இயற்பியல்

மின்காந்தக் கோட்பாடு ஓர் அறிமுகம்

(ஆய்வக கையேட்டுடன்)

நூலாசிரியர்:

ஏ.பி. பட்டாச்சார்யா
அடானு நாக்

மொழிபெயர்ப்பாளர்:

Dr. A. வெங்கடேசன்

மதிப்பாய்வுரையாளர்:

Dr. M. அனுசுயா

KHANNA BOOK PUBLISHING CO. (P) LTD.
PUBLISHER OF ENGINEERING AND COMPUTER BOOKS
4C/4344, Ansari Road, Darya Ganj, New Delhi-110002
Phone: 011-23244447-48 **Mobile:** +91-99109 09320
E-mail: contact@khannabooks.com
Website: www.khannabooks.com

Dear Readers,

To prevent the piracy, this book is secured with HIGH SECURITY HOLOGRAM on the front title cover. In case you don't find the hologram on the front cover title, please write us to at contact@khannabooks.com or whatsapp us at +91-99109 09320 and avail special gift voucher for yourself.

Specimen of Hologram on front Cover title:

Moreover, there is a SPECIAL DISCOUNT COUPON for you with EVERY HOLOGRAM.

How to avail this SPECIAL DISCOUNT:

Step 1: Scratch the hologram
Step 2: Under the scratch area, your "coupon code" is available
Step 3: Logon to www.khannabooks.com
Step 4: Use your "coupon code" in the shopping cart and get your copy at a special discount
Step 5: Enjoy your reading!

ISBN: 978-93-91505-75-2
Book Code: UG020TA

Physics (Introduction to Electromagnetic Theory)
by A. B. Bhattacharya, Atanu Nag
[Tamil Edition]

First Edition: 2022

Published by:
Khanna Book Publishing Co. (P) Ltd.
Visit us at: **www.khannabooks.com**
Write us at: **contact@khannabooks.com**
CIN: U22110DL1998PTC095547

To view complete list of books, Please scan the QR Code:

KPH

Printed in India.

Copyright © Reserved

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise without prior permission of the publisher.

This book is sold subject to the condition that it shall not, by way of trade, be lent, re-sold, hired out or otherwise disposed of without the publisher's consent, in any form of binding or cover other than that in which it is published.

Disclaimer: The website links provided by the author in this book are placed for informational, educational & reference purpose only. The Publisher do not endorse these website links or the views of the speaker/ content of the said weblinks. In case of any dispute, all legal matters to be settled under Delhi Jurisdiction only.

प्रो. म. जगदीश कुमार
अध्यक्ष
Prof. M. Jagadesh Kumar
Chairman

सत्यमेव जयते

आज़ादी का अमृत महोत्सव

अखिल भारतीय तकनीकी शिक्षा परिषद्
(भारत सरकार का एक सांविधिक निकाय)
(शिक्षा मंत्रालय, भारत सरकार)
नेल्सन मंडेला मार्ग, वसंत कुंज, नई दिल्ली–110070
दूरभाष : 011–26131498
ई–मेल : chairman@aicte-india.org

ALL INDIA COUNCIL FOR TECHNICAL EDUCATION
(A STATUTORY BODY OF THE GOVT. OF INDIA)
(Ministry of Education, Govt. of India)
Nelson Mandela Marg, Vasant Kunj, New Delhi-110070
Phone : 011-26131498
E-mail : chairman@aicte-india.org

முன்னுரை

தேசிய கல்விக் கொள்கை (NEP) 2020 உடன் இணைந்து, அகில இந்திய தொழில்நுட்பக் கல்விக்கழகம் (AICTE) 09 மொழிகளில் தொழில்நுட்ப புத்தகம் எழுதும் திட்டத்தை துவக்கியுள்ளது. அதாவது இந்தி, தமிழ், குஜராத்தி, கன்னடம், மராத்தி, பெங்காலி, தெலுங்கு, பஞ்சாபி மற்றும் ஒடியா ஆகிய மொழிகளில் ஆகும். அதைத் தொடர்ந்து, மேலும் 03 மொழிகள், அஸ்ஸாமி, மலையாளம் மற்றும் உருது ஆகியவை இதில் சேர்க்கப்பட்டுள்ளன. NEP-2020 இன் முக்கிய வலியுறுத்தல், மாணவர்களிடையே படைப்பாற்றல், விமர்சன சிந்தனையை மேம்படுத்தும் வகையில் தாய்மொழியில் கல்வியை வழங்குவதாகும்.

முதலாம் ஆண்டு பொறியியல் புத்தகம் எழுதும் பயணம், 20 பாடப்பிரிவுகள், டிப்ளமோ அளவில் 11 மற்றும் பட்டப்படிப்பு அளவில் 9 என அடையாளம் காணப்பட்டது. பின்னர், ஆங்கில மொழிகளில் அசல் புத்தகத்தை எழுதுவதற்காக பல்வேறு நிறுவனங்களைச் சேர்ந்த எழுத்தாளர்கள் அடையாளம் காணப்பட்டனர். அதே நேரத்தில், இந்தியா முழுவதும் உள்ள தொழில்நுட்ப பல்கலைக்கழகங்களை இணைத்து மொழிபெயர்ப்பாளர்கள் மற்றும் மதிப்பாய்வாளர்களை அடையாளம் காண ஒரு இணையான பயிற்சி தொடங்கப்பட்டது. அடையாளம் காணப்பட்ட ஒவ்வொரு மொழிக்கும், பல்வேறு பங்குதாரர்களுக்கு தரமான பாடப்புத்தகங்களை வழங்குவதற்காக பல்கலைக்கழகங்களுக்கு பணி வழங்கப்பட்டது.

புத்தகத்தின் தனித்துவமான அம்சங்கள்:

- பாடநெறி முடிவுகள், திட்டம் முடிவுகள் மற்றும் அத்தியாயம் முடிவுகள் விவரணையாக்கத்துடன் புத்தகத்தின் உள்ளடக்கம் சீரமைக்கப்பட்டது.
- ஒவ்வொரு அத்தியாயத்தின் தொடக்கத்திலும், அந்த அத்தியாயம் முடித்த பிறகு, மாணவர் தன்னிடம் என்ன எதிர்பார்க்கிறார் என்பதைப் புரிந்துகொள்ளும் வகையில் கற்றல் முடிவுகள் பட்டியலிடப்பட்டுள்ளன.
- புத்தகம் சமீபத்திய தகவல்கள், சுவாரஸ்யமான உண்மைகள், மின்-வளங்களுக்கான QR குறியீடு, தகவல் மற்றும் தகவல் தொடர்பு தொழில்நுட்ப திட்டங்கள் போன்றவற்றைப் பயன்படுத்துவதற்கான QR குறியீடு, குழு விவாதம். ஆகியவற்றை வழங்குகிறது.
- மாணவர் மற்றும் ஆசிரியர்களை மையமாகக் கொண்ட பாடப் பொருள் புத்தகத்தில் சமச்சீர் மற்றும் காலவரிசைப்படி சேர்க்கப்பட்டுள்ளது.
- தலைப்புகளின் தெளிவை மேம்படுத்த புள்ளிவிவரங்கள், அட்டவணைகள் மற்றும் மென்பொருள் திரை விளக்கங்கள் செருகப்படுகின்றன.

நாட்டின் தொழில்நுட்பக் கல்வியை வலுப்படுத்துவதற்கு ஆசிரியர்கள், மொழிபெயர்ப்பாளர்கள் மற்றும் மதிப்பாய்வாளர்களின் பங்களிப்பு நீண்ட தூரம் செல்லும் என்பதில் நாங்கள் மிகவும் நம்பிக்கையுடன் இருக்கிறோம்.

(பேராசிரியர் எம். ஜெகதேஷ் குமார்)

ஒப்புதல்கள்

பொறியியல் மற்றும் தொழில்நுட்ப மாணவர்களுக்கான தொழில்நுட்ப புத்தகத்தை வெளியிடுவதற்கு துல்லியமாக திட்டமிட்டதற்காகவும் அதனை நிறைவேற்றியதற்காகவும், அகில இந்திய தொழில்நுட்ப கழகத்திற்கு (AICTE) ஆசிரியர்கள் நன்றியைத் தெரிவித்துக்கொள்கிறோம்.

தனது மதிப்புமிக்க பங்களிப்பாகவும், மாணவர்கள் எளிதில் கையாளும் வகையில் இப்புத்தகத்தை சிறப்பாக வடிவமைத்ததற்காக இதன் மதிப்புரை ஆய்வாளரான பேராசிரியர் ஆர். பி. தாஹியா அவர்களுக்கு நாங்கள் மனதார நன்றி கூறுகிறோம்.

இப்புத்தகம் AICTE மாதிரி பாடத்திட்டத்திற்கும், தேசிய கல்விக் கொள்கை (NEP) -2020 இன் வழிகாட்டுதல்களுக்கும் ஏற்ப அமைந்துள்ளது என்பதை நாங்கள் பெருமதிப்புடன் குறிப்பிடுகின்றோம். பிராந்திய மொழிகளில் கல்வியை ஊக்குவிக்கும் நோக்கில், அட்டவணையிடப்பட்ட இந்திய பிராந்திய மொழிகளில் இப்புத்தகம் மொழிபெயர்க்கப்பட்டுள்ளது.

தமிழில் மொழிபெயர்ப்பு மற்றும் மதிப்பாய்வு பணிகளுக்காக முறையே பனிமலர் பொறியியல் கல்லூரி, இயற்பியல் துறை, இணை பேரா. முனைவர் A. வெங்கடேசன் மற்றும் இந்திரா கணேசன் கல்வி நிறுவனங்கள், பதிவாளர், முனைவர் M. அனுசுயா அவர்களுக்கும் நாங்கள் நன்றி கூற விரும்புகிறோம்.

மொழிபெயர்ப்பு நோக்கங்களுக்காக AI அடிப்படையிலான மொழிபெயர்ப்பு சாதனத்தை வடிவமைத்தமைக்கு திரு. புத்தா சந்திரசேகர், CCO NEAT AICTE அவர்களுக்கு எங்கள் மனமார்ந்த வணக்கங்களைத் தெரிவித்துக் கொள்கிறோம்.

இறுதியாக, வெளியீட்டு நிறுவனமான M/s. கண்ணா பப்ளிஷிங் கம்பெனி பிரைவேட் லிமிடெட், புது தில்லி, அவர்களுக்கு எங்களது மனமார்ந்த நன்றியை தெரிவித்து, அனைத்து அம்சங்களும் பொருந்திய இப்புத்தகத்தின் வெளியீட்டை ஒரு அற்புதமான அனுபவமாக மாற்ற, பதிப்பகத்தார் முழு ஒத்துழைப்பையும் வழங்கி இருந்தார்கள் என்பதையும் மிகுந்த நன்றியுடன் தெரிவித்து கொள்கிறோம்.

A. B. பட்டாச்சார்யா

அதானு நாக்

முகவுரை

"பொறியியல் இயற்பியல்" என்ற தலைப்பில் உள்ள இப்புத்தகம் அடிப்படை இயற்பியல் படிப்புகளை கற்பித்ததன் அனுபவத்தின் விளைவாகும். இந்த கருத்துள்ள புத்தகத்தை எழுதுவதற்கான துவக்கம், பொறியியல் மாணவர்களுக்கு இயற்பியலின் அடிப்படை அறிவியலை அறிவுறுத்துவதோடு, இந்த விஷயத்தைப் பற்றிய நுண்ணறிவைப் பெற அவர்களுக்கு உதவுகிறது. பரந்த கொள்கைகளின் நோக்கத்தை யும், அத்தியாவசிய துணை தகவல்களை வழங்குவதையும் மனதில் வைத்து, ஏ.ஐ.சி.டி.இ பரிந்துரைத்த தலைப்புகளை, புத்தகம் முழுவதும் மிகவும் முறையாகவும் வரிசையாகவும் சேர்த்துள்ளோம். பொருளின் அடிப்படைக் கருத்துக்களை எளிமையான முறையில் விளக்க முயற்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டுள்ளன.

கையெழுத்துப் பிரதியின் நீண்ட தயாரிப்பின்போது, பல்வேறு தரமான உரை புத்தகங்களை நாங்கள் கருத்தில் கொண்டு, அதன்படி முக்கியமான கேள்விகள், தீர்க்கப்பட்ட மற்றும் துணைக் கணக்குகள் போன்ற பிரிவுகளை நாங்கள் உருவாக்கியுள்ளோம். வெவ்வேறு பிரிவுகளைத் தயாரிப்பதில் வரையறைகள், விதிகள் மற்றும் விரிவான அடிப்படைக் கொள்கைகளை விரைவாக புரிந்துகொள்ள சூத்திரங்களின் சுருக்கத்தையும் பயன்படுத்தியுள்ளோம். இப்புத்தகம் அனைத்து வகையான நடுத்தர மற்றும் மேம்பட்ட நிலை பிரச்சினைகளையும் உள்ளடக்கி, தரத்துடன் மிகவும் தர்க்கரீதியான மற்றும் முறையான வகையிலும் வழங்கப்பட்டுள்ளன. பல ஆண்டுகளாக மாணவர்களுக்கு கற்பித்த சிக்கல்களின் தரங்கள் சோதிக்கப்பட்டுள்ளன.

தேவையான விளக்கப்படங்கள் மற்றும் எடுத்துக்காட்டுகள் தவிர, தொடர்புடைய தலைப்புகளைப் பற்றிய சரியான புரிதலுக்காக ஒவ்வொரு அலகிலும் பல தீர்க்கப்பட்ட கணக்குகளுடனும் புத்தகத்தை வளப்படுத்தி யுள்ளோம். ''பொறியியல் இயற்பியல்'' என்ற பொதுவான தலைப்பின் கீழ், பொறியியலில் இயற்பியலின் வெவ்வேறு அம்சங்களையும் பயன்பாடுகளையும் உள்ளடக்கிய நான்கு புத்தகங்களின் தொகுப்பு உள்ளது. அவற்றில், முதலாவதாக மின்காந்தக் கோட்பாடு ஓர் அறிமுகம், இரண்டாவதாக இயந்திரவியல் ஓர் அறிமுகம், மூன்றாவதாக பொறியாளர்களுக்கான குவாண்டம் இயந்திரவியல் மற்றும் நான்காவதாக அலைவு, அலைகள் மற்றும் ஒளியியல் ஆகியவற்றை உள்ளடக்கியது. எல்லா புத்தகங்களிலும், பொருந்தக்கூடிய அலகுகளில் தொடர்புடைய நடைமுறைகளை நாங்கள் சேர்த்துள்ளோம் என்பதை கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். கூடுதலாக, ''மேலும் அறிக'' என்ற தலைப்பின் கீழ் பயனர்களுக்கான சில அத்தியாவசிய தகவல்களைத் தவிர, பின் இணைப்பு மற்றும் இணைப்பு பிரிவில் சில அத்தியாவசிய அடிப்படை தகவல்களையும் நாங்கள் தெளிவு படுத்தியுள்ளோம்.

தற்போதைய புத்தகத்தைப் பொருத்தவரை, "பொறியியல் இயற்பியல் – மின்காந்தக் கோட்பாடு ஓர் அறிமுகம்" என்பது உள்ளடக்கப்பட்ட தலைப்புகளில் பயன்பாட்டு இயற்பியலில் முழுமையான அடிப்படையை வழங்குவதாகும். பொறியியல் இயற்பியலின் இந்த பகுதி 21 ஆம் நூற்றாண்டு மற்றும் அடுத்தடுத்த பொறியியல் சவால்களைச் சமாளிக்க மின்காந்தவியல் கோட்பாட்டைப் பயன்படுத்த மாணவர்களைத் தயார்படுத்துகிறது. பொருட் தகவல்கள் ஆக்கபூர்வமான முறையில் வழங்கப்பட்டுள்ளதால், பொறியியல் பட்டம் பெற்ற மாணவர்கள் தனியார் துறையில் அல்லது தேசிய ஆய்வகங்களில் அவர்களை தொழில் நுட்பத்தில் மிகவும் முன்னணியில் பணியாற்றத் தயார்படுத்துகிறது.

பொறியியல் இயற்பியலின் அடிப்படைக் கொள்கைகளுக்குப் பின்னால் உள்ள கருத்துக்களைக் கற்றுக் கொள்ளவும் விவாதிக்கவும் இந்த புத்தகம் மாணவர்களை ஊக்குவிக்கும் என்றும், இந்த புத்தகம் உறுதியான அடித்தளத்தை உருவாக்க நிச்சயமாக பங்களிக்கும் என்றும் நாங்கள் உண்மையிலேயே

நம்புகிறோம். புத்தகத்தின் எதிர்கால பதிப்புகளின் முன்னேற்றத்திற்கு பங்களிக்கும் அனைத்து பயனுள்ள கருத்துகள் மற்றும் பரிந்துரைகளுக்கு நாங்கள் நன்றி செலுத்துகிறோம். இந்த புத்தகத்தை ஆசிரியர்கள் மற்றும் மாணவர்களின் கைகளில் கொடுப்பது எங்களுக்கு மிகுந்த மகிழ்ச்சியை அளிக்கிறது. இப்புத்தகத்தை தயாரிக்கும்போது மதிப்புமிக்க தகவல்களை வழங்கிய உறுப்பினர்களின் குழுவுடன் சேர்ந்து புத்தகத்திற்காக பணியாற்றுவது உண்மையில் ஒரு பெரிய மகிழ்ச்சி.

A. B. பட்டாச்சார்யா

அதானு நாக்

விளைவை அடிப்படையாகக் கொண்ட கல்வி

விளைவு அடிப்படையிலான கல்வியை செயல்படுத்துவதற்கு முதல் தேவை, விளைவு அடிப்படையிலான பாடத்திட்டத்தை உருவாக்குவதும், கல்வி முறைமையில் விளைவு அடிப்படையிலான மதிப்பீட்டை இணைப்பதுமே ஆகும். விளைவு அடிப்படையிலான மதிப்பீடுகளை மேற்கொள்வதன் மூலம், தரநிலை, குறிப்பிட்ட மற்றும் அளவிடக்கூடிய விளைவுகளை மாணவர்கள் அடைந்திருக்கிறார்களா என்பதை மதிப்பீடு செய்ய முடியும். விளைவு அடிப்படையிலான கல்வியை முறையாக இணைத்துக்கொள்வதன் மூலம், எந்தவொரு கற்றலையும் கைவிடாமல் கற்பவர்களுக்கும் குறைந்தபட்ச தரத்தை அடைவதற்கு ஒரு திட்டவட்டமான அர்ப்பணிப்பு இருக்கும். விளைவு அடிப்படையிலான கல்வியின் உதவியுடன் இயங்கும் திட்டத்தின் முடிவில், ஒரு மாணவர் பின்வரும் விளைவுகளை அடைய முடியும்.

PO-1: **பொறியியல் அறிவு:** சிக்கலான பொறியியல் சிக்கல்களின் தீர்வுக்கு கணிதம், அறிவியல், பொறியியல் அடிப்படைகள் மற்றும் பொறியியல் நிபுணத்துவம் பற்றிய அறிவைப் பயன்படுத்துங்கள்.

PO-2: **சிக்கல் பகுப்பாய்வு:** கணிதம், இயற்கை அறிவியல் மற்றும் பொறியியல் விஞ்ஞானங்களின் முதல் கொள்கைகளைப் பயன்படுத்தி கணிசமான முடிவுகளை அடையாளம் காணவும், வடிவமைக்கவும், ஆய்வு இலக்கியங்களை ஆய்வு செய்யவும் மற்றும் சிக்கலான பொறியியல் சிக்கல்களை பகுப்பாய்வு செய்யவும்.

PO-3: **தீர்வுகளின் வடிவமைப்பு / மேம்பாடு:** சிக்கலான பொறியியல் சிக்கல்கள் மற்றும் வடிவமைப்பு கூறுகள் அல்லது குறிப்பிட்ட தேவைகளை பூர்த்தி செய்யும் செயல்முறைகள், பொது சுகாதாரம் மற்றும் பாதுகாப்பு மற்றும் கலாச்சார, சமூக மற்றும் சுற்றுச்சூழல் கருத்தாய்வுகளுக்கான பொருத்தமான தீர்வு களுடன் வடிவமைக்கவும்.

PO-4: **சிக்கலான கணக்குகளின் விசாரணைகளை நடத்துங்கள்:** சரியான முடிவுகளை வழங்க சோதனைகளின் வடிவமைப்பு, பகுப்பாய்வு மற்றும் தரவின் விளக்கம் மற்றும் தகவலின் தொகுப்பு உள்ளிட்ட ஆராய்ச்சி அடிப்படையிலான அறிவு மற்றும் ஆராய்ச்சி முறைகளைப் பயன்படுத்தவும்.

PO-5: **நவீன கருவி பயன்பாடு:** வரம்புகள் பற்றிய புரிதலுடன் சிக்கலான பொறியியல் நடவடிக்கை களுக்கு முன்கணிப்பு மற்றும் மாடலிங் உள்ளிட்ட பொருத்தமான நுட்பங்கள், வளங்கள் மற்றும் நவீன பொறியியல் மற்றும் தகவல் தொழில்நுட்ப கருவிகளை உருவாக்கி, தேர்ந்தெடுத்து பயன்படுத்தவும்.

PO-6: **பொறியியலாளர் மற்றும் சமூகம்:** சமூக, சுகாதாரம், பாதுகாப்பு, சட்ட மற்றும் கலாச்சார பிரச்சினைகள் மற்றும் தொழில்முறை பொறியியல் நடைமுறைக்கு தொடர்புடைய பொறுப்புகளை மதிப்பிடு வதற்கு சூழ்நிலை அறிவால் தெரிவிக்கப்பட்ட பகுத்தறிவைப் பயன்படுத்துங்கள்.

PO-7: **சுற்றுச்சூழல் மற்றும் நிலைத்தன்மை:** சமூக மற்றும் சுற்றுச்சூழல்களில் தொழில்முறை பொறியியல் தீர்வுகளின் தாக்கத்தை புரிந்து கொள்ளுங்கள், மேலும் நிலையான வளர்ச்சிக்கான அறிவை யும் தேவையையும் நிரூபிக்கவும்.

PO-8: **நெறிமுறைகள்:** நெறிமுறைக் கோட்பாடுகளைப் பயன்படுத்துங்கள் மற்றும் தொழில்முறை நெறிமுறைகள் மற்றும் பொறியியல் நடைமுறையின் பொறுப்புகள் மற்றும் விதிமுறைகளுக்கு உறுதி யளிக்கவும்.

PO-9: தனிப்பட்ட மற்றும் குழு வேலை: ஒரு தனிநபராகவும், பல்வேறு அணிகளில் உறுப்பினர் அல்லது தலைவராகவும், பலதரப்பட்ட அமைப்புகளிலும் திறம்பட செயல்பட வேண்டும்.

PO-10: தகவல்தொடர்பு: சமூகத்துடன் சிக்கலான பொறியியல் செயல்பாடுகளில் திறம்பட தொடர்பு கொள்வது, அதாவது பயனுள்ள அறிக்கைகள் மற்றும் வடிவமைப்பு ஆவணங்களை புரிந்துகொள்வதற்கும் எழுதுவதற்கும், பயனுள்ள விளக்கக்காட்சிகளை வழங்குவதற்கும், தெளிவான வழிமுறைகளை வழங்கு வதற்கும் பெறுவதற்கும் உபயோகப்படுத்தப்பட வேண்டும்.

PO-11: திட்ட மேலாண்மை மற்றும் நிதி: பொறியியல் மற்றும் மேலாண்மைக் கொள்கைகளைப் பற்றிய அறிவையும் புரிதலையும் நிரூபிக்கவும், ஒரு குழுவில் உறுப்பினராகவும் தலைவராகவும், திட்டங்களை நிர்வகிக்க மற்றும் பலதரப்பட்ட சூழல்களில் ஒருவரின் சொந்த வேலைக்கு இவற்றைப் பயன் படுத்துங்கள்.

PO-12: வாழ்நாள் முழுவதும் கற்றல்: தொழில்நுட்ப மாற்றத்தின் பரந்த சூழலில் சுயாதீனமான மற்றும் வாழ்நாள் முழுவதும் கற்றலில் ஈடுபடுவதற்கான தயாரிப்பையும் திறனையும் அறிந்து கொள்ளுங்கள்.

பாட விளைவுகள்

பாடநெறி முடிந்ததும் மாணவர்கள் இதைச் செய்ய முடியும்:

CO–1: நிலையான மின்காந்த புலங்களின் வெவ்வேறு இயற்பியல் கருத்துக்களை விவரிக்க.

CO–2: மின்புலங்கள் மற்றும் மின்னழுத்தங்களுக்கான எல்லை நிலைகளை விவரிக்க நிலைமின்னியல் மற்றும் காந்தநிலைமவியல் கொள்கைகளை விளக்குக.

CO–3: ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டல் விதி தொடர்பான கருத்துகளைப் பற்றி விவாதிக்க.

CO–4: மின்காந்த புலக் கோட்பாட்டில் அலைகளைப் பரப்புவது தொடர்பான சிக்கல்களைத் தீர்க்க மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்துக.

CO–5: காந்தப் பொருட்களின் வெவ்வேறு பண்புகளை பகுப்பாய்வு செய்க.

CO–6: வெவ்வேறு ஊடகங்களில் மின்காந்த அலைகளின் பரவலைப் பகுப்பாய்வு செய்க.

பாடநெறி விளைவு	நிரல் விளைவுகளுடன் எதிர்பார்க்கப்படும் விவரணையாக்கம் *(1–பலவீனமான தொடர்பு; 2–நடுத்தர தொடர்பு; 3–வலுவான தொடர்பு)*											
	PO-1	PO-2	PO-3	PO-4	PO-5	PO-6	PO-7	PO-8	PO-9	PO-10	PO-11	PO-12
CO-1	3	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
CO-2	3	1	2	1	1	–	–	–	–	–	–	–
CO-3	3	2	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–
CO-4	3	3	2	1	1	–	–	–	–	–	–	–
CO-5	3	1	3	1	2	–	–	–	–	–	–	–
CO-6	3	3	3	1	1	–	–	–	–	–	–	–

சுருக்கங்கள் மற்றும் சின்னங்கள்

சுருக்கங்களின் பட்டியல்

சுருக்கம்	முழு வடிவம்	சுருக்கம்	முழு வடிவம்
CO	பாடநெறி விளைவு	Ge	ஜெர்மானியம்
PO	திட்ட விளைவு	T	டெஸ்லா
UO	அலகு விளைவு	G	காஸ்
C	கூலூம்	Oe	ஓயர்ஸ்டெட்
μC	மைக்ரோ கூலூம்	Wb	வெபர்
nC	நானோ கூலூம்	V	வோல்ட்
GHz	ஜிகா ஹெர்ட்ஸ்	LCR	மின் தூண்டி–மின்தேக்கி–மின்தடை
DC	நேர்திசை மின்னோட்டம்	Q-factor	தர காரணி
AC	மாறுதிசை மின்னோட்டம்	mH	மில்லி ஹென்றி
CRT	எதிர்முனைக் கதிர்க்குழல்	μF	மைக்ரோஃபாரட்
A	ஆம்பியர்	kHz	கிலோஹெர்ட்ஸ்
μA	மைக்ரோ ஆம்பியர்	BW	பட்டை அகலம்
nA	நானோ ஆம்பியர்	Hz	ஹெர்ட்ஸ்
emf	மின்னியக்கு விசை	W	வாட்
mmf	காந்த இயக்கு விசை	EM	மின்காந்தம்
CRO	எதிர்முனைக் கதிர்அலையியற்றி		

குறியீடுகளின் பட்டியல்

சுருக்கம்	விரிவாக்கம்	சுருக்கம்	விரிவாக்கம்
e	மின்னூட்டம்	g	சுழிகாந்த விகிதம்
ε_0	வெற்றிடத்தின் விடுதிறன்	ω_L	லார்மோர்அதிர்வெண்
ε_r, k	சார்பு விடுதிறன்	p_{eff}	போர் மக்னெட்டான் பயனுறு எண்
ρ	கனஅளவு மின்னூட்ட அடர்த்தி	T_N	நீல் வெப்பநிலை
σ	மேற்பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தி	L	தன் மின்தூண்டல்
λ	நேரியல் மின்னூட்ட அடர்த்தி	M	பரிமாற்று மின்தூண்டல்
φ	மின் பாயம்	S	தயக்கம்
E	மின் புலச் செறிவு	K	இணைப்பு குணகம்

சுருக்கம்	விரிவாக்கம்	சுருக்கம்	விரிவாக்கம்
D	மின் இடப்பெயர்வு	I_d	இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டம்
C	மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத் திறன்	J_d	இடமாற்ற மின்னோட்ட அடர்த்தி
φ	மின்காந்த ஏற்புத்திறன்	P	பாயிண்டிங் திசையன்
μ_0	வெற்றிடத்தின் உட்புகு திறன்	ψ	அலை சார்பு
J	மின்னோட்ட அடர்த்தி	Z	ஊடகத்தின் மின்மறுப்பு
B	காந்தத்தூண்டல்	α	தேய்வு மாறிலி
H	காந்த புலச்செறிவு	β	கட்ட மாறிலி
φ_m	காந்த ஸ்கேலார் மின்னழுத்தம்	γ	பரப்பு மாறிலி
A	காந்த வெக்டர் மின்னழுத்தம்	δ	மேற்பரப்பு ஆழம்
V_H	ஹால் மின்னழுத்தம்	t	பரிமாற்று குணகம்
R_H	ஹால் குணகம்	r	பிரதிபலிப்பு குணகம்
M_s	தெவிட்டிய காந்தமாக்கல்	f_{res}	ஒத்ததிர்வு எண்
U	மின்காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி		

படங்களின் பட்டியல்

அலகு – 1

படம் 1.1: கூலும் விதி 4

படம் 1.2: கூலும் விதியின் வெக்டர் விளக்கப்படம் 6

படம் 1.3: பகிர்வு மின்னூட்டத்திற்கான கூலும்பின் விதி 6

படம் 1.4: மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்திற்கான விளக்கப்படம் 7

படம் 1.5: ஒரு புள்ளியில் மின்புலச் செறிவு 9

படம் 1.6: மின்புல பாயம் 15

படம் 1.7: காஸ் விதியின் விளக்கம் 16

படம் 1.8: மின்னூட்டப்பட்ட உருளையை சுற்றிய காஸ் புலம் 18

படம் 1.9: மின்னூட்டம் பெற்ற (a) வெற்று மற்றும் (b) திட உருளையின் ஆரத்தை 'r' பொருத்து மின்புல 'E' மாறுபாடு 19

படம் 1.10: மின்னூட்டம் பெற்ற திட கோளத்திற்கு (a) உள் மற்றும் (b) வெளிப்புற காஸியன் மேற்பரப்பு 20

படம் 1.11: மின்னூட்டப்பட்ட திட கோளத்தின் ஆரத்தை பொறுத்து மின்புல மாறுபாடு 20

படம் 1.12: முடிவிலா மின்னூட்டப்பட்ட அட்டை 22

படம் 1.13: காஸ் விதியிலிருந்து கூலும் விதி 23

படம் 1.14: மின்புலச்செறிவு 24

படம் 1.15: மின்னழுத்த வேறுபாடு 24

படம் 1.16: ஆதியில் இல்லா மின்னூட்டத்தின் மின்னழுத்தம் 26

படம் 1.17: (a) இரு மின்னூட்டமைப்பு மற்றும் (b) மும்மின்னூட்டமைப்பின் மின்னழுத்த ஆற்றல் 30

படம் 1.18: மின்இருமுனை 30

படம் 1.19: இணை தட்டு மின்தேக்கி 37

படம் 1.20: இரு மின்காப்பு அடுக்குகளாலான இணைதட்டு மின்தேக்கி 38

படம் 1.21: கோள வடிவ மின்தேக்கி 38

படம் 1.22: உருளை வடிவ மின்தேக்கி 40

படம் 1.23: தனித்துவ தேற்றம் 42

படம் 1.24: கடத்துப் பரப்பின் முன்னுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம் 43

படம் 1.25: தரையிடப்பட்ட கோள வடிவ கடத்தியின் முன்புறமுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம் 44

அலகு – 2

படம் 2.1: (a) துருவ மற்றும் (b) துருவமற்ற மின்காப்பான் 63

படம் 2.2: மின்புலத்தில் (a) துருவ மற்றும் (b) துருவமற்ற மின்காப்பான் 64

படம் 2.3: மின் புலத்தில் மின்காப்பு பொருள் 67
படம் 2.4: (a) இலட்சிய, (b) உண்மையான மின்காப்பான் V-I கட்ட சார்பு 67
படம் 2.5: (a) மின்காப்பான் இல்லாத மற்றும் (b) கொடுக்கப்பட்ட மின்காப்பான் உடன் இணை தட்டு மின்தேக்கி 69
படம் 2.6: (a) நடுநிலை அணு (E= 0) மற்றும் (b) மின்புலத்தில் தூண்டப்பட்ட துருவமுனைப்பு 73
படம் 2.7: (a) புலம் (E= 0), (b) பயன்படுத்தப்பட்ட புலம் (E≠ 0) அயனி துருவமுனைப்பு 75
படம் 2.8: மின்புலத்தில் முன்னிலையில் இருமுனை நோக்குநிலை 76
படம் 2.9: அயனி துருவப்படுத்தல் (a) புலம் (E = 0), (b) பயன்படுத்தப்பட்ட புலம் (E ≠ 0) 77
படம் 2.10: அதிர்வெண் உடன் மின்கடத்தா மாறிலியின் மாறுபாடு 77
படம் 2.11: கோளக் குழி 79
படம் 2.12: துருவ ஆயத்தொலைவுகள் 80
படம் 2.13: ஒரு சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்படும் மின்கடத்தாக் கோளம் 82

அலகு – 3

படம் 3.1: ஒரு கடத்தி மூலம் எலக்ட்ரான் நகர்வு 104
படம் 3.2: பயட்–சாவர்ட் விதியின் விளக்கப் படம் 107
படம் 3.3: மின்னோட்டம் தாங்கும் நீண்ட நேரான கடத்தி 108
படம் 3.4: மின்னோட்டம் தாங்கும் வட்ட வடிவ கடத்தி 111
படம் 3.5: நீண்ட வரிச்சுருள் 113
படம் 3.6: அறுகோண வளையம் 116
படம் 3.7: மின்னோட்ட த்தை சுமந்து செல்லும் கடத்தியின் மீதான விசை 117
படம் 3.8: ஆம்பீரியன் வளையம்: நீண்ட நேரான கடத்தி 120
படம் 3.9: மின்னோட்டத்தை சுமந்து செல்லும் நீண்ட நேரான கடத்தி காரணமாக B யின் மாறுபாடு 120
படம் 3.10: தூரத்தால் பிரிக்கப்பட்ட இரண்டு நீண்ட மின்னோட்டக் கடத்திகள் 122
படம் 3.11: ஓரச்சு வடம் 123
படம் 3.12: ஆம்பீரியன் வளையம்: நீண்ட வரிச்சுருள் 123
படம் 3.13: வட்ட வரிச்சுருள் 125
படம் 3.14: மின்னோட்டத்தை சுமந்து செல்லும் கடத்தி 126
படம் 3.15: காந்த திசையிலி மின்னழுத்தம் 128

அலகு – 4

படம் 4.1: டயா காந்தப் பொருட்களுக்கான (a) M-H மற்றும் (b) χ -T வளைவு 156
படம் 4.2: பாரா காந்தப் பொருட்களுக்கான (a) M-H மற்றும் (b) χ -T வளைவு 156
படம் 4.3: ஃபெரோ காந்தப் பொருட்களுக்கான (a) M-H மற்றும் (b) χ -T வளைவு 157

படம் 4.4: r ஆரம் உள்ள எலக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதை 161
படம் 4.5: H ஐ பற்றிய L ன் லார்மர் அதிர்வெண் சுழற்சி 161
படம் 4.6: B_J (Y) - Y வளைவு 166
படம் 4.7: ஃபெரோகாந்தப் பொருட்களுக்கான μ-H (காந்தத் தயக்க) வளைவு 169
படம் 4.8: ஃபெரோகாந்தப் பெருங்கூறு 169
படம் 4.9: M-Y வளைவு (m) $T < \theta_f$, (b) $T = \theta_{ff}$ மற்றும் (c) $T > \theta_{ff}$ 170
படம் 4.10: வெவ்வேறு J மதிப்புகளுக்கான M_s / M_m -T / θ_{ff} வளைவு 172
படம் 4.11: ஒரு ஃபெரோ காந்தப் பொருளின் B-H வளைவு 174
படம் 4.12: (a) காந்தமயமாக்கல் உட்பட்ட இரும்புப் பட்டை மற்றும் (b) அதன் B-H வளைவு 175
படம் 4.13: தயக்க இழப்பு 176
படம் 4.14: (a) சிலிக்கான் எஃகு, (b) கடின எஃகு மற்றும் (c) செய்யப்பட்ட இரும்புக்கான காந்தத் தயக்க வளைவு 177
படம் 4.15: எதிர்–ஃபெரோ காந்தப் பொருட்களுக்கான χ -T வளைவு 178
படம் 4.16: இரு–நெய்ம மாதிரி: நீலின் கோட்பாடு 178
படம் 4.17: (a) எதிர்– ஃபெரோ காந்த, (b) பாரா காந்த மற்றும் (c) ஃபெரோ காந்தப் பொருட்களுக்கு 1/χ –T வளைவு 180
படம் 4.18: (a) பாரா காந்த, (b) ஃபெரோ காந்த, (c) ஃபெர்ரி காந்த மற்றும் (d) எதிர்– ஃபெரோ காந்த பொருட்களின் சுழல் சீரமைப்புகள் 180
படம் 4.19: (a) டயா காந்த, (b) பாரா காந்த, (c) ஃபெரோ காந்த, (d) எதிர்– ஃபெரோ காந்த மற்றும் (e) ஃபெர்ரி காந்த பொருட்களின் M-H வளைவு 181

அலகு – 5

படம் 5.1: ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டல் விதியின் விளக்கம் 200
படம் 5.2: லென்ஸ் விதியின் சரிபார்ப்பு 202
படம் 5.3: ஃப்ளெமிங்கின் வலது கை விதியின் சரிபார்ப்பு 202
படம் 5.4: இயக்க தூண்டல் e.m.f 203
படம் 5.5: தன் மின் தூண்டல் 207
படம். 5.6: பரிமாற்று மின் தூண்டல் 207
படம் 5.7: வரிச்சுருளின் குறுக்குவெட்டு 211
படம் 5.8: ஒன்றுக்கொன்று அருகில் வைக்கப்பட்டுள்ள இரண்டு சுருள்கள் A மற்றும் B 213
படம் 5.9: இரண்டு காந்த பிணைப்பு சுருள்கள் A மற்றும் B 214
படம் 5.10: (a) D.C. மூலத்தில் இணைக்கப்பட்டுள்ள மின்தூண்டி, (b) ஒரு காந்தப்புலத்தில் உள்ள ஒரு சுருளில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றல் 218
படம் 5.11: (a) உயர் சூழல் மின்னோட்டமுள்ள கடத்தி மற்றும் (b) குறை சூழல் மின்னோட்டமுள்ள உரையிட்ட கடத்தி 221

அலகு – 6

படம் 6.1: இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்தின் கருத்து 240

படம் 6.2: பாயிண்டிங் தேற்றத்தின் விளக்கம் 251

அலகு – 7

படம் 7.1: EM அலைகளின் குறுக்கலைத் தன்மை 269

படம் 7.2: EM அலைகளின் தேய்வு 276

படம் 7.3: மேற்பரப்பு ஆழத்தின் கருத்து 276

படம் 7.4: D மற்றும் B க்கான எல்லை நிபந்தனைகள் 278

படம் 7.5: E மற்றும் H க்கான எல்லை நிபந்தனைகள் 279

ஆசிரியர்களுக்கான வழிகாட்டுதல்கள்

விளைவு அடிப்படையிலான கல்வி (OBE) அறிவு நிலை மற்றும் மாணவர்களின் திறன் தொகுப்பை செயல்படுத்த வேண்டும். OBE ஐ முறையாக செயல்படுத்த ஆசிரியர்கள் ஒரு முக்கிய பொறுப்பை ஏற்க வேண்டும். OBE அமைப்பில் ஆசிரியர்களுக்கான சில பொறுப்புகள் (மட்டும் அல்ல) பின்வருமாறு இருக்கலாம்.

- நியாயமான கட்டுப்பாட்டுக்குள், அவர்கள் அனைத்து மாணவர்களின் சிறந்த நன்மைக்காக நேரத்தை கையாள வேண்டும்.
- அவர்கள் மாணவர்களை பாகுபாடு காண்பதற்கான வேறு தகுதியற்ற தன்மையைக் கருத்தில் கொள்ளாமல் சில வரையறுக்கப்பட்ட அளவுகோல்களின் அடிப்படையில் மட்டுமே மதிப்பீடு செய்ய வேண்டும்.
- அவர்கள் நிறுவனத்தை விட்டு வெளியேறுவதற்கு முன்பு மாணவர்களின் கற்றல் திறன்களை ஒரு குறிப்பிட்ட நிலைக்கு வளர்க்க முயற்சிக்க வேண்டும்.
- அனைத்து மாணவர்களும் கல்வியை முடித்தபின் தரமான அறிவு மற்றும் திறனுடன் இருப்பதை அவர்கள் உறுதிப்படுத்த முயற்சிக்க வேண்டும்.
- அவர்கள் எப்போதும் மாணவர்களின் இறுதி செயல்திறன்களை வளர்க்க ஊக்குவிக்க வேண்டும்.
- புதிய அணுகுமுறையை ஒருங்கிணைக்க குழு வேலை மற்றும் குழு வேலைகளை அவர்கள் எளிதாக்கவும் ஊக்குவிக்கவும் வேண்டும்.
- மதிப்பீட்டின் ஒவ்வொரு பகுதியிலும் அவர்கள் ப்ளூம்ஸ் வகைபிரிப்பைப் பின்பற்ற வேண்டும்.

ப்ளூமின் வகைபிரித்தல்

நிலை	ஆசிரியர் சரிபார்க்க	மாணவர்களால் முடியும்	சாத்தியமான மதிப்பீடு முறை
உருவாக்குதல்	மாணவர்களின் உருவாக்கும் திறன்	வடிவமைக்கவும் அல்லது உருவாக்கவும்	சிறு செயல்முறை திட்டம்
மதிப்பீடு செய்தல்	மாணவர்களின் நியாயப்படுத்தும் திறன்	வாதிடவும் அல்லது பாதுகாக்கவும்	பணி ஒதுக்கீடு
பகுப்பாய்வு	மாணவர்களின் வேறுபடுத்தும் திறன்	வகைப்படுத்தவும் அல்லது வேறு படுத்தவும்	செயல்முறை திட்டம்/ஆய்வக முறை
பயன்படுத்துதல்	மாணவர்கள் தகவலைப் பயன்படுத்தும் திறன்	செயல்படுத்து அல்லது செயல்விளக்கம்	தொழில்நுட்ப விளக்கக்காட்சி/ செயல் விளக்கம்
புரிதல்	மாணவர்கள் கருத்துக்களை விளக்கும் திறன்	விளக்கவும் அல்லது வகைப்படுத்தவும்	விளக்கக்காட்சி/ கருத்தரங்கு
நினைவில் கொள்ளுதல்	மாணவர்களின் நினைவுபடுத்தும் திறன் (அல்லது நினைவில் கொள்வது)	வரையறுக்கவும் அல்லது நினைவு கூறவும்	வினாடி வினா

மாணவர்களுக்கான வழிகாட்டுதல்கள்

OBE ஐ சிறப்பாக செயல்படுத்த மாணவர்கள் சமமான பொறுப்பை ஏற்க வேண்டும். OBE அமைப்பில் உள்ள மாணவர்களுக்கான சில பொறுப்புகள் (மட்டுப்படுத்தப்படவில்லை) பின்வருமாறு:

- திட்டம் தொடங்குவதற்கு முன்பு ஒவ்வொரு PO–வையும் மாணவர்கள் நன்கு அறிந்திருக்க வேண்டும்.
- பாடநெறி தொடங்குவதற்கு முன்பு ஒவ்வொரு CO–வையும் மாணவர்கள் நன்கு அறிந்திருக்க வேண்டும்.
- ஒவ்வொரு பாடத்திலும் ஒரு அலகு தொடங்குவதற்கு முன்பு மாணவர்கள் ஒவ்வொரு UO– வை யும் நன்கு அறிந்திருக்க வேண்டும்.
- சரியான பிரதிபலிப்பு மற்றும் செயலுடன் மாணவர்கள் விமர்சன ரீதியாகவும் நியாயமானதாகவும் சிந்திக்க வேண்டும்.
- மாணவர்களின் கற்றல் நடைமுறை மற்றும் நிஜ வாழ்க்கை விளைவுகளுடன் இணைக்கப்பட்டு ஒருங்கிணைக்கப்பட வேண்டும்.
- மாணவர்கள் தங்கள் சொந்த கற்றலின் பொறுப்பை ஏற்க வேண்டும்.
- OBE இன் ஒவ்வொரு மட்டத்திலும் மாணவர்கள் தங்கள் திறனை நன்கு அறிந்திருக்க வேண்டும்.

உள்ளடக்கங்கள்

முன்னுரை *iii*

ஒப்புதல்கள் *v*

முகவுரை *vii*

விளைவை அடிப்படையாகக் கொண்ட கல்வி *ix*

பாட விளைவுகள் *xi*

சுருக்கங்கள் மற்றும் சின்னங்கள் *xii*

படங்களின் பட்டியல் *xiv*

ஆசிரியர்களுக்கான வழிகாட்டுதல்கள் *xviii*

மாணவர்களுக்கான வழிகாட்டுதல்கள் *xix*

***அலகு 1:* வெற்றிடத்தில் நிலைமின்னியல்** **1–58**

அலகு குறிப்பீடு 1

பகுத்தறிவு 2

முன்–நிபந்தனைகள் 2

அலகு வெளிப்பாடுகள் 2

1.1 அறிமுகம் 3

1.2 மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் 3

1.3 மின்னூட்ட அழிவின்மை 3

1.4 கூலும் விதி 3

1.4.1 கூலும் விதியின் வெக்டர் வடிவம் 6

1.5 மேற்பொருந்துதல் தத்துவம் 7

1.6 மின்னூட்ட அடர்த்தி 8

1.7 மின்புலம் மற்றும் மின்புலச்செறிவு 9

1.8 நிலை மின்புல அழிவின்மை 13

1.9 மின்பாயம் 15

1.10 காஸ் விதி 16

1.10.1 காஸின் மேற்பரப்பு 16

1.10.2 மின்காப்பு ஊடகத்தில் காஸ் விதி 16

1.10.3 காஸ் விதியின் வகைக்கெழு வடிவம் 17

1.11 காஸ் விதியின் பயன்பாடு 18
1.11.1 மின்னூட்டப்பட்ட உருளையைச் சுற்றியுள்ள மின்புலம் 18
1.11.2 மின்னூட்டப்பட்ட திட கோளத்தாலான மின்புலம் 19
1.11.3 மின்னூட்டப் பெற்ற முடிவிலா அட்டையினால் கிடைக்கப்பெற்ற மின்புலம் 22
1.12 காஸ் விதியிலிருந்து கூலும் விதி 23
1.13 நிலை மின்னழுத்தம் 23
1.14 மின்னழுத்த வேறுபாடு 24
1.15 மின்னழுத்த கணக்கீடுகள் 26
1.15.1 ஒரு புள்ளி மின்னூட்டத்திற்கு 26
1.15.2 பகிரப்பட்ட மின்னூட்டம் 26
1.16 புலச்செறிவுக்கும் மின்னழுத்தத்திற்குமான தொடர்பு 27
1.17 நிலைமின்னழுத்த ஆற்றல் 30
1.18 மின் இருமுனை 30
1.19 பாய்சான் மற்றும் லாப்லாஸ் சமன்பாடுகள் 32
1.19.1 லாப்லாஸ் இயக்கி 34
1.20 தனித்துவ தேற்றம் 34
1.21 கார்டீஷியன் ஆயச்சார்பில் லாப்லாஸ் சமன்பாடு 35
1.22 லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் பயன்பாடு 36
1.22.1 இணைத் தட்டு மின்தேக்கி 37
1.22.2 கோள வடிவ மின்தேக்கி 38
1.22.3 உருளை வடிவ மின்தேக்கி 40
1.23 பாரடே கூண்டு 41
1.24 காபி–மோதிர விளைவு 42
1.25 உருவங்களின் முறை 42
1.25.1 கடத்துபரப்பின் முன்னுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம் 43
1.25.2 தரையிடப்பட்ட கோள கடத்தியின் முன்னுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம் 44
அலகுச் சுருக்கம் 45
பயிற்சிகள் 48
செய்முறை 53
மேலும் அறிக 55
மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் 58

***அலகு 2:* நேரியல் மின்காப்பு ஊடகத்தில் நிலைமின்னியல் 59–100**

அலகு குறிப்பீடு 59

பகுத்தறிவு 60

முன்–நிபந்தனைகள் 60

அலகு வெளிப்பாடுகள் 60

2.1 அறிமுகம் 61

2.2 மின்காப்பான்கள் 61

2.2.1 வகைப்பாடுகள் 62

2.3 மின்காப்பு மின்முனைவாக்கல் 63

2.4 மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் 64

2.5 மின்முனைவாக்கல் வெக்டர் 64

2.6 மின் ஏற்புத்திறன் 65

2.7 அணு முனைவாக்க திறன் 65

2.8 மின்புலத்தில் மின்காப்பான்கள் 67

2.9 மாறுதிசை மின்புலத்தில் மின்காப்பான்கள் 67

2.10 ஒருங்கமை, நேரியல் மற்றும் திசையொருமை பண்புகள் 68

2.11 பாய அடர்த்தி, செறிவு மற்றும் முனைவாக்கலுக்கு இடையேயான தொடர்பு 68

2.12 பாய அடர்த்தி மற்றும் மின்பாயம் 70

2.13 மின்காப்பானில் காஸ் விதி 70

2.14 அளவுறுத் தொடர்புகள் 70

2.14.1 மின்னேற்புத்திறன் மற்றும் மின்காப்பு மாறிலி 71

2.14.2 மின்னேற்புத்திறன் மற்றும் அணு மின்முனைவாக்கம் 71

2.14.3 மின்முனைவாக்கல் மற்றும் மின்காப்பு மாறிலி 72

2.15 மின்முனைவாக்கல் வகைகள் 72

2.15.1 தூண்டப்பட்ட (எலக்ட்ரானிக்) மின்முனைவாக்கம் 73

2.15.2 அணு (அயனி) மின்முனைவாக்கம் 75

2.15.3 இருமுனை (சார்பு) மின்முனைவாக்கம் 76

2.15.4 இடைவெளி (மின்னூட்ட இடைவெளி) மின்முனைவாக்கம் 77

2.16 ஓரணு வாயுவின் மின்முனைவாக்கம் 77

2.17 பல்லணு வாயுவின் மின்முனைவாக்கம் 78

2.18 கிளாசியஸ் – மொஸாட்டி சமன்பாடுகள் 79

2.19 சீரான மின்புலத்தில் உள்ள கோள வடிவ மின்காப்பான் 82

2.20 மின்காப்பு வலிமை மற்றும் முறிவு 85
2.21 மின்காப்பானின் பயன்பாடுகள் 85
அலகுச் சுருக்கம் 86
பயிற்சிகள் 88
செய்முறை 92
மேலும் அறிக 96
மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் 98
அலகு 3: காந்த நிலைமம் 101–148
அலகு குறிப்பீடு 101
பகுத்தறிவு 102
முன்–நிபந்தனைகள் 102
அலகு வெளிப்பாடுகள் 102
3.1 அறிமுகம் 103
3.2 மின்னோட்டம் மற்றும் மின்னோட்ட அடர்த்தி 103
3.3 மின்கடத்துத்திறன் 104
3.4 தொடர்புச் சமன்பாடுகள் 104
3.5 நிலை மின்னோட்டம் 105
3.6 லாரன்ஸ் விசை 106
3.7 பயட்–சாவர்ட் விதி 107
3.7.1 பயன்பாடுகள் 108
3.8 மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தி 117
3.9 காந்தப்புலத்தில் நகரும் மின்னூட்டம் 118
3.10 ஆம்பியர் சுற்று விதி 119
3.10.1 ஆம்பியர் சுற்று விதியின் வகைக்கெழு வடிவம் 119
3.10.2 ஆம்பியர் விதியின் பயன்பாடுகள் 120
3.11 காந்தப் புலத்தின் சுருள் 125
3.12 காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதி 126
3.13 காந்த திசையிலி ஆற்றல் 128
3.14 காந்த வெக்டர் ஆற்றல் 129
3.15 மின் மற்றும் காந்த புல ஒப்பீடு 131
அலகுச் சுருக்கம் 132
பயிற்சிகள் 133

செய்முறை 139
மேலும் அறிக 146
மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் 148
***அலகு 4:* நேரியல் மின்காப்பு ஊடகத்தில் காந்த நிலைமம் 149–194**
அலகு குறிப்பீடு 149
பகுத்தறிவு 150
முன்–நிபந்தனைகள் 150
அலகு வெளிப்பாடுகள் 150
4.1 அறிமுகம் 151
4.2 காந்த தூண்டல் மற்றும் செறிவு 151
4.3 காந்தமாக்கல் 151
4.4 காந்த ஏற்புத்திறன் 152
4.5 B, H மற்றும் M இடையேயான தொடர்பு 154
4.6 காந்தப்பொருட்களின் வகைப்பாடு 155
4.6.1 டயா காந்தவியல் 155
4.6.2 பாரா காந்தவியல் 156
4.6.3 பெர்ரோ காந்தவியல் 157
4.6.4 பெர்ரி காந்தவியல் 157
4.6.5 எதிர் பெர்ரோ காந்தவியல் 158
4.7 நிரந்தர காந்த இருமுனைகள் 159
4.8 ஹுண்ட் விதி 160
4.9 டயா காந்தவியலில் லாஞ்சிவின் விதி 161
4.10 பாரா காந்தவியலில் லாஞ்சிவின் விதி 163
4.11 கியூரி – வெய்ஸ் விதி 168
4.12 பெர்ரோ காந்தப் பொருட்கள் 168
4.12.1 பெருங்கூறு கோட்பாடு 169
4.13 வெய்ஸ் மூலக்கூறு கோட்பாடு 169
4.14 முக்காந்தப் பொருட்களின் வேறுபாடுகள் 173
4.15 B-H வளைவு 174
4.15.1 B-H வளைவிலிருந்து காந்தக் கணக்கீடுகள் 174
4.16 காந்த தயக்கம் 174
4.16.1 காந்த தயக்கக் கண்ணி 174

4.16.2 காந்த தயக்க இழப்பு 175
4.17 எதிர் பெர்ரோ காந்தவியல் 178
4.18 நீல் மூலக்கூறு புலக்கோட்பாடு 178
4.19 ஃபெர்ரிகாந்தப் பொருட்கள் 180
4.20 ஃபெர்ரைட்ஸ் 181
4.20.1 மென் காந்தப் பொருட்கள் 181
4.20.2 வன் காந்தப் பொருட்கள் 182
அலகு சுருக்கம் 182
பயிற்சிகள் 184
செய்முறை 189
மேலும் அறிக 191
மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் 193
***அலகு 5:* ஃபாரடேவின் விதிகள் 195–236**
அலகு குறிப்பீடு 195
பகுத்தறிவு 196
முன்–நிபந்தனைகள் 196
அலகு வெளிப்பாடுகள் 196
5.1 அறிமுகம் 197
5.2 காந்தப் பாயம் 197
5.3 காந்தப் பாய அடர்த்தி 197
5.3.1 அலகு மற்றும் பரிமாணங்கள் 197
5.4 பாரடே விதிகள் 198
5.4.1 பாரடே விதியின் தொகை மற்றும் வகைக்கெழு வடிவங்கள் 200
5.4.2 தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை மற்றும் மின்னோட்டம் 201
5.5 லென்ஸ் விதி 201
5.5.1 லென்ஸ் விதி மற்றும் ஆற்றல் அழிவின்மை 201
5.6 ஃப்ளெமிங்கின் வலது கை விதி 202
5.7 தூண்டப்பட்ட E.M.F. 202
5.8 தன் மின்தூண்டல் 208
5.8.1 தன் மின்தூண்டல் குணகம் 208
5.9 பரிமாற்று மின்தூண்டல் 213
5.9.1 பரிமாற்று மின்தூண்டல் குணகம் 213

5.10 இணைப்பு குணகம் 217
5.11 காந்தப்புலத்தில் உள்ள சுருளில் சேமிக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல் 218
5.12 சூழல் மின்னோட்டங்கள் 221
5.13 மின்காந்த வேகத்தடுப்பான் 221
அலகு சுருக்கம் 222
பயிற்சிகள் 223
செய்முறை 227
மேலும் அறிக 233
மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் 235
***அலகு 6:* மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள் 237–264**
அலகு குறிப்பீடு 237
பகுத்தறிவு 238
முன்–நிபந்தனைகள் 238
அலகு வெளிப்பாடுகள் 238
6.1 அறிமுகம் 239
6.2 இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் 239
6.2.1 கடத்து மின்னோட்டம் மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் 243
6.3 மேக்ஸ்வெல் சமன்பாடு 243
6.3.1 நிலைமின்னியல் மற்றும் மின்காப்பு பொருளில் காஸ் விதி 243
6.3.2 காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதி 244
6.3.3 பாரடே மின்காந்தத்தூண்டல் விதிகள் 244
6.3.4 மாற்றியமைக்கப்பட்ட ஆம்பியர் சுற்று விதி 245
6.4 மேக்ஸ்வெல் சமன்பாட்டின் முக்கியத்துவம் 247
6.4.1 முதலாம் சமன்பாடு 247
6.4.2 இரண்டாம் சமன்பாடு 247
6.4.3 3வது சமன்பாடு $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ 247
6.4.4 4வது சமன்பாடு $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ 248
6.5 மின்காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி 248
6.6 பாயிண்டிங் வெக்டர் 248
6.7 பாயிண்டிங் தேற்றம் 250
6.8 மின்காந்த ஆற்றல் 251
6.9 EM அலைகளின் உந்தம் மற்றும் அழுத்தம் 253

அலகு சுருக்கம் 254
பயிற்சிகள் 256
மேலும் அறிக 260
மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் 263
***அலகு 7:* மின்காந்த அலைகள் 265–290**
அலகு குறிப்பீடு 265
பகுத்தறிவு 266
முன்–நிபந்தனைகள் 266
அலகு வெளிப்பாடுகள் 266
7.1 அறிமுகம் 267
7.2 வெற்றிடத்தின் அலைச் சமன்பாடு 267
7.3 மின்காந்த அலையின் குறுக்கலை பண்புகள் 269
7.4 மின்காப்பு ஊடகத்தில் மின்காந்த அலைகள் 271
7.5 கடத்து ஊடகத்தில் மின்காந்த அலைகள் 273
7.6 கடத்தும் ஊடகத்தில் மின்காந்த அலையின் தேய்வு 274
7.6.1 மேற்பரப்பு ஆழம் 276
7.7 EM அலைகளின் எல்லை நிபந்தனைகள் 277
7.8 EM அலைகளின் பிரதிபலிப்பு மற்றும் பரிமாற்றம் 280
அலகு சுருக்கம் 283
பயிற்சிகள் 284
மேலும் அறிக 287
மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் 290

இயற்பியல் மாறிலிகளின் அட்டவணை

அட்டவணை I : 20°C–ல் பல்வேறு பொருட்களின் மோலார் ஏற்புத்திறன் 291
அட்டவணை II : பல்வேறு பொருட்களின் உட்புகு திறன் மற்றும் சார்பு உட்புகுதிறன் 291
அட்டவணை III : பல்வேறு பொருட்களின் மின்கடத்தா மாறிலி 292

பிற்சேர்க்கைகள்

பிற்சேர்க்கை – A : செயல்முறைக்காக பரிந்துரைக்கப்பட்ட வார்ப்பு 293
பிற்சேர்க்கை – B : புதிய செயல் முறை/ செயல் திட்டம்/ செயல்பாடுகளுக்கான குழு வழங்களின் மதிப்பீடுகளுக்கான சுட்டிக்காட்டு வழிமுறைகள் 294
பிற்சேர்க்கை – C : ப்ளூம் மட்டத்திற்கு ஒதுக்கப்பட்ட மதிப்பீடு 295
பிற்சேர்க்கை – D : செய்முறை அட்டவணை 295

இணைப்புகள்

இணைப்பு –I : சில முக்கிய இரண்டாம் வரிசை பகுதி வகைக்கெழு சமன்பாடுகள் 296

இணைப்பு –II : லாப்லாஸ் சமன்பாடுகள் 297

இணைப்பு –III: தொடர் RLC சுற்றின் கட்ட கோணம் 297

இணைப்பு –IV: லெஜெண்டர் பல்லுறுப்புக்கோவை 298

இணைப்பு –V : அளவீடுகளில் பல்வேறு வகைப் பிழைகள் 300

இணைப்பு –VI: ஆய்வகங்களில் பணிபுரியும்போது கடைபிடிக்க வேண்டிய சில பொதுவான மற்றும் குறிப்பிட்ட அறிவுறுத்தல்கள் 307

மேற்கோள்கள் **309**

அறிவியல் சொற்களஞ்சியம் **311**

அடைதல் மற்றும் இடைவெளி பகுப்பாய்வு **313**

குறியீடு **314–316**

1 வெற்றிடத்தில் நிலைமின்னியல்

அலகு குறிப்பீடு

இந்த அலகு பின்வரும் தலைப்புகளை விரிவாக விவாதிக்கிறது:

- குவாண்டமாக்கல் மற்றும் ஆற்றல் அழிவின்மை;
- கூலுமின் விதி மற்றும் அதன் வெக்டர் வடிவம்;
- மேற்பொருந்துதல் தத்துவம்;
- மின்காந்தவியலில் காஸ் விதி, அதன் ஒருங்கிணைந்த மற்றும் வேறுபட்ட வடிவம்;
- மின்புலம் மற்றும் அதன் சுருள்;
- மின்புலச்செறிவு மற்றும் மின்னழுத்த ஆற்றல்;
- பாய்சன் மற்றும் லாப்லேஸின் சமன்பாடுகள்;
- நிலைமின்னியல் கணக்குகளை தீர்க்க கார்ட்டீசியன், கோள மற்றும் உருளை ஆயதொலைவு அமைப்புகளுக்கு பாய்சன் மற்றும் லாப்லேஸின் சமன்பாடுகளின் பயன்பாடு.

தலைப்புகளின் நடைமுறை பயன்பாடுகள் மேலும் ஆர்வத்தையும் படைப்பாற்றலையும் உருவாக்கு வதற்கும் கணக்குகளை தீர்க்கும் திறனை மேம்படுத்துவதற்கும் விவாதிக்கப்படுகின்றன.

ப்ளூமின் வகைபிரிப்பின் குறைந்த மற்றும் உயர் வரிசையைத் தொடர்ந்து இரண்டு பிரிவுகளில் குறிக்கப்பட்ட பல தேர்வு கேள்விகள் மற்றும் குறுகிய, நீண்ட பதில் வகைகளின் கேள்விகள், பல எண் கணக்குகளின் மூலம் பணிகள், குறிப்புகளின் பட்டியல் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட வாசிப்புகள் ஆகியவை இவ்வலகில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அதனால் ஆர்வத்துடன் ஒருவர் பயிற்சி செய்ய முடியும். ஆர்வமுள்ள பல்வேறு தலைப்புகளில் கூடுதல் தகவல்களைப் பெறுவதற்கு சில QR குறியீடுகள் வெவ்வேறு பிரிவுகளில் வழங்கப்பட்டுள்ளன. அவை தொடர்புடைய அறிவுக்கு ஸ்கேன் செய்யலாம்.

தொடர்புடைய நடைமுறைக்குப் பிறகு, உள்ளடக்கத்தின் அடிப்படையில், "மேலும் அறிக" பிரிவு உள்ளது. இந்த பகுதி நியாயமான முறையில் வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது, இதனால் இந்த பகுதியில் வழங்கப்பட்ட துணை தகவல்கள் புத்தகத்தின் பயனர்களுக்கு பயனளிக்கும். இந்த பிரிவு முக்கியமாக ஆரம்ப செயல்பாடு, சில சுவாரஸ்யமான உண்மைகளின் எடுத்துக்காட்டுகள், ஒப்புமை, முக்கிய அவதானிப்புகள் மற்றும் கண்டுபிடிப்புகளை மையமாகக் கொண்ட பொருள் வளர்ச்சியின் வரலாறு, சம்பந்தப்பட்ட தலைப்புகளின் வளர்ச்சியிலிருந்து தொடங்கி சமீபத்திய காலம் வரையிலான காலக்கெடு, பொருள் சார்ந்த பயன்பாடுகள் எங்கள் அன்றாட நிஜ வாழ்க்கை அல்லது / மற்றும் தொழில்துறை பயன்பாடுகளுக்கான பல்வேறு அம்சங்கள், சுற்றுச்சூழல், நிலைத்தன்மை, சமூக மற்றும் நெறிமுறை சிக்கல்கள் தொடர்பான வழக்கு ஆய்வு எதுவாக இருந்தாலும் பொருந்தும், இறுதியாக அலகு பற்றிய விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பகுத்தறிவு

மின்னியல் தொடர்பான இந்த அடிப்படை அலகு மாணவர்களுக்கு குவாண்டமாக்கல் மற்றும் ஆற்றல் அழிவின்மை பற்றிய முதன்மை யோசனையைப் பெற உதவுகிறது. மின்புலம் மற்றும் ஆற்றலின் கருத்துக்களை அறிமுகப்படுத்துகிறது மற்றும் வெற்றிடத்தில் நிலைமின்னியலின் அடிப்படை சமன்பாடுகளைப் பெற முன்னுரிமை அளித்துள்ளது. கூலுமின் விதி, காஸ் விதி மற்றும் பாய்சன் மற்றும் லாப்லேஸின் சமன்பாடுகள் மற்றும் பல்வேறு மின்னியல் கணக்குகளைத் தீர்ப்பதற்கான அவற்றின் பயன்பாடுகள் போன்ற சில அடிப்படை விதிகளுக்கு மேலதிகமாக, குறிப்பாக கார்ட்டீசியன், கோள மற்றும் உருளை சமச்சீர் அமைப்புகளில், நடைமுறை பகுதி இயற்பியல் கருத்துகள் மற்றும் செயல்முறைகளை நிரூபிக்கிறது. மின்னியல் நிகழ்வுகளில் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையிலான எடுத்துக்காட்டுகள் பல உள்ளன. இந்த அலகுக்கான ஒருங்கிணைந்த கருத்துகள் மற்றும் பயிற்சிகள் மிகவும் குறுகியதாகக் கருதப்படும் பொதுவான சூழ்நிலைகளுக்குப் பொருந்தும்போது மிகவும் சுவாரஸ்யமானதாகக் கருதப்படலாம். எடுத்துக்காட்டாக, மின்னூட்டங்கள் மீது மின்புலம் செயல்படும்போது, இயக்கவியலின் முக்கியத்துவம் தெரியவருகிறது.

முன்–தேவைகள்

- **கணிதம்:** ஆய அமைப்புகள், திசையன் நுண்கணிதம் (வகுப்பு XII)
- **இயற்பியல்:** நிலை மின்னியல் (வகுப்பு XII)

அலகு வெளிப்பாடுகள்

இந்த அலகு வெளிப்பாடுகளின் பட்டியல் பின்வருமாறு:

U1-O1: குவாண்டமாக்கல் மற்றும் ஆற்றல் அழிவின்மையை விவரிக்க.

U1-O2: கூலுமின் விதி மற்றும் அதன் வெக்டர் வடிவம் மற்றும் மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தை விளக்குக.

U1-O3: மின்காந்தவியலில் காஸ் விதியையும் அதன் தொகைக்கெழு மற்றும் வகைக்கெழு வடிவத்தையும் விளக்குக.

U1-O4: மின்புலம் மற்றும் அதன் சுருள், மின்புலச் செறிவு மற்றும் மின்னாற்றல் பற்றி விவரிக்க.

U1-O5: பாய்சன் மற்றும் லாப்லேஸின் சமன்பாடுகளை விளக்கு.

U1-O6: மின்னியல் சிக்கல்களைத் தீர்க்க கார்ட்டீசியன், கோள மற்றும் உருளை சமச்சீர் அமைப்புகளுக்கு லாப்லேஸின் சமன்பாடுகளைப் பயன்படுத்து.

அலகு -1 விளைவு	எதிர்பார்க்கப்படும் பாடநெறி நடவடிக்கைகள் (1- பலவீனமான தொடர்பு; 2- நடுத்தர தொடர்பு; 3- வலுவான தொடர்பு)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U1-O1	3	–	1	–	–	–
U1-O2	3	1	–	–	–	–
U1-O3	3	2	–	2	–	–
U1-O4	3	2	1	–	–	1
U1-O5	2	2	–	1	–	1
U1-O6	1	1	–	–	–	–

1.1 அறிமுகம்

மின்னூட்டம் என்பது அணுக்கட்டமைப்பை உருவாக்கும் நிலைமின்னியல் பிணைப்பு விசைக்கு முக்கிய காரணமாகும். எதிர் மற்றும் நேர் மின்னூட்டங்கள் என்பவை இருவகை மின்னூட்டங்களாகும். அடிப்படையில் எதிர் மற்றும் நேர் மின்னூட்டங்கள் என்பவை முறையே எலக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான் ஆகும். ஒத்த துருவமுள்ள இரு மின்னூட்டங்களை குறிப்பிட்ட தொலைவு பிரித்து வைக்கும்போது, இரு எலெக்ட்ரான்கள் மற்றும் புரோட்டான்களுக்கு இடையே உணரப்படும் அதே விலக்கு விசையையே உணருகின்றன. மாறாக, அதே தொலைவிற்கு பிரித்து வைக்கப்படும் எலெக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான் ஆகிய இரு வேறுபட்ட மின்னூட்டங்கள் ஈர்ப்பு விசையை வெளிப்படுத்துகின்றன. தனித்த எலெக்ட்ரானுடன் ஒப்பீட்டு முறையிலேயே ஒரு பொருளின் மீதுள்ள மொத்த மின்னூட்டத்தை அளவீடு செய்கிறோம். எலெக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான்கள் ஒத்த மின்னூட்ட எண் மதிப்பை கொண்டது. அதன் மதிப்பு 1.602×10^{-19} C ஆகும். ஆனால், எலக்ட்ரான் எதிர் மதிப்பும் புரோட்டான் நேர் மதிப்பும் கொண்டது.

1.2 மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல்

அடிப்படைத் துகள்களை பற்றி புரிந்துகொள்ள மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் கோட்பாட்டை நன்கு அறிந்துகொள்ள வேண்டியது அவசியமாகும். அடிப்படைத் துகள்களின் தொடர்புகளை அறிதலே கோட்பாட்டு இயற்பியலின் முக்கிய இலக்காகும். மின்னூட்டங்கள் எதற்காக குவாண்டமாக்கப்பட்டுள்ளன என்பதைக் குறிப்பிட்டு அறிய இயலாது. ஆனால் இயற்கையிலுள்ள அனைத்து மின்னூட்டங்களும் ஓரலகு மின்னூட்ட அலகின் *'e'* இன் மடங்குகளாகவே குறிப்பிடப்படுகிறது. அதாவது, எலக்ட்ரான் அல்லது புரோட்டானின் மின்னோட்டம். இதன்படி, எப்போதும் பொருளின் மீதுள்ள மின்னூட்டம் q ஆனது கீழ்க்கண்டவாறு குறிப்பிடப்படுகிறது.

$$q = ne \qquad \ldots(1.1)$$

இங்கு $e = 1.602 \times 10^{-19}$ C.n ஆனது எந்தவொரு நேர் அல்லது எதிர் முழு எண் மதிப்பு ஆகும். சமன். (1.1) ஆனது, பொருளின் மீதுள்ள எந்தவொரு மின்னூட்டமும் 'e' இன் எண்மதிப்பின் மடங்காகவே அமையும் என்பதையே குறிப்பிடுகிறது.

1.3 மின்னூட்ட அழிவின்மை

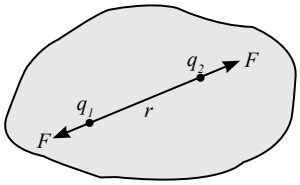
அனைத்து அணுவும் நடுநிலை மின் தன்மை கொண்டது. அதாவது ஒரே எண்ணிக்கையிலான நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்கள் கொண்டது. எனவே மொத்த மின்னூட்டம் சுழி ஆகும். ஏனெனில் அணுவில் எலெக்ட்ரான் எதிர் மின்னூட்டமும் புரோட்டான் நேர் மின்னூட்டமும் கொண்டது. மின்னூட்டத்தின் நேர் மற்றும் எதிர் அடிப்படை அலகு புரோட்டான் மற்றும் எலக்ட்ரான்களை சார்ந்துள்ளதால் எந்த ஒரு அமைப்பின் மொத்த மின்னூட்டமும் மாறாதது என எதிர்பார்க்கலாம். பரிமாற்று தொடர்பில் ஒரு பொருள் (பகுதி) மின்னூட்டத்தை பெற்றால் மறு பொருள் (மறுபகுதி) மின்னூட்டத்தை இழக்கும். மின்னோட்டத்தை ஆக்கவோ அழிக்கவோ முடியாது. அதாவது தனித்த அமைப்பின் மொத்த மின்னூட்டமும் என்றும் மாறாமல் உள்ளது. இரு பொருட்களை ஒன்றன் மீது ஒன்றாக தேய்க்கும்போது மின்னூட்ட பரிமாற்றத்தினால் ஒரு பொருள் எதிர் மின்னோட்டத்தை பெறும். அதேசமயம் மற்றொன்று எதிர் மின்னோட்டத்தை இழந்ததால் நேர் மின்னூட்டம் அடையும்.

1.4 கூலும் விதி

கூலும் (1736-1806), இரு மின்னூட்டங்களுக்கு இடையே நிலைமின்னியல் விசையின் பண்பையும் அதன் மின்னூட்ட எண் மதிப்பையும் கண்டறிய பல்வேறு பரிசோதனைகளை நிகழ்த்தினார். இறுதியாக கூலும்மின் நிலைமின்னியல் விதியின்படி, பொருட்களின் மின்னூட்டம் அதிகரிக்கும் போதும், அவற்றிற்கு இடையேயான தொலைவு குறையும் போதும், நிலைமின்னியல் விசை கூடும் என்பதை நிரூபித்தார். மேலும் இவ்விதிப்படி, குறிப்பிட்ட தொலைவிற்கு பிரித்து வைக்கப்பட்ட இரு புள்ளி மின்னூட்டங்கள் ஒன்றன்

மீது ஒன்று விசையை செலுத்தும். இவ்விசையானது, அவ்விரு மின்னூட்டங்களின் பெருக்குத் தொகைக்கு நேர் விகிதத்திலும், அவற்றிற்கு இடையேயான தொலைவுக்கு இருமடிக்கு எதிர் தகவிலும் இருக்கும்.

இவ்விசை மின்னூட்டங்களை இணைக்கும் கோட்டின் வழியாக செயல் படும். இவ்விசையின் பண்பானது ஒத்த மின்னூட்டங்களுக்கு விலக்கு விசையாகவும் எதிரெதிர் மின்னூட்டங்களுக்கு ஈர்ப்பு விசையாகவும் செயல் படும். கணித முறைப்படி, q_1 மற்றும் q_2 எனும் இரு புள்ளி மின்னூட்டங்கள் r தொலைவுக்கு (படம்.1.1) பிரித்து வைக்கப்படும்போது, கூலும் விதியின்படி, q_2 மின்னோட்டத்தால் q_1 மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படுத்தப்படும் விசையானது



படம் 1.1: கூலும் விதி

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \qquad \ldots(1.2)$$

இங்கு ε_0 என்பது வெற்றிடத்தின் விடுதிறன். SI அமைப்பில் இதன் எண் மதிப்பு 8.854×10^{-12} $C^2N^{-1}m^{-2}$. SI அமைப்பில், $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9 \times 10^9$ Nm^2C^{-2} ஆகும். CGS அமைப்பில், $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 1$ ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.1

எடுத்துக்காட்டு 1.1: d' தொலைவிற்கு பிரித்து வைக்கப்பட்ட இருவேறு புள்ளி மின்னுட்டங்களுக்கு இடையே செயல்படும் விசை F, அவற்றிற்கு இடையே ஆன பயனுறு விசை F/3 ஆக குறையும் போது அவற்றின் பரிமாற்று தொலைவை கணக்கிடுக.

தீர்வு:

q_1 மற்றும் q_2 என்பன இரு மின்னூட்டங்கள் எனில், $F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 d^2}$

$$\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} = Fd^2$$

இறுதியாக, மின்னூட்டங்களுக்கிடைப்பட்ட பயனுறு விசை F/3 ஆக உள்ளபோது அவற்றுக்கிடையேயான பரிமாற்றத் தொலைவு x என்க. ஆக

$$\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 x^2} = \frac{F}{3} \Rightarrow 3Fd^2 = Fx^2 \Rightarrow x = \sqrt{3}d.$$

எடுத்துக்காட்டு 1.2: ஹைட்ரஜன் அணுவில் உள்ள எலக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான்களுக்கு இடைப்பட்ட பயனுறு நிலை மின்னியல் விசையையும் புவியீர்ப்பு விசையையும் ஒப்பிடுக. (கொடுக்கப்பட்டவை, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\ kg$, $m_p = 1.7 \times 10^{-27}\ kg$ and $G = 6.67 \times 10^{-11}\ Nm^2\ kg^2$).

தீர்வு:

எலக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான்கள் இடையேயான தொலைவு r எனில் அவற்றுக்கிடையே செயல்படும் விசையானது,

$$F_e = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{e^2}{r^2} = 9\times10^9.\frac{e^2}{r^2}$$

மற்றும் அவற்றுக்கிடையே செயல்படும் புவி ஈர்ப்பு விசையானது, $F_g = G\dfrac{m_e m_p}{r^2}$

$$\therefore \quad \frac{F_e}{F_g} = \frac{9\times10^9}{G}.\frac{e^2}{m_e m_p} = 2.26\times10^{39}$$

என்பது F_e மற்றும் F_g க்கு இடைப்பட்ட விகிதம்.

எடுத்துக்காட்டு 1.2

எடுத்துக்காட்டு 1.3: $5\mu C$ மின்னூட்டத்தை தாங்கியுள்ள ஒரு தெர்மோகோலினால் ஆன பந்தின் எடை 9×10^{-5} Kg. அதே போன்ற மற்றொரு பந்து 2 cm தூரத்தில் மேற்புறமாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. அமைப்பு சமநிலையில் உள்ள போது, இரண்டாவது பந்தின் மின்னூட்டத்தை கணக்கிடுக.

தீர்வு:

பந்துகளுக்கு இடைப்பட்ட விலக்கு விசையானது இரண்டாம் பந்தின் எடையை தாங்கக்கூடிய அளவு இருக்கும்போது, இரு பந்துகளும் சமநிலையில் இருக்கும்.

$$\therefore \quad \text{சமநிலையில்}\ \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = mg$$

இப்போது, $mg = 9\times10^{-5}\times9.8$ N; $r = 2\times10^{-2}\ m$; $q_1 = 5\times10^{-6}$ C மற்றும்

$$4\pi\varepsilon_0 = \frac{1}{9}\times10^{-9}.$$

$$\therefore \quad q_2 = \frac{9\times10^{-5}\times9.8\times(2\times10^{-2})^2}{5\times10^{-6}\times9}\times10^{-9} = \frac{9.8\times4}{5}\times10^{-12} = 7.84\times12^{-12}\,\text{C}$$

என்பது இரண்டாவது பந்தில் மின்னூட்டம் ஆகையால் குறிப்பிடப்பட்ட அமைப்பு சமநிலையில் இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.3

சார்பு விடுதிறன் (மின்காப்பு மாறிலி): சார்பு விடுதிறன் (ε_r) என்பது வெற்றிடத்தில் குறிப்பிட்ட தூரத்தில் பிரித்து வைக்கப்பட்ட இரு புள்ளி மின்னூட்டங்களுக்கு இடையே உள்ள விசைக்கும் குறிப்பிட்ட ஊடகத்தில், அதே நேரத்தில் அவற்றிற்கு இடையே உள்ள விசைக்கும் உள்ள தகவாகும்.

இதன்படி, $$\varepsilon_r = \frac{F_{vac}}{F_{med}} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2} / \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon r^2} \quad \ldots(1.3)$$

அல்லது, $$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad \ldots(1.4)$$

இங்கு ε_0 என்பது வெற்றிடத்தின் விடுதிறன் மற்றும் ε என்பது குறிப்பிட்ட ஊடகத்தின் விடுதிறன் ஆகும்.

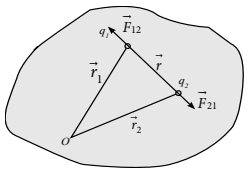
1.4.1 கூலும் விதியின் வெக்டர் வடிவம்

கூலும் விதியினை வருவிக்கும்போது, மின்னூட்டங்களுக்கு இடையே விசையின் திசையை கருத்தில் கொண்டு வெக்டர் குறியீட்டை பயன்படுத்துவதே பொதுவான அணுகுமுறையாகும். r தொலைவு பிரித்து வைக்கப்பட்ட, q_1 மற்றும் q_2 ஆகிய இரு ஒத்த மின்னூட்டங்களுக்கு (படம். 1.2) q_2 மின்னோட்டத்தால் q_1 மீது செயல்படும் விசையை வெக்டர் வடிவத்தில் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\vec{F}_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{r}_{21} \quad \ldots(1.5)$$

இங்கு $\hat{r}_{21}$ என்பது q_1 லிருந்து q_2 க்கான அலகு வெக்டர். இதே போல், q_1 மின்னோட்டத்தால் q_2 மீது செயல்படும் விசை,

$$\vec{F}_{21} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{r}_{12} \quad \ldots(1.6)$$



படம்1.2: கூலும் விதியின் வெக்டர் விளக்கம்

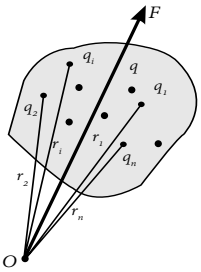
இங்கு $\hat{r}_{12}$ என்பது q_2 லிருந்து q_1 கான அலகு வெக்டர்.

ஆக, $$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_1 - \vec{r}_2}{\left|\vec{r}_1 - \vec{r}_2\right|}$$

$$= -\frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{\left|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right|} = -\hat{r}_{21}$$

உடன் $$r = \left|\vec{r}_1 - \vec{r}_2\right| = \left|\vec{r}_2 - \vec{r}_1\right|$$

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad \ldots(1.7)$$



படம்1.3: பகிர்வு மின்னூட்டத்திற்கான கூலும்பின் விதி

சமன். (1.7) லிருந்து 2வது மின்னூட்டத்தினால் 1வது மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசையானது, 1வது மின்னூட்டத்தினால் 2வது மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசைக்கு சமமாகவும் எதிர்திசையிலும்

அமையும் என்பது தெளிவாகிறது. இதேபோல் *j* மின்னூட்டத்தினால் i மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் திசையை பொதுவாக பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\vec{F}_{ij} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i q_j}{r^2}\hat{r}_{ji} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_i q_j\left(\vec{r}_j - \vec{r}_i\right)}{\left|\vec{r}_j - \vec{r}_i\right|^3} \qquad \ldots(1.8)$$

CGS அமைப்பில் j மின்னூட்டத்தால் i மின்னோட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசை,

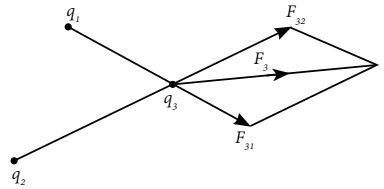
$$\vec{F}_{ij} = \frac{q_i q_j}{r^2}\hat{r}_{ji} = \frac{q_i q_j\left(\vec{r}_j - \vec{r}_i\right)}{\left|\vec{r}_j - \vec{r}_i\right|^3} \qquad \ldots(1.9)$$

n எண்ணிக்கையிலான $q_1, q_2, q_3, \ldots\ldots, q_n$ என்ற மின்னூட்டங்கள் $\vec{r_1}, \vec{r_2}, \vec{r_3}\ldots\ldots, \vec{r_n}$ என்ற தொலைவுகள் முறையே வைக்கப்பட்டுள்ளது படம் (1.3). இம்மின்னூட்டங்களால் தொலைவில் வைக்கப்பட்ட மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசையானது,

$$\vec{F} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n}\frac{q_i\left(\vec{r} - \vec{r}_i\right)}{\left|\vec{r} - \vec{r}_i\right|^3} \qquad \ldots(1.10)$$

1.5 மேற்பொருந்துதல் தத்துவம்

ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படுத்தப்படும் விசையை கண்டறிய மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தை பயன்படுத்தலாம். இத்தத்துவத்தின்படி, எண்ணற்ற புள்ளி மின்னூட்டங்கள் உள்ள ஒரு மின் புலத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட மின்னூட்டத்தின் மீது மற்ற புள்ளி மின்னூட்டங்கள் q_1 மற்றும் q_2 என்ற புள்ளி மின்னூட்டங்களால் q_3 புள்ளி மின்னோட்டத்தின் மீது செயல்படும் $\vec{F}_3$ விசையை q_1 மற்றும் q_2 வினால் q_3 மீது செயல்படும் விசைகள் முறையே $\vec{F}_{31}$ மற்றும் $\vec{F}_{32}$ வின் வெக்டர் கூட்டலால் அறியலாம். அதாவது,



படம்1.4: மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்திற்கான விளக்கம்

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32}$$

$$= \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1 q_3}{{r_{31}}^2}\hat{r}_{31} + \frac{q_2 q_3}{{r_{32}}^2}\hat{r}_{32}\right]$$

பொதுவாக n மின்னூட்டங்களைக் கொண்ட அமைப்பில் j ஆவது மின்னூட்டத்தின் மீது மீதமுள்ள மின்னூட்டங்களால் உருவாக்கப்படும் விசை,

$$\vec{F}_{ij} = \frac{q_j}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{n}\frac{q_i}{{r_{ij}}^2} \qquad \ldots(1.11)$$

எடுத்துக்காட்டு 1.4: Q, q, Q மற்றும் q ஆகிய 4 மின்னூட்டங்கள் ABCD என்ற சதுரத்தின் மூலைகளில் வைக்கப்பட்டுள்ளது. C புள்ளியில் நிகர விசை சுழி எனில் Q மற்றும் q ஆகிய மின்னூட்டங்களுக்கு இடையேயான தொடர்பை காண்க.

தீர்வு:

C புள்ளியில் Q மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் அனைத்து விசையும் படத்தில் காண்பிக்கப்பட்டுள்ளது. நிகர விசை சுழியாவதற்கு $\vec{F}_1+\vec{F}_2+\vec{F}_3=0$ ஆக இருக்க வேண்டும்.

அல்லது, $F_1\cos 45°\hat{i} - F_1\sin 45°\hat{j} - F_2\,\hat{j} + F_3\,\hat{i} = 0$

அல்லது, $(F_1\cos 45° + F_3)\hat{i} + (-F_1\sin 45° - F_2)\hat{j} = 0$

$\therefore$ $F_1\cos 45° + F_3 = 0 \Rightarrow F_1\cos 45° = -F_3$

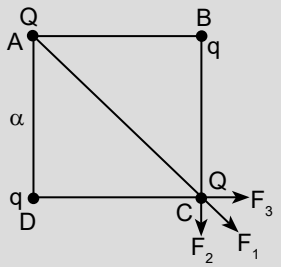
மற்றும் $F_1\sin 45° + F_2 = 0 \Rightarrow F_1\sin 45° = -F_2$

இப்போது, $F_1 = k\dfrac{Q^2}{2a^2}$ and $F_3 = k\dfrac{Qq}{a^2}$

எனவே, $k\dfrac{Q^2}{2a^2}.\dfrac{1}{\sqrt{2}} = -k\dfrac{Qq}{a^2}$

அல்லது, $Q = -2\sqrt{2}q$

இதுவே தேவையான தொடர்பாகும்.



எடுத்துக்காட்டு 1.4

1.6 மின்னூட்ட அடர்த்தி

மின்னூட்டம் குவாண்டமாக்கல் விதியின்படி, பொருட்களில் உள்ள மின்னூட்டம் எலக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தின் e இன் எண் மடங்காக இருக்க வேண்டும். எலக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தின் எண் மதிப்பு மிகச் சிறியதாக இருந்த போதிலும், எந்தவொரு நுண் மின்னூட்ட பகிர்வும் மிக அதிக எண்ணிக்கையிலான எலக்ட்ரான் மின்னூட்டங்களைக் கொண்டிருக்கும். எனவே, பொருட்களில் உள்ள மின்னூட்டங்கள் மின்னூட்ட அடர்த்தி செயல்பாட்டின்படியே விநியோகிக்கப்படுவதாக கருதலாம்.

பல நேர்வுகளில் சில தொகுதிகளில் மின்னூட்ட துகள்கள் (எடுத்துக்காட்டு எலக்ட்ரான்கள் புரோட்டான்கள் மற்றும் நேர்மின் அயனிகள்) சரிசமமாக விநியோகிக்கப்படுவது இல்லை. இந்த நேர்வில் நாம் பரப்பு மின்னோட்ட அடர்த்தியை நன்கு வரையறுக்கலாம். ஒரு கடத்தியின் நீளத்தின் சில நேரியல் பகுதிகளில் மின்னூட்டம் சமமற்று விநியோகிக்கப்படும் சந்தர்ப்பமும் இருக்கும். அந்நேர்வுகளில் நேரியல் மின்னூட்ட அடர்த்தியை கருதலாம்.

Δq மின்னூட்டமானது ΔV, என்ற கன உறுப்புகளில் பகிரப்பட்டால், கன மின்னூட்ட அடர்த்தியானது,

$$\rho = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta V} \qquad \ldots(1.12)$$

மறுபுறம் மின்னூட்டம் ஆனது நேரியல் பரப்புகளில் பகிரப்பட்டால் பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தி ஆனது,

$$\sigma = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta S} \qquad \ldots(1.13)$$

மீண்டும், Δq மின்னூட்டம் ஆனது Δl என்ற நேரியல் நீள பகுதிகளில் பகிரப்பட்டால் நேரியல் மின்னூட்ட அடர்த்தியானது,

$$\lambda = \lim_{\Delta l \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta l} \qquad \ldots(1.14)$$

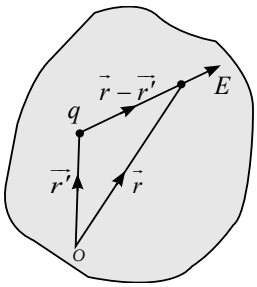
பொதுவாக, $\vec{r}$ தொலைவில் வைக்கப்பட்ட q புள்ளி பரவல் மின்னூட்டத்தின் மீது மின்னூட்ட அடர்த்தியின் கன பரவல் $\rho(\vec{r}_0)$, பரப்பு பரவல் $\sigma(\vec{r}_0)$, நேரியல் பரவல் $\lambda(\vec{r}_0)$ ஆல் செயல்படும் விசை யானது,

$$\vec{F} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\int_V \frac{\vec{r}-\vec{r}_0}{\left|\vec{r}-\vec{r}_0\right|^3}\rho dV_0 + \int_S \frac{\vec{r}-\vec{r}_0}{\left|\vec{r}-\vec{r}_0\right|^3}\sigma dS_0 + \int_l \frac{\vec{r}-\vec{r}_0}{\left|\vec{r}-\vec{r}_0\right|^3}\lambda dl_0\right] \qquad \ldots(1.15)$$

$\vec{r}_0$ இடைவெளி ஆயத்தொலைவுக்கு பகிரப்பட்ட மின்னூட்டங்களால் ஆன விசை சமன். (1.15) ல் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது.

1.7 மின்புலம் மற்றும் புலச்செறிவு

ஒரு சோதனை மின்னூட்டத்தை சுற்றியுள்ள புலத்தில் மற்றொரு புள்ளி மின்னூட்டத்தை அருகில் கொண்டு வரும் போதுதான் சோதனை மின்னூட்டத்தின் நிலை மின்னியல் விசையை உணரும். அப்புலமே சோதனை மின்னூட்டத்தின் மின்புலம் ஆகும். மின்புலத்தின் எண்மதிப்பானது எந்த ஊடகத்தில் புலத்தை அளவீடு செய்கிறோம் என்பதை பொருத்தே அமையும். மின்புலமானது N/C அல்லது V/m என்ற SI அலகுகளாலேயே அளக்கப்படுகிறது.



படம் 1.5: ஒரு புள்ளியில் மின்புலச் செறிவு

மின்புலச் செறிவு என்பது மின்புலத்தில் ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியில் அதன் வலிமையைப் பற்றி அறிவதாகும். எந்த ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளியிலும் மின்புலச் செறிவு என்பது, அப்புள்ளியில் உள்ளபோது சோதனை மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசைக்கும் அப்புள்ளி மின்னூட்டத்திற்கும் உள்ள வரையறுக்கப்பட்ட விகிதம் ஆகும்.

ஆதிப்புள்ளி O வை பொறுத்து $\vec{r}$ தொலைவிலுள்ள q என்ற சோதனை மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசை $\vec{F}$ எனில் அப்புள்ளியில் மின்புலச் செறிவானது,

$$\vec{E}(r) = \lim_{q \to 0} \frac{\vec{F}}{q} \qquad \ldots(1.16)$$

$\vec{r'}$ தொலைவிலுள்ள மின்னூட்டங்களால், மூலப்புள்ளி $\vec{r}$ உள்ள தொலைவிலிருந்து காணப்படும் மின்புலச்செறிவானது $\vec{E}$ (படம்1.5), சமன். (1.16) லிருந்து பொதுவாக எழுதலாம்.

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\vec{r} - \vec{r'}}{\left|\vec{r} - \vec{r'}\right|^3} \qquad \ldots(1.17)$$

n எண்ணிக்கையிலான q_1, q_2, q_3, ..., q_n புள்ளி மின்னூட்டங்கள் ஆகியவை $\vec{r_1}, \vec{r_2}, \vec{r_3}, ..., \vec{r_n}$ என்ற தொலைவுகள் முறையே அமைந்துள்ளன. V என்ற கன அளவில் $\rho\left(\vec{r_0}\right)$ என்ற மின்னூட்ட அடர்த்தியுடன் கன அளவு விநியோகத்தாலும், S என்ற மேற்பரப்பில் $\sigma\left(\vec{r_0}\right)$ எனும் மின்னூட்ட அடர்த்தியுடன் பரப்பளவு விநியோகத்தாலும், என்ற நேரியல் பகுதியின் ஊடாக $\lambda(\vec{r_0})$ எனும் மின்னூட்ட அடர்த்தி உள்ள நேரியல் விநியோகத்தாலும் $\vec{r}$ தொலைவில் உள்ள q என்ற சோதனை மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசையானது கீழ்க்கண்டவாறு கண்டறியப்படுகிறது.

$$\vec{F} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\sum_{i=1}^{n} q_i \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{\left|\vec{r} - \vec{r}_i\right|^3} + \int_V \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{\left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|^3}\rho dV_0 + \int_S \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{\left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|^3}\sigma dS_0 + \int_l \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{\left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|^3}\lambda dl_0\right] \qquad \ldots(1.18)$$

மற்றும் சமன். (1.16) இலிருந்து $\vec{r}$ இல் மின்புலம் கீழ்க்கண்டவாறு கிடைக்கின்றது.

