधार की ओर चलना प्रारम्भ कर देता है। स्पष्ट है कि संग्राहक-उत्सर्जक परिपथ में वैद्युत धारा बहती है। अत: *p-n-p* ट्रांजिस्टर के भीतर धारा-प्रवाह कोटरों के उत्सर्जक से संग्राहक की ओर चलने के कारण होता है और बाह्य परिपथ में इलेक्ट्रॉनों के चलने के कारण होता है। टर्मिनल *B* से चलने वाली धारा को **'आधार धारा'** I_B तथा टर्मिनल *C* से बाहर जाने वाली धारा को **'संग्राहक धारा'** I_C कहते हैं। I_B तथा I_C मिलकर टर्मिनल *E* में प्रवेश करती है; अत: इसे **'उत्सर्जक धारा'** I_E कहते हैं। स्पष्ट है कि

$$I_E = I_B + I_C$$

अत: *p–n–p* ट्रांजिस्टर के अन्दर धारा-प्रवाह कोटरों के उत्सर्जक से संग्राहक की ओर चलने के कारण होता है।

आधार के बहुत पतला होने के कारण इसमें संयुक्त होने वाले कोटर-इलेक्ट्रॉनों की संख्या बहुत कम होती है। इस कारण लगभग सभी कोटर जो उत्सर्जक से आधार में प्रवेश करते हैं, संग्राहक तक पहुँच जाते हैं। अत: I_C (संग्राहक-धारा), I_E (उत्सर्जक-धारा) से कुछ ही कम होती है।

आधार को पतला लिये जाने का कारण है कि कोटर तथा इलेक्ट्रॉन इसमें कम-से-कम संयोग कर सकें।

प्रश्नानुसार, दिया है, $I_B = 10\ mA = 10 \times 10^{-3}\ A = 10^{-2}\ A$

$\alpha = 100\% - 5\% = 95\%$ या $\alpha = 0.95$

Scanned with CamScanner

अब सूत्र से, $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha}$

$\beta = \frac{0.95}{1-0.95} = 19$

लेकिन सूत्र से, $\beta = \frac{I_C}{I_B}$

जहाँ पर I_C = संग्राहक धारा तथा I_B = आधार धारा है।

या $I_C = I_B \times \beta = 10^{-2} \times 19\ \text{A} = 19 \times 10^{-2}\ \text{A}$

संग्राहक धारा, $I_C = \mathbf{0.19\ A}$

प्रश्न 34. ट्रांजिस्टर 2% आवेश वाहक इलेक्ट्रॉन होल संयोजन द्वारा आधार में नष्ट हो जाता है। यदि धारा 1mA हो तो उत्सर्जक धारा ज्ञात कीजिए। (2017)

हल दिया है,

संग्राहक धारा $I_C = 1\ \text{mA} = 1 \times 10^{-3} = 10^{-3}\ \text{A}$

$\alpha = (100-2)\% = 98\%$

सूत्र द्वारा, $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0.98}{1-0.98} = 49$

$\therefore \quad \beta = \frac{I_C}{I_B}$

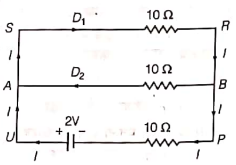
तो, $I_B = \frac{I_C}{I_B} = \frac{10^{-3}}{49} = 0.02 \times 10^{-3} A$

उत्सर्जक धारा, $I_E = I_C + I_B = 10^{-3} + 0.02 \times 10^{-3} = \mathbf{1.02 \times 10^{-3}\ A}$

प्रश्न 35. *p-n* सन्धि पर विभव प्राचीर किस प्रकार बनता है? चित्र में दर्शाये गये
(i) सेल से ली गई धारा और (2012)
(ii) डायोड D_2 के विभवान्तर की गणना कीजिए।

अथवा ***p-n* सन्धि पर प्राचीर विभव के निर्माण की व्याख्या कीजिए।** (2017)

उत्तर ***p-n* सन्धि पर विभव प्राचीर बनना** जब *p-n* सन्धि बनाई जाती है, तो सन्धि के दोनों ओर एक सूक्ष्म चौड़ाई की अवक्षय परत बन जाती है जिसमें कोई भी चलनशील आवेश वाहक (होल तथा इलेक्ट्रॉन) नहीं होते; क्योंकि उनके परस्पर संयोग से वे समाप्त हो जाते हैं। इस क्षेत्र के *p* भाग में अशुद्धि के ऋण आयन तथा *n* भाग में अशुद्धि के धन आयन होते हैं। इस प्रकार अवक्षय परत के चारों ओर एक विभवान्तर कार्य करने लगता है जिसके कारण परत के चारों ओर एक विद्युत क्षेत्र *n* से *p* भाग की ओर स्थापित हो जाता है। *p-n* सन्धि के चारों ओर कार्य करने वाले विभवान्तर को आन्तरिक विभव रोधिका या विभव प्राचीर तथा इस विभवान्तर के कारण स्थापित विद्युत क्षेत्र को बैरियर कहा जाता है। इसको बैरियर इसलिए कहते हैं; क्योंकि इस विभव या क्षेत्र के कारण ही सन्धि के चारों ओर होल व इलेक्ट्रॉन का विसरण रुक जाता है जिससे हॉल व इलेक्ट्रॉन सन्धि को पार करने से रुक जाते हैं।



चित्र 6.20

चित्र 6.20 के अनुसार (i) माना बन्द परिपथ *SUPR* में धारा *I* प्रवाहित होती है जो Clockwise दिशा में प्रवाहित होती है। डायोड D_2 में *A* से *B* की तरफ *I* धारा नहीं जा सकती क्योंकि D_2 उल्टा लगा है, तब *SR* में 10 Ω तथा *PU* में 10 Ω प्रतिरोध श्रेणी क्रम में जुड़े हैं; अत: कुल प्रतिरोध

$R = 10 + 10 = 20\ \Omega$

$V = IR$ से, $I = \frac{V}{R} = \frac{2}{20} = 0.1$ ऐम्पियर

$I = \mathbf{0.1}$ ऐम्पियर

(ii) डायोड D_2 में कोई भी विभवान्तर उत्पन्न नहीं होगा; क्योंकि D_2 की उल्टी स्थिति होने के कारण उसमें धारा प्रवाहित ही नहीं होगी, क्योंकि डायोड सिर्फ एक ही दिशा में धारा प्रवाहित करता है।

D_2 में विभवान्तर = **0 V**

प्रश्न 36. उभयनिष्ठ उत्सर्जक विन्यास में जोड़े गये ट्रांजिस्टर के संग्राहक में विभव पतन 2 वोल्ट है तथा $\beta = 50$ है। आधार धारा ज्ञात कीजिए, जबकि संग्राहक परिपथ में लगा प्रतिरोध $R_C = 2\ \text{k}\Omega$.

हल यहाँ $V_{CE} = 2$ वोल्ट, $\beta = 50$, $R_C = 2\ \text{k}\Omega = 2 \times 10^3\ \Omega$

$\therefore$ संग्राहक धारा $I_C = \frac{V_{CE}}{R_C} = \frac{2 \text{ वोल्ट}}{2 \times 10^3 \text{ ऐम्पियर}} = 10^{-3}\ \text{A} = 1\ \text{mA}$

$\because \ \beta = \frac{I_C}{I_B} \ \Rightarrow$ आधार धारा $I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10^{-3}}{50}\ \text{A} = 20 \times 10^{-6}\text{A} = \mathbf{20\ \mu A}$

प्रश्न 37. एक *n-p-n* ट्रांजिस्टर में 10^{-6} सेकण्ड में 10^{10} इलेक्ट्रॉन उत्सर्जक में प्रवेश करते हैं। 2% इलेक्ट्रॉन आधार में क्षय हो जाते हैं। उत्सर्जक धारा (I_E), आधार धारा (I_B) तथा संग्राहक धारा (I_C) के मान ज्ञात कीजिए।

हल यहाँ $t = 10^{-6}$ सेकण्ड में उत्सर्जक में प्रवेश करने वाले इलेक्ट्रॉनों की संख्या $n = 10^{10}$ तथा इलेक्ट्रॉन पर आवेश $e = 1.6 \times 10^{-19}$ कूलॉम

$\therefore$ उत्सर्जक धारा $I_E = \frac{ne}{t} = \left(\frac{10^{10} \times 1.6 \times 10^{-19}}{10^{-6}}\right)$ ऐम्पियर

$= 1.6 \times 10^{-3}$ ऐम्पियर $= 1.6$ मिली ऐम्पियर

यहाँ उतने ही समय में आधार में क्षय इलेक्ट्रॉनों की संख्या $n' = n$ का $2\% = 10^{10} \times \frac{2}{100} = 2 \times 10^8$

$\therefore$ आधार धारा $I_B = \frac{n'e}{t} = \frac{(2 \times 10^8)(1.6 \times 10^{-19})}{10^{-6}}$ ऐम्पियर

$= 0.032 \times 10^{-3}$ ऐम्पियर $= 0.032$ मिली ऐम्पियर

उत्सर्जक धारा $I_E = I_B + I_C$

$\therefore$ संग्राहक धारा $I_C = I_E - I_B = 1.6$ मिली ऐम्पियर $- 0.032$ मिली ऐम्पियर

$= \mathbf{1.568}$ मिली ऐम्पियर

प्रश्न 38. *p*-type और *n*-type अर्द्धचालक में भेद कीजिए। दर्शाए गए परिपथ में 6 Ω प्रतिरोधी के सिरों पर विभवान्तर ज्ञात कीजिए। मान लीजिए कि डायोड का अग्र नति प्रतिरोध 4 Ω तथा पश्च नति प्रतिरोध अनन्त है। (2013)

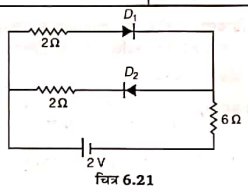
अथवा ***p* और *n* अर्द्धचालकों में अन्तर समझाइए।** (2017)

उत्तर **p-type और n-type अर्द्धचालक में अन्तर**

क्र०सं०	p-type अर्द्धचालक	n-type अर्द्धचालक
1.	यह जर्मेनियम क्रिस्टल में संयोजकता 3 वाले अपद्रव्य परमाणु को मिश्रित करने से बनता है।	यह जर्मेनियम क्रिस्टल में संयोजकता 5 वाले अपद्रव्य परमाणु को मिश्रित करने से बनता है।

Scanned with CamScanner

2.	इसमें धनात्मक आवेश की अधिकता होती है।	इसमें ऋणात्मक आवेश की अधिकता होती है।
3.	इसके आवेशवाहक कोटर (hole) होते हैं।	इसमें आवेशवाहक इलेक्ट्रॉन होते हैं।
4.	इसमें अपद्रव्य परमाणुओं को ग्राही परमाणु कहते हैं।	इसमें अपद्रव्य परमाणुओं को दाता परमाणु कहते हैं।
5.	*p*-type अर्द्धचालकों में कोटरों की गतिशीलता, *n*-टाइप अर्द्धचालकों मे इलेक्ट्रॉनों की गतिशीलता की तुलना में कम होती है।	*n*-टाइप अर्द्धचालकों में इलेक्ट्रॉनों की गतिशीलता *p*-टाइप अर्द्धचालकों में कोटरों की तुलना में अधिक होती है।



चित्र 6.21

चित्रानुसार केवल D_1 ही अग्र अभिनति दिशा में धारा प्रवाहित करता है।

इसलिए परिपथ में धारा, $I = \frac{2}{(2+6+4)} = \frac{1}{12} = \frac{1}{6}$ ऐम्पियर

$\therefore$ 6Ω प्रतिरोध के चारों ओर वोल्टता $V = RI$ से, $V = 6 \times \frac{1}{6} =$ **1.0 वोल्ट**

प्रश्न 39. *p-n* संधि पर अवक्षय परत के निर्माण की व्याख्या कीजिए। (2017)

उत्तर *P-N* संधि डायोड में 'इलेक्ट्रॉन' बहुसंख्यक आवेश वाहक होते हैं। इसलिए जब *P-N* संधि का निर्माण होता है तब *P*-साइड से होल का *N*-साइड की ओर विसरण होने लगता है। इसी प्रकार *N*-साइड से *P*-साइड की ओर इलेक्ट्रॉन का विसरण होने लगता है। संधि के समीप इलेक्ट्रॉन व होल एक-दूसरे को उदासीन करने लगते हैं। इस प्रकार बहुसंख्यक आवेश वाहकों के विसरण के फलस्वरूप विसरण धारा बहने लगती है।

जब होल *P-N* साइड की ओर विसरित होते हैं तो वे अपने पीछे स्थिर ऋणावेशित ग्राही परमाणु छोड़ते हैं। इस प्रकार जब इलेक्ट्रॉन $N \rightarrow P$ साइड की ओर विसरित होते हैं तो वे अपने स्थिर धनावेशित दाता परमाणु छोड़ते हैं। इसलिए विसरण के कारण संधि के समीप *N*-साइड में धनावेशित क्षेत्र तथा *P*-साइड मे ऋणावेशित क्षेत्र बन जाता है। इस क्षेत्र मे गतिशील इलेक्ट्रॉन तथा होल का अभाव हो जाता है। इसीलिए, क्षेत्र को अवक्षय क्षेत्र कहते हैं तथा अवकक्ष क्षेत्र की मोटाई को 'अवक्षय परत' कहते हैं।

प्रश्न 40. समझाइए कि ट्रांजिस्टर एक धारा संचालित युक्ति है, जबकि ट्रायोड वाल्व वोल्टता संचालित युक्ति है।

उत्तर ट्रायोड में कैथोड से उत्सर्जित इलेक्ट्रॉन, ग्रिड में से होकर संग्राहक प्लेट (ऐनोड) पर पहुँचते हैं। ट्रांजिस्टर में उत्सर्जक से प्राप्त इलेक्ट्रॉन (अथवा कोटर) आधार में से होकर संग्राहक पर पहुँचते हैं। परन्तु इन दोनों युक्तियों में प्रयुक्त भौतिक प्रक्रियाएँ भिन्न-भिन्न हैं। ट्रायोड में धारा का नियन्त्रण ग्रिड तथा कैथोड के बीच के वैद्युत-क्षेत्र से होता है। अत: धारा ग्रिड-वोल्टता (कैथोड के सापेक्ष) पर निर्भर करती है तथा काफी बड़े परिसर में धारा मे परिवर्तन ग्रिड-वोल्टता में परिवर्तन के लगभग अनुक्रमानुपाती होता है। अत: ट्रायोड 'वोल्टता-संचालित' युक्ति है।

इसके विपरीत, ट्रांजिस्टर में संग्राहक-धारा आधार-धारा से नियन्त्रित होती है जो उत्सर्जक-धारा से प्राप्त की जाती है। संग्राहक-धारा में परिवर्तन आधार-धारा में परिवर्तन के अनुक्रमानुपाती होता है (न कि आधार-विभव में परिवर्तन के)। अत: ट्रांजिस्टर 'धारा-संचालित' युक्ति है।

प्रश्न 41. उत्क्रम अभिनत *p-n* सन्धि डायोड में ऐवेलांश भंजन का क्या अर्थ है?

उत्तर **ऐवेलांश भंजन** उत्क्रम अभिनति वोल्टेज के बहुत अधिक हो जाने पर, अल्पसंख्यक वाहक काफी अधिक गतिज ऊर्जा अर्जित कर लेते हैं जिससे कि सन्धि के समीप सह-संयोजक बन्ध टूट जाते हैं तथा इलेक्ट्रॉन- कोटर युग्म मुक्त हो जाते हैं। ये आवेश वाहक भी त्वरित होकर उसी प्रकार से अन्य इलेक्ट्रॉन-कोटर युग्मों को मुक्त करते हैं। यह प्रक्रिया संचयी होती है तथा इलेक्ट्रॉन-कोटर युग्म बहुत बड़ी संख्या में मुक्त हो जाते हैं। तब उत्क्रम धारा का मान एकाएक बहुत बढ़ जाता है। इस स्थिति को 'ऐवेलांश भंजन' कहते हैं तथा इसमे धारा के कारण उत्पन्न ऊष्मा से सन्धि के क्षतिग्रस्त होने की आशंका रहती है। वह उत्क्रम वोल्टेज जिस पर उत्क्रम धारा एकाएक बढ़ जाती है, **'भंजक वोल्टता'** कहलाता है।

प्रश्न 42. प्रतिरोधता को परिभाषित कीजिए और इसका S.I मात्रक लिखिए। प्रतिरोधकता पर ताप का, 'चालकों' और 'अर्द्धचालकों' पर क्या प्रभाव होता है? (2019)

उत्तर **विशिष्ट प्रतिरोध** Specific Resistance जब किसी चालक में धारा बहती है, तो चालक के भीतर किसी बिन्दु पर वैद्युत क्षेत्र की तीव्रता E तथा धारा-घनत्व j के अनुपात को चालक का 'विशिष्ट प्रतिरोध' अथवा 'प्रतिरोधकता' कहते हैं तथा इसे ρ से प्रदर्शित करते हैं। इस प्रकार

$$\rho = E / j$$

विशिष्ट प्रतिरोधक चालक के 'पदार्थ' का लाक्षणिक गुण है।

माना किसी चालक-तार की लम्बाई l तथा अनुप्रस्थ-परिच्छेद का क्षेत्रफल A है। माना कि इसके सिरों के बीच विभवान्तर V लगाने पर इसमें स्थायी धारा i बहती है। माना कि तार के सभी बिन्दुओं पर वैद्युत क्षेत्र की तीव्रता E तथा धारा-घनत्व j नियत है। तार के भीतर किसी बिन्दु पर वैद्युत-क्षेत्र

$$E = V / l$$

तथा धारा-घनत्व $j = i / A$

अत: तार के पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध $\rho = \frac{E}{j} = \frac{V/l}{i/A} = \frac{V}{i}\frac{A}{l}$,

परन्तु V/i, चालक का प्रतिरोध R है।

$\therefore$ $\rho = R\frac{A}{l}$.

यदि $l = 1$ मीटर, $A = 1$ मीटर^2 ,

तब $\rho = \frac{(R \text{ ओम})(1 \text{ मीटर}^2)}{1 \text{ मीटर}} = R$ ओम-मीटर।

अत: किसी पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध उस पदार्थ के 1 मीटर लम्बे तथा 1 मीटर^2 अनुप्रस्थ-परिच्छेद के क्षेत्रफल वाले तार के प्रतिरोध के बराबर होता है, तथा ओम-मीटर में व्यक्त किया जाता है।

चालकों पर प्रभाव किसी धात्विक चालक का ताप बढ़ाने पर उसका वैद्युत प्रतिरोध R , अर्थात् उसकी प्रतिरोधकता ρ [चूँकि $\rho = R(l/A)$] बढ़ जाती है। इसकी गुणात्मक व्याख्या निम्न प्रकार की जा सकती है

धात्विक चालक के प्राचालों (parameters) के पदो मे चालक का वैद्युत प्रतिरोध R निम्नांकित सूत्र से व्यक्त किया जाता है

$$R = \frac{m}{ne^2\tau}\left(\frac{l}{A}\right)$$ (जहाँ प्रतीकों के सामान्य अर्थ है)

किसी दिए गए चालक के लिए l, A तथा n का मान स्थिर रहता है, तथा इलेक्ट्रॉन का द्रव्यमान m तथा आवेश e भी नियत राशियाँ हैं।

अत: $$R \propto (1/\tau) \quad \ldots(i)$$

Scanned with CamScanner

परन्तु मुक्त इलेक्ट्रॉनों का श्रांतिकाल τ (धनायनों से दो क्रमागत टक्करों के बीच का औसत समय अन्तराल) मुक्त इलेक्ट्रॉन के माध्य मुक्त पथ λ (दो क्रमागत टक्करों के बीच तय की गई दूरी) तथा इसकी वर्ग-माध्य-मूल चाल v_{rms} से निम्न प्रकार सम्बंधित होता है

$$\tau = \frac{\lambda}{v_{rms}} \quad ...(ii)$$

अत: समी० (i) व समी० (ii) से, $R \propto \frac{v_{rms}}{\lambda}$

चालक का ताप बढ़ाने से धातु के धनायनों के कम्पन आयाम में वृद्धि हो जाती है तथा वे इलेक्ट्रॉनों की गति में अधिक बाधा डालते हैं। इसके फलस्वरूप औसत मुक्त पथ घटता है, तथा वर्ग-माध्य-मूल-वेग में वृद्धि होती है($\because v_{rms} \propto \sqrt{T}$)।

किसी चालक का वैद्युत प्रतिरोध ताप के साथ निम्न सूत्र के अनुसार परिवर्तित होता है

$$R_t = R_0(1+\alpha t) \quad ...(iii)$$

जहाँ $R_0 = 0\,°C$ पर चालक का प्रतिरोध, $R_t = t\,°C$ पर चालक का प्रतिरोध, α = प्रतिरोध ताप गुणांक; जिसका मान चालक की धातु पर निर्भर करता है। भिन्न-भिन्न धातुओं के लिए इसका मान भिन्न-भिन्न होता है।

सूत्र (3) से $\alpha = \frac{R_t - R_0}{R_0 \times t}$ प्रति °C

यदि $R_0 = 1$ ओम, $t = 1\,°C$ हो तो $\alpha = (R_t - R_0)$ = प्रतिरोध में वृद्धि

अत: यदि किसी चालक का 0 °C पर प्रतिरोध 1 ओम हो, तो उसका ताप 1 °C बढ़ाने पर उसके प्रतिरोध में होने वाली वृद्धि चालक के पदार्थ के 'प्रतिरोध ताप गुणांक' के बराबर होगी। गणना के आधार पर यह पाया गया है, कि अधिकांश धातुओं के लिए α का मान $\frac{1}{273}$ प्रति °C आता है।

अत: समी० (iii) में α का यह मान रखने पर

$$R_t = R_0\left(1+\frac{t}{273}\right) = R_0\left(\frac{273+t}{273}\right) = R_0\left(\frac{T}{273}\right)$$

जहाँ T चालक का परमताप है। क्योंकि दिए गए तार के लिए R_0 का मान निश्चित रहेगा, अत: $R_t \propto T$.

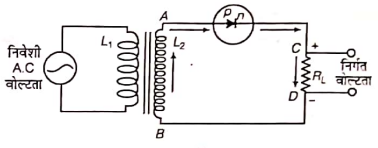
स्पष्ट है, कि किसी शुद्ध धातु के तार का प्रतिरोध अथवा धातु की प्रतिरोधकता इसके परमताप के लगभग अनुक्रमानुपाती होती है।

अर्द्धचालकों पर प्रभाव कुछ पदार्थ ऐसे हैं, जिनकी वैद्युत चालकता अचालकों की अपेक्षा बहुत अधिक, परन्तु चालकों की अपेक्षा बहुत कम होती है। इन्हें अर्द्धचालक कहते हैं जैसे—सिलिकॉन, जर्मेनियम, सेलीनियम, कार्बन आदि। इन पदार्थों की विशेषता यह है, कि इनका ताप बढ़ाने पर इनकी प्रतिरोधकता घटती है, अर्थात् इनका प्रतिरोध ताप-गुणांक ऋणात्मक होता है। इसका कारण यह है, कि इन पदार्थों में सामान्यत: n (एकांक आयतन में मुक्त इलेक्ट्रोनों की संख्या) का मान धातुओं की तुलना में बहुत कम होता है, परन्तु ताप बढ़ने पर मुक्त इलेक्ट्रोनों की संख्या अर्थात् n का मान बढ़ता जाता है। अत: प्रतिरोध $R[=ml/ne^2\,\tau A]$ का मान घट जाता है। इन पदार्थों में भी ताप बढ़ने पर श्रांतिकाल का मान घटता है, परन्तु n के मान में वृद्धि τ की कमी की तुलना में अधिक होती है। अत: ताप बढ़ने का नैट प्रभाव यह होता है कि इनका प्रतिरोध घट जाता है अर्थात् चालकता बढ़ जाती है। इस प्रकार, अर्द्ध-चालकों की चालकता पर ताप का प्रभाव, चालकों के विपरीत होता है।

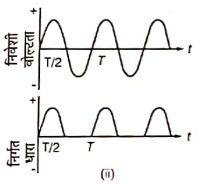
प्रश्न 43. p-n संधि-डायोड की अर्ध तंरग दिष्टकारी की भाँति क्रियाविधि का वर्णन कीजिए। (2019)

उत्तर **$p-n$ संधि डायोड एक अर्द्ध तरंग दिष्टकारी के रूप में** $p-n$ संधि डायोड का अर्द्ध तरंग दिष्टकारी परिपथ चित्र 6.22 (i) में तथा निवेशी (Input) एवं निर्गत (Output) तरंग रूपों में चित्र 6.22 (ii) में प्रदर्शित किया गया है।

इसमें जिस प्रत्यावर्ती वोल्टता को दिष्टीकृत करना होता है, उसे एक ट्रांसफॉर्मर की प्राथमिक कुण्डली के सिरों के बीच जोड़ देते हैं। ट्रांसफॉर्मर की द्वितीयक कुण्डली का एक सिरा सन्धि डायोड के p- प्रकार के क्रिस्टल अर्थात् p - क्षेत्र से तथा दूसरा सिरा लोड प्रतिरोध R_L के द्वारा सन्धि डायोड के n- प्रकार के क्रिस्टल अर्थात् n-क्षेत्र से जोड़ दिया जाता है। दिष्ट निर्गत वोल्टता लोड R_L के सिरों के बीच प्राप्त किया जाता है।



(i)



(ii)

चित्र 6.22

कार्यविधि Working जब निवेशी A.C वोल्टता के आधे चक्र में ट्रांसफॉर्मर की द्वितीयक कुण्डली का A सिरा B सिरे के सापेक्ष धनात्मक होता है, तो सन्धि डायोड अग्र अभिनत (forward biased) होता है। इसके परिणामस्वरूप लोड प्रतिरोध R_L में प्राप्त निर्गत वोल्टता में केवल धन भाग ही प्राप्त होता है। इस स्थिति मे लोड प्रतिरोध मे धारा C से D की ओर प्रवाहित होती है। निवेशी A.C वोल्टता के अगले आधे चक्र मे ट्रांसफॉर्मर की द्वितीयक कुण्डली का A सिरा B सिरे के सापेक्ष ऋणात्मक होता है, तो सन्धि डायोड उत्क्रम अभिनत (reverse biased) हो जाता है। इस दशा मे प्रतिरोध R_L में धारा शून्य रहती है। इस प्रकार मुख्यत: धारा निवेशी वोल्टता के पहले आधे चक्र मे प्रवाहित होती है तथा शेष आधे चक्र कट जाते हैं। इस प्रकार उच्चावचित (fluctuating) दिष्ट धारा-लोड प्रतिरोध के आर-पार (across) प्राप्त होती रहती है। चित्र 6.22 (ii) के निचले भाग मे धारा का तरंग रूप दर्शाया गया है। जिसमे थोड़ी-थोड़ी दूर पर (अर्थात् थोड़ी-थोड़ी देर मे) धारा के एकदिशीय स्पन्द (pulses) दिखाई देते है। इस प्रकार सन्धि डायोड एक अर्द्ध तरंग दिष्टकारी की भाँति कार्य करता है।

Scanned with CamScanner

7 आधुनिक भौतिकी
Modern Physics

खण्ड 'अ' : अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. प्रकाश का अपवर्तन किसे कहते है?

उत्तर प्रकाश का अपवर्तन एक ऐसी घटना है, जिसमें प्रकाश किरण का पथ एक माध्यम से दूसरे माध्यम मे जाने से बदल जाता है।

प्रश्न 2. अपवर्तन का क्या कारण है?

उत्तर प्रकाश के अपवर्तन का मुख्य कारण है कि प्रकाश का वेग अलग-अलग माध्यमो मे भिन्न-भिन्न होता है व

किसी माध्यम का अपवर्तनांक $n = \frac{\text{वायु मे प्रकाश की चाल } (c)}{\text{उस माध्यम में प्रकाश की चाल } (v)}$

प्रश्न 3. क्रान्तिक कोण की परिभाषा दीजिए।

उत्तर "सघन माध्यम में वह आयतन कोण जिसके लिए विरल माध्यम में अपवर्तन कोण का मान 90° हो, क्रान्तिक कोण कहलाता है।" इसे C से प्रदर्शित करते हैं।

प्रश्न 4. ऑप्टिकल फाइबर किसे कहते है? इसके प्रमुख भागों के नाम बताइए?

उत्तर "ऑप्टिकल फाइबर एक ऐसा केवल होता है जिसके द्वारा सिगनल एक स्थान से दूसरे स्थान तक बिना किसी ऊर्जा क्षय के भेजा जा सकता है।"

इसके प्रमुख भाग है—(i) कोर, (ii) क्लैडिंग तथा (iii) प्लास्टिक जैकेट।

प्रश्न 5. फाइबर ऑप्टिकल किस सिद्धान्त पर आधारित है?

उत्तर सूचनाओं को दूर तक भेजने के लिए उपयोग में लाए जाने वाले ऑप्टिकल फाइबर पूर्ण आन्तरिक परिवर्तन के सिद्धान्त पर आधारित है।

प्रश्न 6. एक्सेप्टैन्स कोण किसे कहते है?

उत्तर "फाइबर ऑप्टिकल के एक सिरे पर आपतित प्रकाश किरण को एक्सेप्टैन्स कोण पर चारों ओर घुमाने से प्राप्त कोण (cone) को ही एक्सेप्टैन्स कोण (acceptance cone) कहते हैं।" ऑप्टिकल फाइबर में प्रकाश तरंगों के पूर्ण आन्तरिक परावर्तन द्वारा संचरित होने के लिए आवश्यक है कि प्रकाश तरंगे, एक्सेप्टैन्स कोण में ही फाइबर पर आपतित हो।

प्रश्न 7. स्टेप इण्डेक्स सिंगल मोड फाइबर व स्टेप इण्डेक्स मल्टीमोड फाइबर में प्रमुख अन्तर लिखिए।

उत्तर **स्टेप इण्डेक्स सिंगल मोड फाइबर तथा मल्टीमोड फाइबर में अन्तर**

क्र०सं०	स्टेप इण्डेक्स सिंगल मोड फाइबर	स्टेप इण्डेक्स मल्टीमोड फाइबर
1.	इसमें कोर का व्यास 1 से 10 μm होता है।	इसमें कोर का व्यास 50 से 60 μm होता है।
2.	सिंगल मोड फाइबर में प्रकाश संचरण का एक ही मोड (mode) सम्भव है।	इसमें प्रकाश संचरण के कई मोड (mode) सम्भव हैं।
3.	सिंगल मोड फाइबर निर्माण में जटिल व महँगे होते हैं। अत: इनका उपयोग कम किया जाता है।	ये बनाने मे सरल हैं व इन पर व्यय कम होता है। अत: इनका प्रयोग काफी अधिक होता है।

प्रश्न 8. लेसर विकिरण किन पदार्थों से प्राप्त किया जा सकता है?