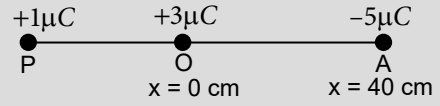
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\sum_{i=1}^{n} q_i \frac{\vec{r} - \vec{r}_i}{\left|\vec{r} - \vec{r}_i\right|^3} + \int_V \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{\left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|^3}\rho dV_0 + \int_S \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{\left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|^3}\sigma dS_0 + \int_l \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{\left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|^3}\lambda dl_0\right] \qquad \ldots(1.19)$$

எடுத்துக்காட்டு 1.5

எடுத்துக்காட்டு 1.5: +3μC மற்றும் -5μC ஆகிய இரு மின்னூட்டங்கள் X–அச்சின் வழியே $x = 0$ *cm* மற்றும் $x = 40$ *cm* தொலைவுகள் முறையை வைக்கப்பட்டுள்ளன. அமைப்பின் மின்புலச்செறிவு எந்த புள்ளியில் சுழி ஆகும் என கணக்கிடுக.

தீர்வு:

P என்ற புள்ளியில் புலச் செறிவு பூஜ்ஜியம் என்க. அதாவது P யினுள் வைக்கப்பட்ட நேர் மின்னூட்டத்தின் மீதான விசை சுழியாகும். OP = x என்க.



$$k\frac{3}{(\mathrm{OP})^2} = k\frac{5}{(\mathrm{AP})^2} \quad \text{அல்லது}$$

$$\frac{3}{x^2} = \frac{5}{(40+x)^2} \Rightarrow \frac{40+x}{x} = \sqrt{\frac{5}{3}} = 1.29$$

அல்லது $40 + x = 1.29\,x$ அல்லது $x = 137.91$ cm.

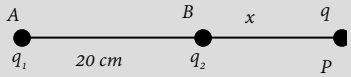
எனவே, O விலிருந்து 137.91 cm தூரத்தில் புலச் செறிவு அமைப்பினால் சுழி மதிப்பு அடையும்

எடுத்துக்காட்டு 1.6: 5×10^{-11}C மற்றும் -2.7×10^{-11}C ஆகிய இரு மின்னூட்டங்கள் 20cm இடைவெளியில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ளது. மின்னூட்டங்களை இணைக்கும் அச்சுக்கோட்டில் எந்த ஒரு புள்ளியில் மூன்றாவது மின்னூட்டத்தை வைத்தால் அதன் மீது ஏற்கனவே உள்ள மின்னூட்டங்களால் எந்த விசையையும் செலுத்த முடியாமல் இருக்கும்?

தீர்வு:

5×10^{-11}C மற்றும் -2.7×10^{-11}C ஆகிய மின்னூட்டங்கள் A மற்றும் B புள்ளிகளில் உள்ளது என்க. மூன்றாவது புள்ளியானது B இலிருந்து 20cm தொலைவில் வைத்துள்ளதாக கருதுக. இப்போது A வில் உள்ள மின்னூட்டத்தால் q மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசை.

$$\vec{F}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{5q\times10^{-11}}{(0.2+x)^2}$$



இது AB அச்சின் வழியாக செயல்படும்.

B இல் உள்ள மின்னூட்டத்தால் q மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசை,

$$\vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{2.7q\times10^{-11}}{x^2} \text{ Along } AB$$

கணக்கின்படி, $\vec{F}_1 = \vec{F}_2$

அல்லது, $$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\left[\frac{5q\times10^{-11}}{(0.2+x)^2} - \frac{2.7q\times10^{-11}}{x^2}\right] = 0$$

அல்லது, $5x^2 = 2.7\,(0.2+x)^2$

$\therefore$ $x = 55.6\,\text{cm}.$

எடுத்துக்காட்டு 1.6

எடுத்துக்காட்டு 1.7: 0.7m பக்க அளவு கொண்ட சமபக்க முக்கோணத்தின் அடிப்பக்கத்தின் இரு மூலைகளில் $+1\mu$C மற்றும் -1μC ஆகிய இரு மின்னூட்டங்கள் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இவ்விரு மின்னூட்டங்களால் முக்கோணத்தின் மூன்றாம் மூலையில் ஏற்படும் மின்புலச்செறிவை கணக்கீடுக.

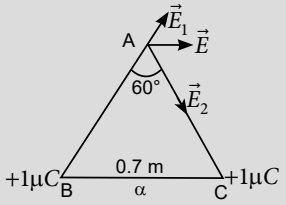
தீர்வு:

$+1\mu$C மற்றும் -1μC ஆகிய புள்ளி மின்னூட்டங்கள் B மற்றும் C ஆகிய புள்ளிகளில் உள்ளதாக கருதுக. A வில் தொகுபயன் செறிவு E எனில்,

$$E^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos120° = 2E_1^2 - E_1^2 = E_1^2$$

இங்கு, $$E_1 = E_2 = \frac{kq_1}{a^2}$$

$$E = 9\times10^9 \times \frac{10^{-6}}{(0.7)^2} = 18.37\times10^3\,\text{NC}^{-1}.$$



எடுத்துக்காட்டு 1.7

எடுத்துக்காட்டு 1.8: $Q_1 = +2\mu C$, $Q_2 = +2\mu C$, $Q_3 = +5\mu C$ மற்றும் $Q_4 = -5\mu C$ ஆகிய நான்கு மின்னூட்டங்கள் சதுரத்தின் நான்கு மூலைகளில் (படத்தில் காட்டியபடி) வைக்கப்பட்டுள்ளது. மூலைவிட்ட நீளம் 2m எனில் வெட்டும் புள்ளியில் புலச்செறிவைக் கணக்கிடுக.

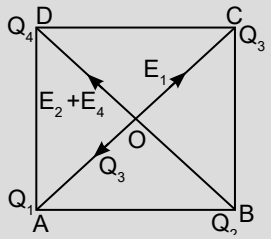
தீர்வு:

மூலைவிட்டங்களின் வெட்டும் புள்ளி O என்க. A வில் உள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்தால் Oவில் உள்ள மின்புலச்செறிவானது,

$$E_1 = 9\times10^9 \times \frac{Q_1}{(OA)^2} = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^{-6}}{(1)^2} = 18\times10^3\,NC^{-1}$$

B இல் உள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்தால் O வில் உள்ள மின்புலச்செறிவானது

$$E_2 = 9\times10^9 \times \frac{2\times10^6}{(1)^2} = 18\times10^3\,NC^{-1}$$



C இல் உள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்தால் O வில் உள்ள மின்புலச்செறிவானது,

$$E_3 = 9\times10^9 \times \frac{5\times10^6}{(1)^2} = 45\times10^3\,NC^{-1}$$

D இல் உள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்தால் O வில் உள்ள மின்புலச்செறிவானது,

$$E_4 = 9\times10^9 \times \frac{5\times10^6}{(1)^2} = 45\times10^3\,NC^{-1}$$

எனவே OA வழியாக நிகர செறிவு E' ஆனது = $E_3 - E_1 = (45-18)\times10^3 = 2.3\times10^4\,NC^{-1}$.

OD வழியாக நிகர செறிவு E" ஆனது = $E_2+E_4=(45-18)\times10^3 = 6.3\times10^4\,NC^{-1}$.

ஆக O வில் தொகுபயன் செறிவு, $E = \sqrt{(E')^2 + (E'')^2}$

$$E = 10^4\sqrt{(2.3)^2 + (6.3)^2} = 6.71\times10^4\,NC^{-1}.$$

எடுத்துக்காட்டு 1.8

எடுத்துக்காட்டு 1.9: X-அச்சின் வழியே $x=1, x=2, x=4, x=8, \ldots\ldots$ என்ற தூரங்களில் அமைந்துள்ள சம அளவுள்ள q என்ற மின்னோட்டங்களின் முடிவிலா மின்னூட்ட பரவலால் $x = 0$ வில் மின்புலச் செறிவைக் கண்டுபிடி.

தீர்வு

X–அச்சின் வழியே $x=1$, $x = 2$, $x = 4$, $x = 8$, ... என்ற தூரங்களில் அமைந்துள்ள சம அளவுள்ள q என்ற மின்னோட்டங்களின் முடிவிலா மின்னூட்ட பரவலால் $x = 0$ வில் மின்புலச் செறிவு

$$E=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q}{1^2}+\frac{q}{2^2}+\frac{q}{4^2}+\frac{q}{8^2}\right]=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{1^2}+\frac{1}{2^2}+\frac{1}{4^2}+\frac{1}{8^2}+....\right]$$

$$=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[1+\frac{1}{4}+\frac{1}{16}+\frac{1}{64}+.....\right]=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{1-\frac{1}{4}}=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{4q}{3}\text{ units.}$$

எடுத்துக்காட்டு 1.9

எடுத்துக்காட்டு 1.10 எலக்ட்ரானுக்கு இணையான மின்னூட்டத்தைக் கொண்ட நீர்த்திவலையானது 3V/m அளவுள்ள மின்புலத்தினால் சமநிலையில் தொங்கிக் கொண்டுள்ளது. எலக்ட்ரானின் மின்னூட்டம் $e = 4.805\times10^{-10}$ esu எனில் நீர்த் திவலையின் ஆரத்தை கண்டுபிடி.

தீர்வு

சமநிலையில், $mg = eE \Rightarrow \frac{4}{3}\pi r^3\times1\times g = eE$ (நீரின் அடர்த்தி = 1gm/cc)

அல்லது, $r^3=\frac{3eE}{4\pi g}=\frac{3\times4.805\times10^{-10}}{4\times3.14\times980}\times\frac{3}{300\times100}$

$\therefore \quad r = 0.1054$ cm

இதுவே நீர்த்திவலையின் ஆரமாகும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.10

1.8 நிலை மின்புல அழிவின்மை

நிலைமின்னியல் புலத்தின் அழிவின்மை ஒரு புள்ளியில் வெக்டர் புலத்தின் சுருள் என்பது, வெக்டர் புலம் அப்புள்ளியை சுற்றி சுழலும் போக்கை அளவிடுவது ஆகும். இதன் மதிப்பு சுழி ஆகும்போது, புலவிசை அழிவின்மை புலமாகக் கருதப்படும். இப்பகுதியில், நிலைமின்னியல் விசையின் சுருளைக் கணக்கிடுவதோடு அது அழிவின்மை புலமா என்பதை விளக்க முயற்சிக்கலாம். அதன் தொடக்கமாக நிலைமின்னியல் புலத்தில் உள்ள n எண்ணிக்கையிலான $q_1, q_2, q_3, \ldots\ldots, q_n$ புள்ளி மின்னூட்டங்கள் உள்ள அமைப்பில் தொலைவில் உள்ள $\vec{r_1}, \vec{r_2}, \vec{r_3}\ldots\ldots, \vec{r_n}$ புள்ளி மின்னூட்டங்களை கருதலாம்.

r தொலைவிலுள்ள q என்ற சோதனை மின்னூட்டத்தினாலான மின்புலத்தை கீழ்க்கண்டவாறு கணக்கிடலாம்.

$$\vec{E}(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=1}^{n} q_i \frac{\vec{r}-\vec{r}_i}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|^3}$$

இப்போது வெக்டர் அடையாளத்தை பயன்படுத்தி

$$\vec{\nabla}\times\psi\vec{A} = \vec{\nabla}\psi\times\vec{A} + \psi\vec{\nabla}\times\vec{A}$$

நாம் பெறுவது, $$\vec{\nabla}\times\frac{\vec{r}-\vec{r}_i}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|^3} = \vec{\nabla}\frac{1}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|^3}\times\left(\vec{r}-\vec{r}_i\right) + \frac{1}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|^3}\vec{\nabla}\times\left(\vec{r}-\vec{r}_i\right)$$

$\vec{\nabla}\times\left(\vec{r}-\vec{r}_i\right) = 0$ ஆகையால், மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் இரண்டாம் உறுப்பு சுழியாகும்.

மற்றும் வெக்டர் நுண்கணிதத்தின்படி, $\vec{\nabla}\frac{1}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|^3} = -\frac{3\left(\vec{r}-\vec{r}_i\right)}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|^5}$

$$\therefore \quad \vec{\nabla}\times\frac{\vec{r}-\vec{r}_i}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|^3} = -\frac{3\left(\vec{r}-\vec{r}_i\right)}{\left|\vec{r}-\vec{r}_i\right|^5}\times\left(\vec{r}-\vec{r}_i\right) = 0$$

$$\therefore \quad \vec{\nabla}\times\vec{E}(\vec{r}) = 0$$

மின்புலத்தின் சுருளி சுழியாகையால் மின்புலமான அழிவின்மை புலமாக கருதலாம். அழிவின்மை விசைப்புலம் செய்த வேலை பாதையை பொருத்து அமையாது. மின்னூட்டத்தை ஒரு புள்ளியிலிருந்து மறு புள்ளிக்கு நகர்த்த செய்யப்பட்ட வேலை மின்னூட்டம் நகர்ந்த பாதையை பொருத்து அமையாமல், ஆரம்ப மற்றும் முடிவுப் புள்ளியை மட்டுமே பொருத்து அமையும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.11

எடுத்துக்காட்டு 1.11: $\vec{E} = axy^2(y\hat{i} + x\hat{j})$ என்ற புலம் அழிவிலி என்பதை ஆராய்க.

தீர்வு:

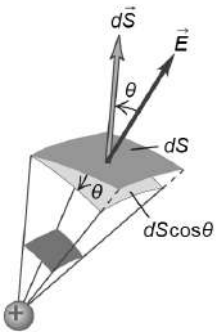
கொடுத்துள்ளபடி, $\vec{E} = axy^2(y\hat{i} + x\hat{j})$

இப்போது, $$\vec{\nabla}\times\vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ axy^3 & ax^2y^2 & 0 \end{vmatrix} = \left(2axy^2 - 3axy^2\right)\hat{k} = -axy^2\hat{k}$$

எனவே, கொடுக்கப்பட்ட புலம் அழிவிலி புலம் அல்ல.

1.9 மின்பாயம்

மின்பாயம் என்பது, மின்புலத்தில் உள்ள செங்குத்தான பரப்பின் ஊடே பாயும் மொத்த மின்கதிர் விசைகள் ஆகும். மூடப்பட்ட பரப்பில் இருந்து விடுபடும் மின் கதிர்கள் நேர்மறையானவை. அதேபோல் மூடப்பட்ட பரப்பினுள் உட்புகும் மின்கதிர்கள் எதிர்மறையானவை. பரப்பினூடே உட்புகும் கதிர்களின் எண்ணிக்கையும் வெளியே செல்லும் கதிர்களின் எண்ணிக்கையும் சமமாக இருப்பின் பரப்பின் நிகர பாய மதிப்பு சுழியாகும். சிறு மேற்பரப்பில் $d\vec{S}$ (படம்1.6) மின்புலத்தின் $\vec{E}$ மின்பாயமானது



படம் 1.6: மின்புல பாயம்

$$d\varphi = \vec{E}.d\vec{S} \qquad \ldots(1.20)$$

மற்றும் மொத்த பரப்பு S வழியே பாயும் மொத்த பாயமானது φ,

$$\varphi = \int d\varphi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_S EdS\cos\theta \qquad \ldots(1.21)$$

இங்கு θ என்பது $\vec{E}$ மற்றும் $d\vec{S}$ இடைப்பட்ட கோணம்.

எந்த ஒரு திசையமை நேரியல் ஊடகங்களுக்கும் மின்புலத்தின் வாயிலாக பாய அடர்த்தி அல்லது மின் இடப்பெயர்வை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$ [என்பது ε ஊடகத்தின் விடுதிறன்] …(1.22)

இதுபோன்ற ஊடகங்களுக்கு, மின்பாயமானது φ கீழ்கண்டவாறு வரையறை செய்யப்படும்.

$$\varphi = \oint_S \vec{D}.d\vec{S} \qquad \ldots(1.23)$$

எடுத்துக்காட்டு 1.12 வெளியின் பகுதியில் மின்புலம் ஆனது $\vec{E} = 8\hat{i} + 4\hat{j} + 5\hat{k}$ ஆக உள்ளது. Y-Z பரப்பில் 100 அலகு பரப்பின் மேற்புறத்தில் உள்ள மின்பாயத்தை காண்க.

தீர்வு

மின்பாயம், $\varphi = \oint_S \vec{E}\,d\vec{S}$

இங்கு, $\vec{E} = 8\hat{i} + 4\hat{j} + 5\hat{k}$ and $d\vec{S} = 100\hat{i}.$

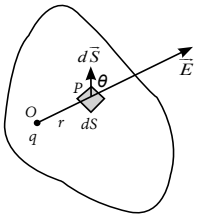
எனவே, $\varphi = \left(8\hat{i} + 4\hat{j} + 5\hat{k}\right).100\hat{i} = 800$ units

எடுத்துக்காட்டு 1.12

1.10 காஸ் விதி

காஸ் விதி என்பது கூலும் விதிக்கு மாற்றாகும். கூலும் விதிக்கு, முழுவதும் இணையாக மின்னூட்டத்திற்கும் மின்புலத்திற்கும் இடையே ஆன தொடர்பை காஸ் விதி தருகிறது. எக்காலத்திலும் சிறந்த கணிதவியலாளராக கருதப்படும் கார்ல் பிரெட்ரிக் காஸ் (1777-1855), ஆல் இவ்விதி உருவாக்கப் பட்டது. இவ்விதியின்படி, மொத்த மின் பயமானது, மூடப்பட்ட மேற்பரப்பின் மீது உள்ள செங்குத்துக் கூறின் மின்புலச்செரிவின் பரப்பு தொகைக் கெழுவானது அம்மேற்பரப்பால் மூடப்பட்ட மொத்த மின்னோட்டத்தின் $1/\varepsilon_0$ மடங்குக்கு சமமாகும்.

கணித முறைப்படி,



படம் 1.7: காஸ் விதியின் விளக்கம்

$$\varphi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(1.24)$$

இங்கு ε_0 என்பது வெற்றிடத்தின் விடுதிறன் ஆகும்.

நிரூபணம்: படம் 1.7. ல் காட்டியுள்ளபடி புள்ளி O வில் வைக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி மின்னோட்டம் +q ஆனது மேற்பரப்பு S ல் மூடப்பட்டுள்ளதாக கருதலாம். P யைச் சுற்றியுள்ள சிறு தொகுதி $d\vec{S}$ ஆகும். மேலும் P புள்ளியில் O வில் உள்ள மின்னூட்டம் q வினால் OP வழியாக செயல்படும் மின்புலச் செறிவு $\vec{E}$ இன் எண் மதிப்பை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

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

If $\vec{E}$ மற்றும் $d\vec{S}$ ற்கு இடைப்பட்ட கோணம் θ எனில், இங்கு என்பது S ஆல் சூழப்பட்ட O வை பொருத்த மொத்த திடகோணம் ஆகும்.

$$\varphi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_S EdS\cos\theta = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\oint_S \frac{dS\cos\theta}{r^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int d\omega$$

இங்கு $\int d\omega = \oint_S \frac{dS\cos\theta}{r^2}$ என்பது S ஆல் சூழப்பட்ட O வை பொருத்த மொத்த திடகோணம்ஆகும். அதன் மதிப்பு 4π.

எனவே, $$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}.4\pi = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(1.25)$$

இதுவே காஸின் தேற்றம் ஆகும்.

1.10.1 காஸின் மேற்பரப்பு

ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் செங்குத்தாகவும், சீரான எண்மதிப்பிலான மின்புலச் செறிவும் செயல்படும் கற்பனையான மேற்பரப்பே காஸின் மேற்பரப்பு எனப்படும்.

1.10.2 மின்காப்பு ஊடகத்தில் காஸ் விதி

இவ்விதிப்படி, மின்காப்பு ஊடகத்தின் எந்தவொரு மூடப்பட்டுள்ள மேற்பரப்பிலும் உள்ள மின்பாயம் φ ஆனது, மொத்த மின்னூட்டம் q இன் $1/\varepsilon_0$ மடங்குக்கு சமமாகும்.

இதன்படி, $\varphi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$

அல்லது, $\oint_S \vec{D}.d\vec{S} = q$

for more on Gauss's law

இங்கு, $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}$ என்பது மின் இடப்பெயர்வு வெக்டர் அல்லது பாய அடர்த்தியாகும்.

1.10.3 காஸ் விதியின் வகைக்கெழு வடிவம்

சிறு கன பகுதி dv யின் மீதுள்ள மின்னூட்டத்தின் கன அடர்த்தி எனில், மேற்பரப்பு S ஆல் சுற்றப்பட்ட கன அளவுள்ள V பகுதியின் மீது விநியோகிக்கப்பட்ட மின்னூட்டம் q எனில்,

$$q = \int_V \rho dV$$

மீண்டும் நிலைமின்னியலில் காஸ் விதியை கருதினால்,

$$\oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

காஸ் தேற்றத்தை பயன்படுத்தி மேற்கண்ட சமன்பாட்டை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\int_V \vec{\nabla}.\vec{E}dV = \frac{q}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0}\int_V \rho dV$$

எந்த ஒரு தன்னிச்சையான கன தொகுதிக்கும dv மேற்கண்ட சமன்பாட்டின் இருபுறமும் உள்ள தொகைக்கெழு வடிவத்தை சமப்படுத்தினால் கிடைப்பது,

$$\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(1.26)$$

இதுவே காஸின் வகைக்கெழு வடிவம் ஆகும். இதன்படி, எந்த ஒரு புள்ளியிலும் உள்ள மின்புலச் செறிவின் வேறுபாடானது, அப்புள்ளியில் உள்ள மின்னூட்ட அடர்த்தியில் $1/\varepsilon_0$ மடங்கு இருக்கும்.

சமன். (1.26) இடப்பெயர்வு வெக்டர் விதி $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}$ யின் மூலமாக கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\vec{\nabla}.\left(\varepsilon_0 \vec{E}\right) = \rho$$

அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{D} = \rho \qquad \ldots(1.27)$

இதுவே எந்த ஒரு மின்காப்பு ஊடகத்திலும் காஸ் விதியின் வகைகெழு வடிவமாகும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.13

எடுத்துக்காட்டு 1.13: கொடுக்கப்பட்ட மின்புலம் $\vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\left(x\hat{i} + y\hat{j} - 2z\hat{k}\right)$ எனில், அடர்த்தியை காண்க. மின்னூட்ட அடர்த்தியைக் காண்க.

தீர்வு:

நாம் அறிந்தது, $\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$

இங்கு, $\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}(1+1-2) = 0$

எனவே, $\rho = 0$, என்பதே மின்னூட்ட அடர்த்தி.

1.11 காஸ் விதியின் பயன்பாடு

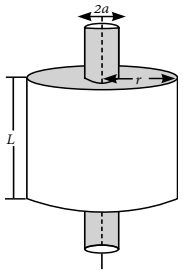
எந்த ஒரு மூடப்பட்ட மேற்பரப்பில் உண்டான மின்னூட்டத்திற்கு காஸ் விதி பொருந்தக்கூடியது. சீரான மின்னுட்டப் பரவலை பற்றி அறிந்திருந்தோமானால், காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி மின்னூட்ட பரவலையும் மின் கடத்து பரப்பின் மீதுள்ள மின்னூட்டத்தையும் அறிந்துகொள்ளலாம். மேற்பரப்பின் மீது சீரான மின்னுட்ட பரவினால் காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி மின்பாயத்தையும் மின்புலச் செறிவையும் மதிப்பிடலாம். இருவகை பயன்பாடுகளுக்கான எடுத்துக்காட்டுகளும் இப்பகுதியில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

அவற்றைப் படிக்கையில், சீரமைப்பு பண்புகளின் முக்கியத்துவத்தை கவனிக்கலாம். எளிமையான மின்னூட்ட பரவல் மூலம் கிடைக்கப்பெறும். மின்புலத்தை காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி அறியப் போகிறோம்.

1.11.1 மின்னூட்டப்பட்ட உருளையின் மின்புலம்

a ஆரம் கொண்ட சீரான மின்னுட்டப்பட்ட உருளையைக் கருதுக. இதை ஒரு முடிவிலா நேர்கோட்டு மின்னூட்ட பரவலாக கருதலாம். உருளையின் ஓரலகு நீளத்திலுள்ள மின்னூட்டம் λ என்க. இதுபோன்ற பரவலால் பெறும் மின்புலத்தை அறிய காஸ் விதி பயன்படுத்தப்படுகிறது. உருளையின் அச்சில் இருந்து r தொலைவில் மின்புலச் செறிவை அறிய L நீளமும் r ஆரமும் கொண்ட பொது அச்சுடைய காஸின் உருளையை வரைக (படம் 1.8).

காஸ் பரப்பின் மீதுள்ள அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் மின்புலமானது சமமாகவும் வெளிப்புறத்தை நோக்கியும் அமைந்துள்ளது. மூடப்பட்ட மொத்த மின்னூட்டமானது $q = \lambda L$, இப்போது காஸ் விதியிலிருந்து பெறப்பட்ட மின்பாயமானது,



படம் 1.8: மின்னூட்டப்பட்ட உருளையை சுற்றிய காஸ் புலம்

$$\varphi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_S EdS = E\oint_S dS = E.2\pi rL$$

அல்லது, $\frac{q}{\varepsilon_0} = E.2\pi rL$

அல்லது, $E = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0 rL} = \frac{\lambda L}{2\pi\varepsilon_0 rL}$

அல்லது, $$E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r} \quad [\text{for } r > a] \qquad \ldots(1.28)$$

உருளையின் உட்புறம் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் மின்புல செறிவை கணக்கிட

(i) அனைத்து புள்ளிகளும் உருளையின் மேற்பரப்பில் அமைந்தால் அதாவது உருளையானது வெற்றாக உள்ளது எனில், உட்புறம் உள்ள மின்னூட்டம் சுழி ஆகும். எனவே, மின் பாயம்,

$$\varphi = \int E.dS = E.2\pi rL = 0$$

$$E = 0 \qquad \ldots(1.29)$$

(ii) உருளை முழுவதும் மின்னூட்டமானது சீரான முறையில் பரவியிருந்தால் $r < a$ ஆரமுள்ள உள் உருளையினுள் அடைக்கப்பட்டுள்ள மின்னோட்டமானது,

$$q' = \frac{q}{\pi a^2}.\pi r^2$$

அல்லது, $$q' = \frac{\lambda L r^2}{a^2}$$

எனவே, உள் உருளையின் மேற்பரப்பில் உள்ள பாயத்தை காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி, கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

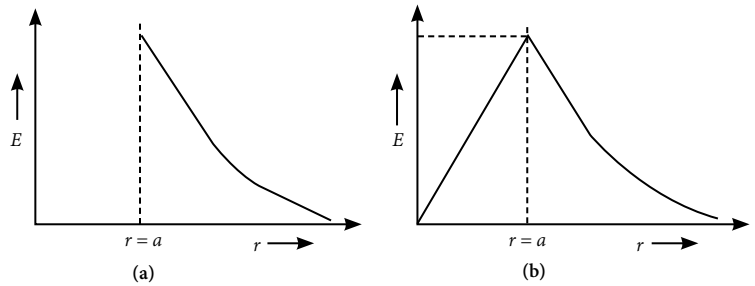
$$E.2\pi rL = \frac{q'}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{q'}{2\pi\varepsilon_0 rL}$$

for more explanation of Gauss's Law

அல்லது, $$E = \frac{\lambda r}{2\pi\varepsilon_0 a^2} \quad [\text{for } r < a] \qquad \ldots(1.30)$$

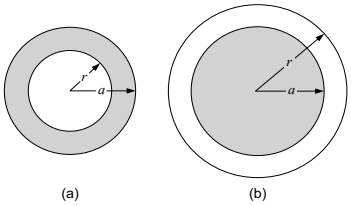
வெற்று மற்றும் திட உருளைகளுக்கு தொலைவு r பொருத்து மின்புலம் E யின் வேறுபாடு படம் 1.9 (a) மற்றும் 1.9 (b) முறையே காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 1.9: மின்னூட்டம் பெற்ற *(a)* வெற்று மற்றும் *(b)* திட உருளையின் ஆரத்தை *'r'* பொருத்து மின்புல '*E*' மாறுபாடு

1.11.2 மின்னூட்டப்பட்ட திடக் கோளத்தாலான மின்புலம்

சீரான மின்னூட்டம் q பெற்ற a ஆரம் கொண்ட திட கோளத்தைக் கருதுக. கீழ்கண்ட நேர்வுகளில் மின்புலத்தை கணக்கிடலாம்.



படம் 1.10: மின்னூட்டம் பெற்ற திட கோளத்திற்கு (a) உள் மற்றும் (b) வெளிப்புற காஸியன் மேற்பரப்பு

(a) **மேற்பரப்பிலுள்ள புள்ளியில் (r < a):** மொத்த q மின்னூட்டமும் கோளத்தின் முழு கன அளவிலும் சீராக நிரவப்பட்டுள்ளது [படம். 1.10 (a)]. r ஆரம் கொண்ட காஸ் கோளத்தினால் மூடப்பட்ட மின்னூட்டத்தின் அளவானது,

$$q' = \frac{q}{\frac{4}{3}\pi a^3}\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{qr^3}{a^3}$$

காஸ் விதியின் மூலமாக கோளத்தின் உட்புறமுள்ள மின்புலச் செறிவு ஆனது, $E.4\pi r^2 = \frac{q'}{\varepsilon_0}$

அல்லது, $E = \frac{q'}{4\pi\varepsilon_0 r^2} = \frac{qr^3}{4\pi\varepsilon_0 r^2 a^3} = \frac{qr}{4\pi\varepsilon_0 a^3} = \frac{\rho r}{3\varepsilon_0}$

[இங்கு $\rho = q / \frac{4}{3}\pi a^3$]

$$E = \frac{\rho r}{3\varepsilon_0} \quad [\text{r} < \text{a}] \qquad \ldots(1.31)$$

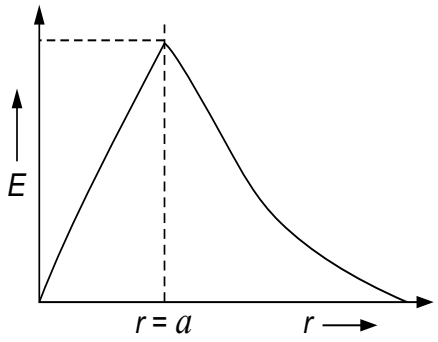
(b) **கோளத்தின் வெளிப்புற புள்ளியில் (r > a):** $r >$ a ஆரம் கொண்ட காஸின் மேற்பரப்பை வரையலாம் [படம். 1.10 (b)] மேலும் மேற்பரப்பிலுள்ள மின்புலப்பாயமானது,

$$\varphi = \int_S \vec{E}.d\vec{S} = \int_S E.dS = E\int_S dS$$

அல்லது, $\varphi = E.4\pi r^2$

அல்லது, $\frac{q}{\varepsilon_0} = E.4\pi r^2$

அல்லது, $E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ [for r > a] …(1.32)



படம் 1.11: மின்னூட்டப்பட்ட திட கோளத்தின் r ஐப் பொருத்து E யின் மாறுபாடு

சமன். (1.31) மற்றும் சமன். (1.32) இலிருந்து $r < a$ ஆக உள்ளபோது $E \propto r$ எனவும் $r > a$ ஆக உள்ள போது $E \propto 1/r^2$ எனவும் தெளிவாகிறது. ஆரம் r ஐப் பொருத்து மின்புலம் Eயின் மாறுபாடு படம்.1.11ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு 1.14: சமச்சீர் கோளத்தின் மின்னூட்ட பரவலானது, $\rho(r) = \rho_0\left(1 - \frac{r^3}{a^3}\right)$ for

$0 < r < a$ மற்றும் $\rho(r) = 0 \;\; r > a$ விற்காக

$r < a$ மற்றும் $r > a$ விற்காக (i) மொத்த மின்னூட்டம் (ii) மின்புலச் செறிவு கணக்கிடுக.

தீர்வு:

(i) மொத்த மின்னூட்டம் ஆனது

$$Q = \int_V \rho dV = \rho_0 \int_{r=0}^{a}\int_{\theta=0}^{\pi}\int_{\varphi=0}^{2\pi}\left(1 - \frac{r^3}{a^3}\right) r^2 \sin\theta d\theta d\varphi dr$$

$$= 4\pi\rho_0\left(\frac{a^3}{3} - \frac{a^3}{6}\right) = \frac{2\pi\rho_0}{3}a^3.$$

(ii) காஸ் விதியின்படி $\oint_S \vec{E}.\overrightarrow{dS} = \frac{Q}{\varepsilon_0}$

$0 < r < a$ விற்காக $E \times 4\pi r^2 = \frac{2\pi\rho_0}{3\varepsilon_0}a^3$

அல்லது, $E = \frac{\rho_0 a^3}{6\varepsilon_0 r^2}.$

$r = a$ ல் $E = \frac{\rho_0 a}{6\varepsilon_0}.$

$r > a$ விற்காக $E = 0.$

எடுத்துக்காட்டு 1.14

எடுத்துக்காட்டு 1.15 மின்னூட்டப்பட்ட சமச்சீர் கோளத்தில் மொத்த மின்னூட்டத்தை கணக்கிடுக. $\rho(r) = \rho_0\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)$

தீர்வு

மொத்த மின்னூட்டம் ஆனது,

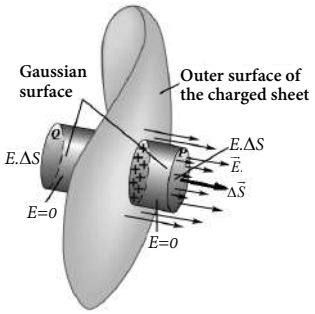
$$Q = \int_V \rho dV = \rho_0 \int_{r=0}^{a}\int_{\theta=0}^{\pi}\int_{\varphi=0}^{2\pi}\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) r^2 \sin\theta d\theta d\varphi dr$$

$$= 4\pi\rho_0\left(\frac{a^3}{3} - \frac{a^3}{5}\right) = \frac{8\pi\rho_0}{15}a^3.$$

எடுத்துக்காட்டு 1.15

1.11.3 மின்னூட்டப்பட்ட முடிவிலா அட்டையின் மின்புலம்

முடிவிலா நீளமுள்ள அட்டையின் மின்னூட்டத்திற்காக அட்டையின் மேற்பரப்பானது குறிப்பிட்ட அடர்த்தியில் மின்னூட்டப்பட்டுள்ளது. P இல் மின்புலத்தை (படம் 1.12) கண்டறிய O விலிருந்து சம தொலைவில் உள்ள Q என்ற புள்ளியை கருதுக. அதாவது, OP = OQ என்ற கணக்கின் சமச்சீர் தன்மைக்கு P மற்றும் Q ஆகிய புள்ளிகளை எதிர்பக்க அடி பக்கங்களில் கொண்ட உருளையை கருதுக. வளைந்த மேற்பரப்பு மின்புலத்திற்கு செங்குத்தாக உள்ளதாகையால் அது வழியே பாயும் மின்பாயமானது சுழி மதிப்படையும்.



படம் 1.12: முடிவிலா மின்னூட்டப்பட்ட அட்டை

எனவே, மொத்த பாயம்

$$\varphi = 2\vec{E}.\Delta\vec{S} = 2E.\Delta S \qquad [\text{As } E \parallel \Delta S]$$

இங்கு ΔS என்பது இரு அடிப்பக்கத்தின் பரப்பாகும். இதன்படி, காஸ் விதியைப் பயன்படுத்தி,

$$2E.\Delta S = \frac{q}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma.\Delta S}{\varepsilon_0}$$

இங்கு σ என்பது மேற்பரப்பு மின்னோட்ட அடர்த்தி

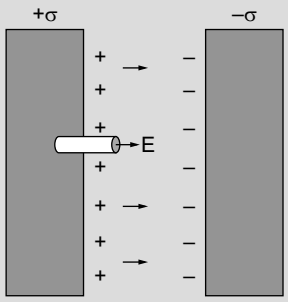
$$\therefore \qquad E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} \qquad \ldots(1.33)\ (a)$$

வெக்டர் வடிவத்தில், $\vec{E} = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}\hat{n}$ [$\hat{n}$ என்பது அலகு வெக்டர்] …(1.33) (b)

எடுத்துக்காட்டு 1.16: மின்னூட்ட அடர்த்தி σ உள்ள மின்தேக்கியின் இரு முடிவிலா நீட்சி பெற்ற இணை தட்டுகளிடையே உருவாகும் மின்புலத்திற்கான கோவையை தருவி. தட்டுகளிடையேயான தொலைவு d என்க.

தீர்வு

படத்தில் காட்டியுள்ளபடி இரு முடிவிலா சமதள இணைத்தட்டைக் கருதுக. முதலில் +σ மற்றும் -σ என்ற மின்னூட்ட அடர்த்தி கொண்ட இரு தட்டுகளுக்கு இடைப்பட்ட எங்காவது ஒரு பகுதியில் P என்ற புள்ளியை கருதுக.



P புள்ளி வழியாக S குறுக்குவெட்டு பரப்பு கொண்ட செங்குத்து உருளையை வரையலாம். அதன் ஒரு முனை கடத்தி தட்டில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது எனில் காஸ் விதிப்படி (முடிவில்லாத அட்டை நேர்வில் உள்ளபடி)

$$\int_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad (\varepsilon_0 \text{ –வெற்றிட விடுதிறன்})$$

எடுத்துக்காட்டு 1.16

அல்லது, $ES = \frac{\sigma S}{\varepsilon_0}$

இதன்படி $E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$

எனவே இரு தட்டுகளுக்கு இடைப்பட்ட மின்புலம் சீரானது. மேலும் தட்டுகளுக்கு இடையேயான தொலைவு பொருத்து மாறாது. ஆனால் காஸ் விதியின்படி தட்டுகளுக்கு வெளிப்புறம் உள்ள எந்த ஒரு புள்ளியிலும் மின்புலமானது சுழியாகும் (எந்த ஒரு மின்னூட்டமும் சூழப்படாத நிலையில்).

1.12 காஸ் விதியிலிருந்து கூலும் விதி

நிலைமின்னியலில், கூலும் விதியும் காஸ் விதியும் ஒன்றோடொன்று தொடர்புடையதால், ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றை தருவிக்கலாம். காஸ் விதியிலிருந்து கூலும் விதியை வருவிக்க நிலைமின்னியல் புலத்தில் r தொலைவிற்கு பிரித்து வைக்கப்பட்ட q_1 மற்றும் q_2 என்ற இரு புள்ளி மின்னூட்டத்தை கருதுக. q_1 மின்னூட்டத்தால் உருவாகும் E மின்புலச்செறிவைக் கணக்கிட q_1ஐ சுற்றி r ஆரத்திற்கு காஸ் கோளப்பரப்பை வரைக. அதன் நடுப்புள்ளி O ஆகும் (படம் 1.13). காஸ் தேற்றத்தின்படி கோளத்தின் மூலமான பாயமானது,

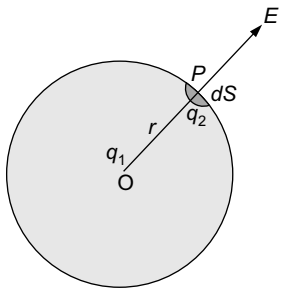
$$\iint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q_1}{\varepsilon_0}$$

சமச்சீரின் படி, கோளத்தின் மேற்பரப்பில் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் மின்புலம் ஆனது அப்புள்ளிக்கு செங்குத்தாகவும் வெளிப்புற வழியாகவும் அமையும். அதே சமயம் மேற்பரப்பில் உள்ள எல்லா புள்ளிகளிலும் அதன் எண் மதிப்பு சமமாகும்.

இதன்படி, $\iint_S \vec{E}.d\vec{S} = \iint_S E.dS = \frac{q_1}{\varepsilon_0}$

அல்லது, $E.4\pi r^2 = \frac{q_1}{\varepsilon_0}$

அல்லது, $E = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$



படம் 1.13: காஸ் விதியிலிருந்து கூலும் விதி

இதன்படி q_1 மின்னூட்டத்தால் உருவாகும் மின்புலத்தால் q_2 புள்ளி மின்னூட்டம் உணரும் விசையானது,

$F = q_2 E = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$, இதுவே கூலும் விதி ஆகும்.

1.13 நிலை மின்னழுத்தம்

மின்புலம் ஒன்றில் மின்னூட்டத்துகள் நகரும்போது, புலமானது அத்துகளின் மீது வேலை செய்யக்கூடிய ஒரு விசையை செலுத்துகிறது. அவ்வேலையானது மின்னழுத்த ஆற்றல் என்று அழைக்கப்படுகிறது. ஆகையால் நிலைமின்னியல் புலத்தில் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் உருவாகும் *நிலை மின்னழுத்தம்* என்பது

வேறு ஒரு புள்ளியிலிருந்து அப்புள்ளிக்கு, மின்புலத்திற்கு எதிராக ஓரலகு மின்னூட்டத்தை கொண்டுவர செய்யப்படும் வேலையாகும். மறுவகையில், எந்த ஒரு புள்ளியிலும் மின்னழுத்தம் என்பது மின் புலத்திற்கு எதிராக ஓரலகு நேர் மின்னோட்டத்தை முடிவிலா தொலைவிலிருந்து அப்புள்ளிக்கு கொண்டுவர செய்யப் படும் வேலையின் அளவாகும். மின்னழுத்தம் என்பது வெளியில் வைக்கப்பட்ட புள்ளி மின்னூட்டத்தின் பண்பே ஆகும். இது மின்னூட்ட மூலத்தை பொருத்தது.

மின்புலத்தில் ஓரலகு சோதனை நேர் மின்னோட்டத்தை (+q) குறிப்பிட்ட புள்ளியிலிருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு நகர்த்துவதாக கருதுவோம். இந்த வெளிப்புற காரணி ஒன்று q மின்னூட்டத்தை $d\vec{r}$ தொலைவிற்கு நகர்த்த செய்யப்பட்ட வேலையானது,

$$dW = -q\vec{E}.d\vec{r}$$

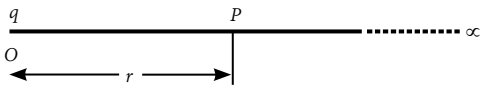
எதிர்க்குறியானது, வேலை வெளிப்புற காரணிகளால் செய்யப்பட்டதைக் குறிக்கிறது. எனவே மின் புலத்தின் தொடக்கப்புள்ளி i யிலிருந்து முடிவுப் புள்ளி f க்கு q மின்னூட்டத்தை நகர்த்த செய்யப்பட்ட வேலை,

$$W = -q\int_{i}^{f} \vec{E}.d\vec{r}$$

இப்போது மின்னழுத்தத்தின் வரையறையின்படி, மின் புலத்திற்கு எதிராக முடிவிலா தொலைவில் தொடக்கப் புள்ளிக்கு ஓரலகு நேர்மின்னூட்டத்தை கொண்டுவர செய்யப்படும் வேலையின் அளவாகும். அதன்படி $i = \infty$ மற்றும் $f = r$ ஆகவும் கொண்டால்,

$$V = -\int_{\infty}^{r} \vec{E}.d\vec{r}$$

$$= -\int_{\infty}^{r} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\, dr$$



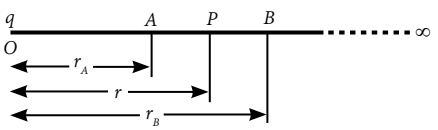
படம் 1.14: மின்புலச்செறிவு

அல்லது,
$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r} \qquad \ldots(1.34)$$

நிலைமின் அழுத்தத்தின் SI அலகு J/C அல்லது வோல்ட் (V) ஆகும்.

1.14 மின்னழுத்த வேறுபாடு

ஒரு கூலும் மின்னழுத்தம் ஆனது (அல்லது கொடுக்கப்பட்ட அளவு மின்னழுத்தம்) கொடுக்கப்பட்ட புள்ளியில் ஒப்பீட்டளவில் அதிக அளவிலான மின்னழுத்த ஆற்றலை கொண்டிருந்தால் அப்புள்ளியை உயர் மின்னழுத்த புள்ளி எனலாம். அதேபோல், ஒப்பீட்டளவில் குறைந்த அளவிலான மின்புலம் ஒன்றில் இரு புள்ளிகளுக்கு (A மற்றும் B) இடைப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாடு என்பது அம்மின்புலத்திற்கு எதிராக ஓரலகு நேர்மின்னூட்டத்தை q கொண்டு வர B புள்ளியிலிருந்து A புள்ளிக்கு கொண்டு வர செய்யப்படும் வேலையின் அளவாகும் (படம் 1.15).



படம் 1.15: மின்னழுத்த வேறுபாடு

எனவே A மற்றும் B க்கு இடைப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாடானது,

$$V_{AB} = \frac{W}{q} = \int_A^B dV = -\int_A^B \vec{E}.d\vec{r}$$

$$V_{AB} = V_A - V_B = -\int_{r_A}^{r_B} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr$$

$$= \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right] \qquad \ldots(1.35)$$

மின்னழுத்த வேறுபாடு J/C அல்லது V இனால் அளவிடப்படும் மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் வரையறையினால் நாம் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x}dx + \frac{\partial V}{\partial y}dy + \frac{\partial V}{\partial z}dz = -\vec{E}.d\vec{l}$$

அல்லது, $$\left(\hat{i}\frac{\partial V}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial V}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial V}{\partial z}\right).\left(\hat{i}dx + \hat{j}dy + \hat{k}dz\right) = -\vec{E}.d\vec{l}$$

அல்லது, $$\vec{\nabla}V.d\vec{l} = -\vec{E}.d\vec{l}$$

இதிலிருந்து நாம் பெறுவது,

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \qquad \ldots(1.36)$$

எனவே, எந்த ஒரு புள்ளியிலும் மின்புலச் செறிவு, மின்னழுத்தத்தின் எதிர்மறை சரிவு ஆகும். எதிர்க் குறியானது மின்புலத்திசை உயர் மின்னழுத்தத்திலிருந்து தாழ்ந்த மின்னழுத்தத்திற்கு செல்வதைக் குறிக்கிறது. மேலும் கீழ்கண்டவற்றையும் இது குறிக்கிறது.

(i) மின்னூட்டத்தை ஒரு புள்ளியில் இருந்து மற்றொரு புள்ளிக்கு நகர்த்துவதால் கிடைக்கும் மின்னழுத்த வேறுபாடு நேர்க்குறியாக இருந்தால், மின்புலத்தை எதிர்த்து வெளிப்புற காரணியால் வேலை செய்யப்படுகிறது. மறுபுறம், மின்னழுத்த வேறுபாடு எதிர்க்குறியாக இருந்தால், மின்புலத்தால் வேலை செய்யப்பட்டுள்ளது.

(ii) நிலைமின்புலத்தில் இரு புள்ளிகளுக்கு இடைப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாடு என்பது அப்புள்ளியின் நிலை ஆயத்தொலைவுகளைச் சார்ந்து அமைகிறது. எனவே இது புள்ளி செயல்பாடாக கருதப் படுகின்றது.

(iii) இரு புள்ளிகளுக்கு இடைப்பட்ட மின்னழுத்த வேறுபாடு பாதையை பொறுத்தது அல்ல.

ஆக மின்னழுத்த வேறுபாடானது, பாதையை பொறுத்தது அல்ல என்று கருதுவோமானால், தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட மூடப்பட்ட பாதையின் மீது $V_{AB} = - V_{BA}$. அதாவது,

$$V_{BA} + V_{AB} = \oint_c \vec{E}.d\vec{r} = 0 \qquad \ldots(1.37)$$

ஸ்டோக்ஸ் தேற்றத்தின்படி கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\oint_c \vec{E}.d\vec{r} = \iint_S \vec{\nabla}\times\vec{E}.d\vec{S} = 0 \qquad \ldots(1.38)$$

இதைத்தொடர்ந்து நிலைமின் புலத்திற்காக,

$$\vec{\nabla}\times\vec{E} = 0 \qquad \ldots(1.39)$$

மீண்டும் $\vec{\nabla}\times\vec{A} = 0$ என்ற நிலையை பூர்த்தி செய்யும் எந்த ஒரு வெக்டர் புலமும் $\vec{A}$ சுழற்சியற்ற புலம் ஆகும். ஆகவே நிலைமின்புலமும் சுழற்சியற்றதாகும்.

1.15 மின்னழுத்த கணக்கீடுகள்

1.15.1 ஒரு புள்ளி மின்னூட்டத்திற்கு

படம் 1.15 ல் காட்டியபடி, இரு புள்ளிகள் A மற்றும் B யை கருதுக. மின்னழுத்தம் q ஆனது B யிலிருந்து A க்கு இடப்பெயர்வு அடைந்தால், அப்புள்ளிகளுக்கு இடையேயான மின்னழுத்த வேறுபாட்டின் கோவையை கீழ்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$V_{AB} = -\int_A^B \vec{E}.d\vec{r} = -\int_{r_A}^{r_B} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\,dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right] = V_A - V_B$$

பொதுவாக முடிவிலா தொலைவின் மின்னழுத்தம் சுழியாக கருதலாம். எனவே மின்னூட்டத்தால் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் மின்னழுத்தம் என்பது அம்மின்னோட்டத்தை முடிவிலா தொலைவிலிருந்து அப்புள்ளிக்கு கொண்டுவர செய்யப்படும் வேலையின் அளவாகும்.

எனவே, மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் $r_A = r$ மற்றும் $r_B = 0$ என்பதை பயன்படுத்தி,

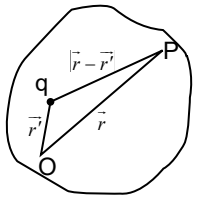
$$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$$

இது தேர்ந்தெடுக்கப்பட்ட ஆதிப்புள்ளி O வில் இருந்து r தொலைவில் உள்ள q மின்னூட்டத்தால் பெறப்படும் மின் அழுத்தம் ஆகும். மாற்றாக, மின்னழுத்தத்தை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$V = -\int_\infty^r \vec{E}.d\vec{r} \qquad \ldots(1.40)$$

புள்ளி மின்னூட்டம் ஆனது ஆதி புள்ளி O வில் இல்லாமல் (படம் 1.16) வேறு ஒரு புள்ளி எனில் P புள்ளியில் மின்னழுத்தத்தை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்,

$$V(r) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{1}{\left|\vec{r}-\vec{r'}\right|} \qquad \ldots(1.41)$$



படம் 1.16: ஆதியில் இல்லா மின்னூட்டத்தின் மின்னழுத்தம்

1.15.2 பகிரப்பட்ட மின்னூட்டங்கள்

இதுவரையிலும் புள்ளி மின்னூட்டத்தால் உண்டான மின்னழுத்தத்தை பற்றி விவாதித்தோம். இப்போது $\vec{r_1}, \vec{r_2}, \vec{r_3}, \ldots, \vec{r_n}$ என்ற இடங்களில் அமைந்துள்ள புள்ளி மின்னூட்டங்கள் முறையே $q_1, q_2, q_3, \ldots, q_n$ எனில் $\vec{r}$ தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் மின்னழுத்தமானது,

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1}{\left|\vec{r}-\vec{r}_1\right|} + \frac{q_2}{\left|\vec{r}-\vec{r}_2\right|} + ... + \frac{q_n}{\left|\vec{r}-\vec{r}_n\right|}\right]$$

அல்லது, $$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_{i=n}^{n}\frac{q_i}{\left|\vec{r}-\vec{r}_n\right|} \qquad ...(1.42)$$

தொடர்ச்சியான மின்னூட்ட பரவலுக்காக, நேரியல், மேற்பரப்பு அல்லது கன மின்னூட்ட பரவல் முறையே, λdl, σdS மற்றும் ρdV மின்னூட்ட பகுதிகளால் புள்ளி மின்னூட்டம் மாற்றப்படுகிறது நேர்கோட்டு மின்னூட்டத்திற்காக,

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\lambda dl'}{\left|\vec{r}-\vec{r}_n\right|} \qquad ...(1.43)$$

மேற்பரப்பு மின்னூட்டத்திற்காக,

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\sigma dS'}{\left|\vec{r}-\vec{r}_n\right|} \qquad ...(1.44)$$

மற்றும் கன மின்னூட்டத்திற்காக,

$$V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\rho dV'}{\left|\vec{r}-\vec{r}_n\right|} \qquad ...(1.45)$$

for more on Electric Potential

மேற்கண்ட கோவைகளின் முதன்மை ஆயத்தொலைவுகளாக மூல ஆயத்தொலைவுகளான நேரியல் மின்னூட்ட பகிர்வு $\lambda(\vec{r'})$, மேற்பரப்பு மின்னூட்ட பகிர்வு $\sigma(\vec{r'})$ மற்றும் கன மின்னூட்ட பகிர்வு $\rho(\vec{r'})$ ஆகியவை குறிப்பிடப்படுகின்றன. முதன்மை இல்லாத ஆயத்தொலைவுகளாக புல ஆயத்தொலைவுகள் குறிப்பிடப்படுகின்றன.

1.16 மின்புலச் செறிவிற்கும் மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

ஒரு புள்ளியில் மின்புலச் செறிவிற்கும் மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள தொடர்பினை அறிய ஆதி புள்ளி O விலிருந்து r தொலைவிலுள்ள +q மின்னூட்டத்தால் விளையும் மின்புலத்தின் கோவையிலிருந்து துவங்கலாம்.

$$\vec{E}(r) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}\hat{r} = \frac{q\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

இப்போது, $$\vec{\nabla}\left(\frac{1}{r}\right) = \vec{\nabla}\left(x^2+y^2+z^2\right)^{-1/2}$$

அல்லது, $$\vec{\nabla}\left(\frac{1}{r}\right) = \hat{i}\frac{\partial}{\partial x}\left(x^2+y^2+z^2\right)^{-1/2} + \hat{j}\frac{\partial}{\partial y}\left(x^2+y^2+z^2\right)^{-1/2} + \hat{k}\frac{\partial}{\partial z}\left(x^2+y^2+z^2\right)^{-1/2}$$

$$= -\frac{\hat{i}x + \hat{j}y + \hat{k}z}{\left(x^2 + y^2 + z^2\right)^{3/2}} = -\frac{\vec{r}}{r^3}$$

$$\therefore \qquad \vec{E}(r) = \frac{q\vec{r}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\vec{\nabla}\left(\frac{1}{r}\right) = -\vec{\nabla}\left(\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}\right) = -\vec{\nabla}V$$

இதன்படி, $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$

மேற்கண்ட சமன்பாடும் மின்புலச் செறிவிற்கும் மின்னழுத்த ஆற்றலுக்கும் இடைப்பட்ட தொடர்புக்காக பெறப்பட்ட சமன். (1.36) ம் ஒன்றாக உள்ளது. எதிர் குறியானது மின்புலம் E யின் திசை மின்னழுத்தத்தின் V சரிவு திசை வழியாக செல்வதை குறிக்கிறது.

எடுத்துக்காட்டு 1.17

எடுத்துக்காட்டு 1.17: மின்புலத்தின் மின்னழுத்தம் ஆனது $V(x, y, z) = (2x^2 + 2y^2 + 3z^2)^{-\frac{1}{2}}$ ஆக கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. (1, 1, –1) ல் மின்புலச் செறிவைக் காண்க.

தீர்வு:

இங்கு $V(x, y, z) = (2x^2 + 2y^2 + 3z^2)^{-\frac{1}{2}}$

எனவே தேவையான மின்புலச் செறிவானது,

$$\vec{E} = \vec{\nabla}.V = \frac{\partial V}{\partial x}\hat{i} + \frac{\partial V}{\partial y}\hat{j} + \frac{\partial V}{\partial z}\hat{k}$$

அல்லது $\vec{E} = \hat{i}\frac{\partial}{\partial x}\left\{(2x^2 + 2y^2 + 3z^2)^{-\frac{1}{2}}\right\} + \hat{j}\frac{\partial}{\partial y}\left\{(2x^2 + 2y^2 + 3z^2)^{-\frac{1}{2}}\right\}$

$$+\hat{k}\frac{\partial}{\partial z}\left\{(2x^2 + 2y^2 + 3z^2)^{-\frac{1}{2}}\right\}$$

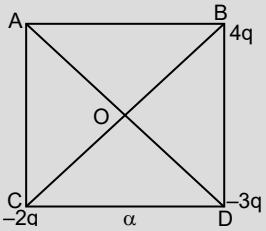
$$= -(2x^2 + 2y^2 + 3z^2)^{-\frac{3}{2}}\left(2x\hat{i} + 2y\hat{j} + 3z\hat{k}\right)$$

எனவே (1, 1, –1) புள்ளியில் மின்புலம் $\vec{E}\Big|_{(1,1,-1)} = -(2 + 2 + 3)^{-\frac{3}{2}}\left(2\hat{i} + 2\hat{j} - 3z\hat{k}\right).$

எடுத்துக்காட்டு 1.18: q, 4q, -3q மற்றும் 2q ஆகிய மின்னூட்டங்கள், 1m பக்க அளவு கொண்ட சதுரத்தின் நான்கு மூலைகளில் வைக்கப்பட்டிருந்தால் சதுரத்தின் நடுப்புள்ளியில் மின்னழுத்தத்தை காண்க. (கொடுக்கப்பட்டவை q = 1 nC).

தீர்வு:

படத்தில் காட்டியபடி ஒவ்வொரு பக்கமும் (a) 1 m நீளமுள்ளது.



இப்போது, $AO = BO = CD = DO = \frac{a}{\sqrt{2}} = x$ (say)

நடுப்புள்ளி O வில் மின்னழுத்தமானது,

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q}{x} + \frac{4q}{x} - \frac{3q}{x} - \frac{2q}{x}\right] = 0.$$

எடுத்துக்காட்டு 1.18

எடுத்துக்காட்டு 1.19: வெளி மின்புலம் எப்போதும் X அச்சு வழியே அமைந்துள்ளது எனில், (i) மின்னழுத்தமானது Y&Z ஆயத்தொலைவைச் சார்ந்ததல்ல மற்றும் (ii) மின்புலம் மாறிலி எனில் அதில் கட்டுறா மின்னூட்டங்கள் இல்லை என்பதை நிரூபி.

தீர்வு:

(i) கொடுக்கப்பட்ட விதிமுறையின்படி மின்புலம் $\vec{E} = E\hat{i}$

மீண்டும் $\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$ இங்கு φ என்பது மின்னழுத்தம்.

எனவே, $E\hat{i} = -\hat{i}\frac{\partial\varphi}{\partial x} - \hat{j}\frac{\partial\varphi}{\partial x} - \hat{k}\frac{\partial\varphi}{\partial x}$

அலகு வெக்டர்களின் கெழுக்களை ஒப்பிட்டு,

$E = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}$ மற்றும் $\frac{\partial\varphi}{\partial y} = \frac{\partial\varphi}{\partial z} = 0$

y & z அச்சில் எந்த ஒரு மாற்றமும் இல்லாததால், மின்னழுத்தம் y & z ஆயதொலைவுகளை சார்ந்தது அல்ல எனலாம்.

(ii) மின்புலம் E மாறிலி எனில்

X–ஐ பொருத்து வகைக்கெழுப்படுத்தினால் $\frac{\partial^2\varphi}{\partial x^2} = -\frac{\partial E}{\partial x} = 0$

மேலும் $\frac{\partial^2\varphi}{\partial y^2} = \frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2} = 0$

எனவே மொத்தத்தில் நாம் $\nabla^2\varphi = 0$ என எழுதலாம். இது லாப்லாஸ் சமன்பாடு ஆகும். மேலும் இது மின்னூட்டங்களற்ற பகுதிகளுக்கு நன்கு பொருந்தக்கூடிய சமன்பாடு ஆகும். இதிலிருந்து கொடுக்கப்பட்ட பகுதி மின்னூட்டம் அற்ற பகுதி என்பது புலனாகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 1.19

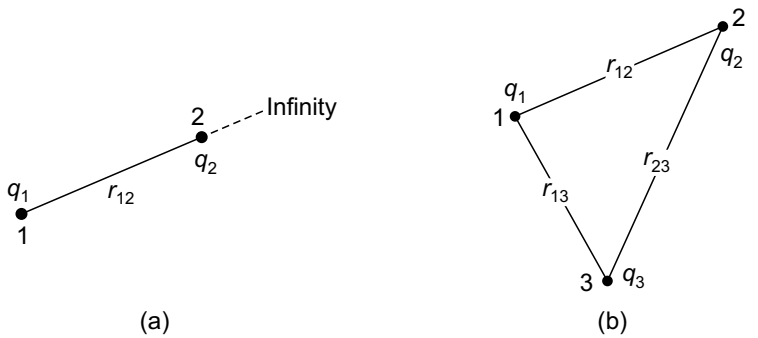
1.17 நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல்

புவியீர்ப்பு புலத்தில் வைக்கப்பட்ட நிறை உணரும் விசையை போன்றே ஒரு மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்னூட்டமும் ஒரு குறிப்பிட்ட விசையை உணரும். புவியீர்ப்பு புலத்தில் அந்த நிறை கொண்டுள்ள நிலை ஆற்றலை போன்றே மின்னூட்டமும் மின்புலத்தில் ஒரு மின்னழுத்த ஆற்றலை கொண்டிருக்கும். புள்ளி மின்னூட்டங்கள் உள்ள ஒரு அமைப்பின் மின்னழுத்த ஆற்றல் என்பது ஓர் அலகு சோதனை நேர் மின்னோட்டத்தை முடிவிலா தொலைவில் இருந்து குறிப்பிட்ட புள்ளிக்கு கொண்டுவர செய்யப்படும் வேலையின் அளவாகும். படம் 1.17 (a) வில் காட்டியுள்ளபடி r_{12} தொலைவிற்கு பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள q_1 மற்றும் q_2 ஆகிய இரு மின்னூட்டங்களை கருதலாம்.

இப்போது q_1 ஆல் உண்டான மின்புலத்தை எதிர்த்து q_2 மின்னூட்டத்தை முடிவிலா தொலைவி லிருந்து அமைப்பினுள் உள்ள புள்ளிக்கு கொண்டுவர செய்யப்பட்ட வேலையானது,

$$W = -q_2 \int_{\infty}^{r_{12}} \vec{E}.d\vec{r} = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0} \int_{\infty}^{r_{12}} \frac{dr}{r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_{12}} \qquad \ldots(1.46)$$

செய்யப்பட்ட வேலையே இரு மின்னூட்ட அமைப்பில் மின்னழுத்த ஆற்றலாக U சேமித்து வைக்கப் படுகிறது.



படம் 1.17: (a) இரு மின்னூட்டமைப்பு மற்றும் (b) மும்மின்னூட்டமைப்பின் மின்னழுத்த ஆற்றல்

இதன்படி, $$U = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_{12}} \qquad \ldots(1.47)\ (a)$$

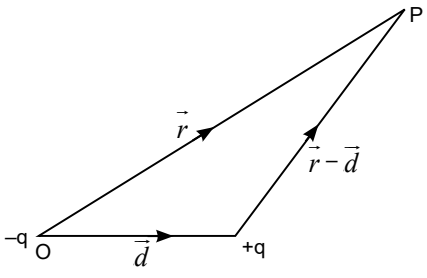
இதுபோல் படம் 1.17 (b) இல் காட்டியுள்ளபடி மூன்று மின்னூட்டங்கள் கொண்ட அமைப்பில் அதன் இடங்களைப் பொருத்து மின்னழுத்த ஆற்றல்,

$$U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1 q_2}{r_{12}} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + \frac{q_2 q_3}{r_{23}}\right] \qquad \ldots(1.47)\ (b)$$

1.18 மின் இருமுனை

இரு சமமான மற்றும் எதிரெதிர் புள்ளி மின்னூட்டங்கள் சிறிய தொலைவில் பிரித்து வைக்கப்பட்டிருக்குமானால் அவை *மின் இருமுனையை* உருவாக்கும்.

மின் இருமுனையின் திருப்புத் திறன் என்பது ஏதாவது ஒரு மின்னூட்டத்தின் எண்மதிப்பிற்கும் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள தொலைவிற்கும் உள்ள பெருக்குத்



படம் 1.18: மின்இருமுனை

தொகை ஆகும். இது ஒரு வெக்டர் அளவாகும். எப்போதும் இதன் திசை எதிர் மின்னூட்டத்திலிருந்து நேர் மின்னூட்டத்தை நோக்கியே இருக்கும்.

$\vec{d}$ தொலைவில் பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள +q மற்றும் -q மின்னூட்டங்களை கருதுக.

குறிக்கும் புள்ளியில் மின்னழுத்தத்தை அளவிட, எளிமைப்படுத்த வேண்டி *-q* மின்னூட்டம், ஆதிப்புள்ளியில் உள்ளதாகவும் குறிக்கும்புள்ளி *P* ஆதிப்புள்ளி *O* விலிருந்து $\vec{r}$ தொலைவுக்கு உள்ளதாகவும் கருதுக (படம் 1.18). இப்போது, மின்னூட்டங்கள் +q மற்றும் -q வினால் மொத்த இருமுனை P புள்ளியின் மின்னழுத்தமானது,

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{\sqrt{r^2 + d^2 - 2\vec{r}.\vec{d}}} - \frac{1}{r}\right]$$

இப்போது படம் 1.18 லிருந்து,

$$\sqrt{r^2 + d^2 - 2\vec{r}.\vec{d}} = \frac{1}{r}\left[1 - \frac{2\vec{r}.\vec{d}}{r^2} + \frac{d^2}{r^2}\right]^{-\frac{1}{2}} \simeq \frac{1}{r}\left[1 - \frac{2\vec{r}.\vec{d}}{r^2}\right]^{-\frac{1}{2}} \simeq \frac{1}{r}\left[1 + \frac{\vec{r}.\vec{d}}{r^2}\right]$$

எனவே, $$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r} + \frac{\vec{r}.\vec{d}}{r^3} - \frac{1}{r}\right] = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\vec{r}.\vec{d}}{r^3} = \frac{\vec{r}.q\vec{d}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} = \frac{\vec{r}.\vec{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

இங்கு, $$\vec{p} = q\vec{d}$$

என்பது மின் இருமுனை மற்றும் அதன் மின்னழுத்தமானது,

$$\varphi = \frac{\vec{r}.\vec{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^3} = -\frac{\vec{p}.\vec{\nabla}\left(\frac{1}{r}\right)}{4\pi\varepsilon_0} \qquad \ldots(1.48)$$

இதன்படி மின்புலச்செறிவானது,

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi = -\vec{\nabla}\left(\frac{\vec{r}.\vec{p}}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\right) = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\vec{\nabla}\left(\frac{\vec{r}.\vec{p}}{r^3}\right)$$

இப்போது, $$\vec{\nabla}\left(\frac{\vec{r}.\vec{p}}{r^3}\right) = \frac{1}{r^3}\vec{\nabla}\left(\vec{r}.\vec{p}\right) + \left(\vec{r}.\vec{p}\right)\vec{\nabla}\left(\frac{1}{r^3}\right)$$

மீண்டும், $$\vec{\nabla}\left(\vec{r}.\vec{p}\right) = \left[\hat{i}\frac{\partial}{\partial x} + \hat{j}\frac{\partial}{\partial y} + \hat{k}\frac{\partial}{\partial z}\right]\left(xp_x + yp_y + zp_z\right)$$

$$= \hat{i}p_x + \hat{j}p_y + \hat{k}p_z = \vec{p}$$

மேலும், $\vec{\nabla}\left(\frac{1}{r^3}\right) = -\frac{3\vec{r}}{r^5}$

ஆகையால், $\vec{E} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r^3}\vec{\nabla}\left(\vec{r}.\vec{p}\right) + \left(\vec{r}.\vec{p}\right)\vec{\nabla}\left(\frac{1}{r^3}\right)\right]$

$$= -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{\vec{p}}{r^3} - \vec{r}.\vec{p}\,\frac{3\vec{r}}{r^5}\right]$$

அல்லது, $\vec{E} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left[\vec{p} - \frac{\left(\vec{p}.\vec{r}\right)\vec{r}}{r^2}\right] = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left[\vec{d} - \frac{\left(\vec{d}.\vec{r}\right)\vec{r}}{r^2}\right]$ …(1.49)

1.19 பாய்சன் மற்றும் லாப்லாசின் சமன்பாடுகள்

சமன். (1.26) இல் காஸ் விதியையும் சமன். (1.36) இல் ஸ்கேலார் மின்னழுத்த சமன்பாட்டையும் ஸ்கேலார் மின்னழுத்தத்திற்காக பகுதி வகைக்கெழுச் சமன்பாடாக ஒன்று சேர்க்கலாம்.

பாய்சன் சமன்பாடு: காஸ் விதியின் வகைக்கெழு வடிவம், $\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$ இங்கு ρ என்பது கன மின்னூட்ட அடர்த்தி. மீண்டும் மின்னழுத்தத்துடன் தொடர்புடைய மின்புலமானது, $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$

$$\vec{\nabla}.\left(-\vec{\nabla}V\right) = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

அல்லது, $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ …(1.50) (a)

இதுவே நிலை மின்னியலில் பாய்சான் சமன்பாடு ஆகும்.

லாப்லாசின் சமன்பாடு: மின்னூட்டமற்ற பகுதியில் மின்னூட்ட அடர்த்தியானது ρ பூஜ்ஜியம். எனவே பாய்சான் சமன்பாட்டின் படி, $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$

மேலும், $\nabla^2 V = 0$ …(1.50) (b)

இதுவே, லாப்லாசின் சமன்பாடு ஆகும். இந்தச் சமன்பாட்டை தொகைக் கெழுப்படுத்தினால் V = மாறிலி ஆகும். எனவே, எந்த ஒரு சம மின்னழுத்தப் பரப்பும் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை பூர்த்தி செய்யும் எனக் கருதலாம்.

எடுத்துக்காட்டு 1.20

எடுத்துக்காட்டு 1.20: மின்னழுத்த சார்பு $V = V_0\left(x^2 - 2y^2 + z^2\right)$ லாப்லாசின் சமன்பாட்டை பூர்த்தி செய்கிறதா என்பதை நிரூபி (V_0 என்பது மாறிலி).

தீர்வு:

மின்னழுத்த சார்பானது $V = V_0\left(x^2 - 2y^2 + z^2\right)$

இனி $$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = V_0(2 - 4 + 2) = 0.$$

எனவே, V லாப்லாசின் சமன்பாட்டை பூர்த்தி செய்கிறது,

எடுத்துக்காட்டு 1.21

எடுத்துக்காட்டு 1.21: $V = 2x^2 + 7y - 2z^2$ என்ற சார்பு மின்னூட்டமற்ற பகுதியில் உள்ள மின்னழுத்த சார்பைக் குறிக்கிறது என்பதை காண்பி.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தம் $V = 2x^2 + 7y - 2z^2$

எனவே, $$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 4 + 0 - 4 = 0$$

இக்கோவையானது, லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை பூர்த்தி செய்வதால், மின்னூட்ட அடர்த்தி $\rho = 0$ என்பது உறுதியாகிறது.

ஆகையால், இது மின்னூட்டமற்ற வெளி ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 1.22

எடுத்துக்காட்டு 1.22: $\varphi = \alpha - \beta\left(x^2 + y^2\right) - \gamma \ln\sqrt{x^2 + y^2}$ என்பது வெற்றிட வெளியில் உள்ள நிலை மின்னழுத்தமாகும். இங்கு α, β மற்றும் γ ஆகியவை மாறிலிகள். அவ்வெளியில் மின்னூட்ட அடர்த்தியை காண்க.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்ட φ கோவையிலிருந்து

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} = -2\beta x - \frac{\gamma}{\sqrt{x^2 + y^2}} \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}} = -2\beta x - \frac{\gamma x}{x^2 + y^2}$$

அல்லது, $$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} = -2\beta - \frac{\gamma\left[x^2 + y^2 - x \times 2x\right]}{x^2 + y^2} = -2\beta - \gamma \frac{y^2 - x^2}{x^2 + y^2}$$

எடுத்துக்காட்டு 1.22

அதுபோல், $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -2\beta - \gamma \frac{x^2 - y^2}{x^2 + y^2}$

மீண்டும், $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0$

எனவே, $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -4\beta$

அல்லது, $\nabla^2 \varphi = -4\beta$

மேலே கொடுக்கப்பட்டுள்ள சமன்பாட்டை பாய்சான் சமன்பாட்டுடன் ஒப்பிட $\nabla^2 \varphi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$

$$\frac{\rho}{\varepsilon_0} = 4\beta$$

அல்லது, $\rho = 4\beta\varepsilon_0$

இதுவே அவ்வெளியில் மின்னூட்ட அடர்த்தி ஆகும்.

1.19.1 லாப்லாஸ் இயக்கி

கார்டீசியன் ஆயத்தொலைவு (x, y, z) அமைப்பில் நாம் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \qquad \ldots(1.51)$$

கோள துருவ (r, θ, φ) ஆயத்தொலைவில் நாம் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\nabla^2 = \frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \frac{\partial}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2 \sin\theta}\frac{\partial}{\partial \theta}\left(\sin\theta \frac{\partial}{\partial \theta}\right) + \frac{1}{r^2 \sin\theta}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \qquad \ldots(1.52)$$

உருளை வடிவ (ρ, φ, z) ஆயத்தொலைவில் நாம் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\nabla^2 = \frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial \rho}\left(\rho \frac{\partial}{\partial \rho}\right) + \frac{1}{\rho^2}\frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \qquad \ldots(1.53)$$

1.20 தனித்துவ தேற்றம்

அறிக்கை: ஒரே எல்லை நிபந்தனைகளுக்கு கட்டுப்பட்டு லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் இரு தீர்வுகள் ஒரு மாறிலியால் வேறுபாடு அடைகின்றன.

நிரூபணம்: மேற்பரப்பு S க்கு வெளிப்புறம் Vல் உள்ள ϕ_1 மற்றும் ϕ_2 ஆகிய லாப்லாசின் இரு தீர்வுகளைக் கருதுக. ϕ_1 மற்றும் ϕ_2 ஆகியன $S_1, S_2, \ldots, S_n$ பல்வேறு மேற்பரப்புகளின் மீது எல்லை நிபந்தனைகளை பூர்த்தி செய்கிறது. எல்லை நிபந்தனைகள் ϕ மின்னழுத்தத்தை குறிக்கின்ற ட்ரிக்லேட் கட்டுப்பாட்டையோ அல்லது ϕ வழித்தோன்றல்களை $\frac{\partial \phi}{\partial n}$ குறிக்கின்ற நியூமன் கட்டுப்பாட்டையோ உள்ளடக்கியதாக இருக்கும்.

$\phi = \phi_1 - \phi_2$ என்க.

மற்றும் மேலும் $\nabla^2\phi = \nabla^2\phi_1 - \nabla^2\phi_2 = 0$ என்க.

லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை பூர்த்தி செய்யும் ϕ_1 மற்றும் ϕ_2 ட்ரிக்லேட் கட்டுப்பாட்டையும் பூர்த்தி செய்தால் $\phi_1 = \phi_2$ ஆக இருக்கவேண்டும். அதாவது எல்லை மேற்பரப்பில் $\phi = 0$ ஆகும்.

மறுபுறம் நியூமன் கட்டுப்பாடு எல்லை மேற்பரப்பின் மீது $\frac{\partial\phi_1}{\partial n} = \frac{\partial\phi_2}{\partial n}$ ஐ பூர்த்தி செய்கின்றன.

ஆகையால் $\frac{\partial\phi}{\partial n}$ அல்லது $\hat{n}.\vec{\nabla}\phi$ எல்லையில் மறைந்துவிடக் கூடியது. $\hat{n}$ என்பது கொடுக்கப்பட்ட மேற்பரப்புக்கு வெளிப்புறமாக செயல்படும் ஒரு அலகு வெக்டர்.

வெக்டர் $\phi\vec{\nabla}\phi$ க்கு வெக்டர் பகுப்பாய்வில் உள்ள காஸ் மாற்று தேற்றத்தை பயன்படுத்தி,

$$\int_V \vec{\nabla}.(\phi\vec{\nabla}\phi)dV = \int_{S+S_1+S_2+....S_n} \phi\vec{\nabla}\phi.\hat{n}dS$$

எல்லையின் மீது $\phi = 0$ என்பதால் (நியூமன் நிபந்தனைகள்) சமன்பாட்டின் வலது புறம் மறைந்துவிடும். வெக்டர் அடையாளத்தின் படி,

$$\vec{\nabla}.(\phi\vec{\nabla}\phi) = \phi\nabla^2\phi + \left|\vec{\nabla}\phi\right|^2$$

மேலும், V பகுதியில் $\nabla^2\phi = 0$

எனவே, $\vec{\nabla}.(\phi\vec{\nabla}\phi) = \left|\vec{\nabla}\phi\right|^2$

ஆகையால் சமன்பாடு தருவது, $\int_V \left|\vec{\nabla}\phi\right|^2 dV = 0$

இப்போது $\left|\vec{\nabla}\phi\right|^2$, முழுமையான சதுரமாக இருப்பதால் முழுவதும் நேர்க்குறி அல்லது பூஜ்ஜிய மதிப்பு அடையும். ஆனால் தொகைக்கெழு மறைந்து விடுவதால், V இன் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் $\vec{\nabla}\phi$ சுழியாக வேண்டும். எனவே, $\phi = \phi_1 - \phi_2 = c$, இங்கு c என்பது மாறிலி அதாவது Vயின் ஒவ்வொரு புள்ளியிலும் சார்பு ϕ ஒரே மதிப்பைக் கொண்டிருக்கும்

ட்ரிக்லேட் நிபந்தனையில் இருந்து V முழுவதும் $\phi = 0$ அல்லது $\phi_1 = \phi_2$, இதிலிருந்து $C = 0$ என்பதை அறியலாம்.

நியூமன் நிபந்தனையில் இருந்து அனைத்து புள்ளிகளுக்கும் $\vec{\nabla}\phi.\hat{n} = 0$ மற்றும் $\vec{\nabla}\phi = 0$. எனவே ϕ ஒரு மாறிலி என்பதே ஒரே வாய்ப்பாக இருக்கும். இதுவே தனித்துவ தேற்றத்தின் நிரூபணமாகும்.

1.21 கார்ட்டீசியன் ஆயத் தொலைவில் லாப்லாஸ் சமன்பாடு

கார்ட்டீசியன் ஆயத் தொலைவில் லாப்லாசின் சமன்பாட்டை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \qquad \ldots(1.54)$$

$V(x, y, z) = X(x)\, Y(y)\, Z(z)$ எனக் கொள்ளலாம். …(1.55)

இங்கு $X(x), Y(y)$ மற்றும் $Z(z)$ ஆகியவை x, y மற்றும் z இன் சார்புகளாகும். சமன். (1.55) ஐ பயன்படுத்தி சமன். (1.54) இலிருந்து,

$$Y(y)Z(z)\frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} + Z(z)X(x)\frac{\partial^2 Y(y)}{\partial y^2} + X(x)Y(y)\frac{\partial^2 Z(z)}{\partial z^2} = 0$$

$X(x)\, Y(y)\, Z(z)$ னால் முழுவதுமாக வகுத்தால்,

$$\frac{1}{X(x)}\frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} + \frac{1}{Y(y)}\frac{\partial^2 Y(y)}{\partial y^2} + \frac{1}{Z(z)}\frac{\partial^2 Z(z)}{\partial z^2} = 0$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் அனைத்து உறுப்புகளும் ஒரே ஒரு ஆயத்தொலைவு மாறிலியின் சார்புகளாகும். எனவே அவைகளை தனித்தனியாக பூஜ்ஜியத்துடன் சமன்செய்து மாற்றியமைக்கலாம்.

$$\frac{\partial^2 X(x)}{\partial x^2} + k_x^2 X(x) = 0 \qquad \ldots(1.56)\ (a)$$

$$\frac{\partial^2 Y(y)}{\partial y^2} + k_y^2 Y(y) = 0 \qquad \ldots(1.56)\ (b)$$

$$\frac{\partial^2 Z(z)}{\partial z^2} + k_z^2 Z(z) = 0 \qquad \ldots(1.56)\ (c)$$

இங்கு k_x, k_y மற்றும் k_z ஆகியவை மாறிலிகள்

$$k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = 0 \qquad \ldots(1.57)$$

அனைத்து இரண்டாம்படி வகைக்கெழு சமன்பாடுகளும் (1.56) ஒத்த வடிவம் கொண்டவை.

சமன். (1.56) (a) காக தீர்வு காணலாம். k_x மதிப்பை பொறுத்து நாம் பல தீர்வுகளை பெறலாம்.

எனில் $k_x = 0;\ X(x) = Ax + B$ …(1.58)

எனில் $k_x = k;\ X(x) = A\sin kx + B\cos kx = Ce^{ikx} + De^{-ikx}$ …(1.59)

மற்றும் எனில் $k_x = ik;\ X(x) = A\sinh kx + B\cosh kx = Ce^{kx} + De^{-kx}$ …(1.60)

இங்கு A, B, C மற்றும் D மற்றும் ஆகியவை மாறிலிகள் மற்றும் எல்லை நிபந்தனைகளுக்கு உட்பட்டு அவைகளை கண்டறியலாம் அதேபோல் மற்ற இரு வகைக்கெழு சமன்பாடுகளுக்கும் தீர்வை காணலாம். கணக்கீட்டின் இயல்பை பொறுத்து $X(x)$, $Y(y)$ மற்றும் $Z(z)$ க்கான குறிப்பிட்ட தீர்வுகளை தேர்ந்தெடுக்கலாம்.

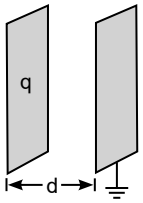
1.22 லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் பயன்பாடு

இச்சமன்பாடுகள், குறிப்பிட்ட எல்லைகளில், தெரிந்த நிலை மின்னழுத்த மதிப்புகளை கொண்டு எண்ணற்ற நிலை மின்னியல் செயல்முறை கணக்குகளுக்கு தீர்வு காண்பதில் முக்கிய பங்காற்றுகின்றன. மேலும், எல்லை மதிப்புகளை பயன்படுத்தி முழுவதுமான கனத்திற்கும் நிலை மின்புலம் மற்றும் மின்னழுத்தத்திற்கான தீர்வுகளை காணலாம். இப்பயன்பாட்டினை கீழ்வரும் கணக்குகளை தீர்ப்பதில் பயன்படுத்தலாம்.

1.22.1 இணைத்தட்டு மின்தேக்கி

Z–அச்சு வழியாக z = 0 மற்றும் z = d என்ற நிலைகளில் உள்ள இணைத்தட்டு மின்தேக்கியைக் கருதலாம். மேல்தட்டில் V_1 மின் அழுத்தமும் கீழ்த்தட்டு தரையிடப்பட்டும் உள்ளது. தட்டுகள் Z-அச்சில் உள்ளதால் X மற்றும் Y அச்சின் கூறுகள் சுழியாகும். ஆகையால், லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் படி,

$$\frac{d^2V}{dz^2} = 0$$



படம் 1.19: இணை தட்டு மின்தேக்கி

தொகைகெழுப்படுத்த,

$$\frac{dV}{dz} = A$$

மீண்டும் தொகைக்கெழுப்படுத்த,

$$V = Az + B \qquad \ldots(1.61)$$

இங்கு A மற்றும் B ஆகியன தொகைகெழு மாறிலிகள்.

இப்போது z = 0, V = 0. எனவே சமன். (1.61) லிருந்து B = 0

$\therefore \quad V = Az$

மற்றும் $z = d, V = V_1$

$\therefore \quad V_1 = Ad$

அல்லது, $A = \frac{V_1}{d}$

எனவே $V = \frac{V_1 z}{d} \qquad \ldots(1.62)$

மேலும், $\vec{E} = -\hat{z}\frac{\partial V}{\partial z} = -\hat{z}\frac{V_0}{d} \qquad \ldots(1.63)$

ஆகையால், $\rho_s = \varepsilon_0 E = \varepsilon_0 \frac{V_0}{d}$ (ρ_s = மேற்பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தி) $\qquad \ldots(1.64)$

எனவே மின்தேக்கியின் பரப்பினால் மூடப்பட்ட மின்னூட்டமானது,

$$Q = -\varepsilon_0 \frac{V_0 \alpha}{d}$$

மற்றும் மின்தேக்குத்திறனானது,

$$C = \frac{|Q|}{V_0} = \frac{\varepsilon_0 \alpha}{d} \qquad \ldots(1.65)$$

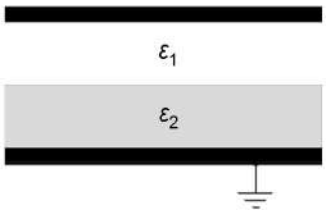
சிறப்பு நேர்வு: தட்டுகளுக்கு இடைப்பட்ட பகுதி இரு மின்காப்பு அடுக்குகளால் நிரம்பியுள்ளது.

X மற்றும் Y அச்சுக்களில் மின்புல வேறுபாடோ கட்டுறா மின்னூட்டங்களோ இல்லை என்க (படம். 1.20). ஒரு மின்வாய் தரையிடப்பட்டும், மற்றொன்று V மின்னழுத்தமும் கொண்டுள்ளது. இரு பகுதிகளுக்கு லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின்படி தீர்வைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$V_1 = A_1 z + B_1 \quad \text{for } z \le a \qquad \ldots(1.66)$$

மற்றும் $$V_2 = A_2 z + B_2 \quad \text{for } a \le z \le d \qquad \ldots(1.67)$$

இப்போது, z = 0 க்கு $V_2 = 0$ மற்றும் z = d க்கு $V_1 = V_0$ என்ற எல்லை நிபந்தனைகளை பயன்படுத்தி கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.



படம் 1.20: இரு மின்காப்பு அடுக்குகளாலான இணைதட்டு மின்தேக்கி

$$V_0 = A_1 d + B_1$$

மற்றும் $$B_2 = 0$$

எனவே, $$V_1 = A_1 (z - d) + V_0$$

மற்றும் $$V_2 = A_2 z$$

இரு தீர்வுகளும் z = a ல் ஒரே மின்னழுத்தத்தை கொடுக்கிறது.

இதன்படி, $$A_1 (a - d) + V_0 = A_2 a \qquad \ldots(1.68)$$

மேலும் மின்காப்பு எல்லை z = a இல் மின்பாய அடர்த்தியின் செங்குத்து கூறு மாறிலியாகும்.

$\vec{D} = -\varepsilon \vec{\nabla} V$, ஐக் குறித்துக் கொள்ள

$$\varepsilon_1 A_1 = \varepsilon_2 A_2 \qquad \ldots(1.69)$$

A_1 மற்றும் A_2 விற்காக சமன். (1.68) மற்றும் சமன். (1.69) தீர்க்க,

$$A_1 = \frac{V_0}{(a-d) + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} a} \text{ மற்றும் } A_2 = \frac{V_0}{(a-d)\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} + a} \qquad \ldots(1.70)$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து A_1 மற்றும் A_2 வைப் பயன்படுத்தி V_1 மற்றும் V_2 வை கண்டறியலாம்.

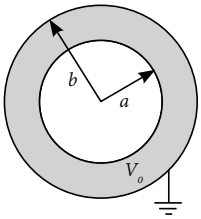
$$V_1 = \frac{V_0 (z-d)}{(a-d) + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} a} + V_0 \qquad \ldots(1.71)$$

மற்றும் $$V_2 = \frac{V_0 z}{(a-d)\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} + a} \qquad \ldots(1.72)$$

1.22.2 கோள வடிவ மின்தேக்கி

படம் 1.21 இல் காட்டியுள்ளபடி உள் ஆரம் a வும் வெளி ஆரம் b யும் கொண்ட கோள வடிவ மின்தேக்கியைக் கருதுக. வெளிப்புற கோளம் தரையிடப்படும் உள்கோளம் V_0 மின்னழுத்தம் கொண்டுள்ளது. மின்னழுத்தமானது ஆர ஆயத்தொலைவு சார்பை கொண்டுள்ளதால், கோள துருவ ஆயத்தொலைவை மட்டும் பயன்படுத்தியும், கணக் கீட்டின் சமச்சீர் தன்மையை கருத்தில் கொண்டும் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை,

$$\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2 \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 0$$



படம் 1.21: கோள வடிவ மின்தேக்கி

தொகை கெழுப்படுத்த, $r^2 \frac{\partial V}{\partial r} = A$

அல்லது, $$\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{A}{r^2}$$

மீண்டும், தொகைகெழுப்படுத்த,

$$V = -\frac{A}{r} + B \qquad \ldots(1.73)$$

இங்கு A மற்றும் B ஆகியவை இரு மாறிலிகள். இப்போது, r = b ல், V = 0

$\therefore$ $$0 = -\frac{A}{b} + B \Rightarrow B = \frac{A}{b}$$

எனவே, $$V = -\frac{A}{r} + \frac{A}{b} = A\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{r}\right) \qquad \ldots(1.74)$$

மீண்டும் r = a ல், $V = V_0$

$$V_0 = A\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a}\right) \Rightarrow A = \frac{V_0}{\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a}\right)}$$

இதன்படி சமன். (1.74) லிருந்து,

$$V = \frac{V_0}{\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{a}\right)}\left(\frac{1}{b} - \frac{1}{r}\right) = \frac{V_0 a}{r}\frac{(r-b)}{(a-b)} = \frac{V_0 a}{r}\frac{(b-r)}{(b-a)} \qquad \ldots(1.75)$$

மேலும், $$\vec{E} = -\hat{a}_r \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{V_0 ab}{r^2(b-a)}\hat{a}_r \qquad \ldots(1.76)$$

ஆகையால், $$\rho_s = \varepsilon_0 E = \frac{\varepsilon_0 V_0 ab}{r^2(b-a)} \qquad (\rho_s = \text{மேற்பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தி}) \qquad \ldots(1.77)$$

எனவே, $$Q = \frac{\varepsilon_0 V_0 ab}{(b-a)} \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} \frac{r^2}{r^2} \sin\theta d\theta d\varphi$$

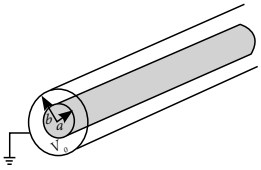
$$= \frac{4\pi\varepsilon_0 V_0 ab}{(b-a)}$$

மற்றும் மின்தேக்கு திறன் ஆனது,

$$C = \frac{|Q|}{V_0} = \frac{4\pi\varepsilon_0 ab}{(b-a)} \qquad \ldots(1.78)$$

1.22.3 உருளை வடிவ மின்தேக்கி

படம் 1.22 இல் காட்டியபடி, உள் ஆரம் a ம் வெளி ஆரம் b யும் உள்ள உருளை வடிவ மின்தேக்கியை கருதுக. உள் உருளை மின்னழுத்தம் V_0 கொண்டும் வெளி உருளை தரையிடப்படும் உள்ளது. உருளையானது, ஆரச் சமச்சீரமைப்பு கொண்டுள்ளதால், உருளை ஆயத்தொலைவுக்கான லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை பயன்படுத்தி,



படம் 1.22: உருளை வடிவ மின்தேக்கி

$$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(\frac{\partial V}{\partial r}\right)=0$$

அல்லது, $$r\frac{\partial V}{\partial r}=A$$

அல்லது, $$\frac{\partial V}{\partial r}=\frac{A}{r}$$

அல்லது, $$V=A\ln r+B \qquad \ldots(1.79)$$

இப்போது, r = b ல், V = 0

$\therefore$ $$0=A\ln b+B$$

அல்லது, $$B=-A\ln b$$

அல்லது, $$V=A\ln r-A\ln b=A\ln\frac{r}{b} \qquad \ldots(1.80)$$

மீண்டும் r = a ல், V = V_0

$\therefore$ $$V_0=A\ln\frac{a}{b}\Rightarrow A=\frac{V_0}{\ln\frac{a}{b}}$$

Simulation on Cylindrical Capacitor

எனவே, சமன். (1.80) லிருந்து,

$$V=\frac{V_0}{\ln\frac{a}{b}}\ln\frac{r}{b}=\frac{V_0}{\ln\frac{b}{a}}\ln\frac{b}{r} \qquad a\le r\le b \qquad \ldots(1.81)$$

மேலும், $$\vec{E}=-\hat{r}\frac{\partial V}{\partial r}=-\frac{\hat{r}}{r}\frac{V_0}{\ln\frac{b}{a}} \qquad \ldots(1.82)$$

ஆகையால், $$\rho_s=\varepsilon_0 E_{r=a}$$

$$= \frac{\varepsilon_0}{a}\frac{V_0}{\ln\frac{b}{a}} \qquad (\rho_s = \text{மேற்பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தி}) \qquad \ldots(1.83)$$

எனவே, L நீளமுள்ள பொது அச்சு கொண்ட கடத்தியின் மின்தேக்குத்திறனானது,

$$C = \frac{Q}{V_0} = \frac{2\pi aL}{V_0}\rho_s = \frac{2\pi\varepsilon_0 L}{\ln\frac{b}{a}} \qquad \ldots(1.84)$$

1.23 பாரடே கூண்டு

மின்னூட்டம், காந்தவியல் மற்றும் அவற்றிற்கிடையேயேயுள்ள தொடர்பு பற்றிய ஃபாரடேயின் சோதனைகளில், ஒரு கடத்தி மீதான மின்னூட்டம் வெளிப்புற மேற்பரப்பில் மட்டுமே இருக்கிறது. மேலும், வெளிப்புறத்தில் ஏற்படும் எந்த மாற்றத்தாலும் அந்த கடத்திக்குள் எதுவும் பாதிக்கப்படுவதில்லை என்பது குறிப்பிடத்தக்கது. பின்னர், ஃபாரடேயின் படைப்புகளில் புலக் கோட்பாடு உருவாக்கப்பட்டது, மேலும் ஒரு மின்னணு புலம் ஒரு மின்னூட்டத்திற்கு அப்பால் வெளியில் விரிவாக்கப்படலாம் என்பதும் அறியப்பட்டது. ஒத்த மின்னூட்டங்களின் மின்னியல் விலக்கு விசை காரணமாக ஒரு கடத்தியின் வெளிப்புறத்திற்கு மின்னூட்டம் மறுவிநியோகம் செய்யப்படுகிறது. இது கடத்திக்குள் பூஜ்ஜிய நிகர நிலைமின்னியல் புலத்தை விளைவிக்கிறது, அதாவது தொடர்ச்சியாக கடத்தும் அடுக்கு மூலம் எந்தவொரு வெளியும் இணைக்கப் பட்டுள்ளது கூண்டுக்கு வெளியே இருக்கும் எந்த மின்னணு விளைவும் அந்த இடத்திற்குள் முழுமையாக ரத்து செய்யப்படும். அதிக கடத்தும் மின்னாற்பகுப்பு கரைசல்களில் மின்காந்த புலங்களை தவிர்ப்பதை உணர்த்த இந்த வழிமுறை பயன்படுத்தப்படலாம். கூண்டுக்குள் உருவாகும் அனைத்து விளைவுகளும் கூண்டின் வெளிப்புறத்திற்கு செல்வதைத் தடுக்கின்றன.