उत्तर लेजर विकिरण उन्हीं पदार्थों से प्राप्त किया जा सकता है जिनमें मेटास्टेबल अवस्था होती है।

प्रश्न 9. सामान्य व लेसर प्रकाश में अन्तर लिखिए।

उत्तर **सामान्य व लेसर प्रकाश में अन्तर**

क्र०सं०	सामान्य प्रकाश	लेसर प्रकाश
1.	यह मन्द होता है।	यह तीव्र होता है।
2.	यह बहुवर्णीय होता है।	यह एकवर्णीय होता है।
3.	यह कला सम्बद्ध नहीं होता है।	यह कला सम्बद्ध होता है।
4.	इसका प्रयोग धातु की मोटी चादर को काटने में नहीं होता है।	इसका प्रयोग धातु की मोटी चादर को काटने में होता है।

प्रश्न 10. पम्पिंग क्यों आवश्यक है?

उत्तर लेसर कार्यविधि के लिए यह अत्यन्त आवश्यक होता है जिससे कि अधिकतर इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तर में रहें और उचित आवृत्ति के फोटॉन डालकर इलेक्ट्रॉनों को प्रेरित कर वापस निम्न ऊर्जा स्तर में लाया जा सके। अत: इस उद्देश्य की प्राप्ति के लिए पम्पिंग की आवश्यकता होती है।

प्रश्न 11. उद्दीप्त उत्सर्जन क्या है?

उत्तर कोई परमाणु यदि उत्तेजित अवस्था में है तथा वह एक निश्चित आवृत्ति का फोटॉन उत्सर्जित करके निम्न ऊर्जा अवस्था में आ सकता है तो यदि उत्तेजित अवस्था में परमाणु पर उसी आवृत्ति का फोटॉन डाला जाए जिस आवृत्ति का फोटॉन उससे उत्सर्जित होने वाला है तब परमाणु निम्न ऊर्जा अवस्था में स्वत: उत्सर्जन की तुलना में कम समय में आ जाएगा तथा उसी आवृत्ति में दो फोटॉन का उत्सर्जन करके अपने ऊपर गिरने वाले प्रकाश के उत्सर्जन को उद्दीप्त कर देगा। इस प्रकार के उत्सर्जन को 'उद्दीप्त उत्सर्जन' कहते हैं।

प्रश्न 12. आयनित अवस्था किसे कहते है?

उत्तर किसी परमाणु को जब इतनी ऊर्जा दे दी जाए कि उसका कोई इलेक्ट्रॉन परमाणु को छोड़कर बाहर निकल जाए तो परमाणु की वह अवस्था आयनित अवस्था कहलाती है।

प्रश्न 13. लेसर व मेसर में मुख्य अन्तर क्या है?

उत्तर लेसर में विकिरण के उद्दीप्त उत्सर्जन द्वारा प्रकाश तरंगों का प्रवर्द्धन किया जाता है परन्तु मेसर में विकिरण के उद्दीप्त उत्सर्जन द्वारा माइक्रो तरंगों का प्रवर्द्धन किया जाता है।

प्रश्न 14. रूबी लेसर किस प्रकार का लेसर है व यह किस सिद्धान्त पर कार्य करता है?

उत्तर रूबी लेसर सोलिड स्टेट लेसर है। इसमें प्रयुक्त रूबी क्रिस्टल की छड़ सॉलिड (ठोस) होती है।

सिद्धान्त रूबी लेसर, उद्दीप्त उत्सर्जन पर आधारित युक्ति है जिससे तीव्र, संकीर्ण, एकवर्णीय प्रकाश पुँज प्राप्त होता है।

प्रश्न 15. लेसर किसे कहते है?

उत्तर लेजर LASER 'Light Amplification by Stimulate Emission of Radiation' का संक्षिप्त रूप है। यह एक ऐसी युक्ति है जो उद्दीप्ति उत्जर्सन पर आधारित होती है तथा इसके द्वारा प्रकाश को प्रवर्द्धित कर तीव्र, एकवर्णीय व कलासम्बद्ध प्रकाश पुँज प्राप्त किया जाता है।

प्रश्न 16. स्वत: उत्सर्जन किसे कहते है?

उत्तर किसी परमाणु के इलेक्ट्रॉन ऊर्जा ग्रहण करके निम्न ऊर्जा स्तर से उच्च ऊर्जा स्तर में चले जाते हैं तथा वहाँ 10^{-8} सेकण्ड तक रुककर स्वत: ही वापस ऊर्जा का उत्सर्जन करते हुए निम्न ऊर्जा स्तर में आ जाते हैं। इस प्रक्रिया को स्वत: उत्सर्जन कहते हैं।

प्रश्न 17. फ्रैंक व हर्ट्ज के प्रयोग से किस तथ्य की पुष्टि होती है?

उत्तर इस तथ्य की प्रत्येक परमाणु में विविक्त ऊर्जा स्तर (discrete energy levels) होते हैं।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 18. मेसर का क्या तात्पर्य है? (2017)

उत्तर मेसर (MASER) का अंग्रेजी वाक्य "Microwave Amplification by stimulated Emission of Radiation" का संक्षिप्त नाम है। इसका अर्थ है विकिरण के उद्दीपित उत्सर्जन द्वारा माइक्रोतरंगों का प्रवर्धन। मेसर का सिद्धान्त वही है जो लेसर का है केवल अन्तर यह है कि लेसर में दृश्य प्रकाश तरंगों का अति तीव्र किरण पुंज होता है, जबकि मेसर में अदृश्य माइक्रोतरंगो का अति तीव्र किरण पुंज होता है। इसलिए मेजर को प्रकाशिक मेसर (optical maser) भी कहते हैं। पहला मेसर सन् 1954 में गोर्डन तथा टाउन ने बनाया।

प्रश्न 19. यदि किसी ऑप्टिकल फाइबर के कोर तथा क्लैडिंग के अपवर्तनांक क्रमशः 1.52 तथा 1.48 हों तो इसके न्यूमेरिकल अपरचर का मान ज्ञात कीजिए।

हल NA (न्यूमेरिकल अपरचर) $= \sin\theta_0 = \sin\sqrt{n_1^2 - n_2^2}$

$= \sin\sqrt{(1.52)^2 - (1.48)^2} = \mathbf{0.3464}$

प्रश्न 20. ग्राह्य कोण किसे कहते हैं? इसका सूत्र लिखिए।

उत्तर ग्राह्य कोण वह अधिकतम बाह्य आपतित कोण है जिस पर प्रकाश की किरण सम्पूर्ण ऑप्टिकल फाइबर में संचरित हो सके। इसे θ_0 से व्यक्त करते हैं।

$$\theta_0 = \sin^{-1}\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$$

जहाँ n_1 = कोर का अपवर्तनांक, n_2 = क्लैडिंग का अपवर्तनांक तथा n_0 = वायु का अपवर्तनांक (= 1)

प्रश्न 21. ग्राह्य शंकु (cone) किसे कहते हैं?

उत्तर "फाइबर ऑप्टिक्स के एक सिरे पर आपतित प्रकाश किरण को ग्राह्य कोण पर चारों ओर घुमाने से प्राप्त शंकु (cone) को ही ग्राह्य शंकु (acceptance cone) कहते हैं।" ऑप्टिकल फाइबर में प्रकाश तरंगो के पूर्ण आन्तरिक परावर्तन द्वारा संचरित होने के लिए आवश्यक है कि प्रकाश तरंगें, ग्राह्य शंकु में ही फाइबर पर आपतित हों।

बहुविकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 1. एक ऑप्टिकल फाइबर में प्रकाश का गमन किस घटना द्वारा होता है?

(अ) परावर्तन (ब) पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (स) अपवर्तन

उत्तर (ब) पूर्ण आन्तरिक परावर्तन

खण्ड 'ब' : लघु एवं दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. क्रान्तिक कोण तथा पूर्ण आन्तरिक परावर्तन से आप क्या समझते हैं?

उत्तर जब प्रकाश किरणें सघन माध्यम (जैसे-काँच) से विरल माध्यम (जैसे—हवा) में प्रवेश करती हैं तो अभिलम्ब से दूर हट जाती हैं अर्थात् अपवर्तन कोण (angle of refraction) का मान आपतन कोण (angle of incidence) के मान से बड़ा होता है। यदि आपतन कोण को धीरे-धीरे बढ़ाते जाएँ तो अपवर्तन कोण का मान भी साथ-ही-साथ बढ़ता जाता है और एक स्थिति ऐसी आती है कि बढ़ते-बढ़ते अपवर्तन कोण का मान 90° हो जाता है अर्थात् अपवर्तित किरण (refracted ray) की दिशा सतह के अनुदिश (along the surface) हो जाती है। इस स्थिति में आपतन कोण को (जिसके लिए अपवर्तन कोण 90° होता है) **क्रान्तिक कोण** (critical angle) कहते हैं तथा इसे θ_c से प्रदर्शित करते हैं।

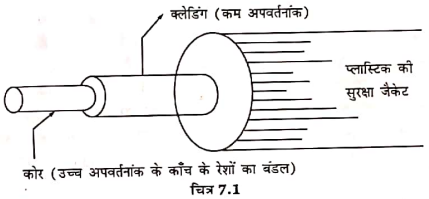
अब यदि आपतन कोण का मान, क्रान्तिक कोण (θ_c) से अधिक हो जाये तो आपतित किरणें दूसरे माध्यम (जैसे-हवा) में न जाकर, उसी माध्यम (जैसे-काँच) में पूर्णतः परावर्तित हो जाती हैं। चूँकि इस प्रक्रिया में सम्पूर्ण प्रकाश उसी माध्यम में परावर्तित हो जाता है। अतः इस प्रक्रिया को **पूर्ण-आन्तरिक परावर्तन** (total internal reflection) कहते हैं।

प्रश्न 2. ऑप्टिकल फाइबर का वर्णन कीजिए। ये कितने प्रकार के होते है? संक्षिप्त विवरण दीजिए।

अथवा **"स्टेप इन्डेक्स एवं ग्रेडेड इन्डेक्स प्रकाशीय रेशे" पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।** (2015)

अथवा **ऑप्टिकल फाइबर क्या है? एक सिंगल मोड फाइबर में प्रकाश संचरण की क्रिया का उल्लेख कीजिए।** (2019)

उत्तर **ऑप्टिकल फाइबर या प्रकाशीय रेशे** ये प्रकाशीय रेशे पारदर्शी काँच या प्लास्टिक के पतले, मनुष्य के बालों के समान लचकदार धागे (रेशे) होते हैं। इनमें से होकर दृश्य प्रकाश, रेशों की लम्बाई के अनुदिश गुजरता है। ऑप्टिकल फाइबर में सामान्यतः दो समाक्षीय (co-axial) बेलनाकार परतें (cylindrical layers) होती (चित्र 7.1) हैं। इसके अन्दर वाले भाग को, जो प्रकाश को पूर्णतया परावर्तित करता है, कोर (core) तथा कोर के ऊपर वाली परत को जो बाउन्ड्री का कार्य करती है, क्लैडिंग कहते हैं। क्लैडिंग का अपवर्तनांक, कोर के अपवर्तनांक से कम होता है। क्लैडिंग क्षेत्र (area) प्रकाश को कोर क्षेत्र (area) में नियन्त्रित रखता है और उसे बाहर नहीं जाने देता। टेलीफोन या मोबाइल संचार (telephone or mobile communication) में प्रयोग में आने वाले ऑप्टिकल फाइबर केबलों में कोर एवं क्लैडिंग की सुरक्षा हेतु प्लास्टिक की एक सुरक्षा जैकेट (protective jacket) चढ़ाई जाती है।



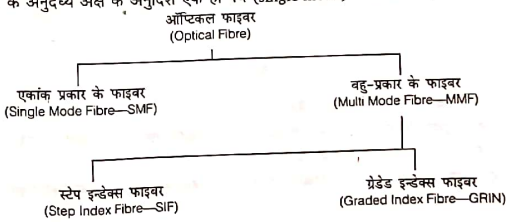
चित्र 7.1

साधारण व्यवहार में एकसमान मोटाई तथा लगभग 2×10^{-6} मीटर व्यास के पारदर्शी काँच के रेशे (transparent glass fibre) प्रयोग किए जाते हैं। ऐसे हजारों रेशों को मिलाकर बंडल बनाए जाते हैं जो इतने अधिक लचकदार (flexible) होते हैं कि बगैर टूटे-फूटे या चटके (crack) आसानी से मुड़ जाते हैं।

आजकल काँच के रेशो (glass fibre) के स्थान पर पारदर्शी प्लास्टिक (transparent plastic) के रेशे भी प्रयोग किये जाते हैं। यद्यपि प्लास्टिक के रेशों को काँच के रेशों जितना पतला बनाना एक दुरुह कार्य है।

ऑप्टिकल फाइबर के प्रकार प्रकाशीय रेशे (ऑप्टिकल फाइबर) मुख्यतः निम्न प्रकार के होते हैं—

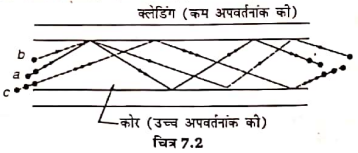
1. **एकांक प्रकार के फाइबर** इस प्रकार के फाइबर की कोर (core) का व्यास बहुत कम (5 से 10 μm तक) तथा अपवर्तनांक अधिक होता है। इसकी क्लैडिंग कम अपवर्तनांक वाले पदार्थ की होती है तथा इसमें प्रकाश एक सीधी रेखा में फाइबर के अनुदैर्घ्य अक्ष के अनुदिश एक ही पथ (single mode) में संचारित होता है।



Scanned with CamScanner

2. **बहु-प्रकार के फाइबर** इनमें प्रकाश का संचरण कई पथों में होता है। ये मुख्यत: निम्नलिखित दो प्रकार के होते हैं—

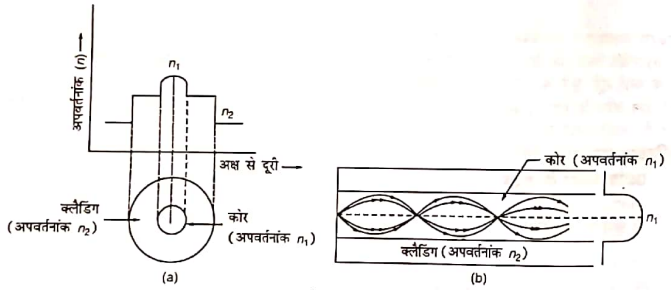
(i) **स्टेप इन्डेक्स फाइबर** इसका कोर बहुत पतला (कम व्यास का) तथा उच्च अपवर्तनांक का होता है तथा कम अपवर्तनांक की क्लैडिंग से आच्छादित (covered) होता है। कोर-क्लैडिंग सीमा पर अपवर्तनांक में अचानक परिवर्तन होता है, इसीलिए इसे स्टेप इन्डेक्स फाइबर (SIF) कहते हैं। इसमें प्रकाश संचरण के अनेक पथ (जिन्हें मोड कहते हैं) होते हैं। SIF में उसकी डिजाइन के अनुसार 1 से 100000 तक मोड हो सकते हैं। अत: SIF में प्रकाश संचरण सिंगल मोड या मल्टी मोड में होता है।



चित्र 7.2

चित्र 7.2 में SIF फाइबर में तरंग संचरण के तीन मोड (mode) a, b तथा c दर्शाये गये हैं। चित्र 7.2 से स्पष्ट है कि प्रकाश पुंज a, पुंज b तथा c की तुलना में अधिक लम्बा मार्ग तय करता है।

(ii) **ग्रेडेड इन्डेक्स फाइबर** यह मल्टी मोड फाइबर (MMF) होता है। इसकी कोर (core) में विभिन्न अपवर्तनांक वाले पदार्थों की सकेन्द्रीय परते (concentric layers) होती हैं जिनका अपवर्तनांक अक्ष पर सर्वाधिक तथा अक्ष से किनारे तक धीरे-धीरे घटता जाता है। इस फाइबर के प्रयोग से विक्षेपण (dispersion) तथा विरूपण का प्रभाव कम हो जाता है; अत: अन्य प्रकार के फाइबरों की अपेक्षा इससे अधिक आँकड़ों का संचरण (data transmission) किया जा सकता है। इनकी रूपरेखा (profiles) चित्र 7.3 (a) में दर्शायी गयी है तथा GRIN में प्रकाश संचरण चित्र 7.3 (b) में दर्शाया गया है।



चित्र 7.3

प्रश्न 3. ऑप्टिकल फाइबर सेन्सर किसे कहते है?

उत्तर **ऑप्टिकल फाइबर सेन्सर** ऑप्टिकल फाइबर के मूल भौतिक गुणों का उपयोग सेन्सर्स में किया जाता है। ऑप्टिकल फाइबर सेन्सर्स निम्न दो प्रकार के होते हैं—

1. **शुद्ध फाइबर सेन्सर्स** फाइबर में प्रकाश संचरण के समय होने वाले परिवर्तनों (जो वातावरण द्वारा उत्पन्न होते हैं) पर इसकी कार्य प्रणाली आधारित है।

2. **रिमोट ऑप्टिक सेन्सर्स** जो प्रकाशीय युक्ति (optical device) प्रकाश के उद्दीप्त (stimulate) होने पर कार्य करती है, उस युक्ति तक प्रकाश को ले जाने में इन सेन्सर्स का उपयोग किया जाता है।

वातावरण के प्रभाव के कारण शुद्ध फाइबर सेन्सर्स में निम्न में से कोई एक परिवर्तन सम्मिलित है

(i) प्रकाश, कोर से क्लैडिंग में क्षारित (leak) हो सकता है। क्लैडिंग इस क्षरित प्रकाश को अवशोषित कर लेती है।

(ii) प्रकाश ऑप्टिकल पथ से भिन्न कोई दूरी तय कर सकता है जिससे दो तरंगो के बीच कलान्तर उत्पन्न हो जाता है। यह कलान्तर इन तरंगों के अध्यारोपण से प्राप्त दीप्त एवं अदीप्त पैटर्न की सहायता से ज्ञात किया जा सकता है। ऑप्टिकल सेन्सर्स में 'एकांक प्रकार के रेशों' (single mode fiber) का प्रयोग किया जाता है।

ऑप्टिकल सेन्सरों का प्रयोग ऊष्मा सेंसिंग, प्रकाश सेंसिंग (तीव्रता नापने हेतु), स्मोक सेंसिंग, प्रदूषण सेंसिंग आदि हेतु किया जाता है।

प्रश्न 4. यदि किसी ऑप्टिकल फाइबर के कोर का अपवर्तनांक 1.52 तथा कोर के ऊपर वाली परत के पदार्थ का अपवर्तनांक 1.50 है तो कोर तथा कोर के ऊपर वाली परत के मध्य क्रान्तिक कोण का मान ज्ञात कीजिए।

हल दिया है, कोर का अपवर्तनांक $(n_1) = 1.52$ तथा कोर के ऊपर वाली परत अर्थात् क्लैडिंग का अपवर्तनांक $(n_2) = 1.50$

अत: क्रान्तिक कोण के सूत्र से, $\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \sin^{-1}\left(\frac{1.50}{1.52}\right)$ (n_1 व n_2 के मान रखने पर)

$= \sin^{-1}(0.986842)$

$\therefore \quad \theta_c = \mathbf{80.7°}$

प्रश्न 5. यदि किसी ऑप्टिकल फाइबर के कोर तथा क्लैडिंग के अपवर्तनांक क्रमश: 1.52 तथा 1.48 हों तो ग्राह्य कोण (acceptance angle) का मान ज्ञात कीजिए।

हल दिया है, $n_1 = 1.52$ तथा $n_2 = 1.48$

ग्राह्य कोण के सूत्र $2\theta_0 = 2\sin^{-1}\frac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$ से,

या $2\theta_0 = 2\sin^{-1}\sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$

$= 2\sin^{-1}\sqrt{(1.52)^2 - (1.48)^2}$ ($\because$ वायु के लिए $n_0 = 1$)

$= 2\sin^{-1}\sqrt{2.3104 - 2.1904}$

$= 2\sin^{-1}(\sqrt{0.12}) = 2\sin^{-1}(0.3464) = 2 \times 20.27°$

या ग्राह्य कोण $= \mathbf{40.54°}$

प्रश्न 6. तरंग पथक के रूप में प्रकाश रेखा के सिद्धान्त का उल्लेख करते हुए व्याख्या कीजिए।

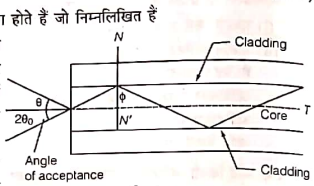
उत्तर तरंग पथक के सिद्धान्त के अनुसार, यदि प्रकाश किरणें, काँच की एक छड़ के एक सिरे से प्रवेश करती हैं, तब पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (total internal reflection) के कारण प्रकाश की किरणें छड़ के अन्दर ही रहती हैं, बाहर नहीं निकल पाती हैं। यही क्रिया फाइबर ऑप्टिक्स (fiber optics) कहलाती है। ये काँच की छड़ें इतनी पतली होती हैं कि इन्हें फाइबर कहा जाता है। इनकी मोटाई की मनुष्य के बालों से तुलना की जा सकती है। काँच फाइबर की दक्षता, फाइबर की मोटाई पर निर्भर होती है। जितनी फाइबर की मोटाई कम होगी, उतना ही इसका कार्य (function) दक्ष होगा।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 7. प्रकाशिक रेशे (optical fiber) की कार्यविधि का वर्णन कीजिए। इसके प्रायोगिक उपयोगों का उल्लेख कीजिए। (2017)

उत्तर **प्रकाशिक रेशे** प्रकाशिक रेशे के मुख्य तीन भाग होते हैं जो निम्नलिखित हैं

1. **कोर** यह प्रकाशिक रेशे या तन्तु का सबसे आन्तरिक भाग होता है जो एक बहुत पतले काँच पॉलीमर या सिलिका (glass polymer or silica) के बने होते हैं जिसका कार्य प्रकाश को पूर्णतया परावर्तित करना होता है। एक प्रकाशिक रेशे या तन्तु को चित्र 7.4 में दर्शाया गया है।



चित्र 7.4

2. **क्लैडिंग** कोर के ऊपर वाली परत जो बाउण्डरी (boundary) का कार्य करती है, क्लैडिंग कहलाती है। यह भी काँच की बनी होती है। क्लैडिंग का अपवर्तनांक, कोर के अपवर्तनांक से कम होता है। क्लैडिंग का कार्य प्रकाश को कोर क्षेत्र में नियन्त्रित रखना है तथा उसे बाहर जाने से रोकना है।

3. **प्लास्टिक जैकेट** कोर तथा क्लैडिंग की सुरक्षा हेतु इनके ऊपर प्लास्टिक की एक सुरक्षा जैकेट चढ़ाई जाती है।

कार्यविधि प्रकाशिक रेशों में, क्लैडिंग तथा कोर की सतह पर प्रकाश का आन्तरिक परावर्तन होता है जिसके कारण प्रकाश पूरी तरह से कोर मे ही रहता है, जैसा चित्र 7.4 में दर्शाया गया है।

ग्राह्य कोण (acceptance angle) $2\theta_0 = 2\sin^{-1}\dfrac{\sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{n_0}$

ग्राह्य कोण से आने वाली पूर्ण प्रकाश किरण कोर के अन्दर जाती है; क्योंकि कोर क्लैडिंग की सतह पर इस प्रकाश का पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होता है।

प्रायोगिक उपयोग प्रकाशिक रेशों का प्रयोग निम्न प्रकार से किया जाता है—

(i) प्रकाशिक रेशों का प्रयोग चिकित्सा क्षेत्रों में बहुत अधिक होता है। चिकित्सा विज्ञान में मानव शरीर के भिन्न-भिन्न अंगों; जैसे—फेफड़ो, दिल आदि के आन्तरिक भागों में, इन रेशों के बंडलों को डालकर आसानी से देखा जा सकता है। इस प्रकार से इन रेशों के प्रयोग ने चिकित्सा विज्ञान में एक क्रांति ला दी है। मानव शरीर के किसी भी आन्तरिक भाग को देखकर तुरन्त इलाज सम्भव है।

(ii) प्रकाशिक रेशे प्रकाशीय संचार व्यवस्था में (optical communication system) में बहुत अधिक प्रयोग होने लगे है और इन्होंने संचार व्यवस्था तथा सूचना में भी एक क्रांति ला दी है, बल्कि हम कह सकते हैं कि इनकी सहायता से ही प्रकाशीय संचार व्यवस्था तथा सूचना व्यवस्था का निर्माण सम्भव हो सका है। मोबाइल तथा दूरसंचार कम्पनियाँ अपने मोबाइल नेटवर्क में फाइबर ऑप्टिकल केबल का प्रयोग करती हैं। फाइबर की सूचना ले जाने की क्षमता असीम है तथा इनकी लागत भी दूसरी परम्परागत व्यवस्थाओं की लागत से काफी कम होती है।

(iii) **कम्प्यूटर प्रणाली** कम्प्यूटर प्रणाली में संकेतों का संचार भी इन प्रकाशिक रेशों की सहायता से किया जाता है। बहुत कम समय में बहुत अधिक सूचनाएँ (data) इनकी सहायता से संचारित होना सम्भव हो सका है।

प्रश्न 8. रेशा प्रकाशिकी पर नोट लिखिए।

उत्तर **रेशा प्रकाशिकी** जब एक प्रकाशपुंज किसी पारदर्शी (माना काँच) छड़ के एक सिरे से एक निश्चित दिशा मे प्रवेश करता है तो प्रकाशपुंज का छड़ की सतहों पर अनेक बार पूर्ण आन्तरिक परावर्तन होता है और प्रकाशपुंज छड़ के अन्दर ही बना रहता है। इस प्रकार अनेक बार पूर्ण परावर्तित होता हुआ प्रकाशपुंज जब छड़ के दूसरे सिरे से बाहर निकलता है तो प्रकाश की तीव्रता का क्षय नहीं होता है। इस प्रकार की छड़ को फाइबर कहते हैं। बहुत महीन फाइबरों का बण्डल भी इसी प्रकार का गुण रखता है। बण्डल के रूप में बहुत से फाइबरों में लचक हो जाती है। फाइबरों के बण्डल के एक सिरे से प्रवेश करने वाला प्रकाशपुंज बण्डल के दूसरे सिरे से बाहर निकलता है, चाहे बण्डल वक्राकार भी हो।

इस प्रकार का बण्डल हजारों महीन फाइबरों का बना होता है जिनके व्यास 0.0002 सेमी से 0.001 सेमी तक होते हैं। यदि इन फाइबरों के दोनों सिरों के तल एक ही सापेक्षीय स्थिति में हों तो इस बण्डल के द्वारा प्रकाशीय प्रतिबिम्ब को भी एक सिरे से दूसरे सिरे तक प्रेषित किया जाता है।

फाइबरों के बण्डल के ऐसे गुणों का अध्ययन फाइबर प्रकाशिकी कहलाता है।

फाइबर में प्रयुक्त पदार्थ सिलिका तथा काँच हैं जोकि पृथ्वी पर बहुतायत में उपलब्ध हैं।

प्रश्न 9. एक पारदर्शी माध्यम का वायु के सापेक्ष क्रान्तिक कोण 45° है। इस माध्यम में प्रकाश की चाल की गणना कीजिए। ($c = 3 \times 10^8$ मी/से)

हल माना पारदर्शी माध्यम का वायु के सापेक्ष अपवर्तनांक ${}_a\mu_m$ है।

अत: क्रान्तिक कोण के लिये

$${}_a\mu_m = \frac{1}{\sin i_c} = \frac{1}{\sin 45°} = \sqrt{2}$$

चूँकि $${}_a\mu_m = \frac{c}{v_m} = \frac{3 \times 10^8}{v_m}$$

अत: $$v_m = \frac{3 \times 10^8}{{}_a\mu_m}$$

$$= \frac{3 \times 10^8}{\sqrt{2}}$$

$$= \mathbf{2.12 \times 10^8 \text{ मी/से}}$$

प्रश्न 10. वायु में चलती हुई प्रकाश की एक किरण $\sqrt{2}$ अपवर्तनांक वाली काँच की एक पट्टिका पर 45° के कोण पर आपतित है। यदि पट्टिका की मोटाई 10 सेमी हो तो निर्गत किरण तथा आपतित किरण के मध्य लम्बवत् दूरी ज्ञात कीजिए।

हल यहाँ $i = 45°$, ${}_a\mu_g = \sqrt{2}$

सतह X-Y पर स्नैल का नियम लगाने पर,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = {}_a\mu_g \quad \text{या} \quad \frac{\sin 45°}{\sin r} = \sqrt{2}$$

या $$\sin r = \frac{\sin 45°}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \quad \text{या} \quad r = 30°$$

अब ΔOEB में, $\dfrac{OE}{OB} = \cos r$

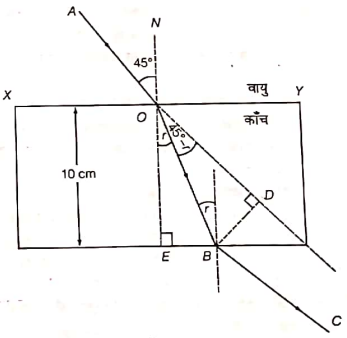
या $$OB = \frac{OE}{\cos r} = \frac{10}{\cos 30°} = 11.55 \text{ सेमी}$$