கருத்தில் கொள்ள சில புள்ளிகள் உள்ளன. முதலாவது, கூண்டு உடைந்து இடைவெளிகளை ஏற்படுத்தி வெளிப்புற மின்காந்த புலங்களை ஊடுருவ அனுமதிக்கிறது. ஒரு கண்ணிக்கு மின்காந்த கதிர்வீச்சின் ஊடுருவும் வழியின் விட்டம் இரண்டு மடங்குக்கும் குறைவான அலைநீளங்களைக் கொண்ட அலைவுகளுடன் மட்டுப்படுத்தப்பட்டுள்ளது. எனவே 0.01 மீ வழி 0.02 மீ மற்றும் 150 ஜிகாஹெர்ட்ஸ் விளைவுடன் ஒத்த குறுகிய அலைநீளங்களை அனுமதிக்கும். இரண்டாவது ஒரு நீண்ட கடத்தும் பொருள். ஃபாரடே கூண்டை ஒரு கதவு வழியாக அல்லது ஒரு திறப்பின் மூலம் அணுகுவது தொடர்ச்சியில் ஒரு இடைவெளிக்கு வாய்ப்பை உருவாக்கும். ஒரு பக்கம் தொடர்ச்சியற்று இருந்தால், மின்னூட்ட மறுவிநியோகம் சரியாக நடக்காது. அந்த சூழ்நிலையில் ரத்துசெய்யும் விளைவு இருக்காது மற்றும் கூண்டுக்குள் பூஜ்ஜியமற்ற புலம் இருக்கும். இடைவெளியுடனான விளிம்புகளுடன் கம்பியை இணைப்பதன் மூலம் குறைந்த அதிர்வெண் வேலைக்கு உதவ முடியும், ஆனால் அதிக அதிர்வெண்களில் இயங்கும் சோதனைகளுக்கு இது போதுமானதாக இல்லை. இறுதி விஷயம் கூண்டின் கடத்துத்திறனைக் கருத்தில் கொள்வது. கூண்டின் அளவு அதிகரிக்கும் போது அது ஒரு பெரிய கவலையாக மாறும். கடத்தியின் மின்தடை உயர்வு கடத்தியின் மறுவிநியோகத்தைக் குறைக்கும். இது ரத்து செய்யப்படாத புலத்தை ஏற்படுத்துகிறது.

பயன்பாடுகள்: ஃபாரடே கூண்டு எப்போதும் வேண்டாத விளைவைக் குறைக்கிறது, குறிப்பாக குளிரூட்டியின் திறன் வலையில் உருவாகும் மின் இணைப்பு சத்தம் ஆகும். சில சோதனைகள் குறைந்த மின்னோட்டங்கள் அல்லது அதிக அதிர்வெண்கள் ஆகிய இரண்டைப் பற்றி விவரிக்கிறது. இதில் இயற்பியல், மின் வேதியியல் இரண்டாவது வகையில் அடங்கும். நுண் அல்லது மீநுண்–மின்முனைகள் ஈடுபடும்போது, இரண்டுமே முக்கியமான பங்காற்றுகின்றன. அரிப்புக்கு அதிக துல்லியம் மற்றும் நுணுக்கமும் தேவையில்லை, ஆனால் அரிப்பை எதிர்க்கும் உலோகக்கலவைகள் nA வரம்பில் அளவிடப்

பட்ட மின்னோட்டங்களுக்கு வழிவகுக்கும், அங்கு ஒரு ஃபாரடே கூண்டு தேவைப்படுகிறது. மின்கலத்தின் மின்னோட்டம் 1 μA ஐ விட அதிகமாக இல்லாவிட்டால், ஒரு ஃபாரடே கூண்டு பயன்படுத்தப்படுவது முக்கியம்.

1.24 காபி–மோதிர விளைவு

ஒரு காபி–மோதிரம் என்பது துகள்கள் நிறைந்த திரவத்தின் குட்டையில் ஆவியான உடன் கிடைக்கும் ஒரு வடிவமைப்பு ஆகும். இந்த நிகழ்வு ஒரு காபி கசிவின் சுற்றளவில் வளையம் போன்ற அமைப்பு என அழைக்கப்படுகிறது. சிவப்பு ஒயின் சிந்திய பின்னும் இது போன்ற அமைப்பு காணப்படுகிறது. இந்த மோதிரங்களை உருவாக்குவதற்குப் பின்னால் உள்ள வழிமுறை காபி–மோதிர விளைவு அல்லது காபி கறை விளைவு அல்லது சுலபமாக மோதிரக் கறை என அழைக்கப்படுகிறது.

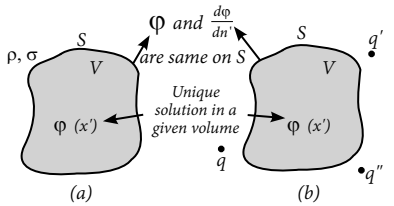
காபி–மோதிர முறை தந்துகி ஓட்டத்திலிருந்து உருவாகிறது, இது துளி முழுவதும் பல்வேறுபட்ட ஆவியாதல் விகிதங்களால் தூண்டப்படுகிறது. விளிம்பிலிருந்து ஆவியாகும் திரவம் உட்புறத்திலிருக்கும் திரவத்தால் நிரப்பப்படுகிறது. இதன் விளைவாக ஓட்டம் சிதறடிக்கப்பட்ட அனைத்து பொருட்களையும் விளிம்பிற்கு கொண்டு செல்ல முடியும்.

காலப்போக்கில், இந்த செயல்முறை அவசர நேர விளைவைக் காட்டுகிறது, உலர்த்தும் செயல்முறை பராமரிக்கப்படும்போது இறுதி கட்டத்தில் விளிம்பில் ஓட்டத்தின் விரைவான முடுக்கம் ஏற்படுகிறது. வலுவான ஓட்டம் துளிகளின் மையத்திற்கு துகள்களை மறுபகிர்வு செய்கிறது. விளிம்புகளில் துகள்கள் குவிவதற்கு, திரவத்தில் பலவீனமான ஓட்டம் இருக்க வேண்டும் அல்லது ஓட்டத்தை சீர்குலைக்க வேண்டும். திரவத்தின் பரப்பு இழுவிசைச் செறிவையும், தூண்டப்பட்ட ஓட்டத்தை சீர்குலைவதையும் குறைக்க மேற்பரப்பு வினையூக்கிகளைச் சேர்க்கலாம். இயற்கை மேற்பரப்பு வினையூக்கிகள் நீரின் பலமான ஓட்டத்தை துவங்குவதற்கு துணைபுரிகிறது.

தந்துகி–உந்துதல் தொகுப்பை பயன்படுத்தி ஒரு அடி மூலக்கூறில் துகள்களை வரிசைப்படுத்த, நிலையான நீர்த்துளியை மாற்றுவதற்கு காபி வளைய விளைவு வெப்பச்சலன படிவில் பயன்படுத்தப்படுகிறது. வெப்பச்சலன படிவு, துகள் நோக்குநிலையை கட்டுப்படுத்த முடியும், இது ஆவியாதல் ஏற்படும் மெல்லிய அடுக்கில் உள்ள துகள்களின் அதிகபட்ச கொள்ளளவை அடைவதற்கு அமைப்பால் வழங்கப்படுகிறது. பல அடுக்குகளை இணைப்பதில் வெப்பச்சலன ஒருங்கிணைப்பு துகள் ஒருங்கமைப்பை கட்டுப்படுத்த முடியும் என்று காட்டப்பட்டது, இதன் விளைவாக இருபந்து வடிவ துகள்களிலிருந்து உயர் மட்ட 3D கூழ் படிகங்கள் உருவாகின்றன. சமீபத்திய முன்னேற்றங்கள் காபி–மோதிர ஒருங்கிணைப்பு கூழ் துகள்களிலிருந்து உருவாக்கப்படும் கனிம படிகங்களின் பயன்பாட்டை அதிகரித்துள்ளன.

1.25 உருவங்களின் முறை

பாய்சான் மற்றும் லாப்லாசின் சமன்பாடுகளுக்கான பல வழிகளில் தீர்வுகளைக் காணலாம். கொடுக்கப்பட்ட எல்லை நிபந்தனைகளுக்காக பாய்சான் மற்றும் லாப்லாசின் சமன்பாடுகளுக்கான தீர்வுகளைக் காண, முதலில் ஒரு தனித்துவமான முறையை உருவாக்க வேண்டும். தனித்துவ தேற்றம் என்பது கொடுக்கப்பட்ட பாய்சான் சமன்பாட்டிற் கான தனித்துவமான தீர்வைக் கொடுக்கின்றது.

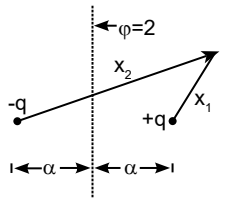


படம் 1.23: தனித்துவ தேற்றம்

படம் 1.23 இரு வேறு புற மின்னூட்ட பகிர்வு அமைப்புகளான (a) ρ, σ மற்றும் (b) $q, q', q'', \ldots$ ஆகியவற்றை ஒப்பிடுகிறது. ஆனால் இரு அமைப்புகளின் எல்லை நிபந்தனைகளும் ஒத்தவை. எனில், மின்னழுத்தமும் உள்புறத்தில் ஒத்தவை. மின்னூட்டங்களின் படம் கொடுக்கப்பட்ட கன அளவிற்கு அப்பாற்பட்டது.

1.25.1 கடத்து சமதளத்தின் முன்னுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம்

படம் 1.24 இல் காட்டியுள்ளபடி, முடிவிலா நீட்சி பெற்ற கடத்து சமதளப் பரப்பின் அருகில் q என்ற புள்ளி மின்னூட்டம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. கடத்து சமதளப் பரப்பின் மீதுள்ள எல்லை நிபந்தனை $\varphi = 0$ ஆகும். கடத்து சமதளப் பரப்பு YZ அச்சுடன் ஒன்றியுள்ளது மற்றும் புள்ளி மின்னூட்டம் X அச்சில் $x = a$ வில் உள்ளது. $2a$ தொலைவுக்கு பிரித்துவைக்கப்பட்ட இரு புள்ளி மின்னூட்டம் கொண்ட அமைப்பைக் கருதுக (படம் 1.24).



படம் 1.24: கடத்து சமதளத்தின் முன்னுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம்

மின்னூட்டம்: இரு புள்ளி மின்னூட்டத்தால் (x, y, z) ல் விளையும் மின்னழுத்தமானது,

$$\varphi(x, y, z) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_1} + \frac{-q}{4\pi\varepsilon_0 r_2}$$

அல்லது,
$$\varphi(x, y, z) = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{\sqrt{(x-a)^2 + y^2 + z^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x+a)^2 + y^2 + z^2}}\right] \quad \ldots(1.85)$$

(i) $x > 0$ வுக்கான பாய்சான் சமன்பாடு மற்றும் (ii) மின்னூட்டத்திற்கு வெளிப்புறமுள்ள அனைத்து புள்ளிகளின் எல்லை மட்டுமல்லாது உண்மையான கணக்குகளின் எல்லை நிபந்தனைகளையும் பூர்த்தி செய்கிறது. ஆகையால், சமன். (1.85) என்பது கடத்து சமதளத்தின் $(x > 0)$ முழுவதுமான அரை–வெளியில் சரியான மின்னழுத்தம் ஆகும்.

தூண்டப்பட்ட மேற்பரப்பு மின்னோட்டம்: கடத்தியின் மீது தூண்டப்படும் மேற்பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தி

$$\sigma(y, z) = \varepsilon_0 \, E_x\big|_{x=0} = -\varepsilon_0 \left.\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right|_{x=0}$$

$$= -\frac{qa}{2\pi\left(a^2 + y^2 + z^2\right)^{3/2}} \quad \ldots(1.86)$$

சமதளத்தின் மீது தூண்டப்பட்ட மொத்த மின்னூட்டம்

$$Q = \iint \sigma(y, z)\,dydz = -\int_0^{2\pi}\int_0^{\infty} \frac{qa}{2\pi\left(a^2 + r^2\right)^{3/2}} r\,dr\,d\varphi$$

$$= -\left.\frac{qa}{\sqrt{a^2 + r^2}}\right|_0^{\infty} = -q \quad \ldots(1.87)$$

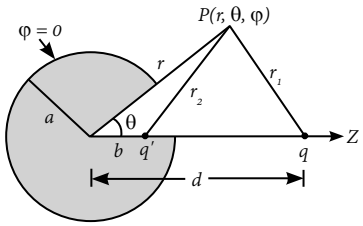
இங்கு $y^2 + z^2 = r^2$. எனவே தூண்டப்பட்ட எதிர் மின்னூட்டத்தினால் q மின்னூட்டம் சமதள பரப்பை நோக்கி ஈர்க்கப்படுகிறது. மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசையானது,

$$F = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0\left(2a\right)^2} \quad \ldots(1.88)$$

1.25.2 தரையிடப்பட்ட கோள வடிவ கடத்தியின் முன்னுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம்

படம் 1.25, a ஆரம் கொண்ட தரையிடப்பட்ட கோளத்தின் அருகில் வைக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்தைக் காண்பிக்கிறது. கோளத்தின் மையத்திலுள்ள மூல ஆயத்தொலைவுடன், கோள ஆயத் தொலைவின் மூலமாக வடிவமைத்தல், கணக்கினை தீர்ப்பதற்கு வழிவகுக்கும்.

Z–அச்சில் z = d இல் q மின்னூட்டத்தைக் கருதுக. $\varphi(r=a)=0$ என்ற எல்லை நிபந்தனை கோளத்தின் உள்ளே $(z=b)$ உள்ள மின்னூட்ட படத்தின் q' மூலம் பூர்த்தி செய்யப்படுகிறது.



படம்.1.25: தரையிடப்பட்ட கோள வடிவ கடத்தியின் முன்புறமுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம்

மின்னழுத்தம்: மின்னழுத்தம் q மற்றும் q' னால் விளையும் மின்னழுத்தம்,

$$\varphi(r,\theta,\varphi)=\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_1}+\frac{q'}{4\pi\varepsilon_0 r_2}$$

அல்லது, $$\varphi(r,\theta,\varphi)=\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q}{\sqrt{r^2+d^2-2rd\cos\theta}}-\frac{q'}{\sqrt{r^2+b^2-2rb\cos\theta}}\right] \quad \ldots(1.89)$$

இப்போது, $\varphi(r=a,\theta,\varphi)=0$ அனைத்து θ விற்காக மட்டும் எனில்,

$$\sqrt{\frac{a^2+b^2-2ab\cos\theta}{a^2+d^2-2ad\cos\theta}}=-\frac{q'}{q}=\text{constant}$$

இந்த நேர்வில் $$b=\frac{a^2}{d} \quad \ldots(1.90)$$

எனில் $$\sqrt{\frac{a^2+b^2-2ab\cos\theta}{a^2+d^2-2ad\cos\theta}}=\frac{a}{d}$$

மற்றும் $$q'=-\frac{a}{d}q \quad \ldots(1.91)$$

இந்த சமன்பாடுகள் (1.90) மற்றும் (1.91) q'. மின்னூட்ட படத்தின் இருப்பிடத்தையும் எண்மதிப்பையும் குறிக்கின்றன.

தூண்டப்பட்ட மேற்பரப்பு மின்னூட்டம்: கடத்தியின் மீது தூண்டப்பட்ட மேற்பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தியானது,

$$\sigma(\theta,\varphi)=-\varepsilon_0\left.\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right|_{r=a}=-\frac{q}{4\pi a^2}\frac{a}{d}\frac{1-\frac{a^2}{d^2}}{2\pi\left(1+\frac{a^2}{d^2}-2\frac{a}{d}\cos\theta\right)^{3/2}} \quad \ldots(1.92)$$

தளத்தின் மீது தூண்டப்பட்ட மொத்த மின்னூட்டமானது,

$$Q = \iint \sigma(\theta,\varphi)a^2 \sin\theta d\theta d\varphi$$

$$= \int_0^{2\pi}\int_0^{\pi} -\frac{qa}{2d}\frac{1-\frac{a^2}{d^2}}{\left(1+\frac{a^2}{d^2}-2\frac{a}{d}\cos\theta\right)^{3/2}}\sin\theta d\theta d\varphi$$

$$= -\frac{qa}{d} = q' \qquad \ldots(1.93)$$

தூண்டப்பட்ட எதிர் மின்னூட்டத்தால் q மின்னூட்டமானது கோளத்தை நோக்கி ஈர்க்கப்படுகிறது. எனவே, மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் ஈர்ப்பு விசையானது,

$$F = -\frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0\left(d-b\right)^2}$$

$$= -\frac{q^2 a}{4\pi\varepsilon_0 d^3}\left(1-\frac{a^2}{d^2}\right)^{-2} \qquad \ldots(1.94)$$

அலகு சுருக்கம்

- **மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல்**

  $q = ne$
- **மின்னூட்ட அழிவின்மை**

  மின்னூட்டத்தை ஆக்கவோ, அழிக்கவோ முடியாது. அதாவது, மின்னூட்டத்தின் தனித்த அமைப்பு மாறாதது.
- **கூலும் விதி**

  $F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ [தொலைவில் பிரித்துவைக்கப்பட்ட q_1, q_2 என்ற இரு மின்னூட்டத்திற்காக]
- **மேற்பொருந்துதல் தத்துவம்**

  $$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1 q_3}{r_{31}^{\ 2}}\vec{r}_{31} + \frac{q_2 q_3}{r_{32}^{\ 2}}\vec{r}_{32}\right]$$

  [3–மின்னூட்ட அமைப்பிற்காக]
- **மின்னூட்ட அடர்த்திகள்**

  $$\rho = \lim_{\Delta V\to 0}\frac{\Delta q}{\Delta V} \qquad \sigma = \lim_{\Delta S\to 0}\frac{\Delta q}{\Delta S} \qquad \lambda = \lim_{\Delta l\to 0}\frac{\Delta q}{\Delta l}$$

- **மின்புலச் செறிவு**

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \frac{\vec{r} - \vec{r'}}{\left|\vec{r} - \vec{r'}\right|^3}$$

- **நிலை மின்புலத்தின் சுருள்: மின்புலத்தின் அழிவின்மை**

$$\vec{\nabla} \times \vec{E}(\vec{r}) = 0$$

- **மின் பாயம்**

$$\varphi = \int d\varphi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \oint_S EdS\cos\theta$$

- **நிலைமின்புலத்தில் காஸ் விதி**

$$\varphi = \oint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$

- **காஸ் விதியின் பயன்பாடுகள்**

உருளையைச் சுற்றியுள்ள மின்புலம் : $E = \frac{\lambda}{2\pi\varepsilon_0 r}$

மின்னூட்டப்பட்ட கோளத்தினாலான மின்புலம்: $E = \frac{\rho r}{3\varepsilon_0}$ [r < a fhf]

$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$ [r > a காக]

மின்கடத்தா முடிவிலா அட்டையினாலான மின்புலம் : $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

- **காஸ் விதியிலிருந்து கூலும் விதி**

$$\iint_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q_1}{\varepsilon_0} \Leftrightarrow F = q_2 E = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon_0 r^2},$$

- **நிலை மின்னழுத்தம்**

$V = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r}$ [r தொலைவிலுள்ள q மின்னூட்டத்திற்காக]

- **மின்னழுத்த வேறுபாடு**

$$V_{AB} = V_A - V_B = -\int_{r_A}^{r_B} \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} dr = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right]$$

- **மின்னழுத்த வேறுபாடு கணக்குகள்**

நேர்கோட்டு மின்னூட்ட பகிர்வுக்காக, $V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\lambda(\vec{r'})dl'}{\left|\vec{r} - \vec{r}_n\right|}$

மேற்பரப்பு மின்னூட்ட பகிர்வுக்காக, $V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\sigma(\vec{r'})dS'}{\left|\vec{r}-\vec{r}_n\right|}$

கன அளவு மின்னூட்ட பகிர்வுக்காக, $V(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int_l \frac{\rho(\vec{r'})dV'}{\left|\vec{r}-\vec{r}_n\right|}$

- **மின்புலச் செறிவிற்கும் மின்னழுத்தத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு**

  $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$

- **நிலைமின்னழுத்த ஆற்றல்**

  $U = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q_1q_2}{r_{12}} + \frac{q_1q_3}{r_{13}} + \frac{q_2q_3}{r_{23}}\right]$

- **மின் இருமுனை**

  $\vec{E} = -\frac{1}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left[\vec{p} - \frac{\left(\vec{p}.\vec{r}\right)\vec{r}}{r^2}\right] = -\frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^3}\left[\vec{d} - \frac{\left(\vec{d}.\vec{r}\right)\vec{r}}{r^2}\right]$

- **பாய்சான் மற்றும் லாப்லாஸ் சமன்பாடுகள்**

  $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ $\qquad$ $\nabla^2 V = 0$

- **தனித்துவ தேற்றம்**

  ஒரே எல்லை நிபந்தனைகளை பூர்த்தி செய்யும் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் இரு தீர்வுகள் மாறிலியால் வேறுபடுகின்றன.

- **கார்டீசியன் ஆயத்தொலைவு அமைப்பில் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் தீர்வு**

  if $k_x = 0;\ X(x) = Ax + B$

  if $k_x = k;\ X(x) = A\sin kx + B\cos kx = Ce^{ikx} + De^{-ikx}$

  if $k_x = ik;\ X(x) = A\sinh kx + B\cosh kx = Ce^{kx} + De^{-kx}$

- **கார்டீசியன், கோள மற்றும் உருளை ஆயத்தொலைவு அமைப்புகளில் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் பயன்பாடுகள்**

  இணைத்தட்டு மின்தேக்கியில் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் தீர்வு: $V = \frac{V_1 z}{d}$

  கோள வடிவ மின்தேக்கியில் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் தீர்வு: $V = \frac{V_0 a}{r}\frac{(b-r)}{(b-a)}$

  உருளை வடிவ மின்தேக்கியில் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டின் தீர்வு: $V = \frac{V_0}{\ln\frac{b}{a}}\ln\frac{b}{r}$ [as $a \le r \le b$]

- **பாரடே கூண்டு**

  பாரடே கூண்டு எப்போதும் தேவையில்லாத மின் விளைவுகளை குறைக்கிறது. குறிப்பாக மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் திறன் அமைப்பில் உருவாகும் விளைவுகளை குறைக்கும்.

- **காபி மோதிர விளைவு**

  காபி மோதிரம் என்பது, ஆவியாகக்கூடிய, துகள்கள் நிறைந்த திரவக் குட்டை யினால் உருவாகும் ஒரு வடிவமைப்பாகும்.

- **உருவங்களின் முறை**

  கடத்து சமதளத்தின் முன்னுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம்

$$F = -\frac{q^2}{4\pi\varepsilon_0 (2a)^2}$$

  தரையிடப்பட்ட கோள வடிவ கடத்தியின் முன்னுள்ள புள்ளி மின்னூட்டம்

$$q' = -\frac{a}{d}q$$

$$F = -\frac{qq'}{4\pi\varepsilon_0 (d-b)^2} = -\frac{q^2 a}{4\pi\varepsilon_0 d^3}\left(1-\frac{a^2}{d^2}\right)^{-2}$$

பயிற்சிகள்

கொள்குறி வகை வினாக்கள்

1.1 $V = k\phi^2$ என்ற நிலைமின்னழுத்த பகுதியில் உள்ள புள்ளியின் கோள துருவ ஆயத்தொலைவு (r, θ, ϕ) எனில், அப்பகுதியின் மின்னூட்ட அடர்த்தியானது,

(a) ϕ ன் சார்பு மட்டும்

(b) அப்பகுதியில் மாறிலி

(c) அனைத்து ஆயத்தொலைவுகளின் (r, θ, ϕ) சார்பு

(d) (r, ϕ) ன் சார்பு மட்டும்

1.2 q என்ற மின்னூட்டம் நடுவில் வைக்கப்பட்ட, 1m பக்கம் கொண்ட கன சதுரத்தின் அனைத்து பக்கங்கள் வழியாக செல்லும் மின் பாயமானது,

(a) $\frac{q}{4\varepsilon_0}$ (b) $4\varepsilon_0 q$ (c) $\frac{q}{6\varepsilon_0}$ (d) $\frac{q}{\varepsilon_0}$

1.3 $3\hat{i} + \hat{j}$ மின்புலத்தில் $6\hat{j}$ க்கு சமமான மேற்பரப்பு வெக்டர் $\vec{S}$ வழியாக பாயும் மின்புலமானது,

(a) 10 Nm^2C^{-1} (b) 6 Nm^2C^{-1}

(c) 15 Nm^2C^{-1} (d) இவற்றில் எதுவுமில்லை

1.4 வெற்றிட வெளியில் பாய்சான் சமன்பாடு குறைவது

(a) $\nabla^2 V = 0$ (b) $\nabla^2 V = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$ (c) $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ (d) $\nabla^2 V = \infty$

1.5 ஸ்கேலார் மின்னழுத்தத்தின் சரிவாக நிலை மின்புலம் கிடைக்கின்றது

(a) ஏனெனில் இது மாறாப் புலம் (b) ஏனெனில் இது எப்போதும் சுருளானது

(c) x, y, z இல் நேரியலாக உள்ளபோது (d) காந்தப்புலம் இல்லாதபோது

1.6 மின்புலச்செறிவு E இல் உள்ள இருமுனையின் துருவ மூலக்கூறுகளின் மீது செயல்படும் திருப்புவிசை,

(a) $\tau = p_0 E \tan\theta$ (b) $\tau = p_0 E \sin\theta$ (c) $\tau = p_0 E \cos\theta$ (d) எதுவுமில்லை

1.7 r மற்றும் 2r ஆரமுள்ள கடத்து கோளத்தின் மின்னூட்டங்கள் q மற்றும் 2q. இரு கோளத்தின் வெளிப்புற மேற்பரப்பில் உள்ள மின்புலம் E_1 மற்றும் E_2 எனில்,

(a) $E_1 = E_2$ (b) $E_1 = 2E_2$ (c) $2E_1 = E_2$ (d) $E_1 = 4E_2$

1.8 $\vec{E}$ மின்புலத்தில் இருமுனைத்திருப்புத் திறனைக் ($\vec{p}$) கொண்ட மின் இருமுனையின் மீது செயல்படும் திருப்புவிசை ($\vec{\tau}$),

(a) $\vec{\tau} = -\vec{p} \times \vec{E}$ (b) $\vec{\tau} = -\vec{p}.\vec{E}$ (c) $\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}$ (d) $\vec{\tau} = \vec{p}.\vec{E}$

1.9 σ மின்னூட்ட அடர்த்தி கொண்ட எதிரெதிர் மின்னூட்டப்பட்ட இரு தட்டுகளிடையே உள்ள மின்புலம்

(a) 0 (b) $\frac{2\sigma}{\varepsilon_0}$ (c) $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ (d) $\frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$

1.10 குறிப்பிட்ட பகுதியில், மின்புலம் E = 0 எனில் மின்னழுத்தமானது,

(a) சுழி (b) மாறிலி (c) இடத்தை சார்ந்தது (d) முடிவிலி

1.11 $\int_S \vec{D}.d\vec{S}$ ன் அலகு

(a) C (b) F (c) W (d) V

1.12 r தொலைவுக்கு பிரித்துவைக்கப்பட்ட q_1 மற்றும் q_2 மின்னூட்டங்களின் அமைப்பின் நிலை மின்புலமானது,

(a) $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r^2}$ (b) $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{r}$ (c) $\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1^2 q_2}{r^2}$ (d) $\frac{\varepsilon_0}{4\pi}\frac{q_1 q_2}{r^2}$

1.13 V_1 மின்னூட்டம் கொண்ட P_1 புள்ளியிலிருந்து V_2 மின்னூட்டம் கொண்ட P_2 புள்ளிக்கு மின்னூட்டத்தை நகர்த்த செய்யப்பட்ட வேலையானது,

(a) $q(V_1 - V_2)$ (b) $q(V_1 V_2)$ (c) $q(V_1 + V_2)$ (d) $q(V_1/V_2)$

1.14 +q மின்னூட்டம் கொண்ட புரோட்டான் v மின்னழுத்தத்துடன் முடுக்கம் பெற்றால் அதன் இயக்க ஆற்றலானது,

(a) $\frac{1}{2}qV^2$ (b) qV^2 (c) qV (d) $\frac{1}{2}qV$

1.15 வெளி மின்னூட்டம் கொண்ட பகுதியில் உள்ள மின்புலம் _____ பயன்படுத்தி அறியலாம்.

(a) லாப்லாஸ் சமன்பாடு (b) பாய்சான் சமன்பாடு

(c) ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சமன்பாடு (d) கூலும் விதி

1.16 நிலை மின்புல வெக்டர் $\vec{E}$ யைப் பற்றிய கீழ்க்கண்ட சமன்பாட்டில் எது சரி அல்ல ?

(a) $\oint_c \vec{E}.d\vec{r} = 0$, இங்கு c எளிய மூடிய வளைவு

(b) $\int_a^b \vec{E}.d\vec{r}$ முடிவுப்புள்ளி a மற்றும் b க்கு கொடுக்கப்பட்ட பாதையைச் சார்ந்ததல்ல.

(c) $\vec{E} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ $\vec{A}$ க்கான வெக்டர் மின்னழுத்தம்

(d) $\vec{E} = \vec{\nabla}\phi$ ஸ்கேலார்புலம் ϕ

1.17 மேற்பரப்பு S ன் மீதுள்ள மின்புலத்தின் $(\vec{E})$ மொத்த மின்பாயமானது (ϕ) ,

(a) $\vec{E}.d\vec{S}$ (b) $\oint_S \vec{E}.d\vec{S}$ (c) $\vec{E} \times d\vec{S}$ (d) $\oint_S \vec{E} \times d\vec{S}$

1.18 ρ கனஅளவு மின்னூட்ட அடர்த்தி கொண்ட வெளியின் பகுதியில் பாய்சான் சமன்பாடு

(a) $\nabla^2 V = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$ (b) $\nabla^2 V = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ (c) $\nabla^2 V = 0$ (d) $\nabla^2 V = \frac{\rho^2}{\varepsilon_0}$

1.19 சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட எலக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான்களின் முடுக்கத்தின் விகிதம்,

(a) 0 (b) 1 (c) $\frac{m_p}{m_e}$ (d) $\frac{m_e}{m_p}$

1.20 0.25 m தொலைவிலுள்ள q புள்ளி மின்னூட்டத்தின் மின்புலச்செறிவு $2NC^{-1}$ எனில், புள்ளி மின்னூட்டத்தின் q மதிப்பானது,

(a) 1.39×10^{-5} μC (b) 1.39×10^{5} μC

(c) 13.9×10^{-5} C (d) 10^{-6} μC

1.21 வெற்றிடத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்னூட்டப்பட்ட உலோக கோளத்தின் மேற்பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தி σ. எந்தவொரு புள்ளியிலும் மின்புலச்செறிவின் SI அலகானது,

(a) $\sigma\varepsilon_0$ (b) $\frac{\varepsilon_0}{\sigma}$ (c) $\frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ (d) $\varepsilon_0{}^2\sigma$

1.22 2×10^{-4} kg எடையும் 9.8×10^{-2}μC மின்னூட்டமும் கொண்ட நீர்த்திவலையை ஈடு செய்ய தேவைப்படும் மின்புலத்தின் அளவு

(a) $10^4\,NC^{-1}$ (b) $2\times10^4\,NC^{-1}$ (c) $4\times10^4\,NC^{-1}$ (d) $5\times10^4\,NC^{-1}$

1.23 வெற்றிடம் மற்றும் மின்காப்பு மாறிலி k கொண்ட ஊடகத்தில் இரு புள்ளி மின்னூட்டங்களுக்கு இடையேயான ஈர்ப்பு விசையின் விகிதம்

(a) 1 : k (b) $1 : k^2$ (c) $k^2 : 1$ (d) k : 1

1.24 a ஆரம் கொண்ட தரையிடப்பட்ட கோளத்தின் மையத்திலிருந்து d தொலைவில் உள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்தின் மின்னூட்ட படத்தின் எண்மதிப்பானது,

(a) $q' = -\frac{d}{a}q$ (b) $q' = -\frac{a}{d^2}q$ (c) $q' = -\frac{a^2}{d}q$ (d) $q' = -\frac{a}{d}q$

கொள்குறி வகை வினா–விடைகள்
1.1 (d), 1.2 (c), 1.3 (b), 1.4 (c), 1.5 (a), 1.6 (b), 1.7 (b), 1.8 (c), 1.9 (c), 1.10 (b), 1.11 (a),1.12 (b), 1.13 (a), 1.14(c), 1.15 (b), 1.16 (c), 1.17 (b), 1.18 (b), 1.19 (d), 1.20 (a), 1.21 (c), 1.22 (b), 1.23 (d), 1.24 (d)

குறு மற்றும் பெரு வினாக்கள்

வகை I

1.1 மின்பாயக் கோட்பாட்டை பயன்படுத்தி நிலை மின்னியலின் காஸ் விதியை விளக்குக.

1.2 மின்னழுத்தம் V(x, y) ஆனது லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை பூர்த்தி செய்யுமா என்பதை சரிபார்க்க. மேலும் கொடுக்கப்பட்ட மின்னழுத்தத்தினாலான மின்னூட்ட அடர்த்தியைக் காண்க.

1.3 காஸ் விதியின் பயனாக கூலும் விதியை தருவி.

1.4 $\vec{E} = yz\hat{i} + zx\hat{j} + xy\hat{k}$ என்ற மின்புலம் சுருளானது மற்றும் மாறாதது என்பதை ஆராய்க.

1.5 நிலைமின்னியலில் காஸ் விதியில் தொகைக்கெழு வடிவத்திலிருந்து அதன் வகைக்கெழு வடிவத்தை வருவி.

1.6 உருளை மற்றும் கோள ஆயத்தொலைவுகளுக்கான லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை பாய்சான் சமன்பாட்டிலிருந்து தருவிக்க.

1.7 நிலை மின்னியலில் காஸ் விதியிலிருந்து பாய்சான் சமன்பாட்டை தருக.

1.8 σ மின்னூட்ட அடர்த்தி கொண்ட முடிவிலா நீட்சி பெற்ற இணைத் தட்டு மின்தேக்கிகளுக்கு இடைப்பட்ட மின்புலத்தை கணக்கிடுக. தட்டுகளுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு d என்க.

1.9 மின்னழுத்த சார்பு $x^2 - y^2 + z$ லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை பூர்த்தி செய்யுமா என ஆராய்க.

1.10 ஆரம்ப நிலை நிபந்தனைகளை கருத்தில் கொண்டு நிலைமின்னியல் கணக்குகளில் தனித்துவ தேற்றத்தின் பயனை விவரிக்க.

1.11 லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை பயன்படுத்தி σ மின்னூட்ட அடர்த்தியும் α ஆரமும் முடிவிலா நீளமும் கொண்ட உருளையின் அச்சிலிருந்து r தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் மின்னழுத்தத்தை காண்க. உருளையின் மின்னழுத்தம் சுழி என்க.

1.12 வெளிப் புலப்பகுதியில், மின்புலப் பகுதியானது எப்போதும் அச்சிலேயே அமைந்திருந்தால் கீழ்க்கண்டவற்றை நிரூபிக்க.

(i) மின்னழுத்தம் y மற்றும் z ஆயத்தொலைவுகளைச் சார்ந்ததல்ல மற்றும்

(ii) புலமானது மாறிலி எனில் அப்பகுதியில் கட்டுறா மின்னூட்டம் இல்லை.

1.13 கோள ஆயத் தொலைவில் உள்ள பகுதியில் உள்ள மின்புலமானது $\vec{E} = \alpha r^3 \hat{r}$ எனில் (α) என்பது மாறிலி), மின்னூட்ட அடர்த்தியைக் கண்டுபிடி.

1.14 ஒரு நீண்ட உருளையானது அதன் அச்சிலிருந்து தொலைவிற்கேற்ற (r) தகவில் மின்னூட்டப் பகிர்வைக் கொண்டுள்ளது. உருளையின் ஆரம் எனில் நிலை மின்னியலில் காஸ் விதியைப் பயன் படுத்தி r > a மற்றும் r < a, இல் மின்புலத்தைக் காண்க.

1.15 அடிப்படைகளிலிருந்து பாய்சான் மற்றும் லாப்லாஸ் சமன்பாட்டை வருவி.

1.16 ஒரு புள்ளியில் மின்புலச் செறிவு என்பதை விளக்குக. ஒரு புள்ளியில் மின்புலச் செறிவு 10^4 NC^{-1} என்பதன் பொருள் யாது?

1.17 (a) $\varphi(r) = \dfrac{qe^{-r/\lambda}}{4\pi\varepsilon_0 r}$ என்பது ஊடகத்திலுள்ள மின்னழுத்தம் ஆகும். அதற்கான மின்புலத்தைப் பெறுக.

(b) மேலும் மேற்கண்ட மின்னழுத்தத்ததை உருவாக்கும் மின்னூட்ட அடர்த்தியையும் பெறுக.

1.18 R ஆரம் கொண்ட சீரான மின்னூட்ட அடர்த்தியுடன் ρ மின்னூட்டப்பட்ட கோளத்தின் மையத்திலிருந்து r (r > R) தொலைவில் மின்னழுத்தத்தைக் கணக்கிடுக.

1.19 ஒரு துகளின் மீது $\hat{i} + 4\hat{j} - 3\hat{k}$ மற்றும் $3\hat{i} + \hat{j} - \hat{k}$ என்ற இரு மாறா விசைகள் செயல்பட்டு $\hat{i} + 3\hat{j} + 3\hat{k}$ புள்ளியிலிருந்து $4\hat{i} + 5\hat{j} + \hat{k}$ புள்ளிக்கு நகர்ந்தால், விசையால் செய்யப்பட்ட மொத்த வேலையைக் கண்டுபிடி.

வகை II

1.20 மின்புலமானது மாறாதது அல்ல எனில் மின்னழுத்த ஆற்றல் பற்றிய கருத்து யாது?

1.21 மின்னழுத்த வேறுபாட்டுக்கும் மின்புல வலிமைக்கும் உள்ள தொடர்பை பற்றி விவாதிக்கவும். உதாரணம் தருக.

1.22 மின்னழுத்தம் மாறிலியாக உள்ள பகுதியில் மின்புல வலிமை என்ன?

1.23 இருபுள்ளிகட்கிடையே உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு சுழி எனில், அவ்விரு புள்ளிகட்கிடையே சோதனை மின்னூட்டத்தை நகர்த்த செய்யப்படும் வேலையும் சுழியாக இருக்குமா?

1.24 ஒரு மின் இருமுனையின் மின்புலத்தைக் கண்டறிய காஸ் விதி உதவுமா? ஏன்?

1.25 மின்புலமானது கடத்தியின் மேற்பரப்பிற்கு செங்குத்தாக இருக்கும் என்பதை நிரூபி.

1.26 a மற்றும் b ஆரம் கொண்ட ஓர் மையப்புள்ளி கொண்ட கோளங்கள் V_a மற்றும் V_b ஆகிய மின்னழுத்தங்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. இடைப்பட்ட பகுதி வெற்றிடம் எனில், பொருத்தமான நிலைமின்னழுத்தத்தை எழுதுக.

கணக்குகள்

1.1 வெளிப் புலத்தில் உள்ள மின்புலமானது $\vec{E} = 2\hat{i} - \hat{j} + \hat{k}$ எனில் YZ தளத்தின் பரப்பளவில் 40 அலகுகள் வழியே பாயும் மின்பாயத்தைக் காண்க. [விடை: 80 அலகு]

1.2 L நீளமுள்ள கடத்தும் தண்டிற்கு Q மின்னூட்டம் செலுத்தப்படுகிறது. சீரான மின்னூட்ட பகிர்வுக்காக, ஒரு முனையிலிருந்து a தூரத்தில் மின்புலச் செறிவைக் கணக்கிடுக. [விடை: $\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Q}{a(L+a)}$]

1.3 1 m பக்களவு கொண்ட சதுரத்தின் நான்கு மூலைகளில் உள்ள 1nC, 4 nC, -3 nC, மற்றும் -2 nC ஆகிய மின்னூட்டங்களால் சதுரத்தின் மையத்தில் உருவாகும் மின்னழுத்தத்தைக் காண்க.

1.4 a பக்கம் கொண்ட சமபக்க முக்கோணத்தின் மூலைகளில் q மின்னூட்டம் வைக்கப்பட்டுள்ளது. அமைப்பின் நிலை மின்னாற்றலைக் காண்க.

1.5 3 சமமான நேர்மின்னூட்டங்கள் a பக்களவு கொண்ட ஒரு சதுரத்தின் மூன்று மூலைகளில் வைக்கப் பட்டுள்ளது. சதுரத்தின் நான்காவது மூலையில் மின்புலச் செறிவின் திசையையும் எண்மதிப்பையும் கண்டறிக.

1.6 வெற்றிட இடைப்பகுதி a யும் மற்றும் b (a > b) ஆரமும் கொண்ட முடிவிலா நீளமுள்ள இரு உருளைகளைக் கருதுக. உள் உருளை தரையிடப்பட்டும் வெளி உருளை மின்னூட்ட அடர்த்தியும் கொண்டிருந்தால், நிலை மின்னழுத்தத்தைக் காண லாப்லாஸ் சமன்பாட்டைத் தீர்க்க.

1.7 $\vec{E} = \frac{1}{\varepsilon_0}\left(x\hat{i} + y\hat{j} - 2z\hat{k}\right)$, என்பது கொடுக்கப்பட்ட மின்புலம் எனில், மின்னூட்ட அடர்த்தியைக் காண்க.

1.8 (1, – 2, 1) புள்ளியில் $2x^2 + y^2 - 2z^2 = 100$க்கு செங்குத்தாக உள்ள அலகு வெக்டரை காண்க.

1.9 $\varphi = \alpha - \beta(x^2 + y^2) - \gamma \ln\sqrt{x^2 + y^2}$ என்பது கட்டுறா வெளியில் உள்ள நிலைமின்னழுத்தம் ஆகும். இங்கு α, β மற்றும் γ ஆகியவை மாறிலிகள். அப்பகுதியில் மின்னூட்ட அடர்த்தியைக் காண்க.

1.10 கோள சமச்சீர் மின்னூட்ட பகிர்வானது,

$$\rho(r) = \rho_0\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right) \text{ for } 0 \le r \le a,\ \rho_0 \text{ is a constant}$$

$$= 0 \qquad \text{for } r > a$$

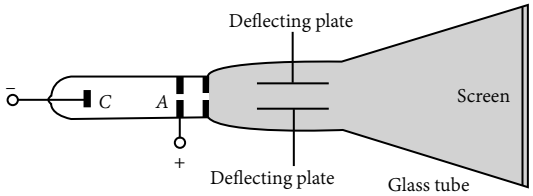
(i) மொத்த மின்னூட்டம், ii) உள்புறம் (r < a) மற்றும் (r > a) வெளிப்புறத்தில் மின்புலச் செறிவு மற்றும் மின்னழுத்தத்தை V கணக்கிடுக.

செய்முறை

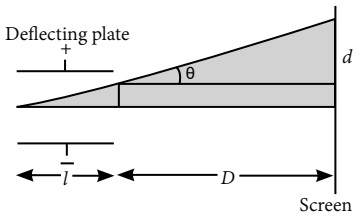
J. J. தாம்சன் முறையில் மின்னூட்ட எண்ணைக் (e/m) கணக்கிடுக

கோட்பாடு

மின்னூட்ட எண் என்பது எந்தவொரு அடிப்படைத் துகளுக்குமான தனித்துவ பண்பாகும். எலெக்ட்ரானின் மின்னூட்ட எண் என்பது ஓரலகு நிறையில் உள்ள மின்னூட்டத்தின் (e/m) அளவாகும். e/m ன் அலகு C/Kg. E மின்புலத்தால் விலக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான் திசைவேகத்தில் எதிர்மின் கதிர் குழாய் (CRT) வழியாக நகர்கிறது.



படம் (i)



படம் (ii)

திரையில் ஒளியின் படுகதிர் விலக்கமானது,

$$\frac{d}{D}=\frac{y}{l/2}=\frac{1}{2}\frac{eE}{m}\left(\frac{l}{v}\right)^2\frac{2}{l}=\frac{eEl}{mv^2}$$

அல்லது, $$\frac{e}{m}=\frac{v^2 d}{DlE} \qquad \ldots(i)$$

இந்த விளைவில் மின்புலமானது காந்தப் புலத்தால் B சமன் செய்யப்படுகிறதெனில்,

$$evB = eE$$

அல்லது, $$v=\frac{E}{B} \qquad \ldots(ii)$$

சமன். (i) மற்றும் (ii) லிருந்து,

$$\frac{e}{m}=\frac{E^2 d}{DlEB^2}=\frac{Ed}{DlB^2}$$

எனவே, $$E=\frac{V}{h}$$

ஆகையால், $$\frac{e}{m}=\frac{Vd}{hlDB^2} \qquad \ldots(iii)$$

இங்கு h என்பது இரு கிடைத்தள தட்டுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவு, l என்பது மின்புலத்தின் நீட்சி, V என்பது செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தம் மற்றும் D என்பது விலக்குத்தட்டிலிருந்து திரையின் தொலைவு ஆகும்.

பட்டை காந்தங்களால் உருவான காந்தப்புலத்தால் கிடைக்கப் பெற்ற கோண விலக்கம் θ எனில், காந்தங்களால் உண்டான புலம் புவி காந்த புலத்தின் H கிடைத்தளக் கூறுக்கு செங்குத்தாக உள்ளதெனில்,

$$B = H\tan\theta \qquad \ldots(iv)$$

சமன். (iii) மற்றும் (iv) லிருந்து,

$$\frac{e}{m}=\frac{d}{hlD}\frac{V}{H^2\tan^2\theta} \qquad \ldots(v)$$

வழிமுறை

1. முதலில் காந்தமானியின் ஊசியை காந்தப் புலத்திற்கு செங்குத்தாக வைக்க வேண்டும்.
2. CRT ன் விலக்கு தட்டுகளை கிடைத்தளமாக வைக்கவும். இந்த நிலையில் திரையின் மீதான ஒளிப் புள்ளி, செங்குத்து மின்னழுத்த செயல்பாட்டால் விலக்கமடையும்.
3. நேர் மற்றும் எதிர் மின்னழுத்தங்கள் விலக்குத் தட்டுகளுக்கு கொடுக்கப்பட்டு திரையின் மீது ஒளிப்புள்ளியின் சராசரி விலக்கத்தை அளவிடலாம்.
4. பட்டை காந்தத்தை காந்தமானியின் கரங்களின் மீது வைத்து மின்புலத்தால் உண்டான ஒளிப்புள்ளியின் விலக்கத்தை சமன் செய்யவேண்டும்.
5. செலுத்தப்படும் காந்தப் புல வலிமையை கணக்கிட CRT நீக்கப்பட்டு, காந்த ஊசி உள்ள வட்டுவை CRT இருந்த இடத்தின் மையத்தில் வைக்கவும். காந்த மானியின் அளவுகோல் மீது பட்டை காந்தத்தை பயன்படுத்தி காந்த ஊசியின் விளக்கத்தை அளவிடலாம்.

சோதனை தகவல்கள்

கொடுக்கப்பட்டவை: $H = 0.37 \times 10^{-4}$ T.

அட்டவணை 1: காந்தத்தின் வெவ்வேறு இடங்களுக்கு ஒளிப்புள்ளி மற்றும் காந்த ஊசியின் விலக்கத்தை கண்டறிதல்

வ. எண்	செங்குத்து மின்னழுத்தம்	ஒளிப்புள்ளியின் செங்குத்து விலக்கம் (cm)		மின்புலத்தை ஈடு செய்யும் காந்த இடம் (cm)		மானியில் காந்த ஊசியின் விலக்கம் (deg)		சராசரி θ (deg)	e/m in C/kg
		y_1	y_2	x_1	x_2	θ_1	θ_2		
1									
2									
3									
4									
5									

கணக்கீடு மற்றும் தீர்வு

சராசரி e/m = ……. C/kg

விவாதம்

1. காந்தமானியின் கரங்களின் அச்சை புவி காந்த புலத்திசைக்கு செங்குத்தாக வைக்கவும்.
2. அதிகபட்ச d மதிப்பை பெறுவதற்கு மின்னழுத்தத்தை மாற்றியமைக்க வேண்டும்.
3. துல்லியமான முடிவைப் பெறுவதற்கு ஊசியின் இரு புறமும் அளவிட வேண்டும்.

மேலும் அறிக

சார்லஸ் ஆகஸ்டினி டீ கூலும் தனது கூலும் விதியை அடிப்படை தத்துவங்களாக நிரூபித்து நிலைமின்னியலை துவக்கினார். கிரீக் மொழியில் அரக்கு என பொருள்படும் எலெக்ட்ரோன் என்ற வார்த்தையில் இருந்து மின்சாரம் என்ற வார்த்தை உருவானது. அரக்கு விளைவே நிலை மின்னியல் என்று அழைக்கப்படுகிறது.

செயல்பாடு

கவனி ''பொறி: அதிர்வு மற்றும் பிரமிப்பு மின்சாரத்தின் கதை'' மற்றும் இத்தலைப்பின் கீழ் வரும் கதையை சுருக்கமாக எழுதுக. மேலும், ''நிலை மின்னியல் மற்றும் மின்கலங்கள்'' மீதான அறிவுத் தொகுப்பின் மூலம் சோதனைகளை வடிவமைக்க.

ஆர்வமுள்ள உண்மைத் தகவல்கள்

ஓட்டோ வோன் கோரிக் (1601–1674) நிலை மின்னியற்றியை வடிவமைத்தார். இதில் ஒரு கந்தக பந்து மரத்தாலான தொட்டிலில் உருண்டு கொண்டிருக்கும் மற்றும் அது கையால் தேய்க்கப்படும். அப்பந்து

மிகுந்த அளவில் மின்னூட்டப்படும். அதன் மறுமுனை ஒரு மின்கடத்தா குச்சியில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. பெஞ்சமின் பிராங்கிளின், தனது பட்டம் சோதனையிலிருந்து தொடங்கி பல்வேறு பங்களிப்புகளை நிலை மின்னியல் புலத்திற்காக கொடுத்துள்ளார்.

ஒப்புமை

உராய்வு மின் விளைவினால் பூனை நகரும் போது அதன் மேற்பரப்பில் நிலைமின்னூட்டங்கள் உருவாகின்றன. (புகைப்பட உபயம்: விக்கிப்பீடியா).

வரலாறு

- **பெஞ்சமின் பிராங்கிளின் (1706–1790)**: இவர் இயற்பியல் விஞ்ஞானி. இவரின் 1740 ஆம் ஆண்டு ஆராய்ச்சி கள் ஒத்த காலகட்டத்தில் இருந்த அறிவியலை மாற்றின.
- **சார்லஸ் கூலும் (1736–1806)**: இவர் நிலை மின்னியல் மற்றும் காந்தவியலை அறிந்திருந்தார். இவர் பொருட் களின் வலிமையை பற்றி ஆராய்ந்தார். இந்த பிரிவில் இவர் தூலங்களின் மீது செயல்படும் விசையைப் பற்றி கண்டறிந்தார்.

காலநிலைகள்

600 BC கிரேக்கர்கள், தேய்க்கப்பட்ட அரக்குக்கு ஈர்ப்பு பண்பு உள்ளதை கண்டனர்.

1600 AD மின்பொருட்கள் விலக்கவும் ஈர்க்கவும் செய்யும்

1735 AD டு பாய்: இரு வகையான மின்சாரம் உள்ளது

1750 AD பிராங்க்ளின்: நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்கள்

1770 AD கூலும்: ''இருமடி எதிர்த்தகவு விதி''

1890 AD J.J. தாம்சன்: மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல் – ''எலெக்ட்ரான்''

பயன்பாடுகள் (நடைமுறை வாழ்வு/தொழிற்சாலைகள்)

இன்று ஒவ்வொரு துறையிலும் மின்சார கண்டுபிடிப்பை செயல்படுத்திக்கொண்டிருக்கிறோம். மிகுந்த சுவாரஸ்யமான பயணத்தில் 1705 ஆம் ஆண்டு நிலைமின்சாரம் உருவாகியது. பிரான்சிஸ் ஹூக்ஸ்பீ மற்றும் பெஞ்சமின் பிராங்க்ளினில் தொடங்கி தாமஸ் ஆல்வா எடிசன் மற்றும் நிகோலா டெஸ்லாவில் முடித்துள்ளோம்.

இன்று வெளிவந்த ஒரு மிக முக்கியமான சாதனம், மின்னணுவியல் மற்றும் மின் பொறியியல் துறை களில் பல பயன்பாடுகளைக் கொண்ட மின்தேக்கி ஆகும். நிலைமின் தூண்டல் நிகழ்வு ஒரு மின்–இயக்க திட்டத்திற்கு பயன்படுத்தப்படும் நிகழ்வு ஆகும். இத்தகைய தொழில்நுட்பங்களில், சிறிய அளவிலான

மின்னூட்டப்பட்ட துகள்கள் மேற்பரப்பில் படிய செய்யப்படுகின்றன அல்லது சேகரிக்கப்படுகின்றன. நிலைமின்னியல் பூச்சு முதல் இன்க்ஜெட் அச்சிடுதல் வரை நிறைய பயன்பாடுகள் உள்ளன.

வழக்கு ஆய்வு (சுற்றுச்சூழல் / நிலைத்தன்மை / சமூக / நெறிமுறை சிக்கல்கள்)

சில மேற்கோள்கள்

"மேலும் தினமும் எங்கள் சோதனைகளில் பொருட்களை நேர் மற்றும் எதிர் மின்மயமாக்குகிறோம். [நம் தத்துவஞானிகள் எங்களுக்கு சிறப்பாகக் கொடுக்கும் வரை இந்த சொற்கள் நாங்கள் பயன்படுத்தலாம்]. மின்மயமாக்க நேர் அல்லது எதிர் இதை விட அதிகமாகத் தெரிந்து கொள்ள வேண்டிய அவசியமில்லை, குழாய் அல்லது கோளத்தின் பகுதிகள், உடனடி நேரத்தில் தேய்க்கப்பட்டவை. அவை மின் பொறியை ஈர்க்கும்; மெல்லிய தேய்ப்பிலிருந்து அதை எடுத்துக் கொள்ளும்; அதே பாகங்கள் மீது உடனடியாக உராய்வு நிறுத்தப்படுவதால், அவைகள் பெற்ற நெருப்பை, வெப்பம் குறைவான எந்தவொரு பொருளுக்கும் கொடுக்கும்". **– பெஞ்சமின் பிராங்கிளின்**

விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள்

சுவாரஸ்யமான கண்டுபிடிப்பைக் கொண்ட ஒரு ஆரம்பகால ஆராய்ச்சிக் கட்டுரையின் தலைப்பு மற்றும் சுருக்கம் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது:

மேற்கோள்: கடிதம் 25 மே 1747. ஐ. பெர்னார்ட் கோஹன், *Franklin and Newton: An Enquiry into Speculative Newtonian Experimental Science and Franklin's Work in Electricity as an Example Thereof* (1956), 439 ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

"கறுப்பு இடி–மேகத்தின் நெருப்பை"மின்சாரம்" என்று நாங்கள் அழைக்கிறோம், அதைப் பற்றி கற்றறிந்த சொற்பொழிவு, அதைப் போன்றவற்றை கண்ணாடி மற்றும் பட்டு ஆகியவற்றிலிருந்து அழைக்கிறோம்: ஆனால் அது என்ன? அதை உருவாக்கியது எது? அது எங்கிருந்து வருகிறது? அது எங்கே போகிறது?" **– தாமஸ் கார்லைல்**

From history of Electrical Engineering II: 18-th Century Electrostatic Experiments and a First Current Source Creation

Alexander G. Mikerov
IEEE Senior Member
Control Department
St.Petersburg State Electrotechnical University "LETI"
5 Prof. Popov str., St.Petersburg, 197376, Russia
a.mikerov@ieee.org

Abstract **— The paper covers the electrical science development from the middle of the 18-th century to the beginning of the 19-th century. It overviews main inventions made by P. Mushenbroek (Leiden jar), B. Franklin (lightning rod), Ch. Coulomb (Coulomb's balance), A. Volta (Volta's cell, condenser, electrometer) and his followers. It clarified the nature of electricity, created a new electrical discipline – electrostatic and also the sound background for the following important discovery of 19-th century – electromagnetism.**

Index Terms **— Electrostatics, Leiden jar, lightning rod, Coulomb's balance Volta's cell, History of electrical engineering.**

Pieter van Musschenbroek (1692 – 1761).

மேற்கோள்: கார்லைல் செய்யுள் திரட்டு (1876), 230.

"முகம் அல்லது கையின் பின்புறம் தொடுதலால் மிகவும் பலவீனமடையாத உணர்திறன் கொண்ட உடலின் மற்றொரு பகுதி மின்மயமாக்கப்பட்ட கடத்தி அருகே கொண்டு வரப்படும்போது, ஒரு உணர்வை உணரலாம், அது ஒரு தென்றல், ஒரு லேசான மூச்சு, அல்லது ஒரு சிலந்தி வலையின் ஸ்பரிசம்."

– பியர் பெர்த்தோலன்

மேற்கோள்: லூயிஸ் துலியூவின் சுயசரிதை கட்டுரையில், சார்லஸ் கோல்ஸ்டன் கில்லிஸ்பியில், *Dictionary of Scientific Biography* (1980), தொகுதி. 2, 83.

நிலை மின்தூண்டல் என்ற கருத்து கடந்த காலத்தில் உயர் மின்னழுத்த இயற்றிகளை உருவாக்க பயன்படுத்தப்பட்டது. சமீபத்திய ஆண்டுகளில், ஊசலாடும் தொலைதூர இருமுனைகளுக்கு இடையில் மின்னியல் தூண்டலின் அடிப்படையில் புதிய கம்பியில்லா மின் பரிமாற்ற தொழில்நுட்பம் உருவாக்கப் பட்டுள்ளது.

மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள்

1. David Griffiths, Introduction to Electrodynamics, Pearson, 4th Edition, 2012.
2. David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, Halliday and Resnick's Principles of Physics, 11th Edition, Global Edition, 2020.
3. Wayne Saslow, Electricity, Magnetism and Light, Elsevier Science Publishing Co Inc, 1st Edition, 2002.
4. https://nptel.ac.in/courses/115/101/115101005/
5. https://nptel.ac.in/courses/122/101/122101002/
6. http://teacher.pas.rochester.edu/PHY217/LectureNotes/Chapter2/LectureNotesChapter2.pdf
7. http://assets.vmou.ac.in/MPH04.pdf

2 நேரியல் மின்காப்பு ஊடகத்தில் நிலைமின்னியல்

அலகு குறிப்பீடு

இந்த அலகு பின்வரும் தலைப்புகளை விரிவாக விவாதிக்கிறது:

- மின்காப்பான்;
- மின்காப்பு முனைவாக்கம்;
- முனைவாக்கம் மற்றும் மின்னூட்ட அடர்த்தி;
- மின்காப்பானின் வகைப்பாடுகள்;
- பல்வேறு வகையான முனைவாக்கம்: எலெக்ட்ரானிய, அயனி, ஒருங்கமை மற்றும் வெளி மின்னூட்ட முனைவாக்கம்;
- D, E மற்றும் P இடையேயான தொடர்பு;
- சமன்பாட்டுத் தொடர்புகள்;
- மாறுதிசை மின்புலத்தில் மின்காப்பான்களின் பண்புகள் மற்றும் மின்காப்பு இழப்பு.

தலைப்புகளின் நடைமுறை பயன்பாடுகள் மேலும் ஆர்வத்தையும் படைப்பாற்றலையும் உருவாக்கு வதற்கும் கணக்குகளை தீர்க்கும் திறனை மேம்படுத்துவதற்கும் விவாதிக்கப்படுகின்றன.

ப்ளூமின் வகைபிரிப்பின் குறைந்த மற்றும் உயர் வரிசையைத் தொடர்ந்து இரண்டு பிரிவுகளில் குறிக்கப்பட்ட பல தேர்வு கேள்விகள் மற்றும் குறுகிய, நீண்ட பதில் வகைகளின் கேள்விகள், பல எண் கணக்குகளின் பணிகள், குறிப்புகளின் பட்டியல் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட வாசிப்புகள் ஆகியவை இவ்வலகில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அதனால் ஆர்வத்துடன் ஒருவர் பயிற்சி செய்ய முடியும். ஆர்வமுள்ள பல்வேறு தலைப்புகளில் கூடுதல் தகவல்களைப் பெறுவதற்கு சில QR குறியீடுகள் வெவ்வேறு பிரிவுகளில் வழங்கப்பட்டுள்ளன. அவை தொடர்புடைய அறிவுக்கு ஸ்கேன் செய்யலாம்.

தொடர்புடைய நடைமுறைக்குப் பிறகு, உள்ளடக்கத்தின் அடிப்படையில், ''மேலும் அறிக'' பிரிவு உள்ளது. இந்த பகுதி நியாயமான முறையில் வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது, இதனால் இந்த பகுதியில் வழங்கப்பட்ட துணை தகவல்கள் புத்தகத்தின் பயனர்களுக்கு பயனளிக்கும். இந்த பிரிவு முக்கியமாக ஆரம்ப செயல்பாடு, சில சுவாரஸ்யமான உண்மைகளின் எடுத்துக்காட்டுகள், ஒப்புமை, முக்கிய அவதானிப்புகள் மற்றும் கண்டுபிடிப்புகளை மையமாகக் கொண்ட பொருளின் வளர்ச்சியின் வரலாறு, சம்பந்தப்பட்ட தலைப்புகளின் வளர்ச்சியிலிருந்து தொடங்கி சமீபத்திய காலம் வரையிலான காலக்கெடு, பொருள் சார்ந்த பயன்பாடுகள் எங்கள் அன்றாட நிஜ வாழ்க்கை அல்லது / மற்றும் தொழில்துறை பயன்பாடு களுக்கான பல்வேறு அம்சங்கள், சுற்றுச்சூழல், நிலைத்தன்மை, சமூக மற்றும் நெறிமுறை சிக்கல்கள் தொடர்பான வழக்கு ஆய்வு எதுவாக இருந்தாலும் பொருந்தும், இறுதியாக அலகு பற்றிய விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பகுப்பாய்வு

நேரியல் மின்காப்பு ஊடகத்தில் நிலை மின்னியல் என்ற இவ்வலகானது, நம் மாணவர்கட்கு மின்காப்பான்கள் அதன் முனைவாக்கம் மற்றும் மின்னூட்ட அடர்த்தியுடன் மின்காப்பு பொருட்கள் மற்றும் மின்முனைவாக்கத்தின் வகைப்பாடுகளைப் பற்றி தெளிவாக அறிந்துகொள்ள உதவுகிறது.

வழக்கமாக உயர் மின்முனைவாக்கம் கொண்ட பொருட்களைக் குறிக்க மின்காப்பான் என்ற சொல்லை பயன்படுத்துகிறோம். சார்பு விடுதிறன் என்ற சொல்லும் இத்துடன் இணைச் சொல்லாக பயன் படுத்தப்படுகிறது. மின்னோட்டத்தை தடை செய்யும் பொருட்களை மின்கடத்தா பொருட்கள் என்றும் மாறாக, முனைவாக்கல் மூலம் மின்னாற்றலை சேமிக்கும் திறனுள்ள பொருட்கள் மின்காப்பான்கள் என்பதை முக்கியமாக குறிப்பிட வேண்டும். மின்தேக்கியின் உலோகத் தகடுகளுக்கிடையே வைக்கப் பட்டுள்ள மின்கடத்தாப் பொருட்கள், மின்காப்பான்களின் மிகவும் பிரசித்தி பெற்ற உதாரணம். மின்புலத்தில் மின்காப்பான்களின் முனைவாக்கத்தினால் மேற்பரப்பு மின்னூட்டங்கள் கூடுகிறது. இது, மின்புல வலிமையைப் பொறுத்தே அமையும்.

முன்–தேவைகள்

- **கணிதவியல்:** வெக்டர் நுண்கணிதம் (வகுப்பு XII)
- நிலைமின்னியல் (வகுப்பு XII)

அலகு வெளிப்பாடுகள்

அலகின் வெளிப்பாட்டு பட்டியல் பின்வருமாறு:

U2-O1: மின்காப்பான், மின்காப்பு முனைவாக்கம், முனைவாக்குத் திறன், மற்றும் மின்னூட்ட அடர்த்தியை விளக்குக.

U2-O2: மின்காப்பானின் வகையை விளக்குக

U2-O3: பல்வேறு வகையான முனைவாக்கத்தை விளக்குக: எலெக்ட்ரானிய, அயனி, ஒருங்கமை மற்றும் மின்னூட்ட இடைவெளி முனைவாக்கம்

U2-O4: D, E மற்றும் P க்கிடையேயான தொடர்பை விளக்குக

U2-O5: சமன்பாட்டுத் தொடர்புகளை விளக்குக

U2-O6: மாறுதிசை மின்புலத்தில் மின்காப்பானின் நடத்தைகளை கண்டறிக.

அலகு -2 விளைவு	எதிர்பார்க்கப்படும் பாடநெறி நடவடிக்கைகள் (1- பலவீனமான தொடர்பு; 2- நடுத்தர தொடர்பு; 3- வலுவான தொடர்பு)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U2-O1	3	1	–	1	–	–
U2-O2	3	–	–	–	–	–
U2-O3	3	–	–	–	–	–
U2-O4	2	1	–	1	–	1
U2-O5	2	–	–	1	–	–
U2-O6	1	1	–	–	–	–

2.1 அறிமுகம்

குறைந்த மின் புலமாக இருந்தாலும் கடத்திகளில் உள்ள கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் நகரும். ஆனால் மற்றொரு வகையான பொருட்களான மின் காப்பான் அல்லது மின்கடத்தா பொருட்களில் இவ்வகையான கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் கிடையாது. இவ்வகை பொருட்களில் எலக்ட்ரான்கள், அணுக்கள் மற்றும் மூலக் கூறுகளுடன் மிக வலிமையான பிணைப்பால் பிணைக்கப்பட்டுள்ளது. எனவே வெட்டு மின்னழுத்தத்திற்கு குறைவான மின்புலத்தால் பிணைப்பை கட்டவிழ்க்க முடிவதில்லை. ஆகையால், இவை கடத்திகளிலிருந்து மாறுபட்ட பின்விளைவை கொண்டுள்ளதால், பல்வேறு பொறியியல் பயன்பாடுகளுக்கு உதவுகிறது. ஆகையால் கடத்திகளைப் போன்றே மின்காப்பான்களைப் பற்றி அறிதலும் மிகவும் முக்கியமாகும்.

2.2 மின்காப்பான்கள்

அணுவுடன் வலுவான பிணைப்பில் உள்ள எலக்ட்ரான்களைக் கொண்ட பொருட்களை மின் காப்பான்கள் என்கிறோம். இவ்வகையான பொருட்களில் மின்னாற்றலை கடத்துவதற்கான கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் கிடையாது. எனவே இவை மின்கடத்தா பொருட்களாக செயல்படுகின்றன. மின்புலத்தில் இம்மின்காப்பு அயனிகள் மின்முனைவாக்கம் அடைகின்றன. இவ்வகை பொருட்கள் மிக நீண்ட நேரத்திற்கு நிலைமின்புலத்தை வழங்குவதால், இவை மின்னணு சாதனங்களில் பெருமளவு உபயோகப் படுத்தப்படுகின்றன. மின்காப்பான்களின் மின்தடை எண்ணானது $10^6\,\Omega m - 10^{16}\,\Omega m$ என்ற அளவிலேயே இருக்கும். பொதுவாக மின்காப்பு பொருட்கள் மின்காப்பு மாறிலி என்ற காரணியால் வகைப்படுத்தப்படு கிறது. மின்காப்பு மாறிலி என்பது மின்காப்பு ஊடகத்தின் விடுதிறனுக்கும் வெற்றிடத்தின் விடுதிறனுக்கும் இடையே உள்ள தகவாகும். இது சார்பு விடுதிறன் என்றும் அறியப்படுகிறது. இது ஒரு பரிமாணமற்ற அளவாகும். இதைக் கணித முறையின்படி, கீழ்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$k = \varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(2.1)$$

இங்கு ε என்பது மின்காப்பு ஊடகத்தின் விடுதிறன் மற்றும் ε_0 என்பது வெற்றிடத்தின் விடுதிறன். SI அலகில் $\varepsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}\ \mathrm{Fm^{-1}}$.

மாறாக, மின்காப்பு மாறிலி என்பது மின்காப்பு பொருட்களால் நிரப்பப்பட்ட மின்தேக்கியின் மின்தேக்கு திறனுக்கும் $\left(C = \varepsilon A / d\right)$ வெற்றிடமாக விடப்பட்ட மின்தேக்கியின் மின்தேக்கு திறனுக்கும் $\left(C_0 = \varepsilon_0 A / d\right)$. உள்ள தகவே ஆகும்.

ஆகையால், $k = \varepsilon_r = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \dfrac{C}{C_0}$ …(2.2)

காற்று, மெழுகு, கண்ணாடி, மைக்கா, காகிதம் முதலியன மின்காப்பு பொருட்களுக்கு எடுத்துக் காட்டுகளாகும்.

எடுத்துக்காட்டு 2.1

எடுத்துக்காட்டு 2.1: ஒரு காற்று மின்தேக்கி ஆனது, 250V மின்னழுத்தத்தை மின்னூட்டமாக கொடுக்கிறது அதே மின்தேக்கி ஆனது மின்காப்பு பொருட்களால் செருகப்பட்டிருக்கும் போது 50V மின்னழுத்தமாக குறைகிறது எனில், மின்காப்பு மாறிலி என்ன?

தீர்வு:

ஊடகத்தின் மின்காப்பு மாறிலி ஆனது, $k = \frac{C_2}{C_1}$

மீண்டும், $C \propto \frac{1}{V}$

எனவே, $k = \frac{V_1}{V_2} = \frac{250}{50} = 5.$

எடுத்துக்காட்டு 2.2

எடுத்துக்காட்டு 2.2: 5 mm இடைவெளியும், 0.0005 m^2 பரப்பளவும் கொண்ட இணைத்தட்டு மின்தேக்கி ஆனது 50V மின்னழுத்தத்திற்கு இடையே 0.1 nC மின்னூட்டம் கொண்டுள்ளது. எனில், மின்காப்பு மாறிலியைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

கொடுக்கப்பட்டவை, தட்டின் பரப்பு A = 0.0005m^2, தட்டுக்களின் இடைவெளி d = 5 mm

$= 5 \times 10^{-3}$ m , மின்னழுத்தம் V = 50V மற்றும் மின்னூட்டம் Q = 0.1 nC = 0.1×10^{-9} C.

எனவே, ஊடகத்தின் மின்காப்பு மாறிலி ஆனது,

$$k = \frac{Cd}{\varepsilon_0 A} = \frac{Qd}{\varepsilon_0 AV}$$

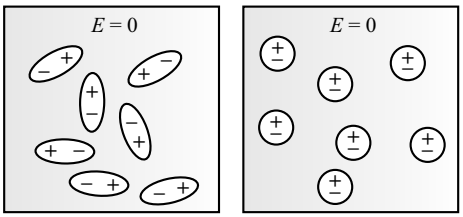
$$= \frac{0.1 \times 10^{-9} \times 5 \times 10^{-3}}{8.854 \times 10^{-12} \times 0.0005 \times 50}$$

$$= \frac{0.5}{8.854 \times 0.025} = 2.26.$$

2.2.1 வகைப்பாடுகள்

பருப்பொருள் ஊடகம் ஒன்றானது, எண்ணற்ற மூலக்கூறுகளையும் அதன் அணுக்கருக்களும் அவற்றைச் சுற்றி எலக்ட்ரான்களும் இருக்கும். நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்களுக்கு இடையேயான ஈர்ப்பு மையத்தைப் பொறுத்து மின்காப்பான்கள் முனைவுள்ள மற்றும் முனைவற்ற மின்காப்பான்கள் என இருவகையாக பிரிக்கப்படுகின்றன. அவை முனைவுள்ள மற்றும் முனைவற்ற மின்காப்பான்கள்.

முனைவுள்ள மின்காப்பான்கள்: நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்களுக்கு இடையேயான ஈர்ப்பு மையம் குறிப்பிட்ட தொலைவுக்கு பிரிந்திருந்தால் அவை முனைவுள்ள மின்காப்பு பொருட்கள் எனப்படும். இவை உள்ளார்ந்த மின்இருமுனை திருப்புத் திறனை கொண்டிருக்கும். எனவே முனைவுள்ள மூலக்கூறு நிலைத்த இருமுனை திருப்புத்திறனைக் கொண்டிருக்கும்.



(a) (b)

படம் 2.1: (a) துருவ மற்றும் (b) துருவமற்ற மின்காப்பான்

H_2O, HCl போன்றவை முனைவுள்ள மின்காப்பு பொருட்களுக்கான உதாரணங்கள்.

சாதாரண நிலையில் மின்காப்பு மூலக்கூறுகளின் மின்னூட்டங்கள் (நேர் மற்றும் எதிர்) சீரற்ற முறையில் அமைந்து [படம். 2.1 (a)] ஒன்றுக்கொன்று ஈடு செய்து கொள்ளும். இதனால் நிலைத்த இருமுனை திருப்புத்திறன் கொண்டிருந்தாலும், தொகுபயன் மதிப்பு சுழி ஆகும். தனிமைப்படுத்தப்பட்ட அணுவில், நேர் மின்னூட்டங்களின் ஈர்ப்பு மையம் எலக்ட்ரான் கூட்டத்தின் ஈர்ப்பு மையத்துடன் ஒன்றிணைந்து காணப்படும். எனவே, மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் சுழி ஆகும். ஆகையால் தனித்த அணுவானது நிலைத்த மின்இரு முனையை கொண்டிருக்க முடியாது.

முனைவற்ற மின் காப்பான்: நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்களின் ஈர்ப்பு மையம் ஒன்றிணைந்து இருந்தால் அவற்றை முனைவற்ற மின்காப்பான் எனலாம். மேலும், மின்புலம் அற்ற நிலையில் இவற்றின் மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் சுழி ஆகும். இவ்வகை மூலக்கூறுகள் சீரான அமைப்பும் நிலையற்ற மின் இருமுனைத் திருப்புத்திறனையும் கொண்டிருக்கும் [படம். 2.1 (b)].

H_2, O_2, N_2, He, Ne, Ar, ஆகியன முனைவற்ற மின்காப்பு பொருட்களாகும்.

முனைவுள்ள மற்றும் முனைவற்ற மின்காப்பான்களுக்கு இடையேயான வேறுபாடுகள் கீழ்க்கண்டவாறு கொடுக்கப்பட்டுள்ளது:

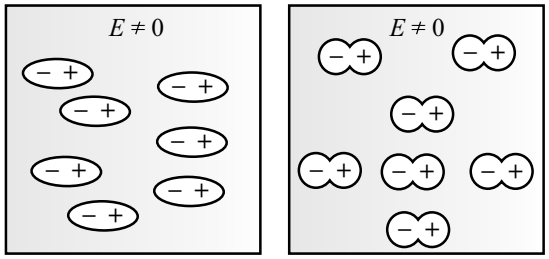
முனைவுள்ள மின்காப்பான்கள்	முனைவற்ற மின்காப்பான்கள்
(i) மின்புலம் அற்ற நிலையிலும் நிலைத்த இருமுனை திருப்புத்திறனை கொண்டிருக்கும்	(i) மின்புலம் அற்ற நிலையில் நிலைத்த இருமுனை திருப்புத்திறனைக் கொண்டிருக்காது.
(ii) முனைவாக்கம் வெப்பநிலையைப் பொறுத்தது.	(ii) முனைவாக்கம் வெப்பநிலையைப் பொறுத்தது அல்ல.
(iii) எடுத்துக்காட்டு: HCl, CO, H_2O முதலியன.	(iii) எடுத்துக்காட்டு: O_2, N_2, H_2 ஆகியன.

2.3 மின்காப்பு முனைவாக்கல்

மின்காப்பு பொருட்களில், வெளி வட்டப்பாதை எலக்ட்ரான்கள், குறிப்பிட்ட விசையுடன் அணுக்கரு உடன் நன்கு பிணைக்கப்பட்டுள்ளன. எனவே, அவை கட்டுறா மின்னூட்டங்கள் எனப்படுகின்றன. வெளிப்புற மின்புலத்தால் கட்டுறு மின்னூட்டங்கள் நிலைமின் விசையை உணர்கின்றன. முனைவுள்ள மின்காப்பானில் உள்ள மூலக்கூறுகள் திருப்பு விசையை உணர்ந்து மின்புலத்தின் திசையை நோக்கி அமையும் [படம் 2.2(a)].

நிகர இருமுனை திருப்புத்திறன் பெற்றிருந்தால், அவை முனைவாக்கல் அடைந்தது எனலாம். மின்புலமற்ற நிலையில் நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்கள் அருகருகில் அமைந்து மொத்த விளைவும் நடுநிலையாக இருக்கும் [படம் 2.2(b)]. ஆனால், வெளிப்புற மின்புலம் செயல்படும்போது முனைவற்ற

மின்காப்பானில் நேர் மின்னூட்டம் புலத்தின் திசையிலும் எதிர் மின்னூட்டம் ஆனது புலத்திற்கு எதிர் திசையிலும் நகர்ந்து மின் இருமுனையை உருவாக்கும் [படம் 2.2(b)]. எனவே, முனை வற்ற மின்காப்பான் பொருட்கள் தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்பு திறனைப் பெற்று வெளிப்புற மின்புலத் திசையில் அமையும் இந்நிகழ்வே முனைவாக்கம் எனப்படும். குறிப்பாக, முனைவற்ற மின்காப்பு பொருட்களின் மின்காப்பு முனைவாக்கம் என்று பெயர்.



படம் 2.2: மின்புலத்தில் (a) துருவ மற்றும் (b) துருவமற்ற மின்காப்பான்கள்

2.4 மின் இருமுனை திருப்புத்திறன்

எந்த ஒரு மின்காப்பான்கள் மீதும் வெளிப்புற மின்புலம் செயல்படும்போதும், சமமாகவும் எதிரெதிர் திசையிலும் நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்கள் தனித்தனியாக பிரிந்து மின் இருமுனையை உருவாக்கும். அமைப்பின் மின் இருமுனைத் திருப்புத்திறன் என்பது நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்களுக்கு இடைப்பட்ட தொலைவைப் பொறுத்தது. அதாவது, ஏதேனும் ஒரு மின்னூட்டத்தின் (நேர் மற்றும் எதிர்) எண்மதிப்பிற்கும் அவற்றுக்கிடையேயான தொலைவிற்கும் உள்ள பெருக்குத் தொகையே மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆகும்.

இதன்படி தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது,

$$\vec{p} = q\vec{d} \qquad \ldots(2.3)$$

இது ஒரு வெக்டர் அளவாகும். இதன் திசையும் எதிர் மின்னோட்டத்திலிருந்து நேர் மின்னோட்டத் திசையை நோக்கி இருக்கும். இதைக் கொண்டே ஒட்டுமொத்த முனைவாக்கத்தையும் அளவிடலாம்.

மின் இருமுனை திருப்புத்திறனின் நடைமுறை அலகு debye ஆகும்.

$$1\text{debye} = 10^{-8}\,\text{statC-cm} = 3.33 \times 10^{-30}\,\text{C-m.}$$

2.5 மின் முனைவாக்க வெக்டர்

ஓரலகு கன அளவுள்ள மின்காப்பு பொருளின் மின் இருமுனை திருப்புத்திறனே மின் முனைவாக்க வெக்டர் எனப்படும். மாறாக, ஓரலகு கன அளவுள்ள மின்காப்பு பொருட்களில் தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் என்றும், அல்லது ஓரலகு பரப்பில் தூண்டப்பட்ட மின்னூட்டம் என்றும் மின் முனைவாக்க வெக்டரை அழைக்கலாம். இது ஒரு வெக்டர் அளவாகும். இதன் திசை எதிர் மின்னூட்டத்திலிருந்து நேர் மின்னூட்டத்தை நோக்கியிருக்கும்.

மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட ஓரலகு கன அளவில் உள்ள மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை n மற்றும் மின் இருமுனை திருப்புதிறன் கூறு $\vec{p}$ எனில் மின் முனைவாக்க வெக்டர் ஆனது,

$$\vec{P} = n\vec{p} \qquad \ldots(2.4)$$

தொடர்ந்து மின் முனைவாக்கம் பெறும் மின்காப்பானை கருதினால், மீச்சிறு கன அளவு தொகுதி ΔV உடன் இணைந்த மின்முனைவாக்க வெக்டரை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\vec{P} = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta V} = \frac{d\vec{p}}{dV} \qquad \ldots(2.5)$$

2.6 மின் ஏற்புத்திறன்

ஒரு மின்காப்பு பொருளின் மீது வெளிப்புற மின்புலம் செயல்படும்போது மூலக்கூறுகள் மின்புலத்தின் திசையில் ஒருங்கமைந்து முனைவாக்கம் அடையும். நேரியல் ஒருபடித்தான மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின் முனைவாக்க மதிப்பு மின்புலத்திற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்,

$$\vec{P} \propto \vec{E}$$

அல்லது, $$\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E} \qquad \ldots(2.6)$$

இங்கு χ என்பது மின்காப்பு ஊடகத்தின் ஏற்புத்திறன் மற்றும் ε_0 என்பது வெற்றிடத்தின் விடுதிறன் ஆகும். இது ஒரு பரிமாணமற்ற நேர்தகவு மாறிலி ஆகும். மேலும், இது வெளிப்புற மின்புலத்தில் மின்காப்பு பொருட்களின் முனைவாக்கத்தின் படித்தரத்தைக் குறிக்கிறது. சமன். (2.6) லிருந்து,

$$\chi = \frac{P}{\varepsilon_0 E} \qquad \ldots(2.7)$$

என எழுதலாம். ஆக, உண்மையில் இது ஓரலகு கன அளவிற்கும் ஓரலகு மின்புலத்திற்கும் இடையேயான மின் முனைவாக்கத்தின் தகவே ஆகும். குறிப்பிட்ட மின்காப்பு பொருட்களுக்கு இது நேர் மதிப்பு மாறிலி ஆகும்.

2.7 அணு முனைவாக்கத் திறன்

வெளிப்புற மின்புலமானது, மின்காப்பு பொருட்களின் மீது செயல்படும் போது மூலக்கூறுகள் திசையில் அமைந்து முனைவாக்கம் அடையும். மின்காப்பானில் உள்ள அணுவின் நிகர தூண்டப்பட்ட இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது வெளிப்புற மின்புலத்திற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

$$\vec{P} \propto \vec{E}$$

அல்லது, $$\vec{p} = \alpha \vec{E} \qquad \ldots(2.8)$$

இங்கு α என்பது நேர்தகவு மாறிலி ஆகும். இதுவே மின்காப்பு பொருட்களின் அணு மின் முனைவாக்கத் திறன் எனப்படும். மேலும், ஒரு மின்புலத்தில் அணுவினுள் தூண்டப்படும் இருமுனை திருப்புத்திறன் எனவும் வரையறுக்கலாம். அடிப்படையில், ஓரலகு மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்காப்பு ஊடகத்தில் உள்ள அணுவில் தூண்டப்படும் மின் இருமுனையின் திருப்புத்திறன் ஆகும்
கணித முறையின்படி,

$$\alpha = \frac{p}{E} \qquad \ldots(2.9)$$

அணு முனைவாக்கத்திறனின் SI அலகு Fm^2 .

அணு முனைவாக்கத்திறனின் வடிவில் மின் முனைவாக்க வெக்டரை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\vec{P} = n\vec{p} = n\alpha\vec{E} \qquad \ldots(2.10)$$

ஆகையால் மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின் ஏற்புத்திறனானது,

$$\chi = \frac{P}{\varepsilon_0 E} = \frac{n\alpha}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(2.11)$$

சமன். (2.11) மின் ஏற்புத்திறனுக்கும் முனைவாக்கத் திறனுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பை தருகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 2.3

எடுத்துக்காட்டு 2.3: 6000 Vcm^{-1} மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள ஓரலகு கன அளவுள்ள He வாயுவில் தூண்டப்பட்ட இருமுனை திருப்புத்திறனைக் கணக்கிடுக. He அணுவின் முனைவாக்கத் திறன் 0.18×10^{-40} Fm^2 மற்றும் He வாயுவின் அடர்த்தி 2.6×10^{25} atoms/m^3.

தீர்வு:

இங்கு He வாயுவின் அணு முனைவாக்கத் திறன் = $\alpha = 0.18 \times 10^{-40}$ Fm^2, He வாயுவின் அடர்த்தி = $N = 2.6 \times 10^{25}$ atoms/m^3 மற்றும் மின்புலம் = $E = 6000$ $Vcm^{-1} = 6 \times 10^5$ Vm^{-1}. எனவே, ஓரலகு கன அளவுள்ள He வாயுவின் தூண்டப்பட்ட வாயுவின் தூண்டப்பட்ட இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது,

$$p = N\alpha E = 2.6 \times 10^{25} \times 0.18 \times 10^{-40} \times 6 \times 10^5$$

அல்லது, $$p = 2.81 \times 10^{-10}\,\mathrm{C/m^2}.$$

எடுத்துக்காட்டு 2.4

எடுத்துக்காட்டு 2.4: 4×10^{-4} ஏற்பு திறன் கொண்ட வாயுவின் முனைவாக்கத் திறனை கணக்கிடுக. வாயுவின் அடர்த்தி மற்றும் மூலக்கூறு எடை ஆகியவை முறையே 1.7 kg/m^3 மற்றும் 49 ஆகும்.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டவை, வாயுவின் ஏற்புத்திறன் = $x = 4 \times 10^{-4}$, அடர்த்தி = 1.7 kg/m^3 மற்றும் மூலக்கூறு எடை = 49.

எனவே ஓரலகு கன அளவில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை,

$$n = \frac{\text{Avogadro number} \times \text{density}}{\text{Atomic weight}} = \frac{6.02 \times 10^{26} \times 1.7}{49} = 2.089 \times 10^{25}.$$

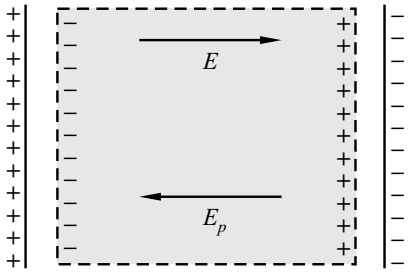
எனவே, வாயுவின் முனைவாக்கத் திறன்,

$$\alpha = \frac{\varepsilon_0 \chi}{n} = \frac{8.854 \times 10^{-12} \times 4 \times 10^{-4}}{2.089 \times 10^{25}}$$

$$= 1.695 \times 10^{-40}\,\mathrm{Fm^2}.$$

2.8 மின்புலத்தில் உள்ள மின்காப்பு பொருள்

மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்காப்பு பொருளின் பண்பை பற்றி அறியலாம். இதற்காக சீரான மின்புலத்தில் உள்ள இணைத்தட்டு மின்தேக்கியைக் கருதலாம். இதனால், ஒரு தட்டு நேர் மின்னூட்டமும், மறு தட்டு எதிர் மின்னோட்டமும் பெறும் [படம் 2.3].



படம் 2.3: மின்புலத்தில் மின்காப்பான் பொருள்

இப்போது, மின்தேக்கியின் தட்டுகளுக்கு இடையே ஒரு மின்காப்பு பொருளை வைத்தால், அதன் எதிர் மின்னூட்டங்கள் நேர் மின்னூட்டப்பட்ட தட்டை நோக்கியும்; நேர் மின்னோட்டம் எதிர் மின்னூட்டப்பட்ட தட்டை நோக்கியும் சிறிது நகரும். எனவே, மின்காப்பு பட்டையின் மின்முனைவாக்கம் ஆகும்.

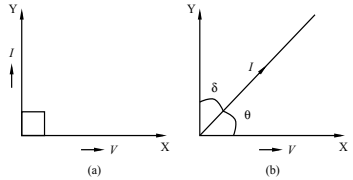
இம்முனைவாக்கலினால் உண்டான இருமுனையினால் மின்காப்பு பட்டையின் மின்புல திசைக்கு எதிராக ஒரு மின்புலம் உருவாகும். வெளிப்புற மின்புலம் E எனவும் மின்காப்பினுள் உள்ள மின்னூட்டங்களால் உண்டான மின்புலம் E_p எனவும் கொண்டால், மின்காப்பு பொருளினுள் உண்டான தொகுபயன் மின்புலம் ஆனது,

$$\overrightarrow{E'} = \vec{E} - \overrightarrow{E_P} \qquad \ldots(2.12)$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் இருந்து, சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்காப்புப் பொருளில் உண்டான முனைவாக்கத்தால் அதன் மின்புலம் குறையும் எனத் தெளிவாகிறது.

2.9 மாறுதிசை மின்புலத்தின் கீழுள்ள மின்காப்பான்

மாறுதிசை மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்காப்பு பொருளினுள் இரு முனைகள் புலத்தின் திசையால் தொடர்ந்து முனைவாக்கம் அடைவதால் உள்ளீடு ஆற்றலில் பகுதி அளவு இழப்பு ஏற்படும். இவ்வாற்றல் இழப்பானது மின்காப்பு இழப்பு எனப்படும். இவ்விழப்பானது மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வெண்ணையும் முனைவாக்கம் செய்யும் முறையையும் பொறுத்தது. இந்த இழப்பை கணக்கிட C மின்தேக்குதிறனும் A பரப்பளவும் d இடைவெளியும் கொண்ட இணைத்தட்டு மின்தேக்கியைக் கருத்தில் கொள்ளலாம்.



படம் 2.4: (a) இலட்சிய, (b) உண்மையான மின்காப்பான் ஏ–ஐ கட்ட சார்பு

மாறுதிசை மின்புலத்தில் வைக்கப்படும்போது, மின்தேக்கி வழியே பாயும் மின்னோட்டம் ஆனது கடத்து மின்னோட்டம் மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தின் கூட்டுத் தொகையாக இருக்கும்.,

$$I = I_d + I_c = \frac{q}{t} + \frac{V}{R} = \frac{CV}{t} + \frac{V}{R} = \omega CV + \frac{V}{R}$$

சீர்மிகு மின்காப்பு பொருட்களுக்கு $I_C = 0$ மற்றும் தொகுபயன் மின்னோட்டம் ஆனது,

$$I = I_d = \omega CV$$

மீண்டும் மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத்திறன் ஆனது

$$C = \frac{\varepsilon A}{d} \qquad \ldots(2.13)$$

இதன்படி, $$I_d = \frac{\omega \varepsilon AV}{d} \qquad \ldots(2.14)$$

இப்போது இழப்புக் கோணம் ஆனது,

$$\tan\delta = \frac{I_c}{I_d} \qquad \text{[படம் 2.4(b) லிருந்து]} \qquad \ldots(2.15)$$

அல்லது,

$$I_c = I_d \tan\delta = \frac{\omega\varepsilon AV}{d}\tan\delta$$

$$= \omega\varepsilon AE\tan\delta \qquad \text{[V = Ed ஆக]} \qquad \ldots(2.16)$$

to see Variation of the Dielectric Constant in Alternating Fields

இதன்படி, உண்மையான திறன் இழப்பானது சமன். (2.16) லிருந்து கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்,

$$P_a = VI_c = \omega\varepsilon AEV\tan\delta = \omega\varepsilon AE^2 d\tan\delta$$

$$= \omega\varepsilon vE^2\tan\delta = 2\pi\upsilon\varepsilon vE^2\tan\delta \qquad \ldots(2.17)$$

சமன். (2.17) லிருந்து உண்மையான திறன் இழப்பு, மின்காப்பு பொருளின் கன அளவு ($v = Ad$), மாறுதிசை மின்னோட்டத்தின் அதிர்வெண் $\left(\upsilon = \frac{\omega}{2\pi}\right)$ மின்காப்பு மாறிலி (ε) மாறுதிசை மின்புலத்தின் (E) இருமடி மதிப்பு மற்றும் தொடுகோடு இழப்பு $(\tan\delta)$ ஆகியவற்றிற்கு நேர்த்தகவில் உள்ளது.

2.10 ஒருபடித்தான, நேரியல் மற்றும் திசையொருமைப் பண்புகள்

கொடுக்கப்பட்ட திசையில் அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் ஒரு மின்காப்பு ஊடகத்தின் இயற்பண்புகளான நிறை அடர்த்தி விடுதிறன் ஆகியவை ஒரே எண்மதிப்பை பெற்றிருந்தால் ஊடகம் ஒருபடித்தான ஊடகம் எனலாம் அதாவது ஊடகத்தின் இயற்பண்புகள் வெளி ஆயத்தொலைவுகளை சார்ந்ததல்ல.

மறுபுறம், மின்காப்பு ஊடகத்தின் இயற்பண்புகளான நிறை, அடர்த்தி, விடுதிறன் ஆகியவை இடத்திற்கு இடம் மாறுபடின், ஊடகம் பலபடித்தானது. அதாவது, ஊடகத்தின் இயற்பண்புகள் வெளி ஆயத்தொலைவை சார்ந்து அமைகிறது.

மின்காப்பு ஊடகத்தின் விடுதிறன் செலுத்தப்படும் மின்புலத்தை பொறுத்து மாறுபடாமல் இருந்தால், ஊடகம் நேரியல் ஊடகமாகும். அவ்வாறன்றி, ஊடகத்தின் விடுதிறன் மின்புலத்தை பொறுத்து மாறுபட்டால் அது நேரியல் அற்ற ஊடகமாகும்.

மின்காப்பு ஊடகத்தின் இயற்பண்புகளான நிறை, அடர்த்தி, விடுதிறன் ஆகியன அனைத்து திசைகளிலும் ஒரே எண் மதிப்பை பெற்றிருந்தால், அது திசையொருமைப் பண்புள்ள ஊடகம் ஆகும். அவ்வாறன்றி திசையைப் பொறுத்து மாறுபடுமானால் அது திசையொருமைப் பண்பற்ற ஊடகம் ஆகும்.

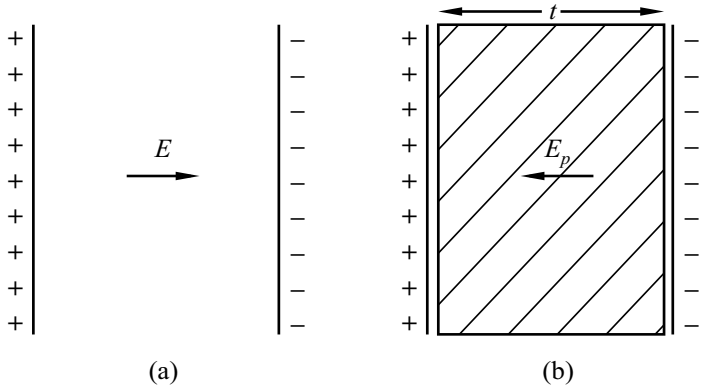
2.11 பாய அடர்த்தி, செறிவு மற்றும் முனைவாக்கம் இவற்றிற்கிடையேயான தொடர்பு

இப்பிரிவில் மின்காப்பு ஊடகத்தில் பாய அடர்த்தி, செறிவு மற்றும் முனைவாக்கம் இவற்றிற் கிடையேயான தொடர்பை அறியலாம். இதற்காக t தடிமனும் A பரப்பளவும் கொண்ட ஒருபடித்தான மற்றும் திசையொருமைப் பண்பு கொண்ட மின்காப்பு பலகையை இணைத்தட்டு மின்தேக்கியின் இடையே வைக்கவேண்டும் (படம் 2.5). இப்பொழுது இணைத்தட்டு மின்தேக்கியை சீரான மின்புலத்தில் வைத்தால் ஒரு தட்டு நேர் மின்னூட்டத்தையும் இன்னொரு தட்டு எதிர் மின்னூட்டமும் பெறும். அதேசமயம் மின்காப்பு பலகையும் முனைவாக்கத்திற்கு உட்படும்.