अब ΔOBD में, BD आपतित किरण तथा निर्गत् किरण के मध्य की लम्बवत् दूरी है। अत:

$$\frac{BD}{OB} = \sin(45° - r)$$

या $$BD = OB \times \sin(45° - 30°)$$

या $$BD = 11.55 \times \sin 15° = \mathbf{2.99 \text{ सेमी}}$$



चित्र 7.5

Scanned with CamScanner

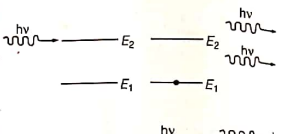
प्रश्न 11. लेसर क्या है? इसके उपयोगों का वर्णन कीजिए। (2013, 17)

उत्तर **लेसर** सन् 1960 की खोज है। LASER शब्द अंग्रेजी वाक्य 'Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation' का संक्षिप्त रूप है जिसका अर्थ है, विकिरण के उद्दीपित उत्सर्जन द्वारा प्रकाश का प्रवर्धन। स्पष्टत: यह एक युक्ति है जिससे एक तीव्र (intense), एकवर्णी (monochromatic), समान्तर (collimated) तथा उच्च कला-सम्बद्ध (highly coherent) प्रकाश-पुँज प्राप्त किया जाता है।

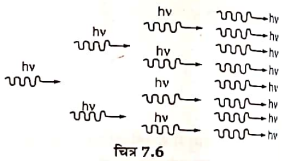
सिद्धान्त सामान्यत: किसी पदार्थ के परमाणु अपनी मूल क्वाण्टम अवस्था (ground quantum stage) में होते हैं। जब पदार्थ को किसी स्रोत द्वारा ऊर्जा दी जाती है तो उसके परमाणु उत्तेजित होकर उच्च ऊर्जा की अवस्था में आ जाते हैं। कोई परमाणु उत्तेजित अवस्था में केवल 10^{-8} सेकण्ड तक ही रह सकता है। इसके बाद यह पुन: निम्न ऊर्जा-अवस्था में लौट आता है तथा इस प्रक्रिया में यह ν आवृत्ति के प्रकाश-फोटॉन का उत्सर्जन करता है, जबकि

$$h\nu = E_2 - E_1$$

जहाँ E_2 व E_1 परमाणु की क्रमश: उच्च व निम्न ऊर्जा-अवस्थाएँ हैं। इस प्रक्रिया को 'स्वत: उत्सर्जन' (spontaneous emission) कहते हैं। यह उत्सर्जन अनियमित होता है तथा विभिन्न परमाणुओं के लिए विभिन्न समय पर होता है। अत: विभिन्न परमाणुओं से स्वत: उत्सर्जन द्वारा प्राप्त प्रकाश कला-असम्बद्ध (incoherent) होता है।



यदि किसी परमाणु से, जब यह उत्तेजित अवस्था E_2 में हो, उसी आवृत्ति का प्रकाश-फोटॉन टकराये जोकि उस परमाणु द्वारा उत्सर्जित होने वाला है तो वह परमाणु तुरन्त ही अपनी सामान्य ऊर्जा अवस्था E_1 में आ जाता है तथा ठीक उसी आवृत्ति का प्रकाश-फोटॉन उत्सर्जित करके अपने ऊपर गिरने वाले प्रकाश को उद्दीप्ति (stimulated) कर देता है। इस प्रकार के उत्सर्जन को 'उद्दीप्ति उत्सर्जन' (stimulated emission) कहते हैं। यह स्वत: उत्सर्जन से बहुत पहले ही हो जाता है। इसकी विशेषता यह है कि उत्सर्जित उद्दीप्त प्रकाश आपतित प्रकाश के साथ कला-सम्बद्ध होता है। अब उद्दीप्त तथा आपतित प्रकाश-फोटॉन मिलकर, अन्य उत्तेजित परमाणुओं से उद्दीप्त कला-सम्बद्ध प्रकाश का उत्सर्जन करते हैं। यदि पदार्थ में पर्याप्त उत्तेजित परमाणु उपस्थित हों तो यह प्रक्रिया प्रवर्धित होती रहती है। इस प्रकार उस पदार्थ से प्रकाश का एक तीव्र व कला-सम्बद्ध पुँज निकलता है।



चित्र 7.6

उपयोग लेसर निम्नलिखित प्रकार से उपयोग में लाया जाता है—

1. **लेसर वेल्डिंग** क्योंकि लेसर तीव्र ताप उत्पन्न करती है, अत: लेसर किरणें पदार्थ के किसी भी भाग में पड़ती हैं तो उच्च तापक्रम के पैदा होने के कारण पदार्थ के उस हिस्से को पिघला देती हैं। इस प्रकार से यह दो धातुओं को जोड़ने में सहायक होती है।
2. **लेसर मशीनिंग** जब किसी सतह पर लेसर किरणे पड़ती हैं तो यह एक उच्च तथा तीव्र ताप उत्पन्न करती है जो लगभग 5000°C से 6000°C तक हो सकता है तथा पदार्थ की सतह को पिघला देती हैं और कभी-कभी तो यह पदार्थ का वाष्पीकरण भी कर देती हैं। लेसर के इस गुण के कारण यह मोटी-मोटी स्टील की प्लेटों को काटने में प्रयोग की जाती हैं। यह दूसरे कार्यों; जैसे-किसी पदार्थ की असाधारण फिनिशिंग (extraordinary finishing) करने में भी प्रयोग की जाती हैं, जहाँ पर साधारण या सामान्य मशीनिंग से यह कार्य सम्भव नहीं होता है।
3. **लेसर थेरेपी** लेसर-पुँज या किरणों की सहायता से सूक्ष्म ऑपरेशन (micro operations) किये जाते हैं; जैसे—कॉर्निया ग्राफ्टिंग (cornea grafting), गुर्दे की पथरी (stone in kidney), गाल ब्लेडर (gall bladder) की पथरी आदि। लेसर तथा फाइबर ऑप्टिक्स की सहायता से अब कैंसर का इलाज भी सम्भव है।

4. **लेसर संचार** टेलीफोन संचार में, लेसर किरणें फाइबर तन्तुओं के साथ प्रयोग की जाती हैं। एक 1mm व्यास की लेसर किरणों में लगभग 10^{15} माइक्रोवेव (microwave) चैनल होते हैं। लेसर द्वीम अन्तरिक्ष में रेडियो संचरण व्यवस्था में भी प्रयोग की जाती हैं।
5. **लेसर बीम** ये परिशुद्ध दूरियाँ मापने में भी प्रयोग की जाती हैं; क्योंकि लेसर किरणें बहुत तीव्र तथा इसकी तरंगपट्ट की चौड़ाई बहुत कम होती है और इसी गुण के कारण ये किरणें दूर के स्थानों पर, बिना अवशोषण हुए पहुँच सकती हैं, इसीलिये लेसर किरणें चन्द्रमा तथा दूसरे ग्रहों की दूरियाँ मापने में प्रयोग की जाती हैं।

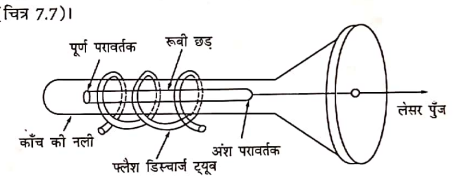
परमाणुओं को मूल अवस्था से किसी उत्तेजित अवस्था में पहुँचाने के लिये विभिन्न विधियाँ अपनाई जाती हैं। इस प्रक्रिया को 'पम्पन' (pumping) कहते हैं। इसी आधार पर लेसर भी कई प्रकार के होते हैं; जैसे—रूबी लेसर, गैस लेसर, अर्द्धचालक (semi-conductor) लेसर इत्यादि।

प्रश्न 12. रूबी लेसर पर टिप्पणी लिखिए।

उत्तर **रूबी लेसर** लेसर किरण पुँज (laser beam) प्राप्त करने के लिए रूबी-क्रिस्टल (ruby crystal) का प्रयोग सर्वप्रथम माइमन (Maiman) ने किया था। रूबी, ऐलुमिनियम डाइ ऑक्साइड (Al_2O_3) का क्रिस्टल होता है जिसमें 0.05% क्रोमियम ऑक्साइड (Cr_2O_3) अपद्रव्य (impurities) के रूप में मिला दिया जाता है।

इस प्रकार रूबी के क्रिस्टल लैटिस (crystal lattice) में ऐलुमिनियम के कुछ परमाणुओं का स्थान क्रोमियम के आयन (Cr^{3+}) ले लेते हैं जो उसे गुलाबी रंग प्रदान करते हैं।

रूबी छड़ एक 5 सेमी लम्बी व 1 सेमी व्यास की गुलाबी रंग की बेलनाकार छड़ होती है। इसके सिरे प्रकाशत: समतल (optically flat), पूर्णतया समान्तर (exactly parallel) तथा चाँदी की कलई (silver polished) किये हुए होते हैं। इस छड़ का एक सिरा पूर्ण परावर्तक तथा दूसरा अंश परावर्तक (8%) होता है। यह काँच की नली के अन्दर रखी रहती है जिस पर एक कुण्डलित क्षणदीप्ति विसर्जन नलिका (flash discharge tube) लिपटी रहती है। इस नली में जीनॉन (Xenon) गैस भरी रहती है (चित्र 7.7)।

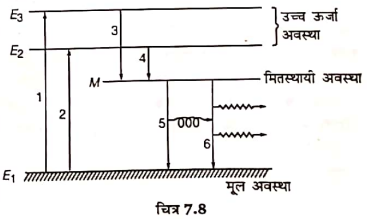


चित्र 7.7

क्रोमियम के आयन में मूल अवस्था E_1 के ऊपर दो मुख्य ऊर्जा अवस्थाएँ E_2 व E_3 होती हैं। E_2 के कुछ नीचे एक मितस्थायी अवस्था (metastable state) M होती है, जिसका जीवन काल 10^{-3} सेकण्ड होता है, जोकि उच्च-ऊर्जा अवस्थाओं के जीवनकाल (10^{-8} सेकण्ड) का पाँच गुना [$(10^{-3}/10^{-8}) = 10^5$] है। यहाँ परमाणु उत्तेजित अवस्था में काफी समय तक रुक जाते हैं।

जब प्रकाश की एक फ्लैश (flash) रूबी छड़ पर गिरती है तो हरे व पीले प्रकाश को क्रोमियम के आयन अवशोषित कर लेते हैं तथा उत्तेजित होकर उच्च ऊर्जा अवस्था E_2 व E_3 में आ जाते (संक्रमण 1 व 2) हैं। उत्तेजित आयन, क्रिस्टल को कुछ ऊर्जा देकर मितस्थायी अवस्था में उतर आते (संक्रमण 3 व 4) हैं।

जब कोई उत्तेजित आयन स्वत: उत्सर्जन द्वारा मितस्थायी अवस्था M से मूल अवस्था E_1 में आता है तो वह लाल प्रकाश के फोटॉन का उत्सर्जन करता है (संक्रमण 5)।



चित्र 7.8

Scanned with CamScanner

यह फोटॉन रूबी-छड़ के समान्तर गतिमान होकर छड़ के सिरों से बार-बार परावर्तित होता रहता है। इसी दौरान यह किसी अन्य उत्तेजित आयन से टकराकर उद्दीप्त उत्सर्जन द्वारा अपने ही समान दूसरा फोटॉन उत्पन्न कर देता (संक्रमण 6) है। यह फोटॉन भी पहले फोटॉन से कला सम्बद्ध होने के कारण रूबी छड़ के अक्ष के समान्तर गतिमान होकर इसके सिरों से बार-बार परावर्तित होता रहता है। यही प्रक्रिया आगे दोहराई जाती है। इस प्रकार छड़ की अक्ष के समान्तर एक लाल फोटॉन पुँज स्थापित हो जाता है। जब इस पुँज की तीव्रता अत्यधिक हो जाती है तो इसका एक अंश रूबी छड़ के अंश-परावर्तक सिरे से परावर्तित होकर बाहर निकल आता है, यही किरण पुँज लेसर-पुँज है। इसे संलग्न चित्र 7.8 में दर्शाया गया है।

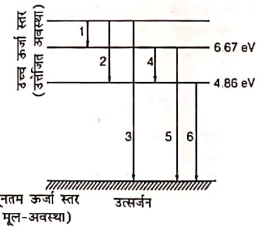
प्रश्न 13. सामान्य प्रकाश व लेसर में भेद कीजिए।

उत्तर **सामान्य प्रकाश तथा लेसर में भेद**

क्र०सं०	सामान्य प्रकाश	लेसर
1.	यह बहुत सारी तरंगदैर्घ्य का दृश्य प्रकाश है।	यह केवल एक तरंगदैर्घ्य का दृश्य प्रकाश है।
2.	यह कला सम्बद्ध नहीं होता है।	यह कला सम्बद्ध होता है।
3.	यह सभी दिशाओं में समान रूप से वितरित रहता है।	यह पुँज के रूप में सीधी रेखा में चलता है।
4.	विवर्तन के कारण यह सीधी रेखा से विचलित हो जाता है।	इसमें विवर्तन के कारण विचलन नगण्य होता है।
5.	इसकी तीव्रता अत्यन्त कम होती है।	इसकी तीव्रता अत्यन्त उच्च होती है।
6.	तकनीकी विज्ञान तथा चिकित्सा में इसका कोई विशेष प्रयोग नहीं है।	तकनीकी विज्ञान तथा चिकित्सा में इसका बहुत विशेष प्रयोग है।

प्रश्न 14. आइन्सटीन गुणांक पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।

उत्तर आइन्सटीन ने सन् 1917 में बताया कि उद्दीप्ति उत्सर्जन (stimulated emission) तथा उद्दीप्ति अवशोषण (stimulated absorption) की समान प्रायिकताएँ (probabilities) होती हैं अर्थात् $h\nu$ ऊर्जा का फोटॉन, परमाणु पर आपतित होने पर उद्दीप्ति उत्सर्जन तथा उद्दीप्ति अवशोषण दोनों हो सकते हैं। आइन्सटीन के अनुसार परमाणु द्वारा स्वत: उत्सर्जन, उद्दीप्ति उत्सर्जन तथा अवशोषण तीनों अवस्थाओं की आपेक्षिक प्रायिकताएँ (relative probabilities) ऊर्जा अवस्था (1) व (2) में उपस्थित (चित्र 7.9) परमाणुओं की संख्या N_1 व N_2 तथा बाहरी वातावरण के ν_{12} आवृति के फोटॉन के संगत उपस्थित विकिरण घनत्व U_{12} पर निर्भर करती है।



चित्र 7.9

आइन्सटीन के अनुसार स्वत: उत्सर्जन की दर R_a, ऊर्जा अवस्था (2) में परमाणुओं की संख्या N_2 के अनुक्रमानुपाती होती है।

अर्थात् स्वत: उत्सर्जन की दर, $R_a \propto N_2$

या $$R_a = A_{12} N_2 \quad ...(i)$$

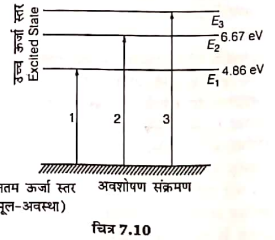
A_{12} को आइन्सटीन का A गुणांक (Einstein's A coefficient) कहते हैं। गुणांक A, स्वत: उत्सर्जन की दर को नियन्त्रित करता है।

इसी प्रकार, उद्दीप्ति उत्सर्जन की दर R_b, ऊर्जा अवस्था-2 में परमाणुओं की संख्या N_2 तथा बाहरी वातावरण के ν_{12} आकृति के फोटॉनों के संगत उपस्थित विकिरण घनत्व U_{12} के गुणनफल के समानुपाती होती है।

अर्थात् उद्दीप्ति उत्सर्जन की दर, $R_b \propto N_2 U_{12}$

या $$R_b = B_{12} N_2 U_{12} \quad ...(ii)$$

यहाँ B_{12} को आइन्सटीन का B गुणांक कहते हैं।



चित्र 7.10

इसी प्रकार परमाणु द्वारा अवशोषण की दर, $R_c = B_{12} N_1 U_{12}$ ...(iii)

समीकरण (ii) व (iii) से स्पष्ट है कि उद्दीप्ति उत्सर्जन की दर तथा अवशोषण की दर एक ही गुणांक B द्वारा दी जाती है।

समीकरण (i) व (ii) से, $$\frac{R_b}{R_a} = \frac{B_{12} N_2 U_{12}}{A_{12} N_2} = \frac{B_{12} U_{12}}{A_{12}} \quad ...(iv)$$

तथा समीकरण (i) व (iii) से, $$\frac{R_b}{R_c} = \frac{B_{12} N_2 U_{12}}{B_{12} N_1 U_{12}} = \frac{N_2}{N_1} \quad ...(v)$$

समीकरण (iv) व (v) से स्पष्ट है कि लेसर बीम प्राप्त करने हेतु N_2 का मान N_1 से काफी अधिक तथा U_{12} का मान अधिक होना चाहिए।

प्रश्न 15. स्वत: उत्सर्जन (spontaneous emission) तथा उद्दीप्ति उत्सर्जन (stimulated emission) से क्या तात्पर्य है? लेसर कैसे उत्पन्न की जाती है? (2015, 17)

उत्तर **स्वत: उत्सर्जन** हम जानते हैं कि परमाणु अधिकतर अपने निम्न स्तर में होते हैं, लेकिन जैसे ही वे बाहरी ताकतों से ऊर्जा पाते हैं तो वे उत्तेजित हो जाते हैं तथा उच्च ऊर्जा स्तर पर आ जाते हैं। वे इस स्थिति में 10^{-8} सेकण्ड तक ठहरते हैं तथा फिर से निम्न स्तर में लौट आते हैं। अब परमाणु आवृत्ति (ν) का एक फोटॉन उत्सर्जित करता है। परमाणु की स्वत: उत्सर्जन की इस विधि को स्वत: उत्सर्जन (spontaneous emission) कहते हैं। यह उत्सर्जन विभिन्न परमाणुओं के लिये भिन्न-भिन्न बार होता है, इसलिए हम कह सकते हैं कि स्वत: उत्सर्जन असमान होता है तथा इससे प्राप्त प्रकाश सम्बद्ध (coherent) नहीं होता है।

उद्दीप्ति उत्सर्जन हम जानते हैं कि उचित तरंगदैर्घ्य वाला कोई प्रकाश फोटॉन यदि किसी उत्सर्जित परमाणु से गुजरता है तो उत्सर्जन की क्रिया बहुत तेजी से होने लगती है। माना कोई परमाणु उत्तेजित अवस्था E_2 में है, अब ठीक बराबर ground state E_1 में आ जाता है तथा समान तरंगदैर्घ्य वाला प्रकाश फोटॉन, उत्सर्जन के द्वारा प्रकाश को उद्दीप्ति करता है तथा इस पर डालता है। इस प्रकार का उत्सर्जन उद्दीप्ति उत्सर्जन (stimulated emission) कहलाता है।

इस प्रकार एकसमान अनुदैर्घ्य रखने वाले फोटॉन की एक चेन (chain) उत्पन्न हो जाती है जिसके द्वारा प्रकाश का प्रवर्धन (light amplification) हो जाता है। फोटॉन की यह शृंखला (chain) जिसमें बहुत अधिक तथा असीम ऊर्जा होती है, लेसर किरणें (laser beam) कहलाती हैं।

लेसर किरणें पैदा करने के लिये प्रकाश का प्रवर्धन (light amplification) होना आवश्यक होता है तथा इसके लिये यह आवश्यक है कि इलेक्ट्रॉन की एक अधिक संख्या उच्च ऊर्जा स्तरों में हो।

सामान्य अवस्था में निम्न ऊर्जा स्तर (low energy level) उच्च ऊर्जा स्तरों की तुलना में अधिक भरे (populated) होते हैं। इसके विपरीत यदि उच्च ऊर्जा स्तर, निम्न ऊर्जा स्तरों की तुलना में अधिक भरे होते हैं तो इसे जनसंख्या उत्क्रमण (population inversion) कहते हैं अर्थात् लेसर किरणावली उत्पन्न करने के लिये जनसंख्या उत्क्रमण होना आवश्यक होता है। निम्न ऊर्जा स्तर से इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तरों में करने के लिये पम्पिंग (pumping) की जाती है। लेसर उत्पन्न करने के लिए एक रूबी क्रिस्टल (ruby crystal) का प्रयोग किया जाता है।

प्रश्न 16. निम्नांकित शब्दों की व्याख्या कीजिए— (2015)

(1) संख्या उत्क्रमण (Population Inversion)

(2) पम्पिंग (Pumping)

उत्तर 1. **संख्या उत्क्रमण** यदि किसी प्रकाश के निम्न ऊर्जा स्तर में रहने वाले परमाणुओं की संख्या उसके उत्तेजित परमाणुओं (emitted atoms) की संख्या से अधिक हो तो प्रकाश फोटॉन डालने पर उसका अवशोषण हो जाता है। जब फोटॉन उत्पन्न होने के बजाय उसमें कमी हो जाती है तो इस अवस्था को संख्या उत्क्रमण कहते हैं।

2. **पम्पिंग** पदार्थ के परमाणुओं में संख्या उत्क्रमण को बनाये रखने (to maintain the population inversion) की प्रक्रिया को पम्पिंग (pumping) कहते हैं।

Scanned with CamScanner

प्रश्न 17. MASER से क्या तात्पर्य है? (2011)

उत्तर **MASER** मेसर का पूरा नाम माइक्रोवेव एम्प्लीफिकेशन बाइ स्टिमुलेटिड ऐमिशन ऑफ रेडिएशन (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation) है। मेसर भी लगभग लेसर के नियम पर ही कार्य करता है। जनसंख्या व्युत्क्रमण तथा उद्दीप्ति उत्सर्जन (population inversion and stimulated emission) पर आधारित लेसर का सिद्धान्त सबसे पहले माइक्रोवेव पर ही प्रयुक्त किया गया था। इसे ही मेसर का नाम दिया गया। मेसर द्वारा अदृश्य माइक्रोवेव तरंगों का तीव्र पुँज प्राप्त किया जाता है जैसाकि लेसर में होता है। लेसर की तरह ही मेसर मे भी किसी माध्यम द्वारा उत्तेजित अणुओं की संख्या बढ़ाकर उन पर उपयुक्त आवृत्ति की माइक्रोवेव तरंगें डाली जाती हैं जिससे माइक्रोवेव का उद्दीप्ति उत्सर्जन होने लगता है।

प्रश्न 18. अर्द्धचालक लेसर की कार्य-प्रणाली की व्याख्या कीजिए।

उत्तर **अर्द्धचालक लेसर की कार्य-प्रणाली** हम जानते हैं कि जब p-n संधि के p सिरे को बैटरी के धनात्मक सिरे से तथा n सिरे को बैटरी के ऋणात्मक सिरे से जोड़ते हैं तो मेजोरिटी होल (majority holes) p-क्षेत्र से तथा मेजोरिटी इलेक्ट्रॉन (majority electrones) n-क्षेत्र से, क्रमशः n-क्षेत्र तथा p-क्षेत्र में घुसते हैं। ये होल तथा इलेक्ट्रॉन एक-दूसरे से संयुक्त हो जाते हैं तथा संधि एवं आस-पास के क्षेत्र में ऊर्जा पैदा करते हैं। इस उत्पन्न ऊर्जा को एक्टिवेशन (activation) ऊर्जा कहते हैं। यह ऊर्जा कुछ अर्द्धचालकों में ऊष्मा के रूप में मुक्त होती है तथा कुछ अर्द्धचालकों में प्रकाश के रूप में मुक्त होती है। उत्सर्जित प्रकाश की तरंगदैर्घ्य क्रिस्टल की उत्तेजित ऊर्जा (activated energy) पर निर्भर करती है। इलेक्ट्रॉन तथा होलों (holes) के जुड़ने के समय उत्सर्जित फोटॉन, दूसरे आवेशित वाहकों (charged carriers) से जुड़ने की पहल करते हैं जिसके कारण विकिरण का उत्सर्जन होता है।

अर्द्धचालक लेसर, गैलियम, आर्सेनाइड के क्रिस्टल की कटिंग (cutting) के द्वारा 0.5mm मोटी प्लेट के रूप में निर्मित होती है। प्लेट के एक भाग पर इलेक्ट्रॉन आयन तथा दूसरे भाग पर होल आयन (hole ion) होता है। शुरू में जब इस प्लेट पर निम्न धारा प्रवाहित होती है तो लेसर का विकिरण असमान तथा कला सम्बद्ध होता है, लेकिन जब धारा का घनत्व बढ़ता है तो लेसर का विकिरण समान तथा कला सम्बद्ध होता है जिससे तीव्र तथा उच्च लेसर बीम प्राप्त होती है।

प्रश्न 19. हीलियम-निऑन लेसर पर संक्षिप्त नोट लिखिए।

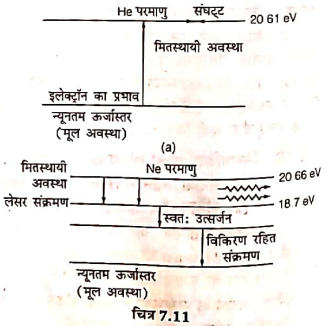
उत्तर **हीलियम-निऑन लैसर** रूबी लेसर (ruby laser) से प्राप्त होने वाली लेसर-किरणें तीव्र होने के बावजूद भी पल्स में होने के कारण, सतत् (continuous) नहीं होती हैं। सतत्-लेसर हेतु He-Ne लेसर प्रयुक्त किये जाते हैं। He-Ne लेसर में He एवं Ne गैसों का मिश्रण प्रयोग किया जाता है।

हीलियम (He)-निऑन लेसर के ऊर्जा स्तर निम्नांकित संलग्न चित्र 7.11 में दर्शाये गये हैं।

जैसे ही क्वार्ट्ज ट्यूब में भरी He-Ne गैस के मिश्रण में विसर्जन होता है, विसर्जन से प्राप्त इलेक्ट्रॉन, He तथा Ne को ground state से क्रमशः 20 तथा 20.66 eV वाली मितस्थायी अवस्था (metastable state) तक पम्पित (pumped) कर देते हैं।

कुछ उत्तेजित He परमाणु अपनी गतिज ऊर्जा Ne परमाणु को देकर, पॉपुलेशन इन्वर्जन (population inversion) में Ne परमाणु की सहायता करते हैं।

जब कोई उत्तेजित (excited) Ne परमाणु अपनी मितस्थायी अवस्था (20 से स्वतः उत्सर्जन द्वारा एक नीची उत्तेजित अवस्था 1.87 eV) में आता है तो एक 6328 Å का फोटॉन उत्सर्जित करता है। यह फोटॉन He-Ne गैस मिश्रण में गति करता है और यदि उसकी गति क्वार्ट्ज-ट्यूब की लम्बाई



चित्र 7.11

के समान्तर है तो वह ट्यूब के सिरों पर लगे दर्पणों द्वारा तब तक परावर्तित होता रहता है जब तक कि वह किसी उत्तेजित Ne परमाणु को उद्दीप्ति (stimulate) नहीं कर देता। इस प्रकार यह फोटॉन Ne परमाणु से 6328 Å का फोटॉन उत्सर्जित करता है जो उद्दीप्ति फोटॉन से कला सम्बद्ध (coherent) होता है।

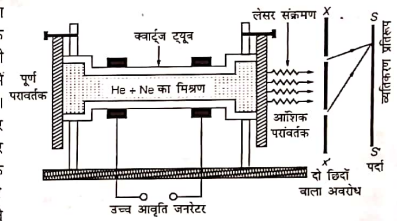
ऊर्जा स्तरों 20.66 eV तथा 18.7 eV के मध्य यह उद्दीप्ति संक्रमण लेसर संक्रमण है। यह प्रक्रिया लगातार चलती रहती है और क्वार्ट्ज ट्यूब में एक कला सम्बद्ध किरण पुँज प्राप्त होता है, जोकि काफी तीव्र (intense) होता है। इस तीव्र किरण पुँज का एक भाग बाहर निकल जाता है।

Ne परमाणु 18.7 eV ऊर्जा स्तर से स्वतः उत्सर्जन द्वारा निम्न मितस्थायी अवस्था में उतरकर ट्यूब की दीवारों से टकराता हुआ अन्ततः मूल अवस्था में पहुँच जाता है। यह विकिरण रहित संक्रमण होता है।

लेसर संक्रमण के मार्ग में दो छिद्रों वाला अवरोधक रखकर चित्रानुसार (चित्र 7.12) पर्दे पर व्यतिकरण प्रारूप प्राप्त किया जा सकता है।

He-Ne गैस लेसर प्राप्त करने का प्रबन्ध चित्र 7.12 में दर्शाया गया है।

एक फ्यूज्ड क्वार्ट्ज ट्यूब में, जिसका व्यास लगभग 6 mm तथा लम्बाई 60 cm होती है, 0.1 mm Hg के दाब पर Ne तथा 1 mm Hg के दाब पर He भरी रहती है। इसमें He परमाणु मेजोरिटी (majority) में तथा Ne परमाणु माइनोरिटी (minority) में होते हैं। He-Ne मिश्रण को एक उच्च आवृत्ति वाले जनरेटर द्वारा उत्तेजित किया जाता है। नली के बायें सिरे पर पूर्ण परावर्तक तथा दायें सिरे पर आंशिक परावर्तक लगा रहता है। XX' दो छिद्रों वाला एक अवरोध तथा SS' स्क्रीन है जिस पर लेसर संक्रमण द्वारा बने व्यतिकरण प्रतिरूप प्राप्त होते हैं।



चित्र 7.12

प्रश्न 20. अतिचालकता सम्बन्धी मूल विचार व्यक्त कीजिए। (2017)

उत्तर कुछ पदार्थ अत्यन्त कम ताप पर पूर्णतः शून्य प्रतिरोधकता पद प्रदर्शित करते हैं। उनके इस गुण को अतिचालकता (superconductivity) कहते हैं। शून्य प्रतिरोधकता की दशा में पदार्थ के भीतर चुम्बकीय क्षेत्र भी शून्य हो जाता है जिसे मेसनर प्रभाव (Meissner effect) के नाम से जाना जाता है।

सुविदित है कि धात्विक चालकों की प्रतिरोधकता उनका ताप घटाने पर घटती जाती है। किन्तु सामान्य चालकों जैसे ताँबा और चाँदी आदि में, अशुद्धियों और दूसरे अपूर्णताओं (defects) के कारण एक सीमा के बाद प्रतिरोधकता में कमी नहीं होती। यहाँ तक कि ताँबा (कॉपर) परम शून्य पर भी अशून्य प्रतिरोधकता प्रदर्शित करता है। इसके विपरीत, अतिचालक पदार्थ का ताप नीचे ले जाने पर, इसकी प्रतिरोधकता तेजी से शून्य हो जाती है। अतिचालक तार से बने हुए किसी बंद परिपथ की विद्युत धारा किसी विद्युत स्रोत के बिना सदा के लिए स्थिर रह सकती है।

अतिचालकता एक प्रमात्रा-यांत्रिक दृग्विषय (quantum mechanical phenomenon) है। अतिचालक पदार्थ बकीयपरिलक्ष भी प्रभाव प्रदर्शित करते हैं। इन सबका ताप-वैद्युत-बल शून्य होता है और टामसन-गुणांक बराबर होता है। संक्रमण ताप पर इनकी विशिष्ट उष्मा में भी अकस्मात् परिवर्तन हो जाता है।

यह विशेष उल्लेखनीय है कि जिन परमाणुओं में बाह्य इलेक्ट्रॉनों की संख्या 5 अथवा 7 है उनमें संक्रमण ताप उच्चतम होता है और अतिचालकता का गुण भी उत्कृष्ट होता है।

Scanned with CamScanner

8 चुम्बकीय पदार्थ एवं उनके गुण
Magnetic Materials and Their Properties

खण्ड 'अ' : अतिलघु उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. निम्न के मात्रक लिखिए—चुम्बकीय फ्लक्स, चुम्बकन तीव्रता, आपेक्षिक चुम्बकशीलता, चुम्बकीय प्रेरण (B).

उत्तर चुम्बकीय फ्लक्स—वेबर, चुम्बकन तीव्रता—ऐम्पियर/मीटर, आपेक्षिक चुम्बकशीलता—कोई मात्रक नहीं, चुम्बकीय प्रेरण (B)—वेबर/मी^{2}।

प्रश्न 2. किसी चालक की चालकता क्या है व सुपर चालक की परिभाषा लिखिए?

उत्तर किसी चालक की चालकता $G = \frac{1}{R}$ है, जहाँ R प्रतिरोध है।

"सुपर चालक वे चालक हैं जिनकी चालकता (G) का मान अनन्त होता है।"

प्रश्न 3. चुम्बकीय क्षेत्र में संचित ऊर्जा का सूत्र लिखिए।

उत्तर संचित ऊर्जा $(U) = \frac{1}{2}BHV$. जहाँ B = चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व, H = चुम्बकीय क्षेत्र तथा V = आयतन है।

प्रश्न 4. प्रति, अनु व लौह चुम्बकीय पदार्थों पर टिप्पणी लिखिए। (2017)

उत्तर

(i) **प्रतिचुम्बकीय पदार्थ** ये वे पदार्थ हैं जो चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर चुम्बकीय क्षेत्र की विपरीत दिशा में मामूली से चुम्बकित हो जाते हैं। इस गुण को प्रतिचुम्बकत्व कहते हैं। यदि ये पदार्थ शक्तिशाली चुम्बक के सिरे के पास लाए जाते हैं तो प्रतिकर्षित हो जाते हैं।

(ii) **अनुचुम्बकीय पदार्थ** ये वे पदार्थ हैं जो चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर चुम्बकीय क्षेत्र की ही दिशा में मामूली रूप से चुम्बकित हो जाते हैं। इस गुण को अनुचुम्बकत्व कहते हैं। यदि ये पदार्थ शक्तिशाली चुम्बक के सिरे के पास लाए जाते हैं तो सिरे की ओर धीरे से आकर्षित हो जाते हैं।

(iii) **लौहचुम्बकीय पदार्थ** ये वे पदार्थ हैं जो चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की दिशा में ही 'प्रबल रूप' में चुम्बकित हो जाते हैं।

प्रश्न 5. मेसनर प्रभाव पर टिप्पणी लिखिए।

उत्तर क्रान्तिक ताप से कम ताप पर चालक में उपस्थित चुम्बकीय फ्लक्स, चालक पदार्थ से बाहर आ जाता है अर्थात् $B = 0$, इस प्रभाव को मेसनर प्रभाव कहते हैं।

प्रश्न 6. प्रति, अनु व लौहचुम्बकीय पदार्थों के उदाहरण लिखिए। (2017)

उत्तर प्रतिचुम्बकीय पदार्थ—ताँबा, चाँदी, नाइट्रोजन।
अनुचुम्बकीय पदार्थ—ऐलुमिनियम, ऑक्सीजन।
लौहचुम्बकीय पदार्थ—निकिल, कोबाल्ट, लोहा।

प्रश्न 7. लोहे के अतिरिक्त अन्य दो लौह चुम्बकीय पदार्थों के नाम लिखिए।

उत्तर निकिल, कोबाल्ट।

प्रश्न 8. चुम्बकीय पदार्थ किन्हें कहते है?

उत्तर जिन पदार्थों को चुम्बक अपनी ओर आकर्षित करता है, चुम्बकीय पदार्थ कहलाते हैं; जैसे—लोहे की कील।

प्रश्न 9. लौहचुम्बकीय पदार्थों के लिए क्यूरी-ताप का अभिप्राय समझाइए।

उत्तर जब लौह चुम्बकीय पदार्थ को गर्म किया जाता है तो एक निश्चित ताप पर ऊष्मीय विक्षोभ के कारण उसका लौह चुम्बकत्व का गुण लुप्त हो जाता है और वह अनुचुम्बकीय पदार्थ में परिवर्तित हो जाता है। पदार्थ को ठण्डा करने पर वह पुनः लौहचुम्बकीय पदार्थ बन जाता है। "**वह निश्चित ताप, जिसके नीचे पदार्थ लौहचुम्बकीय तथा जिसके ऊपर अनुचुम्बकीय बन जाता है, क्यूरी-ताप कहलाता है।**"

भिन्न-भिन्न पदार्थों के लिए इसका मान भी भिन्न-भिन्न होता है; जैसे—लोहे के लिए क्यूरी-ताप 770°C तथा निकिल के लिए यह ताप 358°C है।

बहुविकल्पीय प्रश्न

प्रश्न 10. अधिकांश पदार्थ कौन-सा चुम्बकत्व प्रदर्शित करते है? (2019)
(अ) प्रतिचुम्बकत्व (ब) अनुचुम्बकत्व (स) लौह चुम्बकत्व

उत्तर (अ) प्रतिचुम्बकत्व

प्रश्न 11. चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न किया जा सकता है— (2019)
(अ) गतिमान आवेश से (ब) परिवर्तित वैद्युत क्षेत्र से (स) इन दोनों से

उत्तर (स) इन दोनों से

खण्ड 'ब' : लघु एवं दीर्घ उत्तरीय प्रश्न

प्रश्न 1. चुम्बकीय परिपथ की तुलना विद्युत परिपथ से कीजिए।

उत्तर

चुम्बकीय तथा विद्युत परिपथ की तुलना

क्र०सं०	चुम्बकीय परिपथ	विद्युत परिपथ
1.	चुम्बकीय फ्लक्स (magnetic flux) ϕ $\phi = \frac{NI}{S}$	विद्युत धारा (electric current) I $I = \frac{E}{R}$
	स्थापित होता है, प्रवाहित नहीं।	प्रवाहित होती है।
2.	प्रतिष्टम्भ (reluctance) S $S = \frac{1}{\mu_0\mu_r} \cdot \frac{l}{A}$ हेनरी	प्रतिरोध (resistance) R $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$ ओम
3.	चुम्बकीय वाहक बल (Magnetic Motive Force m.m.f.) M $M = \phi S$	विद्युत वाहक बल (e.m.f.) E $E = IR$
4.	फ्लक्स घनत्व, $B = \frac{\phi}{A}$ वेबर/मीटर^2	धारा घनत्व $J = \frac{I}{A}$ ऐम्पियर/मी^{2}
5.	इस परिपथ में प्रवेशता $P = \frac{1}{S}$ वेबर/ऐम्पियर टर्न	इस परिपथ की चालकता $G = \frac{1}{R}$ म्हो
6.	चुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकशीलता = μ हेनरी/मीटर	चालक की चालकशीलता = σ म्हो/मीटर
7.	विशिष्ट प्रतिष्टम्भ (specific reluctance) $K = \frac{1}{\mu}$ हेनरी मीटर	विशिष्ट प्रतिरोध (specific resistance) $\rho = \frac{1}{\sigma}$ ओम-मीटर

Scanned with CamScanner

प्रश्न 2. 'चुम्बकीय प्रतिष्टम्भ' से क्या तात्पर्य है?

उत्तर **चुम्बकीय प्रतिष्टम्भ** जिस प्रकार विद्युत परिपथ में विद्युत धारा के प्रवाह का विरोध करने वाली राशि को प्रतिरोध (R) कहते हैं, उसी प्रकार चुम्बकीय परिपथ में चुम्बकीय फ्लक्स (magnetic flux) की स्थापना का विरोध करने वाली राशि को **चुम्बकीय प्रतिष्टम्भ** (magnetic reluctance) कहते हैं। इसे S से निरूपित करते हैं। S.I. प्रणाली में इसका मात्रक ऐम्पियर-टर्न/वेबर या हेनरी (henry) है। इसे गणितीय रूप में अग्र सूत्र द्वारा प्रदर्शित किया जाता है

चुम्बकीय प्रतिष्टम्भ, $S = \dfrac{l}{\mu_0 \cdot \mu_r A}$

जहाँ l = चुम्बकीय परिपथ की लम्बाई,

A = परिपथ का क्षेत्रफल,

μ_r = चुम्बकीय पदार्थ की सापेक्षिक चुम्बकशीलता

μ_0 = निर्वात् या वायु में चुम्बकीय पदार्थ की चुम्बकशीलता ($= 4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

प्रश्न 3. चुम्बकीय क्षेत्र में संचित ऊर्जा पर एक संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।

उत्तर **चुम्बकीय क्षेत्र में संचित ऊर्जा** जिस प्रकार विद्युत परिपथ (electric circuit) में धारा को उत्पन्न करने के लिए व उसे बनाए रखने के लिए ऊर्जा चाहिए, उसी प्रकार चुम्बकीय परिपथ (magnetic circuit) में फ्लक्स को उत्पन्न करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है, परन्तु चुम्बकीय फ्लक्स को बनाए रखने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती है; क्योंकि फ्लक्स परिपथ में प्रवाहित नहीं होता है।

अत: "चुम्बकीय फ्लक्स को परिपथ में उत्पन्न करने के लिए परिपथ को दी गई विद्युत ऊर्जा ही, चुम्बकीय ऊर्जा में परिवर्तित होकर चुम्बकीय क्षेत्र में संचित हो जाती है।"

चुम्बकीय क्षेत्र में संचित ऊर्जा $U = \dfrac{1}{2}BHV$

जहाँ, B = फ्लक्स घनत्व, V = आयतन, H = चुम्बकीय क्षेत्र, U का मात्रक 'जूल' होता है।

चुम्बकीय क्षेत्र में प्रति एकांक आयतन में संचित ऊर्जा $\dfrac{U}{V} = \dfrac{1}{2}BH$, जहाँ $\dfrac{U}{V}$ का मात्रक 'जूल/मी^{3}' है।

या $$\frac{U}{V} = \frac{1}{2}\frac{B^2}{\mu_0 \mu_r}$$

जहाँ μ_r 'आपेक्षिक चुम्बकशीलता' व μ_0 वायु या निर्वात् की चुम्बकशीलता है।

प्रश्न 4. 'सुपर चालकता' से क्या तात्पर्य है? विवेचना कीजिए। इसके क्या उपयोग है?

अथवा **अतिचालकता सम्बन्धी मूल विचार व्यक्त कीजिए।** (2017)

उत्तर ओम के नियमानुसार, $i \propto V = GV = \dfrac{1}{R}V$

अर्थात् $$G = \frac{1}{R}$$ (प्रतीकों के अर्थ सामान्य हैं)

यहाँ G एक स्थिरांक है जिसे चालक की चालकता (conductivity) कहते हैं। यह चालक या विद्युत परिपथ का वह गुण है जो विद्युत धारा के प्रवाह में सहायता प्रदान करता है। G, प्रतिरोध R का विलोम है; अत: R का मान जितना कम होगा, G का मान उतना ही अधिक होगा और वह चालक उतना ही अधिक अच्छा चालक (good conductor) होगा। R का मान शून्य होने पर G का मान अनन्त हो जायेगा और चालक सुपर चालक (super conductor) हो जायेगा। सुपर चालक के प्रयोग से विद्युत-ट्रान्समिशन में, ऊष्मा ह्रास से होने वाली भीषण ऊर्जा-हानि (energy loss) से बचा जा सकता है।

हम जानते हैं कि अधिकतर धातुओं की प्रतिरोधकता (resistivity) ताप पर निर्भर करती है तथा ताप बढ़ाने पर बढ़ती और ताप घटाने पर घटती है।

यह अनुमान लगाया गया है कि 0 K (या –273°C) पर कुछ चालकों की प्रतिरोधकता शून्य हो जाती है और ये चालक सुपर चालकता (super conductivity) प्राप्त कर लेते हैं।

अत: चालक की वह स्थिति जिसमें इसकी प्रतिरोधकता शून्य हो जाती है और चालक सुपर चालक (super conductor) हो जाता है, **सुपर चालकता** (super conductivity) कहलाती है।

उदाहरणार्थ पारा (mercury) 4.2 K (–269° C) पर सुपर चालक बन जाता है।

यह देखा गया है कि वह न्यूनतम ताप (minimum temperature) जिस पर किसी चालक पदार्थ की प्रतिरोधकता शून्य हो जाती है, प्रत्येक चालक पदार्थ के लिए अलग-अलग होता है तथा पदार्थ के क्रांतिक ताप (critical temperature) से कम होता है।

क्रांतिक ताप (critical temperature) उस न्यूनतम ताप को कहते हैं जिससे कम ताप पर चालक पदार्थ की प्रतिरोधकता शून्य हो जाती है।

सर्वप्रथम सन् 1911 में सुपर चालकता की खोज **कैमरालिंग ओन्स** ने की थी। उन्होंने लीडन विश्वविद्यालय-नीदरलैण्ड (Leydon University Netherland) में पारे (mercury) की प्रतिरोधकता पर ताप के प्रभाव का अध्ययन किया। उन्होंने पाया कि ताप घटाने पर पारे की प्रतिरोधकता सामान्य रूप से कम होती है, परन्तु 4.2 K ताप पर वह एकाएक शून्य (लगभग) हो जाती है तथा पारा सुपर चालक हो जाता है। उन्होंने यह प्रयोग पारे के छल्ले (mercury ring) पर किया और पाया कि 4.2 K पर धारा प्रयुक्त करने पर, वह छल्ले में, कई वर्षों तक बिना ऊर्जा ह्रास के निरन्तर प्रवाहित होती रही।

शोधकर्त्ताओं ने प्रयोगों के आधार पर बताया कि निओबियम (Nb) तथा टिन (Sn) की मिश्रधातु (alloy); जैसे—निओबियम, स्टेनाइड (Nb_3Sn) एवं निओबियम तथा जिरकोनियम की मिश्रधातु भी सुपर चालकता को प्रदर्शित करते हैं।

सुपर चालकता पर अभी तक पूर्णत: शोध कार्य नहीं हो सका है। निम्नतम ताप पर ही इसका शोध निर्भर है जो एक दुरुह कार्य है। यद्यपि विकसित देशों के साथ ही भारत सहित तमाम विकासशील देशों में भी सुपर चालकता पर शोध कार्य किया जा रहा है। भारत में नेशनल फिजिकल लैबोरेटरी (N.P.L.) में भी इस पर शोध कार्य चल रहा है।

उपयोग सुपर चालकता के उपयोग निम्नलिखित हैं

1. सुपर चालक के प्रयोग से विद्युत ट्रान्समिशन में होने वाली भीषण लाइन-हानि (line loss) से बचा जा सकता है। ज्ञातव्य है कि लगभग 40% विद्युत ऊर्जा विद्युत ट्रान्समिशन में होने वाली ऊष्मा-ह्रास (heat loss) में व्यय हो जाती है।
2. सुपर चालक के प्रयोग से उच्च क्षमता की विद्युत मशीनों तथा केबल आदि का आकार बहुत छोटा किया जा सकता है।
3. डिजिटल कम्प्यूटरों में इसका प्रयोग किया जा सकता है।
4. उच्च शक्ति के विद्युत-चुम्बक बनाने के लिए इसका प्रयोग किया जाता है।

प्रश्न 5. 'मैसनर-प्रभाव' किसे कहते है?

उत्तर **मैसनर-प्रभाव** किसी चालक की चालकता बढ़ाने के लिए या उसे सुपर चालक बनाने के लिए उसकी प्रतिरोधकता लगभग शून्य होनी चाहिए। दूसरे शब्दों में, सुपर चालक की प्रतिरोधकता लगभग शून्य ($\rho = 0$) होती है। सन् 1933 में वैज्ञानिक **मैसनर** (Meissner) तथा **ओचेन-फील्ड** (Ochsen Field) ने प्रयोगों के आधार पर बताया कि जब किसी चालक पदार्थ को सुपर चालक बनाने के लिए, चुम्बकीय क्षेत्र (magnetic field) में रखकर उसका ताप घटाया जाता है, तब क्रान्तिक ताप से कम ताप पर, **पदार्थ में उपस्थित चुम्बकीय फ्लक्स, चालक पदार्थ से बाहर आ** जाता है अर्थात् फ्लक्स घनत्व समाप्त ($B = 0$) हो जाता है। इस प्रभाव को **मैसनर-प्रभाव** (Meissner's effect) कहते हैं।

Scanned with CamScanner

$B = 0$ होने का अर्थ है कि सुपर चालकता हेतु पदार्थ की सापेक्ष चुम्बकशीलता शून्य ($\mu_r = 0$) होनी चाहिए, अर्थात् उपरोक्त विवेचना से स्पष्ट है कि सुपर चालकता हेतु निम्न दो गुण आवश्यक हैं

1. चालक की प्रतिरोधकता शून्य हो, अर्थात् $\rho = 0$
2. चालक का चुम्बकीय फ्लक्स घनत्व शून्य हो अर्थात् $B = 0$.

प्रश्न 6. फेराइट्स क्या हैं? इनके व्यावहारिक उपयोगों का वर्णन कीजिए।

अथवा **फेराइट्स क्या होते हैं? उनके गुणों को बताइए।** (2015)

उत्तर फेराइट्स लौहचुम्बकीय (ferromagnetic) अर्द्धचालक होते हैं जो मृदु चुम्बकीय पदार्थ (soft magnetic material) की श्रेणी में आते हैं। इनका प्रतिरोध (resistivity) धात्वीय (metallic) लौहचुम्बकीय पदार्थों की तुलना में बहुत अधिक (लगभग 10^9 गुना) होता है। इनका रासायनिक सूत्र प्रायः $MeFe_2O_4$ प्रकार का होता है जिसमें Me द्वि-संयोजी धातु (जैसे-Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mg, Cd आदि) होती है। इस प्रकार बने फेराइट के गुण इन विस्थापित धातुओं के गुणों पर आधारित होते हैं। **उदाहरणार्थ**—यदि परमाणुओं को Cd या Zn से विस्थापित किया जाये तो प्राप्त **फेराइट अचुम्बकीय** होता है, जबकि अन्य किसी धातु से विस्थापित करने पर प्राप्त फेराइट चुम्बक बन जाता है। यदि एक ही समय में Fe के परमाणुओं को दो द्वि-संयोजी धातु के परमाणुओं, जैसे-Cu + Zn, Mn + Zn, Ni + Zn आदि द्वारा विस्थापित कर दिया जाये तो प्राप्त पदार्थ **सम्मिश्र फेराइट** (mixed ferrites) कहलाता है। फेराइट्स निम्न दो प्रकार के होते हैं

1. मृदु फेराइट्स (soft ferrites) तथा 2. कठोर फेराइट्स (hard ferrites)

1. **मृदु फेराइट्स** इन्हें सिरेमिक (ceramic) तकनीकी द्वारा आयरन ऑक्साइड (Fe_2O_3) में द्वि-संयोजी ऑक्साइड; जैसे-ZnO, MnO या NiO को मिलाकर बनाया जाता है।
2. **कठोर फेराइट्स** इनका प्रयोग स्थायी चुम्बक बनाने के लिए किया जाता है; जैसे-आयरन ऑक्साइड (Fe_2O_3) में BaO मिलाने से $BaO(Fe_2O_3)_6$ फेराइट प्राप्त होता है जो भार में हल्का होता है। इसमें मृदु फेराइट के सभी गुण होते हैं।

फेराइट्स के गुण फेराइट्स के गुण निम्नलिखित हैं—

(i) इनकी प्रतिरोधकता (resistivity) धात्वीय लौहचुम्बकीय पदार्थों की तुलना में बहुत अधिक (लगभग 10^9 गुना) होती है।

(ii) इनका शैथिल्य लूप वर्गाकार होता है तथा ये विचुम्बकन रोधक होते हैं।

(iii) आश्चर्यजनक लौहचुम्बकीय गुण होने के कारण विद्युत कुचालक होते हैं।

उपयोग फेराइट्स के उपयोग निम्नलिखित हैं—

(i) फेराइट्स उन युक्तियों (devices) के चुम्बकीय परिपथों में प्रयोग में लाये जाते हैं, जोकि उच्च आवृत्तियों (high frequencies) में कार्य करते हैं। जैसे-टेलीविजन में प्रयुक्त होने वाले उच्च आवृत्ति के ट्रान्सफॉर्मर के क्रोड (core) में।

(ii) इनके उपयोग से भँवर हानि (eddy loss) बहुत कम होती है।

(iii) इनके उपयोग इलेक्ट्रोमेकैनिकल ट्रान्सड्यूसर्स में किया जाता है।

(iv) इनका उपयोग लाउडस्पीकरों के चुम्बक, इलेक्ट्रिक मोटर, फोकसिंग मैग्नेट तथा कम्प्यूटर में मैमोरी कोर की भाँति किया जाता है।

प्रश्न 7. शैथिल्य लूप के उपयोगों का वर्णन कीजिए।

उत्तर शैथिल्य लूप के उपयोग निम्नलिखित हैं—

1. किसी लौह चुम्बकीय पदार्थ को चक्रीय रूप से चुम्बकित करने में पदार्थ के प्रति एकांक आयतन क्षय ऊर्जा का मान $B-H$ लूप के क्षेत्रफल के बराबर होता है। अतः शैथिल्य लूप का आकार व्यय ऊर्जा प्रदर्शित करता है। जिस पदार्थ का शैथिल्य लूप जितना पतला होता है, उसमें प्रति एकांक आयतन क्षय ऊर्जा उतनी ही कम होती है।

2. स्टील की निग्राहिता (coercivity) लोहे की अपेक्षा बहुत अधिक होती है, परन्तु इसकी धारणीयता लोहे की अपेक्षा कम होती है। इसीलिए उच्च निग्राहिता तथा उचित धारणीयता होने के कारण स्टील का प्रयोग स्थायी चुम्बक बनाने में किया जाता है। मृदु लोहे का उपयोग चुम्बक बनाने के लिए नहीं किया जाता। स्टील के लूप का क्षेत्रफल अधिक होता है; अतः इसमें शैथिल्य हानि अधिक होती है। परन्तु इस दुर्गुण का स्थायी चुम्बक बनाने से कोई विशेष सम्बन्ध नहीं है; क्योंकि स्थायी चुम्बक को कभी भी चुम्बकन चक्र से नहीं गुजरना पड़ता।

प्रश्न 8. प्रति, अनु और लौह चुम्बकीय पदार्थों पर टिप्पणी लिखिए।

उत्तर बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में पदार्थों को रखकर उनके व्यवहार के आधार पर पदार्थों को निम्नलिखित तीन वर्गों में विभाजित किया गया है—(1) प्रतिचुम्बकीय पदार्थ, (2) अनुचुम्बकीय पदार्थ तथा (3) लौहचुम्बकीय पदार्थ।

1. **प्रतिचुम्बकीय पदार्थ** "वे पदार्थ जो, बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की विपरीत दिशा में क्षीण चुम्बकत्व प्राप्त कर लेते हैं तथा जब इन पदार्थों को किसी शक्तिशाली चुम्बक के सिरे के समीप लाया जाता है तो ये उस सिरे की ओर कुछ प्रतिकर्षित होते हैं, **प्रतिचुम्बकीय पदार्थ** कहलाते हैं।" पदार्थों के इस गुण को **प्रतिचुम्बकत्व** कहते हैं; जैसे—बिस्मथ (Bi), ऐण्टिमनी (Sb), सोना (Au), जस्ता (Zn), ताँबा (Cu), चाँदी (Ag), नाइट्रोजन (N_2), हाइड्रोजन (H_2), नमक (NaCl), जल (H_2O), पारा (Hg), हीरा (C) आदि।

गुण इन पदार्थों के गुण निम्नलिखित हैं—

(i) जब इन पदार्थों की छड़ को चुम्बकीय ध्रुवों के बीच स्वतन्त्रतापूर्वक लटकाते हैं तो छड़ का अक्ष घूमकर चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् हो जाता है। छड़ के सिरों पर उत्पन्न ध्रुव, सम्मुख चुम्बकीय ध्रुवों के समान ही होते हैं।

(ii) जब इन पदार्थों के घोल को U-नली में भरकर, नली की एक भुजा को प्रबल चुम्बकीय ध्रुवों के बीच रखते हैं तो उस भुजा में घोल का तल गिर जाता है।

(iii) जब इन पदार्थों को असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो ये अधिक तीव्रता वाले भाग से कम तीव्रता वाले भाग की ओर आकर्षित होते हैं।

(iv) इनकी चुम्बकीय प्रवृत्ति ताप पर निर्भर नहीं करती है।

(v) इनकी आपेक्षिक चुम्बकशीलता 1 से थोड़ा कम एवं शून्य से अधिक होती है।

(vi) इनके लिए कोई क्यूरी-बिन्दु नहीं होता है।

(vii) इनकी चुम्बकीय प्रवृत्ति ऋणात्मक एवं कम होती है।

2. **अनुचुम्बकीय पदार्थ** "वे पदार्थ,जो बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की दिशा में क्षीण चुम्बकत्व प्राप्त कर लेते हैं तथा जब इन पदार्थों को किसी शक्तिशाली चुम्बक के सिरे के समीप लाया जाता है तो ये उस सिरे की ओर आकर्षित होते हैं, **अनुचुम्बकीय पदार्थ** कहलाते हैं।" पदार्थों के इस गुण को **अनुचुम्बकत्व** कहते हैं; जैसे—प्लैटिनम (Pt), ऐलुमिनियम (Al), सोडियम (Na), क्रोमियम (Cr), मैंगनीज (Mn), ऑक्सीजन (O_2) आदि।

गुण इन पदार्थों के गुण निम्नलिखित हैं—

(i) जब इन पदार्थों की छड़ को चुम्बकीय ध्रुवों के बीच स्वतन्त्रतापूर्वक लटकाते हैं तो छड़ का अक्ष घूमकर चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर हो जाता है। छड़ के सिरों पर उत्पन्न ध्रुव, सम्मुख चुम्बकीय ध्रुवों के विपरीत होते हैं।

(ii) जब इन पदार्थों के घोल को U-नली में भरकर, नली की एक भुजा को प्रबल चुम्बकीय ध्रुवों के बीच रखते हैं तो उस भुजा में घोल का तल ऊपर उठ जाता है।

(iii) जब इन पदार्थों को असमान चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो ये कम तीव्रता वाले भाग से अधिक तीव्रता वाले भाग की ओर आकर्षित होते हैं।

(iv) इनकी चुम्बकीय प्रवृत्ति परम ताप के व्युत्क्रमानुपाती होती है।

(v) इनकी आपेक्षिक चुम्बकशीलता 1 से थोड़ा अधिक एवं 2 से कम होती है।

(vi) इनके लिए क्यूरी-बिन्दु नियत नहीं होता है।

(vii) इनकी चुम्बकीय प्रवृत्ति धनात्मक एवं कम होती है।

Scanned with CamScanner

3. **लौह चुम्बकीय पदार्थ** "वे पदार्थ, जो बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं तथा जब इन पदार्थों को किसी शक्तिशाली चुम्बक के सिरे के समीप लाया जाता है तो ये तेजी से उस सिरे की ओर आकर्षित होते हैं, **लौहचुम्बकीय पदार्थ** कहलाते हैं।" पदार्थों के इस गुण को **लौहचुम्बकत्व** कहते हैं; जैसे—लोहा (Fe), कोबाल्ट (Co), निकिल (Ni), मैग्नेटाइट (Fe_3O_4) आदि।

गुण इन पदार्थों के गुण निम्नलिखित हैं—

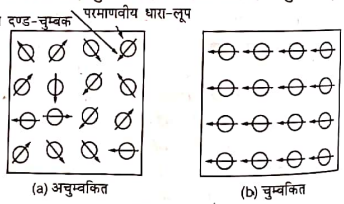
(i) ये पदार्थ चुम्बक द्वारा आकर्षित कर लिए जाते हैं।
(ii) इन पदार्थों में अनुचुम्बकीय पदार्थों के सभी गुण अधिक प्रबलता से पाए जाते हैं।
(iii) इनकी चुम्बकीय प्रवृत्ति ताप बढ़ने पर कम तथा ताप घटने पर अधिक हो जाती है।
(iv) इनकी आपेक्षिक चुम्बकशीलता 1 से बहुत अधिक होती है।
(v) इनके लिए क्यूरी-बिन्दु नियत होता है।
(vi) इनकी चुम्बकीय प्रवृत्ति धनात्मक एवं अधिक होती है।

प्रश्न 9. चुम्बकत्व के परमाणविक मॉडल सिद्धान्त के आधार पर अनुचुम्बकीय, प्रतिचुम्बकीय तथा लौहचुम्बकीय पदार्थों में अन्तर की व्याख्या कीजिए।

अथवा **डोमेन सिद्धान्त के आधार पर लौह चुम्बकत्व की व्याख्या कीजिए। किन्हीं दो लौहचुम्बकीय पदार्थों के नाम लिखिए।** (2019)