இம்முனைவாக்க காரணத்தினால் பலகையின் இருபக்கங்களிலும் q_p மற்றும் $-q_p$ ஆகிய இரு கட்டுறு மின்னூட்டங்கள் தனக்கே உரிய மின்புலச் செறிவு $\overrightarrow{E_p}$ உருவாக்கும். இதன்படி மொத்த பலகைக்குமான மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் $q_p t$ மற்றும் கன அளவு tA ஆகையால் மின் முனைவாக்கத்தின் எண்மதிப்பானது.

$$\left|\vec{P}\right| = \frac{q_p t}{tA} = \frac{q_p}{A} = \sigma_P \qquad \ldots(2.18)$$

இங்கு $\sigma_P = \frac{q_p}{A}$ என்பது மின்காப்பு பலகையின் முனைவாக்கம் மின்னூட்டத்தின் மேற்பரப்பு அடர்த்தி ஆகும்.



படம் 2.5: (a) மின்காப்பான் இல்லாத மற்றும் (b) கொடுக்கப்பட்ட மின்காப்பான் உடன் இணை தட்டு மின்தேக்கி

மின்புலச் செறிவு $\vec{E}$ மற்றும் மின்காப்பு ஊடகத்தின் உள்ளே உருவான மின்புலச் செறிவு $\overrightarrow{E_P}$ எனில் தொகுபயன் மின்புலம் ஆனது,

$$\overrightarrow{E'} = \vec{E} - \overrightarrow{E_P} \qquad \ldots(2.19)$$

மீண்டும் σ மற்றும் σ_P முறையே மின்தேக்கு தட்டின் மீதுள்ள மின்னூட்டங்களின் மேற்பரப்பு அடர்த்தி மற்றும் மின்காப்பு பலகையின் மீது தூண்டப்பட்ட (முனைவாக்கம்) மின்னூட்டங்களின் மேற்பரப்பு அடர்த்தியாகும்.

$$E_P = \frac{\sigma_P}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(2.20)\ (a)$$

மற்றும், $$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(2.20)\ (b)$$

எனவே, $$E' = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} - \frac{\sigma_P}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(2.21)$$

அல்லது, $$\sigma = \varepsilon_0 E' + \sigma_P = \varepsilon_0 E' + P \quad \ldots(2.22)$$

$\varepsilon_0 E' + P$ என்பது மின் பாய அடர்த்தி அல்லது மின் இடப்பெயர்வு எனப்படும். இது D என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. பொதுவாக, ஓரலகு பரப்பின் வழியாக செங்குத்தாக பாயும் மின்விசை கோடுகளை குறிக்கின்றது. மேலும், பொதுவாக மின் இடப்பெயர்வு வெக்டருக்கான கோவையின் வெக்டர் வடிவத்தை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad \ldots(2.23)$$

வெற்றிடத்தில் $\vec{P} = 0$ ஆகும் மற்றும் மின் இடப்பெயர்வு வெக்டரானது,

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} \quad \ldots(2.24)\ (a)$$

2.12 பாய அடர்த்தி மற்றும் மின்பாயம்

பாய அடர்த்தி என்பது ஓரலகு பரப்பின் வழியே செங்குத்து திசையில் செல்லும் மின்விசை கோடுகளின் எண்ணிக்கையாகும். ε விடுதிறன் கொண்ட நேரியல் மற்றும் திசையொருமைப் பண்பு கொண்ட ஊடகத்திற்கான பாய அடர்த்தி வெக்டர் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதப்படுகிறது.

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r \vec{E} \quad \ldots(2.24)\ (b)$$

மூடப்பட்ட பரப்பு (S) ன் மீதுள்ள பாய அடர்த்தியின் செங்குத்து கூறின் மேற்பரப்பு தொகைக்கெழுவை மூடப்பட்ட பரப்பின் மின்பாயமாக கூட கருதலாம். எனவே மின்பாயமானது (ϕ) கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\varphi = \int_S \vec{D}.d\vec{S} \quad \ldots(2.25)$$

2.13 மின்காப்பானில் காஸ் விதி

காஸ் விதி நிலைமின்னியலைப் போன்றே மின்காப்பு ஊடகத்திலும் பயன்படுத்தப்படுகிறது. இதன்படி, மொத்த மின்பாயம் அதாவது மின்காப்பு ஊடகத்தின் மூடப்பட்ட பரப்பின் மீதுள்ள பாய அடர்த்தியின் செங்குத்து கூறின் மேற்பரப்பு தொகைக்கெழுவானது மேற்பரப்பால் சூழப்பட்ட மொத்த மின்னூட்டத்தின் $\frac{1}{\varepsilon_0}$ மடங்குக்கு சமமாகும்.

இதன்படி, $$\varphi = \int_S \vec{D}.d\vec{S} = q \quad \ldots(2.26)$$

இங்கு $$\vec{D} = \varepsilon \vec{E} = \varepsilon_0 k \vec{E} \quad \ldots(2.27)$$

என்பது மின் இடப்பெயர்வு வெக்டர் ஆகும். இங்கு k என்பது மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின்காப்பு மாறிலி ஆகும்.

2.14 அளவுறுத் தொடர்புகள்

மின்காப்பு ஊடகத்தின் பல்வேறுபட்ட இயற்பியல் அளவுக்கான மின் ஏற்புத்திறன் மின்காப்பு மாறிலி. அணு முனைவாக்குத்திறன், மின் முனைவாக்கம் ஆகியவை ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பு படுத்தக் கூடிய

பொதுவான சமன்பாடுகளை அளவுருத் தொடர்புகள் எனலாம். பின்வரும் பிரிவுகளில் இவற்றில் சில தொடர்புகளை வருவிக்கலாம்.

2.14.1 மின் ஏற்புத்திறன் மற்றும் மின்காப்பு மாறிலி

நாம் அறிந்தபடி $\vec{D} = \varepsilon \vec{E} = \varepsilon_0 k \vec{E}$ என்பது மின் இடப்பெயர்வு வெக்டர் மற்றும் $\vec{P} = \varepsilon_0 \chi \vec{E}$ என்பது மின்முனைவாக்க வெக்டர் ஆகும்.

மின் இடப்பெயர்வு வெக்டர் கோவையிலிருந்து, $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

$$\varepsilon_0 k \vec{E} = \varepsilon_0 \vec{E} + \varepsilon_0 \chi \vec{E}$$

சுருக்கினால்,

$$k = 1 + \chi \qquad \ldots(2.28)$$

இதிலிருந்து மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின் ஏற்புத்திறனுக்கும் மின்காப்பு மாறிலி உள்ள தொடர்பு விளங்குகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 2.5

எடுத்துக்காட்டு 2.5: சாதாரண வெப்பநிலை அழுத்தத்தில் வாயுவின் மின்காப்பு மாறிலி 1.000056 எனில் மின் ஏற்புத் திறனை கண்டறிக.

தீர்வு

வாயுவின் மின்காப்பு மாறிலி (NTP ல்) 1.0000456.

எனவே, மின்ஏற்புத்திறன்

$$\chi = \varepsilon - 1 = 1.000056 - 1 = 0.000056 = 5.6 \times 10^{-5}.$$

2.14.2 மின் ஏற்புத்திறன் மற்றும் அணு முனைவாக்கத்திறன்

மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின் ஏற்புத்திறனானது,

$$\chi = \frac{P}{\varepsilon_0 E} = \frac{n\alpha}{\varepsilon_0}$$

$$\therefore \qquad k = 1 + \chi = 1 + \frac{n\alpha}{\varepsilon_0} \qquad \ldots(2.29)$$

மேற்கண்ட சமன்பாடு மின் ஏற்பு திறன் மற்றும் அணு முனைவாக்கத்திறனுக்கும் உள்ள தொடர்பை தருகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 2.6

எடுத்துக்காட்டு 2.6: ஆர்கான் அணுவின் மின் முனைவாக்க திறன் $1{\cdot}43 \times 10^{-40}\ \mathrm{F.m^2}$ எனக் கொண்டால், திட ஆர்கானின் மின்காப்பு மாறிலியை காண்க. ஆர்கான் இன் அடர்த்தி $1{\cdot}8\ \mathrm{gcm^{-3}}$ மற்றும் நிறை $39{\cdot}95\ \mathrm{g.mol^{-1}}$.

தீர்வு

ஆர்கான் அணுவின் மின் முனைவாக்க திறன் $= 1{\cdot}43 \times 10^{-40}\ \mathrm{F\text{-}m^2}$, ஆர்கான் இன் அடர்த்தி $= 1{\cdot}8\ \mathrm{gcm^{-3}}$ மற்றும் Ar அணுவின் நிறை $= 39{\cdot}95\ \mathrm{g.mol^{-1}}$.

எனவே ஓரலகு கன அளவில் ஆர்கான் அணுவின் எண்ணிக்கை

$$n = \frac{\text{Avogadro number} \times \text{density}}{\text{Atomic weight}} = \frac{6.02\times10^{26}\times1.8}{39.95} = 2.7\times10^{25}.$$

இதன்படி, திட துகளின் மின்காப்பு மாறிலியானது,

$$k = 1 + \frac{n\alpha}{\varepsilon_0} = 1 + \frac{2.7\times10^{25}\times1.43\times10^{-40}}{8.854\times10^{-12}} = 1.000436.$$

2.14.3 மின் முனைவாக்கம் மற்றும் மின்காப்பு மாறிலிகள்

கொடுத்தபடி, $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

$$\varepsilon_0 k\vec{E} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

அல்லது, $$\vec{P} = (k-1)\varepsilon_0 \vec{E} \qquad \ldots(2.30)$$

மேற்கண்ட சமன். (2.30) குறிப்பிட்ட மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின் முனைவாக்கம் மற்றும் மின்காப்பு மாறிலிக்கான தொடர்பை தருகிறது.

$\vec{E}$ என்பது வெளிப்புற மின் புலத்தின் மின்புலச் செறிவு மற்றும் மின்காப்பினுள் உருவான மின்புலச் செறிவு $\overrightarrow{E_P}$ எனில், ஊடகத்தின் தொகுபயன் மின்புலம் ஆனது,

$$\overrightarrow{E'} = \vec{E} - \overrightarrow{E_P} = \vec{E} - \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0} = \vec{E} - \chi\overrightarrow{E'}$$

அல்லது, $$\overrightarrow{E'} = \frac{\vec{E}}{1+\chi} = \frac{\vec{E}}{k} \qquad \ldots(2.31)\ (a)$$

அல்லது, $$\frac{\overrightarrow{E'}}{\vec{E}} = 1 + \chi = k \qquad \ldots(2.31)\ (b)$$

இதன்படி செலுத்தப்படும் மின்புலம் $\vec{E}$ மற்றும் மின்காப்பினுள் உருவான மின்புலம் $\overrightarrow{E'}$ க்கும் உள்ள விகிதமே ஊடகத்தின் மின்காப்பு மாறிலியாகும்.

2.15 மின்முனைவாக்கத்தின் வகைகள்

சீரான மின் புலத்தில் மின்காப்பு பொருளை வைக்கும்போது புலமானது மின் இருமுனையை மறுசீரமைப்பு செய்து முனைவாக்கத்தை ஏற்படுத்தும். மேலும்,

(i) மின்புலம் ஆனது மூலக்கூறுகளின் மின்னூட்ட பகிர்வை மாற்றி தூண்டப்பட்ட இருமுறை திருப்புத்திறனை உருவாக்கும் மற்றும்,

(ii) மின்புலம் ஆனது நிலைத்த மின் இரு முனையில் சீரற்ற ஒருங்கமைப்பின் திருப்பு விசையை ஏற்படுத்தியும் முனைவாக்கலை ஏற்படுத்துகிறது.

பின்வரும் பிரிவுகளில் சில அடிப்படையான மின்காப்பு முனைவாக்கலை பற்றி விளக்கப்படங்களுடன் காணலாம்.

2.15.1 தூண்டப்பட்ட (எலக்ட்ரானிய) முனைவாக்கம்

மின் புலத்தில் ஒரு மின்காப்பு பொருள் வைக்கப்படும்போது, கணமான அணுக்கருவை காட்டிலும் எலக்ட்ரான்கள் சற்று அதிக தொலைவுக்கு இடம்பெயரும். இதன் காரணமாக, மின்புலத்தின் திசையில் மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் உருவாகும். மின்காப்பு பொருளின் ஓரலகு கனஅளவில் தூண்டப்பட்ட இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது தூண்டப்பட்ட (எலக்ட்ரானிய) முனைவாக்கத்தை உருவாக்குகிறது. அணுக்கருவை பொறுத்து எலக்ட்ரானின் இடப்பெயர்வினால் மின் புலத்தின் திசையில் தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் உருவாகிறது.

இது வெப்பநிலையை பொறுத்ததல்ல. ஆனால் அணுவின் ஆரத்திற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். சார்பு பண்புகளை அறிய Z அணு எண்ணும் r ஆரமும் சீரான மின்னூட்ட பரவலும் கொண்ட அணுவைக் கருதுவோம் படம் 2.6(a). எனவே மின்னூட்ட அடர்த்தியானது,

$$\rho = -\frac{Ze}{\frac{4}{3}\pi r^3} \qquad \ldots(2.32)$$

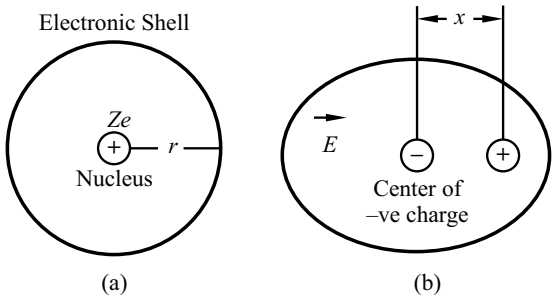
$\vec{E}$ மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட அணுவில் அணுக்கருவும் எலக்ட்ரான் கூட்டமும் அடைந்த இடப்பெயர்வு x என்க [படம் 2.6(b)].

எனவே, மின்புல திசையில் அமைந்த லாரன்ஸ் விசையானது,

$$F_L = ZeE \qquad \ldots(2.33)$$

எலக்ட்ரான் மற்றும் அணுவிற்கு இடையேயான ஈர்ப்பு விசையானது,

$$F_G = \frac{Ze.\frac{4}{3}\pi x^3 \rho}{4\pi\varepsilon_0 x^2} = -\frac{Z^2 e^2 x}{4\pi\varepsilon_0 r^3} \qquad \ldots(2.34)$$



படம் 2.6: (a) நடுநிலை அணு (E= 0) மற்றும் (b) மின்புலத்தில் தூண்டப்பட்ட துருவமுனைப்பு

சமநிலையில் அணுக்கருவின் மீதான விசை சுழியாகும். எனவே சமன். (2.33) மற்றும் (2.34) ஆகியவற்றை சமன் செய்ய,

$$ZeE = \frac{Z^2 e^2 x}{4\pi\varepsilon_0 r^3}$$

அல்லது, $$x = \frac{4\pi\varepsilon_0 r^3 E}{Ze} \quad \ldots(2.35)$$

எனவே, எலக்ட்ரான் கூட்டத்தின் இடப்பெயர்வு செலுத்தப்படும் மின் விசைக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். இப்போது, தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது,

$$p = Zex = 4\pi\varepsilon_0 r^3 E \quad \ldots(2.36)$$

இதன்படி, தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது மின்புல விசைக்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும். மீண்டும் மின் முனைவாக்கம் ஆனது,

$$\alpha = \frac{p}{E} = 4\pi\varepsilon_0 r^3 \quad \ldots(2.37)$$

ஓரலகு கன அளவில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை n எனில் மின் முனைவாக்கம் ஆனது,

$$P = np = n\alpha E = 4\pi\varepsilon_0 nr^3 E \quad \ldots(2.38)$$

இதிலிருந்து எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கலுக்கும் அணு ஆரத்திற்கும் ஆன தொடர்பை அறியலாம். மேலும், மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின்காப்பு மாறிலியானது,

$$k = 1 + \frac{n\alpha}{\varepsilon_0}$$

$$n\alpha = \varepsilon_0 (k - 1)$$

அல்லது, $$4\pi\varepsilon_0 r^3 n = \varepsilon_0 (k - 1)$$

அல்லது, $$(k - 1) = 4\pi nr^3$$

அல்லது, $$k = 1 + 4\pi nr^3 \quad \ldots(2.39)$$

சமன். (2.39) மின்காப்பு மாறிலிக்கும் அணுவின் ஆரத்திற்கும் ஆன தொடர்பை தருகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 2.7: 0°C வெப்பநிலையில் ஓரலகு வளிமண்டல அழுத்தத்தில் He வாயுவின் மின்காப்பு மாறிலி 1.0000684 ஆகும். இந்நிலையில் அணுவின் எண்ணிக்கை 2.7×10^{25} atoms/m^3 எலக்ட்ரான் கூட்டத்தின் ஆரத்தையும் 10^6 V/m மின்புலம் செயல்படும்போது அதன் இடப்பெயர்வையும் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

மின்காப்பு மாறிலி = k = 1.0000684, ஓரலகு கன அளவில் அணுக்களின் எண்ணிக்கை = $n = 2.7 \times 10^{25}$ atoms/m^3, செயல்படும் மின்புலம் = $E = 10^6$ V/m.

இனி, $$k = 1 + 4\pi n r^3$$

அல்லது, $$a^3 = \frac{k-1}{4\pi n} = \frac{1.0000684 - 1}{4\pi \times 2.7 \times 10^{25}} = 20.2 \times 10^{-36}$$

அல்லது, $$a = 2.72 \times 10^{-12}\,\text{m}.$$

இதுவே எலக்ட்ரான் கூட்டத்தின் ஆரம்.

மீண்டும் எலெக்ட்ரான் கூட்டத்தின் இடப்பெயர்வானது,

$$x = \frac{4\pi\varepsilon_0 a^3 E}{Ze}$$

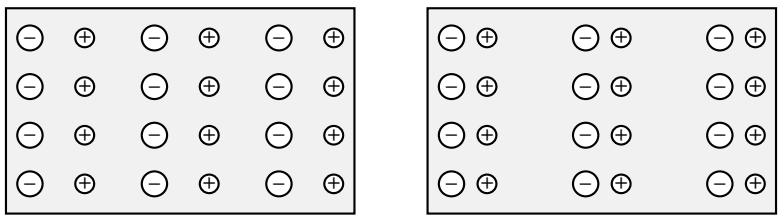
$$= \frac{4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times 20.2 \times 10^{-36} \times 10^6}{2 \times 1.6 \times 10^{-19}} = 0.7 \times 10^{-22}\,\text{m}.$$

எடுத்துக்காட்டு 2.7

2.15.2 அணு (அயனி) மின் முனைவாக்கம்

அயனிப்பிணைப்பு கொண்ட மின்காப்பு பொருட்கள் (எடுத்துக்காட்டு: *NaCl, KCl* முதலியன. அணு அல்லது அயனி மின் முனைவாக்கத்தை உருவாக்குகின்றன. இவ்வகை படிகளில் எலக்ட்ரான் ஆனது ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றிற்கு பரிமாற்றம் அடைகிறது. இவ்வகையான படிகம் வழியாக மின்புலத்தை செலுத்தும் போது நேர் மற்றும் எதிர் மின் அயனிகள் முறையே மின்புலத்தின் திசையிலும் மற்றும் எதிர் திசையிலும் இடம்பெயரும் [படம் 2.7 (b)]. இந்நிகழ்வு அயனிப்பிணைப்பானது எதிர்த்து நிறுத்தும் வரை தொடரும். இதன்மூலம் தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறனும் அதன் விளைவாக தூண்டப்பட்ட மின் முனைவாக்கமும் (P_i) நடைபெறும். நேர் மற்றும் எதிர்மின் அயனிகளின் பரிமாற்று இடப்பெயர்வினால் தூண்டப்பட்ட மின்முனைவாக்கம் நடைபெறுகிறது. இது வெப்பத்தை பொறுத்ததல்ல. அயனிப் படிகத்தில் நிகழும் இத்தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது செலுத்தப்படும் மின் புலத்திற்கு நேர்த்தகவில் இருக்கும்.

$$p_i = \alpha_i E \qquad [\alpha_i - \text{அயனி மின்முனைவாக்கத்திறன் ஆகும்}] \qquad \ldots(2.40)$$



படம் 2.7: (a) புலம் (E= 0), (b) பயன்படுத்தப்பட்ட புலம் (E≠ 0) அயனி முனைவாக்கம்

படத்தின் ஓரலகு கன அளவில் உள்ள இரு முனைகளில் எண்ணிக்கை n, எனில் அயனி மின் முனைவாக்கமானது,

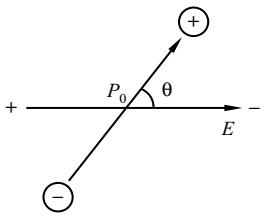
$$P_i = np_i = n\alpha_i E \qquad \ldots(2.41)$$

அயனி மின் முனைவாக்கலைத் தவிர்த்து எலக்ட்ரான் இடப்பெயர்வால் அயனி மூலக்கூறுகளும் எலக்ட்ரானிக் மின் முனைகளை கொண்டிருக்கும். எனவே மொத்த மின் முனைவாக்கம் என்பது எலக்ட்ரானிய மற்றும் அயனி மின் முனைவாக்கத்தின் கூட்டு தொகையாகும்.

$$P = P_e + P_i = n(\alpha_e + \alpha_i)E \qquad \ldots(2.42)$$

2.15.3 இருமுனை மின் முனைவாக்கம்

இவ்வகை முனைவாக்கம், நிலைத்த மின் இருமுனைகளைக் கொண்ட முனைவுள்ள மின்காப்பான்களில் காணப்படுகிறது. [எடுத்துக்காட்டு HCl, NO_2 முதலியன]. பொதுவாக, மின்புலம் செயல்படாத போது நிலைத்த மின் இருமுனைகள் சீரற்ற அமைப்பை கொண்டு ஒன்றினுடைய விளைவை மற்றொன்று நீக்கி பூஜ்ஜிய மின் இருமுனை திருப்புத்திறனை வெளிப்படுத்தும். மின்புலம் செயல்படும்போது, இந்த இரு முனை ஆனது புலத் திசையில் ஒருங்கிணைந்து நிகர மின் இருமுறை திருப்புத்திறனை உருவாக்கி அதனால் நிகர திருப்புவிசையை உருவாக்கும் [படம் 2.8]. இம்முனைவாக்கம் ஒருங்கமை முனைவாக்கம் எனப்படும். இவ்வகை முனைவாக்கம் வெப்பநிலைக்கு எதிர்த்தகவில் இருக்கும். மின்புல செறிவு E க்கு உட்படுத்தப்பட்ட முனைவுள்ள மூலக்கூறுகளின் இரு முனையின் மீது செயல்படும் திருப்பு விசையானது,



படம் 2.8: மின்புலத்தில் இருமுனை நோக்குநிலை

$$\tau = p_0 E \sin\theta \qquad \ldots(2.43)$$

இங்கு p_0 ஒருங்கமை மின் இருமுறை திருப்புத்திறன் ஆகும். மின் இருமுனை ஆனது 180^0 க்கு சுற்றப்படும் போது அதிகபட்ச வேலை செய்யப்பட்டுள்ளது. ஆகையால் அதிகபட்ச ஒருங்கமை இருமுனை ஆற்றலானது,

$$E_{\max} = \int_0^{\pi} p_0 E \sin\theta = 2p_0 E \qquad \ldots(2.44)$$

புலத்தின் திசையில் இருமுனை ஆனது எந்த வேலையும் செய்யவில்லை. எனவே சராசரி ஒருங்கமை இருமுனை ஆற்றலானது,

$$E_{av} = \frac{2p_0 E}{2} = p_0 E \qquad \ldots(2.45)$$

இப்போது சராசரி ஒருங்கமை இருமுனை ஆற்றலுக்கும் சராசரி வெப்ப ஆற்றலுக்கும் உள்ள விகிதம் ஒன்றைவிட அதிகமாக உள்ள போது, ஒருங்கமை மின் முனைவாக்கம் ஆனது மிகுந்த மதிப்பைப் பெறும்.

$$P_o \propto \frac{p_0 E_{av}}{E_{th(av)}}$$

அதாவது, $$E_{th(av)} = \frac{5}{2}kT$$

எனவே, $$P_o \propto \frac{{p_0}^2 E}{(5/2)kT}$$

M-B புள்ளியியலைப் பயன்படுத்தி சராசரி ஒருங்கமை முனைவாக்கத்தை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்,

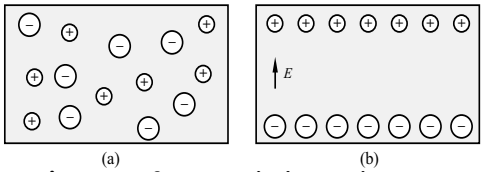
$$P_o = \frac{n}{3}\frac{{p_0}^2 E}{kT} = n\alpha_o E \qquad \ldots(2.46)$$

இங்கு n என்பது படிகத்தின் ஓரலகு கனஅளவிலுள்ள மின் இருமுனையின் எண்ணிக்கையாகும். ஒருங்கமை மின்முனைவாக்கம் என்பது,

$$\alpha_o = \frac{{p_0}^2}{3kT} \qquad \ldots(2.47)$$

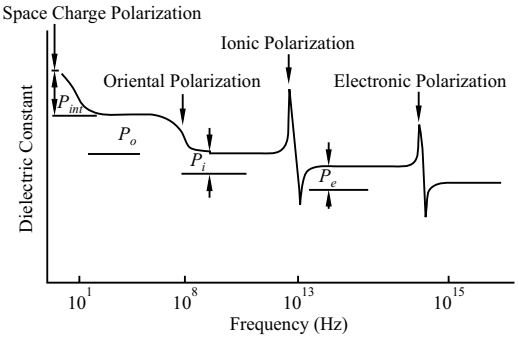
2.15.4 இடைவெளி மின் முனைவாக்கம்

இவ்வகை மின் முனைவாக்கமானது, வெவ்வேறு கட்டங்களுக்கு வெவ்வேறு மின்தடையைக் கொண்டுள்ள பல கட்ட மின்காப்பு பொருட்களில் நடைபெறும். மின்புலமற்ற நிலையில் நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்களிடையே எந்தவொரு இடைவெளியும் இருக்காது. ஆனால், குறிப்பிட்ட அளவு உயர் வெப்ப நிலையில் மின்புலத்தைச் செலுத்தினால், மின்காப்புப் பொருட்களில் எல்லைகளில் கடத்துத் திறனில் ஏற்படும் திடீர் மாற்றமானது, நேர் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்களை எதிரெதிர் துருவங்களை முடுக்கிவிடும் [படம் 2.9(b)]. அயனிகள் இடப்பெயர்வினால், தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனைத் திருப்புத்திறன் உருவாகி அதனால் மின் முனைவாக்கம் நடைபெறும். இதுவே இடைவெளி அல்லது வெளி மின்னூட்ட முனைவாக்கம் ஆகும். இவ்வகை மின் முனைவாக்கம் வெப்ப நிலையைச் சார்ந்து அமைகிறது.



படம் 2.9: அயனி முனைவாக்கல் (a) புலம் (E = 0), (b) பயன்படுத்தப்பட்ட புலம் (E ≠ 0))

பல்வேறு வகைப்பட்ட மின்முனைவாக்க முறைகளில் எலெக்ட்ரானிய மின்முனைவாக்கமானது மிகத் துரி தானதாகவும் $\sim 10^{13}$-10^{15} Hz அளவிற்கிடைப்பட்ட அதிர்வெண்ணையும் பெற்றிருக்கும். மறுபுறம் அயனி முனைவாக்கம் சற்று மெதுவாக நடைபெறும். பொதுவாக இதன் அதிர்வெண் அளவு $\sim 10^{9}$-10^{13} Hz ஆக இருக்கும். அதே சமயம், முனைவுள்ள அல்லது ஒருங்கமை முனைவாக்கத்தில் மூலக்கூறுகளின் இடப்பெயர்வானது அதிர்வெண்ணுக்கும் 10^{9} Hz கீழே நடைபெறும். இடைவெளி அல்லது வெளி மின்னூட்ட முனைவாக்கம் 10 Hz க்கு கீழே நடைபெறும் [படம் 2.10]



படம் 2.10: அதிர்வெண் உடன் மின்கடத்தா மாறிலியின் மாறுபாடு

2.16 ஒரணு வாயுவின் மின் முனைவாக்கம்

Z அணு எண் கொண்ட ஓர் அணுவின் மீது வெளிப்புற மின்புலவிசை E செயல்படும்போது, நேர்மின் மற்றும் எதிர் மின்னூட்டங்களின் மையமானது ஒன்றுக்கொன்று எதிர் எதிர் திசையில் விலகிச் செல்லும்

[பார்க்க படம் 2.6]. எனவே மின் இருமுனை உருவாகும். எலக்ட்ரானின் நிலை அலைகள் அணுவின் உள்ளே உயர்ந்த இயல் அதிர்வெண்களை கொண்டுள்ளதால் உச்சபட்ச அதிர்வெண்களில் எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கம் நடைபெறும். அணுவானது வெளிப்புற மின்புலம் E ல் வைக்கப்படும்போது, அணுக்கருவும் எலக்ட்ரான் கூட்டமும் எதிர் எதிர் திசையில் நகரும். இங்கு சமநிலையானது, அணுக்கருவின் பக்கமே தொடரும் என்பதை முக்கியமாக குறிப்பிட வேண்டும். செலுத்தப்படும் மின்புலத்தை பொறுத்து எலக்ட்ரான் கூட்டத்தின் மையத்திலிருந்து x தொலைவிற்கு இடம்பெயரும் தூரத்தை,

$$x = \frac{4\pi\varepsilon_0 r^3 E}{Ze}$$

இதன் தொடர்ச்சியாக செலுத்தப்படும் மின்புலத்திற்கு நேர்த்தகவில் உள்ள தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது,

$$p = Zex = 4\pi\varepsilon_0 r^3 E$$

மீண்டும் மின் முனைவாக்கத்திறனானது,

$$\alpha = \frac{p}{E} = 4\pi\varepsilon_0 r^3$$

n என்பது ஓரலகு கன அளவில் உள்ள அணுக்களின் எண்ணிக்கை எனில் மின் முனைவாக்கம் ஆனது,

$$P = np = n\alpha E = 4\pi\varepsilon_0 nr^3 E$$

2.17 பல்லணு வாயுவின் மின் முனைவாக்கம்

சாதாரண மின்காப்பு பொருட்களுக்கு வெளி மின்னூட்டப்பட்ட முனைவாக்கம் என்பது மிக முக்கியமானதாக கருதப்படுவது இல்லை. மேலும் புறக்கணிக்கப்படும் அளவிலேயே இருக்கும். எனவே மின் காப்பானின் மொத்த மின் முனைவாக்கமானது, அணு, அயனி மற்றும் ஒருங்கமை மின்முனைவாக்கத்தின் கூட்டு விளைவாகவே கருதலாம். எனவே ஓரலகு கன அளவில் n மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட பல்லணு வாயுவின் மொத்த மின்முனைவாக்கமானது அணு, அயனி மற்றும் ஒருங்கமை மின்முனைவாக்கலின் விளைவுகளிலிருந்து கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$P = P_e + P_i + P_o = n\alpha_e E + n\alpha_i E + n\alpha_o E = n(\alpha_e + \alpha_i + \alpha_o)E \qquad \ldots(2.48)$$

அல்லது,
$$\varepsilon_0 \chi E = \varepsilon_0 \left(\varepsilon_r - 1\right) E = n\left[\alpha_e + \alpha_i + \frac{{p_0}^2}{3kT}\right] E$$

அல்லது,
$$\varepsilon_0 \left(\varepsilon_r - 1\right) = n\left[\alpha_e + \alpha_i + \frac{{p_0}^2}{3kT}\right] = n\alpha_T \qquad \ldots(2.49)$$

இங்கு மொத்த மின் முனைவாக்கம் கீழ்க்கண்டவாறு பெறப்படுகிறது.

$$\alpha_T = \alpha_e + \alpha_i + \frac{{p_0}^2}{3kT} \qquad \ldots(2.50)$$

2.18 கிளாசியஸ்–மொஸாட்டி தொடர்பு

மின்காப்பானின் முனைவாக்கம் பெற்ற மூலக்கூறிற்கு காரணமான மின்புலத்தை மூலக்கூறு புலம் என்றும் அதை இப்பிரிவில் $\vec{E}_m$ என்றும் குறிப்பிடலாம். இது ஒரு மீப்பெரு அளவாகும். வெளிப்புற மின்புலத்திலிருந்து மாறுபடுவதால் இதை உள்ளார்ந்த புலம் எனலாம். இதன் கோவையை தருவிக்க, r ஆரம் உள்ள கோளக குழியைக் கொண்ட சிறிய அளவிலான மின்காப்பு பொருளை மின் புலத்திற்கு உட்படுத்தலாம்.

மின்காப்பானின் குழியினுள் மூலக்கூறுகள் ஒன்றன்பின் ஒன்று முனைவாக்கம் அடைந்து $\vec{E}_m$ என்ற புலத்தை உருவாக்குகின்றன. இம்மூலக்கூறுகள் தனித்தனி மின் இருமுனைகளாகவும் தொடர்ச்சியற்ற ஒன்றாகவும் கருதப்பட வேண்டும். கோளத்தின் மையம் O என்க, மின்காப்பானில் உள்ள கோள வடிவ குழியின் ஆரம் மூலக்கூறுக்கிடைப்பட்ட தூரத்தை விட மிக அதிகமாகவும் அதேசமயம் மின்காப்பானின் மொத்த பரிமாணத்தை கணக்கிடும்போது சிறியதாகவும் எடுத்துக் கொள்க. இப்போது மின்காப்பானை இரு இணைத்தட்டுகளிடையே வைக்க வேண்டும்.

கோளக் குழியின் நடுப்புள்ளியில் உண்டான மின்காப்பு மூலக்கூறுகளால் உணரப்படும் மின்புலம் ஆனது,

$$\vec{E}_m = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \vec{E}_4$$

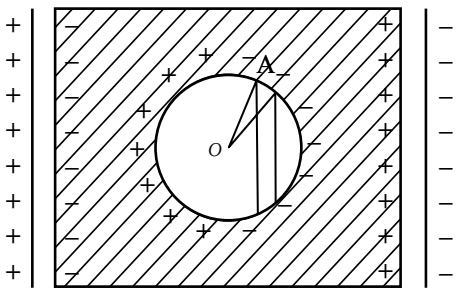
இங்கு $\vec{E}_1$ என்பது மின்காப்பான் வைக்கப்படாத போது மின்னூட்டப்பட்ட இரு இணைத்தட்டு களிடையேயான மின்புலம் ஆகும். $\vec{E}_2$ என்பது மின்காப்பானின் வெளிப்புற மேற்பரப்பில் முனைவாக்கம் செய்யப்பட்ட மின்னூட்டங்களால் உண்டான மின்புலம் ஆகும். $\vec{E}_3$ என்பது கோள குழியின் மீது முனைவாக்கம் செய்யப்பட்ட மின்னூட்டங்களால் உண்டான மின்புலம் ஆகும். $\vec{E}_4$ என்பது அனைத்து மின் இரு முனைகளால் கோளக் குழியின் உட்புறம் உண்டாகும் மின்புலம் ஆகும்.

இந்த நேர்வில், $\vec{E}_1 = \dfrac{\sigma}{\varepsilon_0}$

இங்கு σ என்பது மேற்பரப்பு மின்னூட்ட அடர்த்தி,

$$\vec{E}_2 = \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0}$$

இங்கு $\vec{P}$ என்பது $\vec{E}_1$ மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்காப்பானின் முனைவாக்க வெக்டர் ஆகும்.



படம் 2.11: கோளக் குழி

$$\vec{E}_m = \vec{E}_1 - \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0} + \vec{E}_3 + \vec{E}_4 \qquad \ldots(2.51)$$

குழியிலுள்ள மின் இருமுனைகள் கனசதுர படிகத்தின் அணுக்களின் சீரான நிலைகளில் இடம்பெற்றிருக்கும் எனில், $\vec{E}_4 = 0$ ஆகும். ஆனால் ஊடகம் திசையொருமை பண்பு அற்றது எனில் $\vec{E}_4 \neq 0$. ஆகும்.

$\vec{E}$ என்பது வெளிப்புற மின்புலத்தில் வைக்கப்படும்போது மின்காப்பான் உண்டாக்கும் மின்புலம் என்க. வெற்றிடம்–மின்காப்பானின் இடைப்பகுதியில் மின் இடப்பெயர்வின் செங்குத்துக் கூறு $\vec{D}$ ஐக் கருதினால்,

$$\varepsilon_0 \vec{E}_1 = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

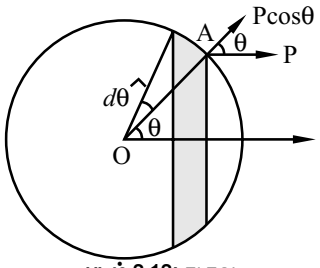
என்பதால் சமன்பாட்டை இணைக்க $\vec{E}_4 = 0$,

$$\vec{E}_m = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0} - \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0} + \vec{E}_3 + 0 = \vec{E} + \vec{E}_3 \qquad \ldots(2.52)$$

மின்முனைவாக்கத்தினால் உண்டாகும் $\vec{E}_3$ மின்புலத்திற்கு சமமான மின்புலம் ஆகும். இம்மதிப் பானது, மின்காப்பின் முழுமையான கன அளவிற்கும் மாறிலி எனில்

$$\rho_P = -\vec{\nabla}.\vec{P} = 0 \text{ மற்றும் } \sigma_P = \vec{P}.\hat{r} = P\cos\theta \ .$$

(r, θ) துருவ ஆயத்தொலைவுகளைக் கொண்ட மேற்பரப்புப் புள்ளி A வின் பரப்பு S இன் மீதுள்ள மின்னூட்டங்களால் புள்ளி O வில் ஏற்படும் மின்புலம்



படம் 2.12: துருவ ஆயத்தொலைவுகள்

$$dE' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{\sigma_P dS}{r^2}\hat{r}$$

இப்போது, $dS = 2\pi r \sin\theta . r d\theta = 2\pi r^2 \sin\theta d\theta$

$$dE' = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{P\cos\theta . 2\pi r^2 \sin\theta d\theta}{r^2}\hat{r} = \frac{P\cos\theta\sin\theta d\theta}{2\varepsilon_0}\hat{r}$$

சமச்சீர் தன்மையிலிருந்து E' கூறு மட்டுமே P திசையில் அமைந்து E_3 மின்புலத்திற்கு உதவுகிறது.

$$dE_3 = dE'\cos\theta = \frac{P\cos^2\theta\sin\theta d\theta}{2\varepsilon_0}$$

$$E_3 = \frac{P}{2\varepsilon_0}\int_0^{\pi}\cos^2\theta\sin\theta d\theta = \frac{P}{3\varepsilon_0}$$

அல்லது, $$\vec{E}_3 = \frac{\vec{P}}{3\varepsilon_0} \qquad \ldots(2.53)$$

$$\vec{E}_m = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\varepsilon_0} \qquad \ldots(2.54)$$

இனி சீர்மிகு மின்காப்பானிற்கு $\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$ மற்றும் $\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$

$$\varepsilon\vec{E} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P}$$

அல்லது, $\vec{P} = \left(\varepsilon - \varepsilon_0\right)\vec{E} = \varepsilon_0\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} - 1\right)\vec{E} = \varepsilon_0\left(k-1\right)\vec{E}$

ஆகையால், $\vec{E}_m = \vec{E} + \frac{\varepsilon_0\left(k-1\right)\vec{E}}{3\varepsilon_0} = \frac{\left(k+2\right)\vec{E}}{3}$ …(2.55)

$$\vec{E} = \frac{3\vec{E}_m}{\left(k+2\right)} \quad \ldots(2.56)$$

சமன். 2.54 பதிலிட,

$$\vec{E}_m = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{3\varepsilon_0} = \frac{3\vec{E}_m}{\left(k+2\right)} + \frac{\vec{P}}{3\varepsilon_0}$$

அல்லது, $\vec{P} = 3\varepsilon_0\vec{E}_m\left(\frac{k-1}{k+2}\right)$ …(2.57)

ஓரலகு முனைவாக்க புலத்தில் உள்ள மூலக்கூறின் இருமுனை திருப்புத்திறனை மூலக்கூறின் முனைவாக்கத்திறன் எனலாம். அதாவது,

$$\alpha = \frac{\vec{p}_m}{\vec{E}_m}$$

ஓரலகு கனஅளவில் உள்ள மூலக்கூறின் எண்ணிக்கை n எனில்,

$$\vec{P} = n\vec{p}_m = n\alpha\vec{E}_m$$

$$n\alpha\vec{E}_m = 3\varepsilon_0\vec{E}_m\left(\frac{k-1}{k+2}\right)$$

அல்லது, $\frac{n\alpha}{3\varepsilon_0} = \frac{k-1}{k+2}$ …(2.58)

இச்சமன்பாடு, கிளாசியஸ்–மொஸாட்டி தொடர்பாகும். இச்சார்பானது கனஅளவு முனைவாக்கத் திறன் எனப்படும். ஒளியியல் அதிர்வெண்ணில், $k = \mu^2$ இங்கு μ என்பது ஊடகத்தின் ஒளிவிலகல் எண் எனலாம்.

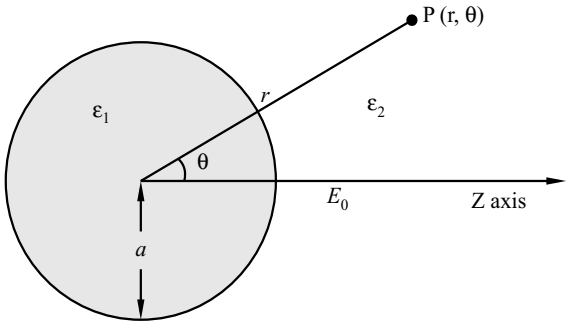
$$\frac{n\alpha}{3\varepsilon_0} = \frac{\mu^2 - 1}{\mu^2 + 2} \quad \ldots(2.59)$$

இச்சமன்பாடு லாரன்ஸ்–லாரன்ஸ் தொடர்பு எனப்படும்.

2.19 சீரான மின்புலத்தில் உள்ள கோள வடிவ மின்காப்பான்

சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்படும் கோள வடிவ மின்காப்பான் பொருட்களின் அருகாமையில் மின்புல மானது சிதைவுறும்.

ε_1 விடுதிறனும் a ஆரமும் கொண்ட மின்காப்பு கோளமானது $\overline{Z}$ அச்சு வழியே செயல்படும் சீரான மின்புலத்தில் $\overline{E_0}$ வைக்கப்படுகிறது [படம் 2.13]. அச்சைப் பொறுத்து தூண்டப்பட்ட மின்னூட்டம் சீராக உள்ளதால் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் மின்னழுத்தமான மண்டல ஒத்திசைவின் மூலமாக குறிப்பிடலாம். கோளத்தின் மையத்திலுள்ள ஆதிப்புள்ளியை பொருத்து (r, θ) என்ற துருவ ஆயத்தை கொண்ட புள்ளி P ஐக் கோளத்திற்கு வெளியில் கருதுக.



படம் 2.13: ஒரு சீரான மின்புலத்தில் வைக்கப்படும் மின்கடத்தாக் கோளம்

புள்ளி P இன் மின்னழுத்தம் ஆனது,

$$\phi(r,\theta) = \sum_{n=0}^{\infty} \left[A_n r^n + B_n r^{-(n+1)} \right] p_n \left(\cos\theta\right) \qquad \ldots(2.60)$$

இங்கு A_n மற்றும் B_n ஆகிய குணகங்கள் சமன். (2.60) இலுள்ள லெஜெண்டர் பல்லுறுப்புக்கோவையை சரியான எல்லை நிபந்தனைகள் என $p_n(\cos\theta)$ ஐ பயன்படுத்தி கண்டறியப்படும் (மேலும் அறிய இணைப்பு IV ஐ பார்க்க).

குணகம் A_n மற்றும் B_n யைக் கணக்கிட எல்லை நிபந்தனைகளை கீழ்க்கண்டவாறு பயன்படுத்தலாம்.

(i) லாப்லாஸ் சமன்பாடுகள் கோளத்தின் உட்புறமும் வெளிப்புறமும் உள்ள அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் பூர்த்தி செய்யப்படுகிறது. அதாவது கோளத்தின் உட்புறம் மற்றும் வெளிப்புறம் உள்ள அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் $\nabla^2\phi_1 = 0$ மற்றும் $\nabla^2\phi_2 = 0$ ஆகியவற்றின் மதிப்பு சுழி ஆகும்.

(ii) ϕ_1 என்பது கோளத்தின் உட்புறமுள்ள அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் வரையறுக்கப்பட்ட ஒன்றாகும். அதாவது $r < a$ காக

(iii) $r \to a, \phi_2 \to -E_0 Z = -E_0 r\cos\theta$

(iv) இரு ஊடகத்தின் இடைப்பட்ட பரப்பில் மின்புலச் செறிவின் தொடுகோட்டுக் கூறானது தொடர்ச்சியாக உள்ளது. அதாவது, $r = a$ ல் $\phi_1 = \phi_2$

(v) கோளத்தின் அருகாமையில் கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள் இல்லாததால் இரு ஊடகங்களுக்கு இடைப்பட்ட பரப்பில் மின் இடப்பெயர்வின் செங்குத்துக் கூறு தொடர்ச்சியானதாகும். அதாவது,

$$\varepsilon_1 \frac{\partial\phi_1}{\partial r} = \varepsilon_2 \frac{\partial\phi_2}{\partial r}$$

இரண்டாவது எல்லை நிபந்தனைகளில் இருந்து, உட்புற மின்னழுத்தம் ϕ_1 ஆனது,

$$\phi_1 = \sum_{n=0}^{\infty} \left[A_n r^n p_n \left(\cos\theta\right) \right] \qquad \ldots(2.61)$$

மற்றும் வெளிப்புற மின்னழுத்தம் ϕ_2 ஆனது,

$$\phi_2 = \sum_{n=0}^{\infty}\left[C_n r^n + B_n r^{-(n+1)}\right]p_n(\cos\theta) \qquad \ldots(2.62)$$

நிகர மின்னூட்டம் இல்லாததால் ϕ_2 வில் $\frac{1}{r}$ என்ற உறுப்பு இல்லை.

$$\phi_2 = \sum_{n=0}^{\infty} C_n r^n p_n(\cos\theta) + \sum_{n=1}^{\infty} D_n r^{-(n+1)} p_n(\cos\theta) \qquad \ldots(2.63)$$

மூன்றாவது எல்லை நிபந்தனைகளில் இருந்து, $-E_0 r\cos\theta = \sum_{n=0}^{\infty} C_n r^n p_n(\cos\theta)$

அல்லது, $-E_0 r\cos\theta = C_0 + C_1 r\cos\theta + \ldots\ldots$

இரு பக்கங்களையும் ஒப்பிட, $C_0 = 0$ and $C_1 = -E_0$ மற்றும் $C_n = 0$ for $n \geq 2$

$$\phi_2 = -E_0 r\cos\theta + \sum_{n=1}^{\infty} D_n r^{-(n+1)} p_n(\cos\theta) \qquad \ldots(2.64)$$

அதேசமயம் 4-வது மற்றும் 5-வது எல்லை நிபந்தனைகளையும் பூர்த்தி செய்ய $n \geq 2$. விற்காக $A_n = 0, D_n = 0$ என எழுதலாம்.

சமன். (2.61) மற்றும் (2.63) ஆகியவை,

$$\phi_1 = A_0 + A_1 r\cos\theta \qquad \ldots(2.65)$$

மற்றும், $$\phi_2 = -E_0 r\cos\theta + \frac{D_1}{r^2}\cos\theta \qquad \ldots(2.66)$$

நாலாவது எல்லை நிபந்தனைகளில் இருந்து, $A_0 + A_1 a\cos\theta = -E_0 a\cos\theta + \frac{D_1}{a^2}\cos\theta$

இருபக்கமும் ஒப்பிட, $A_0 = 0$ and $A_1 = \frac{D_1}{a^3} - E_0$

எனவே, $$\frac{\partial\phi_1}{\partial r} = A_1\cos\theta$$

மற்றும் $$\frac{\partial\phi_2}{\partial r} = -E_0\cos\theta - \frac{2D_1}{r^3}\cos\theta$$

ஐந்தாவது எல்லை நிபந்தனைகளில் இருந்து $\varepsilon_1 A_1\cos\theta = \varepsilon_2(-E_0\cos\theta - \frac{2D_1}{a^3}\cos\theta)$

இருபக்கமும் ஒப்பிட, $\varepsilon_1 A_1 = -\varepsilon_2(E_0 + \frac{2D_1}{a^3})$

அல்லது, $$\varepsilon_1\left(\frac{D_1}{a^3} - E_0\right) = -\varepsilon_2\left(E_0 + \frac{2D_1}{a^3}\right)$$

அல்லது, $$-\varepsilon_1 E_0 + \varepsilon_2 E_0 = -\varepsilon_2 \frac{2D_1}{a^3} - \varepsilon_1 \frac{D_1}{a^3} = -\frac{1}{a^3}\left(2\varepsilon_2 + \varepsilon_1\right) D_1$$

$$\therefore \quad D_1 = -\frac{\left(-\varepsilon_1 + \varepsilon_2\right) E_0 a^3}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} = \frac{\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right) E_0 a^3}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}$$

$$\therefore \quad A_1 = \frac{\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right) E_0}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} - E_0 = \frac{\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 - 2\varepsilon_2 - \varepsilon_1\right) E_0}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} = -\frac{3\varepsilon_2 E_0}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}$$

$$\therefore \quad \phi_1 = -\frac{3\varepsilon_2 E_0 r \cos\theta}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \qquad \ldots(2.67)$$

மற்றும், $$\phi_2 = -E_0 r \cos\theta + \frac{\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right) E_0 a^3}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \frac{\cos\theta}{r^2} \qquad \ldots(2.68)$$

எனவே மின்காப்பு கோளத்தின் உட்புறமுள்ள மின்புலம்,

$$\overrightarrow{E_1} = -\frac{\partial \phi_1}{\partial z} \hat{z}$$

இங்கு, $$z = r\cos\theta$$

$$\therefore \quad \overrightarrow{E_1} = \frac{\partial}{\partial z}\left[\frac{3\varepsilon_2 E_0 z}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}\right]\hat{z} = \frac{3\varepsilon_2 E_0}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}\hat{z} \qquad \ldots(2.69)$$

மீண்டும், $$\overrightarrow{E_2} = E_{2z}\hat{z} + E_{2r}\hat{r} + E_{2\theta}\hat{\theta}$$

இங்கு, $$E_{2z} = -\frac{\partial}{\partial z}\left(-E_0 r\cos\theta\right) = E_0$$

$$E_{2r} = -\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right) E_0 a^3}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}\frac{\cos\theta}{r^2}\right] = \frac{2E_0 a^3\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}\frac{\cos\theta}{r^3}$$

மற்றும், $$E_{2\theta} = -\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial\theta}\left[\frac{\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right) E_0 a^3}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}\frac{\cos\theta}{r^2}\right] = \frac{E_0 a^3\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}\frac{\sin\theta}{r^3}$$

இதன்படி, $$\overrightarrow{E_2} = E_0\hat{z} + \frac{2E_0 a^3\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}\frac{\cos\theta}{r^3}\hat{r} + \frac{E_0 a^3\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1}\frac{\sin\theta}{r^3}\hat{\theta}$$

அல்லது, $$\overrightarrow{E_2} = E_0\hat{z} + \frac{E_0 a^3\left(\varepsilon_1 - \varepsilon_2\right)}{\left(2\varepsilon_2 + \varepsilon_1\right) r^3}\left[2\cos\theta\hat{r} + \sin\theta\hat{\theta}\right] \qquad \ldots(2.70)$$

மேலும் புலச் செறிவின் ஆரத்தின் கூறானது,

$$E_{2r} = \frac{2E_0 a^3 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \frac{\cos\theta}{r^3} = \frac{p\cos\theta}{2\pi\varepsilon_2 r^3}$$

[இங்கு P என்பது தூண்டப்பட்ட மின் இருமுனை திருப்புத்திறன்]

அல்லது, $$\vec{p} = \frac{4\pi E_0 \varepsilon_2 a^3 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \hat{z} \quad \ldots(2.71)$$

எனவே முனைவாக்கம் என்பது,

$$\vec{P} = \frac{\vec{p}}{\frac{4}{3}\pi a^3} = \frac{3\pi E_0 \varepsilon_2 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \hat{z} \quad \ldots(2.72)$$

2.20 மின்காப்பு வலிமை மற்றும் மின்காப்பு முறிவு

மின்காப்பு பொருட்களின் மீது செயல்படும் மின்புலமானது மிக அதிக அளவில் இருக்கும்போது, அவை மூலக்கூறுகளில் இருந்து எலக்ட்ரான்களைக் கவர்ந்து கடத்துத் திறனை உருவாக்கும் செயலே மின்காப்பு முறிவு எனப்படும். முறிவற்ற நிலையில், செலுத்தப் படும் அதிகபட்ச புலவலிமையே மின்காப்பு வலிமை எனப்படும்.

மின்காப்பு பொருளானது, தனது மின்தடை பண்பை இழந்து மிக அதிக அளவிலான மின்னோட்டத்தை அதனுள் அனுமதிக்குமாயின் இந்நிகழ்வே, மின்காப்பு முறிவு எனப்படுகிறது. பொதுவாக மிக உயர்ந்த மின்புலம் மின்காப்பு முறிவுக்கு காரணமாக உள்ளது. மற்ற முக்கியமான காரணிகளாக வெப்பநிலையும் மாசும் உள்ளன. உயரழுத்த மின்மாற்றியின் மின்கடத்தாப் பொருளாக எண்ணெய் வகையிலான மின்காப்புப் பொருட்கள் பயன்படுகிறது. மாறுநிலை மின்புலத்தை அடைந்ததும், மின்காப்பு எண்ணெயில் கண நேரத்தில், மரம் மற்றும் செடி கொடிகளின் கிளைகளைப் போன்று கடத்து பாதை உருவாகும். இதுவே மிகப்பெரிய மின்காப்பு முறிவுக்கு வித்திடும்.

2.21 மின்காப்பான்களின் பயன்பாடுகள்

வெப்பநிலை, விடுதிறன் அளவு, மின்காப்பு வலிமை, மின்கடத்தா தன்மை இவைகளை பொருத்த மின்காப்பு பொருட்களின் பண்புகளைக் கொண்டு பல்வேறு வகையான மின்சாதன பொருட்களை உருவாக்கும் தொழிற்சாலைகளில் பயன்படுத்தலாம். பொதுவாக, இவை உயர் மின்தேக்குத்திறனுள்ள மின்மாற்றிகள், மின் வடங்கள், பொறி மின் இயற்றிகள், மின் ஏற்பி மற்றும் பரப்பி, மின்சுற்றுகள் மின் வெப்பமூட்டிகள், மின் பகிர்வு சாதனங்கள் முதலியனவற்றிலும் பயன்படுகின்றன. குறிப்பாக, மின்மாற்றி களில் மின்கடத்தாப் பொருளாகவும் குளிர்ச்சியூட்டியாகவும் பயன்படுகின்றன மற்றும் மின்தேக்கிகளில் மின்னாற்றல் சேமிப்பானாகவும் பயன்படுகின்றன.

அலகு சுருக்கம்

- **மின்காப்பான்கள்**

  சார்பு விடுதிறன் $k = \varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{C}{C_0}$

- **மின்காப்பானின் மின் முனைவாக்கம்**

  முனைவுள்ள மின்காப்பான்கள்

  மின்புலம் அற்ற நிலையிலும் நிலைத்த மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் கொண்டுள்ளவை.

  முனைவற்ற மின்காப்பான்கள்

  மின்புலம் அற்ற நிலையில் நிலைத்த மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் அற்றவை

- **மின் இருமுனை திருப்புத்திறன்**

  $\vec{p} = q\vec{d}$

- **மின் முனைவாக்க வெக்டர்**

  $\vec{P} = n\vec{p}$ $\qquad$ $\vec{P} = \lim_{\Delta V \to 0} \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta V} = \frac{d\vec{p}}{dV}$

- **மின் ஏற்புத்திறன்**

  $\chi = \frac{P}{\varepsilon_0 E}$

- **அணு மின் முனைவாக்கத்திறன்**

  $\alpha = \frac{p}{E}$

- **மின்புலத்தில் மின்காப்பு பண்பு**

  $\vec{E'} = \vec{E} - \vec{E_P}$

- **மின்காப்பு இழப்பு: மாறுதிசை மின்புலத்தில் மின்காப்பானின் பண்புகள்**

  $P_a = 2\pi \upsilon \varepsilon v E^2 \tan\delta$

- **ஒரு படித்தான நேரியல் மற்றும் திசையொருமை பண்புகள்**

  ஒருபடித்தான ஊடகம்

  கொடுக்கப்பட்ட திசையில் அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் ஒத்த இயற்பண்புகளை கொண்டிருக்கும்

  பலபடித்தான ஊடகம்

  கொடுக்கப்பட்ட திசையில் அனைத்துப் புள்ளிகளிலும் வேறுபட்ட இயற்பண்புகளை கொண்டிருக்கும்

  நேரியல் ஊடகம்

  மின்புலத்தை பொருத்து ஊடகத்தின் விடுதிறன் மாறாதது

நேரியலற்ற ஊடகம்

மின் புலத்தைப் பொருத்து ஊடகத்தின் விடுதிறன் மாறும்

திசையொருமை ஊடகம்

அனைத்து திசைகளிலும் இயற்பண்புகள் ஒத்த மதிப்புடையவை

திசையொருமைபண்பற்ற ஊடகம்

ஒவ்வொரு திசைகளிலும் அதன் இயற்பண்புகள் ஒவ்வொரு மதிப்பை கொண்டிருக்கும்

- **பாய அடர்த்தி, புலச்செறிவு மற்றும் முனைவாக்கத்திற்கு இடைப்பட்ட தொடர்பு**

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$$

- **மின் பாய அடர்த்தி மற்றும் மின் பாயம்**

$$\varphi = \int_S \vec{D}.d\vec{S}$$

- **மின்காப்பானில் காஸ் விதி**

$$\varphi = \int_S \vec{D}.d\vec{S} = q$$

- **இயல் காரணிகளுக்கு இடையே உள்ள தொடர்பு: அளவுரு தொடர்புகள்**

$$\frac{\vec{E'}}{\vec{E}} = 1 + \chi = k$$

- **மின் முனைவாக்க வகைகள்**

தூண்டப்பட்ட (எலக்ட்ரானிய) முனைவாக்கம்:

$$p = Zex = 4\pi\varepsilon_0 r^3 E$$

அணு (அயனி) முனைவாக்கம்: $P_i = np_i = n\alpha_i E$

இரு துருவ (ஒருங்கமை) முனைவாக்கம்: $P_o = \frac{n}{3}\frac{{p_0}^2 E}{kT} = n\alpha_o E$

- **ஓரணு வாயுவின் முனைவாக்கம்**

$$p = Zex = 4\pi\varepsilon_0 r^3 E$$

- **பல்லணு வாயுவின் முனைவாக்கம்**

$$P = P_e + P_i + P_o$$

$$= n(\alpha_e + \alpha_i + \alpha_o)E$$

- **கோள வடிவ குழி: கிளாசியஸ்–மொஸாட்டி தொடர்பு**

$$\frac{n\alpha}{3\varepsilon_0} = \frac{k-1}{k+2}$$

- **சீரான மின்புலத்தில் மின்காப்பு கோளம்**

$$\vec{P} = \frac{\vec{p}}{V} = \frac{3\pi E_0 \varepsilon_2 (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2\varepsilon_2 + \varepsilon_1} \hat{z}$$

- **மின்காப்பு வலிமை மற்றும் மின்காப்பு முறிவு**

மின்காப்பு வலிமை

மின்காப்பு முறிவுக்கு முன்பான அதிகபட்ச மின்புலச் செறிவு

மின்காப்பு முறிவு

அதிகபட்ச மின்புலம் எலக்ட்ரான்களை மூலக்கூறுகளில் இருந்து கவர்ந்து விடுவதால் முறிவு ஏற்படுகிறது

- **மின்காப்பானின் பயன்பாடுகள்**

மின்திறன், மின்மாற்றிகள், மின் வடங்கள், பொறி மின் இயற்றிகள், ஏற்பி மற்றும் பரப்பி சாதனங்கள், மின் வெப்பமூட்டிகள், மின் பகிர்வு சாதனங்கள் முதலியவற்றில் இவ்வகை பொருட்கள் பயன்படுகின்றன.

பயிற்சிகள்

கொள்குறி வகை வினாக்கள்

2.1 $\vec{P}$ என்பது முனைவாக்கம் வெக்டர் மற்றும் $\vec{\nabla}.\vec{P} = \rho$ எனில் ρ என்பது ..... இன் அடர்த்தியாகும்

(a) கட்டுறா மின்னூட்டம்

(b) கட்டுறு மின்னூட்டம்

(c) மின்காப்பு எல்லையிலுள்ள கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள்

(d) கட்டுறா மற்றும் கட்டுறு மின்னூட்டங்களில் சேர்க்கை

2.2 சீர்மிகு மின்காப்பானின் மின்காப்பு மாறிலியின் மதிப்பு

(a) 0 (b) 1 (c) – 1 (d) முடிவிலி

2.3 ஓரலகு முனைவாக்கமுள்ள மின்புலத்தில் உள்ள துகளின் (அணு அல்லது மூலக்கூறு) மின் இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆனது,

(a) முனைவாக்கம் (b) முனைவாக்கத் திறன்

(c) நிகர இருமுனை திருப்புத்திறன் (d) ஏற்புத்திறன்

2.4 அணுவின் முனைவாக்கத்திறனுக்கும் (α_e) ஆரத்திற்கும் (R) உள்ள தொடர்பு

(a) $\alpha_e \propto R^3$ (b) $\alpha_e \propto R^2$ (c) $\alpha_e \propto R$ (d) $\alpha_e \propto R^0$

2.5 மின்காப்பு பொருட்கள் என்பவை

(a) குறை மின்கடத்தி (b) கடத்தி

(c) மின் கடத்தாப்பொருட்கள் (d) (b) மற்றும் (c)

2.6 மின் கடத்தாப் பொருட்களின் கடத்துதிறன் சுழியாவதன் காரணம் ..... இல்லாததே ஆகும்.

(a) கட்டுறு எலக்ட்ரான்கள் (b) கட்டுறா எலக்ட்ரான்கள்

(c) புரோட்டான்கள் (d) நியூட்ரான்கள்

2.7 அயனி முனைவாக்கத்திறன் என்பது

(a) வெப்பநிலையைப் பொருத்தது

(b) வெப்பநிலையைப் பொருத்ததல்ல

(c) மின்னோட்ட அடர்த்தியைப் பொருத்தது

(d) அயனிகளின் எண்ணிக்கையை பொருத்தது

2.8 செலுத்தப்படும் மின்புலம் $\vec{E}$ மற்றும் மின்காப்பானில் உண்டான நிகர மின்புலம் $\vec{E'}$ எனில்,

(a) $\vec{E'} = \vec{E} - \varepsilon_0 \vec{P}$ (b) $\vec{E'} = \vec{E} + \varepsilon_0 \vec{P}$ (c) $\vec{E'} = \vec{E} + \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0}$ (d) $\vec{E'} = \vec{E} - \frac{\vec{P}}{\varepsilon_0}$

2.9 முனைவாக்கத் திறனின் அலகு

(a) Nm^2/C^2 (b) debye (c) Fm^2 (d) V/m

2.10 முனைவுள்ள மின்காப்பான்களுக்கான முனைவாக்கத் திறன் α_o என்பது

(a) $\alpha_o = 3\mu_p kT$ (b) $\alpha_o = \frac{\mu_p}{3kT}$ (c) $\alpha_o = \frac{\mu_p^{\,2}}{3kT}$ (d) $\alpha_o = \frac{\mu_p^{\,2}}{kT}$

2.11 குறைந்த அதிர்வெண்ணில் (~100Hz) கிடைப்பது

(a) ஒருங்கமை மின்முனைவாக்கம் மட்டும்

(b) அயனி மின்முனைவாக்கம் மட்டும்

(c) எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கம் மட்டும்

(d) அனைத்து வகை மின் முனைவாக்கம்

2.12 மின் ஏற்புத்திறன் χ_e என்பது

(a) $\chi_e = \frac{P}{\varepsilon_0 E}$ (b) $\chi_e = \frac{P}{3\varepsilon_0 E}$ (c) $\chi_e = \varepsilon_0 EP$ (d) $\chi_e = \frac{3\varepsilon_0 E}{P}$

2.13 ஓரணு வாயுவின் எலக்ட்ரானிய மின் முனைவாக்கம் என்பது

(a) $4\pi\varepsilon_0$ (b) $4\pi\varepsilon_0 R$ (c) $4\pi\varepsilon_0 R^3$ (d) $4\pi\varepsilon_0 R^2$

2.14 மின் முனைவாக்கத் திறனின் SI அலகு

(a) Fm^{-2} (b) Fm (c) Fm^{-1} (d) Fm^2

2.15 மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின் ஏற்புத்திறன் என்பது,

(a) $\chi = \frac{n\alpha}{\varepsilon_0}$ (b) $\chi = \frac{n\alpha}{3\varepsilon_0}$ (c) $\chi = \frac{\alpha}{n\varepsilon_0}$ (d) $\chi = \frac{n\varepsilon_0}{\alpha}$

2.16 மின் இடப்பெயர்விற்கும் முனைவாக்கத்திற்க்கும் இடையேயான தொடர்பு என்பது,

(a) $\vec{P} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{D}$ (b) $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ (c) $\vec{D} = \vec{E} + \varepsilon_0 \vec{P}$ (d) $\varepsilon_0 \vec{D} = \vec{E} + \vec{P}$

2.17 மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின் ஏற்புத்திறன் மற்றும் மின்காப்பு மாறிலியிடையே உள்ள தொடர்பு

(a) $k = 1 - \chi$ (b) $k = 1 + \chi$ (c) $k = \chi - 1$ (d) $\frac{1}{k} = \chi - 1$

2.18 மின்காப்பு ஊடகத்தின் மின் ஏற்புத்திறன் மற்றும் அணு முனைவாக்கத் திறனுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பு,

(a) $k = 1 + \frac{\alpha}{n\varepsilon_0}$ (b) $k = 1 + \frac{n}{\alpha\varepsilon_0}$ (c) $k = 1 + \frac{n\alpha}{\varepsilon_0}$ (d) $k = 1 + \frac{\varepsilon_0 n}{\alpha}$

2.19 வெற்றிடத்தில் மின் ஏற்புத்திறன் என்பது

(a) > 1 (b) 0 (c) < 1 (d) எதிர்க்குறி

2.20 ஒருங்கமை இருமுனை திருப்புத்திறனுக்கும் ஒருங்கமை முனைவாக்கத் திறனுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பு

(a) $\alpha_o = \frac{p_0^2}{kT}$ (b) $\alpha_o = \frac{p_0^2}{2kT}$ (c) $\alpha_o = \frac{p_0^2}{3kT}$ (d) $\alpha_o = \frac{3p_0^2}{kT}$

2.21 மின்காப்பு மாறிலிக்கும் அணு ஆரத்திற்கும் உள்ள தொடர்பு

(a) $k = 1 + 4\pi na^3$ (b) $k = 1 + 4\pi na^2$ (c) $k = 1 - \frac{4\pi a^3}{n}$ (d) $k = 1 - 4\pi a^3$

2.22 மின்காப்பு மாறிலி என்பது கீழ்க்கண்ட ஒன்றின் தகவு

(a) நிகர மின்புலம் $\vec{E'}$ மற்றும் செலுத்தப்படும் மின்புலம் $\vec{E}$ இடையே

(b) செலுத்தப்படும் மின்புலம் $\vec{E}$ மற்றும் நிகர மின்புலம் $\vec{E'}$ இடையே

(c) செலுத்தப்படும் மின்புலத்திற்கும் $\vec{E}$ நிகர மின்புலத்திற்கும் $\vec{E'}$ இடையே உள்ள வேறுபாடு

(d) இவற்றில் எதுவுமில்லை

2.23 வெற்றிடத்தில் மின் இடப்பெயர்வு என்பது,

(a) $\vec{D} = \varepsilon\vec{E}$ (b) $\vec{D} = \varepsilon_0\vec{P}$ (c) $\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E}$ (d) $\vec{D} = \frac{\vec{E}}{\varepsilon_0}$

கொள்குறி வகை வினா–விடைகள்
2.1 (b), 2.2 (d), 2.3 (b), 2.4 (a), 2.5 (c), 2.6 (b), 2.7 (b), 2.8 (d), 2.9 (c), 2.10 (c), 2.11 (a), 2.12 (a), 2.13 (c), 2.14 (d), 2.15 (a), 2.16 (b), 2.17 (b), 2.18 (c), 2.19 (d), 2.20 (c), 2.21 (a), 2.22 (b), 2.23 (c)

சிறு மற்றும் பெரு வினாக்கள்

வகை I

2.1 மின்காப்பு ஊடகத்தின் பாய அடர்த்தி, புலச் செறிவு மற்றும் முனைவாக்கலை விளக்குக.

2.2 கூலும் விதி வகைக்கெழு வடிவத்தை இடப்பெயர்வு வெக்டர் மூலமாக எழுதுக.

2.3 எலக்ட்ரானிய முனைவாக்கத் திறன் என்றால் என்ன ? எவ்வகையில் ஓரணு வாயுவை முனைவாக்கம் செய்யலாம் ?

2.4 அணு முனைவாக்கத் திறனை வரையறு. முனைவாக்கம் மற்றும் அணு முனைவாக்கத் திறனுக்கு இடையே உள்ள தொடர்பை காண்க.

2.5 எலக்ட்ரானிக் முனைவாக்கத் திறனுக்கும் அணுவின் கன அளவிற்கும் இடையே உள்ள தொடர்பை தருவி.

2.6 மின் இருமுனை முனைவாக்கத் திறன் என்றால் என்ன ?

2.7 மின்காப்பு பொருட்களின் முக்கிய பண்புகளை குறிப்பிடுக.

2.8 மின் இடப்பெயர்வு வெக்டர் என்றால் என்ன ?

2.9 $k = 1 + \chi_e$ என நிரூபிக்க. இங்கு k மற்றும் χ_e முறையே மின்காப்பு மாறிலி மற்றும் ஏற்புத்திறன் ஆகும்.

2.10 "$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ என்பது திசையொருமைப் பண்புள்ள மின்காப்பு ஊடகத்தின் இடப்பெயர்வு வெக்டர். இங்கு $\vec{P}$ என்பது முனைவாக்கம் ஆகும். கோவையில் உள்ள உறுப்புகளை வரையறு.

2.11 மின்காப்பு ஊடகத்தில் முனைவாக்கத்தின் பங்கை விவரி.

2.12 மின் காப்பானில் காஸ் விதியின் பங்கை விவாதிக்க.

2.13 மின்காப்பு மாறிலி மற்றும் மின் ஏற்புத்திறனுடன் தொடர்புடைய கோவையை தருவிக்க.

2.14 முனைவாக்கத் தத்துவம் எந்த வகையில் முக்கியமானது என விவரி.

2.15 முனைவுள்ள மற்றும் முனைவற்ற மின்காப்பான்களுக்கிடைப்பட்ட வேறுபாட்டைக் கணக்கிடுக.

2.16 ஒருங்கமைமுனைவாக்குத்திறன்நிலையானதொடர்புகளால்கீழ்க்கண்டவாறுகொடுக்கப்பட்டுள்ளது $\alpha_o = \frac{{p_0}^2}{3kT}$. வேறுபட்ட குறியீடுகளைக் கண்டறிக.

2.17 $k = 1 + \frac{n\alpha}{\varepsilon_0}$, என்ற கோவையில் உள்ள உறுப்புகளைக் குறிப்பிடுக.

2.18 கிளாசியஸ் – மொஸாட்டி சமன்பாட்டின் பயன்பாடு யாது ?

2.19 முனைவுள்ள மற்றும் முனைவற்ற மூலக்கூறுகளுக்கிடையே உள்ள வேறுபாட்டை அறிக.

2.20 முனைவற்ற மின்காப்பு வாயுவின் எலெக்ட்ரானிய முனைவாக்கத்தை விளக்குக.

2.21 மின்காப்பு முறிவைப் பற்றி விவாதிக்க.

2.22 $\chi_e = \varepsilon_r - 1$ கோவையில் உள்ள வேறுபட்ட குறியீடுகளை வரையறு.

2.23 ஓரணு வாயுவின் முனைவாக்கலை விளக்குக. எலெக்ட்ரானிய முனைவாக்கத் திறனுக்கும் அணுவின் கன அளவுக்கும் உள்ள தொடர்பை வருவி.

2.24 உறுப்புகளை வகைப்படுத்து a) மின்காப்பு வலிமை b) மின்காப்பு உட்கவர்தல் மற்றும் c) இருமுனைத் திருப்புத்திறன்

வகை II

2.25 "மின் புலத்தினுள் வைக்கப்பட்ட மின்காப்பினுள் உருவாகும் புலம் செலுத்தப்படும் வெளிப்புற புலத்தை விட வலிமை குறைந்ததாக இருக்கும்." ஏன் ?

2.26 "மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்காப்பினுள் உருவாகும் புலம் செலுத்தப்படும் வெளிப்புற புலத்தின் வலிமையை விட குறைவாக/அதிகமாக இருக்கும்." சரியானதைத் தேர்ந்தெடுத்து விளக்குக.

2.27 மின்காப்பு இழப்பையும் அதற்கான காரணத்தையும் விளக்குக.

2.28 "NTP இல் He இன் மின்காப்பு மாறிலி 1.0000684 ஆகும்". இக்கருத்தின் பொருள் யாது ?

2.29 மின் இடப்பெயர்வில் பாயம் மற்றும் பாய அடர்த்தியின் பங்கை கண்டறி.

2.30 செயற்கை மின்காப்பான்களின் அவசியத்தை குறிப்பிடுக.

2.31 தனித்த அணு நிலைத்த மின் இருமுனைத்திருப்புத்திறனைக் கொண்டிருக்குமா ? ஏன் ?

2.32 மின்காப்புப் பொருளை மின்தேக்கியின் தட்டுகளுக்கு இடையே வைப்பதால் மின்தேக்கியின் மின்தேக்குதிறனானது எவ்வாறு உயர்கிறது ?

கணக்குகள்

2.1 60 μC மின்னூட்டப்பட்ட காற்று மின்தேக்கியானது, 200V மின்னழுத்தத்தை தருகிறது. மின்காப்பு ஊடகத்தை சேர்க்கும்போது மின்னழுத்தம் 50V ஆக குறைகிறது எனில், ஊடகத்தின் மின்காப்பு மாறிலி என்ன ? [விடை: 4]

2.2 வாயுவின் ஏற்புத்திறன் 10^{-3} எனில் மின் முனைவாக்கத் திறனை கண்டறிக. $2kg/m^3$ மற்றும் 43.98 ஆகியவை முறையே அடர்த்தி மற்றும் மூலக்கூறு எடை ஆகும். [விடை: $3.23 \times 10^{-37} Fm^2$]

2.3 NTP இல் வாயுவின் மின்காப்பு மாறிலி 1.000456 எனில் மின் ஏற்புத்திறனை கண்டறிக.
[விடை: 4.56×10^{-5}]

2.4 மந்தவாயுவின் முனைவாக்க திறன் $1.5 \times 10^{-40} Fm^2$ ஆகும். வாயுவில் $2 \times 10^{25} atoms/m^3$ உள்ளதெனில் அணுவின் மின்காப்பு மாறிலியைக் காண்க. [விடை: 1.00034]

2.5 NTP ல் வாயுவின் மின்காப்பு மாறிலி 1.006 என்பது ஆகும். வாயுவானது 4×10^{25} atoms/ m^3 கொண்டிருந்தால் அணுவின் எலக்ட்ரானிய முனைவாக்குத் திறனைக் கணக்கிடுக.
[விடை: $1.33 \times 10^{-39} Fm^2$]

2.6 $0.0005\ m^2$ பரப்பளவும் 5mm இடைவெளியும் 0.5 nC மின்னூட்டமும் கொண்ட இணைத்தட்டு மின்தேக்கிக்கு 50 V மின்னழுத்தம் செலுத்தப்படுகிறது. மின்காப்பு மாறிலியைக் கணக்கிடுக.

2.7 0^0C வெப்பநிலை மற்றும் 1 வளிமண்டல அழுத்தத்தில் ஹீலியம் வாயுவின் மின்காப்பு மாறிலி 1.0000684 ஆகும். வாயுவில் உள்ள 2.7×10^{25} $atoms/m^3$ அணுவின் எண்ணிக்கை, 10^6 V/m மின் புலத்தில் வைக்கப்படும்போது எலக்ட்ரான் கூட்டத்தின் ஆரம் r (அணுவின் ஆரம்) மற்றும் இடப்பெயர்வு x ஆகியவற்றைக் கணக்கிடுக. [விடை: $2.72 \times 10^{-12}m$, $0.7 \times 10^{-22}m$]

2.8 6000 Vcm^{-1} மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட He வாயுவின் ஓரலகு கன அளவில் உண்டாகும் தூண்டப்பட்ட இருமுனை திருப்புத்திறனைக் கணக்கிடுக. கொடுக்கப்பட்டவை, He அணுவின் முனைவாக்கத் திறன் $0{\cdot}18 \times 10^{-40} Fm^2$ மற்றும் அடர்த்தி $2{\cdot}6 \times 10^{25}$ $atoms/m^3$.
[விடை: $2.81 \times 10^{-10} C/m^2$]

2.9 ஆர்கான் வாயுவின் மின் முனைவாக்கம் $1{\cdot}43 \times 10^{-40}$ $F.m^2$ எனில் மின்காப்பு மாறிலியைக் காண்க. ஆர்கன் வாயுவின் அடர்த்தி $1{\cdot}8$ $g.cm^{-3}$ மற்றும் அணு நிறை $39{\cdot}95$ $g.mol^{-1}$ [விடை: 1.000436]

2.10 ஆர்கான் அணுவின் விட்டம் 3.84×10^{-10} m எனில், STPயில் முனைவாக்கத் திறனை காண்க. ஆர்கானின் மின்காப்பு மாறிலி 1.00044 ஆகும்.

செய்முறை

கொடுக்கப்பட்ட மின்காப்பு பொருட்களின் மின்காப்பு மாறிலியைக் கண்டுபிடி

உபகரணங்கள்

மின்னணு வோல்ட் மீட்டர், கண்ணாடி ஊடகம், தங்க முலாம் பூசப்பட்ட வட்டு, CRO, ஒலி அலை இயற்றி.

கோட்பாடு

ஒலி அலை இயற்றி சாதனத்துடன் உள்பக்கமாக இணைக்கப்பட்டுள்ளது C_{SC} மற்றும் C_{DC} ஆகியவை முறையே தரமான மின்தேக்கி மற்றும் மின்காப்பு மின்கலன்களின் மின்தேக்குத் திறன் ஆகும். மேலும் V_{SC} மற்றும் V_{DC} ஆகியவை SC மற்றும் DC க்கு இடையேயான மின்னழுத்தம் எனில்

$$\frac{V_{SC}}{I} = \frac{1}{\omega C_{SC}}$$

அல்லது, $$I = \omega C_{SC} V_{SC} \quad \ldots(i)$$

மின்காப்பு மின்கலத்தின் வழியே பாயும் அதே மின்னோட்டம். அதாவது,

$$\frac{V_{DC}}{I} = \frac{1}{\omega C_{DC}}$$

அல்லது, $$C_{DC} = \frac{I}{\omega V_{DC}}$$

$$= \frac{\omega C_{SC} V_{SC}}{\omega V_{DC}}$$

அல்லது, $$C_{DC} = \left(\frac{V_{SC}}{V_{DC}}\right) C_{SC} \quad \ldots(ii)$$

இப்போது காற்றை மின்காப்பு ஊடகமாகக் கொண்ட தரமான இணைத் தட்டு மின்தேக்கியின் மின்தேக்குத் திறனானது,

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$$

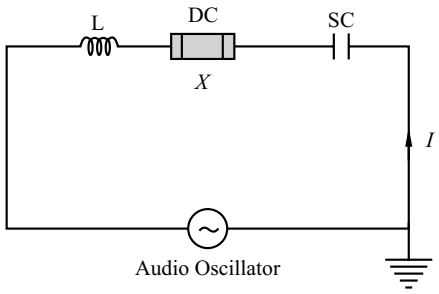
$$= \frac{\varepsilon_0 \pi r^2}{d}$$

$$= \frac{r^2}{36d} \times 10^{-9}\,\text{F}$$

$$= \frac{r^2}{36d}\,\text{nF} \quad \ldots(iii)$$

இங்கு r என்பது மின்தேக்கி தட்டின் ஆரம், d தட்டுக்கிடைப்பட்ட தொலைவு (in m). பொருளின் மின்காப்பு மாறிலி ஆனது,

$$\varepsilon_r = \frac{C_{DC}}{C_0} \quad \ldots(iv)$$



படம் (i)

படம் (ii)

வழிமுறை

1. மின் தேக்கித் தட்டின் விட்டத்தை அளந்து ஆரத்தை (r) கண்டுபிடி.
2. மின்காப்பு பலகையின் தடிமனை (d) அளக்கவும்.
3. மின்காப்பு கலனில் மின்காப்பு மாறிலியைக் கண்டறிய வேண்டிய பொருளை இடுக.
4. அலையியற்றியை இயக்கி அதிர்வெண் மற்றும் உள்ளீடு மின்னழுத்தத்தை நிறுவுக. நிலையான மின்தேக்கி (SC) மற்றும் மின்காப்புக் கலத்தின் (DC) இடையேயான மின்னழுத்தத்தை குறித்துக் கொள்க.
5. உள்ளீடு மின்னழுத்தத்தை மாற்றி SC மற்றும் DC இடையேயான மின்னழுத்தத்தை குறித்துக் கொள்க. V_{SC} vs. V_{DC} வளைவை வரைக.
6. உள்ளீடு அதிர்வெண்ணை மாற்றி 4வது படியிலிருந்து செய்முறையை மீண்டும் தொடர்க.
7. V_{DC} க்கு முறையே கிடைக்கப்பெற்ற V_{SC} யை வரைந்து சாய்விலிருந்து C_{DC} யை கணக்கிடுக.

சோதனைத் தகவல்கள்

அட்டவணை 1: மின்காப்பு தொகுதியின் தடிமன்

வ. எண்	தடிமன் (cm)			சராசரி தடிமன் (d) (cm)	d (metre)
	நேர்கோட்டு அளவுகோல்	வட்ட அளவுகோல்	மொத்தம்		

அட்டவணை 2: தரநிலை மின்தேக்கியின் விட்டம்

வ. எண்	விட்டம்			சராசரி விட்டம் D (in cm)	r = D/2 (meter)
	தலைக்கோல் அளவு	வெர்னியர் கோல் அளவு	மொத்தம்		

அட்டவணை 3: C_{DC} மற்றும் C_{SC} இடையேயான மின்னழுத்தம்

கொடுக்கப்பட்டவை C_{SC} =.....

உள்ளீடு அதிர்வெண் (Hz)	உள்ளீடு மின்னழுத்தம் (V)	இடைப்பட்ட மின்னழுத்தம்		$C_{DC} = (V_{SC}/V_{DC})\, C_{SC}$	சராசரி C_{DC} (pF)
		C_{DC}	C_{SC}		

கணக்கு

$\varepsilon_r = C_{DC}/C_0$ = ...pF.

கவனிக்க வேண்டியவை

1. கண்ணாடி மற்றும் PZT (காரீய ஜிர்கோனேட் டைட்டனேட்) போன்ற மின்காப்பு பொருட்கள் எளிதில் உடையக்கூடியவை. எனவே அவற்றை வட்டுகளுக்கு இடையே வைக்கப்படும்போது மிகுந்த கவனத்துடன் வைக்கவேண்டும்.
2. தங்க முலாம் பூசப்பட்ட வட்டுகளுக்கு இடையே வைக்கும்போது வட்டின் விட்டத்திற்கு சமமான அளவுள்ள விட்டம் கொண்ட மாதிரியை உபயோகப்படுத்த வேண்டும்.

மேலும் அறிக

மின்காப்பான் பொருட்கள் என்பவை மின் கடத்தாப் பொருட்களே ஆகும். மேலும் அவை செலுத்தப் படும் மின்புலத்தால் முனைவாக்கம் பெறுகின்றன. மின்புலம் செலுத்தப்படும் போது, மின்காப்பான்களில் கடத்திகளைப் போன்று மின்னூட்டங்கள் பாய்வதில்லை. மாறாக, அவற்றில் உள்ள மின்னூட்டங்கள் சமநிலையில் இருந்து சற்று விலகி முனைவாக்கம் அடைகின்றன.

செயல்பாடு

ஒரு மின்காப்பு ஒத்திசை அலையியற்றி என்பது ஒரு சிறிய அளவிலான அதிர்வெண்களுக்கான (பொதுவாக நுண்அலைகளுக்கான பட்டை அகலத்தில்), முனைவாக்க பதிலின் அதிர்வுகளை உருவாக்க உதவும் ஒரு மின்னணு சாதனமாகும். இது ஒரு உயரிய மின்கடத்தா மாறிலி மற்றும் குறைந்த சிதறல் காரணி கொண்ட பீங்கானால் ஆன வளையத்தை கொண்டுள்ளது.

இந்த வகை ஒத்ததிர்வான் ஒரு அலையியற்றி சுற்றில் அதிர்வெண் குறிப்பை வழங்க அடிக்கடி பயன்படுத்தப்படுகிறது. மின்னணுவியல் மற்றும் தொலைத்தொடர்பு பொறியியலில் ஆகியவற்றிற்கான ஒரு ஆண்டெனாவாக ஒரு மின்கடத்தா ஒத்ததிர்வானைப் பயன்படுத்தலாம்.

சுவாரஸ்யமான உண்மைகள்

மின்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்கடத்தாப் பொருட்கள், குறிப்பாக கோளவடிவ மின்காப்பான்களைப் பற்றி குறிப்பிடத்தக்க சுவாரஸ்யமான விவரங்களை பின்வருவனவற்றிலிருந்து காணலாம்:

1. Dielectric Sphere in an Electric Field
2. DoITPoMS Teaching and Learning Package ”Dielectric Materials”
3. Texts on Wikisource:
    a. "Dielectric". Encyclopedia Americana. 1920.
    b. "Dielectric". Encyclopædia Britannica (11th ed.). 1911.

ஒப்புமை

இராணுவ ஆராய்ச்சி ஆய்வகம் (ARL) 2002 முதல் 2004 வரை மெல்லேடு தொழில்நுட்பத்தைப் பற்றி ஆராய்ச்சி நடத்தியது. பேரியம் ஸ்ட்ரோண்டியம் டைட்டனேட், ஃபெரோ மின் மெல்லேடு ஆகியவை மின்னழுத்த கட்டுப்பாட்டு அலையியற்றிகளுக்கு, சரிசெய்யக்கூடிய வடிப்பான்கள் மற்றும் கட்ட மாற்றிகளில் பயன்படும் ரேடியோ அதிர்வெண் மற்றும் நுண்ணலை கூறுகளை தயாரிப்பதற்காக பயன் படுத்தப்படுகிறது.

தீவிர வெப்பநிலையில் தொடர்ச்சியாக செயல்படும் பட்டை அகல மின்புலம் மாற்றக்கூடிய சாதனங்களுக்கான, உயர்–சீரான நுண்ணலை–இணக்கமான பொருட்களை இராணுவத்திற்கு வழங்கும் முயற்சியின் ஒரு பகுதியாக இந்த ஆய்வு இருந்தது. மின்னணு சாதனங்களுக்கான மெல்லேடு பண்பு கொண்ட பெரிய அளவிலான பேரியம் ஸ்ட்ரோண்டியம் டைட்டனேட் இந்த வேலையை மேம்படுத்தியது.

ஏற்பி கலப்பிகளான குறைந்த செறிவு ஃபெரோ மின் பொருட்களின் பண்புகளை எவ்வாறு மாற்றியமைக்க முடியும் என்பதை 2004 இல் ARL ஆராய்ந்தது.

வரலாறு

பதினெட்டாம் நூற்றாண்டின் பிற்பகுதியில், விஞ்ஞானிகள் ”மின்மயமாக்கலை” கண்டறிய அதிக உணர்திறன் கருவிகளை உருவாக்கினர், தொடர்பு மின்மயமாக்கல் அல்லது தொடர்பு பதற்றம் என அழைக்கப்படும் தொடர்பு மூலம் மின்மயமாக்கல் நிகழ்வு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இரண்டு பொருள்களை

ஒன்றாகத் தொடும்போது, சில நேரங்களில் அவை தன்னிச்சையாக மின்னூட்டப்பட்டு, ஒன்று நிகர எதிர்மறை மின்னூட்டத்தையும் மற்றொன்று சமமான மற்றும் எதிரான நேர்மறை மின்னூட்டத்தையும் உருவாக்கியது.

கால நிலைகள்

1750 – 1774: புகழ்பெற்ற காற்றாடி பரிசோதனையுடன், பெஞ்சமின் பிராங்க்ளின் மின்சாரம் பற்றிய அறிவை மேம்படுத்தினார், அதே துறையில் படிக்க அவரது ஆங்கில நண்பர் ஜோசப் பிரீஸ்ட்லியை ஊக்கப்படுத்தினார்.

1800 – 1819: அலெஸாண்ட்ரோ வோல்டா முதல் அடிப்படையான பேட்டரியைக் கண்டுபிடித்தார், ரசாயன செயல்முறைகள் மூலம் மின்சாரத்தை உருவாக்க முடியும் என்பதைக் கண்டுபிடித்தார்; மின்சார விளக்குகளை கண்டுபிடிப்பதற்கான புதிய கருவியை விஞ்ஞானிகள் விரைவில் கைப்பற்றுவார்கள். மேலும், மின்சாரம் மற்றும் காந்தவியல் ஆகியவற்றுக்கு இடையிலான உறவைப் பற்றிய ஆழமான நுண்ணறிவு பெரும்பாலும் கவனிக்கப்படாமல் போகிறது என்கிறார்.

1840 – 1849: புகழ்பெற்ற ஃபாரடே தனது ஏராளமான ஆராய்ச்சியுடன் பெருமளவில் பங்களித்தார். வாஷிங்டன், டி.சி மற்றும் பால்டிமோர், எம்.டி இடையே ஒரு தந்தி செய்தி அனுப்பியது அறிவியல் துறையில் ஒரு மைல்கல் ஆகும்.

1850–1869: தொழில்துறை புரட்சி முழு பலத்தில் இருந்தது. கிராம் தனது டைனமோவைக் கண்டுபிடித்தார்மற்றும்ஜேம்ஸ்கிளார்க்மேக்ஸ்வெல்தனதுதொடர்சமன்பாடுகளைஎலக்ட்ரோடைனமிக்ஸ் குறித்து வகுத்தார்.

1870–1879: தொலைபேசி மற்றும் முதல் நடைமுறை ஒளிரும் ஒளி விளக்கை கண்டுபிடித்தனர், அதே நேரத்தில் ''எலக்ட்ரான்'' என்ற சொல் அறிவியல் அகராதியில் நுழைகிறது.

1880–1889: நிகோலா டெஸ்லா மற்றும் தாமஸ் எடிசன் ஆகியோர் மின்சாரத்தை கடத்துவதற்கான வழியை உருவாக்கினர் மற்றும் ரேடியோ அலைகளை ஒளிபரப்பிய மற்றும் பெற்ற முதல் நபர் ஹென்ரிச் ஹெர்ட்ஸ் ஆவார்.

1890–1899: விஞ்ஞானிகள் எக்ஸ்ரே மற்றும் கதிரியக்கத்தன்மையைக் கண்டுபிடித்தனர், அதே நேரத்தில் கண்டுபிடிப்பாளர்கள் முதல் வானொலியை உருவாக்க போட்டியிட்டனர்.

1900–1909: ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன் தனது சிறப்பு சார்பியல் கோட்பாட்டையும் ஒளியின் குவாண்டம் தன்மை பற்றிய அவரது கோட்பாட்டையும் வெளியிட்டார். அவர், துகள் மற்றும் அலை பண்பை அடையாளம் காட்டினார். எப்போதும் புதிய உபகரணங்களுடன், மின்சாரம் அன்றாட வாழ்க்கையை மாற்றத் தொடங்கு கிறது.

1910–1929: அணுவின் அமைப்பு மற்றும் அதன் கூறு துகள்கள் பற்றிய புரிதல், தொலைபேசி மற்றும் வானொலி பொதுவானதாகி நவீன தொலைக்காட்சி பிறந்தது.

1930–1939: சிறப்பு நுண்ணோக்கிகள் மற்றும் சைக்ளோட்ரான் போன்ற புதிய கருவிகள் உயர் மட்டங்களுக்காக ஆராய்ச்சி செய்யப்பட்டன, அதே நேரத்தில் சராசரி குடிமக்கள் எஃப்எம் வானொலி போன்ற புதிய வசதிகளை அனுபவித்தனர்.

1940–1959: பாதுகாப்பு தொடர்பான ஆராய்ச்சி கணினிக்கு வழிவகுக்கிறது, உலகம் அணு யுகத்திற்குள் நுழைந்தது மற்றும் தொலைக்காட்சி அமெரிக்காவை வென்றது.

1960–1979: கணினிகள் தனிப்பட்ட கணினிகளாக பரிணமித்தன, ஆராய்ச்சியாளர்கள் ஒரு புதிய துணைத் துகள்களை ஒன்றன்பின் ஒன்றாகக் கண்டுபிடித்தனர் மற்றும் விண்வெளி கால அறிவியலுக்கு ஒரு புதிய சூழலைக் கொடுத்தது.

1980–2003: விஞ்ஞானிகள் புதிய எரிசக்தி ஆதாரங்களை ஆராய்ந்தனர், உலகளாவிய வலை ஒரு பரந்த வலையமைப்பை உருவாக்கியது மற்றும் நானோ தொழில்நுட்பம் அதன் பயணத்தைத் தொடங்கியது.

பயன்பாடுகள் (நிஜ வாழ்க்கை / தொழில்துறை)

காப்பு, விடுதிறன், வெப்பநிலை சார்பு, மின்காப்பு வலிமை மற்றும் மின்காப்பு பொருள் போன்ற பல்வேறு பண்புகளின் அடிப்படையில் மின் சாதனங்களை உற்பத்தி செய்ய பல்வேறு தொழில்துறை பொருட்களாகப் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. இந்த பொருளின் மிகவும் பொதுவான மற்றும் பெரும்பாலான பயன்பாடுகள் மின்மாற்றி, மின்தேக்கி, மின் வடங்கள், பொறி மின்னியற்றிகள், மின்மாற்றிகள் போன்றவை.

வழக்கு ஆய்வு (சுற்றுச்சூழல் / நிலைத்தன்மை / சமூக / நெறிமுறை சிக்கல்கள்)

மின்காப்பு பொருட்கள் திடப்பொருள்கள், திரவங்கள் அல்லது வாயுக்களாக இருக்கலாம். திட மின்காப்பு என்பது மின் மற்றும் மின்னணு பொறியியலில் பொதுவாக பயன்படுத்தப்படுகின்றன. பீங்கான், கண்ணாடி பிளாஸ்டிக் போன்ற பல திடப்பொருட்கள் மிகச் சிறந்த தரமான மின்காப்பான்கள். காற்று, நைட்ரஜன் மற்றும் சல்பர் ஹெக்ஸா ஃப்ளூரைடு ஆகியவை பொதுவாகப் பயன்படுத்தப்படும் மூன்று வாயு மின்காப்பான்கள் ஆகும். பாரிலீன் போன்ற தொழில்துறை பூச்சுகள் அடி மூலக்கூறுக்கும் அதன் சூழலுக்கும் இடையே ஒரு மின்காப்பை அளிக்கும் என்பதை கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். தாது எண்ணெய்கள் பெரும்பாலும் மின் மின்மாற்றிகளுக்குள் திரவ மின்காப்பானாகவும் குளிரூட்டலுக்கு உதவவும் பயன்படுத்தப்படுகிறது.