उत्तर 1. **प्रतिचुम्बकीय पदार्थ** कुछ पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की विपरीत दिशा मे क्षीण चुम्बकत्व प्राप्त कर लेते हैं। इन्हें **प्रतिचुम्बकीय पदार्थ** कहते हैं तथा इनके इस गुण को '**प्रतिचुम्बकत्व**' कहते हैं। बिस्मथ, ऐण्टीमनी, सोना, पानी, ऐल्कोहॉल, जस्ता, ताँबा, चाँदी, हीरा, नमक, पारा, इत्यादि प्रतिचुम्बकीय पदार्थ हैं।

प्रतिचुम्बकत्व की व्याख्या प्रतिचुम्बकत्व का गुण प्रायः उन पदार्थों के अणुओं अथवा परमाणुओं में पाया जाता है जिनमें इलेक्ट्रॉनों की संख्या सम (even) होती है तथा दो-दो इलेक्ट्रॉन मिलकर युग्म बना लेते हैं। प्रत्येक युग्म में एक इलेक्ट्रॉन का चक्रण दूसरे इलेक्ट्रॉन के चक्रण की विपरीत दिशा में होता है जिससे ये एक-दूसरे के चुम्बकीय आघूर्ण को निरस्त कर देते हैं। अतः **प्रतिचुम्बकीय पदार्थ के परमाणु का नेट चुम्बकीय आघूर्ण शून्य होता है।** जब ऐसे पदार्थ को किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो युग्म के एक इलेक्ट्रॉन का चक्रण धीमा तथा दूसरे का त्वरित हो जाता है। अब युग्म के इलेक्ट्रॉन एक-दूसरे के चुम्बकीय प्रभाव को निरस्त नहीं कर पाते और परमाणु में चुम्बकीय आघूर्ण प्रेरित हो जाता है जिसकी दिशा बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के विपरीत होती है; अर्थात् पदार्थ बाह्य क्षेत्र की विपरीत दिशा में चुम्बकित हो जाता है। ताप के बदलने पर इन पदार्थों के प्रतिचुम्बकत्व गुण पर कोई प्रभाव नहीं होता।



चित्र 8.1

2. **अनुचुम्बकीय पदार्थ** कुछ पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की दिशा में क्षीण चुम्बकत्व प्राप्त कर लेते हैं, इन्हें **अनुचुम्बकीय पदार्थ** कहते हैं तथा इनके इस गुण को '**अनुचुम्बकत्व**' कहते हैं। प्लैटिनम, ऐलुमिनियम, सोडियम, क्रोमियम, मैंगनीज, कॉपर सल्फेट इत्यादि अनुचुम्बकीय पदार्थ हैं।

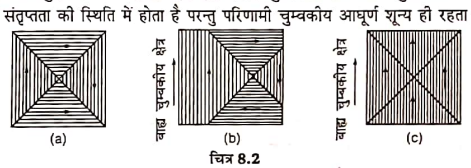
अनुचुम्बकत्व की व्याख्या अनुचुम्बकत्व का गुण उन पदार्थों में पाया जाता है जिनके परमाणुओं या अणुओं में कुछ ऐसे आधिक्य इलेक्ट्रॉन होते हैं जिनका चक्रण एक ही दिशा में होता है। अतः प्रत्येक परमाणु में स्थायी चुम्बकीय आघूर्ण होता है और वह एक सूक्ष्म दण्ड चुम्बक की भाँति व्यवहार करता है जिसे '**परमाणवीय चुम्बक**' कहते हैं। परन्तु किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में ये पदार्थ कोई चुम्बकीय प्रभाव नहीं दिखाते। इसका कारण परमाणवीय चुम्बकों का अनियमित रूप से अभिविन्यसित (randomly oriented) होना

है। बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर प्रत्येक परमाणवीय चुम्बक पर एक बल-आघूर्ण कार्य करता है जिससे ये क्षेत्र की दिशा में संरेखित हो जाते हैं। इस प्रकार पूरा पदार्थ क्षेत्र की दिशा में चुम्बकीय आघूर्ण प्राप्त कर लेता है; अर्थात् क्षेत्र की दिशा में चुम्बकित हो जाता है (चित्र 8.1)।

ऊष्मीय विक्षोभ के कारण चुम्बकीय संरेखण कम होता है जिससे अनुचुम्बकीय पदार्थों में चुम्बकन बहुत कम हो पाता है। बाह्य क्षेत्र की तीव्रता बढ़ाने पर अथवा ताप घटाने पर चुम्बकन बढ़ जाता है।

3. **लौहचुम्बकीय पदार्थ** कुछ पदार्थ चुम्बकीय क्षेत्र में रखे जाने पर क्षेत्र की दिशा में प्रबल रूप से चुम्बकित हो जाते हैं, इन्हें **लौहचुम्बकीय पदार्थ** कहते हैं। लोहा, कोबाल्ट, निकिल, मैग्नेटाइट (Fe_3O_4) इत्यादि लौहचुम्बकीय पदार्थ हैं।

लौहचुम्बकत्व की व्याख्या (डोमेन सिद्धान्त) अनुचुम्बकत्व तथा लौहचुम्बकत्व में केवल तीव्रता का अन्तर होता है। वास्तव में लौहचुम्बकीय पदार्थ ऐसे अनुचुम्बकीय पदार्थ हैं जिनका चुम्बकीय क्षेत्र में चुम्बकन अत्यन्त तीव्र होता है। लौहचुम्बकीय पदार्थों का भी प्रत्येक परमाणु एक चुम्बक होता है और यह एक स्थायी चुम्बकीय आघूर्ण रखता है, परन्तु लौहचुम्बकीय पदार्थों के परमाणुओं की कुछ अन्योन्यक्रियाओं के कारण पदार्थों के भीतर परमाणुओं के असंख्य अतिसूक्ष्म आकार के प्रभावी क्षेत्र बन जाते हैं, जिन्हें **डोमेन** कहते हैं। प्रत्येक डोमेन में 10^{17} से 10^{21} तक परमाणु होते हैं जिनकी चुम्बकीय अक्षें एक ही दिशा में संरेखित होती हैं (परन्तु पास वाले डोमेनों के परमाणुओं से भिन्न दिशा में)। इस प्रकार चुम्बकीय क्षेत्र की अनुपस्थिति में भी प्रत्येक डोमेन चुम्बकीय संतृप्तता की स्थिति में होता है परन्तु परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण शून्य ही रहता है।



चित्र 8.2

लौहचुम्बकीय पदार्थों को किसी बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में रखने पर पदार्थ का परिणामी चुम्बकीय आघूर्ण निम्नलिखित दो प्रकार से बढ़ सकता है—

1. **डोमेन की परिसीमाओं के विस्थापन द्वारा** बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में संरेखित डोमेनों के आकार में वृद्धि होती है, जबकि अन्य दिशाओं मे अभिविन्यस्त डोमेनों के आकार छोटे हो जाते हैं।
जब बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र दुर्बल हो जाता है तो लौहचुम्बकीय पदार्थों का चुम्बकन प्रायः डोमेनों की परिसीमाओं के विस्थापन द्वारा होता है। इस स्थिति में चुम्बकन की क्रिया उत्क्रमणीय होती है; अर्थात् चुम्बकीय क्षेत्र हटा लेने पर डोमेन अपनी पूर्वावस्था में वापस आ जाते हैं। अतः पदार्थ पूर्णतः विचुम्बकित हो जाता है।
2. **डोमेनों के घूर्णन द्वारा** डोमेन इस प्रकार घूम जाते हैं कि इनके चुम्बकीय आघूर्ण बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा में हो जाते हैं जिससे प्रबल चुम्बकत्व प्राप्त हो जाता है।

बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र के दुर्बल होने पर इन पदार्थों मे चुम्बकन डोमेनों की परिसीमाओं के विस्थापन द्वारा होता है, परन्तु प्रबल बाह्य चुम्बकीय क्षेत्र में इन पदार्थों का चुम्बकन डोमेनों के घूर्णन द्वारा होता है। बाह्य क्षेत्र यदि क्षीण है तो उसे हटा लेने पर डोमेन अपनी मूल स्थितियों में आ जाते हैं और पदार्थ का चुम्बकत्व समाप्त हो जाता है। यदि बाह्य क्षेत्र तीव्र है तो चुम्बकीय क्षेत्र को हटा लेने पर पदार्थ पूर्णतः विचुम्बकित नहीं होता, बल्कि उसमें कुछ-न-कुछ चुम्बकत्व शेष रह जाता है।

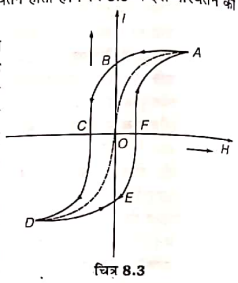
प्रश्न 10. शैथिल्य से आप क्या समझते हैं? नर्म लोहे के लिए शैथिल्य लूप दर्शाइए तथा इसकी व्यावहारिक उपयोगिता समझाइए। (2010, 11)

अथवा **मुलायम लोहे के लिए शैथिल्य वक्र दर्शाइए और इसका व्यावहारिक महत्त्व बताइए।** (2014)

अथवा **शैथिल्य क्या है? मुलायम लोहे और इस्पात के लिए शैथिल्य लूप दर्शाइए। शैथिल्य लूप से आप क्या जानकारी प्राप्त करते है?** (2017)

Scanned with CamScanner

उत्तर **शैथिल्य तथा इसका महत्त्व** जब कोई लौहचुम्बकीय पदार्थ, किसी चुम्बकीय क्षेत्र (माना H) में रखा जाता है तो चुम्बकीय प्रेरण के द्वारा चुम्बकित (magnetised) हो जाता है। जब चुम्बकन क्षेत्र (H) में परिवर्तन होता है तो पदार्थ की चुम्बकन तीव्रता (intensity of magnetisation) (माना I) में भी परिवर्तन होता है। चित्र 8.3 में इस परिवर्तन को दर्शाया गया है।



चित्र 8.3

(i) वक्र OA के बिन्दु O पर, चुम्बकन क्षेत्र (H) का मान तथा चुम्बकीय तीव्रता (I) का मान शून्य है अर्थात् पदार्थ भी अचुम्बकीय है। अब वक्र का OA भाग दर्शाता है कि यदि चुम्बकन क्षेत्र (H) का मान बढ़ता है तो चुम्बकीय तीव्रता (I) का मान भी बढ़ता है, लेकिन यह एक सरल रेखा नहीं बनाता बल्कि एक वक्र में होता है। बिन्दु A दर्शाता है कि चुम्बकीय क्षेत्र (H) का मान बढ़ने पर पदार्थ की चुम्बकीय संतृप्ति (magnetic saturation) होती है।

(ii) वक्र AB दर्शाता है कि H का मान यदि धीरे-धीरे घटाया जाता है तो I का मान भी घटता है, किन्तु वक्र OA की पुनरावृत्ति नहीं होती है बल्कि नया वक्र AB प्राप्त होता है। बिन्दु B पर H का मान शून्य है तो I का मान घटकर शून्य नहीं होता बल्कि इसका मान OB के बराबर है। यह दर्शाता है कि चुम्बकन तीव्रता I के मान का पश्चगामी (lagging) हो जाता है। यह चुम्बकीय पदार्थ की धारणशीलता (retentivity) कहलाती है।

(iii) अब वक्र BC दर्शाता है कि यदि चुम्बकन क्षेत्र (H) का मान उत्क्रम दिशा (reverse direction) में बढ़ाया जाता है तो I का मान भी घटकर C बिन्दु पर शून्य हो जाता है, जबकि H का मान OC दिशा में उत्क्रम है।

(iv) अब वक्र CDE दर्शाता है कि यदि H का मान उत्क्रम दिशा में ही बढ़ाया जाता है तो उत्क्रम दिशा में I भी बढ़ती है, लेकिन बिन्दु D पर फिर चुम्बकीय संतृप्ति की अवस्था बन जाती है; क्योंकि H का मान बढ़ने पर D बिन्दु पर I का मान नहीं बढ़ता है।

(v) अब वक्र DE दर्शाता है कि H का मान फिर घटाया जाता है तो I का मान भी घटता है। बिन्दु E पर H का मान तो शून्य हो जाता है, लेकिन I का मान घटकर शून्य नहीं होता बल्कि OE के बराबर है।

(vi) वक्र EFA दर्शाता है कि यदि H का मान फिर से पहली दशा में बढ़ाया जाता है तो I का मान धीरे-धीरे घटता है तथा F पर शून्य हो जाता है, जबकि H का मान OF होता है। H का मान और अधिक बढ़ाते हैं तो I का मान भी बढ़ता है तथा A बिन्दु पर फिर से चुम्बकीय संतृप्ति की अवस्था आ जाती है।

चित्र के अनुसार, लूप $ABCDEFA$ मे यह देखा जाता है कि चुम्बकीय तीव्रता I सदैव चुम्बकन क्षेत्र से पश्चगामी रहती है। चुम्बकीय पदार्थ का वह व्यवहार जो यह दर्शाता है कि उसमे चुम्बकीय तीव्रता का मान, चुम्बकन क्षेत्र के मान से पश्चगामी रह जाता है, **चुम्बकीय शैथिल्य** (magnetic hysteresis) कहलाता है और वह वक्र जो चुम्बकीय क्षेत्र (H) तथा चुम्बकन तीव्रता (I) के परिवर्तन के पूर्ण चक्र ($ABCDEFA$) को प्रदर्शित करता है, **शैथिल्य लूप** (hysteresis loop) कहलाता है।

नर्म लोहे के लिए शैथिल्य लूप नर्म लोहे का शैथिल्य लूप चित्र में दर्शाया गया है। यदि नर्म लोहा या मृदु स्टील चुम्बकीय क्षेत्र में रखा जाता है तो यह एक चुम्बक बन जाता है; क्योंकि यह चुम्बकन प्रेरण के कारण चुम्बकित हो जाता है। जब बाहरी चुम्बकीय क्षेत्र (H) को परिवर्तित किया जाता है तो नर्म लोहे में उत्पन्न चुम्बकन तीव्रता (I) में भी परिवर्तन होता है। I का मान सदैव बाहरी चुम्बकीय क्षेत्र (H) के पीछे रहता है।

शैथिल्य लूप की व्यावहारिक उपयोगिता शैथिल्य लूप की व्यावहारिक उपयोगिता निम्नलिखित हैं—

1. इसका आकार, चुम्बकीय पदार्थ के अभिलक्षण को दर्शाता है।
2. शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल पदार्थ के चुम्बकीयकरण व अचुम्बकीयकरण करने में प्रति एकांक आयतन की व्यय ऊर्जा दर्शाता है।

3. जिस पदार्थ के शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल कम होता है, अस्थाई चुम्बक बनाने के लिए वह पदार्थ उत्तम होता है।
4. जिस पदार्थ के शैथिल्य लूप का क्षेत्रफल अधिक होता है, स्थाई चुम्बक बनाने के लिए वह पदार्थ उत्तम होता है।

इस प्रकार नर्म या मृदु स्टील स्थाई चुम्बक बनाने के लिए उत्तम रहता है।

प्रश्न 11. फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियमों को लिखिए व उनकी व्याख्या कीजिए। (2011)

अथवा **वैद्युत चुम्बकीय प्रेरण के फैराडे के नियमों को बताइए और उनके प्रायोगिक उपयोग लिखिए।** (2014)

अथवा **फैराडे के विद्युत चुम्बकीय प्रेरण के नियम बताइए।** (2016)

अथवा **वैद्युत चुम्बकीय प्रेरण के फैराडे के नियमों की व्याख्या कीजिए। इसके व्यावहारिक अनुप्रयोगों का वर्णन भी कीजिए।** (2017)

उत्तर सन् 1831 में सुप्रसिद्ध वैज्ञानिक माइकल फैराडे ने विद्युत चुम्बकीय प्रेरण सम्बन्धी दो नियमों का प्रतिपादन किया जो बाद मे उन्हीं के नाम पर फैराडे के नियम कहलाए। ये दोनों नियम निम्नलिखित हैं

(i) **प्रथम नियम** जब किसी कुण्डली (परिपथ) से ग्रन्थित चुम्बकीय फ्लक्स परिवर्तित होते हैं, तो उसमें विद्युत-वाहक बल प्रेरित (उत्पन्न) होता है। अथवा जब कोई चालक (संवाहक), चुम्बकीय फ्लक्स को काटता है, तो उसमें विद्युत-वाहक बल प्रेरित (उत्पन्न) होता है, जिसे वोल्ट मात्रक में E प्रतीकात्मक अक्षर से व्यक्त करते हैं।

(ii) **द्वितीय नियम** प्रेरित विद्युत-वाहक बल का परिमाण, कुण्डली (परिपथ) से ग्रन्थित फ्लक्स ($N\phi$) के परिवर्तन की दर के समानुपाती होता है। अर्थात्

$$\text{प्रेरित विद्युत-वाहक बल } E \propto \frac{d}{dt}(N\phi)$$

अथवा प्रेरित विद्युत-वाहक बल का परिमाण, कुण्डली के वर्तों की संख्या तथा कुण्डली से ग्रन्थित चुम्बकीय फ्लक्स से परिवर्तन की दर के गुणनफल के समानुपाती होता है। अर्थात्

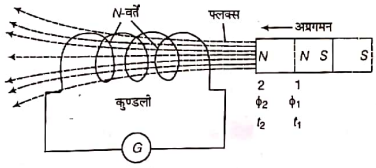
$$\text{प्रेरित विद्युत-वाहक बल } E \propto N \cdot \frac{d\phi}{dt}$$

यहाँ पर, N = कुण्डली के वर्तों की संख्या (number of turns), जो एक स्थिर राशि होती है।

$\frac{d\phi}{dt}$ = चुम्बकीय फ्लक्स के परिवर्तन की दर, जो एक परिवर्तनीय राशि (variable quantity) होती है।

$\frac{d}{dt}(N\phi)$ = ग्रन्थित चुम्बकीय फ्लक्स के परिवर्तन की दर (rate of change of linked flux)

व्याख्या चित्र 8.4 के अनुसार, माना कि N वर्तों की संख्या वाली कुण्डली के किसी चुम्बक की प्रथम स्थिति में t_1 सेकण्ड के समय पर ϕ_1 फ्लक्स ग्रन्थित होते हैं। तत्पश्चात् चुम्बक की द्वितीय या अन्तिम स्थिति में t_2 सेकण्ड के समय पर ϕ_2 फ्लक्स ग्रन्थित होते हैं।



चित्र 8.4 फैराडे के नियम की व्याख्या

तब, प्रथम स्थिति में कुण्डली से ग्रन्थित कुल फ्लक्स = $N\phi_1$ वेबर (waber)

Scanned with CamScanner

द्वितीय स्थिति में कुण्डली से ग्रन्थित कुल फ्लक्स $= N\phi_2$ वेबर (waber)

ग्रन्थित फ्लक्स में परिवर्तन (change) $= N\phi_2 - N\phi_1 = N(\phi_2 - \phi_1)$ वेबर

समय में परिवर्तन (change in time) $= (t_2 - t_1)$ सेकण्ड

चुम्बकीय फ्लक्स में परिवर्तन की दर (rate of change in magnetic flux)

$$= \frac{\text{फ्लक्स परिवर्तन}}{\text{समय-परिवर्तन}} \quad \text{(उक्त प्रतीकात्मक मान रखने पर)}$$

$$= \frac{N(\phi_2 - \phi_1)}{(t_2 - t_1)} \Rightarrow \frac{\text{वेबर}}{\text{सेकण्ड}} = \text{वोल्ट (मात्रक)}$$

फैराडे के द्वितीय नियम द्वारा कुण्डली में प्रेरित विद्युत-वाहक बल (e.m.f.)

$$E \propto N\frac{(\phi_2 - \phi_1)}{(t_2 - t_1)}$$

$$E = K\frac{N(\phi_2 - \phi_1)}{(t_2 - t_1)} \text{ वोल्ट}$$

यहाँ पर K एक समानुपाती स्थिरांक है; मीटर-किग्रा-सेकण्ड प्रणाली में इसका मान एकांक ($K = 1$) होता है।

इसलिए $$E = \frac{N(\phi_2 - \phi_1)}{(t_2 - t_1)} \quad ...(1)$$

$\phi_2 - \phi_1 = d\phi$, फ्लक्स में परिवर्तन (change in flux)

$t_2 - t_1 = dt$ समय में परिवर्तन (change in time)

उक्त मानों को समी० (1) में रखने पर

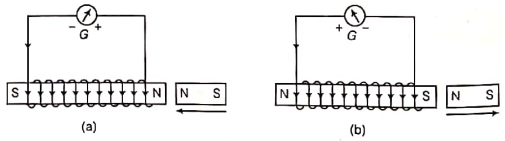
$$\boldsymbol{E = N\frac{d\phi}{dt}} \text{ वोल्ट} \quad ...(2)$$

प्रश्न 12. लेन्ज के नियम व अनुप्रयोग की व्याख्या कीजिए। (2012)

अथवा **लेन्ज का नियम समझाइए** (2015, 16)

अथवा **लेन्ज के नियम की व्याख्या कीजिए। इसके व्यावहारिक अनुप्रयोग का वर्णन भी कीजिए।** (2017)

उत्तर लेन्ज के नियमानुसार प्रेरित वि० वा० बल की दिशा ऐसी होती है कि वह प्रेरित करने वाले फ्लक्स परिवर्तन (change in flux) का विरोध करती है।



चित्र 8.5

इस नियम का प्रयोग प्रेरित वि० वा० बल की दिशा ज्ञात करने के लिए भी किया जा सकता है। जब एक चुम्बक कुण्डली के पास ले जाया जाता है तो कुण्डली में वि० वा० बल प्रेरित होता है तो चित्र 8.5 (a) में अंकित दिशा में कुण्डली में धारा प्रवाहित होने लगती है। कुण्डली में धारा प्रवाहित होने पर उसमें चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है, जिसके कारण कुण्डली का चुम्बक के पास का सिरा उत्तरी ध्रुव के समान व्यवहार करने लगता है, क्योंकि समान ध्रुव एक-दूसरे को

विकर्षित करते हैं, इसलिये कुण्डली का चुम्बकीय क्षेत्र छड़ चुम्बक के उत्तरी ध्रुव को आगे बढ़ने से रोकने का प्रयत्न करता है। इस विकर्षण बल का विरोध करने में व्यय हुई यान्त्रिक ऊर्जा विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है जो कि गैल्वेनोमीटर में अनुभव की जा सकती है।

जब छड़ चुम्बक का उत्तरी ध्रुव कुण्डली से दूर ले जाया जाता है तो पुन: कुण्डली में वि० वा० बल उत्पन्न होता है जिसके कारण धारा की दिशा पहली दिशा के विपरीत होती है। ऐसी दशा में कुण्डली का चुम्बक के पास का सिरा दक्षिणी ध्रुव के समान कार्य करने लगता है जैसा कि चित्र 8.5 (b) में प्रदर्शित है। इस प्रकार इस समय कुण्डली तथा चुम्बक छड़ में आकर्षण बल कार्य करेगा जो कि छड़ चुम्बक को कुण्डली से दूर ले जाने की क्रिया का विरोध करेगा। पुन: वह यान्त्रिक ऊर्जा जो इस आकर्षण बल का विरोध करने के लिए आवश्यक होगी, विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित हो जायेगी। इस स्थिति में गैल्वेनोमीटर में पहले की दिशा के विपरीत विक्षेप होगा। अत: प्रेरण द्वारा उत्पन्न वि० वा० बल सदैव ऐसी दिशा में होता है जो सापेक्ष गति का विरोध करने का प्रयत्न करती है।

प्रश्न 13. प्रेरित विद्युत वाहक बल क्या होता है? यह कितने प्रकार का होता है?

उत्तर **प्रेरित विद्युत वाहक बल** जब किसी कुण्डली तथा चुम्बक के बीच सापेक्ष गति होती है तो कुण्डली में एक विद्युत वाहक बल उत्पन्न होता है, जिसे प्रेरित विद्युत वाहक बल कहते हैं। इस घटना को "विद्युत चुम्बकीय प्रेरण" भी कहते हैं।

मूलरूप से प्रेरित विद्युत वाहक बल (induced e.m.f.) निम्नलिखित दो प्रकार का होता है

(i) गतिकीय प्रेरित विद्युत वाहक बल

(ii) स्थैतिक प्रेरित विद्युत वाहक बल

प्रश्न 14. 600 वर्तनों की एक कुण्डली का सम्बन्ध 0.6 मिलीवेबर के चुम्बकीय फ्लक्स से है। यदि 0.015 सेकण्ड में फ्लक्स विपरीत दिशा में हो गया हो, तो कुण्डली में प्रेरित विद्युत वाहक बल ज्ञात कीजिए।

हल दिया है, $N = 600$, $d\phi = (\phi_2 - \phi_1) = (-0.6 - 0.6) = -1.2$ मिलीवेबर $= -1.2 \times 10^{-3}$ वेबर

$(t_2 - t_1) = dt = 0.015$ सेकण्ड, $E = ?$

कुण्डली में प्रेरित विद्युत-वाहक बल (e.m.f.)

$$E = -N\frac{d\phi}{dt} = -600 \times \frac{-1.2 \times 10^{-3}}{0.015} = \mathbf{48} \text{ वोल्ट}$$

प्रश्न15. 100 ओम प्रतिरोध की एक कुण्डली, 1 मिलीवेबर के चुम्बकीय क्षेत्र में रखी जाती है। कुण्डली में 100 वर्तन हैं। 400 ओम का एक गैल्वेनोमीटर इसके श्रेणीक्रम में संयोजित किया जाता है। यदि कुण्डली को 0.1 सेकण्ड में उक्त स्थित क्षेत्र से 0.2 मिलीवेबर की क्षेत्र प्रबलता वाले चुम्बकीय क्षेत्र में ले जाया जाये, तो कुण्डली में औसत प्रेरित विद्युत वाहक बल तथा वैद्युत धारा ज्ञात कीजिए।

हल दिया है, $R_c = 100$ ओम; $N = 100$; $R_g = 400$ ओम; $(t_2 - t_1) = dt = 0.1$ सेकण्ड

$d\phi = (\phi_2 - \phi_1) = (0.2 - 1) = -0.8$ मिलीवेबर $= -0.8 \times 10^{-3}$ वेबर, $E = ?$, $I = ?$

कुण्डली में प्रेरित विद्युत वाहक बल (e.m.f.),

$$E = -N\frac{d\phi}{dt} = -100 \times \left(\frac{-0.8 \times 10^{-3}}{0.1}\right) = \mathbf{0.8} \text{ वोल्ट}$$

परिपथ का कुल प्रतिरोध = कुण्डली का प्रतिरोध (R_c) + गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध (R_g)

$= 100 + 400 = 500$ ओम

कुण्डली में प्रवाहित होने वाली धारा (current)

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0.8}{500} = \mathbf{1.6 \times 10^{-3}} \text{ ऐम्पियर}$$

Scanned with CamScanner

प्रश्न 16. 500 वर्तनों की एक कुण्डली 0.5 मिली वेबर के फ्लक्स से ग्रंथित है। यदि उक्त अभिवाह 0.02 सेकण्ड में शून्य होकर पुनः पूर्व मान प्राप्त कर लेता हो, तो कुण्डली में प्रेरित वि० वाहक बल का परिकलन कीजिए। (2012)

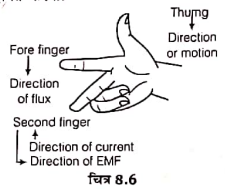
हल $N = 500$, $\phi = 0.5$ मिली वेबर, $t = \frac{0.02}{2} = 0.01$ सेकण्ड

कुण्डली में प्रेरित वि०वाहक बल $E = N\frac{d\phi}{dt} = 500 \times \frac{0.5 \times 10^{-3}}{0.01} = \mathbf{25\ V}$

प्रश्न 17. फ्लेमिंग के दाहिने हाथ का नियम बताइए।

अथवा **"फ्लेमिंग के दायें हाथ के नियम" को समझाइए।** (2015)

उत्तर दाएँ हाथ के अँगूठे, तर्जनी अंगुली तथा मध्यम अंगुली के परस्पर लम्बवत् होने पर यदि अँगूठे से गति की दिशा तथा तर्जनी अंगुली से चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा को इंगित किया जाये तो मध्यमा अंगुली चालक के धारा प्रवाह की दिशा प्रेरित वि०वाहक बल की दिशा को इंगित करेगी।



चित्र 8.6

प्रश्न 18. स्थैतिक प्रेरित वि०वा० बल, स्व-प्रेरित वि०वा० बल एवं स्व-प्रेरकत्व को समझाइए।

अथवा **स्व:प्रेरित वि०वा० बल (emf) को परिभाषित कीजिए।** (2014)

उत्तर **स्थैतिक प्रेरित वि०वा० बल** स्थिर चालक से सम्बद्ध फ्लक्स जब परिवर्तित होता है तो चालक में वि०वा० बल उत्पन्न होता है जो कि स्थैतिक वि०वा० बल कहलाता है। स्थैतिक प्रेरित वि०वा० बल निम्न दो प्रकार का होता है

(i) **स्वःप्रेरित वि०वा०बल** यदि किसी अकेली कुण्डली मे धारा प्रवाहित हो रही हो तो वह चुम्बकीय फ्लक्स उत्पन्न करेगी और यदि धारा में परिवर्तन किया जाये तो फ्लक्स में भी परिवर्तन होगा । इस प्रकार फ्लक्स परिवर्तन के कारण कुण्डली मे वि०वा० बल प्रेरित होगा, जिसे इस दिशा में स्वप्रेरित वि०वा० बल कहा जायेगा, क्योंकि यह पास रखी कुण्डली की धारा में परिवर्तन के स्थापन पर स्वय की धारा में परिवर्तन के कारण स्थापित हुआ है। यदि धारा में वृद्धि हो रही है तो स्वप्रेरित वि०वा० बल उसका विरोध करेगा। यदि धारा का ह्रास हो रहा है तब वह धारा की दिशा में ही क्रियाशील होगा तथा इस प्रकार यह विद्युत धारा के कम होने का विरोध करता है।

स्वप्रेरकत्व स्वप्रेरकत्व कुण्डली का वह गुण जिससे इसमें धारा की वृद्धि का विरोध तथा धारा की कमी से विरोध के कारण धारा की दिशा में क्रियाशील होना पाया जाये स्वप्रेरकता कहलाता है।

किसी कुण्डली का स्वप्रेरकत्व गुणांक, उस प्रेरित वि० वा० बल के संख्यात्मक मान के बराबर होता है जो उस कुण्डली में धारा परिवर्तन की दर एकाक होने पर उत्पन्न होता है। किसी कुण्डली में धारा परिवर्तन की दर एकांकी होने पर उत्पन्न होती है। किसी कुण्डली में स्वप्रेरित वि० वा० बल – (फ्लक्स परिवर्तन की दर) × N

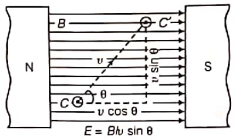
जबकि N = कुण्डली में वर्तनों की संख्या, यदि किसी कुण्डली में वर्तनों की संख्या N उसमें प्रवाहित धारा I ऐम्पियर तथा उत्पन्न फलक्स ϕ वेबर हो तो वेबर वर्तन $N\phi$ होगे तथा वेबर वर्तन प्रति ऐम्पियर $\frac{N\phi}{I}$ होगे।

स्व प्रेरकत्व गुणांक $L = \frac{N\phi}{I}$

प्रश्न 19. गतिज प्रेरित वि०वा० बल का व्यंजक निकालिए। यह वि०वा० बल किन कारकों पर निर्भर करता है? समझाइए?