மின் தர ஆமணக்கு எண்ணெய் போன்ற உயர் மின்காப்பு மாறிலிகளைக் கொண்ட மின்காப்பு திரவங்கள் பெரும்பாலும் உயர் மின்னழுத்த மின்தேக்கிகளில் கூர்முனை செயல்பாடைத் தடுக்கவும், கொள்ளளவை அதிகரிக்கவும் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மின்காப்பு மின் ஓட்டத்தை எதிர்ப்பதால், ஒரு மின்காப்பு மேற்பரப்பு தனிமைப்படுத்தப்பட்ட அதிகப்படியான மின்னூட்டங்களைத் தக்க வைத்துக் கொள்ளலாம், இது மின்காப்பைத் தேய்க்கும்போது ஏற்படும் உராய்வு–மின் விளைவு ஆகும். இது வான்–டி–கிராஃப் மின்னியற்றி அல்லது எலக்ட்ரோஃபோரஸைப் போலவே பயனுள்ளதாக இருக்கும் அல்லது மின்னியல் வெளியேற்றத்தைப் போலவே இது அழிவுகரமானதாக இருக்கும்.

விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள்

எலக்ட்ரெட்டுகள் என அழைக்கப்படும் சிறப்பாக பதப்படுத்தப்பட்ட மின்காப்பான்கள் அதிகப்படியான உள் மின்னூட்டத்தைத் தக்கவைக்கலாம் அல்லது முனைவாக்கத்தில் ''உறைந்திருக்கும்''. எலக்ட்ரெட்டு கள் அரை நிரந்தர மின்புலத்தைக் கொண்டுள்ளன. மேலும் அவை காந்தங்களுக்கு சமமான மின் காந்தமாகும். எலெக்ட்ரெட்டுகள் வீடு மற்றும் தொழில்துறையில் பல நடைமுறை பயன்பாடுகளைக் கொண்டுள்ளன.

பைசோ எலக்ட்ரிசிட்டி பண்புடையவை என்று அழைக்கப்படும் பொருள் முழுவதும் வெளிப்புற மின்னழுத்தம் பயன்படுத்தப்படும்போது சில மின்கடத்தா பொருட்களின் இயந்திர அழுத்தத்தினால் அல்லது வடிவத்தை மாற்றுவதன் காரணமாக சாத்தியமான வேறுபாட்டை உருவாக்கலாம். சில அயனி படிகங்கள் மற்றும் பாலிமர் மின்காப்பு ஆகியவை தன்னிச்சையான இருமுனை தருணத்தைக் காட்டுகின்றன. அவை வெளிப்புறமாகப் பயன்படுத்தப்படும் மின்புலத்தால் மாற்றப்படலாம். இந்த பண்பு ஃபெரோ மின் விளைவு என்று அழைக்கப்படுகிறது. இந்த பொருட்கள் ஃபெரோ காந்த பொருட்களுக்கு ஒத்தவை மற்றும் மிக உயர்ந்த மின்காப்பு மாறிலிகளைக் கொண்டுள்ளன. இது மின்தேக்கிகளுக்கு பயனுள்ளதாக இருக்கும்.

மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள்

1. D. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, Pearson, 4th Edition, 2012.
2. D. Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker, Halliday and Resnick's Principles of Physics, 11th Edition, Global Edition, 2020.
3. W. Saslow, Electricity, Magnetism and Light, Elsevier Science Publishing Co Inc, 1st Edition, 2002.
4. K. C. Kao, Dielectric Phenomena in Solids. London: Elsevier Academic Press. pp. 92–93, 2004.

5. J. D. Jackson, Classical Electrodynamics, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 1998.
6. B. Scaife, Principles of Dielectrics (Monographs on the Physics & Chemistry of Materials), 2nd Edition, Oxford University Press, 1998.
7. https://web.mit.edu/8.02t/www/802TEAL3D/visualizations/coursenotes/modules/guide05.pdf
8. https://physics.iitm.ac.in/~manianvs/PH102-3.pdf
9. https://uomustansiriyah.edu.iq/media/lectures/9/9_2018_12_19!12_27_30_AM.pdf
10. https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/115101005/downloads/lectures-doc/Lecture-22.pdf

3 காந்த நிலைமம்

அலகு குறிப்பீடு

இந்த அலகு பின்வரும் தலைப்புகளை விரிவாக விவாதிக்கிறது:

- மின்னோட்டம், இழுப்பு திசைவேகம், மின்னோட்ட அடர்த்தி;
- தொடர்புச் சமன்பாடுகள்;
- லாரன்ஸ் விசை மற்றும் காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்னோட்டம் தாங்கிய சிறு பகுதி;
- காந்தப் புல மாறுபாடு;
- காந்த திசையிலி மின்னழுத்தம்;
- காந்த வெக்டர் மின்னழுத்தம்;
- காந்த நிலைம கணக்குகளை தீர்ப்பதில் பயட்–சாவர்ட் விதியின் பயன்பாடு;
- காந்த நிலைம கணக்குகளை தீர்ப்பதில் ஆம்பியர் சுற்று விதியின் பயன்பாடு.

தலைப்புகளின் நடைமுறை பயன்பாடுகள் மேலும் ஆர்வத்தையும் படைப்பாற்றலையும் உருவாக்குவதற்கும் கணக்குகளை தீர்க்கும் திறனை மேம்படுத்துவதற்கும் விவாதிக்கப்படுகின்றன.

ப்ளூமின் வகைபிரிப்பின் குறைந்த மற்றும் உயர் வரிசையைத் தொடர்ந்து இரண்டு பிரிவுகளில் குறிக்கப்பட்ட பல தேர்வு கேள்விகள் மற்றும் குறுகிய, நீண்ட பதில் வகைகளின் கேள்விகள், பல எண் கணக்குகளின் மூலம் பயிற்சிகள், குறிப்புகளின் பட்டியல் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் ஆகியவை இவ்வலகில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அதனால் ஆர்வத்துடன் ஒருவர் பயிற்சி செய்ய முடியும். ஆர்வமுள்ள பல்வேறு தலைப்புகளில் கூடுதல் தகவல்களைப் பெறுவதற்கு சில QR குறியீடுகள் வெவ்வேறு பிரிவுகளில் வழங்கப்பட்டுள்ளன. அவை தொடர்புடைய அறிவுக்கு ஸ்கேன் செய்யலாம்.

தொடர்புடைய நடைமுறைக்குப் பிறகு, உள்ளடக்கத்தின் அடிப்படையில், ''மேலும் அறிக'' என்ற பிரிவு உள்ளது. இந்த பகுதி நியாயமான முறையில் வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது, இதனால் இந்த பகுதியில் வழங்கப்பட்ட துணை தகவல்கள் புத்தகத்தின் பயனர்களுக்கு பயனளிக்கும். இந்த பிரிவு முக்கியமாக ஆரம்ப செயல்பாடு, சில சுவாரஸ்யமான உண்மைகளின் எடுத்துக்காட்டுகள், ஒப்புமை, முக்கிய அவதானிப்புகள் மற்றும் கண்டுபிடிப்புகளை மையமாகக் கொண்ட பொருளின் வளர்ச்சியின் வரலாறு, சம்பந்தப்பட்ட தலைப்புகளின் வளர்ச்சியிலிருந்து தொடங்கி சமீபத்திய காலம் வரையிலான காலக்கெடு, பொருள் சார்ந்த பயன்பாடுகள், அன்றாட நிஜ வாழ்க்கை அல்லது / மற்றும் தொழில்துறை பயன்பாடுகளுக்கான பல்வேறு அம்சங்கள், சுற்றுச்சூழல், நிலைத்தன்மை, சமூக மற்றும் நெறிமுறை சிக்கல்கள் தொடர்பான வழக்கு ஆய்வு எதுவாக இருந்தாலும் பொருந்தும். இறுதியாக அலகு பற்றிய விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பகுத்தறிவு

காந்த நிலைமத்தை பற்றிய இவ்வலகு மாணாக்கர்கட்கு மின்னோட்டம், இழுப்பு திசைவேகம், மின்னோட்ட அடர்த்தி பற்றிய அடிப்படை அறிவையும், தொடர்புச் சமன்பாடுகள் பற்றிய புரிதலையும், லாரன்ஸ் விசை மற்றும் காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்னோட்டம் தாங்கிய சிறு பகுதியை அறிதலையும் கொடுக்கிறது. மேலும், காந்தப் புல மாறுபாடு, காந்த திசையிலி மின்னழுத்தம் மற்றும் காந்த வெக்டர் மின்னழுத்தம் பற்றிய வேறு சில அடிப்படை கருத்துக்களையும் சேர்த்து, காந்த நிலைம கணக்குகளை தீர்ப்பதில் பயட்–சாவர்ட் விதி மற்றும் ஆம்பியர் சுற்று விதியின் பயன்பாடுகளையும் விரிவாக விளக்குகிறது.

நிலை மின்னூட்டங்களைப் பற்றி விவாதிக்கும் நிலை மின்னியலைப் போன்று அல்லாமல், காந்த நிலைமமானது, ஆம்பியரின் அணுகுமுறையாக நிலை மின்னோட்டத்தை பற்றி ஆராய்கிறது. கி.பி. 1820 இல் ஒயர்ஸ்டெட் புரிந்த குறிப்பிடத்தகுந்த ஆராய்ச்சியானது, மின்னோட்டத்திற்கும் காந்தப் புலத்திற்குமான தொடர்பை வெளிப்படுத்தியது. அதாவது, நகரும் மின்னூட்டத்தை சுற்றி காந்த புலமானது உருவாகிறது. உண்மையில், மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியைச் சுற்றி காந்தப் புலமானது உருவாகிறது. ஒரு கடத்தியில் நேர்திசை அல்லது மாறுதிசை மின்னோட்டம் பாயும் போது கடத்தியைச் சுற்றிலும் நிலையான காந்தப் புலம் உருவாகும்.

முன்–தேவைகள்

- **கணிதவியல்:** வெக்டர் நுண்கணிதம் (வகுப்பு XII)
- **இயற்பியல்:** மின் காந்தவியல் (வகுப்பு XII)

அலகு வெளிப்பாடுகள்

அலகின் வெளிப்பாட்டு பட்டியல் பின்வருமாறு:

U3-O1: மின்னோட்டம், இழுப்பு திசைவேகம், மின்னோட்ட அடர்த்தியை விளக்குக

U3-O2: தொடர்புச் சமன்பாட்டை விளக்குக

U3-O3: லாரன்ஸ் விசை மற்றும் காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட மின்னோட்டம் தாங்கிய சிறு பகுதியை விளக்குக

U3-O4: காந்தப் புல மாறுபாடு, காந்த திசையிலி மின்னழுத்தம் மற்றும் காந்த வெக்டர் மின்னழுத்தத்தை விளக்குக

U3-O5: காந்த நிலைம கணக்குகளை தீர்ப்பதில் பயட்–சாவர்ட் விதி, ஆம்பியர் சுற்று விதிகளை பயன்படுத்துக

அலகு – 3 விளைவு	எதிர்பார்க்கப்படும் பாடநெறி நடவடிக்கைகள் (1- பலவீனமான தொடர்பு; 2- நடுத்தர தொடர்பு; 3- வலுவான தொடர்பு)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U3-O1	3	1	–	1	–	–
U3-O2	1	2	–	1	–	1
U3-O3	2	1	–	–	–	–
U3-O4	1	2	–	1	1	1
U3-O5	1	1	–	1	–	1

3.1 அறிமுகம்

மின்னோட்டமே, காந்தப் புலத்தின் மூலம் என்பது பல சோதனைகளின் வழியாக வெளிப்படுகிறது. ஒரு நிலைத்த காந்தத்தின் காந்தப் புலமானது, அதனுள் செயல்படும் மின்னோட்ட பகிர்வினானாலேயே உருவாகிறது. நிலை மின் புலத்தின் காந்த விளைவைப்பற்றி, அறியும் இயலே காந்த நிலைமம் ஆகும். நிலை மின்னூட்டங்கள் எவ்வாறு நிலை மின்னியலுக்கு காரணமாகிறதோ அவ்வாறே நகரும் மின்னூட்டங்கள் காந்த நிலைமத்திற்கு காரணமாகின்றன. உருவான காந்தப் புலத்தின் திசையும் எண்மதிப்பும், பயட்–சாவர்ட் மற்றும் ஆம்பியர் சுற்று விதியின் மூலம் கண்டறியப்படுகிறது. இவ்வலகில் காந்த விதிகளை பற்றியும் அதனை தொடர்ந்த அவற்றின் பயன்பாடுகளைப் பற்றியும் விரிவாக விவாதிக்கலாம்.

3.2 மின்னோட்டம் மற்றும் மின்னோட்ட அடர்த்தி

ஒரு கடத்தியின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு வழியே பாயும் மின்னூட்டங்களே, அக்கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்சாரம் என்கிறோம். இதை, வரைமுறைப்படுத்த, ஒரு கடத்தியின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு வழியே சீராக பாயும் மின்னூட்டத்தைக் கருதலாம். இங்கு மின்சாரம் என்பது கடத்தியின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு வழியே பாயும் மின்னூட்ட பரிமாற்று வீதம் ஆகும்.

$$I = \frac{q}{t} \qquad \ldots(3.1)$$

எனவே, இங்கு q என்பது மின்னூட்டத்தின் அளவு, t என்பது மின்னூட்டம் பாயும் நேரம் ஆகும். சிறிய மின்னூட்ட பகிர்வுக்கான மின்னோட்டத்தை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$I = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt} \qquad \ldots(3.2)$$

மின்னோட்டத்தின் SI அலகு ஆம்பியர் (a).

ஒரு கடத்தியின் ஓரலகு பரப்பில் பாயும் மின்சாரமே மின்னோட்ட அடர்த்தி எனப்படும்.

$$J = \frac{I}{S} \qquad \ldots(3.3)$$

இங்கு S என்பது கடத்தியின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு.

சிறிய மின்னோட்ட பகிர்வுக்கு மின்னோட்ட அடர்த்தியை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$J = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta I}{\Delta S} = \frac{dI}{dS} \qquad \ldots(3.4)$$

இது ஒரு வெக்டர் அளவாகும். இதன் SI அலகு A/m^2.

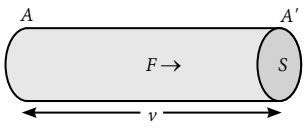
சமன். (3.4)–ஐப் பயன்படுத்தி, கடத்தியின் மொத்த பரப்பு S வழியே பாயும் மொத்த மின்னோட்டத்தின் அளவைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$I = \int dI = \int_S \vec{J}.d\vec{S} \qquad \ldots(3.5)$$

மின்னோட்ட அடர்த்தியை, ஒரு கடத்தியின் ஒரு குறிப்பிட்ட குறுக்கு வெட்டு பரப்பு வழியே பாயும் மின்சாரம் என வரையறுக்கலாம்.

3.3 மின்கடத்துத் திறன்

மின்கடத்துத் திறன் என்பது ஒரு மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியின் மின்சாரத்தை கடத்தும் திறன் ஆகும். குறிப்பாக, இதை ஓரலகு மின்புலத்தில் மின்னோட்ட அடர்த்தி என்று குறிப்பிடலாம்.



படம் 3.1: ஒரு கடத்தி மூலம் எலக்ட்ரான் நகர்வு

இதன் கோவையை கணக்கிட AA' என்ற கடத்தியின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு S ஐ கருதுவோம் (படம் 3.1). மின் புலம் F ன் காரணமாக, உருவாகும் மின்னூட்டத்தின் இழுபடு திசைவேகம் v எனில், குறுக்கு வெட்டு பரப்பு வழியே பாயும் மொத்த மின்னூட்டங்களின் இழுபடு திசைவேகமானது, $n_0 vS$. (இங்கு n_0 என்பது ஓரலகு கனஅளவில் உள்ள மின்னூட்டங்களின் எண்ணிக்கை). இதன்படி, கடத்தியின் உருளை வடிவ குறுக்கு வெட்டு பரப்பு AA' வழியே பாயும் மொத்த மின்னூட்டங்கள்,

$$I = n_0 evS \qquad \ldots(3.6)$$

எனில், ஓரலகு வினாடியில் குறுக்கு வெட்டு பரப்பை கடந்த மின்னூட்டங்களின் எண்ணிக்கை,

$$J = \frac{I}{S} = n_0 ev \qquad \ldots(3.7)$$

for more on Electrical Conductivity

இப்போது, மின்னூட்டத்தின் இயக்க எண், அதாவது ஓரலகு மின்புலத்தில் சராசரி இழுப்புத் திசைவேகம் என்பது,

$$\mu = \frac{v}{F}$$

எனவே, $$v = \mu F \qquad \ldots(3.8)$$

இதன்படி, சமன். (3.7) இல் சமன். (3.8) ஐப் பயன்படுத்த கிடைக்கும் மின்னோட்ட அடர்த்தியானது,

$$J = n_0 e\mu F \qquad \ldots(3.9)$$

இப்போது, மின்கடத்து எண் என்பது, ஓரலகு மின்புலத்தில் உள்ள மின்னோட்ட அடர்த்தி ஆகும். இதன்படி, சமன். (3.9) லிருந்து மின் கடத்து எண்ணானது,

$$\sigma = \frac{J}{F} = n_0 e\mu \qquad \ldots(3.10)$$

மின்கடத்து எண்ணின் SI அலகு S/m.

3.4 தொடர்புச் சமன்பாடுகள்

போக்குவரத்து சமன்பாடு என்று அறியப்படும் தொடர்புச் சமன்பாடுகள் சில இயற்பியல் மாறிலி களிடையே உள்ள தொடர்புகளை விளக்குகிறது. குறிப்பாக, இச்சமன்பாடுகள் மாறாத அளவுகளுக்கு பயன்படுத்தப்படுகிறது. இங்கு மின்னூட்ட அடர்த்திக்கும் மின்னோட்ட அடர்த்திக்கும் உள்ள தொடர்பை வெளிப்படுத்துவதன் மூலம் மின்னூட்ட அழிவின்மை தத்துவத்தை நிரூபிக்கிறது. இந்த சமன்பாடுகளை வருவிக்க, மின்னோட்டத்தின் வரையறையிலிருந்து தொடங்கலாம். சமன். (3.2) லிருந்து ஏதேனும் ஒரு பரப்பு வழியே பாயும் மின்னோட்டமானது,

$$I = \int dI = \int_S \vec{J}.d\vec{S} = \int_S \vec{J}.\hat{n}dS \qquad \ldots(3.11)$$

இங்கு $\hat{n}$ என்பது ஏதேனும் பரப்பு S ன் மீது செயல்படும் அலகு வெக்டர்.

இதன்படி, S மேற்பரப்பினால் சூழப்பட்ட V கனஅளவுப் பகுதியில் பாயும் மின்னோட்டமானது,

$$I = -\int_S \vec{J}.\hat{n}dS \qquad \ldots(3.12)$$

எதிர்க்குறி மின்னோட்டம் S பரப்பின் வழியே உள்நோக்கி பாய்வதைக் குறிக்கிறது.

சமன். (3.12) லிருந்து வெக்டர் நுண்கணிதத்தில் காஸ் மாற்றுத் தேற்றத்தை பயன்படுத்தி,

$$I = -\int_S \vec{J}.\hat{n}dS = -\int_V \vec{\nabla}.\vec{J}dV \qquad \ldots(3.13)$$

இந்த மின்னோட்டம் கொடுக்கப்பட்ட கனஅளவு V இல் உள்ள மொத்த மின்னூட்டத்தை அதிகரிக்கும். சமன். (3.2) லிருந்து மின்னூட்ட அதிகரிக்கும் வீதமானது,

$$I = \frac{dq}{dt} = \frac{d}{dt}\int_V \rho dV \qquad \ldots(3.14)$$

இங்கு ρ என்பது கனஅளவுடன் இணைந்த மின்னூட்ட அடர்த்தி. சமன். (3.13) மற்றும் சமன். (3.14) ஐ ஒப்பிட,

$$-\int_V \vec{\nabla}.\vec{J}dV = \frac{d}{dt}\int_V \rho dV = \int_V \frac{\partial \rho}{\partial t}dV \quad [\rho \text{ என்பது ஆயத்தொலைவுகளின் சார்பு மட்டும்]}$$

அல்லது,
$$\int_V \left(\vec{\nabla}.\vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t}\right)dV = 0$$

எந்தவொரு கனஅளவு தொகுதி Vக்கு மேற்கண்ட சமன்பாட்டின் தொகைக்கெழு சுழியாகும். இதன்படி,

$$\vec{\nabla}.\vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \qquad \ldots(3.15)$$

இதுவே ஒரு புள்ளியில் உண்டான மின்னூட்ட அடர்த்திக்கும் மின்னோட்ட அடர்த்திக்கும் உள்ள தொடர்புச் சமன்பாடு ஆகும். இதன் முக்கியத்துவம், கடத்தியின் கொடுக்கப்பட்ட கனஅளவில் உள்ள புள்ளியில் மின்னூட்டமானது உள்நோக்கி பாய்வதால் அதிகரிக்கும் மின்னூட்டத்தின் மதிப்பை கொடுக்கிறது. அதைப்போல் வெளியே பாயும் மின்னூட்டத்தினால் குறையும் மதிப்பையும் தெரிவிக்கிறது. எனவே மின்னூட்ட அழிவின்மை தத்துவத்தையும் வகைக்கெழு வடிவில் விளக்குகிறது.

3.5 நிலை மின்னோட்டம்

நிலை மின்னோட்டம் என்பது நேரத்தைப் பொருத்து மாறாத மின்னோட்டமாகும். கடத்தியின் வழியே பாயும் நிலை மின்னோட்டமானது $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ எனில், தொடர்புச் சமன்பாடு என்பது,

$$\vec{\nabla}.\vec{J} = 0 \qquad \ldots(3.16)$$

கடத்தியின் வழியே பாயும் நிலை மின்னோட்டத்திற்கான நிபந்தனைகளைக் கொடுக்கிறது.

சமன். (3.16) லிருந்து, $\vec{J} = \sigma\vec{E}$ ஐப் பயன்படுத்தி $\vec{\nabla}.\vec{E} = 0$

இப்போது $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi$ ஐப் பயன்படுத்தி (இங்கு ϕ என்பது நிலைமின்னழுத்தம்),

$$\nabla^2 \phi = 0 \qquad \ldots(3.17)$$

இதுவே, லாப்லாஸ் சமன்பாடு ஆகும். எனவே, கடத்தியின் வழியே பாயும் நிலை மின்னோட்டத்தை பராமரிக்க லாப்லாஸ் சமன்பாடு பூர்த்தி செய்கிறது.

3.6 லாரன்ஸ் விசை

மின்காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் லாரன்ஸ் விசை யானது, மின் மற்றும் காந்த புலங்களின் விசையின் கூட்டுத் தொகைக்கு சமமாகும். $\vec{E}$ மின்புலத்திலும் $\vec{B}$ காந்தப் புலத்திலும் $\vec{v}$ திசைவேகத்துடன் நகரும் q மின்னூட்டம் உணரும் விசையைக் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \qquad \ldots(3.18)$$

இங்கு $\vec{F_e} = q\vec{E}$ என்பது மின் லாரன்ஸ் விசை மற்றும் $\vec{F_m} = q\vec{v} \times \vec{B}$ என்பது காந்த லாரன்ஸ் விசை ஆகும்.

சமன். (3.18) காந்த மற்றும் மின் புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ள புள்ளி மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் மொத்த லாரன்ஸ் விசை ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 3.1

எடுத்துக்காட்டு 3.1: 1μC மின்னூட்டமானது, $\left(2\hat{j} + 3\hat{k}\right)$ m/s திசைவேகத்துடன் $\left(2\hat{j} + 3\hat{k}\right)$ Wb/m^2 காந்தப் புலத்தில் நகர்கிறது. மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் விசையை கண்டுபிடி.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டவை, மின்னூட்டம் q = 1 μC திசைவேகம் $\vec{v} = \left(2\hat{j} + 3\hat{k}\right)$ m/s மற்றும் காந்தப்புலம் $\vec{B} = \left(2\hat{j} + 3\hat{k}\right)$ Wb/m^2.

மின்னூட்டத்தின் மீதான விசையை கீழ்க்கண்டவாறு பெறலாம்.

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} = 1 \times 10^{-6} \times \left(2\hat{j} + 3\hat{k}\right) \times \left(2\hat{j} + 3\hat{k}\right) = 0.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.2

எடுத்துக்காட்டு 3.2: 0.4 C மின்னூட்டத்தைக் கொண்ட ஒரு சோதனை மின்னூட்டம் $4\hat{i} - \hat{j} - 2\hat{k}$ m/s திசைவேகத்துடன் $10\hat{i} + 10\hat{k}$ மின்புலச் செறிவில் $2\hat{i} - 6\hat{j} - 6\hat{k}$ காந்தப் புலத் தூண்டலின் வழியே செல்கிறது. சோதனை மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் லாரன்ஸ் விசையின் எண்மதிப்பு மற்றும் திசையைக் கண்டுபிடி.

தீர்வு:

லாரன்ஸ் விசைக்கான கோவை $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$

இங்கு $\vec{E} = 10\hat{i} + 10\hat{k}$, $\vec{v} = 4\hat{i} - \hat{j} + 2\hat{k}$ மற்றும் $\vec{B} = 2\hat{i} - 6\hat{j} - 6\hat{k}$

எடுத்துக்காட்டு 3.2

எனவே, $\vec{v}\times\vec{B}=\begin{vmatrix}\hat{i} & \hat{j} & \hat{k}\\ 4 & -1 & 2\\ 2 & -6 & -6\end{vmatrix}=18\hat{i}+28\hat{j}-22\hat{k}$

மற்றும் இதன்படி $\vec{F}=q(\vec{E}+\vec{v}\times\vec{B})=0.4\times(10\hat{i}+10\hat{k}+18\hat{i}+28\hat{j}-22\hat{k})$

$=11.2\hat{i}+11.2\hat{j}-4.8\hat{k}.$

எனவே சோதனை மின்னூட்டம் உணரும் லாரன்ஸ் விசையின் எண்மதிப்பு

$\left|\vec{F}\right|=\sqrt{11.2^2+11.2^2+4.8^2}=16.6\,\text{unit}.$

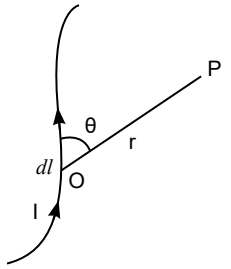
3.7 பயட்–சாவர்ட் விதி

ஒரு கடத்தியின் வழியே பாயும் மாறா மின்னோட்டத்தினால் உருவாகும் காந்தப் புலத்தைக் கணக்கிட தேவையான கணித சூத்திரத்தை பயட்–சாவர்ட் விதி வழங்குகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட புள்ளி P யில் உள்ள காந்த புலத்திற்கான பொதுவான கோவையைக் கண்டறிய, புள்ளியிலிருந்து r தொலைவிலிருக்கும் I மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியைக் கருதுக (படம் 3.2). இப்போது மின்னோட்ட பாய்வினால், கடத்தியின் சிறு தொகுதியை (dl) சுற்றி உருவாகும் காந்தப் புலமானது (dB), பாயும் மின்னோட்டத்திற்கு நேர்த்தகவிலும், கடத்தித் தொகுதியின் நீளத்திற்கு நேர்த்தகவிலும், கடத்தியின் சிறு தொகுதிக்கும் புள்ளிக்கும் உள்ள கோணத்தின் சைன் மதிப்பிற்கு நேர்த்தகவிலும் கடத்தியிலிருந்து புள்ளிக்கு உள்ள தொலைவிற்கு இருமடிக்கு எதிர்த் தகவிலும் இருக்கும். ஆகையால்,

$$dB \propto I$$
$$\propto dl$$
$$\propto \sin\theta$$
$$\propto \frac{1}{r^2}$$

அல்லது, $$dB=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\theta}{r^2}$$

அல்லது, $$d\vec{B}=\frac{\mu_0}{4\pi}\frac{\vec{I}\times d\vec{l}}{r^2} \qquad \ldots(3.19)$$



படம் 3.2: பயட்–சாவர்ட் விதியின் விளக்கப் படம்

இங்கு, μ_0 என்பது வெற்றிடத்தின் விடுதிறன் மற்றும் θ என்பது P புள்ளிக்கும் கடத்தி தொகுதிக்கும் இடையே உள்ள கோணம்.

மின்னோட்ட அடர்த்திக்கான வரையறையைப் பயன்படுத்தி,

$$Idl = JSdl = JdV \qquad \ldots(3.20)$$

இதன்படி, $$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl}{r^3}\hat{r} = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{JdV}{r^3}\hat{r} \quad \ldots(3.21)$$

பயட்–சாவர்ட் விதியை பயன்படுத்தி முழு கடத்தியினால் P புள்ளியில் உருவாகும் மொத்த மின்புலத்தை சமன். (3.21) தொகைக்கெழுப்படுத்தி,

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int_l \frac{Idl}{r^3}\hat{r} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int_V \frac{JdV}{r^3}\hat{r} \quad \ldots(3.22)$$

சமன். (3.22) மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியின் குறிப்பிட்ட தொலைவில் உருவாகும் காந்தப்புலத்தின் திசையையும் எண்மதிப்பையும் கொடுக்கிறது. இனிவரும் பிரிவுகளில் பயட் சாவர்ட் விதியின் ஒரு சில பயன்பாடுகளை பார்ப்போம்.

3.7.1 பயன்பாடுகள்

(i) **மின்னோட்டம் தாங்கிய நீண்ட நேரான கடத்தியினால் உண்டாகும் காந்தப்புலம்:** மின்னோட்டம் தாங்கிய நீண்ட நேரான கடத்தியினால் உண்டாகும் காந்தப்புலத்தை பயட் சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி கண்டறியலாம். மின்னோட்டம் I தாங்கிய கடத்தி XY யிலிருந்து D தொலைவில் உள்ள P புள்ளியில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தை அறியலாம் (படம் 3.3).

பயட் சாவர்ட் விதியை பயன்படுத்தி, சிறு தொகுதி dl_0 யினால் P புள்ளியில் உண்டாகும் காந்த புலம்,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl_0}{l^2}\sin\left(\frac{\pi}{2}+\theta\right) \quad \ldots(3.23)$$

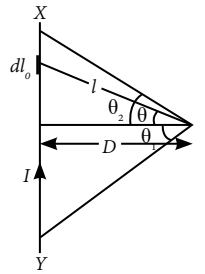
வரைபடம் (3.3) லிருந்து,

$$\tan\theta = \frac{l_0}{D}$$

மற்றும் $$\sec\theta = \frac{l}{D}$$

இதன்படி, $$l_0 = D\tan\theta \text{ and } l = D\sec\theta \quad \ldots(3.24)$$

ஆகையால், $$dl_0 = D\sec^2\theta d\theta \quad \ldots(3.25)$$



படம் 3.3: மின்னோட்டம் தாங்கும் நீண்ட நேரான கடத்தி

எனவே சமன். (3.23) பயன்படுத்தி,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{ID\sec^2\theta d\theta}{D^2\sec^2\theta}\sin\left(\frac{\pi}{2}+\theta\right)$$

அல்லது, $$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi D}\cos\theta d\theta \quad (3.26)$$

எனவே, கடத்தியின் மொத்த நீளத்தில் பாயும் மின்னோட்டத்தினால் P புள்ளியில் உருவாகும் மொத்த காந்தப் புலமானது,

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi D}\int_{-\theta_1}^{\theta_2} \cos\theta d\theta = \frac{\mu_0 I}{4\pi D}\left(\sin\theta_1 + \sin\theta_2\right) \quad \ldots(3.27)$$

முடிவில்லாத தொலைவு கொண்ட கடத்திக்கு $\theta_1 = \theta_2 = \frac{\pi}{2}$ மற்றும் இதன்படி, சமன். (3.27) ஐ பயன்படுத்தி காந்தப் புலமானது, மேற்கண்ட சமன்பாடு முடிவிலா நீட்சி பெற்ற நேரான மின்னோட்டம் I கொண்ட கடத்தியினால் D புள்ளியில் உருவாகும் காந்தப் புலம் ஆகும்.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi D} \quad \ldots(3.28)$$

சமன். (3.28) லிருந்து காந்தப் புலமானது, மின்னோட்டம் I க்கு நேர்த் தகவிலும் புள்ளியின் தொலைவு D க்கு எதிர்த் தகவிலும் உள்ளதை அறியலாம்.

எடுத்துக்காட்டு 3.3: 1A மின்னோட்டம் கொண்ட நீண்ட கடத்தியின் 1cm தொலைவில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தைக் கண்டறிக.

தீர்வு:

இங்கு, I = 1A மற்றும் D =1 cm = 0.01m.

எனவே, பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி தேவைப்பட்ட புள்ளியில் உருவாகும் காந்தப் புலமானது

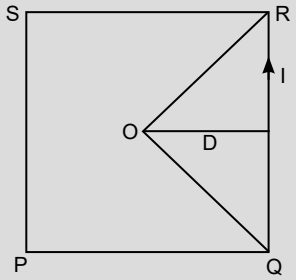
$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi D} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1}{2\pi \times 0.01} = 2 \times 10^{-5}\,\text{T}.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.3

எடுத்துக்காட்டு 3.4: 1A மின்னோட்டம் பாயும் 0.2 m பக்களவு கொண்ட கனசதுரத்தின் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தை கண்டறிக.

தீர்வு:

பயட்–சாவர்ட் விதியை சமன். (3.28) ல் பயன்படுத்த, O வில் காந்தப் புலம்,



$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi D}\left(\sin\theta_1 + \sin\theta_2\right)$$

இங்கு $\theta_1 = \theta_2 = 45^0$, D = 0.2 m, I = 1A

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1}{4\pi \times 0.1} \times \frac{2}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \times 10^{-6}\,\text{Wb/m}^2.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.4

எடுத்துக்காட்டு 3.5

எடுத்துக்காட்டு 3.5: 1A மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியிலிருந்து 10 cm தொலைவில் இணையாக புரோட்டான் துகள் 0·6c திசைவேகத்தில் நகர்கிறது. புரோடோனின் மீது செயல்படும் காந்த விசையைக் கண்டறிக.

தீர்வு:

இங்கு, I = 1A மற்றும் D =10 cm = 0.1m.

சமன். (3.28) பயன்படுத்தி I மின்னோட்டத்தினால் உருவாகும் காந்தப் புலம்

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi D} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1}{2\pi \times 0.1} = 2 \times 10^{-6}\,\text{Wb/m}^2.$$

மேக்ஸ்வெல் திருகு விதியின்படி காந்தப்புலம் Bயின் திசை. புரோட்டானின் மீது செயல்படும் காந்த விசை $F = qvB$ [$\vec{B}$க்கு செங்குத்தாக $\vec{v}$]

இங்கு $v = 0{\cdot}6c = 0.6 \times 3 \times 10^8$ m/s.

எனவே விசையின் எண்மதிப்பு

$$F = (1.6 \times 10^{-19}) \times (0.6 \times 3 \times 10^8) \times (2 \times 10^{-6}) = 5.78\,\text{N}.$$

மற்றும் விசையின் திசை கடத்தியை நோக்கி உள்ளதால் விசையின் தன்மை ஈர்ப்பு விசையாகும்.

எடுத்துக்காட்டு 3.6

எடுத்துக்காட்டு 3.6: 10A மின்னோட்டம் பாயும் இரு இணையான கடத்துக் கம்பியானது 2·0 cm தொலைவுக்கு பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஏதாவதொரு கடத்துக் கம்பியிலிருந்து 2 cm தொலைவில் வைக்கப்பட்ட புள்ளியில் காந்தப் புலத்தை கண்டுபிடி.

தீர்வு:

இரண்டு கம்பிகளிலும் மின்சாரம் பாயும் திசையானது ஒன்றே. எனவே உருவாகும் காந்தப்புலத்தை கூட்ட வேண்டும்.

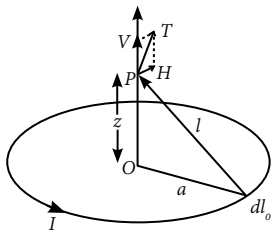
$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi D}$ சூத்திரத்தை பயன்படுத்தி தொகுபயன் காந்தப் புலத்தை கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi \times 0.02} + \frac{\mu_0 I}{2\pi \times 0.04}$$

$$= \frac{\mu_0 I}{2\pi}\left[\frac{1}{0.02} + \frac{1}{0.04}\right]$$

$$= \frac{3\mu_0 I}{8\pi} \times 10^2 = \frac{3 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 10}{8\pi} \times 10^2 = 1.5 \times 10^{-4}\,\text{T}.$$

(ii) **மின்னோட்டம் தாங்கிய வட்ட வடிவ கடத்தியின் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப்புலம்:** I மின்னோட்டம் தாங்கிய a ஆரம் கொண்ட வட்ட வடிவ கடத்தியினால் உருவாகும் காந்தப் புலத்தை அறிய, படம் (3.4) ல் காட்டியுள்ளபடி,சிறு தொகுதி dl_0 ஐக் கருதுக. பயட்–சர்ட் விதிப்படி P புள்ளியில் சிறு தொகுதி dl_0 இனால் உருவாகும் காந்தப் புலமானது,



படம் 3.4: மின்னோட்டம் தாங்கும் வட்ட வடிவ கடத்தி

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{d\vec{l}_0 \times \vec{l}}{l^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\frac{dl_0}{l^2} \qquad \ldots(3.29)$$

[dl_0 மற்றும் l க்கு இடையே உள்ள கோணம் $\frac{\pi}{2}$]

வளையத்தின் அச்சுக்கு செங்குத்தாக கிடைத்தளக் கூறு PH மற்றும் அச்சுக்கு இணையாக செங்குத்தாக PV கூறு வழியாக PT இன் பாதையில் இப்புலமானது செயல்படும் (படம் 3.4). சமச்சீர் தன்மையால் PH கூறுகள் ஒன்றுக்கொன்று நீக்கிக் கொண்டு மீதமுள்ள செங்குத்துக் கூறு மட்டுமே அச்சின் வழியே பங்களிப்பு செய்கின்றன. எனவே, dl_0 இனால் P ல் மொத்த காந்தப் புலமானது,

$$dB\sin\angle HPT = dB\frac{a}{l} = \frac{\mu_0 Ia}{4\pi l^3}dl_0 \qquad \ldots(3.30)$$

எனவே, மொத்த வளையத்தினால் உண்டாகும் காந்தப் புலமானது,

$$B = \frac{\mu_0 Ia}{4\pi l^3}\int dl_0 = \frac{\mu_0 Ia}{4\pi l^3}.2\pi a = \frac{\mu_0 Ia^2}{2l^3} = \frac{\mu_0 Ia^2}{2(z^2+a^2)^{3/2}} \qquad \ldots(3.31)$$

n எண்ணிக்கையிலான வளையங்களுக்காக சமன். (3.31) ஐ பொதுவாக கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$B = \frac{\mu_0 nIa^2}{2(z^2+a^2)^{3/2}} \qquad \ldots(3.32)$$

இப்போது, வளையத்தின் மையத்தில் உண்டான காந்தப் புலத்தை அறிய சமன். (3.32) இல் Z=0 என்று பதிவிட,

$$B_0 = \frac{\mu_0 nI}{2a} \qquad \ldots(3.33)$$

எனவே, மேற்கண்ட சமன்பாட்டிலிருந்து, வளையங்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும் போது அச்சின் வழியே காந்தப் புலமும் அதிகமாகிறது மற்றும் வளைய ஆரம் அதிகரிக்கும் போது காந்தப் புலம் குறைகிறது என்பது தெளிவாகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 3.7

எடுத்துக்காட்டு 3.7: 10 cm ஆரம் கொண்ட வளையத்தின் மையத்தில் 2A மின்னோட்டம் பாய்வதால் உருவாகும் காந்தப் புலத்தைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி மின்னோட்டம் தாங்கிய வட்ட வடிவ கடத்தியின் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப் புலமானது,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi n r^2 I}{(r^2 + x^2)^{3/2}} \text{ Wb/m}^2$$

வளையத்தின் மையத்தில், $x = 0$.

எனவே, $$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi ni}{r} = \frac{\mu_0 nI}{2r} \text{ Wb/m}^2.$$

இங்கு $n = 1$,

$I = 2$ A,

$r = 10$ cm $= 0.01$ m.

எனவே, கொடுக்கப்பட்ட தகவல்களை பயன்படுத்தி,

$$B = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 2}{2 \times 0.01} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/m}^2.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.8

எடுத்துக்காட்டு 3.8: 0.1 A மின்னோட்டம் கொண்ட சுருளில் உள்ள சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை 50. வளையத்தின் ஆரம் 4 cm எனில், அச்சின் வழியே 5 cm தொலைவில் உண்டாகும் காந்தப் புலத்தை கணக்கிடுக.

தீர்வு:

n சுற்றுக்காக,

$$B = \frac{\mu_0 nIa^2}{2(z^2 + a^2)^{3/2}}$$

இங்கு, $n = 50$,

$I = 0.1$ A,

$a = 4$ cm மற்றும் $z = 5$cm.

$$\therefore \quad B = \frac{\mu_0 nIa^2}{2(z^2 + a^2)^{3/2}} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 50 \times 0.1 \times (0.04)^2}{2 \times \left[(0.05)^2 + (0.04)^2\right]^{3/2}} = 3.14\text{T}.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.9: 1 cm ஆரம் கொண்ட ஸ்டீல் தண்டானது வட்ட வடிவில் வளைக்கப் பட்டு 200 சுற்றுக்கள் கொண்ட சுருளாக மாற்றப்பட்டுள்ளது. வளையத்தின் சராசரி ஆரம் 10 cm எனில் 0.5 mWb காந்தப்புலத்தை உருவாக்கக்கூடிய மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிடு. ஸ்டீலின் $\mu_r = 1000$.

தீர்வு

ஸ்டீல் தண்டிலிருந்து உருவாக்கப்பட்ட வட்ட வடிவ வளையம் ஒரு வரிச்சுருளை உருவாக்கும். இப்போது, பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி வரிச்சுருளின் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$B = \frac{\mu_r n I}{2\pi r}$$

இங்கு $\mu_r = 1000,\ r = 10 \times 10^{-2}\,\text{m},\ n = 200.$

மீண்டும் வரிச்சுருளின் அச்சு வழியே உண்டாகும் காந்தப் பாயமானது,

$$\pi R^2 B = 0.5\,\text{mWb} = 0.5 \times 10^{-3}\,\text{Wb}$$

கொடுக்கப்பட்ட ஆரத்திற்கு $R = 1\,\text{cm} = 1 \times 10^{-2}\,\text{m}.$

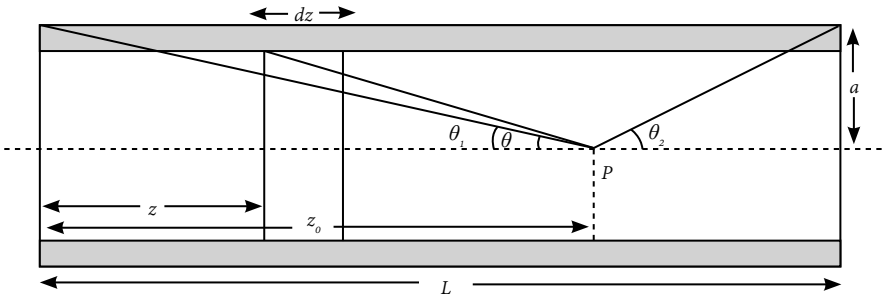
$$\therefore \quad 0.5 \times 10^{-3} = \frac{\mu_r n I}{2r} R^2 = \frac{1000 \times 200 \times I}{2 \times 10 \times 10^{-2}} \times \left(1 \times 10^{-2}\right)^2$$

அல்லது, $$I = \frac{2 \times 0.5 \times 10}{1000 \times 200 \times 10^{-2}} = 0.5\,\mu\text{A}$$

இதுவே அச்சில் உள்ள 0.5mWb பாயத்தினால் உருவான மின்னோட்டத்தின் அளவாகும்.

எடுத்துக்காட்டு 3.9

(iii) **சுருளில் அச்சில் உள்ள காந்தப்புலம்:** n சுற்றுக்களைக் கொண்ட சுருளின் நீளம் L என்க. I மின்னோட்டம் கொண்ட சுருளின் ஆரம் a என்க [படம் (3.5)].



படம் 3.5: நீண்ட வரிச்சுருள்

அச்சின் மீது உள்ள P புள்ளியில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தைக் கணக்கிட, dz தடிமன் கொண்ட சிறு தொகுதியை கருதுக. இந்த தொகுதியில் உள்ள சுற்றுக்கள் எண்ணிக்கையானது $\left(\frac{n}{L}\right)dz$

ஆகையால், சமன். (3.32) ஐப் பயன்படுத்தி, சுருளின் dz தடிமனுள்ள சிறு தொகுதியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தினால் Pல் உண்டாகும் காந்தப் புலத்திற்கான கோவையை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$dB = \frac{\mu_0 nIa^2 dz}{2L\left[\left(z_0 - z\right)^2 + a^2\right]^{3/2}} \qquad \ldots(3.34)$$

இப்போது சமன். (3.5) லிருந்து, $\tan\theta = \frac{a}{z_0 - z}$

அல்லது, $$dz = a\cos ec^2\theta d\theta \qquad \ldots(3.35)$$

மீண்டும் $$\sin\theta = \frac{a}{\left[\left(z_0 - z\right)^2 + a^2\right]^{1/2}} \qquad \ldots(3.36)$$

சமன். (3.35) மற்றும் சமன். (3.36) ஐப் பயன்படுத்தி,

$$dB = \frac{\mu_0 nI\sin\theta d\theta}{2L} \qquad \ldots(3.37)$$

மொத்த சுருளினால் P புள்ளியில் உருவாகும் மொத்த காந்தப் புலமானது,

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2L}\int_{\theta_1}^{\pi-\theta_2}\sin\theta d\theta$$

$$= \frac{\mu_0 nI}{2L}\left(\cos\theta_1 + \cos\theta_2\right) \qquad \ldots(3.38)$$

P என்பது சுருளின் மையப்புள்ளி எனில் $\theta_1 = \theta_2 = \theta$.

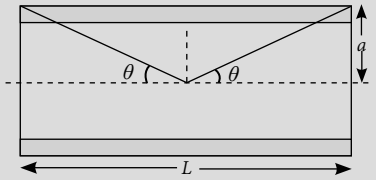
ஆகையால், $$B_{mid} = \frac{\mu_0 nI}{L}\cos\theta \qquad \ldots(3.39)$$

முடிவிலா நீட்சி பெற்ற சுருளுக்கு $\theta \to 0$ மற்றும் $\cos\theta \to 1$

ஆகையால், $$B_{\inf} = \frac{\mu_0 nI}{L} \qquad (3.40)$$

எடுத்துக்காட்டு 3.10: 0.4 m விட்டமும் 0.6 m நீளமும் கொண்ட நீண்ட சுருளில் பாயும் மின்னோட்டத்தால் (சுற்றுக்கள் எண்ணிக்கை 1000 எனில்), சுருளின் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:



இங்கு $$B = \frac{\mu_0 nI}{2L}\left(\cos\theta_1 + \cos\theta_2\right)$$

சுருளின் மையப்புள்ளியில் $\theta_1 = \theta_2 = \theta$.

ஆகையால், $$B_{mid} = \frac{\mu_0 nI}{L}\cos\theta$$

$$= \frac{\mu_0 nI}{L}\frac{L/2}{\sqrt{a^2 + (L/2)^2}}$$

$$= \frac{\mu_0 nI}{2}\frac{1}{\sqrt{a^2 + (L/2)^2}}$$

சுருளின் நீளம் $L = 0.6$ m மற்றும் விட்டம் $2a = 0.4$ m.

$$B_{mid} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times \frac{1000}{0.6} \times 5 \times 10^{-3}}{2}\frac{1}{\sqrt{(0.2)^2 + (0.6/2)^2}}$$

$$= 1.45 \times 10^{-5}\ \text{Wb/m}^2.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.10

எடுத்துக்காட்டு 3.11: 40 cm நீளம் உள்ள சுருளிலுள்ள சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை 300. 3·5 A மின்னோட்டம் பாய்ந்தால் சுருளின் முடிவில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தை கண்டுபிடி.

தீர்வு:

இங்கு, $n = 300/0.4 = 750$ turns/m, $I = 3.5$ A.

எனவே, சுருளின் மையத்தில் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் உள்ள காந்தப் புலமானது,

$$B = \mu_0 nI = 4\pi \times 10^{-7} \times 750 \times 3.5$$

$$= 3.3 \times 10^{-3}\ \text{T}.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.11

எடுத்துக்காட்டு 3.8

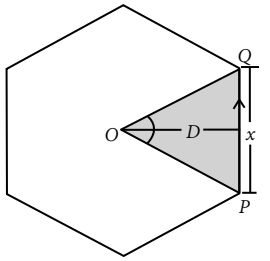
இதன்படி, சுருளின் ஒரு முனையில் உருவாகும் காந்தப் புலமானது,

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 750 \times 3.5}{2}$$

$$= 1.65 \times 10^{-3} \text{T}.$$

(iv) **மின்னோட்டம் தாங்கிய அறுகோண கடத்தியின் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப் புலம்:** x பக்கம் கொண்ட அறுகோண கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் I என்க. சமன். (3.27) ஐப் பயன்படுத்தி, பக்கம் PQ வினால் மையம் O வில் உள்ள காந்தப் புலமானது,

$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi D}(\sin\theta + \sin\theta) = \frac{\mu_0 I}{2\pi D}\sin\theta \qquad \ldots(3.41)$$



படம் 3.6: அறுகோண வளையம்

எனவே, முழு கடத்தியினால் O வில் உண்டான மொத்த காந்தப்புலம்,

$$B = 6B_1 = \frac{3\mu_0 I}{\pi D}\sin\theta \qquad \ldots(3.42)$$

மீண்டும் படத்திலிருந்து

$$\tan\theta = \frac{x}{2D}$$

அல்லது, $\frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{x}{2D}$ (here, $\theta = 30^0$)

அல்லது, $D = \frac{\sqrt{3}x}{2}$

இதன்படி, $B = \frac{6\mu_0 I}{\pi\sqrt{3}x}\frac{1}{2}$

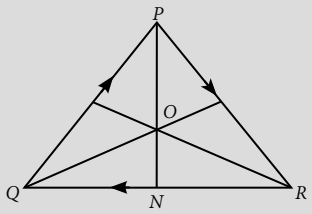
$$= \frac{\sqrt{3}\mu_0 I}{\pi x} \qquad \ldots(3.43)$$

இதுவே அறுகோண பக்கத்தின் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தினால் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப் புலம்.

எடுத்துக்காட்டு 3.12: சமபக்க முக்கோண வடிவில் உள்ள கம்பியின் பக்கம் a வில் பாயும் மின்னோட்டம் I. அதன் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தை கணக்கிடுக.

தீர்வு:

படத்தில் a பக்கம் கொண்ட சமபக்க முக்கோணத்தின் மையம் O



$$\mathrm{ON} = r = \frac{a}{2\sqrt{3}}$$

இப்போது, QR தொகுதியால் மையப் புள்ளி O வில் உள்ள காந்தப் புலம்,

$$\frac{\mu_0 I}{4\pi r}\left[\sin\theta\right]_{-\pi/3}^{\pi/3}$$

பக்கங்கள் சமமானதால், மூன்று *(PQ, QR, PR)* பக்கங்களால் மையப் புள்ளி Oவில் உருவான காந்தப் புலமானது

$$B = 3\frac{\mu_0 I}{4\pi r}\left[\sin\theta\right]_{-\pi/3}^{\pi/3} = 3\frac{\mu_0 I}{4\pi\dfrac{a}{2\sqrt{3}}}2\sin\frac{\pi}{3} = 3\frac{\mu_0 I}{4\pi\dfrac{a}{2\sqrt{3}}}\times\sqrt{3} = \frac{9\mu_0 I}{2\pi a}.$$

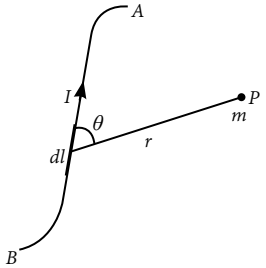
புள்ளி O வில் தேவைப்பட்ட காந்தப் புலமானது, $B = \dfrac{9\mu_0 I}{2\pi a}$.

எடுத்துக்காட்டு 3.12

3.8 மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தி

மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியை ஒரு காந்தப் புலத்தில் வைக்கும்போது, ஒரு விசையை உணரும். மின்னோட்டம் தாங்கிய மெல்லிய கம்பியை காந்தப் புலத்தில் வைக்கும்போது, ஒரு விசையை உணரும் என்று ஆம்பியர் நிரூபித்தார். அக்கடத்தியில் மின்னோட்டம் பாயும் போது நகர ஆரம்பிக்கும். இவ்வகையில் கடத்தியின் மீது செயல்படும் விசையை உணரலாம்.

உருவாகும் விசையின் திசையை பிளெமிங் இடக்கை விதிப்படி அறியலாம். கடத்தியில் மின்னோட்டம் பாயும் திசைக்கு செங்குத்தாக காந்தப் புலம் செயல் பட்டால், கடத்தியின் மீது உருவாகும் விசையானது, ஒட்டுமொத்த மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களின் திசைக்கு செங்குத்தாக இருக்கும்.



படம் 3.7: மின்னோட்டத்தை சுமந்து செல்லும் கடத்தியின் மீதான விசை

அவ்வகை விசைக்கான கோவையை பெற, வெளியில் ஏதேனும் ஓரிடத்தில், I மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தி AB யை கருதுக [படம் 3.7]. பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி கடத்தியின் தொகுதி dl யினால் புள்ளியில் உருவாகும் காந்தப் புலமானது,

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{Idl\sin\theta}{r^2}$$

எனவே, P புள்ளியில் விசை செலுத்தும் காந்த முனை வலிமை m ஆனது,

$$dF = mdB = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{mIdl\sin\theta}{r^2} \qquad \ldots(3.44)$$

காந்த முனையும் தொகுதி dl மீது அதே விசையை செலுத்தும். இப்போது, முனை வலிமை m இன் காந்த முனையிலிருந்து r தொலைவில் உருவாகும் காந்தப் புலம்,

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{m}{r^2} \qquad \ldots(3.45)$$

ஆகையால், $$dF = BIdl\sin\theta \qquad \ldots(3.46)\ (a)$$

அல்லது, வெக்டர் வடிவத்தில் எழுதலாம்

$$d\vec{F} = Id\vec{l}\times\vec{B} \qquad \ldots(3.46)\ (b)$$

எனவே, கடத்தியின் மீது செயல்படும் விசையானது ஒட்டுமொத்த மின்னோட்ட திசைக்கும் காந்தப் புலத்தின் திசைக்கும் செங்குத்து திசையில் அமையும்.

3.9 காந்தப்புலத்தில் நகரும் மின்னூட்டம்

கடத்தியின் மீது செயல்படும் காந்தப் புலமானது, மின்னூட்டப்பட்ட துகளை வட்டப் பாதை அல்லது சுருள் பாதை வழியாக நகர்த்தும். நாம் அறிந்தபடி, காந்தப் புலம் B யில் I மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியின் dl தொகுதியின் மீது செயல்படும் விசையானது,

$$dF = BIdl\sin\theta$$

இப்போது, $$I = neAv$$

இங்கு, A என்பது கடத்தியின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு, e என்பது மின்னூட்டம், v என்பது இழுப்பு திசைவேகம் மற்றும் n என்பது கடத்தியின் ஓரலகு கனஅளவில் உள்ள மின்னூட்டங்களின் எண்ணிக்கையாகும்.

எனவே, $$dF = B(neAv)dl\sin\theta = e(nAdl)nB\sin\theta = eNvB\sin\theta \qquad \ldots(3.47)$$

இங்கு $N = nAdl =$ கடத்தியின் உள்ளே உள்ள மொத்த மின்னூட்டம்.

எனவே, காந்தப்புலத்தில் நகரும் மின்னூட்டங்கள் உணரும் விசையானது,

$$F_m = \frac{eNvB\sin\theta}{N}$$

$$= evB\sin\theta \qquad \ldots(3.48)$$

அல்லது, வெக்டர் வடிவத்தில்

$$\vec{F}_m = e\vec{v}\times\vec{B} \qquad \ldots(3.49)$$

நாம் இதை *காந்த லாரன்ஸ்* விசை எனலாம். இதுவே மின்காந்தப் புலத்தில் மின்னூட்டம் உணரும் மொத்த லாரன்ஸ் விசை ஆகும். இதை மின் விசையுடன் அல்லது மின் லாரன்ஸ் விசையுடன் காந்த லாரன்ஸ் விசையை கூட்டுவதால் கிடைக்கும்.

$$\vec{F} = \vec{F}_e + \vec{F}_m$$
$$= e\left(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}\right) \quad \ldots(3.50)$$

இங்கு, $\vec{F}_e = e\vec{E}$ என்பது மின் லாரன்ஸ் விசையாகும்.

3.10 ஆம்பியர் சுற்று விதி

காந்த நிலைமத்தில், ஆம்பியர் சுற்று விதியானது, மின்னோட்டம் பாயும் பகுதியை சுற்றியுள்ள பாதைக்கும் அதனால் உருவாகும் தொகைப்படுத்தப்பட்ட காந்தப் புலத்திற்கும் உள்ள தொடர்பை தருகிறது. இவ்விதிப்படி, மூடப்பட்ட பாதையைச் சுற்றியுள்ள காந்தப் புலத்தின் தொடுகோட்டுக் கூறின் கோட்டு தொகைக்கெழுவானது, பாதையில் உண்டான மின்னோட்டத்திற்கும் வெற்றிடத்தின் உட்புகுத்திறனுக்கும் உள்ள பெருக்குத் தொகைக்கு சமமாக இருக்கும். கணித முறையின்படி,

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 I \quad \ldots(3.51)$$

இது, நிலை மின்னியலில் காஸ் விதியை ஒத்துள்ளது. இவ்விதியை பயட்–சாவர்ட் விதியை பயன்படுத்தி எளிதாக தருவிக்கலாம்.

அதற்கு, I மின்னோட்டம் தாங்கிய நீண்ட நேரான கடத்தியை கருதுக. பயட்–சாவர்ட் விதியின்படி, கடத்தியிலிருந்து r தொலைவில் உண்டாகும் காந்தப் புலமானது,

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

இது அனைத்து ஆரப் புள்ளிக்கும் சமமாகும். r ஆரம் கொண்ட மூடப்பட்ட வட்டப் பாதை C யை சுற்றிய கோட்டு தொகைக்கெழுவானது,

$$\oint_C \vec{B}.d\vec{l} = \oint_C B dl$$

$$= B\oint_C dl = B.2\pi r = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}.2\pi r \qquad [\because B = \text{constant, at all radial points}]$$

அல்லது, $$\oint_C \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 I$$

இதுவே ஆம்பியர் சுற்று விதியின் தொகைக்கெழு வடிவமாகும்.

3.10.1 ஆம்பியர் சுற்று விதியின் வகைக்கெழு வடிவம்

சமன். (3.51) இல் உள்ள ஆம்பியரின் தொகைக்கெழு வடிவத்தை, வகைக்கெழு வடிவில் மாற்றி யமைக்கலாம். கடத்தியின் மேற்பரப்பின் வழியே பாயும் மொத்த மின்னோட்டமானது,

$$I = \int_S \vec{J}.d\vec{S}$$

எனவே, ஆம்பியர் சுற்று விதியானது,

$$\oint_C \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 \int_S \vec{J}.d\vec{S} \quad \ldots(3.52)$$

காந்தப் புலத்தை செலுத்தும் போது நுண்கணிதத்தில் ஸ்டோக்ஸ் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி,

$$\oint_C \vec{B}.d\vec{l} = \int_S \vec{\nabla} \times \vec{B}.d\vec{S} \qquad \ldots(3.53)$$

சமன். (3.52) மற்றும் சமன். (3.53) ஐ ஒப்பிட,

$$\int_S \vec{\nabla} \times \vec{B}.d\vec{S} = \int_S \mu_0 \vec{J}.d\vec{S}$$

மேற்கண்ட சமன்பாடு எந்தவொரு மேற்பரப்புக்கும் பொருந்தக்கூடியதாகையால், இரு பக்கமும் உள்ள தொகைக்கெழுவில் உள்ள உறுப்புகளை சமப்படுத்த,

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \qquad \ldots(3.54)$$

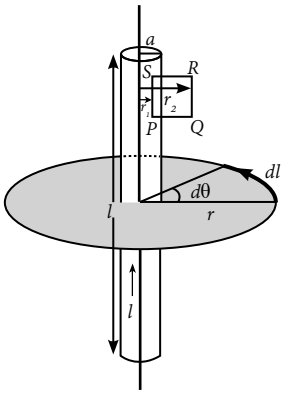
இதுவே ஆம்பியர் சுற்று விதியின் வகைக்கெழு வடிவம் ஆகும். இச்சமன்பாட்டிலிருந்து, காந்தப் புலமானது, மாறாதது அல்ல என்பது தெளிவாகிறது.

3.10.2 ஆம்பியர் விதியின் பயன்பாடுகள்

ஆம்பியர் விதியானது, மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியின் ஒரு நிலையான குறிப்பிட்ட தொலைவில் உண்டாகும் காந்தப்புலத்தின் எண்மதிப்பை அறியவும் பயன்படுகிறது. இப்பிரிவில் இதைப்போன்ற சில உதாரணங்களை பார்ப்போம்.

(i) மின்னோட்டம் தாங்கிய நீண்ட நேரான கடத்தியினால் உண்டாகும் காந்தப் புலம்: I மின்னோட்டம் தாங்கிய நீண்ட நேரான கடத்தியைக் கருதுக. கடத்தியின் ஆரம் a எனில், மின்னோட்ட அடர்த்தியானது,

$$J = \frac{I}{\pi a^2} \qquad \ldots(3.55)$$



படம் 3.8: ஆம்பியரின் வளையம்: நீண்ட நேரான கடத்தி

இப்போது, காந்தப்புலம் தொலைவு r இன் சார்பு ஆகும். படம் (3.8) ல் காட்டியுள்ளபடி, உருளை பெட்டிக்கு காஸ் விதியை பயன்படுத்த,

$$B_r.2\pi rl = 0$$

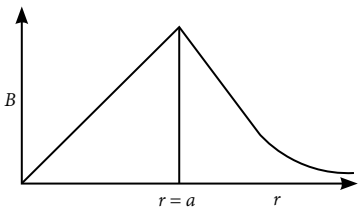
படம் (3.8)ல் வளையம் PQRS க்கு ஆம்பியர் சுற்று விதியை பயன்படுத்தி,

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \left[B_z(r_2) - B_z(r_1)\right]z = 0 \quad \text{அல்லது} \quad B_z(r_2) = B_z(r_1) \qquad \ldots(3.56)$$

எனவே, B_z என்பது ஒரு மாறிலி மற்றும் இதன் மதிப்பு சுழியாக கருதலாம். காந்தப்புலத்தில் உள்ள செங்குத்துப் பரப்பில் கம்பியின் அச்சைப் பொருத்து r ஆரத்திற்கு வட்டம் வரையலாம். இது அனைத்து புள்ளிகளிலும் தொடுகோடாகவும் மாறிலியாகவும் இருக்கும்.

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \int_0^{2\pi} B_r\, d\theta = 2\pi rB = \mu_0 I_e \qquad \ldots(3.57)$$

இங்கு, I_e என்பது மூடப்பட்ட மின்னோட்டம்.



படம் 3.9: மின்னோட்டத்தை சுமந்து செல்லும் நீண்ட நேரான கடத்தி காரணமாக B யின் மாறுபாடு

$r > a$, எனில் $I_e = I$ எனவே சமன். (3.57) லிருந்து

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad [\text{for r} \geq \text{a}] \qquad \ldots(3.58)$$

r < a எனில் $\qquad I_e = \pi r^2 J = \frac{r^2}{a^2} I$

எனவே சமன். (3.57) லிருந்து,

$$B = \frac{\mu_0 I r}{2\pi a^2} \qquad [\text{for r} \leq \text{a}] \qquad \ldots(3.59)$$

மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியின் தொலைவைப் பொருத்து காந்த புலத்தின் மாறுபாடு படம் (3.9) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு 3.13: 50 A மின்னோட்டம் தாங்கிய 4 cm ஆரம் கொண்ட வெற்று உருளையின் உட்புறம் மற்றும் வெளிப்புறமுள்ள காந்தப் புலத்தைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

(a) ஆம்பியர் சுற்று விதியின்படி, உருளையின் வெளிப்புறமுள்ள புள்ளிக்கு

$$\oint_C \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 I$$

அல்லது, $\qquad \oint_C \vec{H}.d\vec{l} = I$

அல்லது, $\qquad H.2\pi r = I$

அல்லது, $\qquad H = \frac{I}{2\pi r} = \frac{50}{2\pi \times 0.04} = 198.04 \text{ A/m.}$

எனவே காந்தப் புலத்தின் தூண்டல்

$$B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \times \frac{50}{2\pi \times 0.04}$$

$$= 2.5 \times 10^{-4} \text{ T.}$$

(b) மின்னோட்டம் மேற்பரப்பில் மட்டும் உள்ளதால் உருளையின் உட்புறம் B = 0.

எடுத்துக்காட்டு 3.13

(ii) **முடிவிலா நீட்சி பெற்ற மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்திகளிடையே உருவாகும் காந்தப் புலம்:** I_1 மற்றும் I_2 என்பவை முறையே d தொலைவுக்கு பிரித்துவைக்கப்பட்ட X மற்றும் Y என்ற இரு கம்பிகளில் பாயும் மின்னோட்டங்களாகும் படம் (3.10). இப்போது, Y கடத்தியில் பாயும் மின்னோட்டம் I_2 வினால் கடத்தி X இன் எந்தவொரு புள்ளியிலும் உருவாகும் காந்தப் புலமானது,

$$B = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi d}$$

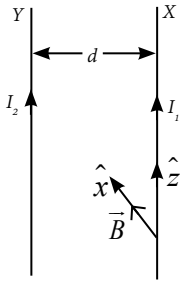
ஆகையால், கம்பியின் மீது ஓரலகு நீளத்தில் செயல்படும் விசையானது,

$$\vec{F} = I_1 \hat{z} \times \vec{B}$$

அல்லது,

$$\vec{F} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \hat{z} \times \hat{x}$$

$$= -\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \hat{y} \qquad \ldots(3.60)$$



படம் 3.10: தூரத்தால் பிரிக்கப்பட்ட இரண்டு நீண்ட மின்னோட்டக் கடத்திகள்

இங்கு, $\hat{z}$ என்பது I_1 திசையில் உள்ள அலகு வெக்டர் மற்றும் $\hat{x}$ என்பது $\vec{B}$ திசையில் உள்ள அலகு வெக்டர் ஆகும் (படம் 3.10). I_1 மற்றும் I_2 ஒரே திசையில் பாய்ந்தால் விசை $\vec{F}$ ஆனது Y யை நோக்கி இருக்கும்; I_1 மற்றும் I_2 ஆகியவை எதிரெதிர் திசையிலிருந்தால் விசை $\vec{F}$ ஆனது Y யை விட்டு விலகிச் செல்லும்.

இதன்படி, இணை மின்னோட்டத்தைக் கொண்ட கடத்திகள் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கின்றன. அதேசமயம், எதிரெதிர் திசைகளில் மின்னோட்டத்தை தாங்கிய கடத்திகள் ஒன்றையொன்று விலக்கும். ஓரலகு நீளத்தில் விசையின் எண்மதிப்பானது,

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2\pi r} \qquad \ldots(3.61)$$

எடுத்துக்காட்டு 3.14

எடுத்துக்காட்டு 3.14: 1A மின்னோட்டம் கொண்ட இரு நீண்ட நேரான கம்பிகள் 2cm தொலைவிற்கு பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஒன்றன் மீது ஒன்று செலுத்தும் விசையை கணக்கிடுக.

தீர்வு:

இங்கு $I_1 = I_2 = 1\text{A},\ r = 2\text{ cm} = 0.02\text{ m}$

ஏதேனும் ஒரு கம்பியினால் உணரப்படும் விசையின் எண்மதிப்பானது,

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times 1}{2\pi \times 0.02} = \frac{2 \times 10^{-7}}{0.02} = 10^{-5}\text{ N}.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.15

எடுத்துக்காட்டு 3.15: நீண்ட கிடைத்தள கம்பியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டமானது 100A. அதற்கு இணையாக 20 A மின்னோட்டத்தை தாங்கும் கடத்தியின் எடை 0.03 N/m. இரண்டாவது கம்பியானது, முதல் கம்பியின் விலக்கு விசையினால் தாங்கப்பட்டிருக்குமானால், அவற்றிற்கிடையே உள்ள தொலைவைக் காண்க.

தீர்வு:

I_1 மற்றும் I_2 மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியின் இடையே உள்ள தொலைவு r என்க.

கணிதத்தைப் பொருத்து,

$$\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} = 0.03$$

அல்லது, $$\frac{4\pi \times 10^{-7} \times 100 \times 20}{2\pi r} = 0.03$$

அல்லது, $$r = \frac{4 \times 10^{-7} \times 10^3}{0.03}$$

$$= 1.33 \times 10^{-2}\,\text{m}.$$

இதுவே இடைப்பட்ட தொலைவாகும்.

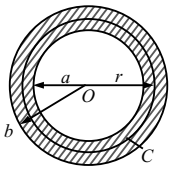
எடுத்துக்காட்டு 3.15

(iii) **நீண்ட ஓரச்சு வடத்திற்கான காந்த புலம்:** ஓரச்சு வடத்தினாலான உள் உருளை வடிவ கடத்தியின் ஆரம் a மற்றும் வெளி உருளை வடிவ கடத்தியின் ஆரம் b இரண்டும் ஒரே மாதிரியான மின்னோட்டம் Iஐ எதிரெதிர் திசையில் கொண்டுள்ளன. சமச்சீர் தன்மையினால் $r\ (a < r < b)$, தொலைவில் காந்தப் புலம் r இன் சார்பாக மட்டும் இருக்க வேண்டும். ஆம்பியர் சுற்று விதியைப் பயன்படுத்தி, r ஆரமுள்ள மூடிய வளையம் C படம் (3.11),

$$\oint_C \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 I$$

அல்லது, $$B.2\pi r = \mu_0 I$$

அல்லது, $$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \qquad [\text{இங்கு } a < r < b] \qquad \ldots(3.62)$$



படம் 3.11: ஓரச்சு வடம்

$r > b$ எனில், ஆம்பியர் சுற்று விதியிலிருந்து,

$$B.2\pi r = \mu_0 (I - I) = 0$$

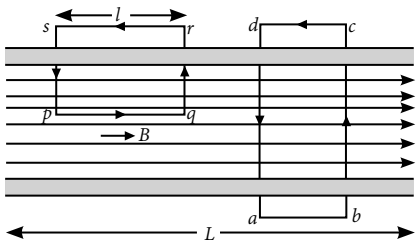
அல்லது, $$B = 0 \qquad \ldots(3.63)$$

(iv) **முடிவிலா நீளம் கொண்ட சுருளினால் உண்டாகும் காந்தப் புலம்:** L நீளமுள்ள சுருளைக் கருதுக. படம் 3.12 இல் காட்டியுள்ளபடி மூடிய வளைவு abcd ஐ கருதுக. ஆம்பியர் சுற்று விதியை வளையத்திற்கு செலுத்த,

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 \times 0 = 0$$

இதன்படி, $\vec{B} = 0 \ : \ d\vec{l} \neq 0$. ஆக

இதன்மூலம், சுருளின் வெளிப்புறம் சுழியாகும். சுருளின் உள்புறத்தில் காந்தப் புலத்தை கண்டறிய, மூடப்பட்ட வளையம் pqrsஐக் கருதுக (படம் 3.12). வளையத்திற்கு ஆம்பியர் சுற்று விதியை பயன்படுத்த,



படம் 3.12: ஆம்பியரின் வளையம்: நீண்ட வரிச்சுருள்

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \int_{pq} \vec{B}.d\vec{l} + \int_{qr} \vec{B}.d\vec{l} + \int_{rs} \vec{B}.d\vec{l} + \int_{sp} \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 \times \text{current enclosed by } pqrs \quad \ldots(3.64)$$

pq பாதைக்காக, $\vec{B}$ மற்றும் $d\vec{l}$ ஆகியவை ஒரே திசையில் உள்ளன. எனவே,

$$\int_{pq} \vec{B}.d\vec{l} = \int_{pq} Bdl = Bl$$

qr மற்றும் *sp* பாதைக்காக, $d\vec{l}$ எதிர் திசையில் உள்ளது. எனவே,

$$\int_{qr} \vec{B}.d\vec{l} = -\int_{sp} \vec{B}.d\vec{l}$$

அல்லது, $$\int_{qr} \vec{B}.d\vec{l} + \int_{sp} \vec{B}.d\vec{l} = 0$$

rs பாதைக்காக (சுருளின் வெளிப்புறமாகவே),

$$\int_{rs} \vec{B}.d\vec{l} = 0$$

எனவே, சமன். (3.64) லிருந்து ஆம்பியர் சுற்று விதியைப் பயன்படுத்தி,

$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \int_{pq} \vec{B}.d\vec{l} = Bl = \mu_0 nIl$ (இங்கு n என்பது சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை /ஓரலகு நீளம்)

அல்லது $$B = \mu_0 nI \quad \ldots(3.65)$$

எடுத்துக்காட்டு 3.16

எடுத்துக்காட்டு 3.16: 3000 சுற்றுக்களும் 2 m நீளமும் கொண்ட நீண்ட சுருளின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் 1A. அதன் அச்சு வழியே எந்தவொரு புள்ளியிலும் உருவாகும் காந்தப் புலத்தைக் கண்டுபிடி.

தீர்வு:

இங்கு, ஓரலகு நீளத்தில் உள்ள சுற்றுக்களின்

எண்ணிக்கை $n = 3000/2 = 1500$ turns/m மற்றும் $I = 1$A.

எனவே, சுருளின் அச்சு வழியே எந்த ஒரு புள்ளியிலும் உருவாகும் காந்தத் தூண்டல்

$$B = \mu_0 nI = 4\pi \times 10^{-7} \times 1500 \times 1 = 1.9 \times 10^{-3} \text{T}.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.17: 3000 சுற்றுக்களையும் 1.5 m நீளமும் கொண்ட நீண்ட சுருளின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் 4A. சுருளின் i) உள்புறம் ii) முனையில் மற்றும் iii) வெளிப்புறத்தில் காந்தப் புலத்தை கண்டுபிடி.

தீர்வு:

இங்கு, ஓரலகு நீளத்தில் உள்ள சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை n = 3000/1.5 = 2000 turns/m and I = 4A.

(i) எனவே, சுருளினுள் எந்தவொரு புள்ளியிலும் உண்டான காந்தத் தூண்டல்,

$$B_{in} = \mu_0 nI = 4\pi \times 10^{-7} \times 2000 \times 4 = 1.005 \times 10^{-2}\,\text{T}.$$

(ii) சுருளின் முனையில் எந்தவொரு புள்ளியிலும் உண்டான காந்தத் தூண்டல்,

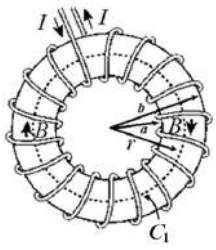
$$B_{end} = \frac{\mu_0 nI}{2} = \frac{1.005 \times 10^{-2}}{2}\,\text{T} = 5.025 \times 10^{-3}\,\text{T}.$$

(iii) சுருளின் வெளிப்புறம் எந்தவொரு புள்ளியிலும் உண்டான காந்தத் தூண்டல்

$B_{out} = 0$ [மின்னோட்டம் மேற்பரப்பில் மட்டுமே உள்ளதால்].

எடுத்துக்காட்டு 3.17

(v) **வரிச்சுருளினால் உண்டாகும் காந்தப்புலம்:** கம்பிகளால் நெருக்கமாக சுற்றப்பட்ட ஒரு வளையத்தைக் கருதுக. இதுவே வரிச்சுருள் எனக் குறிப்பிடப்படுகிறது மற்றும் இது முடிவிலா சுருளை போன்றதாகும். N சுற்றுக்களைக் கொண்ட வரிச் சுருளில் I அளவு மின்னோட்டம் C_1 சுருள் பாதை வழியே பாய்கிறது எனக் கொள்க [படம் 3.13]. ஆம்பியர் சுற்று விதியை பாதை C_1 க்கு பயன்படுத்த,



படம் 3.13: வட்ட வரிச்சுருள்

$$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 NI$$

அல்லது $$B.2\pi r = \mu_0 NI$$

அல்லது, $$B = \frac{\mu_0 NI}{2\pi r} = \mu_0 nI \qquad \ldots(3.66)$$

இங்கு $n = \frac{N}{2\pi r}$ என்பது வரிச்சுருளின் ஓரலகு நீளத்தில் உள்ள சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை.

for Viewing Toroidal B Field and Ampere's Circuital Law

3.11 காந்தப் புலத்தின் சுருள்

எந்தவொரு புள்ளியிலும் காந்தப் புலத்தின் சுருள் காந்தப் புலத்தில் நகரும் மின்னூட்டத்திற்கான தொடர்பை தருவதாகும். நடைமுறையில், அப்புள்ளியில் மின்னோட்ட அடர்த்தியைக் கொடுக்கிறது. இதை நிரூபிக்க ஆம்பியர் சுற்று விதியிலிருந்து தொடங்க,

$$\oint_C \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 I = \mu_0 \iint_s \vec{J}.d\vec{S} \qquad \ldots(3.67)$$

இப்போது, ஸ்டோக்ஸ் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி,

$$\oint_C \vec{B}.d\vec{l} = \iint_s \vec{\nabla} \times \vec{B}.d\vec{S} \qquad \ldots(3.68)$$

இதன்படி, $\iint_s \vec{\nabla} \times \vec{B}.d\vec{S} = \mu_0 \iint_s \vec{J}.d\vec{S}$

அல்லது, $\iint_s \left(\vec{\nabla} \times \vec{B} - \mu_0 \vec{J}\right).d\vec{S}$

இங்கு மேற்பரப்பு என்பது தன்னிச்சையானது. எனவே,

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} - \mu_0 \vec{J} = 0$$

அல்லது, $$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J} \qquad \ldots(3.69)$$

இதிலிருந்து வெளியில் உள்ள புள்ளியில் உள்ள மின்னோட்ட அடர்த்தியை வரையறுக்கலாம்.

வெளியில் மின்னோட்ட அடர்த்தி இல்லையெனில், $\vec{J} = 0$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0 \qquad \ldots(3.70)$$

3.12 காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதி

காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதி என்பது மேக்ஸ்வெல்லின் நான்கு சமன்பாடுகளில் ஒன்றாகும் (அலகு 7 இல் விரிவாக விவரிக்கப்படும்). இவ்விதி காந்தப் புலத்தின் மாற்றானது சுழி என்று வரையறுக்கிறது. இதை நிறுவ, மின்னோட்டம் பாயும் கடத்திக்கு பயட்–சாவர்ட் விதியை பயன்படுத்தலாம். P புள்ளியிலிருந்து r தொலைவில் உள்ள I மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தி ஒன்றை கருதுக [படம் 3.14]. மின்னோட்டம் பாய்வதால் புள்ளியைச் சுற்றிலும் உருவாகும் காந்தப் புலமானது,

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

எனவே, முழுப் பாதையினால் உருவாகும் காந்தப் புலமானது,

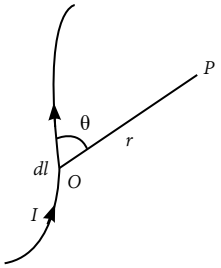
$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \oint \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3}$$

எனவே, $$\vec{\nabla}.\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \vec{\nabla}.\oint \frac{Id\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \oint \vec{\nabla}.\frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \qquad \ldots(3.71)$$

இப்போது, வெக்டர் அடையாளத்தைப் பயன்படுத்தி,

$$\vec{\nabla}.\left(\vec{A} \times \vec{B}\right) = \vec{B}.\vec{\nabla} \times \vec{A} - \vec{A}.\vec{\nabla} \times \vec{B} \qquad \ldots(3.72)$$

இதைக் கொண்டு, $$\vec{\nabla}.\left(d\vec{l} \times \frac{\vec{r}}{r^3}\right) = \frac{\vec{r}}{r^3}.\vec{\nabla} \times d\vec{l} - d\vec{l}.\vec{\nabla} \times \frac{\vec{r}}{r^3}$$



படம் 3.14:
மின்னோட்டத்தை சுமந்து செல்லும் கடத்தி

எனவே, $$\vec{\nabla}.\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint\left[\frac{\vec{r}}{r^3}.\vec{\nabla}\times d\vec{l} - d\vec{l}.\vec{\nabla}\times\frac{\vec{r}}{r^3}\right] \quad \ldots(3.73)$$

ஆனால், $\vec{\nabla}\times d\vec{l} = 0$ ஆகையால், $d\vec{l}$ என்பது $\vec{\nabla}\times\vec{B}$ புலத்தில் உள்ள புள்ளி P இன் (x, y, z) ஆகிய ஆயத்தொலைவுகளுக்கான சார்பு அல்ல.

மேலும் $\vec{\nabla}\times\frac{\vec{r}}{r^3} = 0$ மற்றும் ஆகையால் சமன். (3.73) லிருந்து,

$$\vec{\nabla}.\vec{B} = 0 \quad \ldots(3.74)$$

எனவே, காந்தப் புலத்தின் மாற்று சுழி என அறியலாம். இதிலிருந்து காந்தப்புலம் சுருள் என்பது தெளிவாகிறது. சமன். (3.74) என்பது காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதியின் வகைக்கெழு வடிவமாகும்.

இப்போது, மாற்றுத் தேற்றத்திலிருந்து நாம் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்,

$$\int_V \vec{\nabla}.\vec{B}dV = \iint_S \vec{B}.d\vec{S}$$

எனவே, காந்தப் பாயம்,

$$\varphi = \iint_S \vec{B}.d\vec{S} = 0 \quad \ldots(3.75)$$

சமன். (3.75) ஆனது, காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதியின் தொகைக்கெழு வடிவத்துடன் தொடர்புடையது. இதன் முக்கியத்துவம், மொத்த பாயம் சுழி ஆகும். அதாவது, குறிப்பிட்ட கனஅளவு வழியே நுழையும் மற்றும் வெளியேறும் பாயங்களின் எண்ணிக்கை ஒரே அளவாக இருக்கும். எனவே, காந்தப் பாயத்திற்கான மூலமோ அழிவிடமோ கிடையாது. சமன். (3.75)ஐ நிலை மின்னியலில் காஸ் விதியை $\left[\vec{\nabla}.\vec{E} = \rho / \varepsilon_0\right]$ ஒப்பிட, நாம் பெறுவது,

$$\rho_m = 0$$

இது, காந்தமானது ஒற்றை துருவம் கொண்டதல்ல என்பதை உணர்த்துகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 3.18: $\oint_C \vec{B}.d\vec{S} = 0$ என்று நிரூபி'. இங்கு $\vec{B}$ என்பது காந்தப் புலம் மற்றும் $\vec{S}$ என்பது மூடிய பரப்பு.

தீர்வு:

$\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$ ஐ பயன்படுத்தி, இருபுறமும் கனஅளவு தொகைக்கெழுப்படுத்த $\int_V \vec{\nabla}.\vec{B}dV = 0$

இப்போது, காஸ் மாற்றுத் தேற்றத்தை பயன்படுத்தி கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\int_V \vec{\nabla}.\vec{B}dV = \oint_C \vec{B}.d\vec{S} = 0.$$

எடுத்துக்காட்டு 3.18

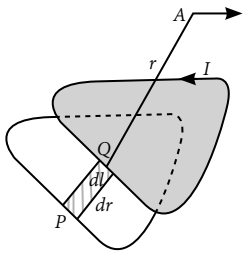
3.13 காந்த திசையிலி ஆற்றல்

நிலை மின்னியலில் மின்னழுத்தத்தைப் போலவே, காந்த நிலைமத்தில் காந்த திசையிலி நிலை கருதப்படுகிறது. நிலை மின்னியலில் மின் புலத்தை அறிய மின்னழுத்தம் எந்த வகையில் பயன்படுத்தப்படுகிறதோ அது போலவே, காந்த நிலைமத்தில் அதாவது, கட்டுறா மின்னோட்டங்கள் இல்லாத நிலையில், காந்த புலத்தை கண்டறிய காந்த திசையிலி நிலை பயன்படுகிறது.

மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியைப் போல் உள்ள பகுதியில், கடத்தியைச் சுற்றியுள்ள புலம் வெற்றிடம் எனில் $\vec{\nabla} \times \vec{B} \neq 0$ மற்றும் $\vec{B}$ ஐ நாம் திசையிலி சார்பின் எதிர்க்குறி சரிவாக எழுதலாம்.

$$\vec{B} = -\vec{\nabla}\varphi_m \qquad \ldots(3.76)$$

இங்கு φ_m என்பது காந்த திசையிலி நிலை என்றழைக்கப்படுகிறது. இது, மின்னோட்டம் தாங்கிய மூடப்பட்ட வளையத்தினால் ஒரு புள்ளியில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தை உருவாக்கும் காந்தப் புலத்தில் உள்ள எந்தவொரு புள்ளியிலும் எதிர் சரிவின் நிலையாக கருதப்படலாம். இதைக் கண்டறிய படம் 3.15 ல் காட்டியபடி, I மின்னோட்டம் தாங்கிய வளைய வடிவ கடத்தியை கருதுக. பயட்–சாவர்ட் விதிப்படி, மின்னோட்டம் தாங்கிய சிறு தொகுதி dl க்கு r தொலைவில் உள்ள A புள்ளியில் உருவாகும் காந்தத் தூண்டலானது,



படம் 3.15: காந்த திசையிலி மின்னழுத்தம்

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\oint \frac{Id\vec{l}\times\vec{r}}{r^3} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint \frac{d\vec{l}\times\vec{r}}{r^3} \qquad \ldots(3.77)$$

நோக்குப் புள்ளியானது dr தொலைவில் உள்ள Q புள்ளிக்கு நகர்த்தப்பட்டால்,

$$\vec{B}.d\vec{r} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint \frac{d\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}.d\vec{r} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint \frac{d\vec{l}\times\vec{r}}{r^3}.d\vec{r} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint \frac{d\vec{r}.\left(d\vec{l}\times\vec{r}\right)}{r^3}$$

அல்லது,
$$\vec{B}.d\vec{r} = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint \frac{\left(d\vec{r}\times d\vec{l}\right)}{r^3}.\vec{r}$$

$$= -\frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint \frac{\left(d\vec{r}\times -d\vec{l}\right)}{r^3}.\vec{r} \qquad \ldots(3.78)$$

P ஆனது Qக்கு நகர்த்தப்பட்டால், நோக்குப் புள்ளியுடன் தொடர்புடைய திடக் கோணம் $d\Omega$ அளவுக்கு மாறும் மற்றும் $-dr$ தொலைவு நகர்வின்போது சிறு தொகுதியினால் உருவாகும் பரப்பு $d\vec{a} = d\vec{r}\times -d\vec{l}.$

மற்றும் எனவே,
$$\vec{B}.d\vec{r} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi}\oint \frac{d\vec{a}.\vec{r}}{r^3} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi}d\Omega \qquad \ldots(3.79)$$

இங்கு,
$$d\Omega = \oint \frac{d\vec{a}.\vec{r}}{r^3} \qquad \ldots(3.80)$$

அல்லது,
$$\vec{B}.d\vec{r} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi}\vec{\nabla}\Omega.d\vec{r}$$

அல்லது, $$\vec{B} = -\frac{\mu_0 I}{4\pi}\vec{\nabla}\Omega = -\vec{\nabla}\left(\frac{\mu_0 I}{4\pi}\Omega\right) \quad \ldots(3.81)$$

சமன். (3.76) ஐ சமன். (3.81) உடன் ஒப்பிட, நாம் பெறும் காந்த திசையிலி நிலையானது,

$$\varphi_m = \frac{\mu_0 I}{4\pi}\Omega \quad \ldots(3.82)$$

3.14 காந்த வெக்டர் ஆற்றல்

காந்த வெக்டர் நிலை என்பது ஒரு வெக்டர் புலம் ஆகும். இது காந்தப் புலத்திற்கு ஒரு நிலை ஆக உதவுகிறது. ஏற்கனவே நாம் அறிந்தபடி, காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதியானது, $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$ மற்றும் வெக்டர் நுண்கணிதத்திலிருந்து, வெக்டரின் சுருளின் மாற்றானது சுழி என்பதாகும். இதன்படி, $\vec{B}$ யை,

$$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} \quad \ldots(3.83)$$

இங்கு $\vec{A}$ நிலை வெக்டருடன் தொடர்புடைய காந்த நிலை வெக்டர் என அழைக்கப்படுகிறது.

இப்போது நாம் பெறுவது,

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

இதன்படி, $$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{A} = \mu_0 \vec{J} \quad \ldots(3.84)$$

இப்போது, வெக்டர் அடையாளத்தை வைத்து,

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{A} = \vec{\nabla}(\vec{\nabla}.\vec{A}) - \nabla^2 \vec{A}$$

$\vec{\nabla}.\vec{A} = 0$ ஐ தேர்ந்தெடுத்தால் நாம் பெறுவது,

$$\nabla^2 \vec{A} = -\mu_0 \vec{J} \quad \ldots(3.85)$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டை கார்ட்டீஷியன் கூறுகளில் எழுதினால்,

$$\nabla^2 A_x = -\mu_0 J_x, \nabla^2 A_y = -\mu_0 J_y \text{ and } \nabla^2 A_z = -\mu_0 J_z \quad \ldots(3.86)$$

இந்த ஒவ்வொரு சமன்பாடும் பாய்சான் சமன்பாட்டை ஒத்துள்ளது. நிலை மின்னியலில் $\nabla^2\phi = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ வடிவத்தை போன்ற தீர்வைப் பெற்றுள்ளது.

$$\phi(\vec{r}) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\int \frac{\rho(\vec{r}_0)dV_0}{\left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|} \quad \ldots(3.87)$$

இதைப்போன்றே சமன். (3.86) க்கும் தீர்வை எழுதலாம்.

$$A(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int \frac{J(\vec{r}_0)dV_0}{\left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|} \quad \ldots(3.88)$$

இப்போது I மின்னோட்டம் பாயும் நீளத் தொகுதி dl_0 க்காக, JdV_0 க்கு பதிலீடாக Idl_0 மாற்றி எழுதலாம் மற்றும் இதன்படி மேற்கண்ட சமன்பாடு கீழ்க்கண்டவாறு மாற்றி எழுதலாம்.

$$A(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int \frac{I(\vec{r}_0)dl_0}{l} \qquad \ldots(3.89)$$

இங்கு $l = \left|\vec{r} - \vec{r}_0\right|$ என்பது நோக்குப் புள்ளியிலிருந்து நீளத் தொகுதியின் தூரம்.

சமன். (3.89) ஆனது மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியிலிருந்து தொலைவில் உள்ள காந்த நிலை வெக்டர் ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 3.19

எடுத்துக்காட்டு 3.19: கொடுக்கப்பட்ட காந்தப் பகுதியில் உள்ள நிலை (x, y, z) இல், நிலை வெக்டர் $\vec{A} = (x^2 + y^2 - z^2)\hat{j}$ எனில், (1, 1, 1) இல் காந்தப் புலத்தை காண்க.

தீர்வு:

இங்கு, $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$

இங்கு $\vec{A} = (x^2 + y^2 - z^2)\hat{j}$

எனவே காந்தப் புலம் $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ x^2 & y^2 & -z^2 \end{vmatrix} = 0$

இதன்படி, (1, 1, 1) புள்ளியில் காந்தப் புலம் சுழி.

எடுத்துக்காட்டு 3.20

எடுத்துக்காட்டு 3.20: காந்தப் பகுதியில் எந்தவொரு புள்ளியிலும் கொடுக்கப்பட்ட நிலை வெக்டர் $\vec{A} = \left(10x^2 + y^2 - z^2\right)\hat{j}$ எனில், (1, 1, 2) புள்ளியில் காந்தப் புல வெக்டரை காண்க.

தீர்வு:

இங்கு, $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$

இங்கு $\vec{A} = \left(10x^2 + y^2 - z^2\right)\hat{j}$

எனவே காந்தப் புலம் $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & 10x^2 + y^2 - z^2 & 0 \end{vmatrix}$

$= 2\hat{i} + 20\hat{k}$

இதன்படி, (1, 1, 2) புள்ளியில் காந்தப் புலம் $= 2\hat{i} + 20\hat{k}$.

எடுத்துக்காட்டு 3.21: $\vec{A} = \vec{a} \times \vec{r}$ புள்ளியில் காந்த நிலை வெக்டர் எனில், இங்கு $\vec{a}$ என்பது மாறிலி வெக்டர், அப்புள்ளியில் காந்தத் தூண்டல் வெக்டரைக் காண்க.

தீர்வு இங்கு, $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$

இங்கு $$\vec{A} = \vec{a} \times \vec{r} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ a_x & a_y & a_z \\ x & y & z \end{vmatrix}$$

$$= \hat{i}(a_y z - a_z y) + \hat{j}(a_z x - a_x z) + \hat{k}(a_x y - a_y x)$$

எனவே, $$\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ (a_y z - a_z y) & (a_z x - a_x z) & (a_x y - a_y x) \end{vmatrix}$$

$$= 2a_x \hat{i} + 2a_y \hat{j} + 2a_z \hat{k} = 2\vec{a}$$

இதுவே அப்புள்ளியில் காந்த தூண்டல் வெக்டரின் மதிப்பாகும்.

எடுத்துக்காட்டு 3.21

3.15 மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களின் ஒப்பீடு

மின் புலம்	காந்தப் புலம்
(i) இது நிலை மின்னூட்டங்களால் உருவாகிறது. அதாவது ஓய்வில் உள்ள மின்னூட்டங்கள்.	(i) இது நிலை மின்னோட்டம் அல்லது நகரும் மின்னூட்டங்களால் உருவாகிறது.
(ii) நிலை மின் புலம் $\vec{\nabla}.\vec{E} = \rho / \varepsilon_0$ ஆக குறிப்பிடப்படுகிறது. இங்கு ρ என்பது மின்னூட்டத்தின் கனஅளவு அடர்த்தி. இது நிலை மின் விசைக் கோடுகள் நேர் மின்னூட்டத்திலிருந்து எதிர் மின்னூட்டத்தை நோக்கி முடிவடைகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது. மேலும், இது மின் ஒருமுனை தன்மை உள்ளதை நிரூபிக்கிறது.	(ii) காந்தப்புலம் $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$ ஆககுறிப்பிடப்படுகிறது. இது மூடிய பரப்பின் மீதுள்ள காந்தப் பாயம் சுழி என்று குறிக்கிறது. அதாவது, காந்த விசைக் கோடுகளுக்கு எந்த ஒரு தனிப்பட்ட பரப்பி அல்லது ஏற்பி கிடையாதென்பதால் காந்த தனித்துருவம் அமைவதில்லை.
(iii) நிலைமின் புலம் என்பது மாறா புலமாகும். அதாவது, $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0$ எனவே, எந்தவொரு புள்ளி யிலும் மின் புலமானது திசையிலி நிலையின் (V) எதிர் சரிவாக குறிப்பிடலாம். அதாவது, $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$.	(iii) காந்தப் புலம் என்பது மாறா புலம் அல்ல $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$ ($\vec{J}$ என்பது மின்னோட்ட அடர்த்தி). எனவே எந்தவொரு புள்ளியிலும் காந்தப் புலம் எதிர் சரிவாக குறிப்பிடப்படுவதில்லை.

அலகு சுருக்கம்

- மின்னோட்டம் மற்றும் மின்னோட்ட அடர்த்தி

  $$I = \int dI = \int_S \vec{J}.d\vec{S}$$

- மின் கடத்து எண்

  $$\sigma = \frac{J}{F} = n_0 e\mu$$

- தொடர்புச் சமன்பாடுகள்

  $$\vec{\nabla}.\vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

- நிலை மின்னோட்டம்

  $$\nabla^2 \phi = 0$$

- லாரன்ஸ் விசை

  $$\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$$

- பயட்–சாவர்ட் விதி

  $$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int_l \frac{Idl}{r^3}\hat{r} = \frac{\mu_0}{4\pi}\int_V \frac{JdV}{r^3}\hat{r}$$

- காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட கடத்தியின் மீதான விசை

  $$d\vec{F} = Id\vec{l} \times \vec{B}$$

- காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட நகரும் மின்னூட்டத்தின் மீதான விசை

  $$\vec{F}_m = e\vec{v} \times \vec{B}$$

- ஆம்பியர் சுற்று விதி

  $$\oint \vec{B}.d\vec{l} = \mu_0 I$$

  $$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{J}$$

- காந்தப் புலத்தின் சுருள்

  $$\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0$$

- காந்தப் புலத்தின் மாற்று: காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதி

  $$\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$$

- காந்த திசையிலி நிலை

  $$\vec{B} = -\vec{\nabla}\varphi_m$$

- காந்த நிலை வெக்டர்

$$A(\vec{r}) = \frac{\mu_0}{4\pi}\int \frac{I(\vec{r}_0)dl_0}{l}$$

- நிலைமின் புலத்திற்கும் காந்தப் புலத்திற்குமான ஒப்பீடு

நிலைமின் புலம்:

நிலை மின்னூட்டங்களால் உருவாகிறது

நிலைமின் புலம் மாறாதது ஆகும்

காந்தப் புலம்:

நிலை மின்னோட்டத்தால் உருவாகிறது

காந்தப் புலம் மாறாதது அல்ல

பயிற்சிகள்

கொள்குறி வகை வினாக்கள்

3.1 $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$, $\vec{B}$ மற்றும் $\vec{A}$ ஏதேனும் வெக்டர்கள் எனில்

(a) $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$

(b) $\vec{\nabla}.\vec{B} = 1$

(c) $\vec{\nabla}.\vec{B} = -1$

(d) $\vec{\nabla}.\vec{B} = A$

3.2 கீழ்க்கண்ட கருத்துக்களில் எவை காந்த நிலைமத்தின் பண்புகள் அல்ல ?

(a) இது சுருள்

(b) இது மாறாதது

(c) காந்த பாய கோடுகள் மூடப்பட்டவை

(d) மூலமோ அழிப்பானோ இல்லை

3.3 மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்திக்கு சற்று வெளியில் உள்ள புள்ளியில்

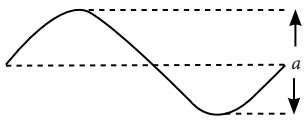
(a) காந்தப் புலம் சுழியற்ற நிலையில் மின் புலமானது சுழி

(b) மின் புலம் இல்லாத போது காந்தப் புலம் சுழி

(c) மின் மற்றும் காந்த புலங்கள் சுழி

(d) மின் மற்றும் காந்த புலங்கள் சுழியல்ல

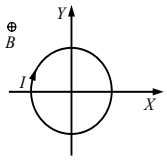
3.4 படத்தில் காட்டியபடி தாமிரக் கம்பியானது சைன் அலையைப் போன்று வளைத்து வைக்கப்பட்டுள்ளது.



λ அலைநீளம் மற்றும் இரு தொடர் முகடுகளுக்கிடையே உள்ள தூரம் a. படம் உள்ள தளத்தில் மொத்த பகுதிக்கும் செங்குத்தாக B டெஸ்லா அளவு காந்த பாய அடர்த்தி செயல்படுகிறது. கம்பி I ஆம்பியர் நிலை மின்னோட்டத்தை தாங்கியிருந்தால், கம்பியின் மீதான காந்த விசையானது

(a) $I\sqrt{(a^2+\lambda^2)}B$ (b) IaB (c) $I(a+\lambda)B$ (d) $I\lambda B$

3.5 காகிதம் உள்ள தளத்திற்கு செங்குத்தாக செயல்படும் காந்தப்புலத்தில் I மின்னோட்டம் தாங்கிய வளைய வடிவ கடத்தி வைக்கப்பட்டுள்ளது. வளையத்தின் போக்கானது,



(a) குறுக்கமடையும் (b) விரிவடையும்

(c) நேர் x அச்சை நோக்கி நகரும் (d) எதிர் x அச்சை நோக்கி நகரும்

3.6 காந்தப் பாய அடர்த்தியின் மாற்றானது

(a) 0 (b) 1

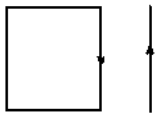
(c) −1 (d) இவற்றில் எதுவுமில்லை

3.7 மின்னோட்டம் தாங்கிய முடிவிலா நீளமுள்ள நேரான கடத்தியினால் உண்டாகும் காந்தத் தூண்டலின் திசையானது

(a) கம்பிக்கு செங்குத்தாக (b) கம்பிக்கு இணையாக

(c) கம்பிக்கு 30^{o} சாய்வாக (d) இவற்றில் எதுவுமில்லை

3.8 மின்னோட்டம் தாங்கிய நேரான கடத்தி நகர முடியாது, ஆனால் பக்கவாட்டில் உள்ள மின்னோட்டம் தாங்கிய சதுர வளையம் காந்த விசையால் நகர்கிறது. சதுர வளையமானது,



(a) நிலையாக இருக்கும் (b) கம்பியை நோக்கி நகரும்

(c) கம்பியை விட்டு விலகும் (d) இவற்றில் எதுவுமில்லை

3.9 $\vec{\nabla}.\vec{B}=0$ இன் இயல் விளக்கம் என்பது ($\vec{B}$ என்பது காந்தப் புலம்)

(a) காந்த தனித்துருவம் இருக்க முடியாது

(b) காந்த துருவம் சுழற்சியற்றது

(c) காந்தப் புலம் மாறாதது

(d) காந்த விசைக் கோடுகள் திறந்த வளைவுகள்

3.10 கீழ்நோக்கி செல்லும் ஒரு புரோட்டான், அதன் பாதைக்கு செங்குத்தாக செயல்படும் காந்தப் புலத்தினால், தெற்கு நோக்கிய விசையை உணருகிறது. அதே காந்தப் புலத்தில் வடக்கு நோக்கி செல்லும் எலக்ட்ரான் உணரும் விசையானது,

(a) மேல்நோக்கியது (b) கீழ்நோக்கியது

(c) கிழக்கு நோக்கியது (d) மேற்கு நோக்கியது

3.11 ஆம்பியர் சுற்று விதியைப் பயன்படுத்த மின்னோட்ட அடர்த்தியானது

(a) வெளி மீது மாறிலி (b) நேரத்தை பொறுத்ததல்ல

(c) சுருளானது (d) சுழற்சியற்றது

3.12 $z-$அச்சு வழியே செயல்படும் மாறா காந்தப் புலத்தின் $\vec{B}$ நிலை வெக்டரை கீழ்க்கண்டவாறு குறிக்கலாம்.

(a) $-Bz\hat{k}$ (b) $\frac{B}{2}\left(x\hat{i}-y\hat{j}\right)$ (c) $B\left(x\hat{j}-y\hat{i}\right)$ (d) $\frac{B}{2}\left(x\hat{j}-y\hat{i}\right)$

3.13 காந்தப் புலத்தில் உள்ள மின்னூட்டப்பட்ட துகள் _____ ஐ சார்ந்ததல்ல.

(a) துகளின் திசைவேகம் (b) புல வலிமை
(c) துகளின் மின்னூட்டம் (d) துகளின் நிறை

3.14 தொடர்புச் சமன்பாடு முக்கியமாக குறிப்பிடுவது

(a) நிறை அழிவின்மை (b) மின்னூட்ட அழிவின்மை
(c) மின்னழுத்த அழிவின்மை (d) விசையின் அழிவின்மை

3.15 நிலை மின்னோட்டத்தின் தொடர்புச் சமன்பாடு என்பது

(a) $\vec{\nabla}.\vec{J}+\frac{\partial\rho}{\partial t}=0$ (b) $\vec{\nabla}.\vec{J}=0$ (c) $\frac{\partial\rho}{\partial t}=0$ (d) $\vec{\nabla}\times\vec{J}=0$

3.16 காந்தப் புலம் $\vec{H}$ உடன் இணைந்த ஆற்றலானது

(a) $\frac{1}{2}H^2$ (b) $\mu_0 H^2$ (c) $\frac{1}{2}\mu_0 H^2$ (d) $\frac{1}{2\mu_0}H^2$

3.17 நகரும் மின்னூட்டம் உருவாக்கக்கூடியது

(a) மின்புலம் மட்டும் (b) காந்தப் புலம் மட்டும்
(c) இவை இரண்டும் (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

3.18 எந்த ஒரு கணம் t யிலும் மின்கலத்துடன் தொடர்புடைய காந்தப் பாயமானது $\varphi=10t^2-100t+50$, $t=4$ வினாடியில் சுருளில் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசை

(a) 20V (b) 10V (c) 100V (d) 200V

3.19 I மின்னோட்டம் தாங்கிய N சுற்றுக்களையம் r ஆரமும் கொண்ட வளைய சுருளின் மையத்தில் உண்டான காந்தப் புலத் தூண்டல் $\vec{B}$

(a) $\frac{\mu_0 NI}{2\pi r}$ (b) $\frac{\mu_0 I}{2r}$ (c) $\frac{\mu_0 NI}{2r}$ (d) $\frac{\mu_0 N^2 I^2}{2r}$

3.20 L நீளமும் I மின்னோட்டமும் கொண்ட கம்பி வட்டமாக வளைக்கப்பட்டுள்ளது. வளையத்தின் மையத்தில் காந்தப் புலத்தின் எண்மதிப்பு

(a) $\frac{\pi\mu_0 I}{L}$ (b) $\frac{\mu_0 I}{2\pi L}$ (c) $\frac{\mu_0 I}{2L}$ (d) $\frac{2\pi\mu_0 I}{L}$

3.21 மின்னூட்டப்பட்ட துகளின் மீது லாரன்ஸ் விசை $\vec{F}$ ஆல் செய்யப்பட்ட வேலை

(a) $\vec{F}.d\vec{r}$ (b) zero (c) $\frac{q}{\varepsilon_0}$ (d) qF

3.22 அமைப்பின் மொத்த மின்னூட்டமானது மாறாதது எனில்,

(a) $\vec{\nabla}.\vec{J} = 0$ (b) $\vec{\nabla}.\vec{J} = \frac{\partial \rho}{\partial t}$ (c) $\vec{\nabla}.\vec{J} = -\frac{\partial^2 \rho}{\partial t^2}$ (d) $\vec{\nabla}.\vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t}$

3.23 திசையிலி நிலைக்கும் ϕ, நிலை வெக்டருக்கும் $\vec{A}$ உள்ள தொடர்பு

(a) $\vec{\nabla} \times \vec{A} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \phi}{\partial t}$ (b) $\vec{\nabla} \times \vec{A} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \phi}{\partial t}$

(c) $\vec{\nabla}.\vec{A} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \phi}{\partial t}$ (d) $\vec{\nabla}.\vec{A} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial \phi}{\partial t}$

3.24 மின்னோட்ட அடர்த்தி $J = k\hat{r}$ எனில் இங்கு $\hat{r}$ என்பது $x\hat{i} + y\hat{j}$ வழியேயான அலகு வெக்டர், மேற்பரப்பு மின்னோட்டம் $x^2 + y^2 = a^2$ $z = 0$ மற்றும் $z = h$னால் எல்லைபடுத்தப்பட்டுள்ளது.

(a) $\pi a^2 h\hat{k}$ (b) zero (c) $2\pi ah\hat{k}$ (d) $\frac{a^3 \hat{k}}{\pi h}$

3.25 I_1 மற்றும் I_2 மின்னோட்டங்களை தாங்கிய இரு முடிவிலா நீளக் கடத்திகள் ஒன்றுக்கொன்று r தொலைவில் இணையாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒரு கடத்தியினால் மற்றொன்றில் உள்ள மின்னோட்டம்,

(a) $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$ N முதல் கடத்தியிலிருந்து விலகும்

(b) $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$ N முதல் கடத்தியை நோக்கி இருக்கும்

(c) $\frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r}$ N இரண்டாவது கடத்தியிலிருந்து விலகும்

(d) இவற்றில் எதுவுமில்லை

3.26 ஒரு வரிச்சுருளின் உள் மற்றும் வெளி ஆரங்கள் முறையே r மற்றும் R, N சுற்றுக்களைக் கொண்டு I மின்னோட்டம் பாய்கிறது. r லிருந்து R க்கு இடைப்பட்ட பாதையில் காந்தப் புலமானது,

(a) $\frac{N\mu I}{\pi r}$ (b) $\frac{N\mu I}{\pi R}$ (c) $\frac{N\mu I}{\pi(R+r)}$ (d) $\frac{N\mu I}{\pi(R-r)}$

3.27 நகரும் மின்னூட்டத்தின் நிலை வெக்டர் _____ ஐ சார்ந்தது

(a) மின்னூட்டம் (b) திசைவேகம்

(c) (a) மற்றும் (b) இரண்டையும் (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

3.28 I மின்னோட்டம் தாங்கிய கம்பியின் ஆரம் R. கம்பிக்குள் r தொலைவில் காந்தத் தூண்டலானது $(< R)$,

(a) $1/R$ க்கு தகவாகும் (b) r க்கு தகவாகும்

(c) $1/r$ க்கு தகவாகும் (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

3.29 மின்னூட்ட துகளானது, காந்தப் புலத்திற்கு செங்குத்தாக நகரும் போது

(a) அதன் ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் மாறிலி

(b) அதன் ஆற்றல் மற்றும் உந்தம் மாறும்

(c) அதன் உந்தம் மாறும் ஆனால் ஆற்றல் மாறிலி

(d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

3.30 I மின்னோட்டம் தாங்கிய சுற்றுக்களை உடைய சுருளின் அச்சிலும் முனையிலும் உருவாகும் காந்தப் புலம்

(a) $\mu_0 NI$ (b) $\frac{\mu_0 NI}{2}$ (c) $\frac{\mu_0 NI}{3}$ (d) $\frac{\mu_0 NI}{4}$

3.31 நிலை காந்த வெக்டர் பூர்த்தி செய்வது

(a) பாய்சான் சமன்பாடு (b) லாப்லாஸ் சமன்பாடு

(c) (a) மற்றும் (b) இரண்டும் (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

3.32 I மின்னோட்டம் தாங்கிய R ஆரம் கொண்ட வட்ட வடிவ வளையத்தின் மையத்தில் உருவாகும் காந்தத் தூண்டல்

(a) $\frac{\mu_0 I}{4\pi R}$ (b) $\frac{\mu_0 I}{2\pi R}$ (c) $\frac{\mu_0 I}{2R}$ (d) $\frac{\mu_0 I}{2R^2}$

கொள்குறி வகை வினா–விடைகள்
3.1 (a), 3.2 (b), 3.3 (a), 3.4 (d), 3.5 (b), 3.6 (a), 3.7 (a), 3.8 (c), 3.9 (a), 3.10 (a), 3.11 (c), 3.12 (d), 3.13 (d), 3.14 (b), 3.15 (b), 3.16 (c), 3.17 (c), 3.18 (a), 3.19 (c), 3.20 (a), 3.21 (b), 3.22 (d), 3.23 (d), 3.24 (c), 3.25 (b), 3.26 (c), 3.27 (c), 3.28 (c), 3.29 (c), 3.30 (b), 3.31 (a), 3.32 (c)

சிறு மற்றும் பெரு வினாக்கள்

வகை I

3.1 பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி மின்னோட்டம் தாங்கிய நீண்ட நேரான கடத்தியினால் உண்டான காந்தப் புலத்தை அளக்கும் முறையை சுருங்கக் கூறு.

3.2 பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி I மின்னோட்டம் தாங்கிய வளைய சுருளின் மையத்தில் உண்டாகும் காந்தப் புலத்திற்கான கோவையை எழுதுக.

3.3 காந்த நிலைமத்தில் ஆம்பியர் விதியின் வகைக்கெழு மற்றும் தொகைக்கெழு வடிவத்திற்கிடையே யுள்ள வேறுபாட்டை காண்க.

3.4 கொடுக்கப்பட்ட சமபக்க முக்கோண வடிவ கடத்துக் கம்பியின் ஒவ்வொரு பக்கங்களிலும் பாயும் மின்னோட்டம் *I*. நடுவில் உள்ள காந்தப் புலம் என்ன ?

3.5 மின்காந்தவியலில் பயட்–சாவர்ட் விதியின் முக்கியத்துவத்தை குறிப்பிடுக.

3.6 i மின்னோட்டம் கொண்ட முடிவிலா நீளமுள்ள நேரான கம்பியிலிருந்து தொலைவில் உண்டாகும் காந்தப் புலத்தின் கணித வடிவை திசையுடன் வெளிப்படுத்து.

3.7 ஓரலகு நீளத்தில் n சுற்றுக்களைக் கொண்ட முடிவிலா நீளம் கொண்ட, I மின்னோட்டம் பாயும் சுருளின் அச்சில் உள்ள புள்ளியில் உருவான காந்தத் தூண்டலைக் $\vec{B}$ காண்க.

3.8 I மின்னோட்டம் தாங்கிய வட்ட வடிவ வளையத்தின் அச்சின் மீதுள்ள புள்ளியில் உண்டான காந்தப் புலத்தைப் பெறுக.

3.9 நிலைமின் புலம் மற்றும் காந்தப் புலத்தை வேறுபடுத்துக.

3.10 காந்த நிலை வெக்டர் என்றால் என்ன ? அது ஏன் அவ்வாறு அழைக்கப்படுகிறது ?

3.11 மின்னோட்ட அடர்த்தியின் வரையறையிலிருந்து தொடங்கி மின்னோட்ட அடர்த்திக்கான கோவை யைத் தருவி $\vec{\nabla}.\vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$. நிலை மின்னோட்டத்தின் நிபந்தனை யாது ?

3.12 I மின்னோட்டம் தாங்கிய முடிவிலா நீளமுள்ள நேரான கடத்தியினால் உண்டான காந்தப் புலத்தின் B கோவையை, காந்த நிலைமத்தின் ஆம்பியர் விதியைப் பயன்படுத்தி வருவிக்கவும்.

3.13 வட்ட வடிவ மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தியின் அச்சின் மீதுள்ள $P(z)$ புள்ளியில் காந்தப் புலத்தை காண்க.

3.14 வரிச்சுருளினால் வெளியே உள்ள புள்ளியில் உண்டான காந்தப் புலத்தை கண்டறிய ஆம்பியர் விதியை பயன்படுத்து.

3.15 காந்தப் புலத்தில் உள்ள மின்னோட்ட தொகுதி உணரும் விசையைக் காண்க.

3.16 மின் மற்றும் காந்த லாரன்ஸ் விசைகளிடையேயான வேறுபாட்டை அறிக.

3.17 I மின்னோட்டம் தாங்கிய வட்ட வடிவ வளைய கடத்தியின் அச்சின் மீதுள்ள புள்ளியில் உண்டான காந்த தூண்டலை பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி அறிக.

3.18 பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி, மின்னோட்டம் தாங்கிய நீண்ட சுருளின் மையத்தில் உண்டான காந்தப் பாய செறிவுக்கான கோவையை பெறுக. சுருளின் முடிவில், மையத்தில் உள்ள காந்தப் புல மதிப்பில் பாதி என்பதைக் காண்பிக்க.

3.19 n சுற்றுக்களைக் கொண்ட மின்னோட்டம் தாங்கிய வட்ட வடிவ கடத்தியின் அச்சின் மீதுள்ள புள்ளியில் உண்டான காந்த தூண்டலைப் $\vec{B}$ பெறுக.

வகை II

3.20 நிலை வெக்டரின் முக்கியத்துவத்தை எழுதுக.

3.21 "காந்த விசை எந்த வேலையையும் புரிவதில்லை". கணித முறையில் விளக்குக.

3.22 இரு இணையான மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்திகளுக்கிடையே விசையைக் கருத்தில் கொண்டு ஆம்பியரை வரையறு.

3.23 1 A மின்னோட்டம் தாங்கிய நீண்ட நேரான கடத்தியிலிருந்து 1 m தொலைவிற்கு இணையாக, 0.8 C திசைவேகத்துடன் புரோட்டான் பயணிக்கிறது. புரோட்டான் மீது செயல்படும் விசை யாது ? இதைத் தீர்க்க பயன்படும் விதியை வரையறுக்க.

3.24 காந்த நிலை வெக்டரின் அடிப்படையில் ஆம்பியர் சுற்று விதியை வெளிப்படுத்து.

3.25 ஆம்பியர் விதி, மின்னோட்டம் நிலையானது என்று எவ்வாறு குறிப்பிடுகிறது என்பதைக் காண்பி.

3.26 பயட்–சாவர்ட் விதியை மின்னோட்ட அடர்த்தியை அடிப்படையாக கொண்டு வெளிப்படுத்து மற்றும் காந்தப் புலம் எவ்வாறு சுருளானது என்பதை நிரூபி.

கணக்குகள்

3.1 மின் புலச் செறிவு $10\hat{i} + 10\hat{k}$ மற்றும் காந்தப் புலச் செறிவு $2\hat{i} - 6\hat{j} - 6\hat{k}$ வழியே 0.4c மின்னூட்டம் கொண்ட சோதனை மின்னூட்டத்தின் திசைவேகம் $4\hat{i} - \hat{j} - 2\hat{k}$ m/s ஆகும். சோதனை மின்னூட்டத்தின் மீது செயல்படும் லாரன்ஸ் விசையின் எண்மதிப்பையும் திசைவேகத்தையும் கணக்கிடுக.

3.2 2A மின்னோட்டம் தாங்கிய வட்ட வடிவ கடத்தியினால் அச்சின் மீது உள்ள ஏதேனும் ஒரு புள்ளியில் பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி காந்தப் புலத்தை B கணக்கிடுக, மற்றும் a = 10 cm ஆரம் கொண்ட வளையத்தின் மையத்தில் காந்தத் தூண்டலைக் காண்க.

3.3 50 A மின்னோட்டமும் 4 cm ஆரமும் கொண்ட வெற்று உருளையின் உள்புறம் மற்றும் வெளிப்புறம் உள்ள காந்தப் புலத்தைக் கணக்கிடுக.

3.4 $q = (1.6 \times 10^{-19}\,\text{C})$ என்ற மின்னூட்டம், $\vec{E} = 2\vec{i} + 3j + k$ மற்றும் $\vec{B} = 2\vec{i} + 5j$ என்ற மின்காந்தப் புலத்திற் கிடையே $\vec{v} = \hat{i} + 2\hat{j} + 2\hat{k}$ m/s என்ற திசைவேகத்துடன் நகர்கிறது, எனில் விசையைக் கண்டறிக.

3.5 நிலை வெக்டரின் நிலை $\vec{A} = \left(10x^2 + y^2 - z^2\right)\hat{j}$. எனில் (1, 1, 1) புள்ளியில் காந்தப் புலத்தைக் கண்டுபிடி.

3.6 1A மின்னோட்டம் கொண்ட கடத்தியிலிருந்து 10 cm தொலைவில் கடத்திக்கு இணையாக, 0·6c திசைவேகத்துடன் நகரும் புரோட்டான் மீது செயல்படும் காந்த விசை என்ன ?

3.7 ஒரே திசையில் சமமான 10A மின்னோட்டம் கொண்ட இரு இணைக் கம்பிகள் 2·0 cm தொலைவிற்கு பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ளன. ஏதேனும் ஒரு கம்பியிலிருந்து 2 cm தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் காந்தப் புலத்தை காண்க.

3.8 300 சுற்றுக்களைக் கொண்ட சுருள் நீளம் 40 cm. சுருளானது, 3·5A மின்னோட்டத்தை கொண்டிருந்தால் சுருளின் ஒரு முனையில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தை காண்க.

3.9 $1/\pi$ amp மின்னோட்டம் தாங்கிய 3.14 cm ஆரம் கொண்ட அரைவட்ட வடிவ கடத்தி வளையத்தின் மையத்தில் உருவாகும் காந்தப் புலத்தைக் காண்க.

3.10 200 சுற்றுக்களை கொண்ட 1A மின்னோட்டத்தை தாங்கிய கடத்தியின் 0.2 m விட்டம் 0.02 m^2 குறுக்கு வெட்டு பரப்பு ஆகும். வளையத்தில் உள்ள காந்த பாயத்தை காண்க.

3.11 ஒவ்வொன்றிலும் 1A மின்னோட்டம் தாங்கிய, 0.02 m தொலைவுக்கு பிரித்து வைக்கப்பட்டுள்ள இணையான இரு நேரான கம்பிகள் மீது ஓரலகு நீளத்தில் உள்ள விசையைக் காண்க.

3.12 1 cm ஆரம் கொண்ட ஸ்டீல் தண்டு வட்ட வடிவத்தில் வளைக்கப்பட்டு 200 சுற்றுக்கள் கொண்ட சுருளாக மாற்றப்பட்டுள்ளது. வளையத்தின் சராசரி ஆரம் 10 cm எனில், காந்தப் பாயத்தை 0.5 mWb உருவாக்கக் கூடிய மின்னோட்டத்தின் அளவைக் கணக்கிடுக. ஸ்டீலின் μ_r = 1000

செய்முறை

1. ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சுருளை பயன்படுத்தி காந்தப் புலத்தில் ஏற்படும் மாறுபாட்டை அளவிடுக

நோக்கம்

1. மின்னோட்டம் தாங்கிய இணைச் சுருளின் அச்சின் வழியே இடத்தை பொருத்து காந்தப் புல மாறுபாட்டை கற்க.
2. சுருள் ஆரத்தை கண்டுபிடிக்க வேண்டும்.
3. காந்த புலத்தின் மேற்பொருந்துதல் தத்துவத்தை ஆராய்க.

உபகரணங்கள்

இரு சுருள்கள், மாறா மின்னோட்ட மூலம், காஸ் மானி, நகரும் காந்தப் புல உணர்வி.

கோட்பாடு

பயட்–சாவர்ட் விதியைப் பயன்படுத்தி மின்னோட்டம் தாங்கிய சிறு தொகுதியிலிருந்து r தொலைவில் உள்ள புள்ளியில் உண்டான காந்தப் புலத்தை வெக்டர் வடிவில் கீழ்க்கண்டவாறு எழுதலாம்.

$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{d\vec{l} \times \vec{r}}{r^3} \qquad \ldots(i)$$

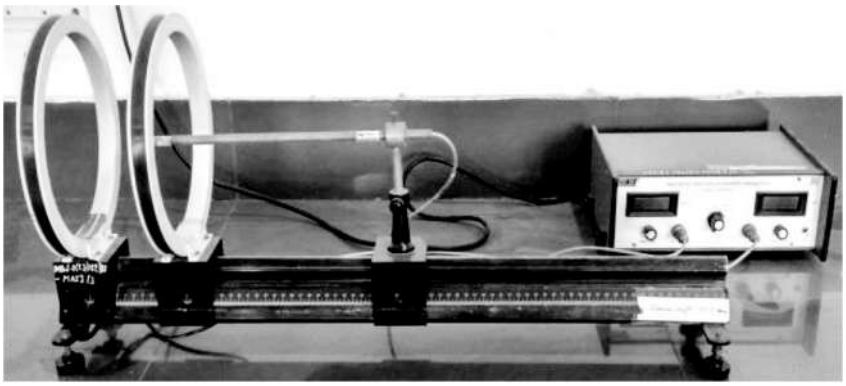
அவ்விதியை மின்னோட்டம் தாங்கிய n சுற்றுக்களை உடைய a ஆரம் கொண்ட வட்ட வடிவ சுருள் மையத்திலிருந்து r தொலைவில் உள்ள காந்த புலத்தை பின்வருமாறு எழுதலாம்

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi n I a^2}{\left(a^2 + r^2\right)^{3/2}} \qquad \ldots(ii)$$

இங்கு I = சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் மற்றும் μ_o= வெற்றிடத்தின் உட்புகுதிறன். காந்தப் புலம் B, Tesla அல்லது Wb/m^2 இல் குறிப்பிடப்படுகிறது. சுருள் மையத்தில் காந்தப் புலத்தின் மதிப்பு அதிகரிப்பதை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$B = \frac{\mu_0 nI}{2a} = \frac{4\pi \times 10^{-7} nI}{2a} \text{ T} \qquad \ldots(iii)\ (a)$$

அல்லது,
$$B = \frac{4\pi \times 10^{-3} nI}{2a} \text{ G} \quad [\text{as } 1\text{T} = 10^4 \text{ G}] \qquad \ldots(iii)\ (b)$$

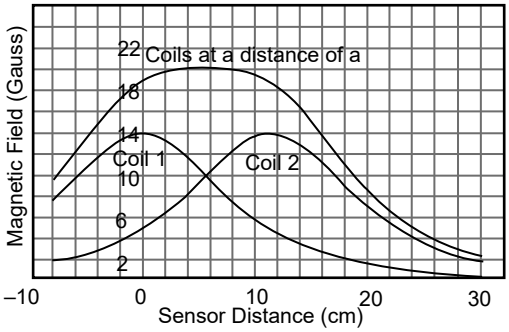


படம் (i)

பரிசோதனை அமைவு படம் (i) இல் காட்டப்பட்டுள்ளது. நாம் சுருளின் மையத்திலிருந்து வலதுபுறம் அல்லது இடதுபுறமாக நகர்ந்தால், காந்தப்புலத்தின் தீவிரம் குறைகிறது. ஒரே மாதிரியான இரண்டு சுருள்கள் ஓரச்சில் வைக்கப்பட்டால், அவற்றின் வழியாக தற்போதைய ஓட்டத்தின் ஒப்பீட்டு உணர்வைப் பொருத்து, அச்சின் எந்தப் புள்ளியிலும் விளைந்த காந்தப்புலத்தைப் பெற தனிப்பட்ட புலங்கள் சேர்க்கப்படுகின்றன அல்லது கழிக்கப்படுகின்றன.

ஒரு ஜோடி ஒத்த ஓரச்சு சுருள்களின் அத்தகைய ஏற்பாடு, சுருளின் ஆரத்திற்கு சமமான தூரத்தால் பிரிக்கப்பட்ட ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சுருள்கள் [படம் (ii)]. ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சுருள்களில், தனிப்பட்ட சுருள் அவற்றுக்கிடையே சீரான காந்தப்புலத்தை உருவாக்குகிறது.

படம் (ii)



படம் (iii)

அச்சின் புள்ளியில் முதல் சுருளிலிருந்து தொலைவில் ஒரே திசையின் வழியாக மின்னோட்டம் பாயுமானால் அவற்றில் உருவாகும் தொகுபயன் காந்த புல உணர்வை இரு புலங்களையும் கூட்டுவதால் பெறலாம்.

$$B_r = \frac{\mu_0 nIa^2}{2}\left[\frac{1}{\left(a^2 + x^2\right)^{3/2}} + \frac{1}{\left\{a^2 + (x-a)^2\right\}^{3/2}}\right] \quad \ldots(v)$$

படம் (iii) தனித்தனி சுருள்கள் மூலமாக ஒத்த மின்னோட்டம் பாயும்போது, ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சுருளுக்கான வழக்கமான தொகுபயன் மதிப்பைக் காட்டுகிறது.

வழிமுறை

1. மின் இணைப்பை துவங்கிய பின், மின்னோட்டம் சரிசெய்யும் குமிழியை எதிர்–கடிகார திசையில் குறைந்தபட்ச நிலைவரை சுழற்றுவதன் மூலம் மின்னோட்டத்தை பூஜ்ஜியமாகக் குறைக்க வேண்டும்.
2. இரண்டாவது சுருளை, முதல் சுருளின் ஆரத்திற்கு சமமான தூரத்தில் வைக்க வேண்டும்.
3. முதல் சுருளிலிருந்து உணர்வியை 60mm தொலைவிற்கு வைத்த பின் 0.0mA மின்னோட்டத்தை வைத்து காஸ் மானியில் சுழி மதிப்பை பதிவிடவும்.
4. சுருள் குமிழை 1 வது இடத்தில் வைக்கவும். எனவே, சுருள் மின்னோட்ட மூலத்துடன் இணைக்கவும். மின்னோட்டத்தை 500 mA க்கு சரி செய்யவும்.
5. முதல் சுருளின் அச்சு வழியே 60 mm தொலைவில் காந்தப் புலத்தை குறித்துக்கொள்க. இப்போது, குமிழியை 2வது இடத்தில் வைத்து மின் மூலத்துடன் தொடர்பு ஏற்படுத்தி உண்டாகும் காந்தப் புலத்தை குறித்துக்கொள்க.
6. சுருள் குமிழியை 3 வது இடத்தில் வைத்து, அதாவது 1 வது மற்றும் 2 வது மின்னோட்ட மூலத்துடன் தொடர்பு படுத்தவும் மீண்டும் அளவீடுகளைக் குறித்துக்கொள்ளவும்.
7. மின்னூட்டத்தை மாற்றாமல் வைத்து அச்சின் மீது 270 mm தொலைவு வரையில் 5 mm இடை வெளிகளில் அளவீட்டை குறித்துக்கொள்ளவும்.

8. படம் (ii) ல் காட்டியுள்ளபடி, 1 வது 2 வது சுருள் அச்சு வழியே தொலைவுக்கும் காந்தப் புலத்திற்கும் இடையே வரைபடம் வரைக.

அவதானிப்புகள்

சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை = ... ; 1வது சுருளின் இடம் .....;
2வது சுருளின் இடம் .....

அட்டவணை 1: சுருள் 1 மற்றும் சுருள் 2 ஆல் உண்டான காந்த புலத்தை கண்டறிதல்

வ. எண்	உணர்வி உள்ள இடம் (in cm)	காந்தப் புலம் (காஸில்)			
		சுருள் 1 (B_1)	சுருள் 2 (B_2)	இரு சுருள்கள் (b)	$B' = B_1 + B_2$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

முடிவுகள்

மின்னோட்டம் தாங்கிய வட்ட வடிவ சுருளின் அச்சில் தூரத்திற்கும், உண்டாகும் காந்தப் புலத்திற்கு மான மாறுபாட்டை வரைபடத்தில் வரைக. இரண்டு சுருள்களிலும் மின்னோட்டம் பாயும்போது எந்த நேரத்திலும் காந்தப்புலம் தனிப்பட்ட சுருளின் காரணமாக காந்தப்புலத்தின் கூட்டுத்தொகையா என்பதை நீங்கள் சரிபார்க்கலாம். தனிப்பட்ட சுருளுக்கு இடையிலான தூரம் அவற்றின் ஆரத்திற்கு சமமாக இருக்கும்போது காந்தப்புலம் ஒரு பெரிய பகுதியில் ஒரே மாதிரியாக இருப்பதை நீங்கள் சரிபார்க்கலாம். இந்த பண்புகள் அறிவியல் மற்றும் தொழில்துறை பயன்பாடுகளுக்கு பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படலாம்.

$B = \frac{4\pi \times 10^{-3}}{2a} nI$, தொடர்பை பயன்படுத்துவதன் மூலம், சுருளின் ஆரம் இவ்வாறு கணக்கிடப் படலாம்:

$$a = \frac{2\pi nI \times 10^{-3}}{B} \text{ m} \qquad \text{(vi)}$$

n, I மற்றும் *B* மதிப்புகளை பயன்படுத்தி சுருளின் ஆரம் *a I* காணலாம்.

கவனிக்க வேண்டியவை

1. சோதனை செய்யும் போது அருகில் ஃபெரோ காந்தப் பொருட்கள் அதாவது சாவிகள், திருகுப் புள்ளி அல்லது அதைப் போன்ற பொருட்கள் இல்லாதவாறு கவனமாக இருக்க வேண்டும்.
2. ஒவ்வொரு முறையும் பரிசோதனையைத் தொடங்குவதற்கு முன், காஸ் மானியின் பூஜ்ஜியத்தை சரிசெய்ய வேண்டும் மற்றும் சோதனை முடிந்தவுடன் இரண்டு சுருள்களிலும் மின்னோட்டத்தை பூஜ்ஜியமாகக் குறைப்பதன் மூலம் அதை மீண்டும் சரிபார்க்க வேண்டும்.
3. தனிப்பட்ட காந்தப்புலத்தின் குறுக்கீட்டு விளைவைத் தவிர்க்க சுருள்களின் அச்சு கிழக்கு–மேற்கு திசையில் வைக்கப்பட வேண்டும்.
4. சுருளின் ஆரம் சுற்றின் மையத்திலிருந்து கணக்கிடப்பட வேண்டும்.

2. ஹால் விளைவு பரிசோதனையை பயன்படுத்தி குறைக்கடத்தியின் ஹால் குணகம் மற்றும் மின்னூட்ட செறிவைக் கண்டறிதல்

நோக்கம்

(i) ஹால் குணகத்தை R_H கண்டறிதல்

(ii) கொடுக்கப்பட்ட குறைக்கடத்தியின் மின்னூட்ட செறிவை கண்டுபிடித்தல்.

உபகரணங்கள்

காஸ் மானி, ஹால் சோதிப்பான், குறைக்கடத்தி மாதிரிகள் (p வகை/n வகை Ge ஓரச்சு படிகம்) PCB நிறுவுவான், மின் மூலம் (0-16V 5A), மாறா மின் மூலம் (0-50mA)

கோட்பாடு

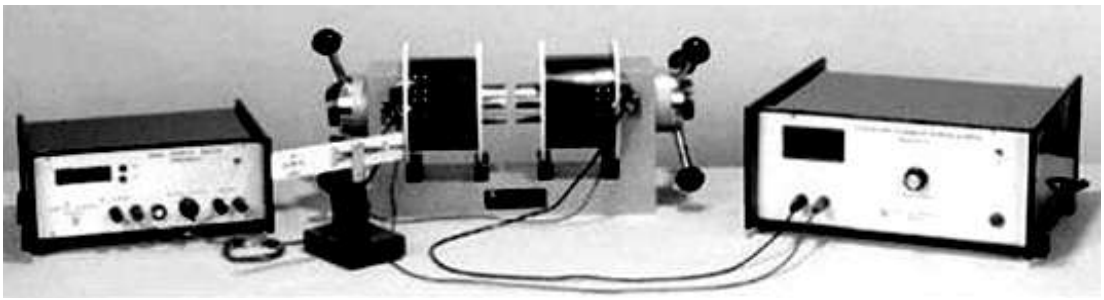
கடத்தியில் பாயும் மின்னோட்டத்தின் பண்பினால் ஹால் விளைவு தோன்றுகிறது. சிறு மின்னூட்டங்களின் நகர்வினால் குறிப்பாக, எலெக்ட்ரான், துளை, அயனி அல்லது மூன்றின் நகர்வே மின்னோட்டமாகும். காந்தப் புலத்தில் இம்மின்னூட்டங்கள் உணரும் விசையே லாரன்ஸ் விசையாகும். காந்தப் புலம் இல்லையெனில் மின்னூட்டங்கள் நேர்கோட்டுப் பாதையில் ஃபோனான் மற்றும் மாசுக்களுடன் மோதலுடன் பயணிக்கின்றன. செங்குத்து திசையில் காந்தப் புலமானது செயல்படும் போது எதிரெதிர் மின்னூட்டங்கள் எதிரெதிர் திசையில் முடுக்கமடைந்து கடத்தியின் எதிரெதிர் முகத்தை அடைகின்றன. இதனால் சமமான எதிரெதிர் மின்னூட்டங்கள் எதிரெதிர் பக்கத்தை அடைந்து மின்னூட்ட குறைபாட்டை ஏற்படுத்துகிறது. இதன் முடிவில் மின்னூட்டங்களின் சமச்சீரற்ற பகிர்வு ஹால் கூறில் கிடைக்கிறது. இரு புறங்களிலும் மின்னூட்டங்களின் பிரிதல் மின்னோட்டம் உள்ளவரை ஒரு நிலையான மின்னழுத்தத்தை உருவாக்குகிறது.

காந்தப்புலத்தில் ஒரு கடத்தி வழியாக மின்னோட்டம் பாய்ந்தால், காந்தப்புலம் நகரும் மின்னூட்டங் களில் ஒரு குறுக்கு விசையை செலுத்துகிறது, இது கடத்தியின் ஒரு பக்கத்திற்கு தள்ளும். இது ஒரு மெல்லிய தட்டையான கடத்தியில் மிகவும் தெளிவாக விளக்கப்பட்டுள்ளது.

காந்தப்புலத்தில் ஒரு கடத்தி வழியாக மின்னோட்டம் பாய்ந்தால், காந்தப்புலம் நகரும் மின்னூட்டங் களில் ஒரு குறுக்கு விசையை செலுத்துகிறது, இது கடத்தியின் ஒரு பக்கத்திற்கு தள்ளும். விளக்கப் பட்டுள்ளபடி, இது ஒரு மெல்லிய தட்டையான கடத்தியில் மிகவும் தெளிவாக உள்ளது.

கடத்திகளின் பக்கங்களில் மின்னூட்டம் ஏற்படுவது இந்த காந்த செல்வாக்கை சமப்படுத்தி, கடத்தியின் இரு பக்கங்களுக்கு இடையே அளவிடக்கூடிய மின்னழுத்தத்தை உருவாக்கும். இந்த

அளவிடக்கூடிய குறுக்கு மின்னழுத்தம் ஹால் விளைவு எனப்படும். இதை EH ஹால், 1879 இல் கண்டறிந்தார். மின்னோட்டம் எலெக்ட்ரானுக்கு எதிர் திசையில் இருக்கிறது. அதனால், அந்த மரபு மின்னோட்டம் நிகழ்கின்றன. இவ்விளைவு: 1) மின்னூட்டத்தின் தன்மை P –வகை அல்லது N –வகை 2) மின்னூட்ட செறிவு அல்லது மின்னூட்டத்தின் அடர்த்தி 3) மின்னூட்டத்தின் இயக்கம் ஆகியவற்றை, தீர்மானிப்பதில் மிகவும் பயனுள்ளதாக இருக்கும்.



படம் (i)

வழிமுறை

1. மின்காந்தத்தின் மின்னாற்றலைத் துவங்கி, மின் விநியோகத்தில் மற்றும் காஸ் ஆய்வைப் பயன்படுத்தி துருவ முகங்களுக்கு இடையில் காந்தப் பாய அடர்த்தியை அளவிடவும்.
2. காந்தப்புலம் மாதிரிக்கு செங்குத்தாக இருக்கும் வகையில் துருவ முகங்களுக்கு இடையில் மாதிரியை வைக்கவும்.
3. எதிர் முகங்களில் உள்ள ஒரு ஜோடி மாதிரிகளின் தொடர்பை மின் மூலத்திற்கும் மற்ற ஜோடியை ஹால் விளைவு அமைப்பின் மல்டி–மீட்டருக்கும் இணைக்கவும்.
4. மின் மூலத்தைப் பயன்படுத்தி, (mA) மாதிரி வழியாக செல்லும் மின்னோட்டத்தையம், தொகுபயன் ஹால் மின்னழுத்தத்தை மல்டி–மீட்டரில் அளவிடவும்.
5. மாதிரியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தை படிப்படியாக அதிகரித்து, உண்டாகும் ஹால் மின்னழுத்தங்களை அளவிடவும்.

அவதானிப்புகள்

அட்டவணை 1: ஹால் மின்னோட்டம் மற்றும் ஹால் மின்னழுத்தத்தை கண்டறிதல்

மாறா மின்னோட்டம்: 1.5 A

வ. எண்	மின்னோட்டம் I (mA)	ஹால் மின்னழுத்தம் V_H (mV)
1		
2		
3		
4		
5		
6		

வ. எண்	மின்னோட்டம் I (mA)	ஹால் மின்னழுத்தம் V_H (mV)
7		
8		
9		
10		

கவனிக்க வேண்டியவை

1. காஸ் மீட்டர் ஆரம்பத்தில் பூஜ்ஜிய மதிப்பை காட்டுகிறதா இல்லையா என்பதை சரிபார்க்க வேண்டும். ஆய்வை எங்காவது வைத்து பூஜ்யம் காட்டப்படும் வரை பூஜ்ஜிய குமிழை சரிசெய்வதன் மூலம் இதைச் செய்யலாம்.
2. மின்காந்தத்தின் துருவங்களின் மையத்தில் மாதிரியை வைத்து, அது காந்தப்புலத்திற்கு சரியாக செங்குத்தாக அமைந்திருப்பதை உறுதி செய்யவும்.
3. காந்தப் பாய அடர்த்தியை அளவிடுவதற்கு, ஹால் ஆய்வு மையத்தில் துருவங்களை வைக்க வேண்டும்.
4. மின்காந்த சுருள்களின் திசையை சரிபார்க்க, அதனால் அது அதிகபட்ச காந்தப்புலத்தை உருவாக்கும். உருவாக்கிய காந்தப்புலத்திற்கு அருகில் மென்மையான இரும்பை வைத்து, காந்த துருவங்களுக்கு வலுவாக அல்லது வலுவற்று ஈர்க்கப்படுகிறதா என்பதைக் கவனிப்பதன் மூலம் இதைச் சரிபார்க்கலாம்.

முடிவுகள்

ஹால் குணகத்தின் கோவை:

$$R_H = \frac{V_H}{I} \times \frac{t}{B} \qquad \text{(i)}$$

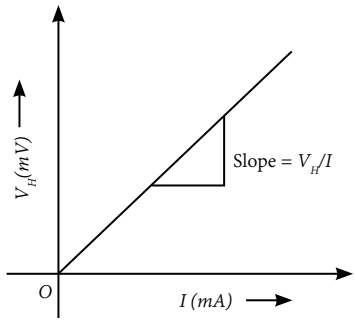
இங்கு V_H = ஹால் மின்னழுத்தம் (in mV)

I = மாதிரி வழியே மின்னோட்டம் (in mA)

t = மாதிரியின் தடிமன் in m

மற்றும் B = காந்த பாய அடர்த்தி in T.

வழக்கமாக $t = 0.5\text{mm}$ மற்றும் $\frac{V_H}{I}$ படம் (ii) இல் சாய்விலிருந்து கணக்கிடலாம்.



படம் (ii)

எனவே ஹால் குணகம் R_H = …… Ω–m/T

மின்னூட்ட செறிவின் கோவையானது:

$$n = \frac{1}{qR_H} \qquad \text{(ii)}$$

இங்கு q = எலெக்ட்ரான் / துளையின் மின்னூட்டம்

மற்றும் R_H = ஹால் குணகம்

எனவே மின்னூட்ட செறிவு n = …… /m^3

மேலும் அறிக

ஒரு நிலையான மின்சாரம் அல்லது ஒரு நிரந்தர காந்தத்தால் உருவாக்கப்பட்டது போன்ற ஒரு நிலையான காந்தப்புலத்தை மையமாகக் கொண்ட மின்காந்தவியல் துணைக்களமாக காந்தப்புலவியல் கருதப்படலாம். பண்டைய கிரீஸ் மற்றும் சீனாவின் மக்கள் ஒரு லோட்ஸ்டோன் சுதந்திரமாக சுழற்ற அனுமதிக்கப்படும்போது எல்லா நேரங்களிலும் ஒரு நெட்டான திசையில் தன்னை இணைத்துக் கொள்வதைக் கண்டறிந்தனர். லோட்ஸ்டோன் என்பது காந்தம் (Fe_3O_4) எனப்படும் இரும்புத் தாது வகையாகும்.

செயல்பாடு

எந்த காந்தப்புல புலத்திற்கும் இன்றியமையாத ஆதாரம் நிரந்தர காந்தங்கள் மற்றும் நிலையான மின்சாரம். காந்தவியல் துறைகளின் பரவலாகப் பயன்படுத்தப்படும் விதிகள், பயோட்–சவர்ட் விதி மற்றும் ஆம்பியர் விதி. லாட்ஸ்டோனின் பண்பினால் இரண்டாயிரம் ஆண்டுகளுக்கு முன்பு திசைகாட்டி தயாரிக்க பயன்பட்டது. இது காந்தத்தின் முதல் அறியப்பட்ட பயன்பாடு ஆகும்.

சுவாரஸ்யமான உண்மைகள்

1263 இல் பியர் டி மேரிகோர்ட் காந்தத்தின் இரண்டு துருவங்களைக் கண்டுபிடித்தபோது திசைகாட்டி உதவியுடன் ஒரு லாட்ஸ்டோனின் காந்தப்புலத்தை வரைபடமாக்கினார். வில்லியம் கில்பர்ட், ராணி எலிசபெத் I இன் மருத்துவர், சில சோதனைகள் மூலம் 1600 களில் பூமி ஒரு பெரிய காந்தம் என்ற முடிவுக்கு வந்தார்.

நிரந்தர காந்தம் காந்தப்புலத்தின் இயற்கை ஆதாரமாக ஏற்றுக்கொள்ளப்படலாம். பரவிவரும் மின்காந்தப்புலத்தை உருவாக்க முடுக்கப்பட்ட மின்னூட்டங்களே பொறுப்பு.

இது மேலும் மின்காந்த புலத்தை பரப்புவதற்கு வழிவகுக்கிறது, எனவே இது ஒரு நிலையான காந்தப்புலத்தை உருவாக்காது.

ஒப்பீடு

டேனிஷ் இயற்பியலாளர் ஹான்ஸ் கிறிஸ்டியன் ஓர்ஸ்டெட், 1820 இல், ஒரு கம்பி வழியாக பாயும் மின்சாரம் ஒரு திசைகாட்டி ஊசியை திசை திருப்ப முடியும் என்று கண்டுபிடித்தார். இது காந்தம் மற்றும் மின்சாரம் தொடர்புடையது என்று முடிவுக்கு வர உதவுகிறது.

வரலாறு

பண்டைய கிரேக்கர்கள் இந்த கனிமத்தை முதன்முதலில் பயன்படுத்தத் தெரிந்தவர்கள், மற்றும் அதே பொருள் இரும்பின் மற்ற துண்டுகளை ஈர்க்கும் திறன் காரணமாக அவர்கள் ஒரு காந்தம் என்று அழைத்தனர்.

ஆங்கிலேயர் வில்லியம் கில்பர்ட் (1540–1603) முதலில் அறிவியல் முறைகளைப் பின்பற்றி காந்தத்தின் பண்புகளை ஆராய்ந்தார்.

காலக்கெடு

600 BC: தேல்ஸ் ஆஃப் மைலேட்டஸ் இரும்புக்கு லாட்ஸ்டோனின் ஈர்ப்பைக் கண்டுபிடித்தார்

1200 AD: சீனர்கள் வழிசெலுத்தலுக்கு லாட்ஸ்டோன் திசைகாட்டி பயன்படுத்தத் தொடங்கினர்

1259 AD: இத்தாலியின் பெட்ரஸ் பெரிகிரினசு மேலும் மேம்படுத்துவதற்கு அதே விஷயம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது

1600 AD: ஹான்ஸ் வில்லியம் கில்பர்ட் பூமியில் ஒரு மாபெரும் காந்தம் உள்ளது என்று கண்டுபிடித்தார்

1742 AD: தாமஸ் லீஸுர் காந்தங்களின் தலைகீழ் கன விதியை நிறுவினார்

1820 AD: கிரிஸ்து ஓர்ஸ்டெட் மின்னோட்டம் காந்தவியலை உருவாக்குகின்றன என்றார்

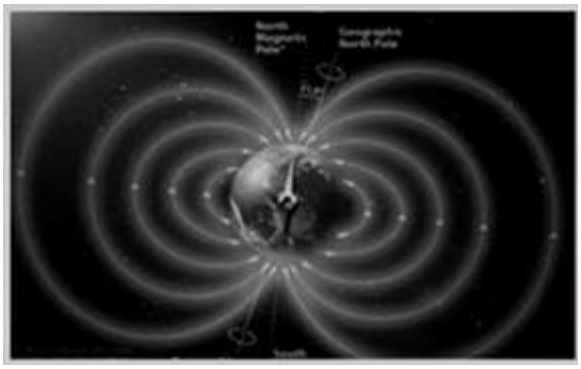
ஆண்ட்ரி மேரி ஆம்பியர் இணை மின்னோட்டங்கள் ஈர்க்கின்றன/விரட்டுகின்றன என்பதை காட்டினார்.

ஜீன்–பாப்டிஸ்ட் பயோட் மற்றும் ஃபெலிக்ஸ் சவர்ட் தலைகீழ் இருமடி விதியை நிறுவியுள்ளனர்

பயன்பாடுகள் (நிஜ வாழ்க்கை / தொழில்துறை)

கணினி நினைவகம் தொடர்பான காந்த சேமிப்பு சாதனங்களின் மாதிரிகள் போன்ற மைக்ரோ காந்தத்தின் பல்வேறு பயன்பாடுகளில் காந்தவியல் பரவலாக பயன்படுத்தப்படுகிறது. காந்த நிலைம குவியம் ஒரு நிரந்தர காந்தத்தால் அல்லது கம்பியின் சுருள் வழியாக மின்னோட்டத்தை அனுப்புவதன் மூலம் பெறலாம், அதன் அச்சு கம்பியின் அச்சுடன் ஒத்துப்போகிறது.

1269 ஆம் ஆண்டில், பியரி டி மேரிகோர்ட், தொடர்ச்சியான அவதானிப்புகளிலிருந்து, ஒரு காந்தத்திற்கு அருகில் ஒரு திசைகாட்டியின் திசை வளைந்த கோடுகளை உருவாக்கியது, அவை ஒருவருக்கொருவர் எதிரெதிராக இரண்டு புள்ளிகள் வழியாக அனுப்பப்பட்டன. இந்த புள்ளிகள் அவரால் துருவங்கள் என்று அழைக்கப்பட்டன.



கிபி 1600 இல் வில்லியம் கில்பர்ட் காந்தவியல் பற்றிய அவரது சோதனைகளின் சில சுவாரஸ்யமான கண்டுபிடிப்புகளை வெளியிட்டார். பூமியில் ஒரு பெரிய நிரந்தர காந்தம் உள்ளது என்பதை அவர் நிரூபித்தார்.

வழக்கு ஆய்வு (சுற்றுச்சூழல் / நிலைத்தன்மை / சமூக / நெறிமுறை சிக்கல்கள்)

மெக்னீசியாவிலிருந்து வந்தது, அதில் பல இயற்கை காந்தங்கள் காணப்பட்டன. கி.பி 121 ஆம் ஆண்டிலேயே, இயற்கையான காந்தத்திற்கு அருகில் கொண்டு வரும்போது ஒரு இரும்பு கம்பி காந்தப் பண்பைப் பெற்று தக்கவைக்கும் என்பது சீனர்களால் அறியப்பட்டது. மேலும் இந்த இரும்பு தண்டு ஒரு கம்பியினால் இடைநிறுத்தப்பட்டபோது, அது வடக்கு–தெற்கு திசையில் தன்னை சீரமைப்பதை அவர்கள் கவனித்தனர்.

ஒரு மூடிய மேற்பரப்பு வழியாக காந்தப் பாய்வு எப்போதும் பூஜ்ஜியமாக மாறும் ஆனால் திறந்த மேற்பரப்பு வழியாக காந்தப் பாய்வு பூஜ்ஜியமாக இருக்க வேண்டியதில்லை என்பதை கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும். இது மின்காந்த அலை வளிமண்டலத்தில் பரவும் போது ஒரு முக்கியமான அளவாகக் கருதப்படுகிறது.

விசாரணையும் ஆர்வமும் உள்ள தலைப்புகள்

ஃபாரடேயின் சட்டத்தை மீண்டும் அறிமுகப்படுத்துவதற்கு இந்த தீர்வுகளைப் பயன்படுத்தும் நோக்கத்தில் தொடர்ச்சியான காந்தவியல் சிக்கல்களைத் தீர்க்க ஒரு வழக்கமான நுட்பம் உள்ளது. அதனால் பெறப்பட்ட முடிவை செருகினால், முன்பு கருத்தில் கொள்ளாத ஒரு மதிப்பைக் கண்டுபிடிக்க ஒருவர் ஃபாரடேயின் விதியில் அவற்றைச் செயல்படுத்தலாம். பயன்படுத்தப்பட்ட நுட்பம் மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளின் உண்மையான தீர்வு அல்ல என்றாலும் மெதுவாக மாறுபடும் புலங்களுக்கு இது ஒரு நல்ல தோராயத்தை அளிக்கும்.

புகழ்பெற்ற இந்திய அறுவை சிகிச்சை நிபுணர் சுஷ்ருதா முதன்முதலில் காந்தத்தை அதிநவீன அறுவை சிகிச்சை நோக்கங்களுக்காக பயன்படுத்தினார்.

மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள்

1. D. J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, Pearson, 4th Edition, 2012.
2. D. Halliday, R. Resnick and J. Walker, Halliday and Resnick's Principles of Physics, 11th Edition, Global Edition, 2020.
3. W. Saslow, Electricity, Magnetism and Light, Elsevier Science Publishing Co Inc, 1st Edition, 2002.
4. D. Jiles, Introduction to magnetism and magnetic materials, 3rd Edition, Boca Raton, 2015.
5. E. Du T. de Lacheisserie, D. Gignoux and M. Schlenker, Magnetism: Fundamentals, Springer, 2005.
6. R. K. Goyal, Nanomaterials and Nanocomposites: Synthesis, Properties, Characterization Techniques, and Applications, CRC Press, 2017.
7. The Magnetism of Matter, Feynman Lectures in Physics Ch 34.
8. E. M. Purcell, Electricity and magnetism, 3rd Edition, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2012.
9. H. Kronmüller, Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials, 5 Volume Set, John Wiley & Sons, 2007.
10. E. P. Furlani, Permanent Magnet and Electromechanical Devices: Materials, Analysis and Applications, Academic Press, 2001.
11. D. K. Cheng, Field and Wave Electromagnetics, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 2nd Edition, 1992.
12. https://nptel.ac.in/courses/115/101/115101005/
13. http://www.astro.uwo.ca/~houde/courses/PDF%20files/astro9620/Ch3-Magnetostatics.pdf
14. http://teacher.pas.rochester.edu/PHY217/LectureNotes/Chapter5/LectureNotesChapter5.pdf
15. https://unlcms.unl.edu/cas/physics/tsymbal/teaching/EM-913/section5 Magnetostatics.pdf

4 நேரியல் மின்காப்பு ஊடகத்தில் காந்த நிலைமம்

அலகு குறிப்பீடு

இவ்வலகில் பின்வரும் தலைப்புக்கு முக்கியத்துவம் கொடுக்கலாம்:

- காந்தமாக்கல் மற்றும் காந்த அடர்த்திக்கு இடையே உள்ள தொடர்பு;
- டயா காந்தவியல் மற்றும் லார்மர் அதிர்வெண்;
- ஏற்புத்திறன் மற்றும் கியூரி விதி;
- வெய்ஸ் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாடு;
- கியூரி வெய்ஸ் விதி;
- எதிர் பெர்ரோ காந்தவியல்;
- பெர்ரோ காந்தவியல்;
- பல்வேறு வகை பெர்ரைட்ஸ்.

தலைப்புகளின் நடைமுறை பயன்பாடுகள் மேலும் ஆர்வத்தையும் படைப்பாற்றலையும் உருவாக்கு வதற்கும் கணக்குகளை தீர்க்கும் திறனை மேம்படுத்துவதற்கும் விவாதிக்கப்படுகின்றன.

ப்ளூமின் வகைபிரிப்பின் குறைந்த மற்றும் உயர் வரிசையைத் தொடர்ந்து இரண்டு பிரிவுகளில் குறிக்கப்பட்ட பல தேர்வு கேள்விகள் மற்றும் குறுகிய, நீண்ட பதில் வகைகளின் கேள்விகள், பல எண் கணக்குகளின் மூலம் பணிகள், குறிப்புகளின் பட்டியல் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் ஆகியவை இவ்வலகில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அதனால் ஆர்வத்துடன் ஒருவர் பயிற்சி செய்ய முடியும். ஆர்வமுள்ள பல்வேறு தலைப்புகளில் கூடுதல் தகவல்களைப் பெறுவதற்கு சில QR குறியீடுகள் வெவ்வேறு பிரிவுகளில் வழங்கப்பட்டுள்ளன, அவை தொடர்புடைய அறிவுக்கு ஸ்கேன் செய்யலாம்.

தொடர்புடைய நடைமுறைக்குப் பிறகு, உள்ளடக்கத்தின் அடிப்படையில், ''மேலும் அறிக'' என்ற பிரிவு உள்ளது. இந்த பகுதி நியாயமான முறையில் வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது, இதனால் இந்த பகுதியில் வழங்கப்பட்ட துணை தகவல்கள் புத்தகத்தின் பயனர்களுக்கு பயனளிக்கும். இந்த பிரிவு முக்கியமாக ஆரம்ப செயல்பாடு, சில சுவாரஸ்யமான உண்மைகளின் எடுத்துக்காட்டுகள், ஒப்புமை, முக்கிய அவதானிப்புகள் மற்றும் கண்டுபிடிப்புகளை மையமாகக் கொண்ட பொருளின் வளர்ச்சியின் வரலாறு, சம்பந்தப்பட்ட தலைப்புகளின் வளர்ச்சியிலிருந்து தொடங்கி சமீபத்திய காலம் வரையிலான காலக்கெடு, பொருள் சார்ந்த பயன்பாடுகள், அன்றாட நிஜ வாழ்க்கை அல்லது / மற்றும் தொழில்துறை பயன்பாடுகளுக்கான பல்வேறு அம்சங்கள், சுற்றுச்சூழல், நிலைத்தன்மை, சமூக மற்றும் நெறிமுறை சிக்கல்கள் தொடர்பான வழக்கு ஆய்வு எதுவாக இருந்தாலும் பொருந்தும், இறுதியாக அலகு பற்றிய விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பகுப்பாய்வு

நேரியல் மின்காப்பு ஊடகத்தில் காந்த நிலைமம் என்ற இத்தலைப்பு மாணவர்களுக்கு, காந்தமாக்கலைப் (M) பற்றியும், B, H மற்றும் M இடையே உள்ள தொடர்பைப் பற்றியும் ஒரு தெளிவான சிந்தனையைக் கொடுக்கிறது. மேலும் டயா காந்தவியல் மற்றும் லார்மர் அதிர்வெண் பற்றியும், ஏற்புத்திறன் மற்றும் கியூரி விதியைப் பற்றியும் முக்கியமான கருத்துக்களை வெளிப்படுத்துகிறது. வெய்ஸ் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாடு மற்றும் கியூரி வெய்ஸ் விதியின் விளக்கமானது தலைப்புகளைப்பற்றி மேலும் அறிந்துகொள்ள உதவுகிறது. மிகப் பெரிய அளவில் பயன்பாடுகளைக் கொண்ட துணைத் தலைப்புகளாக எதிர்–பெர்ரோ காந்தவியல் மற்றும் பெர்ரோ காந்தவியலைப் பற்றியும் விவாதிக்கப்பட்டுள்ளது..

காந்தமாக்கல் நிலையானதாக இருக்க வேண்டியதில்லை என்பதை முக்கியமாக குறிப்பிட வேண்டும். காந்த நிலைமத்தில் அறிவியலாளர்கள் உருவாக்கிய சமன்பாடுகள், மீநுண் வினாடிகளிலோ அல்லது அதனினும் குறைந்த நேரங்களில் நிகழும் காந்த நிலைமாற்ற நிகழ்வுகளை விளக்க பயன்படுகின்றன. மின்னூட்டங்கள் நிலையாக இல்லாத போது, காந்தநிலைமமானது செயலை விளக்க போதுமான ஒன்றாகும். நுண்காந்தங்களின் பயன்பாடுகள் பரந்த அளவில் உள்ளது, உ.ம். கணினிகளில் சேமிப்பு சாதனங்களில் முக்கிய அளவில் பயன்படுகிறது.

முன்–தேவைகள்

- **கணிதவியல்:** வெக்டர் நுண்கணிதம் (வகுப்பு XII)
- **இயற்பியல்:** மின்காந்தவியல் (வகுப்பு XII)

அலகு வெளிப்பாடு

அலகு விளைவின் பட்டியல் பின்வருமாறு:

U4-O1: காந்தமாக்கல் மற்றும் காந்த அடர்த்திக்கு இடையே உள்ள தொடர்பை விளக்குக

U4-O2: டயா காந்தவியல் மற்றும் லார்மர் அதிர்வெண்ணை விளக்குக

U4-O3: ஏற்புத்திறன் மற்றும் கியூரி விதியை விளக்குக

U4-O4: வெய்ஸ் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாடு மற்றும் கியூரி–வெய்ஸ் விதியை விளக்குக.

U4-O5: எதிர் பெர்ரோ காந்தவியல், பெர்ரோ காந்தவியல் மற்றும் பெர்ரைட்ஸ் பற்றி விளக்குக

அலகு –4 விளைவு	எதிர்பார்க்கப்படும் பாடநெறி நடவடிக்கைகள் (1- பலவீனமான தொடர்பு; 2- நடுத்தர தொடர்பு; 3- வலுவான தொடர்பு)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U4-O1	3	2	–	1	1	1
U4-O2	–	–	–	–	3	–
U4-O3	–	–	–	–	3	–
U4-O4	–	–	–	–	3	–
U4-O5	–	–	–	–	3	–

4.1 அறிமுகம்

புறகாந்தப்புலத்தில் வைக்கப்படும் போது காந்தமாகக்கூடிய பொருட்கள் காந்தப் பொருட்கள் எனப்படும். மேலும், காந்தமாக்க பயன்படுத்தப்பட்ட புலம் காந்தமாக்குப் புலம் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது. காந்த பண்புகளைப் பொருத்து, பொருட்களை பின்வருவனவற்றின் கீழ் தொகுக்கலாம்:

(i) டயா காந்தவியல்,

(ii) பாரா காந்தவியல்,

(iii) ஃபெர்ரோ காந்தவியல்,

(iv) ஆன்ட்டி ஃபெர்ரோ காந்தவியல் மற்றும்

(v) ஃபெர்ரி காந்தவியல்.

இவற்றில் சில எந்த நிரந்தர காந்த திருப்புத்திறனையும் வெளிப்படுத்துவதில்லை. அதே சமயம் சில பொருட்கள் புறகாந்தப்புலத்தை அகற்றிய பின்பும் நிரந்தர காந்த திருப்புத்திறனை வெளிப்படுத்துகின்றன. இந்த சிறப்பியல்புகளின் அடிப்படையில், இந்த அத்தியாயத்தில் சில முக்கியமான காந்த பண்புகளை விவாதிப்போம்.

4.2 காந்த தூண்டல் மற்றும் செறிவு

ஓரலகு செங்குத்துப் பரப்பு வழியே செல்லும் காந்தப் பாயங்களின் எண்ணிக்கையே காந்தத் தூண்டல் என வரையறுக்கப்படுகிறது.

இதன் SI அலகு $\mathrm{Wb/m^2}$ அல்லது டெஸ்லா (T) மற்றும் CGS அலகு காஸ் (G) ஆகும். இரண்டு அலகுகளுக்கும் இடையேயான தொடர்பு $1\mathrm{T} = 10^4$ G.

காந்தப்புலத்தில் எந்த ஒரு புள்ளியிலும் காந்தப் புலச் செறிவு என்பது அப்புள்ளியில் வைக்கப்பட்ட ஒரு காந்த வட துருவம் உணரும் விசையாகும்.

மாறாக, காந்தப்புலத்தின் திசைக்கு செங்குத்தாக உள்ள ஓரலகு பரப்பின் வழியே செல்லும் காந்த பாயத்தின் அளவே காந்தப் புலச்செறிவாகும். இதன் SI அலகு A/m மற்றும் CGS அலகு Oe ஆகும்.

வெற்றிடத்தில், காந்த தூண்டல் மற்றும் காந்தப் புலச்செறிவுக்கு இடையே உள்ள தொடர்பை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$B = \mu_0 H \qquad \ldots(4.1)$$

சமன். (4.1) இல், μ_0 வெற்றிடத்தின் உட்புகு திறன். SI அலகில் இதன் மதிப்பு $4\pi \times 10^{-7}$ H/m .

4.3 காந்தமாக்கல்

புறகாந்தப் புலத்தில், காந்தப் பொருளை வைக்கும்போது, அவை காந்தத் தூண்டலின் விளைவினால் காந்தமாகின்றன. காந்தமாக்கலின் செறிவு என்பது, அப்பொருளின் ஓரலகு கன அளவில் உண்டாகும் காந்த இருமுனை திருப்புத்திறன் ஆகும். ஆகையால்,

$$\text{காந்தமாக்கல் } (M) = \frac{\text{காந்த இருமுனை திருப்புத்திறன் } (\mu)}{\text{கனஅளவு } (V)}$$

அல்லது, $$M = \frac{\mu}{V} \qquad \ldots(4.2)$$

உண்மையில், இது காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட காந்தப் பொருளில் உருவாகும் காந்தவியலை அளவிடுதலே ஆகும். காந்தமாக்கலானாது, காந்தத்தின் நீளம் l க்காக, துருவ வலிமை m மற்றும் குறுக்கு–வெட்டு வரப்பு α உடன்,

$$M = \frac{\mu}{V} = \frac{lm}{l\alpha} = \frac{m}{\alpha} \qquad \ldots(4.3)$$

எனவே, காந்தமாக்கலின் செறிவு என்பது அப்பொருளின் ஓரலகு பரப்பில் உருவாகும் துருவ வலிமையே ஆகும். ஓரலகு நீளத்தில் n சுற்றுக்களைக் கொண்ட சுருளில் காந்தமாக்கலானாது,

$$M = \frac{nI\alpha}{\alpha} = nI \qquad \ldots(4.4)$$

இதன் SI அலகு A/m மற்றும் CGS அலகு Oe (காந்தப் புலச் செறிவைப் போன்றே).

4.4 காந்த ஏற்புத்திறன்

காந்த ஏற்புத்திறன் என்பது, செலுத்தப்படும் காந்தப் புலத்தினால் பொருளானது எந்த அளவிற்கு காந்தமாகிறது என்பதை அளவிடுவதாகும். இது, காந்தமாக்கலின் விகிதம் $\vec{M}$ என வரையறை செய்யப் படுகிறது, அதாவது, ஓரலகு கனஅளவில் உருவாகும் காந்தத் திருப்புத்திறனுக்கும், காந்தமாக்கல் புலத்தின் செறிவிற்கும் $\vec{H}$ உள்ள தகவாகும்.

திசையொருமைப் பண்பு கொண்ட பொருளுக்கு, $\vec{M}$ மற்றும் $\vec{H}$ ஆகியவை இணையானவை மற்றும் ஏற்புத்திறனானது,

$$\vec{M} = \chi \vec{H}$$

அல்லது,
$$\chi = \frac{M}{H} \qquad \ldots(4.5)$$

χ என்பது திசையிலி அளவாகும், மேலும் இது காந்த ஏற்புத்திறன் ஆகும். இது அலகற்ற அளவாகும் (ஒத்த பரிமாணமுடைய அளவுகளுக்கிடைப்பட்ட விகிதமாகும்). இது ஒரு பொருள் எந்த அளவிற்கு எளிமை யாக காந்தமாகிறது என்ற பண்பைப் பற்றியதாகும். கிராம்–மூலக்கூறு அளவில் மோலார் ஏற்புத்திறனை χ_m உபயோகப்படுத்தலாம்.

எடுத்துக்காட்டு 4.1

எடுத்துக்காட்டு 4.1: சுருளானது வெற்றாக உள்ளபோது, அதனுள் உருவான காந்தப் புலம் 10^{-3}T ஆகும். இரும்பை உள்ளீடாக வைக்கும் போது அது 2T ஆகும். இரும்பின் சார்பு உட்புகுத்திறனை கணக்கிடுக.

தீர்வு:

இங்கு, M = 2T மற்றும் H = 10^{-3}T

எனவே, இரும்பின் ஏற்புத்திறன் $\chi = \frac{M}{H} = \frac{2}{10^{-3}} = 2000\text{T}.$

எனவே, இரும்பின் சார்பு உட்புகுதிறன் $\mu_r = 1 + \chi = 1 + 2000 = 2001.$

எடுத்துக்காட்டு 4.2

எடுத்துக்காட்டு 4.2: ஊடகத்தின் ஏற்புத்திறன் 3.7 எனில் தனி மற்றும் சார்பு உட்புகுதிறனைக் காண்க.

தீர்வு:

ஊடகத்தின் ஏற்புத்திறன் $\chi = 3.7$

எனவே, ஊடகத்தின் உட்புகு திறன் $\mu_r = 1 + \chi = 1 + 3.7 = 4.7.$

மற்றும் ஊடகத்தின் தனி உட்புகு திறன்

$$\mu = \mu_r \mu_0 = 4.7 \times 4\pi \times 10^{-7} = 5.9 \times 10^{-6}\ \text{N/A}^2.$$

எடுத்துக்காட்டு 4.3

எடுத்துக்காட்டு 4.3: பொருளின் அதிகபட்ச உட்புகுத்திறன் $0.15\times10^{-2}\,\mathrm{N/A^2}$, பொருளின் சார்பு உட்புகுதிறன் மற்றும் ஏற்புத்திறனைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டவை, $\mu = 0.15\times10^{-2}\ \mathrm{N/A^2}$ மற்றும் $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$

எனவே, பொருளின் சார்பு உட்புகுத்திறன்

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{0.15\times10^{-2}}{4\pi\times10^{-7}}$$

$$= 11.94\times10^{2}$$

மற்றும் பொருளின் ஏற்புத்திறன் $\chi = \mu_r - 1 = 11.94\times10^{2} - 1 = 1193.$

எடுத்துக்காட்டு 4.4

எடுத்துக்காட்டு 4.4: 200A/m காந்தப்புலத்தில் அலோகத் தண்டின் காந்தமாக்கல் $1.2\times10^{6}\,\mathrm{A/m}$. அலோகத்தினுள் உண்டான காந்த ஏற்புத்திறன் மற்றும் காந்த தூண்டலைக் காண்க.

தீர்வு:

இங்கு $M = 1.2\times10^{6}\,\mathrm{A/m}$ மற்றும் $H = 200\mathrm{A/m}$

எனவே, காந்த ஏற்புத்திறன் $\chi = \frac{M}{H} = \frac{1.2\times10^{6}}{200} = 6000.$

மற்றும் அலோகத்தினுள் உண்டான காந்தத் தூண்டல்

$$B = \mu H = \mu_0\left(1+\chi\right)H$$

$$= 4\pi\times10^{-7}\times\left(1+6000\right)\times200 = 1.507\mathrm{T}.$$

எடுத்துக்காட்டு 4.5

எடுத்துக்காட்டு 4.5: $0.2\ \mathrm{cm^2}$ குறுக்கு வெட்டு பரப்பு கொண்ட இரும்பு தண்டில் 1000 A/m காந்தமாக்கல் புலமானது காந்தப் பாயத்தை 10^{5} Wb உருவாக்குகிறது. தண்டின் ஏற்புத்திறன் மற்றும் உட்புகுத்திறனைக் காண்க.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டது, H = 1000 A/m, $\phi = 10^{5}$ Wb மற்றும் $A = 0.2\ \mathrm{cm^2} = 0.00002\ \mathrm{m^2}$

எனவே, $B = \frac{\phi}{A} = \frac{10^{-5}}{0.00002} = 0.5\mathrm{Wb/m^2}$

எனவே, தண்டின் உட்புகுதிறன் $\mu = \frac{B}{H} = \frac{0.5}{1000} = 5\times10^{-4}\,\mathrm{Wb/m^2}.$

மற்றும் தண்டின் ஏற்புத்திறன் $\chi = \frac{\mu}{\mu_0} - 1 = \frac{5\times10^{-4}}{4\pi\times10^{-7}} - 1 = 397.1.$

எடுத்துக்காட்டு 4.6

எடுத்துக்காட்டு 4.6: 2×10^{-4} m^2 குறுக்கு வெட்டு பரப்பும் 5 cm நீளமும் கொண்ட இரும்பு மாதிரியில் உருவாகும் காந்த இருமுனைத் திருப்புத்திறன் $1000 A/m^2$ ஆகும். காந்தப் புலச்செறிவு $10^6 A/m$ எனில் காந்தமாக்கலின் செறிவு மற்றும் காந்தத் தூண்டலைக் காண்க.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டவை, மாதிரியின் காந்த திருப்புத்திறன் (μ) = $1000 A/m^2$, மாதிரியின் நீளம் (l) = 5cm, குறுக்கு வெட்டு பரப்பு (a) = $2 \times 10^{-4} m^2$ மற்றும் காந்தப் புலம் (H) = $10^6 A/m$

எனவே, மாதிரியின் கனஅளவு $V = lA = 5 \times 10^{-2} \times 2 \times 10^{-4} = 10^{-5} m^3.$

எனவே, காந்தமாக்கலின் செறிவு, $M = \frac{\mu}{V} = \frac{1000}{10^{-5}} = 10^8 A/m.$

எனவே, மாதிரியின் ஏற்புத்திறன் $\chi = \frac{M}{H} = \frac{10^8}{10^6} = 10^2 A/m.$

மற்றும் மாதிரியின் உட்புகுதிறன் $\mu = \mu_0 (1 + \chi) = 4\pi \times 10^{-7} (1 + 10^2) = 1.27 \times 10^{-4}$

எனவே காந்தத் தூண்டல் $B = \mu H = 1.27 \times 10^{-4} \times 10^6 = 0.0127 T.$

4.5 B, H மற்றும் M இடையேயான தொடர்பு

ஏதேனும் ஊடகத்தின் உட்புகுதிறன் $\mu (= \mu_0 \mu_r)$ காந்த தூண்டல் B மற்றும் காந்தப் புலச்செறிவு H ஆகியவை பின்வருமாறு தொடர்புபடுத்தப்படுகிறது:

$$B = \mu H = \mu_0 \mu_r H = \mu_0 \mu_r H + \mu_0 H - \mu_0 H$$ [இங்கு μ_r என்பது சார்பு உட்புகுதிறன்]

அல்லது, $B = \mu_0 H + \mu_0 H (\mu_r - 1) = \mu_0 H + \mu_0 \chi H$

$= \mu_0 H + \mu_0 M$ [இங்கு $M = \chi H$ என்பது காந்தமாக்கல்]

அல்லது, $\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{M} + \vec{H} \right)$ …(4.6) (a)

இங்கு, $\vec{H} = \frac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$ …(4.6) (b)

எடுத்துக்காட்டு 4.7

எடுத்துக்காட்டு 4.7: காந்தப் புலம் மற்றும் ஏற்புத்திறன் முறையே $10^6 A/m$ மற்றும் 10^{-3} எனில், காந்தமாக்கல் புலம் மற்றும் பாய அடர்த்தியை கணக்கிடுக.

தீர்வு:

இங்கு H = 10^6 A/m மற்றும் $\chi = 10^{-3}$

எனவே, காந்தமாக்கல் புலம் $M = \chi H = 10^{-3} \times 10^6 = 10^3 A/m.$

மற்றும் பாய அடர்த்தி $B = \mu_0 (M + H) = 4\pi \times 10^{-7} \times (10^3 + 10^6) = 1.26 T.$

எடுத்துக்காட்டு 4.8: காந்தப் புலச்செறிவு 10^6A/m மற்றும் பொருளின் ஏற்புத்திறன் 10^{-4} எனில், பொருளின் காந்தத் தூண்டலைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டவை, பொருளின் காந்தப் புலச்செறிவு 10^6A/m மற்றும் ஏற்புத்திறன் 10^{-4}

எனவே காந்தமாக்கலின் செறிவு, $M = \chi H = 10^{-4} \times 10^6 = 10^2$ A/m.

மற்றும் காந்தத் தூண்டல் $B = \mu_0 (H + M) = 4\pi \times 10^{-7} \times \left(10^6 + 10^2\right) = 1.256$ T.

எடுத்துக்காட்டு 4.8

4.6 காந்தப் பொருட்களின் வகைப்பாடு

எலெக்ட்ரான் மற்றும் புரோட்டான்களால் உருவாக்கப்பட்ட அனைத்துப் பொருட்களும் சில வகையான காந்தப் பண்புகளைக் கொண்டுள்ளன. எலக்ட்ரான்களின் பரிமாற்று தொடர்பு, தற்சுழற்சி மற்றும் வட்டப் பாதை இயக்கம் ஆகியவையே காந்தப் பண்புகளின் மூலகாரணமாகும். செலுத்தப்படும் காந்தப் புலத்தால் தனியாகவோ அல்லது குழுவாகவோ அணுக்களானது இருமுனைகளாக ஒருங்கமைகின்றன. இந்த இரு முனைகளின் நிகர விளைவு பொருட்களினூடே காந்தப் பண்புகளை தூண்டுகின்றன. பொருட்களின் காந்தப் பண்புகளைக் கொண்டு அவை ஐந்து வகைகளாக வகைப்படுத்தப்படுகின்றன:

(i) டயா காந்தவியல்,

(ii) பாரா காந்தவியல்,

(iii) ஃபெர்ரோ காந்தவியல்,

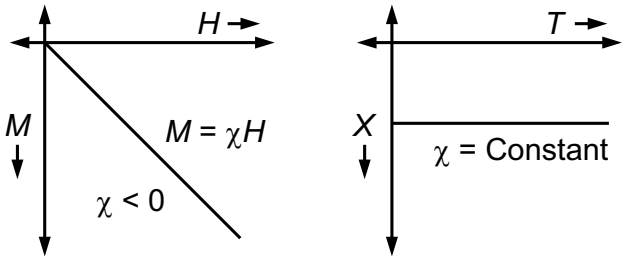
(iv) எதிர்– ஃபெர்ரோ காந்தவியல் மற்றும்

(v) ஃபெர்ரி காந்தவியல்.

முதல் இரு வகைகளிலுள்ள பொருட்கள் எந்தவொரு தொகுப்பு இடைவினைகளையும் வெளிப்படுத்து வதில்லை. காந்தவியலில் அவை வரிசைப்படுத்தப்படவில்லை. மறுபுறம், மற்ற மூன்று வகைகளில் உள்ள குறிப்பிட்ட வெப்பநிலைக்கு கீழ் காந்தவியல் பண்புகளில் வரிசைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன. இவ்வெப்பநிலை மாறுநிலை வெப்பநிலை எனப்படும். வழக்கமாக, ஃபெர்ரோ காந்தவியல் மற்றும் ஃபெர்ரி காந்தவியல் பொருட்கள் காந்தப் பொருட்களாக கருதப்படுகிறது (இரும்பை போன்று). மற்றுமுள்ள மூன்று வகைகளும் மிகக் குறைந்த காந்தப் பண்பை கொண்டுள்ளதால் அவை காந்தப் பண்பற்ற பொருட்கள் எனப்படுகின்றன.

4.6.1 டயா காந்தவியல்

டயா காந்தப் பொருட்கள், நிகர காந்தத் திருப்புத்திறன் சுழியாக உள்ள அணுக்களால் ஆனவை. இணையற்ற எலெக்ட்ரான்கள் இல்லாததால் அனைத்து சுற்று வட்டப் பாதைகளிலும் இதுவே நிகழ்கிறது. ஆனால், எதிர் காந்தப் புலம் செலுத்தும் போது அவை எதிர் ஏற்புத்திறனை வெளிப்படுத்துகின்றன. படம் 4.1 (a) இல் காட்டியுள்ளபடி, M மற்றும் H க்கு இடையிலான வரைபடம், புலம் சுழியாக உள்ள போது காந்தமாக்கலும் சுழியாகும் என்பதைக் குறிக்கிறது. ஏற்புத்திறன் வெப்பநிலையை சார்ந்ததல்ல என்பது, டயா காந்தப் பொருட்களின் மற்றொரு முக்கியமான பண்பாகும் [படம் 4.1 (b)]. உதாரணம் : குவார்ட்ஸ் (SiO_2), கால்சைட் ($CaCO_3$), நீர் முதலியன.



படம் 4.1: டயா காந்தப் பொருட்களுக்கான (a) M-H மற்றும் (b) χ -T வளைவு

டயா காந்தப் பொருட்களின் பண்புகள்: டயா காந்தப் பொருட்களின் சில குறிப்பிட்ட பண்புகள் பின்வருமாறு கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

(i) டயா காந்தப் பொருட்களின் சார்பு உட்புகு திறன் ஒன்றைவிட சற்று குறைவாக இருக்கும்.

(ii) இவற்றின் ஏற்புத்திறன் எதிர்க்குறியானது மற்றும் செலுத்தப்படும் காந்த புலத்தை சார்ந்ததல்ல.

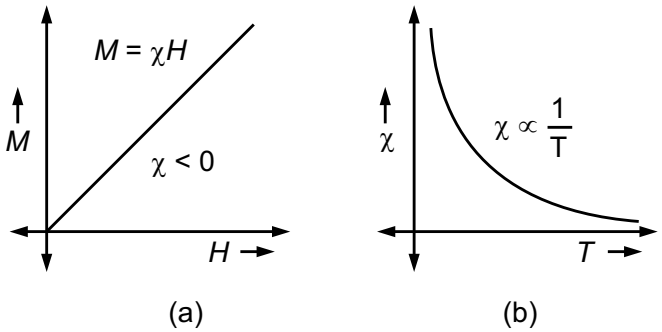
(iii) காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படும் போது அவை புலக் கோடுகளை விலக்குகின்றன

(iv) இவ்வகை பொருட்களில் நிரந்தர இருமுனை காணப்படுவதில்லை.

4.6.2 பாரா காந்தவியல்

இவ்வகை அணு அல்லது அயனிகளில், பகுதி அளவு இணையற்ற எலெக்ட்ரான்கள் நிரப்பப்பட்ட கூடுகளால், தொகுபயன் காந்த திருப்புத்திறன் விளைகிறது. ஆனால் தனித்த காந்த திருப்புத்திறன்கள் காந்த இடைவினை புரியும் அளவிற்கு திறன் படைத்தவையாக இல்லாததால், காந்தப் புலம் இல்லாத போது காந்தமாக்கல் மதிப்பும் சுழியாகும். புலத்தை செலுத்தும் போது, பகுதியளவு அணு காந்த திருப்புத்திறன்கள் புலத்தின் திசையில் ஒருங்கமைந்து, நேர்மதிப்பு காந்தமாக்கலும் மற்றும் நேர் ஏற்புத்திறன் மதிப்புகளை அடையும் (படம் 4.2).

மேலும், திருப்புத்திறன்களை நெறிப்படுத்த, உதவும் புலமானது, வெப்பநிலையினால் எதிர்க்கப் படுகிறது. நிலைம காந்தவியலின் கியூரி விதியை பயன்படுத்தி, வெப்பநிலையை பொருத்த ஏற்புத்திறனை வெளிப்படுத்தலாம்.



படம் 4.2: பாரா காந்தப் பொருட்களுக்கான (a) M-H மற்றும் (b) χ -T வளைவு

பாரா காந்தப் பொருட்களின் பண்புகள்: பாரா காந்தப் பொருட்களின் சில குறிப்பிட்ட பண்புகள் பின்வருமாறு கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

(i) இவற்றின் ஏற்புத்திறன் நேர்க்குறியானது மற்றும் செலுத்தப்படும் காந்த புல வலிமையை சார்ந்ததல்ல ஆனால் வெப்பநிலையைப் பொறுத்தது.

(ii) சார்பு உட்புகுத்திறன் ஒன்றைவிட சற்று கூடுதலாக இருக்கும்.

(iii) காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படும் போது அவை புலக் கோடுகளை ஈர்க்கின்றன.

(iv) இவ்வகை பொருட்களில் நிரந்தர இருமுனையைப் பெற்றுள்ளன.

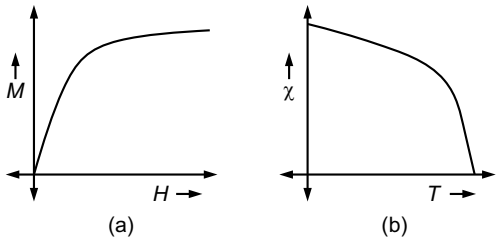
(v) புற காந்தப் புலம் இல்லாதபோது, இருமுனையானது சீரற்ற முறையில் அமைந்துள்ளது.

(vi) இவ்வகைப் பொருட்களின் சுழற்சி அமைப்பும் சீரற்ற முறையிலேயே அமைந்துள்ளது.

4.6.3 ஃபெர்ரோ காந்தவியல்

காந்தப் புலம் இல்லாதபோதும், இவற்றின் திருப்புத்திறன்கள் ஒருங்கமைந்து அதிக அளவிலான நிகர காந்தமாக்கலை வெளிப்படுத்துகின்றன. ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களின் இரு தனித்துவமான பண்புகளாவன: i) தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் மற்றும் ii) வெப்பநிலையைப் பொருத்து அமைந்த காந்த வரிசை.

படம் 4.3, M மற்றும் H ; χ மற்றும் T க்கு இடையிலான வரைபடம், ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களுக்கான வரைபடம் ஆகும்.



படம் 4.3: ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களுக்கான (a) M-H மற்றும் (b) χ -T வளைவு

ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களின் பண்புகள்: ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களின் சில குறிப்பிட்ட பண்புகள் பின்வருமாறு கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

(i) இவற்றின் ஏற்புத்திறன் உயர்ந்த நேர்க்குறி மதிப்பு கொண்டது மற்றும் கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் அவை பாரா காந்தப் பொருட்களாக மாறுகின்றன.

(ii) சார்பு உட்புகுதிறன் ஒன்றைவிட மிக அதிக அளவில் இருக்கும்.

(iii) காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்படும் போது அவை புலக் கோடுகளை வலிமையாக ஈர்க்கின்றன.

(iv) இவ்வகைப் பொருட்கள் காந்த தயக்க பண்பைப் பெற்றுள்ளன.

(v) இவ்வகை பொருட்கள் குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையில் தன்னிச்சையான காந்தப் பெருங்கூறுகளைக் கொண்டிருக்கும்.

(vi) இவ்வகைப் பொருட்களின் சுழற்சி அமைப்பு இணையாக இருக்கும்.

for know why Materials are Ferromagnetic

4.6.4 ஃபெர்ரி காந்தவியல்

காந்தப் பொருட்கள் அதிக எதிர்ப்புத்தன்மை கொண்டவை. அவை திசையொருமைப் பண்பற்றவை. நடைமுறையில், இப்பண்பு புற காந்தப் புலத்தால் தூண்டப்படுகின்றன. காந்த இருமுனைகள் காந்தப்

புலத்துடன் ஒன்றிணையும் போது, நிகர காந்த இருமுனை திருப்புத்திறனை உருவாக்கும். இக்காந்தப் புலத்தால், இருமுனைகள் சில அதிர்வெண்களில் சுற்ற காரணமாகின்றன. இவ்வதிர்வெண் லார்மர் சுற்று அதிர்வெண் எனப்படும் (பின்னர் விவாதிக்கப்படும்). இவை, கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழே தன்னிச்சை யான காந்தமாக்கலையும், அதற்கு மேல் காந்த வரிசையற்ற தன்மையையும் (பாரா காந்தத் தன்மை) வெளிப்படுத்தும்.

எனினும், கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ் இரு எதிர் திருப்புத்திறன்கள் ஒன்றிணைந்து நிகர காந்த திருப்புத் திறன் சுழியாகிறது. இதுவே காந்தமாக்கல் சமன்படுத்தப்பட்ட புள்ளியாகும். ஃபெர்ரைட்ஸினால் வெளிப்படுத்தப்படும் ஃபெர்ரி காந்தவியல் மூலக்கூறு காந்தங்களுக்குள் கிடைக்கின்றன. இங்கு ஆதி காந்தப் பொருளான மேக்னடைட் (Fe_3O_4) பற்றி குறிப்பிடவேண்டும். இது ஃபெர்ரி காந்தப் பண்பு கொண்டது.

ஃபெர்ரி காந்தப் பொருட்களின் பண்புகள்: ஃபெர்ரி காந்தப் பொருட்களின் சில குறிப்பிட்ட பண்புகள் பின்வருமாறு கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

(i) இவற்றின் ஏற்புத்திறன் உயர்ந்த நேர்க்குறி மதிப்பு கொண்டது மற்றும் நீல் வெப்பநிலைக்கு கீழ் அவை பாரா காந்தப் பொருட்களாக மாறுகின்றன.

(ii) கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் அவை பாரா காந்தப் பொருட்களாக மாறுகின்றன.

(iii) இவை நிகர காந்த திருப்புத் திறனைக் கொண்டுள்ளது.

(iv) இவ்வகைப் பொருட்களின் சுழற்சி அமைப்பு பல்வேறு எண்மதிப்புகள் கொண்ட எதிர் இணையாக இருக்கும்.

4.6.5 எதிர்–ஃபெர்ரோ காந்தவியல்

அணு அல்லது மூலக்கூறுகளின் காந்த திருப்புத் திறனானது பொதுவாக எலக்ட்ரான்களின் தற்சுழற்சியுடன் தொடர்புடையதாகும். வழக்கமான அமைப்புகளில் அணுக்கள், எதிர்த்திசையை நோக்கி யுள்ள துணை நெய்மங்களின் மீது அருகில் உள்ள தற்சுழற்சியுடன் ஒன்றிணைகின்றன. வழக்கமாக, எதிர்–ஃபெர்ரோ அமைப்பு குறிப்பிட்ட அளவு தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளில் காணப்படுகின்றன மற்றும் நீல் வெப்பநிலையில் காணப்படுவதில்லை. இந்த வெப்பநிலைகளில், எதிர்–ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்கள் அதிக ஏற்புத்திறனை வெளிப்படுத்துகின்றன. இவ்வெப்பநிலையிலிருந்து உயரும்போது, அவை வழக்க மான பாரா காந்தப் பொருட்களாகின்றன.

புறகாந்தப் புலம் இல்லாதபோது, எதிர்–ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்கள் சுழி நிகர காந்தமாக்கலைக் கொண்டுள்ளன. புறகாந்தப் புலம் செயல்படும் போது, எதிர்–ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களில் ஃபெர்ரி காந்த வகை பொருட்களின் பண்பு ஆளுமை பெற்று, ஒரு துணை நெய்மத்தின் தனித்த மதிப்பிலிருந்து மாறுபட்டு மற்றொரு துணை நெய்ம மதிப்பு பெறுவதால், சுழியற்ற காந்தமாக்கலைப் பெறுகின்றன. தனிச்சுழி வெப்பநிலையில் இதன் நிகர காந்தமாக்கல் மதிப்பு சுழி என்பதை இங்கு முக்கியமாக குறிப்பிட வேண்டும்.