उत्तर **गतिज प्रेरित वि०वा० बल** Dynamical induced electromotive force फैराडे के नियमानुसार, जब कोई ऋजुरेखीय चालक (straight line conductor) किसी चुम्बकीय क्षेत्र में फ्लक्स को काटता हुआ गमन करता है, तो उसमें विद्युत-वाहक बल प्रेरित हो जाता है, जिसे गतिज प्रेरित विद्युत-वाहक बल कहते हैं।

अथवा फैराडे के नियमानुसार, जब कोई गतिमान ऋजुरेखीय चालक किसी समचुम्बकीय क्षेत्र में फ्लक्स काटता है, तो चालक के सिरों पर एक विद्युत विभवान्तर उत्पन्न हो जाता है, जिसे गतिकीय प्रेरित विद्युत-वाहक बल कहते है। इसे E प्रतीकात्मक अक्षर से व्यक्त करते हैं तथा इसका S.I. मात्रक वोल्ट है।



चित्र 8.7 प्रेरित वि० वा० बल

$$E = Blv\sin\theta$$

चित्र 8.7 के अनुसार

B = वेबर प्रति वर्ग मीटर मात्रक में समचुम्बकीय क्षेत्र का फ्लक्स-घनत्व (flux density)

l = मीटर मात्रक में कागज के तल के लम्बवत् प्रदर्शित चालक की प्रभावकारी लम्बाई (effective length)

v = मीटर प्रति सेकण्ड मात्रक में चालक की सरल रेखीय गति (linear motion)

θ = डिग्री में चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा तथा चालक के वेग की दिशा के बीच का कोण (angle)

$\sin\theta$ = चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् चालक के वेग का घटक (component)

$\cos\theta$ = चुम्बकीय क्षेत्र के समान्तर चालक के वेग का घटक (component)

E = वोल्ट मात्रक में चालक के आर-पार (across) प्रेरित वि० वा० बल (e.m.f.)

गतिमान चालक द्वारा चुम्बकीय क्षेत्र के लम्बवत् प्रसर्पित (swept) क्षेत्रफल,

$A = l \times v\sin\theta$ वर्ग मीटर प्रति सेकण्ड

चालक द्वारा काटे गये फ्लक्स, ϕ = फ्लक्स-घनत्व × क्षेत्रफल (प्रतीकात्मक मान रखने पर)

$= B \times A$ (A का मान रखने पर)

$= B.lv\sin\theta$ वेबर/सेकण्ड

फ्लक्स परिवर्तन की दर, $\frac{d\phi}{dt}$ = प्रति सेकण्ड काटे गये चुम्बकीय फ्लक्स (e.m.f.)

$= B.lv\sin\theta$ वेबर/सेकण्ड (वोल्ट)

फैराडे के नियमानुसार, प्रेरित वि० वा० बल = फ्लक्स परिवर्तन की दर (rate of change of flux)

$$E = \frac{d\phi}{dt}$$ (मान रखने पर)

इसलिए $E = Blv\sin\theta$ वोल्ट ...(i)

स्थिति I. यदि चालक के वेग की दिशा चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के लम्बवत् हो, अर्थात् $\theta = 90°$ हो तब

प्रेरित वि० वा० बल (e.m.f.) $E = Blv$ वोल्ट (अधिकतम) ...(ii)

स्थिति II. यदि चालक के वेग की दिशा चुम्बकीय क्षेत्र की दिशा के समानान्तर हो, अर्थात् $\theta = 0°$ या $180°$ हो,

तब प्रेरित वि० वा० बल (e.m.f.), $E = 0$ (शून्य) वोल्ट (न्यूनतम) ...(iii)

Scanned with CamScanner

प्रयोगात्मक कार्य-1

उद्देश्य Object

अनुनाद नली द्वारा वायु में ध्वनि की चाल ज्ञात करना।

उपकरण व सामग्री Apparatus and Materials

अनुनाद नली, स्वरित्र द्विभुज, रबर का पैड, थर्मामीटर आदि।

सिद्धान्त Principle

अनुनाद नली एक बन्द ऑर्गन पाइप है जिसमें जल का तल उच्च या निम्न करके वायु स्तम्भ की लम्बाई को भी घटा या बढ़ा सकते हैं।

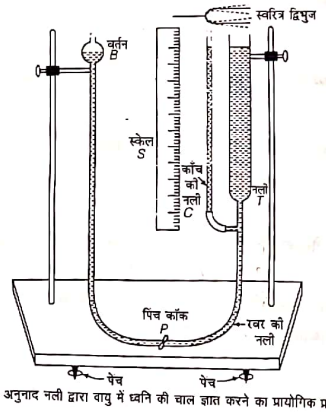
जब एक कम्पन करते स्वरित्र को अनुनाद नली के स्वतन्त्र सिरे के निकट लाते हैं तो माना **जल के तल से अनुनाद नली के खुले सिरे की लम्बाई** l_1 पर अनुनाद की पहली स्थिति प्राप्त होती है तथा लम्बाई l_2 पर अनुनाद की द्वितीय स्थिति प्राप्त होती है तो वायु में ध्वनि की चाल (कमरे के ताप पर) निम्न सूत्र से ज्ञात करते हैं

$$v_t = 2n(l_2 - l_1)$$

जहाँ, v_t = कमरे के ताप t पर वायु मे ध्वनि की चाल, n = स्वरित्र द्विभुज की आवृत्ति है।

विधि Method

1. पहले हम स्प्रिंग लेवल व आधार में लगे पेचों की सहायता से अनुनाद नली को ऊर्ध्वाधर कर लेते हैं।
2. अब बर्तन B की सहायता से जल भरते हैं। फिर बर्तन को इस प्रकार समायोजित कर लेते हैं कि नली T में जल का तल मुँह तक आ जाए। अब पिंच कॉक को कस देते हैं व बर्तन को नीचे खिसकाकर कस देते हैं। इससे नली T में जल का तल वहीं रुका रहता है।



चित्र : अनुनाद नली द्वारा वायु में ध्वनि की चाल ज्ञात करने का प्रायोगिक प्रदर्शन

3. अब रबर के पैड पर द्विभुज को मारकर उसे कम्पित कराते हैं तथा नली T के स्वतन्त्र व खुले मुँह पर इस प्रकार ले जाते हैं कि स्वरित्र के कम्पन ऊर्ध्व तल में हों।
4. पिंच कॉक को धीरे-धीरे खोलकर नली T में जल के तल को नीचा करते जाते हैं। एक अवस्था ऐसी आ जाती है जब नली से उत्पन्न ध्वनि अधिकतम हो जाती है। यही अनुनाद की प्रथम स्थिति है। वायु स्तम्भ की लम्बाई l_1 ज्ञात कर लेते हैं। इस प्रेक्षण को कई बार दोहराते हैं।
5. अब नली T में जल के तल को और नीचा करते जाते हैं तथा पुनः अधिकतम तेज ध्वनि सुनाई देने पर जल के तल की स्थिति l_2 ज्ञात कर लेते हैं।
6. तापमापी को नली T में डालकर वायु स्तम्भ का ताप ज्ञात कर लेते हैं।

प्रेक्षण Observation

(a) स्वरित्र द्विभुज की आवृत्ति, n = ... कम्पन प्रति सेकण्ड
(b) वायु स्तम्भ का ताप, t = ...°C
(c) अनुनाद नली में वायु स्तम्भ की लम्बाई के लिए तालिका

तालिका

क्र० सं०	वायु स्तम्भ की लम्बाई (l_1)	वायु स्तम्भ की लम्बाई (l_2)	अन्तर ($l_2 - l_1$)	मध्यमान ($l_2 - l_1$)
	(सेमी० में)	(सेमी० में)	(सेमी० में)	(सेमी० में)
1.	...	...	...	...
2.	...	...	...	...
3.	...	...	...	...
4.	...	...	...	...

गणना Calculation

कमरे के ताप पर वायु में ध्वनि की चाल,

$$v_t = 2n(l_2 - l_1) = \text{..... मी/से}$$

परिणाम Results

(a) कमरे के ताप पर वायु में ध्वनि की चाल = ... मी/से
(b) कमरे के ताप पर वायु में ध्वनि की प्रामाणिक चाल = ... मी/से
(c) प्रतिशत त्रुटि = $\frac{\text{प्रामाणिक चाल} \sim \text{प्रायोगिक चाल}}{\text{प्रामाणिक चाल}} \times 100 = \ldots\ \%$

सावधानियाँ Precautions

1. अनुनाद की प्रथम व द्वितीय स्थिति का पता ठीक से नहीं लग पाता इसके लिए प्रयोग को ध्यानपूर्वक करना चाहिए।
2. शान्त वातावरण में ही प्रयोग करना चाहिए।
3. पर्याप्त आवृत्ति का स्वरित्र द्विभुज लेना चाहिए।

Scanned with CamScanner

प्रयोगात्मक कार्य-2

उद्देश्य Object

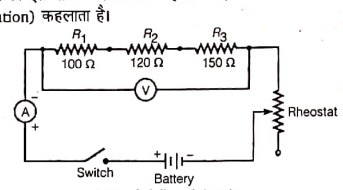
प्रतिरोधकों (resistors) को श्रेणीक्रम में जोड़ना तथा श्रेणी संयोजन (series combination) के गुणों का अध्ययन करना।

उपकरण व सामग्री Apparatus and Materials

कॉम्बीनेशन प्लायर, कटिंग प्लायर, चिमटी, सोल्डरिंग आयरन, रेती, इलेक्ट्रीशियन चाकू, पेचकस, रिहोस्टेट, वोल्टमीटर, एमीटर, मल्टीमीटर, बैटरी : 6 वोल्ट, ऑन-ऑफ स्विच, कार्बन रेसिस्टैन्स-3-No. (ज्ञात मान के), सोल्डर वायर, फ्लैक्सिबिल वायर, सोल्डरिंग फ्लक्स, पी०सी०बी० (P.C.B.)।

सिद्धान्त Principle

दो या दो से अधिक रेसिस्टर का ऐसा संयोजन जिसमें धारा (current) के प्रवाहित होने का केवल एक ही मार्ग हो, श्रेणी संयोजन (series combination) कहलाता है।



चित्र : प्रतिरोधों का श्रेणी संयोजन

विधि Method

रेसिस्टर्स को श्रेणी संयोजन में जोड़कर संयोजन का तुल्य प्रतिरोध (total resistance), तुल्य धारा तथा तुल्य विभवान्तर निकालने के लिए चित्र के अनुसार संयोजन बनाते हैं। इस प्रकार तीन प्रतिरोधक क्रमशः R_1 R_2 तथा R_3 श्रेणीक्रम में जुड़ जाते हैं। अब संयोजन के सीरीज में एम्पियर मीटर तथा पैरेलल में वोल्टमीटर जोड़ देते हैं। संयोजन के दोनों सिरों के मध्य बैट्री जोड़ देते हैं तथा चित्र के अनुसार सर्किट को पूर्ण करते हैं तथा निम्नलिखित प्रयोग करते हैं।

1. चित्र के अनुसार सर्किट को पी०सी०बी० के ऊपर तैयार किया।
2. सर्किट के एक्रॉस (across) लगायी गयी बैट्री को स्विच के द्वारा चालू करते हैं।
3. अब क्रमशः वोल्टमीटर तथा एमीटर की रीडिंग को नोट कर लेते हैं।
4. पोटैन्शियोमीटर की स्थिति को परिवर्तित करके तीन-तीन पृथक्-पृथक् स्थितियों में वोल्टमीटर तथा एमीटर की रीडिंग को नोट कर लेते हैं।
5. सभी स्थितियों में प्राप्त वोल्टमीटर तथा एमीटर की रीडिंग से कुल प्रतिरोध R_T की गणना करते हैं।
6. प्रतिरोधों के कलर कोड मान अथवा मल्टीमीटर के द्वारा ज्ञात मानों को लेकर श्रेणीक्रम संयोजन के सूत्र $R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots$ के द्वारा कुल प्रतिरोध की गणना करते हैं।
7. श्रेणीक्रम सूत्र के मान तथा सर्किट के विभवान्तर एवं धारा को लेकर निकाले गए मान की आपस में तुलना करने पर दोनों तुल्य प्रतिरोध मान एक समान प्राप्त होते हैं। इससे यह स्थापित होता है कि श्रेणीक्रम में जोड़े गए प्रतिरोधों का कुल प्रतिरोध संयोजन में लगे समय प्रतिरोधों के अलग-अलग मानों के योग के बराबर होता है।

तालिका

क्र० सं०	पोटैन्शियोमीटर की स्थिति	वोल्टमीटर की रीडिंग	एमीटर की रीडिंग	$R_T = \frac{V}{I}$	$R_T = R_1 + R_2 + R_3$
1.	प्रथम स्थिति	4 V	10.8 mA	370 Ω	$R_T = 100 + 120 + 150 = 370\,\Omega$
2.	द्वितीय स्थिति	5 V	13.4 mA	370 Ω	$R_T = 100 + 120 + 150 = 370\,\Omega$
3.	तृतीय स्थिति	6 V	16.2 mA	370 Ω	$R_T = 100 + 120 + 150 = 370\,\Omega$

परिणाम Result

उपरोक्त तालिका में प्राप्त मानों से सत्यापित होता है कि यदि एक से अधिक प्रतिरोधकों को श्रेणीक्रम में जोड़ा जाए तो संयोजन का कुल प्रतिरोध सर्किट में जुड़े प्रत्येक प्रतिरोध के मान के योग के बराबर होता है। सर्किट में धारा के प्रवाहित होने का मार्ग एक ही होता है। अतः प्रत्येक प्रतिरोधक में प्रवाहित होने वाली धारा का मान सर्किट में प्रवाहित होने वाली कुल धारा (I) के बराबर होगा परन्तु प्रत्येक प्रतिरोधक के बीच वोल्टेज ड्रॉप अलग-अलग होगा, जो उसके रेसिस्टैन्स मान पर निर्भर करता है। इस प्रकार के प्रत्येक प्रतिरोधक के बीच प्राप्त विभवान्तर का योग सर्किट में लगाए गए कुल विभवान्तर (P.D.) के बराबर होगा।

सावधानियाँ Precautions

1. सोल्डरिंग टाँका ड्राई नहीं होना चाहिए।
2. एमीटर को हमेशा सर्किट की सीरीज में ही जोड़ना चाहिए।
3. एमीटर तथा वोल्टमीटर की रीडिंग संकेतक के स्थिर होने के पश्चात् लेनी चाहिए।
4. वोल्टमीटर तथा एमीटर का धनात्मक सिरा बैटरी के धनात्मक सिरे से तथा ऋणात्मक सिरा बैटरी के ऋणात्मक सिरे से जोड़ना चाहिए।

Scanned with CamScanner

प्रयोगात्मक कार्य-3

उद्देश्य Object

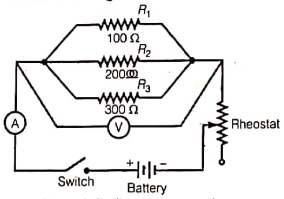
प्रतिरोधकों को समानान्तर क्रम में जोड़ना तथा समानान्तर संयोजन (parallel combination) परिपथ के गुणों का अध्ययन करना।

उपकरण व सामग्री Apparatus and Materials

वोल्टमीटर (0-300 V), ऐम्पियर मीटर (0-5 A), मल्टीमीटर, बैट्री या डी०सी० सप्लाई स्रोत (0-12 V), पोटैन्शियोमीटर 5 kΩ, कॉम्बीनेशन प्लायर, चिमटी, कटिंग प्लायर, सोल्डरिंग आयरन 25 वाट, रेती, पेंचकस कार्बन रेसिस्टर्स 3 Nos. (ज्ञात करने के), सोल्डरिंग पेस्ट या फ्लक्स सोल्डरिंग वायर, फ्लैक्सिबिल वायर, प्रिन्टेड सर्किट बोर्ड (P.C.B.)।

सिद्धान्त Principle

दो या दो से अधिक प्रतिरोधकों का ऐसा संयोजन जिसमें सभी प्रतिरोधकों को एक समान विभवान्तर मिल रहा हो, समानान्तर संयोजन कहलाता है। समानान्तर क्रम में जुड़े प्रत्येक प्रतिरोधक में धारा का मान पृथक्-पृथक् होता है।



चित्र : प्रतिरोधकों का समानान्तर संयोजन

विधि Method

समानान्तर संयोजन परिपथ के गुणों का अध्ययन करने के लिए उपरोक्त चित्र के अनुसार सर्किट तैयार करते हैं तथा निम्न प्रयोग करते हैं—

1. तीनों प्रतिरोधकों (resistors) को चित्र के अनुसार प्रिन्टेड सर्किट बोर्ड के ऊपर सोल्डरिंग आयरन की सहायता से संयोजित करते हैं।
2. सर्किट के अनुसार वोल्टमीटर को सर्किट के पैरेलल तथा एमीटर को सर्किट की सीरीज में जोड़ते हैं।
3. अब परिपथ के आर-पार (across) बैट्री को संयोजित करते हैं तथा स्विच के द्वारा उसे ऑन करते हैं।
4. अब क्रमशः वोल्टमीटर तथा एमीटर की रीडिंग को नोट कर लेते हैं।
5. पोटैन्शियोमीटर की स्थिति को परिवर्तित करके पृथक्-पृथक् वोल्टेज पर वोल्टमीटर तथा एम्पियर मीटर की रीडिंग नोट कर लेते हैं।
6. अब प्रत्येक प्रतिरोध के सीरीज में एम्पियर मीटर को जोड़ना अलग-अलग धारा के मान अलग-अलग स्थितियों में पोटैन्शियोमीटर को सैट करके प्राप्त करते हैं।
7. वोल्टमीटर तथा एमीटर से प्राप्त रीडिंग से सर्किट में बहने वाली कुल धारा, कुल वोल्टेज तथा कुल प्रतिरोध ज्ञात करते हैं।

8. स्विच ऑफ कर देते हैं तथा समानान्तर संयोजन के सूत्र $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$ से सर्किट का कुल प्रतिरोध ज्ञात करके कुल वोल्टेज एवं धारा से प्राप्त कुल रेसिस्टैन्स से तुलना करते हैं, जो एक समान प्राप्त होता है।

तालिका

क्र० सं०	पोटैन्शियोमीटर की स्थिति	वोल्टमीटर की रीडिंग (V_T)	ऐम्पियर मीटर की रीडिंग (I_T)	$R=\frac{V}{I}$	$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$
1.	प्रथम स्थिति	3 V	55 mA	54.4 Ω	$\frac{1}{R_T}=\frac{1}{100}+\frac{1}{200}+\frac{1}{300}=54.5\,\Omega$
2.	द्वितीय स्थिति	5 V	91 mA	54.5 Ω	$\frac{1}{100}+\frac{1}{200}+\frac{1}{300}=54.5\,\Omega$
3.	तृतीय स्थिति	6 V	110 mA	54.5 Ω	$\frac{1}{100}+\frac{1}{200}+\frac{1}{300}=54.5\,\Omega$

निरीक्षण तालिका

वोल्मीटर की रीडिंग	एम्पियर मीटर की रीडिंग			R_1	R_2	R_3
	I_1	I_2	I_3			
3 V	30 mA	15 mA	10 mA	100 Ω	200 Ω	300 Ω
5 V	50 mA	25 mA	16 Ω	100 Ω	200 Ω	300 Ω
6 V	60 mA	30 mA	20 mA	100 Ω	200 Ω	300 Ω

परिणाम Results

प्रायोगिक विधि तथा निरीक्षण तालिकाओं के अनुसार यह सिद्ध होता है कि समानान्तर संयोजन में तुल्य प्रतिरोध संयोजन में लगे कुल प्रतिरोधों के गुणनफल में प्रतिरोधों के कुल योग का भागफल होता है तथा प्रत्येक प्रतिरोध में वोल्टेज का मान समान परन्तु धारा का मान प्रतिरोधकों के प्रतिरोध मान के अनुसार प्रवाहित होता है।

सावधानियाँ Precautions

1. सोल्डरिंग संयोजन मजबूत लगाने चाहिए। टाँका ड्राई नहीं होना चाहिए।
2. वोल्टमीटर को सर्किट के समानान्तर तथा एमीटर को हमेशा श्रेणीक्रम में जोड़ना चाहिए।
3. वोल्टमीटर तथा एमीटर का धनात्मक सिरा बैटरी के धनात्मक सिरे से तथा ऋणात्मक सिरा बैटरी के ऋणात्मक सिरे से जोड़ना चाहिए।
4. वोल्टमीटर तथा एम्पियर एमीटर की रीडिंग हमेशा संकेतक के स्थिर होने पर ही लेनी चाहिए।
5. वोल्टमीटर तथा एमीटर के संकेतक को शून्य पर सेट कर लेना चाहिए।

Scanned with CamScanner

प्रयोगात्मक कार्य-4

उद्देश्य Object

ओह्म के नियम का सत्यापन करना तथा प्रतिरोध ज्ञात करना।

उपकरण व सामग्री Apparatus and Materials

मूविंग क्वॉयल एमीटर (0-5 एम्पियर), मूविंग क्वॉयल वोल्टमीटर (0-300), रिहोस्टेट या पोटैन्शियोमीटर 10 kΩ/5 W, कार्बन रेसिस्टैन्स (स्थिर), 6 वोल्ट डी०सी० बैट्री, सोल्डरिंग आयरन, कॉम्बीनेशन प्लायर, कटिंग प्लायर, चिमटी, ऑन-ऑफ स्विच या कुँजी, फ्लैक्सिबिल वायर या पी०वी०सी० वायर, सोल्डर वायर, सोल्डरिंग पेस्ट

सिद्धान्त Principle

ओह्म के नियम के अनुसार यदि किसी चालक (conductor) की भौतिक अवस्थाएँ अपरिवर्तित रहें तो उस चालक के सिरों पर लगाया गया वोल्टेज चालक में बहने वाली धारा के समानुपाती होता है। यदि किसी चालक के सिरों पर विभवान्तर (potential difference) V तथा चालक में बहने वाली धारा (current) I है तो ओह्म के नियमानुसार

$$V \propto I \quad \text{या} \quad V = R \times I \qquad ...(i)$$

जहाँ, R स्थिरांक है तथा चालक का रेसिस्टैन्स कहलाता है। इसी प्रकार से

$$R = \frac{V}{I} \qquad ...(ii)$$

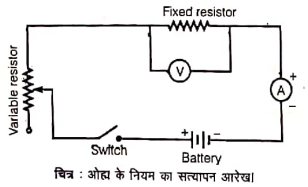
तथा

$$I = \frac{V}{R} \qquad ...(iii)$$

यहाँ V का मान वोल्ट्स में I का मान एम्पियर में तथा R का मान ओह्म में लिया जाता है। ओह्म का नियम यह सिद्ध करता है कि $\frac{V}{I} = R$ स्थिर।

विधि Method

1. परिपथ आरेख के अनुसार एक स्थिर मान के 100 Ω/1 W रेसिस्टर को 6 वोल्ट की बैटरी से जोड़ते हैं।
2. बैटरी के दूसरे सिरे से एक ऑन-ऑफ स्विच संयोजित करते हैं।
3. स्विच से पोटैन्शियोमीटर को जोड़ते हैं। पोटैन्शियोमीटर तथा स्थिर रेसिस्टैन्स के बीच सीरीज में एम्पियर मीटर को जोड़ देते हैं।



चित्र : ओह्म के नियम का सत्यापन आरेख।

4. वोल्टमीटर तथा एमीटर को सर्किट के अनुसार अच्छी प्रकार से जोड़ते हैं।
5. पोटैन्शियोमीटर को न्यूनतम (minimum) की स्थिति में सैट करते हैं, यहाँ पर इसका रेसिस्टैन्स मान अधिकतम होगा।

6. अब बैट्री सप्लाई को स्विच के द्वारा ऑन करते हैं तथा वोल्टमीटर एवं एमीटर की रीडिंग को चैक करते हैं।
7. पोटैन्शियोमीटर को धीरे-धीरे क्वॉकवाइज घुमाते हैं, जिससे इसका रेसिस्टैन्स मान घटता है और एमीटर में धारा का मान बढ़ता है। इस स्थिति में एमीटर तथा वोल्टमीटर की रीडिंग को नोट कर लेते हैं।
8. अब पोटैन्शियोमीटर को आगे-पीछे घुमाकर दो तीन अन्य स्थितियों में रखकर V तथा I का मान वोल्टमीटर तथा एमीटर से नोट कर लेते हैं।
9. प्रत्येक स्थिति के लिए $\frac{V}{I}$ का मान ज्ञात करते हैं। इस प्रकार विभिन्न स्थितियों मे प्राप्त $\frac{V}{I}$ का मान स्थिर रहता है।

विभिन्न स्थितियों में प्राप्त वोल्टमीटर तथा एमीटर रीडिंग को तालिका में नोट कर लेते हैं।

प्रेक्षण Observation

तालिका

क्र० सं०	पोटैन्शियोमीटर की स्थिति	वोल्टमीटर की रीडिंग	एमीटर की रीडिंग	$R = \frac{V}{I}$
1.	प्रथम स्थिति	2 V	20 mA	100 Ω
2.	द्वितीय स्थिति	4 V	40 mA	200 Ω
3.	तृतीय स्थिति	5 V	50 mA	100 Ω

परिणाम Result

उपरोक्त प्रायोगिक विधि के आधार पर ओह्म के नियम का सत्यापन किया। निरीक्षण तालिका से यह सिद्ध होता है कि सर्किट में बहने वाली धारा का अनुपात हमेशा वोल्टेज के समानुपाती होता है।

सावधनियाँ Precautions

1. सभी सोल्डरिंग संयोजन अच्छी तरह से करने चाहिए।
2. एमीटर को रेसिस्टर के सीरीज में तथा वोल्टमीटर को रेसिस्टर के समानान्तर जोड़ना चाहिए।
3. एमीटर को वोल्टमीटर को सर्किट में जोड़ते समय बैट्री के धनात्मक तथा ऋणात्मक ध्रुवता (polarity) का ध्यान रखना चाहिए।
4. एमीटर तथा वोल्टमीटर की रीडिंग संकेतक के स्थिर होने के पश्चात् ही लेनी चाहिए।
5. जब रीडिंग न लेनी हो तो स्विच को ऑफ कर देना चाहिए।
6. एमीटर तथा वोल्टमीटर के संकेतक को शून्य पर सेट कर लेना चाहिए। यदि कोई त्रुटि हो तो उसे रीडिंग लेने के पश्चात् जोड़ या घटा देना चाहिए।

Scanned with CamScanner

प्रयोगात्मक कार्य-5

उद्देश्य Object

स्लाइड वायर ब्रिज की सहायता से प्रतिरोधों को जोड़ने के श्रेणीक्रम व समान्तर क्रम के नियमों का सत्यापन करना।

उपकरण व सामग्री Apparatus and Materials

मीटर ब्रिज, गैल्वेनोमीटर, प्रतिरोध बॉक्स, कुन्जी, सेल, दो प्रतिरोध तार (resistance wires) आदि।

सिद्धान्त Principle

दो प्रतिरोधों R_1 व R_2 को श्रेणीक्रम (series) में जोड़ा जाए तो उनका तुल्य प्रतिरोध $R_s = R_1 + R_2$

यदि यही प्रतिरोध समान्तर क्रम (parallel) में जोड़े जाएँ तो तुल्य प्रतिरोध $\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ या $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ मीटर ब्रिज की सहायता से दिए गए पहले तार का प्रतिरोध R_1 निम्न सूत्र से ज्ञात करते हैं

$$R_1 = R_o \frac{(100 - l_1)}{l_1}$$

जहाँ, l_1 (सेमी मे), नल बिन्दु (null point) की मीटर ब्रिज के तार पर बिन्दु A से दूरी है व R_o बाएँ रिक्त स्थान में लगे प्रतिरोध बॉक्स से निकाला गया ज्ञात प्रतिरोध है।

मीटर ब्रिज की सहायता से दिए गए दूसरे तार का प्रतिरोध R_2 निम्न प्रकार ज्ञात करते हैं

$$R_2 = R_o \frac{(100 - l_2)}{l_2}$$

जहाँ, l_2 (सेमी में), समान्तर क्रम में संयोजन पर नल बिन्दु की बिन्दु A से दूरी है।

मीटर ब्रिज से श्रेणी क्रम में तुल्य प्रतिरोध R_s निम्न प्रकार ज्ञात करते हैं

$$R_s = R_o \frac{(100 - l_s)}{l_s}$$

जहाँ, l_s (सेमी मे), श्रेणी क्रम में संयोजन पर नल बिन्दु की A बिन्दु से दूरी है।

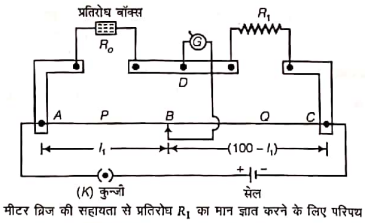
मीटर ब्रिज से समान्तर (parallel) क्रम में तुल्य प्रतिरोध R_p निम्न प्रकार ज्ञात करते है

$$R_p = R_o \frac{(100 - l_p)}{l_p}$$

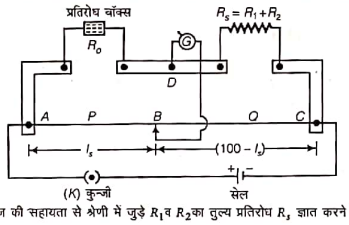
जहाँ, l_p (सेमी मे) समान्तर क्रम में संयोजन पर नल बिन्दु से दूरी है।

विधि Method

1. सर्वप्रथम R_1 ज्ञात करने के लिए निम्न प्रकार से परिपथ बनाते हैं।
2. विद्युत परिपथ के ठीक होने की जाँच करते हैं। इसके लिए प्रतिरोध बॉक्स में से प्रतिरोध; जैसे–3 या 4Ω; निकालकर जॉकी को दोनों सिरों पर बारी-बारी से (पहले A, फिर C) दबाते हैं। यदि विक्षेप विपरीत दिशाओं मे आते हैं तो विद्युत परिपथ ठीक है।
3. कुन्जी K में प्लग लगाकर धारा प्रवाहित करते हैं। प्रतिरोध बॉक्स में इतना प्रतिरोध समायोजित होता है कि अविक्षेप बिन्दु B पर प्राप्त होता है। दूरी l_1 नोट कर लेते हैं। अब विभिन्न प्रतिरोध निकालकर l_1 के विभिन्न मान नोट कर लेते हैं तथा सूत्र से प्रतिरोध R_1 ज्ञात कर लेते हैं।



मीटर ब्रिज की सहायता से प्रतिरोध R_1 का मान ज्ञात करने के लिए परिपथ



चित्र : मीटर ब्रिज की सहायता से श्रेणी में जुड़े R_1 व R_2 का तुल्य प्रतिरोध R_s ज्ञात करने के लिए परिपथ

4. इसी प्रकार R_2 प्रतिरोध ज्ञात कर लेते हैं।
5. अब दोनों प्रतिरोधों को श्रेणीक्रम में जोड़कर इनका तुल्य प्रतिरोध R_s उपरोक्त विधि से निकालते हैं।
6. फिर दोनो तारों को समान्तर क्रम मे जोड़कर दाएँ रिक्त स्थान से जोड़ते हैं तथा तुल्य प्रतिरोध R_p ज्ञात करते हैं।

प्रेक्षण Observation

प्रतिरोध R_1 के लिए तालिका

तालिका 1

क्र०सं०	R_o बाएँ रिक्त स्थान में (ओह्म में)	अविक्षेप स्थिति (l_1) (सेमी में)	$(100 - l_1)$ (सेमी में)	अज्ञात प्रतिरोध (R_1) (ओह्म में)	माध्य प्रतिरोध (R_1) (ओह्म में)
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

प्रतिरोध R_2 के लिए तालिका

तालिका 2

क्र०सं०	R_o बाएँ रिक्त स्थान में (ओह्म में)	अविक्षेप स्थिति l_2 (सेमी में)	$(100 - l_2)$ (सेमी में)	अज्ञात प्रतिरोध (R_2) (ओह्म में)	माध्य प्रतिरोध (R_2) (ओह्म में)
1.					
2.					