எதிர்–ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களின் பண்புகள்: எதிர்–ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களின் சில குறிப்பிட்ட பண்புகள் பின்வருமாறு கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

(i) இவற்றின் காந்த ஏற்புத்திறன் குறைந்த நேர்க்குறி மதிப்பு கொண்டது மற்றும் அவை வெப்பநிலையை பெருமளவு சார்ந்துள்ளன.

(ii) கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ் ஏற்புத்திறன் மதிப்பு வெப்பம் உயரும்போது உயரும்; அதேசமயம் கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் வெப்பநிலை உயரும்போது ஏற்புத்திறன் மதிப்பு குறைகிறது.

(iii) இவற்றின் தற்சுழற்சி ஒத்த எண்மதிப்புடனும் எதிர்–இணையாகவும் இருக்கும்.

4.7 நிரந்தர காந்த இருமுனைகள்

காந்தப் பொருட்களின் சில பண்புகள் நிரந்தர காந்த இருமுனைகள் என்று அழைக்கப்படும். சிறு அளவு காந்தங்களின் இருப்பினாலேயே காணப்படுகின்றன. மின்னூட்டப்பட்ட துகள்கள் கோண உந்தத்தை பெற்றிருந்தாலும், அவை நிரந்தர காந்த இருமுனைகளின் பண்பைக் கொண்டுள்ளன. அணுவின் மொத்த காந்த இருமுனை திருப்புத்திறனின் தொகுபயனானது, அதிலுள்ள எலக்ட்ரான்களின் i) சுற்றுப் பாதை கோண உந்தம், ii) தற்சுழற்சி கோண உந்தம் மற்றும் iii) அணுக்கரு தற்சுழற்சி கோண உந்தம் ஆகியவற்றை பொருத்தது.

(i) **சுற்றுப் பாதை கோண உந்தம்:** அணுவின் எந்தவொரு எலெக்ட்ரானுக்கும் இயக்கமானது கட்டுப்படுத்தப்பட்டுள்ளது மற்றும் பின்வருமாறு விளக்கப்படுகிறது:

(a) **முதன்மை குவாண்டம் எண் (n):** இது முழு எண் மதிப்புகளைக் (1, 2, 3, …) கொண்டது. அவற்றின் எலெக்ட்ரான் கூடுகள் முறையே K, L, M, … ஆகும்.

(b) **கோண உந்த குவாண்டம் எண் (l):** கொடுக்கப்பட்ட n ற்கு l ஆனது 0, 1, 2, ... , (n - 1) என கட்டுப்படுத்தப்பட்டுள்ளது மற்றும் அதற்கான எலெக்ட்ரான்கள் முறையே s, p, d, f, g, ... எலெக்ட்ரான்கள் என குறியிடப்பட்டுள்ளன. l உடன் இணைந்த மொத்த கோண உந்தமானது $\hbar\left[l(l+1)\right]^{1/2}$ ஆகும்.

(c) **காந்த குவாண்டம் எண் (m_l):** காந்தப் புலத்தின் ஏதேனும் திசையில் கோண உந்தத்தின் கூறானது குவாண்டம் எண் மூலம் பெறப்படுகிறது. கொடுக்கப்பட்ட lக்கு $0, \pm1, \pm2, \pm3, ... \pm l$ என்ற மதிப்புகளாக கட்டுப்படுத்தப்பட்டுள்ளது. கொடுக்கப்பட்ட m_l உடன் இணைந்த மொத்த கோண உந்தம் $m_l\hbar$ ஆகும்.

p–எலெக்ட்ரான்களுக்கு, காந்தப் புலத்தின் திசையின் வழியே உள்ள கோண உந்தத்தின் வாய்ப்புள்ள கூறுகளாவன: $-\frac{e\hbar}{2m}, 0, \frac{e\hbar}{2m}$. இங்கு $\frac{e\hbar}{2m} = 9.27 \times 10^{-24}\,\mathrm{Am}^2$ என்பது போர் மாக்னெடான் (μ_B) ஆகும். μ_B காந்த திருப்புத் திறனின் அணு அலகு என குறிக்கப்படுகிறது.

(ii) **தற்சுழற்சி கோண உந்தம்:** செலுத்தப்படும் புலத்தின் திசையில் $\pm\frac{\hbar}{2}$ எலெக்ட்ரான் தற்சுழற்சியின் கோண உந்தத்தின் வாய்ப்புள்ள கூறுகள் இரு தற்சுழற்சி குவாண்டம் எண்களை $m_s = \pm\frac{1}{2}$ உருவாக்கு கின்றன.

$$\mu = g\left(\frac{e}{2m}\right)\frac{\hbar}{2}$$

இங்கு gஎன்பது நிறமாலை பிளவுக் காரணி மற்றும் அது எலெக்ட்ரானின் தற்சுழற்சிக்கு 2.0023ற்கு சமமாக உள்ளது. எனவே, எலெக்ட்ரான் தற்சுழற்சிக்கு காந்த இருமுனை திருப்புத் திறன் (μ) என்பது காந்தப் புலத்தின் திசையில் அல்லது அதற்கு எதிர் திசையில் போர் மேக்னெடானுக்கு சமமாக உள்ளது.

குவாண்டம் எண் J ஆல் குறிப்பிடப்படும் மொத்த கோண உந்தத்தை, சுற்றுப்பாதை மற்றும் தற்சுழற்சி கோண உந்தத்தை, வெக்டர் வடிவில் தொகுத்து பெறலாம். கொடுக்கப்பட்ட l ற்கு, $J = l \pm \frac{1}{2}$ என்ற மதிப்புகளாக எடுக்கலாம். எண்ணற்ற எலெக்ட்ரான்களைக் கொண்ட அணுவிற்கு, சுற்றுப்பாதை கோண உந்தம் மற்றும் தற்சுழற்சி கோண உந்தம் ஆகியவை L மற்றும்

S தொகுபயனாக தனித்தனியாக ஒருங்கிணைக்கலாம். அதைப் போன்ற அமைப்பிற்கு, g க்கான கோவை பின்வருமாறு கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

$$g = 1 + \frac{J(J+1) + S(S+1) - L(L+1)}{2J(J+1)} \qquad \ldots(4.7)$$

எடுத்துக்காட்டு 4.9

எடுத்துக்காட்டு 4.9: $2P_{3/2}$ நிலையிலுள்ள அயனியின் லாண்டே g காரணியை கண்டுபிடி.

தீர்வு:

$2P_{3/2}$ நிலைக்கு L = 1, S = $\frac{1}{2}$, $J = \frac{3}{2}$

எனவே,
$$g = 1 + \frac{\frac{3}{2}\left(\frac{3}{2}+1\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}+1\right) - 1(1+1)}{2\frac{3}{2}\left(\frac{3}{2}+1\right)}$$

$$= 1 + \frac{\frac{3}{2}\left(\frac{3}{2}+1\right) + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}+1\right) - 1(1+1)}{2\frac{3}{2}\left(\frac{3}{2}+1\right)}$$

அல்லது,
$$g = 1 + \frac{\frac{9}{2} - 2}{\frac{15}{2}} = \frac{4}{3}.$$

(iii) **அணுக்கரு தற்சுழற்சி கோண உந்தம்:** அணுக்கருவின் தற்சுழற்சியுமே அணுவின் நிரந்தர இருமுனைத் திருப்புத் திறனுக்கு பின்வருமாறு பங்காற்றுகின்றன.

$$\mu_n = \frac{e\hbar}{2M} \qquad \ldots(4.8)$$

இங்கு M என்பது அணுக்கரு நிறை ஆகும். அணுக்கருவின் நிறையானது, எலெக்ட்ரானின் நிறையை விட 10^3 மடங்கு அதிகமாக உள்ளதால், எலெக்ட்ரானின் காந்த திருப்புத்திறன், அணுக்கருவின் திருப்புத்திறனை விட 10^3 மடங்கு சிறியதாக உள்ளது.

4.8 ஹுண்ட் விதி

அணுவின் காந்த திருப்புத் திறனுக்கு, பகுதியளவு நிரம்பிய எலக்ட்ரான் கூடுகளே காரணமேயொழிய முழுவதும் நிரம்பிய எலெக்ட்ரான் கூடுகள் அல்ல. ஒரே கூட்டிலுள்ள இரு எலெக்ட்ரான்கள் ஒரே மாதிரியான நான்கு குவாண்டம் எண்களைக் கொண்டிராது என்ற பௌலியின் தவிர்ப்புத் தத்துவத்தை நினைவிற்கொண்டு, பகுதி நிரம்பிய அவ்வகையான அணுவின் கூட்டிற்கு ஹுண்ட் விதி பின்வருமாறு:

(i) சுற்றுப்பாதை திருப்புத் திறன் ஒருங்கிணைந்து அதிகபட்ச L மதிப்பைக் கொடுக்கிறது.

(ii) தவிர்ப்பு தத்துவத்துடன் ஒத்த எலெக்ட்ரானின் ஒருங்கிணைந்த அதிகபட்ச தற்சுழற்சி மதிப்பு S மற்றும்

(iii) பாதியளவு நிறைந்த கூடுடன் $J = L - S$ மற்றும் பாதிக்கு மேல் நிறைந்த கூட்டிற்கு $J = L + S$.

4.9 டயா காந்தவியலின் லாஞ்சிவின் கோட்பாடு

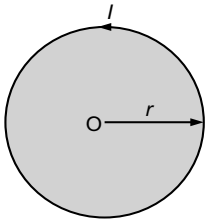
காந்த இருமுனைகள், மின்னோட்டம் பாய்வதை ஆதாரமாக கொண்டுள்ளன. மின்சாரவியல் கோட்பாடுகளிலிருந்து நன்கு அறியப்படும் கருத்து, ஒரு பரப்பில் கண்ணியின் வழியே பாயும் நிலைத்த மின்னோட்டமே காந்தப் புலத்தை உருவாக்குகிறது. தொலைதூரங்களில் இது இருமுனை திருப்புத் திறனின் விளைவேயாகும்.

$$\vec{\mu} = I\vec{S} \qquad \ldots(4.9)$$

இங்கு I என்பது மின்னோட்டம் மற்றும் $\vec{S}$ என்பது கண்ணியின் பரப்பு ஆகும். காந்த இருமுனையின் திசை கண்ணியின் பரப்பிற்கு செங்குத்தாக இருக்கும். இதை நடைமுறைப்படுத்த, r ஆரமுள்ள சுற்றுவட்டப் பாதையில் இயங்கும் எலெக்ட்ரானுடன் இணைந்த, காந்த இருமுனை திருப்புத்திறனை கருதலாம் (படம் 4.4).

எலெக்ட்ரானின் கோணத் திசைவேகம் ω_0 என்க. எனவே, இந்நிகழ்வில், மின்னோட்டக் கண்ணியானது,

$$I = -\frac{e\omega_0}{2\pi} = -\frac{e}{T} \qquad \ldots(4.10)$$



படம் 4.4: r ஆரம் உள்ள எலக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதை

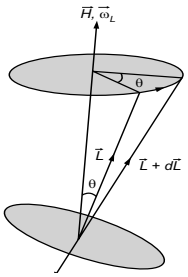
இங்கு T என்பது கால நேரம். எனவே, தொடர்புடைய எலெக்ட்ரான் சுற்றுப்பாதையின் காந்த இருமுனை திருப்புத் திறனானது,

$$\vec{\mu} = -\frac{e}{T}\pi r^2 \hat{n} \qquad \ldots(4.11)$$

இங்கு πr^2 என்பது கண்ணியின் பரப்பு ஆகும்.

இப்போது, எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தம்,

$$\vec{L} = I\overrightarrow{\omega_0} = mr^2\frac{2\pi}{T}\hat{n} \qquad \ldots(4.12)$$



படம் 4.5: H ஐ பற்றிய L ன் லார்மர் அதிர்வெண் சுழற்சி

காந்த இருமுனை திருப்புத் திறனை, எலெக்ட்ரானின் கோண உந்தத்துடன் தொடர்பு படுத்த, நாம் பெறுவது

$$\vec{\mu} = -\frac{e\vec{L}}{2m} \qquad \left[\because \frac{\pi r^2}{T}\hat{n} = \frac{\vec{L}}{2m}\right]$$

அல்லது, $$\vec{\mu} = g\vec{L} \qquad \ldots(4.13)$$

இங்கு $g = -\frac{e}{2m}$ என்பது புவிக்காந்த விகிதம் ஆகும்.

இப்போது, அணுவில் இயக்கத்தில் உள்ள எலெக்ட்ரான் மீது செயல்படும் காந்த புலத்தை கருதுவோம். காந்தப் புலம் $\vec{B}$ உடன் தொடர்புடைய $\vec{L}$ கோண உந்த வெக்டர்க்கான ஏதேனும் ஒரு திசையை கருதுக. காந்த திருப்புத் திறனை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\vec{\mu} = -\frac{e\vec{L}}{2m} \qquad \ldots(4.14)$$

காந்த திருப்புத் திறன் இருமுனையின் மீது $\vec{\mu} \times \vec{B}$ என்ற திருப்பு விசையை செயல்படுத்தும். எனவே, நியூட்டனின் இயக்கவியலின் படி,

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{\mu} \times \vec{B} = -\frac{e}{2m}\vec{L} \times \vec{B} = -\vec{L} \times \frac{e}{2m}\vec{B} = \overrightarrow{\omega_L} \times \vec{L} \qquad \ldots(4.15)$$

இதுவே $\vec{B}$ ஐ பற்றிய வெக்டர் $\vec{L}$ ன் கோண அதிர்வெண்ணுடனான சுழற்சியின் இயக்கத்திற்கான சமன்பாடு ஆகும் (படம் 4.5),

$$\overrightarrow{\omega_L} = \frac{e}{2m}\vec{B} \qquad \ldots(4.16)$$

இங்கு $\overrightarrow{\omega_L}$ என்பது லார்மர் அதிர்வெண் ஆகும். மேற்கூறியதைப் போன்ற சுழற்சிக்காக, படம் 4.5 லிருந்து,

$$dL = L\sin\theta d\theta = L\sin\theta\omega_L dt$$

$$\therefore \quad \frac{dL}{dt} = \omega_L L\sin\theta = \left|\overrightarrow{\omega_L}\times\vec{L}\right| \qquad \ldots(4.17)$$

புறக்காந்தப் புலத்தில், சுற்றுப்பாதையின் தளம் நிலையானதல்ல, ஆனால் $\vec{B}$ ஐப் பற்றி சுழலும். எலெக்ட்ரான் மின்னூட்டத்தின் விளைவாக, அதன் சுழற்சியானது, $\vec{B}$ க்கு எதிராக ஒரு காந்த திருப்புத் திறனை தூண்டுகிறது.

தூண்டப்பட்ட காந்த திருப்புத்திறனானது,

$$\overrightarrow{\mu_{in}} = -\frac{e}{2m}\overrightarrow{L_{in}} = -\frac{e}{2m}I\overrightarrow{\omega_L} = -\frac{e}{2m}m\bar{\rho}^2\frac{e}{2m}\vec{B}$$

அல்லது, $$\overrightarrow{\mu_{in}} = -\frac{\mu_0 e^2}{4m}\bar{\rho}^2\vec{H} \qquad \ldots(4.18)$$

இங்கு $\bar{\rho}^2$ என்பது, $\vec{H}\left(=\vec{B}/\mu_0\right)$ க்கு செங்குத்தான தளத்தின் மீதுள்ள சுற்றுப்பாதையின் ஆரத்தின் சராசரிக்கு இருமடியைக் குறிக்கிறது.

கோள மின்னூட்ட பகிர்வுக்கு,

$$\bar{x}^2 = \bar{y}^2 = \bar{z}^2$$

மேலும், $\bar{r}^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2 + \bar{z}^2$ மற்றும் $\bar{\rho}^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2$

$$\therefore \quad \bar{r}^2 = \frac{3\bar{\rho}^2}{2} \text{ (கோள சமச்சீருக்கு)} \qquad \ldots(4.19)$$

எனவே, தூண்டப்பட்ட காந்த திருப்புத் திறனுக்கு,

$$\overrightarrow{\mu_{in}} = -\frac{\mu_0 e^2}{4m}\frac{2\bar{r}^2}{3}\vec{H} = -\frac{\mu_0 e^2\bar{r}^2}{6m}\vec{H} \qquad \ldots(4.20)$$

எனவே, தூண்டப்பட்ட டயாகாந்த திருப்புத்திறன் $\vec{H}$ க்கு நேர்த்தகவிலும், எதிர்திசையிலும் இருக்கும். இந்த வழிமுறையை, ஓரலகு கனஅளவில் N அணுக்களையும், ஒவ்வொரு அணுவிலும் Z எலக்ட்ரான்களையும் உடைய திடப் பொருளின் மீது செலுத்த, டயாகாந்த ஏற்புத்திறனைப் பெறலாம். அதாவது, ஓரலகு காந்தப் புலத்தில் ஓரலகு கனஅளவில் தூண்டப்பட்ட திருப்புத்திறன்,

$$\chi_{dia} = -\frac{N\mu_0 Ze^2}{6m}\bar{r}^2 \qquad \ldots(4.21)$$

$N = 5 \times 10^{28} / m^3$, $\chi_{dia} = -3 \times 10^{-6}$ மற்றும் $\bar{r} = 0.1$ nm ஆரமுள்ள எலெக்ட்ரானிற்கு, சமன். (4.21), டயா காந்தவியலுக்கான லாஞ்சிவின் சமன்பாடு ஆகும். இந்த சமன்பாட்டிலிருந்து,

(i) χ_{dia} as $\chi_{dia} \propto \bar{r}^{-2}$ க்கு, அணுவின் வெளிப்பாதையிலுள்ள எலெக்ட்ரான் பெருமளவிலான பங்காற்றுகிறது.

(ii) அணுவின் எண்ணிக்கையுடன் χ_{dia} ன் மதிப்பு உயர்கிறது,

(iii) χ_{dia} எப்போதுமே எதிர்க்குறியுடையது மற்றும் வெப்பநிலையைப் பொருத்தது அல்ல.

(iv) χ_{dia} புறக்காந்தப்புலச் செறிவைப் பொருத்தது அல்ல

எடுத்துக்காட்டு 4.10: மின்னோட்டம் தாங்கிய வளைய வடிவ கண்ணியின் 4 cm ஆரம் எனில், அதனுடன் இணைந்த காந்த திருப்புத் திறனைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

இங்கு, $r = 4$ *cm* மற்றும் $I = 100$mA

எனவே, கண்ணியுடன் இணைந்த காந்த திருப்புத் திறனானது,

$$\mu = IA = \pi r^2 I = 3.14 \times (0.04)^2 \times 100 \times 10^{-3} = 5.024 \times 10^{-4} \text{ Am}^2.$$

எடுத்துக்காட்டு 4.10

எடுத்துக்காட்டு 4.11: $\bar{r} = 5.3 \times 10^{-11}$m மற்றும் $N = 5 \times 10^{28} / m^3$ எனக்கொண்டால், ஹைட்ரஜன் அணுவின் ஏற்புத் திறனைக் கண்டுபிடி.

தீர்வு:

இங்கு $N = 5 \times 10^{28} / m^3$, $\bar{r} = 5.3 \times 10^{-11}$m, $Z = 1$

எனவே, ஹைட்ரஜன் அணுவின் டயாகாந்த ஏற்புத் திறன்

$$\chi_H = -\frac{N\mu_0 Ze^2}{6m} \bar{r}^{-2}$$

$$= -\frac{5 \times 10^{28} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1 \times \left(1.6 \times 10^{-19}\right)^2}{6 \times 9.1 \times 10^{-31}} \times \left(5.3 \times 10^{-11}\right)^2$$

$$= -8.27 \times 10^{-7}.$$

எடுத்துக்காட்டு 4.11

4.10 பாரா காந்தவியலின் லாஞ்சிவின் கோட்பாடு

1905 ல் லாஞ்சிவினால் கூறப்பட்ட குவாண்டம் கோட்பாட்டின் படி, அணு அல்லது அயனியின் நிலைத்த காந்த திருப்புத்திறனானது கட்டற்ற சுழற்சியடையாமல், காந்தப் புலத்துடன் தொடர்புடைய கட்டுப்படுத்தப்பட்ட குறிப்பிட்ட ஒருங்கமைவுடன் சுற்றுகின்றன. ஓரலகு கனஅளவில் N அணுக்களைக் கொண்ட ஊடகத்தின் ஒவ்வொரு அணுவின் மொத்த கோண உந்த குவாண்டம் எண் J எனக்கொள்க.

$$\mu = g\mu_B M_J \qquad \ldots(4.22)$$

இங்கு $M_J = J, (J-1), (J-2), \ldots, -J$

இங்கு M_J என்பது J உடன் இணைந்த காந்த குவாண்டம் எண் ஆகும்.

H ன் வழியே $\mu = g\mu_B M_J$ கூறுடனான காந்த இருமுனையின் நிலையாற்றல் $= -g\mu_B M_J H$ ஆகும். எனவே, புள்ளியியல் இயக்கவியலின்படி, காந்தமாக்கலானது,

$$M = \sum_J NP_J \mu_J \qquad \ldots(4.23)$$

இங்கு N என்பது மொத்த துகள்களின் எண்ணிக்கையாகும் மற்றும் P_J என்பது நிகழ்த்தகவு பகிர்வாகும்.

$$P_J = \frac{e^{-E_J/kT}}{\sum_J e^{-E_J/kT}} \qquad \ldots(4.24)$$

எனவே, ஓரலகு கனஅளவில் காந்தமாக்கலானது,

$$M = Ng\mu_B \frac{\sum_{-J}^{+J} M_J e^{-E_J/kT}}{\sum_{-J}^{+J} e^{-E_J/kT}} \qquad \left[\because \mu_J = g\mu_B M_J\right] \qquad \ldots(4.25)$$

இங்கு $$E_J = -M_J g\mu_B H \qquad \ldots(4.26)$$

$$M = Ng\mu_B \frac{\sum_{-J}^{+J} M_J e^{\frac{g\mu_B M_J H}{kT}}}{\sum_{-J}^{+J} e^{\frac{g\mu_B M_J H}{kT}}} \qquad \ldots(4.27)$$

இப்போது இரு நேர்வுகள் தோன்றியுள்ளன:

நேர்வு I: $g\mu_B M_J H << kT$ எனும்போது

இந்த நிபந்தனையின் கீழ் சமன். (4.27) இல் உள்ள அடுக்குகள் பின்வருமாறு தோராயபடுத்தப்படலாம். $e^{\frac{g\mu_B M_J H}{kT}} = 1 + \frac{g\mu_B M_J H}{kT}$ [ஓரளவு வெப்பநிலை மற்றும் புலத்திற்காக] மற்றும் ஓரலகு கனஅளவில் காந்தமாக்கலைக் காணலாம்,

$$M = Ng\mu_B \frac{\sum_{-J}^{+J} M_J \left(1 + \frac{g\mu_B M_J H}{kT}\right)}{\sum_{-J}^{+J} \left(1 + \frac{g\mu_B M_J H}{kT}\right)} = Ng\mu_B \frac{g\mu_B H}{kT} \frac{\sum_{-J}^{+J} {M_J}^2}{2J+1}$$

$$= \frac{Ng^2 {\mu_B}^2 H}{kT} \frac{J(J+1)(2J+1)}{3(2J+1)}$$

$$\left[\because \sum_{-J}^{+J} {M_J}^2 = 2\sum_{0}^{+J} {M_J}^2 = 2\frac{J(J+1)(2J+1)}{6} = \frac{J(J+1)(2J+1)}{3}\right]$$

அல்லது, $$M = \frac{Ng^2 \mu_B{}^2 J(J+1)H}{3kT} \quad \ldots(4.28)$$

எனவே, பாரா காந்த ஏற்புத்திறனானது,

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{Ng^2 \mu_B{}^2 J(J+1)}{3kT} = \frac{N\mu_J{}^2}{3kT} \quad \ldots(4.29)$$

இங்கு, $$\mu_J{}^2 = g^2 \mu_B{}^2 J(J+1) \quad \ldots(4.30)$$

அல்லது, $$\chi = \frac{C}{T} \quad \ldots(4.31)$$

இங்கு, $$C = \frac{N\mu_J{}^2}{3k} \quad \ldots(4.32)$$

என்பது கியூரி மாறிலி எனப்படும். சமன். (4.31) என்பது பண்டைய முடிவுகளுடன் ஒத்துள்ளது மற்றும் கியூரி விதிப்படி, பாரா காந்தப் பொருட்களின் ஏற்புத்திறன் தனி வெப்பநிலைக்கு தலைகீழ் விகிதத்தில் இருக்கும்.

J உடன் இணைந்த மொத்த காந்த திருப்புத் திறனானது,

$$\mu_J{}^2 = g^2 \mu_B{}^2 J(J+1) = p_{eff}{}^2 \mu_B{}^2 \quad \ldots(4.33)$$

இங்கு $$p_{eff}{}^2 = g^2 J(J+1) \quad \ldots(4.34)$$

எனவே, கியூரி விதியின் அளவுகளில் ஏற்புத்திறனின் அளவீடுகளிலிருந்து போர் மாக்னெட்டானின் பயனுறு எண்ணைக் கண்டுபிடிக்க முடியும்.

$$p_{eff} = g\sqrt{J(J+1)} \quad \ldots(4.35)$$

இது கோட்பாட்டின்படியான முடிவு ஆகும். பரிசோதனையின்படி,

$$\chi = \frac{N\mu_J{}^2}{3kT} = \frac{Np_{eff}{}^2 \mu_B{}^2}{3kT} \quad \ldots(4.36)$$

$$\therefore \quad p_{eff} = \sqrt{\frac{3kT\chi}{N}} \frac{1}{\mu_B} \quad \ldots(4.37)$$

நேர்வு II: $g\mu_B M_J H > kT$ எனும்போது

இந்நிபந்தனையின் கீழ் அதாவது தாழ்ந்த வெப்பநிலைகளில் மற்றும் வலிமையான காந்த புலங்களில், ஓரலகு கனஅளவில் நாம் பெறும் காந்தமாக்கலானது,

$$M = Ng\mu_B \frac{\sum_{-J}^{+J} M_J e^{\frac{g\mu_B M_J H}{kT}}}{\sum_{-J}^{+J} e^{\frac{g\mu_B M_J H}{kT}}}$$

$\frac{g\mu_B H}{kT} = x$ என்க.

எனவே, $$M = Ng\mu_B \frac{\sum_{-J}^{+J} M_J e^{M_J x}}{\sum_{-J}^{+J} e^{M_J x}} = Ng\mu_B \frac{d}{dx} \ln \sum_{-J}^{+J} e^{M_J x}$$

$$= Ng\mu_B \frac{d}{dx} \ln \left[e^{Jx} + e^{(J-1)x} + ... + e^{-Jx} \right]$$

$$= Ng\mu_B \frac{d}{dx} \ln \left[e^{Jx} \left\{ 1 + e^{-x} + e^{-2x} + ... + e^{-2Jx} \right\} \right]$$

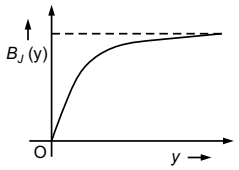
$$= Ng\mu_B \frac{d}{dx} \ln \left[e^{Jx} \frac{1 - \left(e^{-x}\right)^{2J+1}}{1 - e^{-x}} \right] = Ng\mu_B \frac{d}{dx} \ln \left[\frac{e^{\left(J+\frac{1}{2}\right)x} - e^{-\left(J+\frac{1}{2}\right)x}}{e^{\frac{x}{2}} - e^{-\frac{x}{2}}} \right]$$

$$= Ng\mu_B \frac{d}{dx} \ln \left[\frac{\sinh\left(J+\frac{1}{2}\right)x}{\sinh x} \right] = Ng\mu_B \left[\left(J+\frac{1}{2}\right) \coth\left(J+\frac{1}{2}\right)x - \frac{1}{2}\coth\frac{x}{2} \right]$$

$$= Ng\mu_B J \left[\frac{2J+1}{2J} \coth\left(\frac{2J+1}{2}\right)x - \frac{1}{2J}\coth\frac{x}{2} \right]$$

$$= Ng\mu_B J \left[\frac{2J+1}{2J} \coth\left(\frac{2J+1}{2J}\right)xJ - \frac{1}{2J}\coth\frac{xJ}{2J} \right]$$

$$= Ng\mu_B J \left[\frac{2J+1}{2J} \coth\left(\frac{2J+1}{2J}\right)y - \frac{1}{2J}\coth\frac{y}{2J} \right]$$



படம் 4.6: $B_J(Y)$ - Y வளைவு

அல்லது, $$M = Ng\mu_B J B_J(y) \quad \ldots(4.38)$$

இங்கு $$y = xJ = \frac{g\mu_B HJ}{kT} \quad \ldots(4.39)$$

இங்கு $$B_J(y) = \frac{2J+1}{2J}\coth\left(\frac{2J+1}{2J}\right)y - \frac{1}{2J}\coth\frac{y}{2J} \quad \ldots(4.40)$$

இங்கு என்பது பிரில்லாயின் சார்பு ஆகும். படம் 4.6 y யுடன் இச்சார்பைக் காட்டுகிறது.

$y \to \infty$ $(i.e., T \to 0, H \to \infty, J \to \infty)$ ஆக $B_J(y) \to 1$

மற்றும் நாம் பெறுவது,

$$M = Ng\mu_B J = N\mu_J = M_S \quad \ldots(4.41)$$

இந்த நிலையில் அனைத்து இருமுனைகளும் காந்தப் புலத்திற்கு இணையாக ஒருங்கமையும். இந்த நிலையில் அனைத்து இருமுனைகளும் காந்தப் புலத்திற்கு இணையாக ஒருங்கமையும்.

பாரா காந்தவியலின் லாஞ்சிவின் கோட்பாட்டின் குறைகள்: பாரா காந்தவியலின் லாஞ்சிவின் கோட்பாடு, இருமுனைகளுக்கு இடையே உள்ள தொலைவு மிக அதிகமாக உள்ளது எனவும் அதனால்

அவற்றிற்கு இடையே உள்ள பரிமாற்று இடைவினை புறக்கணிக்கத்தக்கதாக உள்ளது எனக் கருதுகிறது. எனவே, இக்கோட்பாடு பாராகாந்த இருமுனைகளிடையேயான அதிக அளவிலான பரிமாற்று இடைவினைகளையும் மற்றும் சிக்கலான, வெப்பநிலையைப் பொறுத்த பாராகாந்தத்தின் ஏற்புத்திறனையும் விளக்க தவறுகிறது. பின்பு, வெய்ஸ் தனது மூலக்கூறு புலக்கோட்பாட்டின் மூலம் லாஞ்சிவின் கோட்பாட்டை மாற்றியமைத்தார்.

எடுத்துக்காட்டு 4.12: பாராகாந்தப் பொருள் 10^{28} atoms/m^3 ஐக் கொண்டுள்ளது. 330K இல் இதன் ஏற்புத்திறன் 3.7×10^{-4} ஆகும். 300K இல் ஏற்புத்திறனைக் காண்க.

தீர்வு:

கியூரி விதியிலிருந்து, $\dfrac{\chi_1}{\chi_2}=\dfrac{T_2}{T_1}$

இங்கு, $T_1=330\text{K},\ T_2=300\text{K},\ \chi_1=3.7\times10^{-4}$

எனவே, $\chi_2=\dfrac{T_1}{T_2}\chi_1=\dfrac{330}{300}\times3.7\times10^{-4}\ =4.07\times10^{-4}.$

எடுத்துக்காட்டு 4.12

எடுத்துக்காட்டு 4.13: Gd^{+3} $(4f^75s^25p^6)$ க்கான பயனுறு போர் மாக்னெட்டானைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

இங்கு, L = 0 மற்றும் J = L + S = S = 7/2

எனவே Gd^{+3} க்கான பயனுறு போர் மாக்னெட்டான்

$$p_{eff}=g\sqrt{J(J+1)}\ =2\sqrt{\frac{7}{2}\times\frac{9}{2}}=7.94.$$

எடுத்துக்காட்டு 4.13

எடுத்துக்காட்டு 4.14: $2P_{1/2}$ நிலையில் இரும்பின் மொத்த காந்த திருப்புத் திறனை கண்டுபிடி.

தீர்வு:

$2P_{1/2}$ நிலைக்கு $\mathrm{L}=1,\ \mathrm{S}=\dfrac{1}{2}\ ,\ J=\dfrac{1}{2}$

எனவே, $$g=1+\frac{\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}+1\right)+\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}+1\right)-1(1+1)}{2\times\frac{1}{2}\left(\frac{1}{2}+1\right)}=1+\frac{\frac{3}{2}-2}{\frac{3}{2}}=\frac{2}{3}.$$

எனவே மொத்த காந்த திருப்புத்திறன்

$$\mu_J=p_{eff}\,\mu_B=g\sqrt{J(J+1)}\mu_B$$

$$=\frac{2}{3}\sqrt{\frac{1}{2}\times\frac{3}{2}}\times9.27\times10^{-24}\,\text{Am}^2=16.05\times10^{-24}\,\text{Am}^2.$$

எடுத்துக்காட்டு 4.14

4.11 கியூரி–வெய்ஸ் விதி

1907 இல் லாஞ்சிவின் கோட்பாட்டை கொள்கை அடிப்படையில், வெய்ஸ் மாற்றம் செய்தார். அதாவது, பயனுறு காந்தமாக்கல் புலமானது, மூலக்கூறுகளை ஒருங்கமையச் செய்யும் புறக்காந்தப் புலம் H மற்றும் அருகாமை அணுக்களின் இருமுனைகளுக்கிடையே நிகழும் இடைவினையினால் தோன்றும் மூலக்கூறு புலம் H_{int} ஆகியவற்றின் கூட்டுத் தொகையாகும். உள்ளார்ந்த காந்தப் புலம் H_{int} ம் காந்தமாக்கல் புலத்திற்கு நேர்த் தகவில் இருக்கும் என்று வெய்ஸ் கருதினார்.

$$H_T = H_{ext} + H_{int} = H + N_W M \qquad \ldots(4.42)$$

இங்கு N_W என்பது வெய்ஸ் மாறிலி.

எனவே காந்தமாக்கல்,

$$M = \frac{C}{T} H_T = \frac{C\left[H + N_W M\right]}{T} \qquad \ldots(4.43)$$

அல்லது, $$M\left[1 - \frac{CN_W}{T}\right] = \frac{C}{T} H$$

எனவே, ஏற்புத்திறன்

$$\chi = \frac{M}{H} = \frac{\frac{C}{T}}{\left[1 - \frac{CN_W}{T}\right]} = \frac{C}{T - CN_W}$$

for more on Curie Weiss law

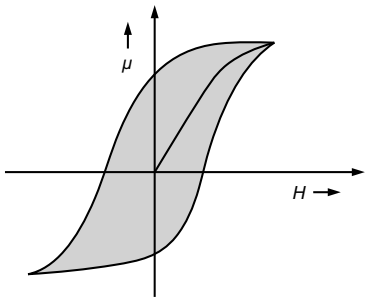
அல்லது, $$\chi = \frac{C}{T - \theta} \qquad \ldots(4.44)$$

இங்கு $\theta = CN_W$ என்பது பாரா காந்த கியூரி வெப்பநிலை.

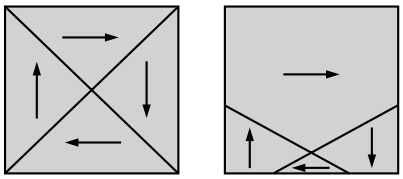
இவ்வெப்பநிலைக்கு கீழ் பாராகாந்தப் பொருள் டயாகாந்தப் பொருளாக செயல்படும். மேலும் இதன் ஏற்புத்திறனும் எதிர்க்குறி அடையும். சமன். (4.44) பாரகாந்தப் பொருளின் கியூரி–வெய்ஸ் விதி ஆகும். இது கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் உள்ள பாராகாந்தப் பொருட்களுக்குப் பொருந்தும்.

4.12 ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருட்கள்

ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருட்களில், காந்தமாக்கல் மற்றும் காந்தப் புலத் தொடர்பு காந்தத் தயக்கத்தை ஏற்படுத்துகிறது படம் (4.7). ஃபெர்ரோகாந்தக் கூறுகள் படம் (4.8) இல் விளக்கமாக கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருட்கள், புறக்காந்தப் புலத்தை விலக்கிய பின்பும் அவை, காந்தப் பண்பை தக்க வைக்கின்றன என்பது குறிப்பிடத்தக்கதாகும். இவ்வகைப் பொருட்கள் மிகுந்த காந்தமாக்கல் செறிவை வெளிப்படுத்துகின்றன. எண்ணற்ற ஃபெர்ரோகாந்த அலோகங்களும், ஆக்சைடுகளும் இருந்தாலும், Fe, Ni, Co, Gd மற்றும் Dy ஆகியவை ஃபெர்ரோகாந்த தனிமங்களாகும். இவ்வகை பொருட்களின் ஏற்புத்திறன் காந்தப் புலத்தையும் தனி வெப்பநிலையையும் சார்ந்து அமைகின்றன. ஃபெர்ரோகாந்த கியூரி வெப்பநிலை எனப்படும் மாறுநிலை வெப்பநிலைக்கு θ_f மேல் தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் மறைந்து, பொருள் பாராகாந்தமாக மாறுகிறது.



படம் 4.7: ஃபெரோகாந்தப் பொருட்களுக்கான μ-H (காந்தத் தயக்க) வளைவு



படம் 4.8: ஃபெரோகாந்தப் பெருங்கூறு

கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேற்பட்ட வெப்பநிலைகளில் ஏற்புத்திறன் பராகாந்தத்தின் கியூரி–வெய்ஸ் விதியை பின்பற்றுகிறது.

$$\chi = \frac{C}{T - \theta}$$

இங்கு குறியீடு C என்பது கியூரி மாறிலி எனப்படும். θ என்பது θ_f ஐ விட சற்று உயர்ந்த மதிப்பு கொண்ட பராகாந்தப் பொருட்களின் கியூரி வெப்பநிலை ஆகும்.

4.12.1 பெருங்கூறுக் கோட்பாடு

ஃபெரோகாந்தப்பொருட்களின் பெருங்கூறு கோட்பாடு பின்வரும் இரண்டு கோட்பாடுகளை மையமாகக் கொண்டு 1907 இல் வெய்ஸ் அவர்களால் முன்மொழியப்பட்டது:

(i) பெரிய அளவிலுள்ள ஃபெரோகாந்தப்பொருட்கள் தன்னிச்சையாக காந்தத்தன்மையடைந்த சிறு பகுதிகளை (பெருங்கூறு) கொண்டுள்ளது; தன்னிச்சையான காந்தமாக்கலின் எண் மதிப்பு தனித்தனி பெருங்கூறுகளில் உள்ள காந்த திருப்புத் திறன்களின் வெக்டர் கூடுதலுக்கு சமமாக இருக்கும். உள்ளார்ந்த நிலையில் ஃபெரோகாந்தப்பொருட்கள் புறகாந்தப் புலம் செயல்படாதபோதும், இவ்வகையான பெருங்கூறுகளின் இருப்பால் காந்தமாக்கலை பெற்றுள்ளன. பொதுவாக காந்தப் பொருளின் துண்டு (உ.ம். இரும்பு) காந்தமாக செயல்படுவதில்லை. ஏனெனில், காந்தப் பெருங்கூறுகள், அவை ஒவ்வொன்றின் விளைவுகளும் நடுநிலையடையும் வகையில் ஒருங்கமைந்து நிகர காந்த திருப்புத் திறன் சுழியாகி விடுகின்றது [படம் 4.8 (a)]. படம் 4.8 (a) இல் காட்டியபடி, எந்தவொரு காந்தப் புலமும் இல்லாத போது பெருங்கூறுகள் சரிசமமான எண்ணிக்கையில் இருக்கும்.

(ii) சிறு அளவு காந்தப் புலத்தை செலுத்தும் போது, புலத்தின் திசையில் இருக்கும் பெருங்கூறுகளின் உருவம், புலத்திசையில் அமையாத பெருங்கூறுகளை விட அதிகரிக்கிறது [படம் 4.8 (b)]. மூலக்கூறு புலம் உள்ளதால் ஒவ்வொரு பெருங்கூறுகளுக்குள்ளும் தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் நிகழ்ந்து அணு இருமுனையின் இணை ஒருங்கமைவினால் சுழியற்ற நிகர காந்த திருப்புத்திறனை உருவாக்குகின்றன. காந்தப் புல வலிமை மேலும் உயரும்போது, அனைத்து இருமுனைகளும் புலத்தின் திசையில் ஒரே பெருங் கூறாக ஒருங்கமைந்து, குறிப்பிட்ட காந்தப் புல அளவிற்கு தன்னிறைவு நிலையை அடைந்து, மேற்கொண்டு காந்தமாக முடியாத நிலையை எய்தும்.

4.13 வெய்ஸ் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாடு

ஃபெரோகாந்தவியலின் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாட்டின் கோவைகளை தருவிக்க வெய்ஸ் பின்வரும் இரு கோட்பாடுகளை முன்மொழிந்துள்ளார்:

(i) பெருங்கூறுகளின் காந்த திருப்புத் திறன் சீரற்ற முறையில் ஒருங்கமைந்து அதன் நிகர மதிப்பு சுழியாக இருக்கும்.

(ii) சில வகையான குறைந்த அளவிலான உள்காந்தப் புலம் அணு காந்தங்களை ஓர் திசையில் ஒருங்கமைக்கின்றன.

குறிப்பிட்ட தனி பெருங்கூறில் தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் அணு இருமுனைகளிடையே ஒருங்கிணைப்பை குறிக்கின்றது. அதாவது, ஒரு வகையான இடைவினை அணுக்களிடையே ஏற்பட்டு அணு காந்த இருமுனைகளிடையே இணையாக ஒருங்கமைய உதவுகிறது. இவ்வகை தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் நிகழ்வை விவரிக்க மூலக்கூறு புலமானது H_T கொடுக்கப்பட்ட இருமுனை மீது செயல்படுவ தாக வெய்ஸ் கருதினார். அவற்றை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$H_T = H_{ext} + H_{int} = H_{ext} + N_W M \qquad \ldots(4.45)$$

இங்கு H_{ext} என்பது செலுத்தப்படும் புலம், H_{int} என்பது காந்தமாக்கலுக்கு நேர்த் தகவில் இருக்கும். அதாவது $H_{int} = N_W M$ ஒருங்கிணைந்த விளைவை தருகிறது மற்றும் N_W என்பது வெய்ஸ் மூலக்கூறு புல மாறிலி.

இப்போது, ஓரலகு கனஅளவில் N அணுக்களைக் கொண்ட திடப் பொருளின் ஒவ்வொரு அணுவும் மொத்த கோண உந்த குவாண்ட எண் J ஆகும். இது மொத்த சுற்றுப்பாதை மற்றும் தற்சுழற்சி மதிப்புகளை (L மற்றும் S) உள்ளடக்கியது. எனில், நிகர காந்தமாக்கலானது,

$$M = Ng\mu_B J B_J(y) \qquad \ldots(4.46)$$

இங்கு
$$B_J(y) = \frac{2J+1}{2J}\coth\left(\frac{2J+1}{2J}\right)y - \frac{1}{2J}\coth\frac{y}{2J} \qquad \ldots(4.47)$$

மற்றும்
$$y = xJ = \frac{g\mu_B HJ}{kT} = \frac{\mu_J H}{kT} \quad [\,\mu_J = g\mu_B J\,]$$

அல்லது,
$$y = \frac{\mu_J[H_{ext} + N_W M]}{kT} \qquad \ldots(4.48)$$

இப்போது இரு நேர்வுகள் தோன்றியுள்ளன.

நேர்வு I: $T < \theta_f$ எனும்போது: இதுவரை தன்னிச்சையான காந்தமாக்கலை $H_{ext} = 0$ பற்றி ஆர்வம் கொண்டிருந்தோம் மற்றும் தன்னிறைவு காந்தமாக்கலை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

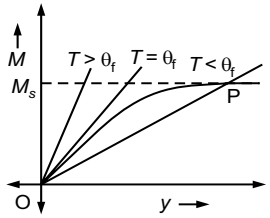
$$M_S = N\mu_J B_J\left(\frac{\mu_J N_W M_S}{kT}\right) = M_m B_J\left(\frac{\mu_J N_W M_S}{kT}\right) \qquad \ldots(4.49)$$

இங்கு $M_m = N\mu_J$ என்பது காந்தமாக்கலின் உயர்ந்தபட்ச அளவாகும். அதாவது மொத்த காந்தமாக்கல்.

$$\therefore \quad \frac{M_S}{M_m} = B_J\left(\frac{\mu_J N_W M_S}{kT}\right) \qquad \ldots(4.50)$$

மீண்டும் நாம் பெறுவது

$$\frac{M_S}{M_m} = \frac{ykT}{\mu_J N_W M_m} \qquad \ldots(4.51)$$



படம் 4.9: M-y வளைவு (a) $T < \theta_f$, (b) $T = \theta_f$ மற்றும் (c) $T > \theta_f$

M_S மேற்கண்ட இரு சமன்பாடுகளையும் பூர்த்தி செய்யவேண்டும். படம் 4.9 இல் காட்டியுள்ளபடி கொடுக்கப்பட்ட வெப்பநிலையில் இதன் மதிப்பை

M_S vs y வளைவின் வெட்டும் புள்ளியில் பெறலாம். சமன். (4.51) நேர்க்கோட்டை குறிக்கிறது. கோட்டின் சரிவு வெப்பநிலைக்கு T நேர்த்தகவில் இருக்கும். வளைவிலிருந்து $T < \theta_f$ க்கு பின்தொடரும், $H_{ext} = 0$ ஆக இருந்தாலும் இந்த மதிப்பு மறைவதில்லை.

ஆகையால், $T < \theta_f$ க்கு தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் என்பது முடிவாகும். $T = \theta_f$ க்கு சமன். (4.50) ஆல் கொடுக்கப்பட்ட நேர்கோட்டில் சரிவானது, ஆதியில் சமன். (4.51) ன் வளைவின் தொடுகோட்டுக்கு சமமாகும். எனவே, $T \geq \theta_f$ க்கு தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் மறைந்து பொருளானது பாராகாந்தமாக மாறுகிறது. இது கியூரி வெப்பநிலைக்கும் θ_f மூலக்கூறு புல மாறிலிக்கும் N_W தொடர்பு உள்ளதை சான்று பகர்கின்றது. உண்மையில், N_W உயரும்போது θ_f உம் உயருமென நம்பலாம், ஏனெனில் N_W உயரும்போது இணையாக ஒருங்கமையும் போக்கும் கூடுதலாகும். இப்போது, θ_f மற்றும் N_W க்கு இடையேயான தொடர்பை நிறுவ, $y << 1$ எனக்கொள்க (படம் 4.9 ல் ஆதிக்கு அருகில்), பிரில்லாயின் சார்பை தோராயமாக பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$B_J(y) = \frac{J+1}{3J} y \qquad \ldots(4.52)$$

எனவே, சமன். (4.51) மற்றும் சமன். (4.52) ல் நாம் பெறுவது,

$$B_J(y) = \frac{yk\theta_f}{\mu_J N_W M_m} = \frac{J+1}{3J} y \qquad \ldots(4.53)$$

அல்லது,
$$\theta_f = \frac{\mu_J N_W (J+1) M_m}{3Jk} = \frac{g\mu_B J N_W (J+1) N\mu_J}{3Jk}$$
$$= \frac{Ng\mu_B N_W (J+1) g\mu_B J}{3k} = \frac{Ng^2 {\mu_B}^2 J(J+1) N_W}{3k}$$

$$= \frac{N{\mu_J}^2 N_W}{3k} \qquad \ldots(4.54)$$

அல்லது,
$$\theta_f = CN_W \qquad \ldots(4.55)$$

இங்கு,
$$C = \frac{N{\mu_J}^2}{3k} \quad \text{என்பது மாறிலி.} \qquad \ldots(4.56)$$

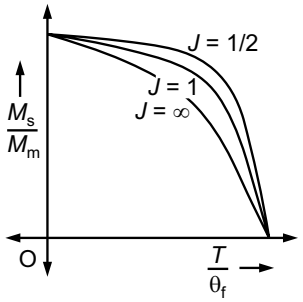
இப்போது,
$$\frac{M_S}{M_m} = B_J\left(\frac{\mu_J N_W M_S}{kT}\right) = B_J\left(\frac{M_S}{T}\frac{3J}{J+1}\frac{\theta_f}{M_m}\right) \qquad \ldots(4.57)$$

சமன். (4.51) லிருந்து அதேபோல்,

$$\frac{M_S}{M_m} = \frac{ykT}{\mu_J N_W M_m} = \frac{ykT}{{\mu_J}^2 N_W N} = \frac{ykT}{g^2 {\mu_B}^2 J^2 N_W N} = \frac{yT(J+1)}{3J\theta_f} \qquad \ldots(4.58)$$

சமன். (4.57) மற்றும் சமன். (4.58) லிருந்து சான்று பெற்ற $\frac{T}{\theta_f}$ ன் சார்பாக $\frac{M_S}{M_m}$ ஆனது வரையப்பட்டு கொடுக்கப்பட்ட மதிப்பு J க்கு பொதுவான வளைவைப் பெறலாம். படம் 4.10 இல் $J = \frac{1}{2}, J = 1 \text{ and } J = \infty$

க்கு இதுபோன்ற வளைவை குறிப்பிடலாம். பின்புள்ள நேர்வும் பண்டைய கட்டுறா சுழலும் இருமுனைகளைச் சார்ந்ததாகும். $J = \frac{1}{2}$ வளைவானது பரிசோதனை முடிவுகளுக்கு சிறந்த முறையில் பொருந்துகிறது. இது காந்தமாக்கலானது எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதை உந்தத்தையும் விட குறிப்பாக அதன் தற்சுழற்சி உந்தத்துடன் இணைந்துள்ளதைக் குறிக்கிறது. இச்சோதனை சுழிகாந்த பரிசோதனையில் இன்னும் சிறப்பாக நிரூபிக்கப்படுகிறது. இது மாதிரியான சோதனைகளில், கட்டற்று தொங்கவிடப்பட்டுள்ள பொருளின் காந்தமாக்கலை எதிர் திசையில் மாற்றியோ அல்லது பொருளை சுழற்றி அதனால் கிடைக்கும் காந்த மாக்கலை குறித்துக்கொண்டோ ஆராயலாம். முதலில் கூறிய முறை ஐன்ஸ்டீன்–டீ–ஹாஸ் முறை மற்றும் பின்னர் கூறியது பார்னெட் முறையை இதுபோன்ற முறைகளில் இருந்து g மதிப்பை பெறலாம். அதாவது காந்த திருப்புத்திறன் மற்றும் கோண உந்தத்திற்கு இடையே உள்ள விகிதம் ஆகும்.



படம் 4.10: வெவ்வேறு J மதிப்புகளுக்கான M_s / M_m -T / θ_f வளைவு

எலெக்ட்ரான் தற்சுழற்சிக்கு g = 2 மற்றும் சுற்றுப்பாதை இயக்கத்திற்கு g = 1.

நேர்வு II: $T > \theta_f$: எனும்போது,

$$M = NgJ\mu_B B_J(y) = NgJ\mu_B \frac{(J+1)y}{3J}$$

$$\left[\because B_J(y) = \frac{J+1}{3J}y \quad \text{for } y \ll 1\right]$$

அல்லது, $$M = NgJ\mu_B \frac{(J+1)}{3J}\frac{gJ\mu_B H}{kT} = \frac{N\mu_J{}^2}{3kT}H \qquad \left[\because y = \frac{gJ\mu_B H}{kT}\right]$$

அல்லது, $$M = \frac{N\mu_J{}^2}{3kT}\left[H_{ext} + N_W M\right]$$

அல்லது, $$M\left[1 - \frac{N\mu_J{}^2 N_W}{3kT}\right] = \frac{N\mu_J{}^2}{3kT}H_{ext} \qquad \ldots(4.59)$$

எனவே காந்த ஏற்புத்திறனானது,

$$\chi = \frac{M}{H_{ext}} = \frac{\frac{N\mu_J{}^2}{3kT}}{\left[1 - \frac{N\mu_J{}^2 N_W}{3kT}\right]} = \frac{\frac{N\mu_J{}^2}{3k}}{\left[T - \frac{N\mu_J{}^2}{3k}N_W\right]}$$

அல்லது, $$\chi = \frac{C}{T - \theta_f} \qquad \ldots(4.60)$$

இங்கு, $C = \frac{N\mu_J{}^2}{3k}$ என்பது மாறிலி

மற்றும் $$\theta_f = CN_W \qquad \ldots(4.61)$$

எடுத்துக்காட்டு 4.15

எடுத்துக்காட்டு 4.15: ஓரலகு கனஅளவில் 10^{27} அணுக்களைக் கொண்ட அரிதிற் தனிமங்களின் காந்த திருப்புத் திறன் 1 போர் மாக்னெட்டோன் எனில், தன்னிறைவு காந்தமாக்கலைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

இங்கு, $N = 10^{27}$ atoms/m^3 மற்றும் $M_m = 9.27 \times 10^{-24}$ Am^2

எனவே, பொருளின் தன்னிறைவு காந்தமாக்கல்

$$M_S = N\mu_0 M_m = 10^{27} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 9.27 \times 10^{-24}$$

$$= 1.164 \times 10^{-2} \text{ Wb/m}^2.$$

எடுத்துக்காட்டு 4.16

எடுத்துக்காட்டு 4.16: பொருளின் தன்னிறைவு காந்தமாக்கல் 1 Wb/m^2 எனில் அதன் ஓரலகு கனஅளவில் 10^{27} அணுக்களைக் கொண்ட அதன் காந்த திருப்புத் திறனைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு

இங்கு, $N = 10^{27}$ atoms/m^3 மற்றும் $M_S = 1$ Wb/m^2

எனவே பொருளின் காந்த திருப்புத்திறன்

$$M_m = \frac{M_S}{N\mu_0} = \frac{1}{10^{27} \times 4\pi \times 10^{-7}} = 7.96 \times 10^{-24} \text{ Am}^2.$$

4.14 முக்காந்தப் பொருட்களின் வேறுபாடுகள்

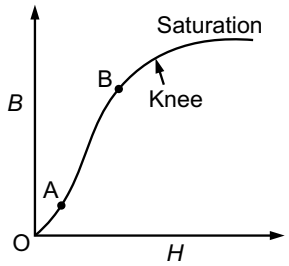
டயாகாந்தப் பொருட்கள்	பாராகாந்தப் பொருட்கள்	ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருட்கள்
(i) காந்தங்களால் சற்று விலக்கப் படும்.	(i) காந்தங்களால் சற்று கவரப் படும்.	(i) காந்தங்களால் பலமாக கவரப் படும்.
(ii) காந்த ஏற்புத்திறன் தனிவெப்ப நிலையை பொறுத்ததல்ல.	(ii) காந்த ஏற்புத்திறன் தனிவெப்ப நிலைக்கு எதிர்த் தகவில் இருக்கும்.	(ii) காந்த ஏற்புத்திறன் வெப்ப நிலையுடன் சிக்கலான சார்பை காட்டுகிறது.
(iii) காந்த உட்புகுத்திறன் $\mu < 1$.	(iii) காந்த உட்புகுத்திறன் $\mu > 1$.	(iii) காந்த உட்புகுத்திறன் $\mu >> 1$
(iv) காந்த ஏற்புத்திறன் $\chi < 1$.	(iv) காந்த ஏற்புத்திறன் $\chi > 1$.	(iv) காந்த ஏற்புத்திறன் $\chi >> 1$.
(v) காந்த தயக்கத்தை காட்டுவ தில்லை.	(v) காந்த தயக்கத்தை காட்டுவ தில்லை.	(v) காந்த தயக்கத்தை காட்டு கிறது.
(vi) கியூரி வெப்பநிலையை பெறுவ தில்லை.	(vi) கியூரி வெப்பநிலையை பெறுவதில்லை.	(vi) குறிப்பிட்ட கியூரி வெப்ப நிலையை பெறுகிறது.
(vii) உ.ம். H, He, Au, Bi, Sb, Cu, H_2O ஆகியன.	(vii) உ.ம். Na அணுக்கள், NO வாயு ஆகியன.	(vii) உ.ம். Fe, Ni, Co ஆகியன.

4.15 B-H வளைவு

படம் 4.11: ஒரு ஃபெரோ காந்தப் பொருளின் B-H வளைவு (அல்லது காந்தமாக்கலின் வளைவு), பாய அடர்த்தி (b), காந்தமாக்கல் விசையுடன் (H) வேறுபடும் முறையை குறிக்கிறது.

படம் 4.11 ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருளின் பொதுவான B-H வளைவைக் காட்டுகிறது. வளைவின் நேரியலற்ற தன்மை சார்பு உட்புகுதிறன் μ_r (= B/m_0H) மாறிலி அல்ல என்பதைக் குறிக்கிறது. அதேசமயம், அது பாய அடர்த்தியை பெருமளவு சார்ந்துள்ளது என்பதை குறிக் கிறது. காந்தவியலின் கணக்கீடுகளை செய்யும்போது பாய அடர்த்தியில் செயல்பாடுகளால், μ_r மற்றும் H ன் மதிப்புகளை பெறலாம்.

இந்த தேவைக்காக, பொருளின் B-H வளைவின் மீதான கேள்விகளில் பெருமளவு உபயோகப்படுகின்றன. குறிப்பிட்ட வெப்பநிலை நேர்வுகளில் காந்த சுற்றுக்கான கணக்கீடுகள் B-H வளைவின் உதவியை நாடுகின்றன.



படம் 4.11: ஒரு ஃபெரோ காந்தப் பொருளின் B-H வளைவு

4.15.1 B-H வளைவிலிருந்து காந்தக் கணக்கீடுகள்

காந்தச் சுற்றுகளுக்கான தீர்வுகளை B-H வளைவிலிருந்து பின்வரும் தேவைகளை சுலபமாக பெறலாம்:

(i) பொருளிலுள்ள பாய அடர்த்தி Bஐ பொருத்து காந்தமாக்கல் விசை Hஐ பொருளின் B-H வளைவிலிருந்து கண்டறியலாம்.

(ii) காந்த நீளத்தை l கணக்கிடலாம்.

(iii) தேவையான m.m.f. (= H l) ஐ கணக்கிடலாம்.

4.16 காந்த தயக்கம்

ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருட்கள் காந்தமாக்கலின் சுற்றுக்கு உட்படும் போது செலுத்தப்படும் காந்தமாக்கல் விசைக்கு H பாய அடர்த்தி B பின்தங்குகிறது. இந்நிகழ்வே காந்த தயக்கம் எனப்படும். காந்தப் பொருள் ஒரு சுற்று காந்தமாக்கலுக்கு உட்படும் போது, காந்தமாக்கல் விசைக்கு (H) பாய அடர்த்தி (b) பின்தங்கும் நிகழ்வு காந்த தயக்கம் எனப்படுகிறது.

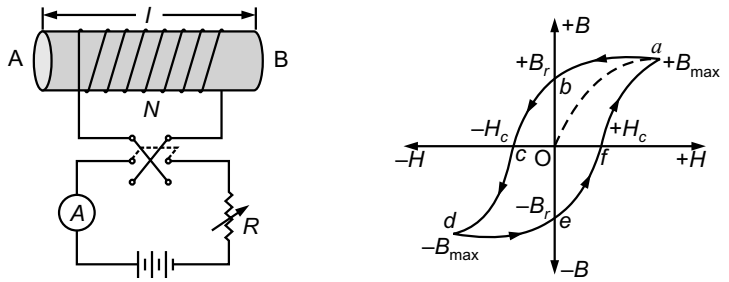
4.16.1 காந்த தயக்கக் கண்ணி

படத்தில் 4.12 (a) காட்டியுள்ளபடி N சுற்றுக்களை உடைய காந்தமாக்கப்படாத இரும்புத் தண்டு AB ஐ கருதுக. சுற்றுக்கள் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தை மாற்றி சுற்றுக்களில் கந்தமாக்கல் விசையை H (=NI/*l*) உருவாக்கலாம். இரும்புத் துண்டானது காந்தமாக்கலின் சுற்றுக்கு உட்படும்போது, அதன் விளைவாக B-H வளைவானது, ஒரு கண்ணி abcdefa வடிவத்தை எட்டும். இதுவே காந்த தயக்க கண்ணி எனப்படும்.

(i) சுருளில் மின்னூட்டம் இல்லாதபோது H = 0. H உயரும் போது பாய அடர்த்தியும் (b) உயர்ந்து அதிகபட்ச மதிப்பை ($+B_{max}$) அடையும். இரும்பின் B-H வளைவு பாதை O*a* வைப் பின்பற்றும்.

(ii) H ஐ முறையாக குறைக்கும்போது பாய அடர்த்தி B, *a*O பாதையை பின்பற்றி குறைவதில்லை. மாறாக அது பாதை *ab* ஐ அடைகிறது. புள்ளியில் காந்தமாக்கல் விசை H சுழியாகும். ஆனால் பொருளின் பாய அடர்த்தி ஒரு குறிப்பிட்ட மதிப்பை $+B_r\ (= Ob)$ பெற்றிருக்கும். இதுவே காந்த தேக்குத்திறன் எனப்படும். மறுவகையில், H க்கு B எவ்வளவு பின்னடைகிறதோ அந்தளவுக்கு காந்த தேக்குத்திறன் உள்ளது எனலாம்.

(iii) இரும்புத்துண்டை எதிர்க்காந்தத் தூண்டலுக்கு உட்படுத்த (அதாவது காந்த தேக்குத்திறனை O*b* விலக்குவதற்கு). H ஐ முறையாக எதிர்திசையில் உயர்த்தும் போது B-H வளைவு பாதை b*c* ஐ பின்தொடரும். எனவே காந்த தேக்குத்திறன் சுழியாகும். காந்த தேக்குத்திறனை முழுவதுமாக நீக்க தேவைப்படும் H (=O*c*) ன் மதிப்பு நீக்குத்திறன் எனப்படும் (H*c*).



(a) (b)

படம் 4.12: (a) காந்தமயமாக்கல் உட்பட்ட இரும்புப் பட்டை மற்றும் (b) அதன் B-H வளைவு

(iv) Hஐ எதிர் திசையில் மேலும் உயர்த்தும் போது பொருளானது மீண்டும் தன்னிறைவு (புள்ளி d) எதிர் திசையில் அடையும். H ஐ சுழிக்கு குறைத்து மற்றும் நேர்திசையில் அதிகரிக்க வளைவானது defa நிறைவுபடுத்தியிருக்கும். எனவே இரும்பு துண்டு காந்தமாக்கலின் ஒரு சுற்றுக்கு உட்படுத்தும் போது B-H வளைவு ஒரு மூடிய கண்ணி abedefa பின் தொடர்ந்து காந்த தயக்க கண்ணியை உருவாக்கும். காந்த தயக்க கண்ணியிலிருந்து H க்கு B பின்னடைகிறது என்பது தெளிவாகிறது.

4.16.2 தயக்க இழப்பு

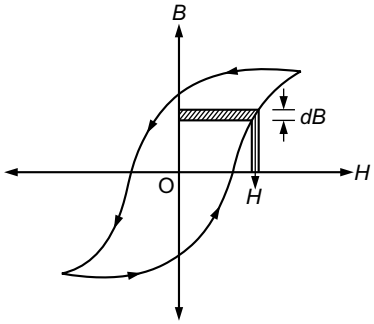
காந்தப்பொருளை காந்தமாக்கல் சுற்றுக்கு உட்படுத்தும்போது மூலக்கூறுகளின் உராய்வினால் பொருளுக்குள் ஆற்றல் இழப்பு ஏற்படும். அதாவது, பொருளினுள் உள்ள பெருங்கூறுகள் என்று அழைக்கப்படும் மூலக்கூறு காந்தங்கள் முதலில் ஒருதிசையில் திரும்பி பின் மறுதிசையில் திரும்புகின்றன. எதிர்ப்பு ஆற்றலை மீற வேண்டிய தேவையினால் பொருளினுள் ஆற்றல் செலவிடப்படுகிறது. இந்த ஆற்றல் இழப்பு வெப்ப வடிவில் வெளிப்படுகிறது. இதுவே தயக்க இழப்பு எனப்படுகிறது. இவ்விழப்பு பல்வேறு வகையான இரும்பினாலான மின்சாதனப் பொருட்களை காந்தமாக்கல் சுற்றுக்கு உட்படுத்தும் போது நிகழ்கிறது. இந்த தயக்க இழப்பின் விளைவினால் சாதனங்களில் வெப்பநிலை உயர்வு ஏற்படுகிறது.

(i) பெரும்பாலான மின்மோட்டார்களும், மின்மாற்றிகளும் மாறுநிலை மின்னோட்டத்தைப் பயன் படுத்தியே இயக்கப்படுகிறது. இவ்வகையான அனைத்து சாதனங்களும் தொடர்ந்து காந்த இழப்பை ஏற்படுத்திக்கொண்டிருக்கிறது. பாய அடர்த்தியுடன் தொடர்புடைய காந்த பாயம் தொடர்ந்து மாறுவதால், அது தயக்க இழப்பை சாதனங்களில் ஏற்படுத்துகிறது.

(ii) அது மட்டுமல்லாது, காந்தப் பகுதி மாறாத காந்தப் புலத்தில் சுழலுவதால் தயக்க இழப்பு ஏற்படு கிறது. உ.ம். d.c. இயந்திரங்கள்.

தயக்க இழப்பின் கணக்கீடு: தயக்க கண்ணியின் பரப்பு ஆற்றல் இழப்பு/m^3/cycle ஐ குறிக்கிறது. புலமானது வெற்றிடத்தில் உள்ளதெனில், புலம் நிறுத்தப்படும் போது ஆற்றல் இழப்பு சுற்றுக்கே திரும்பும். புலமானது காந்தப் பொருள் ஊடகத்தில் இருக்கும்போது, மொத்த ஆற்றல் இழப்பும் சுற்றுக்கு திரும்பாமல் தயக்க விளைவினால் பகுதி அளவு வெப்பமாக மாற்றப்படுகிறது

இரும்பு தண்டின் நீளம் l என்க. தண்டின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு A மற்றும் சுருளிலுள்ள கம்பியின் சுற்றுக்கள் எண்ணிக்கை N. எந்தவொரு கணத்திலும் சுருள் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் i.



படம் 4.13: தயக்கஇழப்பு

எனில், $$H = \frac{Ni}{l} \quad \ldots(4.62)$$

அல்லது, $$i = \frac{Hl}{N} \quad \ldots(4.63)$$

di மின்னூட்டம், dt நேரத்தில் உயர்ந்தால், பாய அடர்த்தி dB ஐ அதிகரிக்கும் மற்றும் இதனால் உயரும் பாயம் $d\phi$ $(= AdB)$ ஆகும். இது சுருளில் மின்னியக்கு விசை ($e.m.f$.) தூண்டக் காரணமாகிறது.

$$e = N\frac{d\phi}{dt} = NA\frac{dB}{dt}$$

லென்ஸ் விதியின்படி, $e.m.f$ இந்த மின்னோட்டம் i ஐ எதிர்க்கும். எனவே எதிர்க்கும் $e.m.f.$ ஐ மிஞ்ச dW ஆற்றல் தேவைப்படும்.

$$dW = ei\,dt = \left(NA\frac{dB}{dt}\right)\times\left(\frac{HI}{N}\right)\times dt = Al \times H \times dB$$

$= V \times (H \times dB)$ J இங்கு $Al = V =$ இரும்புத் தண்டின் கனஅளவு.

இப்போது $H\ x\ dB$ என்பது நிழலிடப்பட்ட பரப்பு (படம் 4.13). காந்தமாக்கலின் ஒரு சுற்றுக்கு இந்த பரப்பு தயக்க கண்ணியின் பரப்புக்கு சமமாகும்.

தயக்க ஆற்றல் இழப்பு/சுற்று,

$W_h = Vx$ (கண்ணியின் பரப்பு) joules $\quad \ldots(4.64)$

எதிர் காந்தமாக்கலின் அதிர்வெண் f எனில் தயக்க திறன் இழப்பு,

$P_h = W_h\ x\ f = V\ x$ (கண்ணியின் பரப்பு) $x\ f \quad \ldots(4.65)$

எடுத்துக்காட்டு 4.17: ஓரலகு கனஅளவில் ஓர் சுற்று தயக்க ஆற்றல் இழப்பு 0.4 J/m^3 மற்றும் மின்மாற்றியின் உள்ளகத்தின் கனஅளவு ஆகும். 50Hz கொண்ட AC யுடன் இணைக்கும் போது ஏற்படும் இழப்பு/மணியைக் காண்க.

எடுத்துக்காட்டு 4.17

தீர்வு:

இங்கு, A = 0.4J/m^3, f = 50Hz மற்றும் V = 10^{-3}m^3

எனவே தயக்க திறன் இழப்பு/மணி =

$$VAf \times 3600 = 10^{-3} \times 0.4 \times 50 \times 3600 = 72 \text{ J/s.}$$

எடுத்துக்காட்டு 4.18: ஃபெர்ரோகாந்த மாதிரியின் தயக்க கண்ணியின் பரப்பு 500 J/m^3 ஆகும். மாதிரியின் அடர்த்தி 7400 kg/m^3 மற்றும் எடை 2kg எனில், 100Hz இல் ஆற்றலின் இழப்பு வீதம்.

எடுத்துக்காட்டு 4.18

தீர்வு:

f என்பது எதிர் காந்தமாக்கலின் அதிர்வெண் எனில், தயக்க திறன் இழப்பு,

$P_h = W_h \text{ x } f = V$x **(கண்ணியின் பரப்பு)** x $f = VAf$

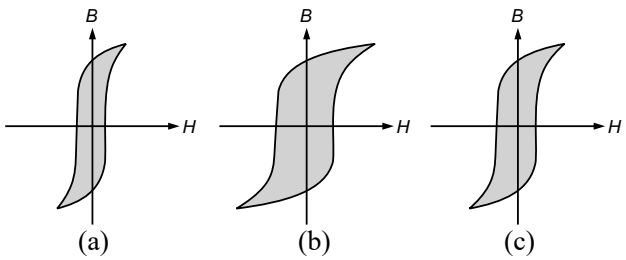
இங்கு, $A = 500J/m^3$, $f = 100Hz$ மற்றும் $V = M/d = (2/7400)\ m^3$

எனவே, தயக்க திறன் இழப்பு = $\frac{2}{7400} \times 500 \times 100 = 13.51$ J/s.

தயக்க கண்ணியின் முக்கியத்துவம்: தயக்க கண்ணியின் வடிவமும் பரப்பும் பொருட்களின் இயல்பைத் பொறுத்தே பெருமளவில் உள்ளது. பயன்பாட்டைப் பொறுத்த காந்தப் பொருட்களின் தேர்வு தயக்க கண்ணியின் வடிவையும் பரப்பையும் பொறுத்தே அமைகிறது.

(i) காந்தப் பொருளின் தயக்க கண்ணியின் பரப்பு சிறியதெனில் தயக்க இழப்பும் சிறியதாகும். சிலிக்கான் ஸ்டீலுக்கு தயக்க பரப்பு மிகவும் சிறியதாகும் [படம் 4.14 (a)] மற்றும் எனவே தான் ஸ்டீல் மின்மாற்றியின் உள்ளகத்தை வடிவமைக்க பெருமளவில் உபயோகப்படுகிறது. மேலும் சுழலும் இயந்திரங்களின் அதிவேக எதிர் காந்தமாக்கலுக்கு உதவுகிறது.

(ii) கடின ஸ்டீலுக்கு தயக்க கண்ணி [படம் 4.14 (b)] உயர்ந்த காந்த தேக்குத்திறன் மற்றும் காந்த நீக்குத்திறனை குறிக்கின்றன. எனவே நிலைத்த காந்தங் களை உருவாக்க கடின ஸ்டீல் பயன்படுகிறது. ஆனால் கண்ணியின் அதிக பரப்பின் காரணமாக, தயக்க இழப்பும் அதிகமாகையால், மின்சார இயந்திரங்களில் இவை பயன்படுத்தப்படுவதில்லை.



படம் 4.14: (a) சிலிக்கான் எஃகு, (b) கடின எஃகு மற்றும் (c) செய்யப்பட்ட இரும்புக்கான காந்தத் தயக்க வளைவு

(iii) வார்ப்பு இரும்பிற்கு தயக்க கண்ணி படம் 4.14a சிறந்த காந்த தேக்குத்திறனையும் காந்த நீக்குத்திறனையும் வெளிப்படுத்துகின்றன. எனவே மின்காந்த மின்மாற்றிகளை உருவாக்க இவை பயன்படு கின்றன.

தயக்க கண்ணியின் வடிவமும் அளவும் பின்வருவனவற்றையும் பொறுத்து அமைகிறது.

(a) அதிகபட்ச பாய அடர்த்தி செலுத்தும்போது

(b) பொருளின் ஆரம்ப காந்த நிலை.

4.17 எதிர்ஃபெர்ரோகாந்தவியல்

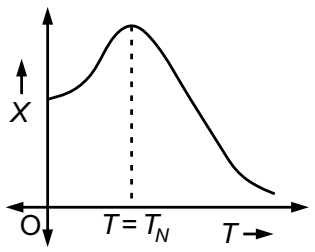
ஃபெர்ரோகாந்தவியல் கோட்பாடு பரிமாற்று தொகையிடல் நேர்குறி கொண்டது என்ற அடிப்படையில் அமைந்தது. பரிமாற்று தொகையிடல் எதிர்க்குறி எனில் (அருகு தற்சுழற்சியின் எதிர் இணை போக்கு) நாம் எதிர் ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருளை பெறுகிறோம். இவ்வமைப்பு முதலில் நீல் மற்றும் பீட்டர் ஆல் ஆராயப்பட்டு வான் லாக் என்பவரால் விரிவாக்கப்பட்டது. 1938 இல் பிஸிட்டே, ஸஃயிரே மற்றும் சாய் ஆகியோரால் முதன்முதலாக MnO ன் பண்பு என கண்டறியப்பட்டது. MnF_2 எதிர் ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருள் வெப்ப நிலையைப் பொருத்து அதிக ஏற்புத்திறனைக் காட்டுகிறது. இது படத்தில் 4.15 காட்டப்பட்டுள்ளது.

நியூட்ரான் சிதறல் சோதனையே எதிர்ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருளுக்கான நேரடியான பரிசோதனை சான்றாகும். நியூட்ரான் ஒன்று படிகத்தில் பட்டு சிதறும்போது அணுக்கருவுடன் மட்டுமல்லாது அங்குள்ள அணுக்கரு சுழற்சி மற்றும் பாராகாந்த அயனிக்கும் இடையே தொடர்பு கொள்கிறது. அதன் தொடர்ச்சியாக, சீரான நிலையிலுள்ள எதிர்ஃபெர்ரோகாந்தம், X–கதிர் விளிம்பு விளைவில் கிடைப்பது போல் கூடுதலான விளிம்பு விளைவு வரிகளைக் கொடுக்கிறது.

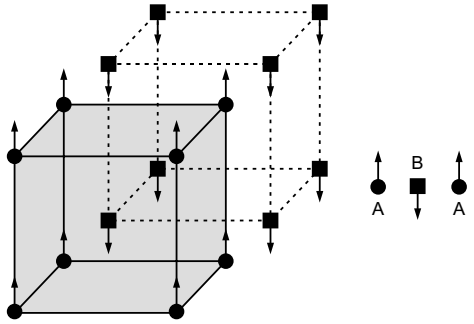
வெப்பநிலை அதிகரிப்பால் எதிர்ஃபெர்ரோகாந்த பண்பும் குன்றுவதால் இக்கூடுதல் வரிகளின் செறிவும் குறைகின்றன. நீல் வெப்பநிலைக்கு கீழ் இவற்றில் தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் நடக்கிறது. அவ்வெப்பநிலைக்கு மேல் அது பாராகாந்தமாக மாறுகிறது.

4.18 நீல் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாடு

A அணுவின் நெருங்கிய அணுவாக B ஐ மற்றும் அதன் மாற்றும் கொண்ட இரு துணை–நெய்ம மாதிரியைக் கருதுக (படம் 4.16). எனினும், AB என்ற எதிர்ஃபெர்ரோகாந்த இடைவினையுடன் AA மற்றும் BB என்ற எதிர்ஃபெர்ரோகாந்த இடைவினைகளையும் கருதுவோம். N அணுக்களின் அமைப்புக்கு, A துணை–நெய்மத்திற்கு $N/2$ அணுக்களும், B துணை–நெய்மத்திற்கு $N/2$ அணுக்களும் இருக்கின்றன.



படம் 4.15: எதிர்–ஃபெரோ காந்தப் பொருட்களுக்கான χ -T வளைவு



படம் 4.16: இரு–நெய்ம மாதிரி:நீலின் கோட்பாடு

இப்போது, A இல் மூலக்கூறு உள்ளார்ந்த புலமானது,

$$\vec{H}_{mA} = -N_{AB}\vec{M}_B - N_{AA}\vec{M}_A = -N_{AB}\vec{M}_B - N_{ii}\vec{M}_A \qquad \ldots(4.66)$$

B இல் மற்றும் மூலக்கூறு உள்ளார்ந்த புலம்,

$$\vec{H}_{mB} = -N_{BA}\vec{M}_A - N_{BB}\vec{M}_B = -N_{AB}\vec{M}_A - N_{ii}\vec{M}_B \qquad \ldots(4.67)$$

இங்கு $N_{AA} = N_{BB} = N_{ii}$ மற்றும் $N_{AB} = N_{BA}$ மூலக்கூறு புல மாறிலிகள்

A இல் புலம்,

$$\overrightarrow{H}_A = \overrightarrow{H} - N_{AB}\overrightarrow{M}_B - N_{ii}\overrightarrow{M}_A \qquad \ldots(4.68)$$

மற்றும் B இல் புலம்,

$$\overrightarrow{H}_B = \overrightarrow{H} - N_{AB}\overrightarrow{M}_A - N_{ii}\overrightarrow{M}_B \qquad \ldots(4.69)$$

இனி இரு வெப்பநிலையை விவாதிக்கலாம்:

நேர்வு I: $T > T_N$ எனும்போது

இந்நேர்வுக்கு, அதாவது நீல் வெப்பநிலைக்கு மேல் A நெய்மத்தின் தன்னிறைவு காந்தமாக்கலானது,

$$\overrightarrow{M}_A = \frac{N}{2} g\mu_B S_A B_S(x_A) = \frac{N}{2} g\mu_B S \frac{S+1}{3S} x_A$$

$$= \frac{N}{2} g\mu_B \frac{S+1}{3} \frac{g\mu_B S_A \overrightarrow{H}_A}{kT} \qquad \left[\because x_A = \frac{g\mu_B S_A \overrightarrow{H}_A}{kT}\right]$$

$$= \frac{Ng^2 {\mu_B}^2 (S+1)}{6kT} \overrightarrow{H}_A$$

$$= \frac{Ng^2 {\mu_B}^2 (S+1)}{6kT} \left[\overrightarrow{H} - N_{AB}\overrightarrow{M}_B - N_{ii}\overrightarrow{M}_A\right]$$

$$= \frac{C}{2T}\left[\overrightarrow{H} - N_{AB}\overrightarrow{M}_B - N_{ii}\overrightarrow{M}_A\right] \quad \left[\because C = \frac{Ng^2 {\mu_B}^2 (S+1)}{3k}\right] \qquad \ldots(4.70)$$

அதைப்போன்றே, B நெய்மத்திற்கான காந்தமாக்கலானது,

$$\overrightarrow{M}_B = \frac{N}{2} g\mu_B S_B B_S(x_B) = \frac{N}{2} g\mu_B S \frac{S+1}{3S} x_B$$

$$= \frac{N}{2} g\mu_B \frac{S+1}{3} \frac{g\mu_B S_B \overrightarrow{H}_B}{kT} \qquad \left[\because x_B = \frac{g\mu_B S_B \overrightarrow{H}_B}{kT}\right]$$

$$= \frac{Ng^2 {\mu_B}^2 (S+1)}{6kT} \overrightarrow{H}_B \; = \frac{Ng^2 {\mu_B}^2 (S+1)}{6kT} \left[\overrightarrow{H} - N_{AB}\overrightarrow{M}_A - N_{ii}\overrightarrow{M}_B\right]$$

$$= \frac{C}{2T}\left[\overrightarrow{H} - N_{AB}\overrightarrow{M}_A - N_{ii}\overrightarrow{M}_B\right] \left[\because C = \frac{Ng^2 {\mu_B}^2 (S+1)}{3k}\right] \qquad \ldots(4.71)$$

எனவே, இரு துணை–நெய்மங்களின் மொத்த காந்தமாக்கலானது,

$$\overrightarrow{M} = \overrightarrow{M}_A + \overrightarrow{M}_B = \frac{C}{2T}\left[2H - N_{AB}(\overrightarrow{M}_A + \overrightarrow{M}_B) - N_{ii}(\overrightarrow{M}_A + \overrightarrow{M}_B)\right]$$

$$= \frac{C}{2T}\left[2H - N_{AB}\vec{M} - N_{ii}\vec{M}\right]$$

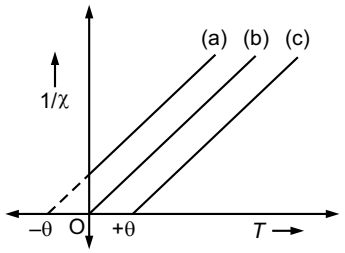
$$= \frac{C}{2T}\left[2H - (N_{AB} + N_{ii})\vec{M}\right] \qquad \ldots(4.72)$$

அல்லது, $$\vec{M}\left[1 + \frac{C}{2T}(N_{AB} + N_{ii})\right] = \frac{C}{T}\vec{H} \qquad \ldots(4.73)$$

$\vec{M}$ மற்றும் $\vec{H}$ ஆகியவை இணையானவை எனில் சமன்பாடு திசையிலி ஆகும். எனவே ஏற்புத்திறனை பின்வருமாறு பெறலாம்.

$$\chi = \frac{\vec{M}}{\vec{H}} = \frac{\frac{C}{T}}{\left[1 + \frac{C}{2T}(N_{AB} + N_{ii})\right]}$$

$$= \frac{C}{T + \frac{C}{2}(N_{AB} + N_{ii})}$$



படம் 4.17: (a) எதிர்– ஃபெரோ காந்த, (b) பாரா காந்த மற்றும் (c) ஃபெரோ காந்தப் பொருட்களுக்கு $1/\chi$ -T வளைவு

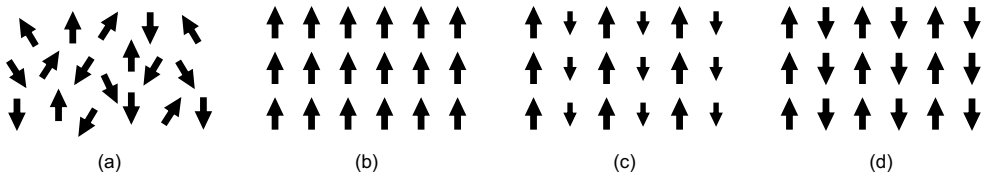
அல்லது, $$\chi = \frac{C}{T + \theta} \qquad \ldots(4.74)$$

இங்கு, $$\theta = \frac{C}{2}(N_{AB} + N_{ii}) \qquad \ldots(4.75)$$

எனவே மாறுநிலை வெப்பநிலைக்கு மேல் பெர்ரோகாந்தப் பொருட்களின் ஏற்புத்திறனுடன் ஒப்பிட $(T + \theta)$ மட்டுமல்லாது (T - θ) வும் இந்நேர்வில் காணப்படுகிறது. மேலும், கியூரி மாறிலி என்பது A மற்றும் B நெய்மங்களின் தனித்தனி கியூரி மாறிலிகளை விட இருமடங்கு உள்ளது. படம் 4.17 இல் உள்ளபடி, $1/\chi$ மற்றும் T இடையே வளைவை வரைந்து பாராகாந்த, ஃபெர்ரோகாந்த மற்றும் எதிர்ஃபெர்ரோகாந்த பண்புகளை வேறுபடுத்தி அறியலாம்.

4.19 ஃபெர்ரிகாந்தப் பொருட்கள்

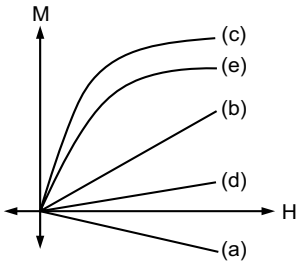
குறிப்பிட்ட அணு அமைப்பிடத்தில், ஃபெர்ரிகாந்தப் பொருட்களும் இருமுனையின் எதிர் இணை அமைவை வெளிப்படுத்துகின்றன. (எதிர்ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருட்களை போன்றே) மற்றும் பொருளில் அருகு பெருங்கூறில் உள்ள சிறு வேறுபாடுகள் காந்தப் புலத்தை உருவாக்குகின்றன (படம். 4.18).



படம் 4.18: (a) பாரா காந்த, (b) ஃபெரோ காந்த, (c) ஃபெர்ரி காந்த மற்றும் (d) எதிர்– ஃபெரோ காந்த பொருட்களின் சுழல் சீரமைப்புகள்

ஃபெர்ரைட்ஸ், ஃபெர்ரிகாந்தவியலை வெளிப்படுத்துகின்றன. இவை மூலக்கூறு காந்தமாகவும் உள்ளன. பண்டைய ஃபெர்ரிகாந்த பொருட்கள் மாக்னடைட் (Fe_3O_4) ஆகும். ஃபெர்ரிகாந்தபொருட்களின் கியூரி வெப்பநிலை (e.g. 580°C மாக்னடைட்டுக்கு) ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருட்களினுடையதைவிட (e.g. 1131°C Co க்கு) குறைவு.

ஃபெர்ரோகாந்தப் பொருட்களை போன்றே, இவ்வகைப் பொருட்களும் கியூரி வெப்பநிலைக்கு அருகில் வெப்பநிலை சார்ந்த காந்தமாக்கலையும் காந்த ஏற்புத்திறனையும் பெற்றுள்ளன. குறிப்பாக இவை, கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ் அதிக காந்தமாக்கலைக் கொண்டுள்ளன. (a) டயாகாந்த, (b) பாராகாந்த, (c) ஃபெர்ரோகாந்த, (d) எதிர்–ஃபெர்ரோகாந்த மற்றும் (e) ஃபெர்ரிகாந்த பொருட்களின் M-H வளைவு படம் 4.19 இல் காட்டப்பட்டுள்ளது.



படம் 4.19: (a) டயாகாந்த, (b) பாராகாந்த, (c) ஃபெரோகாந்த, (d) எதிர்– ஃபெரோகாந்த மற்றும் (e) ஃபெர்ரிகாந்த பொருட்களின் M-H வளைவு

4.20 ஃபெர்ரைட்ஸ்

ஃபெர்ரைட்ஸ் உலோகத்தன்மையற்றவை, செராமிக் போன்றது மற்றும் இதன் மூலக்கூறு வாய்ப்பாடு M (Fe_xO_y), இங்கு M என்பது இரு இணைதிறன் பிணைப்பை கொடுக்கும் ஏதேனும் ஒரு உலோகமாகும். உ.ம். நிக்கல் ஃபெர்ரைட்ஸ் ($NiFe_2O_4$).

ஃபெர்ரைட்ஸின் சில பண்புகள்:

தன்னிறைவு காந்தமாக்கலின் முக்கியத்துவம்

- உயர் மின்தடை எண்
- குறைந்த மின் இழப்பு
- சிறந்த ரசாயன நிலைத்தன்மை

ஃபெர்ரைட்ஸ் பயன்கள்:

- நிலைத்த காந்தம்
- மின்மாற்றி மற்றும் வரிச் சுருள் மின்தூண்டிகள் (ஃபெர்ரைட்ஸ் உள்ளகமாக)
- கணினி நினைவக கூறு
- திட–நிலை சாதனங்கள்

செவ்வக வடிவிலான ஃபெர்ரைட்ஸின் தயக்க வளைவு.

ஃபெர்ரைட்ஸ் மற்றும் ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களுக்கிடையேயான வேறுபாடுகள்

ஃபெர்ரைட்ஸ் கீழ்க்கண்ட முறையில் ஃபெர்ரோ காந்தப் பொருட்களிலிருந்து வேறுபடுகிறது.

(i) ஃபெர்ரைட்ஸின் காந்தத் தூண்டல் அளவு மிகவும் சிறியது.

(ii) ஃபெர்ரைட்ஸ் உயர்ந்த காந்த உட்புகுத்திறன் மற்றும் குறைந்த தயக்க இழப்பைக் கொண்டது.

(iii) ஃபெர்ரைட்ஸ் புறக்கணிக்கத்தக்க அளவிலான மின்கடத்துத்திறனைக் கொண்டுள்ளது.

ஃபெர்ரைட்ஸ் அவற்றின் காந்தப் பண்பைப் பொருத்து மென்காந்தப் பொருட்கள் மற்றும் வன்காந்தப் பொருட்கள் என இருவகையாக பிரிக்கப்பட்டுள்ளன.

4.20.1 மென் காந்தப் பொருட்கள்

பெருங்கூறின் சுவர் நகர்வதால் இவ்வகைப் பொருட்கள் எளிதாக காந்தமாக மாறவும், காந்தப்ப பண்பை இழக்கவும் முடிகிறது. எனவே, இவை தற்காலிக காந்தங்களை உருவாக்க பயன்படுகிறது (அதாவது

மின்காந்தங்கள்). இவை எந்தவொரு குறையையும் பெற்றிருக்காமல் ஓர் திசைப் பண்பு கொண்டுள்ளதால் இப்பொருட்கள் மாசுகளால் பாதிக்கப்படுவதில்லை. வேறு சில முக்கியமான பண்புகளாவன:

(i) இவை குறைந்த தயக்க பரப்பு உள்ளதால் குறைந்த தயக்க இழப்பை கொண்டுள்ளன.

(ii) ஏற்புத்திறன் மற்றும் உட்புகுத்திறன் குறைவு.

(iii) காந்த நீக்குத்திறன் மற்றும் தேக்குத்திறன் குறைவு.

(iv) காந்த ஆற்றல் தேக்குத்திறன் குறைவு.

(v) உயர் மின்தடை எண் கொண்டதால் சூழல் மின்னோட்டமும் குறைவு.

(vi) குறைந்த தேக்குத்திறன் மற்றும் குறைந்த நீக்குத்திறன் கொண்டுள்ளதால் நிலைத்த காந்தங்களை உருவாக்கலாம்.

4.20.2 வன்காந்தப் பொருட்கள்

புறகாந்தப் புலத்தை நீக்கிய பின்பும் இவ்வகைப் பொருட்கள் காந்தப் பண்புகளை பெற்றுள்ளன. குறிப்பாக இவற்றின் காந்தமாக்கலை நீக்குவது மிகக் கடினம். எனவே, இவ்வகைப் பொருட்கள் நிலைத்த காந்தங்களை உருவாக்கப் பயன்படுகின்றன. நிலைத்த காந்தங்களை உயர்வெப்ப நிலைக்கு சூடேற்றி உடனடியாக குளிர்வித்தால் அவற்றின் பெருங்கூறின் சுவர்கள் நகராத தன்மையை அடைந்துவிடுகின்றன. வன்காந்தப் பொருட்களின் வலிமை சில மாசுக்களை சேர்ப்பதால் உயர்கின்றன. இவற்றின் வேறு சில பண்புகளை பற்றி பின்வருமாறு பார்க்கலாம்:

(i) இவை உயரிய தயக்க பரப்பை பெற்றுள்ளதால் அதிகமான தயக்க இழப்பையும் கொண்டுள்ளன.

(ii) ஏற்புத்திறன் மற்றும் உட்புகுதிறன் குறைவு.

(iii) காந்த நீக்குத்திறன் மற்றும் தேக்குத்திறன் அதிகம்.

(iv) உயரிய காந்த ஆற்றல் சேமிப்பு கொண்டது.

(v) உயர் B-H மதிப்பு கொண்டது.

(vi) சூழல் மின்னோட்டத்தால் ஏற்படும் இழப்பும் அதிகம்.

அலகு சுருக்கம்

- **காந்தத் தூண்டல் அல்லது காந்த பாய அடர்த்தி (b)**
  கொடுக்கப்பட்ட பரப்புக்கு செங்குத்தாக உள்ள காந்தப் பாயங்களின் எண்ணிக்கை.
- **காந்தப் புல செறிவு (H)**

$$H = \frac{B}{\mu_0}$$

- **காந்தமாக்கல் (M)**

$$M = \frac{\mu}{V} = \frac{m}{\alpha}$$

- **காந்த ஏற்புத்திறன்**

$$\chi = \frac{M}{H}$$

- **B, H மற்றும் M க்கிடையே உள்ள தொடர்பு**

  $\vec{B} = \mu_0 \left(\vec{M} + \vec{H} \right)$

- **காந்தப் பொருட்கள் மற்றும் அவற்றின் வகைப்பாடுகள்**

  டயா காந்தம்: நிலைத்த இருமுனைகள் கிடையாது.

  பாரா காந்தம்: நிலைத்த இருமுனைகள் கொண்டது.

  ஃபெர்ரோ காந்தம்: காந்த தயக்கத்தைக் கொண்டது.

  ஃபெர்ரி காந்தம்: கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் பாராகாந்தமாகிவிடும்

  ஃஎதிர்–பெர்ரி காந்தம்: இதன் ஏற்புத்திறன் கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ் வெப்பநிலையை பொருத்து உயரும், கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் வெப்பநிலையை பொருத்து குறையும்.

- **நிலைத்த காந்த இருமுனைகளின் கோட்பாடு**

  தற்சுழற்சி கோண உந்தம்: $\mu = g\left(\frac{e}{2m}\right)\frac{\hbar}{2}$

  அணுக்கரு தற்சுழற்சி கோண உந்தம்: $\mu_n = \frac{e\hbar}{2M}$

- **ஹுண்ட் விதி**

  நிரப்பப்பட்ட எலெக்ட்ரான் கூடுகள் அணுவின் காந்த திருப்புத்திறனுக்கு பங்களிப்பை செய்வதில்லை பதிலாக பகுதியளவு நிரம்பிய கூடுகளே காரணம்

- **டயாகாந்தவியலின் லாஞ்சிவின் கோட்பாடு**

  $\overrightarrow{\mu_{in}} = -\frac{\mu_0 e^2 \bar{r}^2}{6m}\vec{H}$ $\qquad$ $\chi_{dia} = -\frac{N\mu_0 Ze^2}{6m}\bar{r}^2$

- **பாராகாந்தவியலின் லாஞ்சிவின் கோட்பாடு**

  $\chi = \frac{C}{T}$

- **வெய்ஸ் மூலக்கூறுப் புலக்கோட்பாடு**

  $\chi = \frac{C}{T-\theta}$

- **பெர்ரோ காந்தவியல் – வெய்ஸ் மூலக்கூறுப் புலக்கோட்பாடு**

  $\chi = \frac{C}{T-\theta_f}$

- **டயா, பாரா, பெர்ரோ காந்தப் பொருட்களின் வேறுபாடுகள்**

  டயாகாந்தம்: காந்த உட்புகுத்திறன் மற்றும் ஏற்புத்திறன் < 1

  பாராகாந்தம்: காந்த உட்புகுத்திறன் மற்றும் ஏற்புத்திறன் > 1

  பெர்ரோகாந்தம்: காந்த உட்புகுத்திறன் மற்றும் ஏற்புத்திறன் >> 1

- **B-H வளைவு**

  பெர்ரோ காந்த பொருட்களின் வளைவு (அல்லது காந்தமாக்கலின் வளைவு) பாய அடர்த்தி (b) க்கும் காந்தமாக்கல் விசை (H) க்கும் உள்ள தொடர்பைக் குறிக்கிறது.
- **காந்தத் தயக்கம்**

  $W_h = V_x$ (கண்ணியின் பரப்பு) Joules
- **எதிர்பெர்ரோகாந்தவியல்**

  எதிர்பெர்ரோகாந்த பொருட்கள் நீல் வெப்பநிலைக்கு கீழ் தன்னிச்சை யான காந்தமாக்கலை அடைகின்றன. அவ்வெப்பநிலைக்கு மேல் அவை பாரா காந்தமாகின்றன.
- **எதிர்பெர்ரோகாந்தவியலின் நீலின் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாடு**

  $$\chi = \frac{C}{T + \theta}$$
- **பெர்ரிகாந்த பொருட்கள்**

  கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ் அதிக காந்தமாக்கலைக் கொண்டுள்ளன.
- **பெர்ரைட்ஸ்**

  பெர்ரைட்ஸ் உலோகமற்ற, செராமிக்–போன்றது. பெர்ரிக் ஆக்சைடின் கலவைகளாகும். உயர் மின்தடை எண் கொண்டவை.