Scanned with CamScanner

3.					
4.					
5.					

इसी प्रकार, प्रतिरोध $R_s = (R_1 + R_2)$ व $R_p = \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}\right)$ ज्ञात कर लेते हैं (तालिका बनाकर)।

गणना Calculation

1. प्रतिरोध R_1 के लिए निम्न सूत्र का उपयोग करते हैं
$$R_1 = R_o\left(\frac{100 - l_1}{l_1}\right) = \ldots\ldots \text{ ओह्म}$$
2. प्रतिरोध R_2 के लिए निम्न सूत्र का उपयोग करते हैं
$$R_2 = R_o\left(\frac{100 - l_2}{l_2}\right) = \ldots\ldots \text{ ओह्म}$$
3. प्रतिरोध R_s के लिए निम्न सूत्र का उपयोग करते हैं
$$R_s = R_o\frac{(100 - l_s)}{l_s} = \ldots\ldots \text{ओह्म}$$
गणना द्वारा तुल्य प्रतिरोध, $R_s = R_1 + R_2 = \ldots\ldots$ ओह्म
4. $R_p = R_o\frac{(100 - l_p)}{l_p} = \ldots\ldots$ ओह्म

गणना द्वारा तुल्य प्रतिरोध, $R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \ldots\ldots$ ओह्म

परिणाम Results

(a) श्रेणीक्रम में,

गणना द्वारा तुल्य प्रतिरोध $R_s = \ldots\ldots\Omega$

सूत्र द्वारा तुल्य प्रतिरोध $R_s = R_1 + R_2 = \ldots\ldots\Omega$

अन्तर $= \ldots\ldots\Omega$

(b) समान्तर क्रम में,

गणना द्वारा तुल्य प्रतिरोध $R_p = \ldots\ldots\Omega$

सूत्र द्वारा तुल्य प्रतिरोध $R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \ldots\ldots\Omega$

अन्तर $= \ldots\ldots$ ओह्म

प्रायोगिक त्रुटि की सीमा के भीतर गणना द्वारा तुल्य प्रतिरोध तथा सूत्र द्वारा प्राप्त तुल्य प्रतिरोध लगभग बराबर हैं। अतः प्रतिरोधों के संयोग के नियम सत्य है।

सावधानियाँ Precautions

1. मीटर सेतु के तार का व्यास सर्वत्र एकसमान होना चाहिए।
2. परिपथ में विद्युत धारा अधिक समय तक प्रवाहित नहीं करनी चाहिए।
3. अविक्षेप बिन्दु की स्थिति 30 सेमी व 60 सेमी के मध्य लेनी चाहिए क्योंकि ब्रिज सबसे अधिक सुग्राही 50 सेमी पर होता है।

प्रयोगात्मक कार्य-6

उद्देश्य Object

दिए गए गैल्वेनोमीटर (galvanometer) (जिसका प्रतिरोध (G) तथा दक्षतांक C_S ज्ञात है) को वांछित परिसर के वोल्टमीटर में रूपान्तरित करना तथा इसका सत्यापन करना।

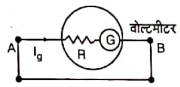
उपकरण व सामग्री Apparatus and Materials

एक बैटरी जिसका विद्युत वाहक बल ज्ञात है, उच्च प्रतिरोध का प्रतिरोध बक्स, एक वोल्टमीटर उसी परास का जिस परास में धारामापी को परिवर्तित करना है, जोड़ने वाले तार, कुँजी एक धारा नियन्त्रक।

सिद्धान्त Principle

धारामापी को जिसका प्रतिरोध G ओम है, को V वोल्ट के परिसर के वोल्टमीटर में परिवर्तन करने के लिए श्रेणीक्रम में प्रतिरोध R जोड़ा जाता है (चित्र 6.1)।

जहाँ $R = \frac{V}{I_g} - G$



चित्र : 6.1

I_g धारामापी के पूर्ण स्केल का विक्षेप उत्पन्न करने के लिए आवश्यक धारा है।

तथा $I_g = C_S N$

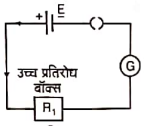
जहाँ C_S धारामापी का दक्षतांक अर्थात् एक खाने का विक्षेप उत्पन्न करने के लिए आवश्यक धारा तथा N धारामापी के एक ओर के कुल खानों की संख्या है।

विधि Method

इस प्रयोग को चार भागों में विभाजित किया जाता है।

A. गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध G ज्ञात करना।

गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध G का मान नोट करते हैं (साधारणतया खोल के पीछे अंकित रहता है) यदि गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध का मान ज्ञात नहीं है तब गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध का मान कैल्विन विधि या अर्द्ध विक्षेप विधि से ज्ञात करते हैं।



चित्र : 6.2

B. गैल्वेनोमीटर का दक्षतांक (C_S)

1. चित्र 6.2 के अनुसार परिपथ बनाते हैं।
2. वोल्टमीटर की सहायता से बैटरी का विद्युत वाहक बल (e.m.f) E नोट करते हैं। गैल्वेनोमीटर का प्रारम्भिक पाठ्यांक (शून्य) नोट करते हैं। उच्च प्रतिरोध वाले बक्स में से R(5000) ओम का प्रतिरोध निकालते हैं।
3. कुँजी K का प्लग लगाते हैं जिससे गैल्वनोमीटर में विक्षेप आ जाता है। प्रतिरोध बॉक्स से निकाले गए प्रतिरोध R को इतना समायोजित करते हैं कि गैल्वेनोमीटर में विक्षेप लगभग पूर्ण स्केल पर आ जाए।
4. गैल्वेनोमीटर में विक्षेप (n) की स्थिति (खानों की संख्या के रूप में) तथा प्रतिरोध बॉक्स से निकाले गए प्रतिरोध (R_1) को नोट करते हैं।
5. अब, निम्न सूत्र से दक्षतांक ज्ञात करते हैं, $C_S = \frac{I}{n} = \frac{E}{n(R_1 + G)}$
6. प्रतिरोध R के विभिन्न मानों के लिए (कम से कम चार प्रेक्षण) गैल्वेनोमीटर में संगत विक्षेप के भागों की संख्या (n) नोट करते हैं तथा प्रत्येक प्रेक्षण से C_S के मान की गणना करके उनका मध्यमान ज्ञात करते हैं।
7. गैल्वेनोमीटर स्केल पर शून्य के एक ओर कुल भागों की संख्या (N) नोट करके, धारामापी में प्रवाहित धारा का उच्चतम मान (पूर्ण स्केल के विक्षेप के लिए) निम्न सूत्र से ज्ञात कर लेते हैं,

Scanned with CamScanner

$$I_g = C_S \times N$$

C. श्रेणीक्रम में जोड़े जाने वाले प्रतिरोध का मान ज्ञात करना

1. समी० (i) में G, I_g व V के प्राप्त मानों को निम्न सूत्र में रखकर प्रतिरोध R के मान की गणना करते हैं,

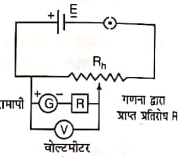
$$R = \frac{V}{I_g} - G$$

जहाँ V उसे वोल्टमीटर की परास (range) है जिससे गैल्वेनोमीटर को परिवर्तित करना है अर्थात् गैल्वेनोमीटर स्केल के शून्य के एक ओर के भाग वोल्टमीटर की परास है (अर्थात् यदि गैल्वेनोमीटर को $V = 3$ वोल्ट परास का वोल्टमीटर बनाना है तो $V = 3$ वोल्ट होगा तथा यदि गैल्वेनोमीटर के शून्य के एक ओर 30 भाग है तब इसका 1 भाग 0.1 वोल्ट बतायेगा)। इस प्रतिरोध (R) को गैल्वेनोमीटर के श्रेणीक्रम में लगाकर वोल्टमीटर में परिवर्तित करते हैं।

2. प्राय: R का ज्ञात मान वांछित प्रतिरोध अधिक होता है। अत: गैल्वेनोमीटर के श्रेणीक्रम में एक उच्च प्रतिरोध बॉक्स जोड़ देते हैं इस प्रतिरोध बॉक्स से वांछित प्रतिरोध (R) का प्लग निकाल देते हैं (चित्र 6.2)। इस स्थिति में यह गैल्वेनोमीटर V परास वाले वोल्टमीटर की तरह कार्य करने लगता है। इसके स्केल के कुल खानों को (शून्य के एक तरफ वाले) V वोल्ट के बराबर मानकर, स्केल को अंशांकित कर लेते हैं। इस परिवर्तित वोल्टमीटर का अल्पतमांक V/N होगा।

D. वोल्टमीटर में परिवर्तित गैल्वेनोमीटर का दिए गए वोल्टमीटर से अंशांकन करना

1. चित्र 6.3 के अनुसार विद्युत परिपथ बनाते हैं।
2. धारा-नियन्त्रक के स्पर्शी को एक विशेष स्थिति में समायोजित करके कुँजी K को बन्द करते हैं। वोल्टमीटर (V_2) व गैल्वेनोमीटर के भागों की संख्या (n) को नोट करते हैं।
3. गैल्वेनोमीटर के पाठ (n) को अल्पतमांक V/N से गुणा करके वोल्ट (V_1) में बदल लेते हैं, इस परिवर्तित मान (V_1) में तथा वोल्टमीटर के मान (V_2) में अन्तर $(V_1 - V_2)$ ज्ञात करते हैं, जो परिवर्तित गैल्वेनोमीटर की अंशांकन त्रुटि कहलाती है।
4. धारा-नियन्त्रक R_h की स्थिति में परिवर्तन करके, उपरोक्त प्रक्रम को तब तक दोहराते हैं जब तक कि परिवर्तित गैल्वेनोमीटर के पूरे स्केल का अंशांकन न हो जाये।



चित्र : 6.3

5. परिवर्तित गैल्वेनोमीटर के पाठ्यांक व वोल्टमीटर के संगत पाठ्यांकों के बीच एक वक्र खींचते हैं।

प्रेक्षण Observations

A. गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध G =..... ओम

B. गैल्वेनोमीटर का दक्षतांक तथा I_g का मान ज्ञात करना

(i) बैटरी का विद्युत वाहक बल =..... वोल्ट

(ii) गैल्वेनोमीटर में एक ओर के कुल खानों की संख्या N =..... खाने

क्र० सं०	प्रतिरोध बक्स से निकाला गया प्रतिरोध R_1	धारामापी में विक्षेप के खानों की संख्या	दक्षतांक $C_S = \frac{E}{n(R_1 + G)}$	औसत दक्षतांक C_S	पूर्ण स्केल का विक्षेप उत्पन्न करने की धारा $I_g = C_S \times N$
1.	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...
4.	...	...	...	...	...

C. श्रेणीक्रम में जोड़ने का प्रतिरोध ज्ञात करना।

सूत्र में G, V तथा I_g का मान रखने पर, $R = \frac{V}{I_g} - G$

D. धारामापी के सत्यापन करने की सारणी

परिवर्तित गैल्वेनोमीटर की अल्पतमांक V/N =..... वोल्ट

क्र० सं०	परिवर्तित गैल्वेनोमीटर का पाठ्यांक		वोल्टमीटर का पाठ्यांक V_2 (वोल्ट)	त्रुटि $(V_1 - V_2)$
	खानों की संख्या (n)	गणना से वोल्टता का मान $V_1 = n \times \frac{V}{N}$ वोल्ट		
1.	...	...	...	...
2.	...	...	...	...
3.	...	...	...	...
4.	...	...	...	...
5.	...	...	...	...
6.	...	...	...	...

गणना Calculations

(i) गैल्वेनोमीटर का दक्षतांक $C_S = \frac{E}{n(R_1 + G)} = \ldots$ ऐम्पियर/खाना

(ii) पूर्ण स्केल का विक्षेप उत्पन्न करने के लिए आवश्यक धारा $I_g = C_S N = \ldots\ldots$ ऐम्पियर

(iii) श्रेणीक्रम मे जोड़ने का प्रतिरोध $R = \frac{V}{I_g} - G = \ldots\ldots$ ओम

वोल्टमीटर का पाठ्यांक तथा परिवर्तित गैल्वेनोमीटर के पाठ्यांक का ग्राफ एक सरल रेखा है।

चित्र : 6.4

परिणाम Result

गैल्वेनोमीटर को V वोल्ट के परिसर के वोल्टमीटर में परिवर्तन करने के लिए श्रेणीक्रम में जोड़ने के लिये आवश्यक प्रतिरोध R =..... ओम

सावधानियाँ Precautions

1. बैटरी पूर्ण रूप से आवेशित होनी चाहिए अन्यथा E का मान बदलता रहता है।
2. वोल्टमीटर तथा परिवर्तित गैल्वेनोमीटर का प्रारम्भिक पाठ्यांक शून्य होना चाहिए।
3. दिये गये वोल्टमीटर तथा परिवर्तित गैल्वेनोमीटर के वोल्टमीटर का परिसर समान होना चाहिए।
4. दक्षतांक का मान ज्ञात करते समय प्रतिरोध बक्स से उच्च प्रतिरोध निकालना चाहिए जिससे धारामापी को टूटने से बचाया जा सके।
5. V_1 तथा V_2 का ग्राफ एक सीधी रेखा आना चाहिए यदि ऐसा नहीं तो प्रयोग दोबारा करना चाहिए।

Scanned with CamScanner

प्रयोगात्मक कार्य-7

उद्देश्य Object

उत्तल लेन्स की फोकस दूरी विस्थापन विधि (displacement method) से ज्ञात करना।

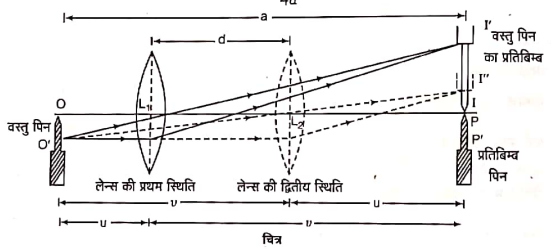
उपकरण व सामग्री Apparatus and Materials

उत्तल लेन्स, दो पिनें, प्रकाशित बैंच, दो ऊर्ध्वाधर स्टैण्ड।

सिद्धान्त Principle

यदि प्रकाशित बैंच पर दो पिनों के बीच की दूरी दिए गए उत्तल लेन्स की फोकस दूरी के चार गुने से अधिक हो तब इन पिनों के बीच लेन्स की दो स्थितियों में एक पिन का उल्टा व वास्तविक प्रतिबिम्ब दूसरी पिन पर प्राप्त होता है। इस स्थिति में, यदि दोनों पिनों के बीच की दूरी a तथा लेन्स की दोनों स्थितियों के बीच की दूरी d हो तब उत्तल लेन्स की फोकस दूरी

$$f = \frac{a^2 - d^2}{4a}$$



चित्र

माना दो पिनों OO' व PP' परस्पर a दूरी पर स्थित हैं। वस्तु पिन से $OL_1 = u$ दूरी पर उत्तल लेन्स रखने पर वस्तु पिन OO' का उल्टा एवं वास्तविक प्रतिबिम्ब II' लेन्स से $L_1I = v$ दूरी पर प्रतिबिम्ब पिन के ठीक ऊपर बनता है। अब दोनों पिनों की स्थितियों को अपरिवर्तित रखते हुए लेन्स को वस्तु पिन से $OL_2 = v$ दूरी पर रखने पर वस्तु पिन OO' का उल्टा एवं वास्तविक प्रतिबिम्ब II'; लेन्स से $L_2I = u$ दूरी पर, प्रतिबिम्ब पिन के ठीक ऊपर बनता है।

माना लेन्स की दोनों स्थितियों का विस्थापन d है तो

$$d = v - u \qquad \text{...(i)} \quad [\because L_1L_2 = OL_2 - OL_1]$$

तथा

$$a = v + u \qquad \text{...(ii)} \quad [\because OI = OL_1 + L_1I]$$

समीकरण (i) व (ii) को जोड़ने पर,

$$a + d = 2v \quad \Rightarrow \quad v = \frac{a+d}{2} \qquad \text{...(iii)}$$

समीकरण (ii) में से समीकरण (i) घटाने पर,

$$a - d = 2u \quad \Rightarrow u = \frac{a-d}{2} \qquad \text{...(iv)}$$

लेन्स की फोकस दूरी के लिए,

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

समीकरण (3) व (4) से मान रखने पर,

$$\frac{1}{f} = \frac{2}{(a+d)} - \frac{2}{[-(a-d)]}$$

$$= \frac{2(a-d+a+d)}{(a+d)(a-d)}$$

अथवा

$$\frac{1}{f} = \frac{2 \times 2a}{(a^2 - d^2)}$$

अथवा

$$f = \frac{a^2 - d^2}{4a}$$

विधि Method

1. सर्वप्रथम दिए गए उत्तल लेन्स की फोकस दूरी का अनुमान किसी अन्य विधि से लगाते हैं। इसके लिए उत्तल लेन्स को एक हाथ में लेकर सूर्य की समान्तर प्रकाश किरणों को एक पेपर पर फोकस करते हैं। उत्तल लेन्स को तब तक ऊपर या नीचे करते हैं जब तक कि वह कागज पर तीक्ष्ण एवं न्यूनतम आकार का बिन्दु प्रतिबिम्ब न बना दे। अब दूसरे हाथ में मीटर-पैमाने लेकर उत्तल लेन्स से उस बिन्दु प्रतिबिम्ब की दूरी पढ़ लेते हैं। यह दूरी ही उत्तल लेन्स की फोकस दूरी है।
2. अब प्रकाशिक बैंच पर दो ऊर्ध्वाधर स्टैण्डों पर दोनों पिनों को उत्तल लेन्स की फोकस दूरी के चार गुने ($4f$) से अधिक दूरी पर रखते हैं। दोनों पिनो के बीच तीसरे स्टैण्ड पर उत्तल लेन्स इस प्रकार लगाते हैं कि दोनों पिनों की नोक एवं लेन्स का प्रकाशिक केन्द्र एक रेखा में हों तथा यह रेखा प्रकाशित बैंच के समान्तर हो।
3. अब लेन्स को वस्तु पिन OO' के समीप रखकर धीरे-धीरे लेन्स की वस्तु पिन से दूरी बढ़ाकर लेन्स के दूसरी ओर से देखते हुए वस्तु का उल्टा एवं प्रवर्धित प्रतिबिम्ब II' प्राप्त करते हैं। अब लेन्स को आगे-पीछे अथवा दाएँ-बाएँ खिसकाकर प्रतिबिम्ब II' व प्रतिबिम्ब पिन PP' के बीच लम्बन दूर करते हैं और लेन्स एवं दोनो पिनों की स्थितियों को प्रकाशिक बैंच पर पढ़कर नोट कर लेते हैं।
4. अब दोनों पिनों की स्थितियों को अपरिवर्तित रखते हुए केवल लेन्स को खिसकाकर पुनः ऐसी स्थिति L_2 प्राप्त करते हैं जिसके लिए वस्तु पिन का उल्टा, वास्तविक एवं छोटा प्रतिबिम्ब II' प्रतिबिम्ब PP' के ठीक ऊपर बने तथा उनमें कोई लम्बन न हो। अब लेन्स की स्थिति L_2 को प्रकाशिक बैंच पर पढ़कर नोट कर लेते हैं।
5. अब किसी एक पिन को खिसकाकर, पिनों के बीच की दूरी 5-5 सेमी बढ़ाकर प्रयोग को तीन बार दोहराते हैं तथा प्रत्येक प्रेक्षण के लिए पिनों की स्थितियों एवं लेन्स की दोनों स्थितियों को पढ़कर नोट कर लेते हैं।

प्रेक्षण Observations

a व d के लिए सारणी—

तालिका

क्र० सं०	वस्तु पिन की स्थिति (सेमी०) A	प्रतिबिम्ब पिन की स्थिति (सेमी०) B	उत्तल लेन्स की प्रथम स्थिति L_1 (सेमी०)	उत्तल लेन्स की द्वितीय स्थिति L_2 (सेमी०)	दोनों पिनों के बीच की दूरी $a = A - B$ (सेमी०)	उत्तल लेन्स का विस्थापन $d = L_1 - L_2$ (सेमी०)
1.	...	...	...	...	...	...
2.	...	...	...	...	...	...
3.	...	...	...	...	...	...

Scanned with CamScanner

गणना Calculation

उत्तल लेन्स की फोकस दूरी $f = \frac{a^2 - d^2}{4a}$

प्रथम प्रेक्षण से, $f_1 = \frac{(\ldots)^2 - (\ldots)^2}{4 \times \ldots}$ सेमी = ... सेमी

द्वितीय प्रेक्षण से, $f_2 = \frac{(\ldots)^2 - (\ldots)^2}{4 \times \ldots}$ सेमी = ... सेमी

तृतीय प्रेक्षण से, $f_3 = \frac{(\ldots)^2 - (\ldots)^2}{4 \times \ldots}$ सेमी = ... सेमी

मध्यमान, $f = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3} = \frac{\ldots + \ldots + \ldots}{3}$ सेमी = ... सेमी

परिणाम Result

दिए गए उत्तल लेन्स की फोकस दूरी = ... सेमी।

सावधानियाँ Precautions

1. दोनों पिनों के बीच की दूरी दिए हुए उत्तल लेन्स की फोकस दूरी के चार गुने से अधिक होनी चाहिए। यदि तीनों पिनों के बीच दूरी $4f$ होगी तो लेन्स की केवल एक ही स्थिति में उल्टा प्रतिबिम्ब बनेगा, $4f$ से कम दूरी होने पर किसी भी स्थिति में उल्टा प्रतिबिम्ब नहीं बनेगा।
2. दिए हुए उत्तल लेन्स की फोकस दूरी इतनी होनी चाहिए कि बैंच उसके चार गुने से बड़ी हो।
3. लेन्स के प्रकाशिक केन्द्र तथा दोनों पिनों की नोकों को मिलाने वाली रेखा प्रकाशिक बैंच के तल के समान्तर होनी चाहिए।
4. वस्तु पिन के प्रतिबिम्ब तथा प्रतिबिम्ब पिन के बीच लम्बन दोनों पिनों की ओर से देखकर दूर करना चाहिए।
5. लेन्स साफ होना चाहिए तथा पिनें नुकीली होनी चाहिए।
6. लम्बन दूर करते समय आँख पिन से काफी दूर होनी चाहिए।

प्रयोगात्मक कार्य–8

उद्देश्य Object

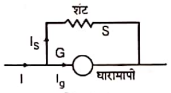
दिये गये गैल्वेनोमीटर जिसका प्रतिरोध (G) तथा दक्षतांक (C_S) ज्ञात है, को वांछित परिसर के अमीटर में रूपान्तरित करना तथा इसका सत्यापन करना।

उपकरण व सामग्री Apparatus and Materials

एक बैटरी जिसका वि०वा० बल ज्ञात है, उच्च प्रतिरोध का प्रतिरोध बक्स एक अमीटर उसी परास का जिस परास में गैल्वेनोमीटर को अमीटर में परिवर्तन करना है, एक शंट, जोड़ने वाले तारें, धारा नियन्त्रक, कुँजी।

सिद्धान्त Principle

किसी धारामापी (galvanometer) को अमीटर में इसके समान्तर में एक अल्प प्रतिरोध (शन्ट) लगाकर परिवर्तित किया जाता है। (चित्र 8.1)।



चित्र 8.1

माना धारा माप का प्रतिरोध (G) है तथा पूर्ण स्केल का विक्षेप उत्पन्न करने के लिये आवश्यक धारा (I_g) है माना धारामापी में कुल खानों की संख्या N है तथा एक खाने का विक्षेप उत्पन्न करने के लिए आवश्यक धारा (C_S) है जिसे धारामापी की दक्षतांक कहते हैं।
अत: $I_g = C_S N$। माना धारामापी को I ऐम्पियर की धारा नापने के लिये परिवर्तित करना है अर्थात् अमीटर की परास I ऐम्पियर है।

$\because \quad I_g + I_S = I$

तथा $G \times I_g = I_S \times S$ अत: $I_g = \frac{S}{S+G} I$

या $S = \frac{I_g G}{I - I_g}$ ...(1)

$I_g = C_S N$

जहाँ G= धारामापी का प्रतिरोध
I_g= धारामापी में पूर्ण स्केल का विक्षेप उत्पन्न करने के लिए आवश्यक धारा
I = परास
C_S= दक्षतांक

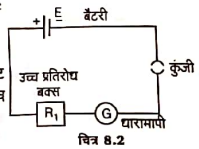
यदि C_S, N, G तथा परास I का मान ज्ञात हो तो शन्ट S का मान ज्ञात कर लेते हैं।
$S = \rho \frac{L}{\pi r^2}$, l (शन्ट के तार की लम्बाई) का मान ज्ञात कर लेते हैं। जहाँ ρ तार का विशिष्ट प्रतिरोध तथा r तार की त्रिज्या है।

विधि Method

A. गैल्वेनोमीटर का प्रतिरोध G ज्ञात करना (Determination of Galvanometer resistance)
गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध G का मान नोट करते हैं साधारणतया: यह गैल्वेनोमीटर के पीछे अंकित रहता है यदि गैल्वेनोमीटर के प्रतिरोध का मान ज्ञात नहीं है, तब कैल्विन विधि या अर्द्ध विक्षेप विधि से इसका मान ज्ञात करते हैं।

B. गैल्वेनोमीटर की दक्षतांक (C_S) ज्ञात करना तथा धारामापी के पूरे स्केल का विक्षेप उत्पन्न करने के लिये धारा I_g का मान ज्ञात करना (Determination of figure of merit C_S and full scale deflection current I_g)

1. चित्र 8.2 के अनुसार विद्युत परिपथ बनाते हैं।
2. वोल्टमीटर की सहायता से बैटरी का विद्युत वाहक बल (e.m.f.) E नोट करते हैं। गैल्वेनोमीटर का प्रारम्भिक पाठ्यांक (शून्य) नोट करते हैं। उच्च प्रतिरोध वाले बक्स में से R(5000) ओम का प्रतिरोध निकालते हैं।



चित्र 8.2

Scanned with CamScanner

3. कुँजी K का प्लग लगाते हैं जिससे गैल्वेनोमीटर में विक्षेप आ जाता है। प्रतिरोध बक्स से निकाले गये प्रतिरोध R को इस प्रकार समायोजित करते हैं कि गैल्वेनोमीटर में विक्षेप लगभग पूर्ण स्केल पर आ जाए।
4. गैल्वेनोमीटर में विक्षेप (n) की स्थिति (खानों की संख्या के रूप में) तथा प्रतिरोध बक्स से निकाले गये प्रतिरोध (R_1) को नोट करते हैं।
5. अब, निम्न सूत्र से दक्षतांक ज्ञात करते हैं,

$$C_S = \frac{E}{n(R_1 + G)}$$

6. प्रतिरोध R के विभिन्न मानों (कम से कम चार प्रेक्षण) के लिए गैल्वेनोमीटर में संगत विक्षेप के भागों की संख्या (n) नोट करते हैं तथा प्रत्येक प्रेक्षण से C_S के मान की गणना करके उनका मध्यमान ज्ञात करते हैं।
7. गैल्वेनोमीटर स्केल पर शून्य के एक ओर कुल भागों की संख्या (N) नोट करके, धारामापी में प्रवाहित धारा का उच्चतम मान (पूर्ण स्केल के विक्षेप के लिए) निम्न सूत्र से ज्ञात करते हैं,

$$I_g = C_S \times N$$

C. पार्श्वपथ (Shunt) के प्रतिरोध (S) का मान तथा उसकी लम्बाई (l) ज्ञात करना

(Determination of shunt resistance S and length l)

1. समीकरण (1) में I_g, I तथा G के मान रखकर पार्श्वपथ का प्रतिरोध S ज्ञात करते हैं,

$$S = \frac{I_g \times G}{I - I_g}$$

जहाँ I उस अमीटर की परास (range) है, जिसमें गैल्वेनोमीटर को परिवर्तित करना है अर्थात् गैल्वेनोमीटर स्केल के शून्य के एक ओर के भाग अमीटर की परास है (माना शून्य के एक ओर 30 भाग हैं माना इस गैल्वेनोमीटर की $I = 3$ ऐम्पियर के अमीटर में परिवर्तित करते हैं जिससे स्केल का एक भाग 0.1 ऐम्पियर प्रदर्शित करता है)।

2. एक कॉपर (या मैगनिन) का तार लेते हैं (जिसका नम्बर S.W.G. 20 या 22 हो) तथा इसकी एकांक लम्बाई का प्रतिरोध ρ', नियतांक सारणी से पढ़ लेते हैं। अब, पार्श्वपथ (शंट) तार की लम्बाई निम्न सूत्र से ज्ञात करते हैं,

$$l = \frac{S}{\rho'}$$

यदि शंट (दिये गये तार) का नं० ज्ञान न हो तो पेंचमापी की सहायता से इस तार की त्रिज्या r ज्ञात कर लेते हैं तथा तार के पदार्थ का विशिष्ट प्रतिरोध ρ नियतांकों की तालिका से नोट करके शंट तार की लम्बाई निम्न सूत्र से ज्ञात करते हैं,

$$l = \frac{\pi r^2 S}{\rho}$$

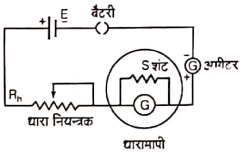
3. उपरोक्त गणना से प्राप्त लम्बाई से 2 सेमी अधिक लम्बाई का तार काट लेते हैं।
4. तार के दोनों सिरों को गैल्वेनोमीटर के पेंचों की बीच कसते हैं अब यह शंट युक्त गैल्वेनोमीटर अमीटर की तरह कार्य करता है।
5. इसके स्केल के कुल N खानों को I ऐम्पियर के बराबर मानकर, स्केल को अशांकित करते हैं इस परिवर्तित गैल्वेनोमीटर का अल्पतमांक I/N ऐम्पियर होगा।

D. अमीटर में परिवर्तन गैल्वेनोमीटर का दिये गये अमीटर से अंशाकन करना

(Celibration of the converted galvanometer with given ammeter)

1. चित्र 8.3 के अनुसार विद्युत परिपथ तैयार करते हैं।
2. कुँजी K को बन्द करके धारा-नियन्त्रक (R_h) को किसी एक स्थिति में समायोजित करते हैं। गैल्वेनोमीटर के भागों की संख्या (n) व अमीटर के पाठ्यांक (I_2) नोट करते हैं।

3. गैल्वेनोमीटर के पाठ्यांक को अल्पतमांक I/N से गुणा करके ऐम्पियर (I_1) में परिवर्तित करते हैं। इस गैल्वेनोमीटर से प्राप्त मान (I_1) तथा अमीटर के मान (I_2) में अन्तर निकालते हैं। दोनों मानों का अन्तर अशांकन त्रुटि कहलाती है।
4. धारा नियन्त्रक R_h की सहायता से धारा का मान परिवर्तित कर उपरोक्त प्रक्रम को तब तक दोहराते हैं जब तक कि गैल्वेनोमीटर की पूरी परास पर विक्षेप न आ जाये।
5. परिवर्तित गैल्वेनोमीटर के पाठ्यांक व धारामापी के संगत पाठ्यांकों के बीच एक वक्र खींचते हैं।



चित्र 8.3

प्रेक्षण Observations

A. धारामापी का प्रतिरोध (G) =..... ओम

B. C_S तथा I_g का मान ज्ञात करना।

(i) बैटरी का e.m.f. =..... वोल्ट

(ii) धारामापी में एक ओर कुल खानों की संख्या (N) =.... खाने

क्र० सं०	प्रतिरोध बक्स से निकाला गया प्रतिरोध R	विक्षेप [खानों की संख्या (n)]	दक्षतांक $C_S = \frac{E}{n(R+G)}$	मध्यमान दक्षतांक	पूर्ण स्केल का विक्षेप उत्पन्न करने के लिए आवश्यक धारा ($I_g = C_S \times N$)
1.	.....	.....	.....	.....	.....
2.	.....	.....	.....	.....	.....
3.	.....	.....	.....	.....	.....
4.	.....	.....	.....	.....	.....

C. शंट के तार की लम्बाई ज्ञात करना

(i) $S = \frac{I_g \times G}{I - I_g}$ =..... ओम

(ii) शंट के तार का गेज नं० =.....

(iii) शंट के तार के एकांक लम्बाई का प्रतिरोध ρ' =..... ओम/सेमी (तालिका से)

(iv) शंट के तार की लम्बाई (l) = $\frac{S}{\rho'}$ =..... सेमी

D. शंट युक्त धारामापी को अशांकन करना

शंट युक्त धारामापी की अल्पतमांक $\frac{I}{N}$ =..... ऐम्पियर

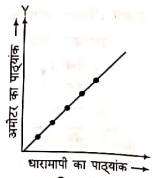
क्र० सं०	शंट युक्त धारामापी		धारामापी का पाठ्यांक	
	खानों की संख्या (n)	शंट युक्त धारामापी में धारा $I_1 = n \times \frac{1}{n}$ (ऐम्पियर)	अमीटर का पाठ्यांक I_2 (ऐम्पियर)	त्रुटि $(I_1 - I_2)$ ऐम्पियर
1.	.....	.....	.....	.....
2.	.....	.....	.....	.....

Scanned with CamScanner

3.	.....	.....	.....	.....
4.	.....	.....	.....	.....
5.	.....	.....	.....	.....
6.	.....	.....	.....	.....
7.	.....	.....	.....	.....

परिणाम Result

1. धारामापी का दक्षतांक $C_s = \frac{E}{n(R+G)}$ =..... ऐम्पियर/खाना
2. पूर्ण स्केल का विक्षेप उत्पन्न करने के लिए आवश्यक धारा
   $I_g = C_s N$ = ... ऐम्पियर
3. शंट के तार का प्रतिरोध $S = \frac{I_g \times G}{I - I_g}$ =.... ओम
4. यदि शंट के तार का S.W.G. नम्बर ज्ञात है तो $l = \frac{S}{\rho'}$ =.... सेमी
5. यदि शंट का S.W.G. ज्ञात नहीं है तब $L = \frac{\pi r^2 S}{\rho}$ =..... सेमी



चित्र 8.4

ρ तथा ρ' तालिका से ज्ञात करते हैं।

x-अक्ष पर शंट युक्त धारामापी का पाठ्यांक (I_1) तथा y-अक्ष पर अमीटर का पाठ्यांक (I_2) के मध्य ग्राफ खींचा जाता है जो एक सरल रेखा प्राप्त होती है या $I_1 - I_2$ तथा I_1 में ग्राफ खींचा जाता है।

प्राप्त आँकड़े

(a) शंट के तार S.W.G. नम्बर के तार की लम्बाई l =..... सेमी जो कि धारामापी को धारा ..... ऐम्पियर का परिसर का अमीटर बनाता है।

(b) अंशांकन ग्राफ एक सरल रेखा है।

सावधानियाँ Precautions

1. बैटरी पूर्णतया आवेशित होनी चाहिए अन्यथा उसका विद्युत वाहक बल परिवर्तित होता रहता है।
2. धारामापी या अमीटर का प्रारम्भिक पाठ्यांक शून्य होना चाहिए।
3. शंट को धारामापी के समान्तर में जोड़ना चाहिए।
4. दक्षतांक ज्ञात करते समय प्रतिरोध अधिक रखना चाहिए जिससे धारामापी में विक्षेप अधिक नहीं आता। यदि प्रतिरोध कम होता तो अधिक विक्षेप में धारामापी की सूई टूटने की सम्भावना रहती है।
5. यदि I_1 तथा I_2 का ग्राफ एक सरल रेखा नहीं आता तो हमारा शंट का मान सही नहीं है।

प्रयोगात्मक कार्य-9

उद्देश्य Object

किरचॉफ के प्रथम नियम अर्थात् धारा सम्बन्धी नियम का सत्यापन (To verify the first law of Kirchhoff)।

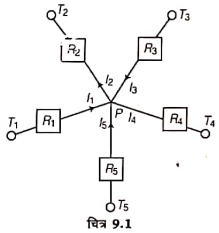
किरचॉफ का प्रथम नियम Kirchhoff's First Law दिष्टधारा वैद्युत परिपथ में किसी भी सन्धि बिन्दु पर धाराओं के बीजीय योग का मान शून्य होता है, अर्थात् $\Sigma I = 0$ अथवा सन्धि बिन्दु की ओर आने वाली धाराओं का योग तथा सन्धि बिन्दु से जाने वाली धाराओं का योग बराबर होता है।

आवश्यक उपकरण Required Apparatus

क्र०सं०	उपकरण का नाम	संख्या	विशिष्टताएँ
1.	प्रतिरोध (R)	चार	विभिन्न प्रतिरोध व धारा की क्षमता वाले।
2.	ऐमीटर् (A)	चार	विभिन्न धारा परास वाले चार लौह प्रारूपी।
3.	दि०धा० प्रदाय	एक	6 V व 9 V अथवा 12 V बैटरी
4.	चालक तारें (leads)	कई	पतले विद्युतरोधी ताम्रतार

संक्षिप्त सिद्धान्त तथा सूत्र Brief Theory and Formulae

चित्र के अनुसार माना कि P बिन्दु पर मिलने वाली शाखाओं में प्रवाहित धाराएँ क्रमशः I_1, I_2, I_3 तथा I_4 हैं। तब किरचॉफ के प्रथम नियम द्वारा P की ओर आने वाली धाराओं को धनात्मक तथा जाने वाली धाराओं को ऋणात्मक लेने पर धाराओं का बीजीय योग शून्य होगा। अर्थात्



चित्र 9.1

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

अथवा $$I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4$$

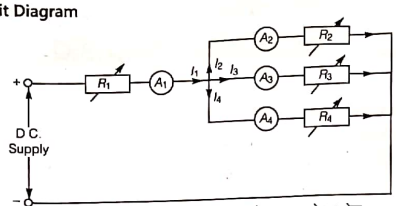
अथवा आने वाली धाराओं का योग = जाने वाली धाराओं का योग

टिप्पणी Note

उक्त कथन सत्य है; क्योंकि सन्धि बिन्दु P पर धाराएँ सम्मिलित होती हैं; रुककर संग्रह (accumulate) नहीं होती हैं; इसलिए जो भी धारा का परिमाण सन्धि बिन्दु की ओर बहता है, वही धारा का परिमाण सन्धि बिन्दु से बाहर की ओर बहता है।

Scanned with CamScanner

परिपथ आरेख Circuit Diagram



चित्र 9.2 : किरचॉफ के धारा सम्बन्धी नियम के सत्यापन हेतु आरेख

विधि Procedure

1. चित्र के अनुसार, प्रस्तुत प्रयोग के लिए परिपथ के सम्बन्धों (connections) को तैयार करते हैं।
2. परिवर्तनीय प्रतिरोधों R_1, R_2, R_3 तथा R_4 के उपयुक्त मानों को व्यवस्थित करके A_1, A_2, A_3 तथा A_4 धारामापियों (ऐमीटरों) के पाठ्यांकों को पढ़कर प्रेक्षण तालिका (observation table) में लिखिते हैं।
3. इसी प्रकार R_1, R_2, R_3 तथा R_4 परिवर्तनीय प्रतिरोधों के मानो को बराबर व्यवस्थित करके A_1, A_2, A_3 तथा A_4 धारामापियों (ऐमीटरों) के पाठ्यांकों के कम-से-कम पाँच सेट प्रेक्षण तालिका में लिखते हैं।
4. उक्त सूत्र द्वारा गणना करके, निष्कर्ष (conclusion) निकालते हैं।

प्रेक्षण तालिका Observation Table

तालिका

क्र०सं०	ऐमीटर रीडिंग				परिकलित मान $I_1 = I_2 + I_3 + I_4$			आक्षेपण Remark
	I_1	I_2	I_3	I_4				
1								
2								
3								
4								
5								
6								

परिणाम Result

उक्त प्रेक्षण तालिका के परिकलन सम्बन्धी कॉलम से स्पष्ट है कि परिपथ में P बिन्दु की ओर आने वाली धारा I_1 का मान, P बिन्दु से जाने वाली धाराओं I_2, I_3 तथा I_4 के योग के बराबर है। यही किरचॉफ के प्रथम नियम का सत्यापन है।

प्रयोगात्मक कार्य-10

उद्देश्य Object

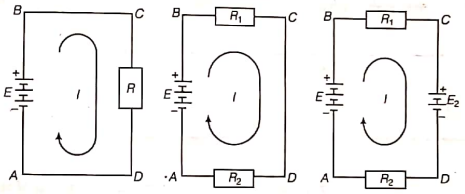
किरचॉफ के द्वितीय नियम अर्थात् वोल्टता सम्बन्धी नियम का सत्यापन (To verify the second law of Kirchhoff)।

किरचॉफ का द्वितीय नियम Kirchhoff's Second Law किसी बन्द एकदिष्टीय वैद्युत परिपथ में वैद्युत-वाहक बलों तथा प्रतिरोधों के आरपार वोल्टतापात (voltage drops across resistances) का बीजीय योग शून्य होता है अर्थात् $\Sigma (E + IR) = 0$ अथवा परिपथ में जनित वोल्टता का मान परिपथ की कुल पातीय वोल्टता के मान के बराबर होता है।

आवश्यक उपकरण Required Apparatus

क्र०सं०	उपकरण का नाम	संख्या	परास एवं विशिष्टताएँ
1.	प्रतिरोध (R)	दो	1 Ω तथा 2 Ω
2.	बैटरी (B)	दो	6 V तथा 12 V
3.	वोल्टमीटर (V)	चार	0 से 12 V तथा 0 से 10 V
4.	मिलीऐमीटर (mA)	एक	0 से 5 mA

संक्षिप्त सिद्धान्त तथा सूत्र Brief Theory and Formulae



चित्र 10.1 : वैद्युत परिपथ में किरचॉफ के द्वितीय नियम का अनुप्रयोग

चित्र (a) में किरचॉफ का वोल्टता नियम (Kirchhoff's voltage law)

$$E - IR = 0 \quad \text{अथवा} \quad E = IR$$

चित्र (b) में किरचॉफ का वोल्टता नियम (K.V.L.)

$$E - IR_1 - IR_2 = 0$$

अथवा

$$E = IR_1 + IR_2$$

चित्र (c) में किरचॉफ का वोल्टता नियम (K.V.L.)

$$E - IR_1 - E_2 - IR_2 = 0 \text{ अथवा } E = IR_1 + E_2 + IR_2$$

अथवा

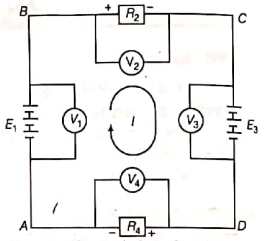
$$E = I(R_1 + R_2) + E_2$$

इस प्रकार बन्द वैद्युत परिपथ में विभिन्न वोल्टताओं का बीजीय योग प्राप्त किया जाता है और किरचॉफ के वोल्टता सम्बन्धी द्वितीय नियम का सत्यापन किया जाता है।

Scanned with CamScanner

विधि Procedure

1. सर्वप्रथम चित्र के अनुसार, प्रस्तुत प्रयोग हेतु वैद्युत परिपथ के सम्बन्धनों को तैयार करते हैं।
2. वोल्टमीटर V_1 तथा V_4 के पाठ्यांकों को किसी निश्चित वोल्टताओं (क्रमशः 12 V तथा 6 V) के लिए व्यवस्थित करते हैं और V_2 तथा V_3 वोल्टमीटर के पाठ्यांकों को पढ़कर प्रेक्षण तालिका (observation table) में लिखते हैं।
3. इसी प्रकार पुनः V_1 तथा V_4 वोल्टमीटरों के पाठ्यांकों को किसी अन्य निश्चित वोल्टताओं के मानों के लिए व्यवस्थित करते हैं और इससे सम्बन्धित V_2 तथा V_3 वोल्टमीटरों के पाठ्यांकों को प्रेक्षण तालिका में लिखते हैं।
4. इसी प्रकार पाठ्यांकों के अन्य समुच्चयों (sets) को प्रेक्षण तालिका में लिखते हैं।
5. सभी प्रेक्षणों को सारणीबद्ध (tabulate) करते हैं।
6. किरचॉफ के द्वितीय नियम द्वारा V_1, V_2, V_3 तथा V_4 वोल्टताओं में परस्पर सम्बन्ध स्थापित करते हुए परिकलन करते हैं।



चित्र 10.2 : किरचॉफ के द्वितीय नियम के सत्यापन हेतु वैद्युत परिपथ आरेख

प्रेक्षण तथा परिणाम तालिका Observation and Result Table

तालिका

क्र०सं०	वोल्टमीटर पाठ्यांक				परिकलित मान $V_1 = V_2 + V_3 + V_4$			आक्षेपण (Remark)
	V_1	V_2	V_3	V_4				
1.								
2.								
3.								

परिणाम Result

उक्त प्रेक्षण तालिका के परिकलन सम्बन्धी कॉलम से स्पष्ट है कि बन्द परिपथ में वोल्टताओं का बीजीय योग शून्य है। यही किरचॉफ के द्वितीय नियम का सत्यापन है।

प्रयोगात्मक कार्य–11

उद्देश्य Object

सेमीकन्डक्टर डायोड (सिलिकॉन तथा जर्मेनियम) के फॉरवर्ड बायस में *V-I* कैरेक्टरस्टिक खींचना।

आवश्यक मैटीरियल Required Materials

क्र०सं० S.No.	सामग्री Apparatus	प्रकार Type	रेन्ज Range	मात्रा Quantity
1.	PN Junction diode (PN जंक्शन डायोड)	1N 4007		1
2.	रेजिस्टेन्स (Resistance)	—	1 kΩ	1
3.	रेग्यूलेटिड पावर सप्लाई (Regulated Power Supply)	—	(0-30)V	1
4.	अमीटर (Ammeter)	MC	(0-200) mA	1
5.	वोल्टमीटर	MC	(0-1) V	1
6.	ब्रेड बोर्ड व कनैक्टिंग वायर	—	—	—

नोट अमीटर या वोल्टमीटर के स्थान पर मल्टीमीटर भी प्रयोग किया जा सकता है।

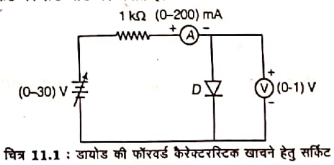
थ्योरी Theory

P-N जंक्शन में धारा एक दिशा में बहती है। यदि इनपुट सप्लाई के पॉजीटिव टर्मिनल को डायोड के एनोड (P-side) से तथा सप्लाई के निगेटिव टर्मिनल को डायोड के कैथोड से जोड़ा जाता है तब डायोड फॉरवर्ड बायस में होता है। इस स्थिति में जंक्शन का पोटैन्शियल बैरियर फॉरवर्ड बायस वोल्टेज लगाने पर कम होता जाता है। जब फॉरवर्ड वोल्टेज जक्शन के बैरियर वोल्टेज के बराबर हो जाता है तब होल्स P-side से ढथा इलेक्ट्रॉन्स N-side से जंक्शन को पार कर जाते हैं तथा फॉरवर्ड धारा बहने लगती है।

सर्किट डायग्राम Circuit Diagram

विधि Procedure

(i) चित्र के अनुसार सर्किट को ब्रेड बोर्ड पर बनाते हैं।



चित्र 11.1 : डायोड की फॉरवर्ड कैरेक्टरस्टिक खाचने हेतु सर्किट

(ii) डी० सी० सप्लाई की वोल्टेज के मान को परिवर्तित करके डायोड वोल्टेज (V) को शून्य से बढ़ाते हैं तथा तालिका 1.2 के अनुसार वोल्टेज के प्रत्येक मान पर धारा (A) का मान नोट कर लेते हैं।

Scanned with CamScanner

(iii) प्राप्त वोल्टेज V_F व प्राप्त धारा I_F के मध्य ग्राफ खींचते है।

(iv) उक्त विधि को जर्मेनियम डायोड के लिए भी रिपीट करते है।

प्रेक्षण Observation

तालिका

क्र०सं०	डायोड वोल्टेज, V_F (V)	डायोड धारा, I_F (mA) सिलिकॉन डायोड के लिए	डायोड धारा, I_F (mA) जर्मेनियम डायोड के लिए
1.	0		
2.	0.1		
3.	0.2		
4.	0.3		
5.	0.4		
6.	0.5		
7.	0.6		
8.	0.7		
9.	0.8		

ग्राफ निर्देश Graph Instructions

(i) ग्राफ पेपर को लेकर इस पर x-axis व y-axis खींचिते हैं तथा origin को मार्क (mark) करते हैं।

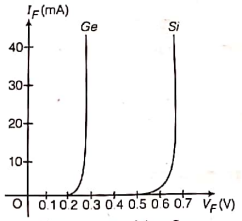
(ii) अब +ve x-axis पर V_F मार्क कीजिए तथा +ve y-axis पर I_F मार्क करते हैं।

(iii) तालिका 1.2 में प्राप्त वोल्टेज V_F व धारा I_F को ग्राफ पर मार्क करते हैं।

परिणाम Result

डायोड की फॉरवर्ड कैरेक्टरस्टिक को ग्राफ पेपर पर खींच दिया गया है। ग्राफ से निम्न बातें पता चलती है

(i) V_F को बढ़ाने पर प्रारम्भ में I_F का मान शून्य रहता है किन्तु जब V_F का मान पोटैन्शियल बैरियर से अधिक हो जाता है तो I_F का मान तेजी से बढ़ता है।



चित्र 11.2 : V-I कैरेक्टरस्टिक

(ii) Si diode का पोटैन्शियल बैरियर लगभग 0.7 V व Ge diode का पोटैन्शियल बैरियर लगभग 0.3 V प्राप्त होता है।

सावधानियाँ Precautions

(i) डायोड की फॉरवर्ड धारा का मान उसके रेटैड मान से अधिक नहीं होना चाहिए।

(ii) डायोड की फॉरवर्ड धारा का मान मल्टीमीटर या अमीटर की रेंज से अधिक नहीं होना चाहिए।

(iii) डायोड को सर्किट में सही पोलरिटी के अनुसार लगाना चाहिए।

मॉडल प्रश्न-पत्र

अनुप्रयुक्त भौतिकी-II

समय 2:30 घण्टे] [पूर्णांक : 50

नोट (i) सभी प्रश्नों को हल कीजिए।

(ii) परीक्षार्थियों द्वारा पेजर और मोबाइल फोन का प्रयोग अनुमन्य नहीं है।

प्रश्न 1. किन्हीं दस खण्डों के उत्तर दीजिए— [5 × 2 = 10]

(i) वायु में चल रहीं ध्वनि और प्रकाश तरंगें हैं—

(अ) अनुदैर्घ्य और अनुप्रस्थ क्रमशः (ब) दोनों अनुदैर्घ्य (स) दोनों अनुप्रस्थ

(ii) यदि एक सरल लोलक मुक्त रूप से गुरुत्वाकर्षण बल के अन्तर्गत नीचे गिर रहा है, तो उसका आवर्तकाल होगा।

(अ) $2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ (ब) शून्य (स) अनन्त

(iii) यदि निर्वात, जल तथा काँच में प्रकाश के वेग क्रमशः C, v_W तथा v_g हों तो कौन-सा सम्बन्ध सही है?

(अ) $C, > v_W > v_g$ (ब) $C < v_W < v_g$ (स) $C > v_W < v_g$

(iv) निर्वात के लिए परावैद्युतांक का क्या मान होता है?

(v) निम्न में वैद्युत धारिता का मात्रक कौन है?

(अ) कूलॉम (ब) वोल्ट (स) कूलॉम/वोल्ट

(vi) किसी परिच्छेद से प्रति सेकण्ड कितने इलेक्ट्रान गुजरें कि उत्पन्न धारा 1 ऐम्पियर हो?

(vii) तीन प्रतिरोध समान्तर क्रम में जुड़े हैं, इनके लिए कौन-सी भौतिक राशि समान है?

(अ) वैद्युत धारा (ब) वैद्युत शक्ति (स) विभवान्तर

(viii) चुम्बकीय क्षेत्र उत्पन्न किया जा सकता है—

(अ) गतिमान आवेश से (ब) परिवर्तित वैद्युत क्षेत्र से (स) इन दोनों से

(ix) अधिकांश पदार्थ कौन-सा चुम्बकत्व प्रदर्शित करते हैं?

(अ) प्रतिचुम्बकत्व (ब) अनुचुम्बकत्व (स) लौह चुम्बकत्व

(x) p- टाइप अर्द्ध-चालक में वैद्युत धारा मुख्यतः निम्न में किसके चालन द्वारा प्रवाहित होती है?

(अ) इलेक्ट्रान (ब) प्रोटान (स) कोटर (विवर)

(xi) ट्रांजिस्टर की रचना में प्रयुक्त सर्वाधिक सामान्य पदार्थ है।

(अ) चाँदी (ब) सिलिकॉन (स) ताँबा

(xii) एक ऑप्टिकल फाइबर में प्रकाश का गमन किस घटना द्वारा होता है?

(अ) परावर्तन (ब) पूर्ण आन्तरिक परावर्तन (स) अपवर्तन

प्रश्न 2. किन्हीं पाँच खण्डों को हल कीजिए— [5 × 2 = 10]

(अ) सैबाइन का नियम लिखिए।

(ब) प्रकाश की दोहरी प्रकृति से क्या तात्पर्य है?

(स) '1 वोल्ट' को परिभाषित कीजिए। पृथ्वी तल का वैद्युत विभव क्या है?

(द) 'व्हीटस्टोन सेतु' का सिद्धान्त लिखिए।

(य) 'ऐम्पियर का नियम' लिखिए।

(र) n- टाइप अर्द्धचालक में बहुसंख्यक आवेश वाहक और अल्पसंख्यक आवेश वाहकों के नामों का उल्लेख कीजिए।

(ल) सरल आवर्ती प्रगामी तरंगों से आप क्या समझते है?

Scanned with CamScanner

[2×5=10]

प्रश्न 3. किन्हीं दो खण्डों को हल कीजिए।

(अ) व्यतिकरण तथा विस्पन्द में अन्तर समझाइए।

(ब) रेडियो तरंगें 3×10^8 मी०/से की चाल से प्रसारित होती हैं। एक रेडियो प्रसारण केन्द्र 1.2 मेगा साइकिल/सेकण्ड पर कार्यक्रम प्रसारित कर रहा है। प्रसारित तरंग की तरंगदैर्घ्य क्या होगी?

(स) स्थिर वैद्युतिकी में गौस प्रमेय का उल्लेख कीजिए और व्याख्या कीजिए। गौसियन पृष्ठ क्या है?

[2×5=10]

प्रश्न 4. किन्हीं दो खण्डों को हल कीजिए।

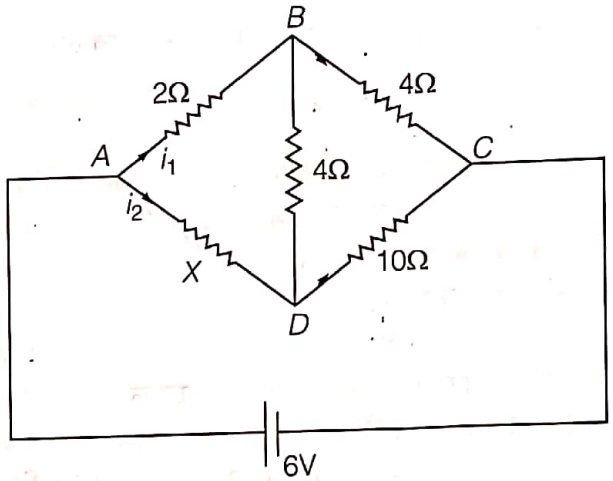
(अ) प्रतिरोधता को परिभाषित कीजिए और इसकी S.I मात्रक लिखिए। प्रतिरोधकता पर ताप का, 'चालकों' और 'अर्द्धचालकों' पर क्या प्रभाव होता है?

(ब) डोमेन सिद्धान्त के आधार पर लौह चुम्बकत्व की व्याख्या कीजिए। किन्हीं दो लौहचुम्बकीय पदार्थों के नाम लिखिए।

(स) चित्र में एक संतुलित व्हीटस्टोन सेतु दिखाया गया है—

(i) अज्ञात प्रतिरोध X का मान ज्ञात कीजिए।

(ii) धाराओं i_1 तथा i_2 के मान ज्ञात कीजिए।



चित्र

[2×5=10]

प्रश्न 5. किन्हीं दो खण्डों को हल कीजिए।

(अ) *p-n* संधि-डायोड की अर्ध तंरग दिष्टकारी की भाँति क्रियाविधि का वर्णन कीजिए।

(ब) ऑप्टिकल फाइबर क्या है? एक सिंगल मोड फाइबर में प्रकाश संचरण की क्रिया का उल्लेख कीजिए।

(स) संधारित्र क्या है? एक समान्तर प्लेट संधारित्र की धारिता के लिए व्यंजक प्राप्त कीजिए।

Scanned with CamScanner