  பெர்ரைட்ஸ் மென் மற்றும் வன்காந்தப் பொருட்கள் என இருவகை உள்ளன.

பயிற்சிகள்

கொள்குறி வகை வினாக்கள்

4.1 பெர்ரோ காந்தப் பொருட்களின் காந்த ஏற்புத்திறன்

(a) $\chi = \frac{1}{T}$ (b) $\chi = \frac{c}{T - \theta}$

(c) $\chi = \frac{c}{T + \theta}$ (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

4.2 போர் மேக்னேட்டானின் கோவை

(a) $\frac{eh}{2m}$ (b) $\frac{eh}{4m}$ (c) $\frac{eh}{4\pi m}$ (d) $\frac{eh}{2\pi m}$

4.3 கியூரி – வெயிஸ் விதியைப் பின்பற்றுபவை

(a) பாராகாந்தம்

(b) எதிர்பெர்ரோ காந்தம்

(c) கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் பெர்ரோ காந்தம்

(d) கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ் பெர்ரோ காந்தம்

4.4 எதிர்குறி காந்த ஏற்புத்திறன் மதிப்பு கொண்டவை எவை ?

(a) பாராகாந்தம் (b) டயாகாந்தம்

(c) பெர்ரோகாந்தம் (d) எதிர் பெர்ரோகாந்தம்

4.5 எதிர்–பெர்ரோ காந்தவியலின் கியூரி–வெய்ஸ் விதி

(a) $\chi_m = \dfrac{C}{T - \theta_N}$ (b) $\chi_m = \dfrac{C}{T}$

(c) $\chi_m = \dfrac{C}{T + \theta_N}$ (d) $\chi_m = \dfrac{CT}{T + \theta_N}$

4.6 பாரா காந்த ஏற்புத்திறன் _____ ஆக மாறுகிறது

(a) $1/T$ (b) T

(c) T^2 (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

4.7 காந்தப் புல செறிவின் அலகு

(a) Am^2 (b) A/m (c) Wb/m^2 (d) Wb/m

4.8 B, H மற்றும் M க்கிடையே உள்ள தொடர்பு

(a) $\vec{B} = \dfrac{\vec{H}}{\mu_0} - \vec{M}$ (b) $\vec{H} = \dfrac{\vec{M}}{\mu_0} - \vec{B}$ (c) $\vec{H} = \dfrac{\vec{B}}{\mu_0} - \vec{M}$ (d) $\vec{H} = \vec{B} - \mu_0 \vec{M}$

4.9 1 போர் மேக்னெட்டான் என்பது

(a) $7.29 \times 10^{-24}\ Am^2$ (b) $7.92 \times 10^{-24}\ Am^2$

(c) $9.72 \times 10^{-24}\ Am^2$ (d) $9.27 \times 10^{-24}\ Am^2$

4.10 வெற்றிட காந்த உட்புகுத்திறன்

(a) $4\pi \times 10^{-7}$ H/m (b) $4\pi \times 10^{-7}$ H-m (c) $4\pi \times 10^{7}$ H-m (d) $4\pi \times 10^{7}$ H/m

4.11 பெர்ரோ காந்த நிலையிலிருந்து பாரா காந்த நிலைக்கு மாறுவது

(a) கியூரி–வெய்ஸ் வெப்பநிலை (b) கியூரி வெப்பநிலை

(c) நீல் வெப்பநிலை (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

4.12 டயா காந்தப் பொருட்களின் ஏற்புத்திறன்

(a) சிறியது; நேர்க்குறியுடையது (b) பெரியது; நேர்க்குறியுடையது

(c) சிறியது; எதிர்க்குறியுடையது (d) பெரியது; எதிர்க்குறியுடையது

4.13 கீழ்க்கண்டவற்றுள் எவை நிலைத்த காந்த இருமுனைகளைக் கொண்டது ?

(a) டயா காந்தம் (b) பாரா காந்தம் (c) பெர்ரோ காந்தம் (d) பெர்ரி காந்தம்

4.14 பாராகாந்தப் பொருட்கள் டயா காந்தப் பொருட்களாக மாறும்

(a) கியூரி வெப்பநிலையில் (b) கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ்

(c) கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

4.15 பெர்ரி காந்த நிலையிலிருந்து பெர்ரோ காந்த நிலைக்கு எந்த வெப்பநிலைக்கு கீழ் மாறும் ?

(a) கியூரி–வெய்ஸ் வெப்பநிலை (b) கியூரி வெப்பநிலை

(c) நீல் வெப்பநிலை (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

4.16 கீழ்க்கண்டவற்றுள் எவை எதிர் அமைவும் சமமற்ற எண்மதிப்பும் கொண்டவை ?

(a) டயாகாந்தம் (b) பாராகாந்தம் (c) பெர்ரோகாந்தம் (d) பெர்ரிகாந்தம்

4.17 மின்காந்தங்கள் _____ ஐக் கொண்டுள்ளன.

(a) குறைந்த நீக்குத்திறன் மற்றும் குறைந்த தேக்குத்திறன்

(b) குறைந்த நீக்குத்திறன் மற்றும் உயரிய தேக்குத்திறன்

(c) உயரிய நீக்குத்திறன் மற்றும் குறைந்த தேக்குத்திறன்

(d) உயரிய நீக்குத்திறன் மற்றும் உயரிய தேக்குத்திறன்

4.18 கீழ்க்கண்டவற்றுள் எவை காந்த தயக்கத்தை கொண்டுள்ளன ?

(a) டயா காந்தம் (b) பாரா காந்தம்

(c) பெர்ரோ காந்தம் (d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

4.19 கீழ்க்கண்டவற்றுள் எந்த ஸ்டீல் காந்தமாக்க எளிதானது ?

(a) பெருங்கூறு அற்ற போக்கு கொண்டவை

(b) பெருங்கூறு போக்கு கொண்டவை

(c) கலப்பு இரும்பு

(d) ஸ்டெயின்லெஸ் ஸ்டீல்

4.20 உயர் அதிர்வெண் பயன்பாட்டில், _____ பண்பால் பெர்ரைட்ஸ் முக்கியத்துவம் பெறுகிறது

(a) உயர் உட்புகுத்திறன் (b) உயர் மின்தடை எண்

(c) உயர் தன்னிறைவு காந்தமாக்கல் (d) இருமடி தயக்க கண்ணி

4.21 வன் பெர்ரைட்ஸ் _____ தயாரிக்க பயன்படுகிறது

(a) மின்மாற்றி உள்ளகம் (b) மின்சார இயந்திரம்

(c) எடைகுறைந்த நிலைத்த காந்தம் (d) உயர் அதிர்வெண் சாதனம்

4.22 கீழ்க்கண்ட எந்த வெப்பநிலையில் எதிர் பெர்ரோ காந்த பொருள் பாரா காந்தப் பொருளாக மாறுகின்றன ?

(a) கியூரி வெப்பநிலை (b) நீல் வெப்பநிலை

(c) மாறுநிலை வெப்பநிலை (d) வெய்ஸ் வெப்பநிலை

4.23 எதிர் பெர்ரோகாந்தப் பொருட்களுக்கு ஏற்புத்திறன் அதிகமாக உள்ளது

(a) கியூரி வெப்பநிலை (b) நீல் வெப்பநிலை

(c) மாறுநிலை வெப்பநிலை (d) வெய்ஸ் வெப்பநிலை

4.24 கியூரி வெயிஸ் விதியானது _____ சரியானது

(a) கியூரி வெப்பநிலையில் (b) கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ்

(c) கியூரி வெப்பநிலைக்கு மேல் (d) நீல் வெப்பநிலைக்கு மேல்

4.25 மென்காந்தப் பொருட்களின் B-H வளைவின் பரப்பு

(a) வன்காந்தப் பொருளினுடையதுக்கு சமம்

(b) வன்காந்தப் பொருளினுடையதை விட குறைவு

(c) வன்காந்தப் பொருளினுடையதை விட அதிகம்

(d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

4.26 பெர்ரோகாந்தப் பொருட்களுக்கு ஏற்புத்திறன்,

(a) மிகச் சிறியது; நேர்க் குறியுடையது (b) மிகச் சிறியது; எதிர்க் குறியுடையது

(c) மிகப்பெரியது; நேர்க் குறியுடையது (d) மிகப்பெரியது; எதிர்க் குறியுடையது

4.27 நிலைத்த காந்த இருமுனைத் திருப்புத்திறன் கொண்டவை

(a) பாரா காந்த பொருள் (b) பெர்ரோ காந்த பொருள்

(c) பெர்ரிகாந்த பொருள் (d) டயா காந்த பொருள்

4.28 தன்னிச்சையான காந்தமாக்கலை காண்பிப்பவை

(a) பாராகாந்தக் கலவை (b) பெர்ரோ காந்த கலவை

(c) எதிர் பெர்ரோ காந்த கலவை (d) பெர்ரி காந்த கலவை

4.29 பெர்ரைட்ஸ் என்பவை

(a) பெர்ரோ காந்த பொருட்கள் (b) பெர்ரி காந்த பொருட்கள்

(c) பாராகாந்த பொருட்கள் (d) டயா காந்த பொருட்கள்

4.30 பாராகாந்த பொருட்களில் χ_m என்பது

(a) மிகச் சிறியது; நேர்க் குறியுடையது (b) மிகச் சிறியது; எதிர்க் குறியுடையது

(c) மிகப்பெரியது; நேர்க் குறியுடையது (d) மிகப்பெரியது; எதிர்க் குறியுடையது

4.31 பெர்ரோ காந்த பொருட்களுக்கான கியூரி–வெய்ஸ் விதி

(a) $\chi = \frac{C}{T-\theta}$ (b) $\chi = \frac{C}{T}$ (c) $\chi = \frac{C}{T+\theta}$ (d) $\chi = \frac{CT}{T-\theta}$

4.32 சார்பு உட்புகுத்திறன் 0.95 எனில், மாதிரியானது,

(a) பாராகாந்தம் (b) பெர்ரோகாந்தம் (c) பெர்ரிகாந்தம் (d) டயாகாந்தம்

கொள்குறி வகை வினா–விடைகள்
4.1 (b), 4.2 (c), 4.3 (c), 4.4 (b), 4.5 (c), 4.6 (a), 4.7 (b), 4.8 (c), 4.9 (d), 4.10 (a), 4.11 (b), 4.12 (c), 4.13 (a), 4.14 (b), 4.15 (b), 4.16 (d), 4.17 (a), 4.18 (c), 4.19 (b), 4.20 (b), 4.21 (d), 4.22 (b), 4.23 (b), 4.24 (a), 4.25 (c), 4.26 (c), 4.27 (d), 4.28 (b), 4.29 (b), 4.30 (a), 4.31 (a), 4.32 (d)

சிறு மற்றும் பெரு வினாக்கள்

வகை I

4.1 வெய்ஸ் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாட்டின் குறைகளைக் கூறுக.

4.2 லார்மர் அதிர்வெண்ணைப் பயன்படுத்தி தூண்டப்பட்ட காந்த திருப்புத்திறனின் கோவையை பெறுக.

4.3 கியூரி வெய்ஸ் விதியிலிருந்து கியூரி வெப்பநிலையை பெறுக.

4.4 டயா காந்தம், பாராக்காந்தம் மற்றும் பெர்ரோ காந்தங்களை வேறுபடுத்துக.

4.5 பெர்ரோ காந்தப் பொருட்களுக்கு $\vec{B}$, $\vec{M}$ மற்றும் μ_r இடையேயான தொடர்பை பெறுக.

4.6 மென் மற்றும் வன்காந்தப் பொருட்களுக்கான இரு உதாரணம் தருக.

4.7 தயக்க இழப்பின் நடைமுறைப் பயன்களை குறிப்பிடுக.

4.8 பெர்ரோ காந்தப் பொருட்களுக்கு B-H வளைவை வரைந்து நீக்குத் திறன் மற்றும் தேக்குத்திறன்களை அடையாளப்படுத்துக. ஒரு சுற்றுக்கான ஆற்றல் இழப்பை கண்டறிக.

4.9 கடின இரும்பு மற்றும் வார்ப்பிரும்புக்கான தயக்க வளைவை வரைந்து உங்கள் கருத்தை எழுதுக.

4.10 காந்த பாய அடர்த்தியின் பங்கைக் குறிப்பிடுக.

4.11 வேறுபட்ட காந்தப் பொருட்களின் முக்கியத்துவத்தை விவரிக்க.

4.12 பின்வரும் சொற்களை விளக்குக: a) உட்புகுத்திறன், b) காந்த ஏற்புத்திறன், c) காந்த திருப்புத் திறன் d) காந்தமாக்கல்.

4.13 பெர்ரைட்ஸின் பண்புகளையும் பயன்பாடுகளையும் விளக்குக.

4.14 பாரகாந்தவியலின் லாஞ்சிவின் கோட்பாட்டின் மீதான கியூரி விதியை வருவிக்க.

4.15 டயா காந்தப் பொருளின் எதிர்குறி ஏற்புத்திறனின் காரணத்தை விளக்குக.

4.16 காந்தப் பெருங்கூறைப் பொருத்து பெர்ரோ காந்த பொருட்களுக்கான பண்புகளை விளக்கு மற்றும் போர் மாக்னெட்டானின் மதிப்பைப் பெறுக.

4.17 மென் மற்றும் வன்காந்தப் பொருட்களை வேறுபடுத்துக.

4.18 பெர்ரோ காந்த பொருட்களுக்கான ஏற்புத்திறனை கண்டறியும் முறையை விளக்குக.

4.19 தயக்கத்தினால் ஓரலகு கனஅளவில் உண்டாகும் ஆற்றல் இழப்பை காண்க.

4.20 லாஞ்சிவின் பண்டைய கோட்பாட்டை பின்பற்றி, டயா காந்த ஏற்புத்திறனுக்கான கோவையை தருவி. வெப்பநிலை சார்ந்த டயா காந்த ஏற்புத்திறனை விவாதிக்க.

4.21 தயக்கம், நீக்குத்திறன் மற்றும் தேக்குத்திறன் பற்றி நீ அறிந்ததென்ன ? தயக்க கண்ணி என்றால் என்ன ? கண்ணியிலிருந்து தேக்குத்திறன் மற்றும் நீக்குத்திறனை எவ்வாறு கண்டறியலாம் ?

4.22 பெர்ரைட்ஸ் என்றால் என்ன ? பெர்ரைட்ஸ் எவ்வாறு பெர்ரோ காந்த பொருளிலிருந்து வேறுபடுகிறது ? பெர்ரைட்ஸ் ஏன் வானொலி மற்றும் தொலைத் தொடர்பு சாதனங்களில் பயன்படுகிறது ? அவற்றின் பயன்பாட்டை விவாதி.

4.23 தயக்க வளைவின் பண்புகளை தேவையான படங்களுடன் குறிப்பிடுக.

4.24 ஹைட்ரஜன் அணுவில் எலெக்ட்ரானின் சுற்றுப்பாதையுடன் இணைந்த காந்த திருப்புத்திறனுக்கான கோவையை தருவி.

4.25 பெர்ரோ காந்த பொருள் மற்றும் எதிர் பெர்ரோ காந்த பொருள் ஆகியவற்றை வேறுபடுத்துக.

4.26 பெர்ரைட்ஸின் பல்வேறு பயன்களை குறிப்பிடுக.

4.27 பெருங்கூறுக் கோட்பாட்டினால் அடைந்தவை யாவை ?

4.28 கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ் பெர்ரோ காந்த பொருளின் தன்னிச்சையான காந்தமாக்கல் மற்றும் கியூரி வெப்பநிலைக்கு கீழ் கியூரி–வெயிஸ் விதி பற்றி விளக்குக.

வகை II

4.29 தன்னிச்சையான காந்தமாக்கலிலிருந்து நாம் பெரும் நடைமுறைப் பயன்பாடு யாது ?

4.30 லென்ஸ் விதியிலிருந்து டயா காந்தத்தின் மூலத்தை விவரிக்க.

4.31 பெர்ரோகாந்தத்தின் கியூரி விதியைப் பற்றிய கருத்தை கூறுக.

4.32 பாராகாந்தத்தின் கியூரி விதியின் பயன்பாடை நோக்குக.

4.33 குவாண்டம் கோட்பாட்டில் காந்த இருமுனையின் அனைத்து போக்கும் சாத்தியமா ? விளக்குக.

4.34 டயாகாந்தப் பொருள் பெரும்பாலும் ஏன் வெப்பநிலையைச் சார்ந்ததல்ல ?

4.35 பெர்ரோ காந்த பொருளின் கருத்தை வெய்ஸ் மூலக்கூறுப் புலக் கோட்பாட்டின் அடிப்படையில் விவரிக்க.

4.36 போர் மக்னேட்டான் என்றால் என்ன ? தனி இருமுனையின் காந்த திருப்புத்திறனை போர் மாக்னெட்டானைக் குறிப்பிடுகிறது எனக் காண்பி.

கணக்குகள்

4.1 Gd^{+3} க்கு பயனுறு போர் மேக்னெட்டானை கணக்கிடு. Gd^{+3} ன் எலெக்ட்ரான் வாய்ப்பாடு $4f^7 5s^2 5p^6$.

4.2 பொருளின் காந்தப் புல செறிவு மற்றும் ஏற்புத்திறன் முறையே $10^5 A/m$ மற்றும் 10^{-4} ஆகும். காந்தமாக்கல் புலத்தையும் பாய அடர்த்தியையும் காண்க.

4.3 ஒரு இரும்பின் மாதிரியின் நீளம் 5cm குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பு $10^{-4} m^2$, $2000 A/m^2$ அளவு காந்த திருப்புத்திறனை தோற்றுவிக்கிறது. காந்தப்புல செறிவு $10^5 A/m$ எனில் காந்தமாக்கலின் செறிவு மற்றும் காந்தத் தூண்டலைக் காண்க.

4.4 ஊடகத்தின் காந்த ஏற்புத்திறன் 1000 எனில் தனி மற்றும் சார்பு உட்புகுத்திறனைக் காண்க.

4.5 ஒரு பாராகாந்தப் பொருள் 10^{28} atoms/m^3 கொண்டுள்ளது. 330 K இல் இதன் ஏற்புத்திறன் 3.7×10^{-4} 300 K இல் ஏற்புத்திறனைக் காண்க. [விடை: 4.07×10^{-4}]

4.6 ஓரலகு கனஅளவில் 10^{28} அணுக்களைக் கொண்ட அரிதிற் தனிமத்தின் தன்னிறைவு காந்த மாக்கலைக் காண்க. அதன் காந்த திருப்புத்திறன் $4\mu_B$.

4.7 வெற்று சுருளினுள் உள்ள காந்தப் புலம் 10^{-4}T மற்றும் இரும்பு உள்ளீடாக உள்ளபோது 0.2T எனில், சார்பு உட்புகுத்திறனைக் கணக்கிடுக.

4.8 $200 A/m$ காந்தப் புலத்தில் உலோகக் கலவையின் காந்தமாக்கல் $1.2 \times 10^6 A/m$ எனில் காந்த ஏற்புத்திறன் மற்றும் காந்தத் தூண்டலைக் கணக்கிடுக.

4.9 $2000 A/m$ காந்தப்புலம் 0.5 cm^2 குறுக்கு வெட்டு பரப்பு கொண்ட இரும்பு தண்டில் உருவாக்கும் காந்த பாயம் 10^8 Wb எனில், தண்டின் ஏற்புத்திறன் மற்றும் உட்புகுத்திறனைக் காண்க.

4.10 இரும்பின் தன்னிறைவு காந்தமாக்கல் $1.5 \times 10^6 A/m$ எனில், இரும்பின் கியூரி மாறிலியைக் காண்க மற்றும் இரும்பின் காந்த திருப்புத்திறன் 4 போர் மேக்னெட்டான்.

செய்முறை

வளைவைப் பயன்படுத்தி காந்தப் பொருளின் ஆற்றல் இழப்பை கணக்கிடுக

நோக்கம்

காந்தப் பொருளின் (மின்மாற்றியின் உள்ளகம் மற்றும் பெர்ரைட் உள்ளகம்) வளைவை வரைந்து ஆற்றல் இழப்பை கணக்கிடுக.

உபகரணங்கள்

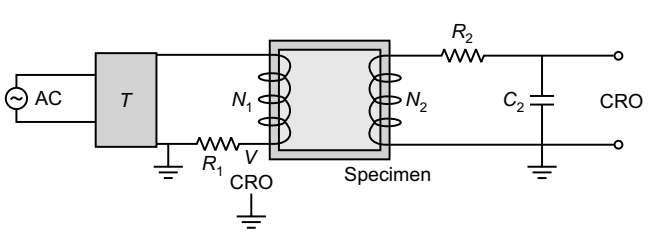
மின்தடைகள், மின்தேக்கிகள், மின்மாற்றியின் உள்ளகம், மல்டி மீட்டர், எதிர்க்கதிர் அலையியற்றி (CRO).

கோட்பாடு

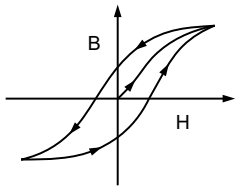
மின்மாற்றியின் உள்ளகத்தின் ஆற்றல் இழப்பை பின்வருமாறு,

$$E = \frac{N_1}{N_2} \times \frac{R_2}{R_1} \times \frac{C_2}{AL} \times S_V \times S_H \times \text{area of the loop} \qquad \text{(i)}$$

இங்கு N_1 மற்றும் N_2 முறையே முதன்மை மற்றும் இரண்டாம் மின்மாற்றியின் சுற்றுக்களாகும். R_1 மற்றும் R_2 முதல் மற்றும் இரண்டாம் சுற்றின் மின்தடைகளாகும். C_2 மின்தேக்கி, மாதிரியின் நீளம் L மற்றும் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு A ஆகும். S_H மற்றும் S_V ஆகியவை முறையே எதிர்க்கதிர் அலையியற்றியின் (CRO) கிடைத்தள மற்றும் செங்குத்து உணர்விகள்.



படம் (*i*)



படம் (*ii*)

வழிமுறை

1. சுற்றுப் படத்தை பொருத்து சுற்றை கட்டமைக்க. இறக்கு மின்மாற்றியின் (T) முதன்மை சுற்றுடன் ac மூலம் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. R_1 மற்றும் C_2 வழியேயான மின்னழுத்தங்களை முறையே CRO வின் கிடைத்தள மற்றும் செங்குத்து உள்ளீடுகளுக்கு கொடுக்கவேண்டும்.
2. இப்போது CRO இன் கிடைமட்ட மற்றும் செங்குத்து ஆதாயக் கட்டுப்பாடுகளைச் சரியாகச் சரிசெய்து பொருத்தமான அளவு வளையத்தைப் பெறுங்கள்.
3. ஒரு வரைபட தாளில் B-H வளைவை வரை.
4. இறுதியாக, ஆதாயக் கட்டுப்பாடுகளைத் தொந்தரவு செய்யாமல் கிடைமட்ட உணர்திறன் S_H மற்றும் செங்குத்து உணர்திறன் S_V ஐ V/cm இல் கண்டுபிடி.

அவதானிப்புகள்

அட்டவணை 1: மின்மாற்றி உள்ளகம் மற்றும் ஃபெரைட் உள்ளகத்திற்கான வெவ்வேறு அளவுருக்களை தீர்மானித்தல்

அளவுரு	மின்மாற்றி உள்ளகம்	ஃபெரைட் உள்ளகம்
S_1		
N_2		
R_1		
R_2		
C_1		
A		
L		
S_V		
S_H		

முன்தேவைகள்

1. மாதிரியை காந்தமாக்கும் சுருளின் மையத்தில் ஆய்வுக்கு அருகில் இருக்க வேண்டும்.
2. கண்ணியின் பரப்பளவு cm^2 இல் எடுக்கப்பட்டால், உணர்திறன் V/cm இல் வெளிப்படுத்தப்பட வேண்டும். இல்லையெனில் சுருளின் பரப்பளவு m^2 இல் வெளிப்படுத்தப்பட வேண்டும்.

முடிவுகள்

மின்மாற்றி உள்ளகத்தின் ஆற்றல் இழப்பு = …….. J/cycle/V

ஃபெரைட் உள்ளகத்தின் ஆற்றல் இழப்பு = …….. J/cycle/V

பயன்பாடுகள்

இச்சோதனையின் முடிவை ஆராய்ந்து குறைந்த ஆற்றல் இழப்பு கொண்ட மின்மாற்றி உள்ளகங்களை வடிவமைக்க வேண்டும்.

மேலும் அறிக

காந்த நிலைமம் என்பது காலத்தைப் பொருத்து மின்னோட்டங்கள் மாறாதபோது காந்தப்புலங்களைப் பற்றிய ஆய்வு ஆகும். நிலை மின்னியலில் மின்னூட்டங்கள் நிலையானதாக இருப்பதைப் போன்றது. நிரந்தர காந்தத்தைப் பயன்படுத்துவதன் மூலமோ அல்லது கம்பியின் சுருள் அச்சின் வழியாக மின்னோட்டத்தை அனுப்புவதன் மூலமோ காந்த நிலைமத்தை பெறலாம்.

செயல்பாடு

ஒரு நேர்திசை மின்னோட்டம், மின்னோட்டம் தாங்கிய பகுதியைச் சுற்றியுள்ள இடத்தில் ஒரு நிலையான காந்தப்புலத்தை உருவாக்குகிறது. நேர்திசை மின்னோட்டத்தின் அளவு மாறிலி அல்லது காலத்தைப் பொருத்து மெதுவாக மாறுபடும் பயன்பாடுகளுக்கு, காந்த மற்றும் மின்சார புலங்களுக்கு இடையே இணைப்பை புறக்கணிக்கப்படலாம். காந்த நிலைம ஆய்வு சில அனுமானங்கள் செல்லுபடியாகும் பயன்பாடுகளுக்கு ஒரு தீர்வை அளிக்கிறது. மின்காந்தக் கூறுகளை அனைத்துப் பகுதிகளுக்கும் பதிலளிக்கும் மாதிரியாகப் பயன்படுத்த வேண்டும். துல்லியமான தீர்வுகளைப் பெற, வடிவமைக்கப்பட்ட இடத்தின் வெளிப்புற எல்லை அனைத்து பக்கங்களிலும் சோதனைப் பகுதியிலிருந்து குறைந்தபட்சம் சில குறிப்பிட்ட நீள அளவுகளில் இருக்க வேண்டும். பயனர் வரையறுக்கப்பட்ட முனைகள் தனிமங்களின் வடிவியலை மட்டுமே வரையறுக்கின்றன. அதே நேரத்தில் கூறுகளின் சுதந்திரத்தின் அளவு இந்த முனை களுடன் தொடர்புடையது அல்ல. இது எல்லை நிலைமைகளைப் பயன்படுத்துவதற்கான தாக்கங்களைக் கொண்டுள்ளது.

சுவாரஸ்யமான உண்மைகள்

காந்தவியல் பகுப்பாய்வில், விறைப்பு அணி மிகவும் மோசமாக நிலையில் இருக்கலாம்; அதாவது, இது பல தனித்தன்மையைக் கொண்டிருக்கலாம். கணக்கிடப்பட்ட காந்தப்புலங்களை எதிர்மறையாக பாதிக்கும் நிலையில், நிபந்தனையற்ற அணியைத் தடுக்க ஒரு சிறப்பு மறுசீரமைப்பு தீர்வு நுட்பம் பயன்படுத்தப்படலாம். இயல்புநிலை எண் திட்டம் ஒன்றிணைக்கத் தவறும் சூழ்நிலைகள் சில நேரங்களில் இருக்கலாம். ஒரு நிலைப்படுத்தல் திட்டம் மோசமான சீரமைப்பின் விளைவுகளைத் தணிக்க உதவும். நிலைப்படுத்தல் காரணியின் அதிக மதிப்புகள் அதிக உறுதிப்படுத்தலுக்கு வழிவகுக்கும் மற்றும் நிலைப் படுத்தல் காரணியின் குறைந்த மதிப்புகள் குறைந்த நிலைப்படுத்தலுக்கு வழிவகுக்கிறது.

ஒப்புமை

காந்தவியல் பகுப்பாய்வு காந்தப் பாய்வு அடர்த்தி மற்றும் ஈர்க்கப்பட்ட நேரடி மின்னோட்டத்தின் கொடுக்கப்பட்ட மதிப்பில் காந்தப்புலத்தை அளிக்கிறது.

காலவரிசைகள்

600 BC – 1599 : மனிதர்கள் காந்த லோடுஸ்டோன் மற்றும் ஆம்பரின் ஈர்க்கும் பண்புகளை கண்டுபிடித்தனர். மேம்பட்ட சமூகங்கள், குறிப்பாக சீனர்கள் மற்றும் ஐரோப்பியர்கள் திசைகாட்டியில் உள்ள காந்தங்களின் பண்புகளை வெளிப்படுத்தினர், இது கடல்கள், ''புதிய உலகங்கள்'' மற்றும் பூமியின் காந்த துருவங்களின் இயல்பை ஆராயும் கருவி.

1600 – 1699 : அறிவியல் புரட்சியில், காந்தம் மற்றும் மின்சாரம் பற்றிய ஆய்வுக்கு முதல் உண்மையான அறிவியல் அணுகுமுறையை எடுத்த வில்லியம் கில்பர்ட் போன்ற ஒளிரும் நபர்கள் தம் கண்டுபிடிப்புகளை விரிவாக எழுதினர்.

1700 – 1749: நிலையான மின்சார இயந்திரங்கள் மற்றும் லெய்டன் ஜாடிகள் போன்ற கருவிகளின் உதவியுடன், விஞ்ஞானிகள் காந்தவியல் மற்றும் மின்சாரத்தின் அடிப்படைகளில் தங்கள் சோதனைகளைத் தொடர்ந்தன.

1775 – 1799: மின்சாரம் மற்றும் விலங்குகளின் காந்தவியல் பற்றிய விரிவான கோட்பாடு உட்பட சில பயனுள்ள தவறுகளை அறிந்துகொள்ள விஞ்ஞானிகள் முக்கியமான நடவடிக்கைகளை எடுத்தனர்.

1820 – 1829: மின்சாரம் ஒரு திசைகாட்டி ஊசியை நகர்த்துகிறது என்று ஹான்ஸ் கிறிஸ்டியன் ஓர்ஸ்டெட்டின் தற்செயலான கண்டுபிடிப்பு அறிவியல் உலகை உலுக்கியது; சோதனைகளின் தொடர்ச்சி யானது, உடனடியாக முதல் மின்காந்தம் மற்றும் மின்சார மோட்டருக்கு வழிவகுத்தது.

1830 – 1839: முதல் தந்தி கட்டமைக்கப்பட்டது மற்றும் மின்சாரம் மற்றும் காந்தவியலில் மைக்கேல் ஃபாரடே தனது புத்திசாலித்தனமான மற்றும் நீடித்த ஆராய்ச்சி மூலம் முதல் பழமையான மின்மாற்றி மற்றும் மின்னியற்றியைக் கண்டறிந்தார்.

பயன்பாடுகள் (நிஜ வாழ்க்கை / தொழில்துறை)

மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளின் சிறப்பு நிகழ்வாக காந்த நிலைமம் ஒரு முக்கியமான பயன்பாடு ஆகும். மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளிலிருந்து தொடங்கி, மின்னூட்டங்கள் நிலையானவை அல்லது நகருபவை என்று கருதி, மின் புலத்திற்கு இரண்டு சமன்பாடுகளாகவும், காந்தப் புலத்திற்கு இரண்டு சமன்பாடுகளாகவும் பிரிக்கலாம். ஆனால் இந்த புலங்கள் நேரம் மற்றும் ஒன்றுக்கொன்றைச் சாராமல் உள்ளன. மற்றொரு முக்கியமான பயன்பாடு ஃபாரடேயின் விதியை மீண்டும் அறிமுகப்படுத்துவதாகும். ஒரு வழக்கமான நூட்பம், தொடர்ச்சியான காந்தப்புலப் பிரச்சினைகளை அதிகரிக்கும் நேரப் படி களில் தீர்க்கவும், பின்னர் இந்தத் தீர்வுகளைப் பயன்படுத்தி தோராயமாக இருப்பினும், இந்த முறை மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளின் உண்மையான தீர்வு அல்ல. ஆனால் மெதுவாக மாறும் புலங்களுக்கு ஒரு நல்ல தோராயத்தை வழங்க முடியும்.

வழக்கு ஆய்வு (சுற்றுச்சூழல் / நிலைத்தன்மை / சமூக / நெறிமுறை சிக்கல்கள்)

காந்தவியல் பகுப்பாய்வில் முன் வரையறுக்கப்பட்ட வெப்பநிலை மற்றும் புல மாறிகளைக் குறிப்பிடப்பட வேண்டியது முக்கியம். இருப்பினும், பயனர் வரையறுக்கப்பட்ட புலங்கள் ஒரு பொருள் புள்ளியில் புல மாறிகளின் மதிப்பை பயனர் வழக்கத்தின் மூலம் மறுவரையறை செய்ய அனுமதிக்கின்றன. இந்த மதிப்புகள் வெப்பநிலை மற்றும் புலம்–மாறி–சார்ந்த பொருள் பண்புகளை மட்டுமே பாதிக்கும்.

விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள்

மின்காந்த உறுப்புகள் எந்த காந்தவியல் பகுப்பாய்வின் அனைத்து பகுதிகளையும் மாதிரியாக்கும் நோக்கத்திற்காக பயன்படுத்தப்பட வேண்டும். வழக்கமான வரையறுக்கப்பட்ட கூறுகளைப் போலல்லாமல், முனை அடிப்படையிலான இடைச்செருகலைப் பயன்படுத்துவதற்கு, இந்த கூறுகள் உறுப்பு விளிம்புகளில் காந்த வெக்டர் ஆற்றலின் தொடுவான கூறுகளுடன் விளிம்பு அடிப்படையிலான இடைச்செருகலைப் பயன்படுத்துகின்றன, இதனால் சுதந்திரத்தின் முதன்மை அளவுகளாக செயல்படுகின்றன. மின்காந்த உறுப்புகள் நிலையான இரண்டு பரிமாணங்களில் (சமதளம் மட்டும்) மற்றும் மூன்று பரிமாணங்களில் கிடைக்கின்றன. சமதள கூறுகளை ஒரு காந்த வெக்டர் ஆற்றலின் அடிப்படையில், தளத்திற்கு வெளியே மட்டுமே கூறுகளை கொண்டுள்ள காந்த பாய அடர்த்தி மற்றும் காந்தப்புல வெக்டர்களை தளத்திற்கு உள்ளும் வடிவமைக்க முடியும்.

மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள்

1. D. J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersy, 1999.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, Fundamental of Physics, 11th Edition, 2018.
3. W. Saslow, Electricity, Magnetism and Light, Harcourt/Academic-Elsevier, Stamford, 2002.
4. A. Aharoni, Introduction to the Theory of Ferromagnetism. Clarendon Press, 1996.
5. R. P. Feynman, Robert B. Leighton, Matthew Sands, The Feynman Lectures on Physics, 2, 2006.
6. E. M. Purcell, Electricity and Magnetism, 3rd Edition, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2012.
7. H. Kronmüller, S. Parkin, Handbook of Magnetism and Advanced Magnetic Materials, 5 Volume Set. John Wiley & Sons, 2007.
8. https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/112108150/pdf/Web_Pages/WEBP_M16.pdf
9. https://unlcms.unl.edu/cas/physics/tsymbal/teaching/EM-913/section6-Magnetostatics.pdf
10. http://siva.bgk.uni-obuda.hu/~szakacs/segedanyagok/0910/MEEN/coey-magnetism.pdf

5 ஃபாரடேவின் விதிகள்

அலகு குறிப்பீடு

பின்வரும் அம்சங்களை இவ்வலகில் கூர்ந்து நோக்குவோம்

- காந்த பாயம், பாய அடர்த்தி;
- சுழல் மின்னோட்டம்;
- மின்காந்த தூண்டல் விதிகள்;
- அதன் வகை மற்றும் தொகைக்கெழு வடிவம்;
- லென்ஸ் விதி மற்றும் ஆற்றல் அழிவின்மை விதி;
- தூண்டப்பட்ட மற்றும் அதன் உருவாக்க முறைகள்;
- தன் மின் தூண்டல் எண், பரிமாற்று தூண்டல் எண், அவற்றின் அலகு மற்றும் பரிமாணங்கள்;
- சார்பு மற்றும் இணைப்புக் குணகம்;
- காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட சுருளில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றல்.

தலைப்புகளின் நடைமுறை பயன்பாடுகள் மேலும் ஆர்வத்தையும் படைப்பாற்றலையும் உருவாக்கு வதற்கும் கணக்குகளை தீர்க்கும் திறனை மேம்படுத்துவதற்கும் விவாதிக்கப்படுகின்றன.

ப்ளூமின் வகைபிரிப்பின் குறைந்த மற்றும் உயர் வரிசையைத் தொடர்ந்து இரண்டு பிரிவுகளில் குறிக்கப்பட்ட பல தேர்வு கேள்விகள் மற்றும் குறுகிய, நீண்ட பதில் வகைகளின் கேள்விகள், பல எண் கணக்குகளின் மூலம் பணிகள், குறிப்புகளின் பட்டியல் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் ஆகியவை இவ்வலகில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அதனால் ஆர்வத்துடன் ஒருவர் பயிற்சி செய்ய முடியும். ஆர்வமுள்ள பல்வேறு தலைப்புகளில் கூடுதல் தகவல்களைப் பெறுவதற்கு சில QR குறியீடுகள் வெவ்வேறு பிரிவுகளில் வழங்கப்பட்டுள்ளன, அவை தொடர்புடைய அறிவுக்கு ஸ்கேன் செய்யலாம்.

தொடர்புடைய நடைமுறைக்குப் பிறகு, உள்ளடக்கத்தின் அடிப்படையில், ''மேலும் அறிக'' என்ற பிரிவு உள்ளது. இந்த பகுதி நியாயமான முறையில் வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் இந்த பகுதியில் வழங்கப்பட்ட துணை தகவல்கள் புத்தகத்தின் பயனர்களுக்கு பயனளிக்கும். இந்த பிரிவு முக்கியமாக ஆரம்ப செயல்பாடு, சில சுவாரஸ்யமான உண்மைகளின் எடுத்துக்காட்டுகள், ஒப்புமை, முக்கிய அவதானிப்புகள் மற்றும் கண்டுபிடிப்புகளை மையமாகக் கொண்ட பொருளின் வளர்ச்சியின் வரலாறு, சம்பந்தப்பட்ட தலைப்புகளின் வளர்ச்சியிலிருந்து தொடங்கி சமீபத்திய காலம் வரையிலான காலக்கெடு, பொருள் சார்ந்த பயன்பாடுகள், அன்றாட நிஜ வாழ்க்கை அல்லது / மற்றும் தொழில்துறை பயன்பாடுகளுக்கான பல்வேறு அம்சங்கள், சுற்றுச்சூழல், நிலைத்தன்மை, சமூக மற்றும் நெறிமுறை சிக்கல்கள் தொடர்பான வழக்கு ஆய்வு எதுவாக இருந்தாலும் பொருந்தும், இறுதியாக அலகு பற்றிய விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பகுத்தறிவு

பாரடே விதிகள் என்ற இவ்வலகில் காந்த பாயம், பாய அடர்த்தி மற்றும் சுழல் மின்னோட்டங்கள் ஆகிய அடிப்படை கருத்துக்களை பற்றி மாணவர்கள் தெளிவாக புரிந்துகொள்ள முடியும். மின்காந்த தூண்டல் விதிகள் மற்றும் லென்ஸ் விதி, தன் மின் தூண்டல் எண், பரிமாற்று தூண்டல் எண், மற்றும் அனைத்திலும் உபயோகப்படும் அவற்றின் பயன்பாடுகளான மின்மாற்றி, காந்தப் புலத்தில் சுருளில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றல் ஆகியவை விவாதிக்கப்படுகின்றன.

பாரடே விதிகள் மின்னோட்டங்கள் எவ்வாறு காந்தப் புலத்திற்கு காரணமாக அமைகின்றன என்பதை தெளிவாக விளக்குகின்றன.

மேலும், கடத்திகளுக்குள் ஏற்படும் காந்தப் பாய மாற்றம் எவ்வாறு மின்னோட்டங்களை உரு வாக்குகின்றன என்பதையும் தெரிவிக்கின்றன. பாரடேவின் மின்காந்தத் தூண்டல் விதிகள் நவீன தொழில்நுட்பத்திற்கு மிகவும் அடிப்படை எந்திரங்களான மின் மோட்டார்கள், மின்னியற்றிகள், மின் மாற்றிகள் ஆகியவற்றை வடிவமைக்க உதவுகின்றன. தூண்டல் தத்துவத்தை பயன்படுத்தி மின்திறன் சட்டங்கள் மற்றும் அவற்றுள் பொருந்தக்கூடிய பொருட்களையும் உருவாக்க முடிகிறது. தொடர்ச்சியாக, மேக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளை பயன்படுத்தி மின்னியல் மற்றும் காந்தவியலுக்கான தொடர்பை விளக்கலாம்.

முன்–தேவைகள்

- **கணிதம்:** திசையன் நுண்கணிதம் (வகுப்பு XII)
- **இயற்பியல்:** மின்காந்தவியல் (வகுப்பு XII)

அலகு வெளிப்பாடுகள்

இந்த அலகு வெளிப்பாடுகளின் பட்டியல் பின்வருமாறு:

U5-O1: காந்த பாயம், பாய அடர்த்தி, சுழல் மின்னோட்டங்களை விளக்குக

U5-O2: மின்காந்த தூண்டல் விதிகளையும் அதன் வகை மற்றும் தொகைக்கெழு வடிவம், லென்ஸ் விதி மற்றும் ஆற்றல் அழிவின்மை விதியை விளக்குக

U5-O3: தூண்டப்பட்ட e.m.f. மற்றும் அதன் உருவாக்க முறைகளை விளக்குக

U5-O4: தன் மின் தூண்டல் எண், பரிமாற்று தூண்டல் எண், அவற்றின் அலகு மற்றும் பரிமாணங்கள் மற்றும் சார்பு மற்றும் இணைப்புக் குணகம் ஆகியவற்றை விவரி

U5-O5: காந்தப் புலத்தில் வைக்கப்பட்ட சுருளில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றலைக் கணக்கிடுக.

அலகு – 5 விளைவு	எதிர்பார்க்கப்படும் பாடநெறி நடவடிக்கைகள் (1- பலவீனமான தொடர்பு; 2- நடுத்தர தொடர்பு; 3- வலுவான தொடர்பு)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U5-O1	3	–	2	1	–	–
U5-O2	2	–	3	1	–	–
U5-O3	2	–	1	1	–	–
U5-O4	2	–	1	–	–	–
U5-O5	2	–	–	–	–	–

5.1 அறிமுகம்

கடத்தி வழியே மின்னோட்டம் பாயும் போது அதைச் சுற்றி காந்தப்புலம் உருவாகும். கடத்தியானது சுருள் வடிவில் இருந்தால், அது பட்டை காந்தம் போல் செயல்படும். சுருளின் துருவத்தை மாற்ற, மின்னோட்டம் பாயும் திசையை எதிர் திசைக்கு மாற்ற வேண்டும். சுருளைச்சுற்றி காந்தப்பாயம் பரவும் பகுதி காந்தச்சுற்று எனப்படும். கடத்தியுடன் தொடர்புடைய காந்தப்பாயம் மாறினால், மின் காந்த விசை தூண்டப்படும். மேலும் கடத்தியானது கண்ணி வடிவில் இருந்தாலோ அல்லது ஒரு சுற்றில் இருந்தாலோ மின்னோட்டம் பாயும். இந்நிகழ்வே மின் காந்த தூண்டல் எனப்படும். மின்காந்த தூண்டலின் முதல் தேவை கடத்தி அல்லது சுருளுடன் தொடர்புடைய காந்தபாயம் மாற்றம் அடைய வேண்டும். இதன் விளைவாக கடத்தி (அல்லது சுருள்) யில் மின்னோட்டம் காந்த பாய மாற்றம் உள்ள வரை தொடர்கிறது. உருவாகும் e.m.f என்பது தூண்டப்பட்ட e.m.f எனப்படும். சுருளுடன் தொடர்புடைய காந்தப்பாயம் மாறிக் கொண்டிருக்கும் வரை சுருளில் தூண்டப்பட்ட e.m.f. அல்லது மின்னோட்டம் பாயும்.

5.2 காந்தப்பாயம்

காந்தப்பாயம் என்பது காந்தப்புலத்திற்கு செங்குத்தாக வைக்கப்பட்ட கடத்தியின் பரப்பு வழியே பாயும் காந்தப்புலக் கோடுகளின் எண்ணிக்கையே ஆகும். மேலும், இது காந்தப்புலக்கூறு மற்றும் மேற்பரப்பின் பெருக்குத் தொகைக்கு சமம் ஆகும்.

மேற்பரப்பு ($d\vec{S}$) வழியே பாயும் காந்தப்புலத்தினால் ($\vec{B}$) உண்டாகும் காந்தப்பாயமானது,

$$d\varphi = \vec{B}.d\vec{S}$$

$$= BdS\cos\theta \qquad \ldots(5.1)$$

மேற்பரப்புக்கு காந்தப்புல கோடுகள் செங்குத்தாக இருக்கும்போது காந்தப்பாயமானது அதிகமாக உள்ளது எனலாம். ஆனால் கோடுகள் மேற்பரப்புக்கு இணையாக உள்ள போது காந்தப்பாய மதிப்பு சுழி ஆகும். காந்தப்பாயம் ஒரு திசையிலி மதிப்பாகும்.

5.3 காந்தப்பாய அடர்த்தி

காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட கடத்தியின் ஒரு அலகு பரப்பு வழியே செல்லும் பாயம் காந்த பாய அடர்த்தி எனப்படும். இது காந்த தூண்டல் எனவும் அழைக்கப்படும். கணித முறையின்படி,

$$B = \frac{d\varphi}{dS} \qquad \ldots(5.2)$$

ஆகையால் காந்தப்புலமும் காந்தப்பாய அடர்த்தி (b) எனப்படும் மற்றும் இது வெக்டர் அளவாகும்.

5.3.1 அலகுகள் மற்றும் பரிமாணங்கள்

காந்தப்பாய அடர்த்தி அல்லது காந்தப்புலத்தின் SI அலகு டெஸ்லா (T) அல்லது $N\text{-}m^{-1}A^{-1}$ மற்றும் காந்தப்பாயத்தின் SI அலகு $tesla\text{-}m^2$ or weber (Wb) ஆகும்.

காந்தப்பாய அடர்த்தியின் பரிமாணங்கள் $[MT^{-2}I^{-1}]$ மற்றும் காந்தப்பாயத்தின் பரிமாணங்கள்,

$$[\varphi] = [BdS] = \left[\frac{F}{Il}dS\right] = \left[\frac{MLT^{-2}}{IL}\times L^2\right]$$

$$[\varphi] = [MT^{-2}I^{-1}L^2]$$

வெபரின் வரையறை: காந்தப்புல வலிமையில் $1\mathrm{T}$ செங்குத்தான அளவுள்ள $1\mathrm{m}^2$ பரப்பு வழியே பாயும் காந்த பாயமாகும்.

5.4 பாரடே விதிகள்

மின் காந்தத் தூண்டல் நிகழ்வை நிரூபிக்க பாரடே தொடர் சோதனைகளை நிகழ்த்தினார். இவரின் பரிசோதனைகளின் முடிவுகளை இரு விதிகளாக வெளியிட்டார். அவை பாரடே மின் காந்தத் தூண்டல் விதிகள் எனப்படும்.

முதல் விதி: மாறும் காந்த புலத்தில் கடத்தியை வைக்கும் போது மின்னியக்கு விசை தூண்டப்படும்.

இரண்டாம் விதி: எந்தவொரு சுற்றிலும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை காந்த பாய மாற்ற வீதத்திற்கு சமமாகும். கணித முறையின்படி,

$$e = \frac{d\varphi}{dt} \qquad \ldots(5.3)$$

மாற்றி அமைக்கப்பட்ட பாரடே இரண்டாம் விதி (லென்ஸ் விதி): சுற்றுடன் தொடர்புடைய தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையின் (e.m.f) திசை எப்போதும் காந்த பாய மாற்றத்தை எதிர்க்கும் விதத்தில் அமையும். ஆகையால்,

$$e = -\frac{d\varphi}{dt} \qquad \ldots(5.4)$$

பாரடே விதியின் விளக்கம்: N சுற்றுக்கள் கொண்ட சுருளில் t வினாடியில் பாய மாற்றம் φ_1 லிருந்து φ_2 க்கு ஆகும். எனவே நிகர பாய மாற்றம் ($N\varphi_2 - N\varphi_1$) மற்றும் பாய மாற்ற வீதம் $\frac{N\varphi_2 - N\varphi_1}{t}$ பாரடே விதிப்படி தூண்டப்பட்ட e.m.f.

$$e = \frac{N\varphi_2 - N\varphi_1}{t} = \frac{N(\varphi_2 - \varphi_1)}{t}$$

அல்லது, $$e = \frac{d}{dt}(N\varphi) = N\frac{d\varphi}{dt} \qquad \ldots(5.5)$$

வழக்கமாக வலதுபுறம் உள்ள வேலைக்கு எதிர்குறி கொடுக்கலாம். எதிர்குறி லென்ஸ் விதியில் இருந்து பெறப்பட்டது. அதாவது தூண்டப்பட்ட மின்னழுத்தம். பாய மாற்றத்திற்கு எதிர் திசையில் உள்ளதை குறிக்கிறது.

$$e = -N\frac{d\varphi}{dt} \text{ volts} \qquad \ldots(5.6)$$

for Interactive Tutorial on EM Induction

எடுத்துக்காட்டு 5.1: 150 சுற்றுக்கள் கொண்ட சுருளுடன் உள்ள பாயம் 15 mWb மற்றும் பாயம் 5 ms வினாடியில் திரும்புகிறதெனில் சுருளில் தூண்டப்பட்ட சராசரி e.m.f. ஐ காண்க.

தீர்வு:

பாய மாற்றம் $d\varphi = 15 - (-15) = 30 \text{ mWb} = 30 \times 10^{-3} \text{ Wb.}$

எடுத்து கொண்ட நேரம் $dt = 5\text{ms} = 5 \times 10^{-3}\text{s.}$

ஃ $e = N\dfrac{d\varphi}{dt}$

$= 150 \times \dfrac{30 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} = 900 \text{ V.}$

எடுத்துக்காட்டு 5.1

எடுத்துக்காட்டு 5.2: 50 சுற்றுக்களை உடைய சுருள் காந்தச் சுற்றில் சுற்றப்பட்டுள்ளது. சுருளில் பாயும் 1A மின்னோட்டம் 1s வினாடியில் மாறுகிறது. தூண்டப்பட்ட சராசரி e.m.f. கணக்கிடுக. சுற்றின் எதிர்ப்பு திறன் 2000 AT/Wb.

தீர்வு:

சுருளில் உள்ள பாயம் = $\dfrac{m.m.f.}{\text{reluctance}} = \dfrac{50 \times 1}{2000} = 0.025 \text{ Wb.}$

சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் 1A எதிர் திசையில் திரும்பும் போது சுருளில் உள்ள பாயமும் மாறும்

இப்போது, $e = N\dfrac{d\varphi}{dt}$

இங்கு, $N = 500;\ d\varphi = 0.025 - (-0.025) = 0.05 \text{ Wb; } dt = 1\text{s}$

ஃ $e = 500 \times \dfrac{0.05}{1} = 25\text{V.}$

எடுத்துக்காட்டு 5.2

எடுத்துக்காட்டு 5.3: புலசுற்றி 4-pole DC மின்னியற்றியின் 4 சுருள்கள் தொடர் அமைப்பில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. ஒவ்வொரு சுற்றும் 1200 சுற்றுக்களை உடையது. புற காந்த புலத்தில் பாயம் 0.04 Wb/pole, 0.1 s நேரத்தில் காந்த பாய மீதமாக மாறும் அளவிற்கு சுற்று திறக்கப்படுகிறது. சுற்றப்பட்ட முனைகளிடையே உருவாகும் சராசரி *e.m.f.* ஐ காண்க.

எடுத்துக்காட்டு 5.3

எடுத்துக்காட்டு 5.3

தீர்வு:

மொத்த சுற்றுகள், $N = 1200 \times 4 = 4800$, மொத்த தொடக்க பாயம் = 4x0.04 = 0.16Wb

மற்றும் மொத்த மீத பாயம் = 4x0.004 = 0.016 Wb.

பாய மாற்றம், $d\varphi = 0.16 - 0.016 = 0.144$ Wb.

எடுத்து கொண்ட நேரம், dt = 0.1 second.

ஃ தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* $e = N\frac{d\varphi}{dt} = 4800 \times \frac{0.144}{0.1} = 6912$ V.

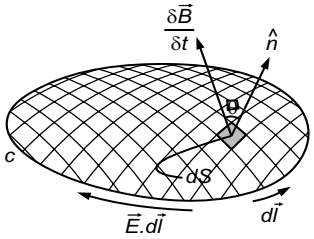
5.4.1 பாரடே விதியின் தொகை மற்றும் வகை வடிவம்

பாரடே மின் காந்த தூண்டல் விதி படி சுருளின் பாய மாற்றத்தால் தூண்டப்படும் *e.m.f.* ஆனது

$$e = -\frac{d\varphi}{dt}$$

இங்கு φ என்பது வளைவு பாதையினால் மூடப்பட்ட மேற்பரப்பின் S வழியே பாயும் காந்த பாயம் C,

$$\varphi = \iint_S \vec{B}.\hat{n}dS = \iint_S \vec{B}.d\vec{S} \qquad \ldots(5.7)$$



படம் 5.1: ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டல் விதியின் விளக்கம்

இங்கு $d\vec{S}$ மேற்பரப்பு S செங்குத்தாக உள்ளது.

எனவே, $$e = -\frac{d}{dt}\left(\iint_S \vec{B}.d\vec{S}\right) \qquad \ldots(5.8)$$

இப்போது S இன் வழியே பாயும் மின் புலம் $\vec{E}$ எனில் தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$e = \oint_C \vec{E}.d\vec{l} \qquad \ldots(5.9)$$

எனவே சமன். (5.8) மற்றும் சமன். (5.9) ஐ ஒப்பிட,

$$\oint_C \vec{E}.d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\left(\iint_S \vec{B}.d\vec{S}\right) \qquad \ldots(5.10)$$

சமன். (5.10) என்பது பாரடே மின் காந்த தூண்டல் விதியின் தொகை கெழு வடிவம்.

மீண்டும் வெக்டர் நுண் கணிதத்தின் ஸ்டோக்ஸ் தோற்றத்தை பயன்படுத்தி,

$$\oint_C \vec{E}.d\vec{l} = \iint_S \vec{\nabla} \times \vec{E}.d\vec{S} \qquad \ldots(5.11)$$

எனவே சமன். (5.10) மற்றும் சமன். (5.11) ஐ ஒப்பிட,

$$\iint_S \vec{\nabla} \times \vec{E}.d\vec{S} = -\frac{d}{dt}\left(\iint_S \vec{B}.d\vec{S}\right)$$

அல்லது, $$\iint_S \vec{\nabla} \times \vec{E}.d\vec{S} + \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.d\vec{S} = 0$$

அல்லது, $$\iint_S \left(\vec{\nabla} \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right).d\vec{S} = 0$$

to know how Electromotive-Force Works

எந்தவொரு பரப்பு $d\vec{S}$ க்கும் மேற்கண்ட சமன் சரியானது எனில் அதை சரிப்படுத்த,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$$

அல்லது, $$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \ldots(5.12)$$

சமன். (5.12) என்பது பாரடே மின் காந்த தூண்டல் விதியின் வகை கெழு வடிவம்.

5.4.2 தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* மற்றும் மின்னோட்டம்

கடத்தி அல்லது சுருளின் வழியே தூண்டப்படும் *e.m.f.* அல்லது மின்னோட்டத்தின் திசையை பின்வரும் முறைகளில் அறியலாம்:

(a) லென்ஸ் விதி

(b) பிளெமிங் வலது கை விதி

5.5 லென்ஸ் விதி

எமில் லென்ஸ், ஜெர்மன் அறிவியலாளர் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையை அறிய லென்ஸ் விதியை அறிமுகப்படுத்தினார்:

பாயும் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை அது உருவாக காரணமானதை எதிர்க்கும் திசையில் இருக்கும். மின்னோட்டம் உருவாக காரணமாக இருப்பது சுருளுடன் தொடர்புடைய பாய மாற்றம் ஆகும். ஆகையால் சுருளில் உண்டான தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை அதை உருவாக்கும் காந்த பாய மாற்றத்தை எதிர்க்கும் திசையில் இருக்கும்.

for more on Lenz's Law

படம் 5.2. க்கு லென்ஸ் விதியை பயன்படுத்தலாம். இந்நேர்வில் காந்த N–துருவம் சுருளை நோக்கி உள்ளது.

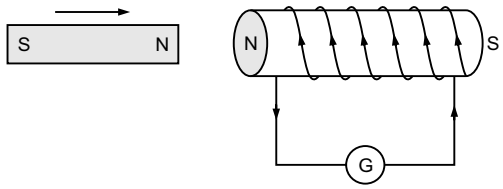
லென்ஸ் விதியிலிருந்து தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை, இதனால் உருவாக்கப்பட்ட பாயம் ஆதி பாயத்தை எதிர்க்கும் விதமாக இருக்கும். சுருளின் இடது கை புறம் காந்த N–துருவத்தின் பக்கம் இருந்தால் இது சாத்தியம். சுருளின் துருவத்தை அறிந்திருந்தால் வலது கை விதியை பயன்படுத்தி சுருளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தை அறியலாம்.

5.5.1 லென்ஸ் விதி மற்றும் ஆற்றல் அழிவின்மை

லென்ஸ் விதி ஆற்றல் அழிவின்மை விதியை பின்பற்றுகிறது. பட்டை காந்தத்தின் N–துருவம் சுருளை நோக்கி (படம் 5.2) தள்ளப்படுமாயின் சிறிய அளவில் மின்னோட்டம் காணப்படும். பட்டை காந்தத்தின்

S–துருவ பக்கத்தில் உள்ள சுருளின் பக்கம் பாயும் மின்னோட்டம் N–துருவம் என கொள்க.

இதன் விளைவாக காந்தமானது சுருளை நோக்கி அதிக இயக்க ஆற்றலுடன் ஈர்க்கப்பட்டு அதனால் மின்னோட்டமும் அதிகரித்து அதன் மூலம் உருவாகும் காந்த புல வலிமையையும் எந்தவொரு புற வேலையும் இல்லாமல் அதிகரிக்கும். இது ஆற்றல் அழிவின்மை விதியை பின்பற்றவில்லை என்பது தெளிவாகிறது.

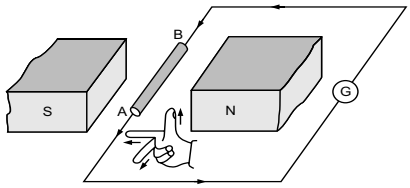


படம் 5.2: லென்ஸ் விதியின் சரிபார்ப்பு

எனவே சுருளின் முடிவில் தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* ன் திசை N–துருவம் என்றால் அது காந்தத்தின் இயக்கத்தை எதிர்க்கும் வகையில் இருக்கும்.

5.6 ஃப்ளெமிங்கின் வலது கை விதி

நிலை காந்த புலத்தின் திசைக்கு செங்குத்து திசையில் கடத்தி யின் இயக்கம் இருந்தால் கடத்தியில் உருவாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையை அறிய பிளெமிங் வலக்கை விதியை பயன்படுத்தலாம். இவ்விதியின்படி ஆள் காட்டி விரல், நடுவிரல் மற்றும் கட்டை விரல் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருக்கும்படி வைத்திருந்தால் ஆள்காட்டி விரல் காந்த புலத்தின் திசையையும், கட்டை விரல் கடத்தியின் இயக்கத்தின் திசையையும் காட்டினால் நடுவிரலின் திசையில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் அமையும்.



படம் 5.3: மின்னியக்கு விசையின் தூண்டல்

படம் 5.3 கடத்தி AB யின் இயக்கம் காந்த புல திசைக்கு செங்குத்தாக உள்ளதை காட்டுகிறது.

பிளெமிங் வலக்கை விதிப்படி தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை (b) யிலிருந்து (a) க்கு இருக்கும். அதே காந்த புல திசைக்கு கடத்தியின் திசை கீழ் நோக்கி இருந்தால் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை (a) யிலிருந்து (b) க்கு இருக்கும்.

5.7 தூண்டப்பட்ட E.M.F.

சுருளுடன் தொடர்புடைய காந்தப்பாயம் மாறும்போது உருவாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையை பின்வரும் முறைகளில் அறியலாம்:

for more on Right Hand Rule

(i) நிலையான காந்தப்புலத்தில் கடத்தியை நகர்த்தினால் அதன் வழியே பாயும் பாயத்தில் மாற்றம் ஏற்பட்டு (e.m.f) தூண்டப்படும். இதுவே இயக்கத்தினால் தூண்டப்பட்ட (e.m.f) எனப்படும். (உ.ம்., AC அல்லது DC மின்னியற்றி).

(ii) காந்த புலத்தை மாற்றும் போது கடத்தியை நிலையாக வைக்க வேண்டும். இம்முறையில் தூண்டப்படும் (e.m.f) நிலையாக தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை எனப்படும். இதற்கான உதாரணமாக மின் மாற்றியை கூறலாம்.

இரு நேர்விலும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையின் எண் மதிப்பை பின்வருமாறு எழுதலாம்

$$N\frac{d\varphi}{dt}$$

(i) **இயக்கத்தினால் தூண்டப்பட்ட *e.m.f.*:** இயக்க முறையில் தூண்டப்பட்ட e.m.f., l நீளமுள்ள தனித்த கடத்தியானது சீரான காந்த புலத்திற்கு B Wb/m^2 செங்குத்து திசையில் v m/s திசை வேகத்தில் செல்கிறது [படம் 5.4 (a)]. கடத்தி dt வினாடியில் dx தொலைவை கடந்தால்,

கடத்தியினால் சூழப்பட்ட பரப்பு = l x dx

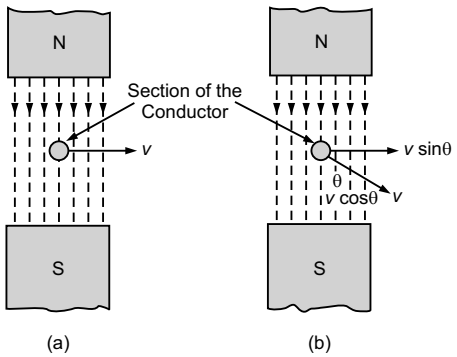
ஃ பாய வெட்டு, $d\varphi$ = புலம் × சூழப்பட்ட பரப்பு = $Bldx$ Wb

மின் காந்த தூண்டலின் பாரடே விதிப்படி கடத்தியின் தூண்டப்பட்ட e.m.f. ஆனது;

$$e = N\frac{d\varphi}{dt} = Bl\frac{dx}{dt} \quad (\because N = 1) \qquad \ldots(5.13)$$

அல்லது, $e = Blv \quad \left(\because \frac{dx}{dt} = v\right)$ …(5.14)

கடத்தியானது, புலத்திற்கு θ கோணத்தில் நகர்ந்தால் [படம் 5.4 (b)] கடத்தியின் திசை வேகம் $v \sin\theta$.



படம் 5.4: இயக்க தூண்டல் e.m.f.

$$e = Blv\sin\theta \qquad \ldots(5.15)$$

பிளெமிங் வலக்கை விதி படி தூண்டப்பட்ட e.m.f.ன் திசையை அறியலாம். காந்த புலத்திற்கு இணையாக கடத்தியானது நகருமானால் பாயமாற்றம் ஏதுமின்றி தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசை சுழியாகும்.

கடத்தியின் இயக்கத்தால் உருவாகும் தூண்டப்பட்ட e.m.f., இயக்கமுறை e.m.f. எனப்படும். கடத்தி யின் இயக்கம் நிறுத்தப்பட்டால் e.m.f. முடிவுக்கு வரும்.

கடத்தியின் முனை R மின்தடை உள்ள வெளி சுற்றுடன் இணைக்கப்பட்டால் r என்பது கடத்தியின் தன்மின்தடை எனில் ஓம் விதியின்படி தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் i ஆனது,

$$i = \frac{e}{R+r} = \frac{Blv}{R+r} \qquad \ldots(5.16)$$

கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தின் திசையை பிளெமிங் வலக்கை விதியிலிருந்து அறியலாம்.

for more Exploration of the Phenomenon

விளக்கம்: காந்தப்புலம் வழியே கடத்தியானது நகரும்போது அதிலுள்ள கட்டுறா எலெக்ட்ரான்கள் ஒரே திசையில் நகரும். ஒவ்வொரு எலக்ட்ரான் மீதும் செயல்படும் லாரன்ஸ் விசையானது,

$$\vec{F} = -e(\vec{v} \times \vec{B})$$

இங்கு $\vec{v}$ எலெக்ட்ரானின் திசைவேகத்தை குறிக்கிறது. எனவே கடத்தியின் முனைகளில் e.m.f. தூண்டப்படுகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 5.4

எடுத்துக்காட்டு 5.4: 5 T பாய அடர்த்தி கொண்ட சீரான காந்த புலத்தில் 25 cm நீளமுள்ள கடத்தியின் இயக்க திசைவேகம் 2cm/s ஆகும். தூண்டப்பட்ட e.m.f. ஐ கணக்கிடுக.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டவை, நீளம், l = 25 cm = 0.25 m மற்றும் திசை வேகம்,

v = 2 cm/s = 0.02 m/s.

எனவே, தூண்டப்பட்ட *e.m.f.*, $E = Blv$

= 5 x 0.25 x 0.02 = 0.025 V = 25 mV.

எடுத்துக்காட்டு 5.5

எடுத்துக்காட்டு 5.5: கடத்தியின் நீளம் 120 mm. 0.6 T பாய அடர்த்தி கொண்ட காந்தப்புலத்தில் நகர்ந்து, 1.8 V e.m.f. ஐ தூண்டினால் அதன் வேகத்தை காண்க.

தீர்வு:

கடத்தியின் வேகம்,

$$v = \frac{E}{Bl} = = \frac{1.8}{0.6 \times 0.12}\ 25 \text{ m/s.}$$

எடுத்துக்காட்டு 5.6

எடுத்துக்காட்டு 5.6: 1.2 T சீரான காந்த புலத்தில் 25 cm நீளமுள்ள கடத்தி 8 m/s வேகத்தில் நகர்ந்து செல்கிறது. (a) சுற்று திறந்துள்ளபோது, (b) 15 Ω மின்தடையுடன் இணைக்கப்பட்டுள்ளபோது கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தை காண்க.

தீர்வு:

தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை, $E = Blv$

= 1.2 x 0.25 × 8 = 2.4 V.

(a) சுற்று திறந்துள்ளபோது மின்னோட்டம் பாயாது.

(b) 15 Ω மின்தடை பளுவுடன் கடத்தி இணைக்கப்பட்டு உள்ளது எனில் அதில் பாயும் மின்னோட்டமானது, $I = \frac{E}{R} = \frac{2.4}{15} = 0.16$ A.

எடுத்துக்காட்டு 5.7

எடுத்துக்காட்டு 5.7: 500 mm நீளமுள்ள கடத்தி 5m/s திசைவேகத்தில் அதன் நீளத்திற்கும் காந்தப்புலத்திற்கும் செங்குத்தாக நகர்கிறது. 2.5 V, e.m.f. தூண்டப்பட்டால் காந்தப் புலத்தின் பாய அடர்த்தியைக் காண்க.

சுற்றின் மின்தடை 5 Ω எனில் கடத்தியினால் உணரப்படும் விசை யாது **?**

தீர்வு:

தூண்டப்பட்ட *e.m.f.*, E=2.5V, திசைவேகம், v = 5m/s மற்றும் நீளம், l=500mm = 0.5m.

எடுத்துக்காட்டு 5.7

எனவே, பாய அடர்த்தி $B = \frac{E}{lv} = \frac{2.5}{0.5 \times 5} = 1\text{T}.$

மின்னோட்டம், $I = \frac{E}{R} = \frac{2.5}{15} = 0.5\text{ A}.$

கடத்தியின் மீதான விசை, $F = BIl = 1 \times 0.5 \times 0.5 = 0.25\text{ N}.$

எடுத்துக்காட்டு 5.8

எடுத்துக்காட்டு 5.8: ஒரு மகிழுந்து 40 km/h வேகத்தில் நகர்கிறது. மகிழுந்தின் பின்புற அச்சின் நீளம் 2.2 m எனில், இயக்கத்தினால் அச்சில் உருவாகும் *e.m.f.* ஐ கணக்கிடுக. புவிக்காந்த புலத்தின் செங்குத்துக் கூறு 24 μT ஆகும்.

தீர்வு:

உருவாக்கப்பட்ட *e.m.f.*, $E = Blv = 24 \times 10^{-6} \times 2.2 \times \frac{60 \times 10^3}{60 \times 60} = 0.88\text{ mV}.$

எடுத்துக்காட்டு 5.9

எடுத்துக்காட்டு 5.9: 20 m/s திசைவேகத்தில் நகரும் கடத்தி (a) 90° (b) 45° and (c) 30° கோணங்களில் காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்டுள்ளன. இரு சதுர 2.5 cm முக துருவங் களுக்கு இடையே புலமானது உருவாக்கப்பட்டது. துருவமுகத்தின் மீதுள்ள பாயம் 60 mWb எனில், தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையின் எண்மதிப்பைப் பெறுக.

தீர்வு:

தூண்டப்பட்ட *e.m.f.*, $E = Blv \sin\theta$

(a) $\theta = 90°$ எனும்போது, $E = Blv \sin 90° = \frac{\varphi}{A} \times l \times v \times 1 = \frac{60 \times 10^{-3}}{(2.5)^2 \times 10^{-4}} \times 2.5 \times 10^{-2} \times 20 = 48\text{V}.$

(b) $\theta = 45°$ எனும்போது, $E = Blv \sin 45° = 48 \sin 45° = 33.9\text{ V}.$

(c) $\theta = 30°$ எனும்போது, $E = Blv \sin 30° = 48 \sin 30° = 24\text{ V}.$

எடுத்துக்காட்டு 5.10

எடுத்துக்காட்டு 5.10: 0.5 m நீளமுள்ள கடத்தி சீரான காந்தப் புலத்திற்கு செங்குத்தாக வைக்கப்பட்டுள்ளது. 1 Wb/m^2 பாய அடர்த்தி கொண்ட 40 m/s திசைவேகம் உள்ள கடத்தியில் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையை அறிக.

மேலும் கடத்தி 60° கோணத்தில் காந்தப்புலத்தில் நகர்ந்தால் உண்டாகும் தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* ஐ அறிக.

தீர்வு:

(i) $E = Blv = 1 \times 0.5 \times 40 = 20\text{V}.$

(ii) $E = Blv \sin\theta = 1 \times 0.5 \times 40 \times \sin 60° = 17.32\text{ V}.$

எடுத்துக்காட்டு 5.11

எடுத்துக்காட்டு 5.11: கடத்தியின் நீளம் 400 mm. 0.85 T காந்தப்புலத்தில் 70° கோணத்தில் நகர்கிறது. அதன் திசைவேகம் 115 km/h எனில் (a) தூண்டப்பட்ட மின்னழுத்தம் மற்றும் (b) 8 Ω மின்தடை இணைக்கப்பட்டுள்ள கடத்தியின் மீது செயல்படும் விசையைக் காண்க.

தீர்வு:

(a) தூண்டப்பட்ட மின்னழுத்தம், $E = Blv \sin\theta = 0.85 \times 0.4 \times \left(\frac{115\times1000}{60\times60}\right) \times \sin 70°$

$= 10.206$ V.

(b) கடத்தியின் மீதுள்ள விசை, $F = BIl \sin\theta = B \times \left(\frac{E}{R}\right) \times l \times \sin\theta$

$$= 0.85 \times \left(\frac{10.206}{8}\right) \times 0.4 \times \sin 70^0 = 0.408\text{N}.$$

எடுத்துக்காட்டு 5.12

எடுத்துக்காட்டு 5.12: விமானத்தின் இறக்கையின் நீளம் 56m. இது கிடைத்தளமாக 810 km/hr வேகத்தில் பறக்கிறது. புவிக்காந்தப் புலத்தின் செங்குத்துக் கூறு $4\text{x}10^{-4}$ Wb/m^2 எனில் இறக்கையின் முனைகளுக்கிடையே உள்ள மின்னழுத்தம் காண்க.

தீர்வு:

தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* $E = Blv$

இங்கு, $B = 4\times10^{-4}$ Wb/m^2, $l = 56$ cm, $v = 810\times10^3 / 3600 = 225$ m/s.

தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* $E = 4\times10^{-4}\times56\times225 = 5.04$ V.

அல்லது, மின்னழுத்த வேறுபாடு = 5.04V.

(ii) நிலையாக தூண்டப்பட்ட ***e.m.f.:*** நிலையாக வைக்கப்பட்ட கடத்தியுடன் இணைந்த காந்தப் புலமானது மாறினால் கடத்தியில் உண்டாகும் மின்னியக்கு விசை நிலையாக தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை எனப்படும்:

(a) தன் தூண்டல் மின்னியக்கு விசை மற்றும்
(b) பரிமாற்று தூண்டல் மின்னியக்கு விசை.

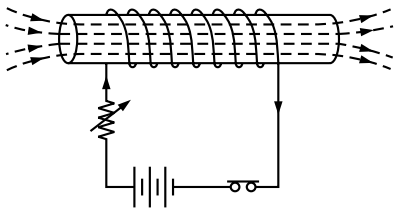
(a) **தன் தூண்டல் *e.m.f.:*** சுருளின் தொடர்பில் உள்ள சுய பாயத்தின் மாற்றத்தால் தூண்டப்படும் e.m.f. தன் தூண்டல் e.m.f. எனப்படும். மின்னோட்டம் தாங்கிய சுருள் காந்தப் புலத்தை உருவாக்கும் (படம் 5.5) சுருளின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் மாறினால் சுருளில் பாயும் பாயமும் மாறும். எனவே பாரடே விதிப்படி சுருளில் e.m.f. தூண்டப்படும். இதுவே தன் தூண்டல் எனப்படும்.

தூண்டப்பட்ட *e.m.f* இன் எண்மதிப்பு

$$e_s = N\frac{d\varphi}{dt} \qquad \ldots(5.17)$$

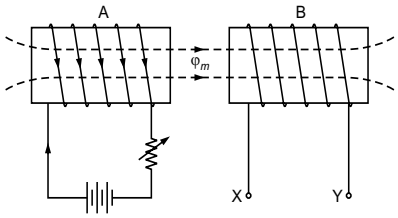
தூண்டப்பட்ட e.m.f. இன் திசை (லென்ஸ் விதி) எப்போதும் அது உருவாக காரணமான விசையை எதிர்க்கும். அதாவது சுருளின் மின்னோட்ட மாற்றம் (அல்லது புலம்).

சுருளில் மின்னோட்டம் மாறும்போது e.m.f. தூண்டப்பட்டு மின்னோட்டம் மாற்றத்தை எதிர்க்கும். சுருளின் இப்பண்பு தன் மின் தூண்டல் எனப்படும். இதனால் மின்தூண்டி மின்னோட்டத்தை முழுவதுமாக நிறுத்தாது. மாறாக மின்னோட்ட மாற்றத்தை தாமத மாக்கும். சுற்றை மூடினால் மின்னோட்டம் (படம் 5.5) சுழியிலிருந்து இறுதி சீரான மதிப்பை அடைய நேரமாகும். இந்த தாமதம் சுருளின் தன் மின் தூண்டல் அல்லது சுருளின் தூண்டல் ஆகும். சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் நிலையானது காந்த புலமும் நிலையானதாகி, தன் மின் தூண்டல் சுழியாகும்.



படம் 5.5: தன் மின் தூண்டல்

(b) **பரிமாற்று தூண்டப்பட்ட *e.m.f.*:** ஒரு சுருளில் பாயும் மின்னோட்ட மாற்றத்தால் ஏற்படும் காந்த பாய மாற்றத்தால் அருகில் உள்ள சுருளில் e.m.f. தூண்டப்பட்டால் அதுவே பரிமாற்று மின் தூண்டலாகும். அருகருகே இணையாக வைக்கப்பட்ட A மற்றும் B என்ற இரு சுருளை கருதுக (படம் 5.6) சுருள் Aவால் உருவாக்கப்பட்ட பகுதியளவு பாயம் B க்கு செல்லும். சுருள் A மற்றும் Bயில் உருவாகும் பாயம் சமம். ஆகையால், இது பரிமாற்று பாயம் ஆகும் (φ_m).



படம் 5.6: பரிமாற்று மின் தூண்டல்

Aஇல் பாயும் மின்னோட்டம் மாறும் போது பரிமாற்று பாயமும் மாறி இரு சுருளிலும் e.m.f. ஐ உருவாக்கும். A ல் தூண்டப்படும் e.m.f தன் மின் தூண்டல் e.m.f. எனப்படும். அதே சமயம் B ல் தூண்டப்படும் e.m.f. பரிமாற்று மின் தூண்டல் எனப்படும். பாரடே விதியில் இருந்து பரிமாற்று மின் தூண்டல் e.m.f. இன் எண் மதிப்பை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$e_{\mathrm{M}} = N_{\mathrm{B}} \frac{d\varphi_m}{dt} \qquad \ldots(5.18)$$

இங்கு N_{B} என்பது சுருள் B இன் சுற்றுகளின் எண்ணிக்கை ஆகும். $\frac{d\varphi_m}{dt}$ என்பது பரிமாற்று பாயத்தின் பாய மாற்று வீதம்.

லென்ஸ் விதியில் இருந்து பரிமாற்று தூண்டலின் மின்னியக்கு விசையின் திசை அதை உருவாக்கிய காரணியை எதிர்க்கும் வகையில் இருக்கும். சுருள் B ல் உண்டாகும் பரிமாற்று தூண்டல் e.m.f., Aல் உருவாகும் பாய மாற்றத்தினால் உண்டாக்கப்பட்டது. எனவே சுற்று மூடப்படும்போது, சுருள் Bயில் பரிமாற்று தூண்டல் e.m.f., A சுருளில் உருவாகும் பரிமாற்று பாய மாற்றத்தை எதிர்க்கிறது. இதன் தொடர்பாக முக்கியமான கருத்துகள் பின்வருமாறு:

(i) சுருள் B ல் உண்டான பரிமாற்று தூண்டல் e.m.f. A சுருளில் மின்னோட்ட மாற்றம் உள்ள வரை தொடரும். சுருள் A ல் மின்னோட்டம் நிலையானால் பரிமாற்று பாயமும் நிலையான மதிப்பை பெற்று B ல் உருவாகும். பரிமாற்று தூண்டல் சுழி மதிப்பு அடையும்.

(ii) அருகருகே வைக்கப்பட்ட இரு சுருள்களில் ஒரு சுருளில் ஏற்படும் மின்னோட்ட மாற்றம் மற்றொரு சுருளில் மின்னழுத்தத்தை தூண்டும் பண்பே பரிமாற்று மின் தூண்டல் எனப்படும்.

e.m.f. ஐ உருவாக்கும் முறைகள்: பின்வரும் மூன்று முறைகளில் e.m.f. ஐ உருவாக்கலாம்:

(i) காந்த புலத்தின் எண் மதிப்பை மாற்றலாம்.

(ii) சுருளின் மேற்பரப்பை மாற்றலாம். அதாவது சுருளை சுருக்கி அல்லது பெருக்கி.

(iii) காந்த புலத்திற்கும் கடத்தியின் மேற்பரப்பிற்கும் இடையே உள்ள சார்பு இயக்கத்தால் உருவாகும் கோண மாறுபாடு.

5.8 தன் மின் தூண்டல்

சுருளின் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் அச்சுருள் வழியே சுய காந்த பாயத்தை கொண்டிருக்கும். நேரத்தை பொறுத்து மின்னோட்டம் மாறும்போது சுருள் வழியே பாயமும் மாறும். எனவே, பாரடே மின் காந்த தூண்டல் விதியின்படி e.m.f. தூண்டப்படும். இந்நிகழ்வே தன் மின் தூண்டல் எனப்படும்.

வரையறை: கண்ணி அல்லது ஒரு சுருள் தன் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தின் மாறுபாட்டை எதிர்க்கும்விதமாக e.m.f.ஐ அதனுள் தூண்டும். இது மின்சாரத்தின் நிலை பண்பு ஆகும்.

5.8.1 தன் மின் தூண்டல் குணகம்

சுருளில் I மின்னோட்டம் பாயும்போது என்பது t கணத்தில் தொடர்புடைய காந்த பாயம் φ,

$$\varphi \propto I$$

அல்லது, $$\varphi = LI \qquad \ldots(5.19)$$

இங்கு L தகவு மாறிலி மற்றும் தன் மின் தூண்டல் குணகமாகும்.

$I = 1$ எனில் $L = \varphi$

எனவே, தன் மின் தூண்டல் என்பது ஓரலகு மின்னோட்டம் பாயும்போது சுருளில் தொடர்புடைய பாயத்தின் மதிப்பாகும்.

சுருளினுள் பாயும் மின்னோட்ட வேறுபாட்டால் அதனுள்ளேயே மின்னியக்கு விசை தூண்டப்படும். மின்னோட்டம் அதிகரிக்கும் போது தன் தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* ம் உருவாகும். அவ்வாறு உருவான அதன் திசை அது உருவாக காரணமான மின்னோட்டத்தின் உயர்வையே எதிர்க்கும். ஆகவே மின்னோட்டம் சுற்றில் குறைய தொடங்கும். ஆனால், அம்மின்னோட்ட மாறுபாட்டினால் உண்டான தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை மின்னோட்ட குறைபாட்டை எதிர்க்கும் திசையில் அமையும். இங்கு தன் மின் தூண்டல் மின்னோட்டத்தை தடை செய்யாமல் அதை தாமதப்படுத்துகிறது.

தன் மின் தூண்டல் e.m.f. $\left(= N\frac{d\varphi}{dt}\right)$, அதிகமாக இருப்பின் தன் மின் தூண்டல் எண்ணும் அதிகமாக இருக்கும். எனவே மின்னோட்ட மாறுபாட்டிற்கான எதிர்ப்பும் அதிகமாக இருக்கும். சுருளின் தூண்டல் எண் பின்வரும் காரணிகளை சார்ந்திருக்கும்:

(i) வடிவம் மற்றும் சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை.

(ii) சுருளை சுற்றி உள்ள ஊடகத்தின் μ_r

(iii) காந்த புல மாறுபாட்டின் வீதம்.

L இற்கான கோவை: N சுற்றுக்களுடைய சுருள் தாங்கிய மின்னோட்டம் I amperes. சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் மாறினால் சுருளுடன் தொடர்புடைய பாயமும் மாறும். இது சுருளில் தன் மின் தூண்டல் *e.m.f. (e)* ஐ உருவாக்கும்;

$$e = N\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d}{dt}(N\varphi) \qquad \ldots(5.20)$$

சுருளில் உள்ள I மின்னோட்டத்தை பொருத்து மாறும் பாய தொடர்பு $(= N\varphi)$.

$$\therefore \quad e \propto \frac{dI}{dt}$$

அல்லது $$e = L\frac{dI}{dt} \quad \ldots(5.21)$$

இங்கு L என்பது சுருளின் தன் மின் தூண்டல் ஆகும். தன் மின் தூண்டலின் SI அலகு ஹென்றி (H) ஆகும். சமன். (5.21) ல், e = 1 வோல்ட், $\frac{dI}{dt}$ =1A/s, எனில் L = 1H.

சுருளின் வழியே பாயும் மின்னோட்ட மாறுபாடு வீதம் ஒரு வினாடிக்கு ஒரு ஆம்பியராக இருக்கும் போது தூண்டப்பட்ட emf மதிப்பு ஒரு வோல்ட் எனில் தன் மின் தூண்டல் எண் 1 ஹென்றி (H) ஆகும்.

தன் மின் தூண்டல் எண்ணின் பரிமாணம்: நாம் பெறுவது, $L = \frac{e}{\frac{dI}{dt}}$

[சமன். (5.21) லிருந்து]

எனவே, தன் மின் தூண்டல் எண்ணின் பரிமாணங்கள்,

$$[L] = \left[\frac{emf \times \text{time}}{\text{current}}\right] = \left[\frac{\text{work} \times \text{time}}{\text{charge} \times \text{current}}\right] = \left[\frac{\text{work} \times \text{time}}{\text{charge}^2 \times \text{time}}\right]$$

$$[L] = \left[ML^2T^{-2}I^{-2}\right]$$

L க்கான மற்ற கோவைகள்: சமன். (5.21). தவிர்த்து பின்வரும் இரு முறைகளில் L ஐ கணக்கிடலாம்:

(i) **முதல் வழிமுறை:** சுருளுடன் தொடர்புடைய பாயமும் அதன் வழியே பாயும் மின்னோட்ட மதிப்பும் அறிந்திருந்தால்:

$$e = L\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt}(LI)$$

மேலும், $$e = N\frac{d\varphi}{dt} = \frac{d}{dt}(N\varphi)$$

இரு கோவைகளில் இருந்து நாம் பெறுவது, $LI = N\varphi$

$$L = \frac{N\varphi}{I} \quad \ldots(5.22)$$

எனவே தூண்டல் எண் என்பது ஆம்பியருக்கான சுருளின் பாய தொடர்பு.

$N\varphi$ = 1Wb-turn மற்றும் I = 1A, எனில் L = 1H.

ஆகையால் சுற்றில் 1 A மின்னோட்டத்தால் 1 Wb-turn பாய தொடர்பு உருவானால் சுருளின் மின் தூண்டல் எண் 1 ஹென்றி ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 5.13

எடுத்துக்காட்டு 5.13: 250 சுற்றுகள் கொண்ட சுருளில் பாயும் 5 A மின்னோட்டத்தால் உருவான காந்த பாயம் 100 μWb எனில் தன் மின் தூண்டல் எண்ணை கணக்கிடுக. மின்னோட்டம் 2.5 msல் திருப்பப்படுகிறது எனில் சுருளில் தூண்டப்பட்ட e.m.f. காண்க.

தீர்வு:

மின் தூண்டல் எண், $L = \frac{N\varphi}{I} = \frac{250 \times 100 \times 10^{-6}}{5} = 0.005\text{H} = 5\text{mH}.$

தூண்டப்பட்ட *e.m.f.*, $E = L\frac{dI}{dt} = 0.005 \times \frac{5-(-5)}{2.5 \times 10^{-3}} = 20\text{V}.$

எடுத்துக்காட்டு 5.14

எடுத்துக்காட்டு 5.14: 400 சுற்றுகளை உடைய சுருளின் தன் மின் தூண்டல் எண் 8 mH. அதே உள்ளகத்தை கொண்ட சுருளில் தன் மின் தூண்டல் எண்ணையும் 6mH பெற தேவையான சுற்றுகள் எவ்வளவு ?

தீர்வு:

தன் மின் தூண்டல் எண், $\text{L} = \frac{N\varphi}{I}$ (மாறிலிக்காக φ and I)

$L \propto N$

அல்லது, $8 \times 10^{-3} \propto 400$

அல்லது, $8 \times 10^{-3} = k.\ 400$

அல்லது, $k = \frac{8 \times 10^{-3}}{400} = 20 \times 10^{-6}.$

ஆகையால், $L = 6 \times 10^{-3}$ H, then $L = kN$

அல்லது, $6 \times 10^{-3} = 20 \times 10^{-6} N$

சுருளின் எண்ணிக்கை, $\text{N} = \frac{6 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = 300$ turns.

எடுத்துக்காட்டு 5.15

எடுத்துக்காட்டு 5.15: 5 cm^2 குறுக்கு வெட்டு பரப்பு கொண்ட இரும்பு சுருளின் சுற்றுக்கள் 150 மற்றும் உள்ளகத்தின் உட்புகு திறன் 400 ஆகும். சுருளின் தூண்டல் எண்ணை கணக்கிடுக. நிலை மின்னோட்டம் 3mA காந்த புலத்தை 10 lines/cm^2 கொடுக்கிறது. ஊடகமானது காற்று ஆகும்.

தீர்வு:

$$\mu_i = \frac{\text{flux density in iron}}{\text{flux density in air}} = \frac{B_i}{10}$$

∴ $B_i = 10 \times \mu_i = 10 \times 400 = 4000$ lines/cm^2.

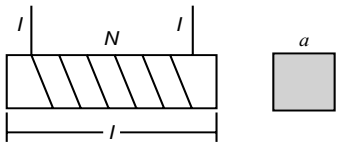
எடுத்துக்காட்டு 5.15

3mA மின்னோட்டம் இரும்பு உள்ளகத்தில் கொடுக்கும் பாயம்

$$\varphi = B_i \times a = 4000 \times 5 = 20,000 \text{ lines} = 2 \times 10^{-4} \text{ Wb}$$

ஃ $$L = \frac{N\varphi}{I} = \frac{150 \times 2 \times 10^{-4}}{3 \times 10^{-3}} = 10\text{H}.$$

(ii) **இரண்டாவது வழிமுறை:** காந்த சுற்றின் தூண்டல் எண் இயல் பரிமாணங்களின் மூலம் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. படத்தில் (5.7) காட்டியபடி இரும்பு உள்ளகம் கொண்ட சுருளை கருதுக. சுருளின் தூண்டல் எண்



படம் 5.7: வரிச்சுருளின் குறுக்குவெட்டு

$$L = N \frac{d\varphi}{dI}$$

இப்போது, $$\varphi = \frac{m.m.f.}{\text{reluctance}} = \frac{NI}{l / a\mu_0\mu_r} \quad \ldots(5.23)$$

I ஐ பொருத்து φ ஐ வகைகெழுபடுத்த,

$$\frac{d\varphi}{dI} = \frac{N\, a\mu_0\mu_r}{l}$$

ஃ $$L = N \frac{N\, a\mu_0\mu_r}{l} = \frac{N^2\, a\mu_0\mu_r}{l} \quad \ldots(5.24)$$

அல்லது, $$L = \frac{N^2}{l / a\mu_0\mu_r} = \frac{N^2}{\text{reluctance (S)}} \quad \ldots(5.25)$$

தூண்டல் எண் சுற்றுகளின் எண்ணிக்கைக்கு இரு மடிக்கு நேர்த்தகவிலும் மற்றும் காந்த பாதையின் விலக்கத்திற்கு எதிர் தகவிலும் இருக்கும்.

எடுத்துக்காட்டு 5.16

எடுத்துக்காட்டு 5.16: 400 mm^2 குறுக்கு வெட்டு பரப்பும் 400 mm விட்டமும் கொண்ட மரத்தினால் ஆன வரி சுருளை கருதுக. சீராக சுற்றப்பட்ட 100 சுற்றுகளை கொண்ட சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் 2 A ஆகும்.

சுருளின் (i) மின் தூண்டல் மற்றும் (ii) 10 ms நேரத்திற்கு சீராக சுழியாக்கப்படும் மின்னோட்டத்தால் சுருளில் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையை காண்க.

தீர்வு:

இங்கு $l = 0.4\,\pi$ m, $a = 400 \times 10^{-6}$ m^2.

எடுத்துக்காட்டு 5.16

(i) $L = \dfrac{N^2 a \mu_0 \mu_r}{l} = \dfrac{(1000)^2 \times 400 \times 10^{-6} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1}{0.4\,\pi} = 0.4 \times 10^{-3}$ H.

(ii) $e = L\dfrac{dI}{dt} = 0.4 \times 10^{-3}\ \dfrac{2-0}{10 \times 10^{-3}} = 0.08\,\text{V}.$

எடுத்துக்காட்டு 5.17

எடுத்துக்காட்டு 5.17: 300–சுற்றுக்கள் உடைய சுருளின் மின் தடை 6Ω மற்றும் தூண்டல் 0.5H ஆகும். மூன்றில் ஒரு பங்கு சுருள் நீக்கப்பட்ட பின் உருவாகும் புதிய மின் தடை மற்றும் தூண்டல் எண்ணை காண்க.

தீர்வு:

சுருளின் மின் தடை நீளத்திற்கு நேர் தகவில் இருப்பதால்,

$$R_1 / R_2 = N_1 / N_2$$

∴ $6 / R_2 = 300 / 200$

∴ $R_2 = \dfrac{200}{300} \times 6 = 4\Omega.$

இப்போது, $\dfrac{L_1}{L_2} = \dfrac{N_1^2 / S}{N_1^2 / S}$

காந்த பாதை விலக்கம் மாறிலி என கருதினால், $\dfrac{0.5}{L_2} = \dfrac{(300)^2}{(200)^2}$

∴ $L_2 = 0.22\text{H}.$

சுருளின் மின் தூண்டலின் சார்புகள்: சுருளின் மின் தூண்டலின் சார்புகள் :

(i) சுருளின் நீளம் *(l)*,

(iii) சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை *(n)*,

(ii) குறுக்கு வெட்டு பரப்பு (a), மற்றும்

(iv) உள்ளகத்தின் இயல் பண்புகள்.

உதாரணமாக *r* ஆரமுள்ள நீண்ட சுருளின் தன் மின் தூண்டல் (காற்று ஊடகம் உள்ள போது),

$$L = \mu_0 n^2 lA = \mu_0 \pi r^2 n^2 l \qquad \ldots(5.26)$$

இங்கு $A = \pi r^2$ சுருளின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு, *n* ஓரலகு நீளத்தில் சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை.

உட்புகுதிறன் கொண்ட ஊடகம் உள்ளகத்தில் உள்ள போது μ,

$$L = \mu n^2 lA = \mu_0 \mu_r \pi r^2 n^2 l \qquad \ldots(5.27)$$

இங்கு μ_0 என்பது வெற்றிடத்தின் உட்புகுதிறன் மற்றும் μ_r என்பது ஊடகத்தின் சார்பு உட்புகுதிறன் ஆகும்.

5.9 பரிமாற்று மின் தூண்டல்

ஒரு சுருளில் உண்டாகும் மின்னோட்ட மாறுபாடு அருகில் இருக்கும் சுருளில் மின்னியக்கு விசையை தூண்டும் நிகழ்வே *பரிமாற்று மின் தூண்டல்* எனப்படும், ஒரு சுருளில் நேரத்தை பொருத்து மாறும் மின்னோட்டத்தால் அருகில் உள்ள சுருளில் காந்த பாய மாற்றத்தை ஏற்படுத்தி தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையை உருவாக்கும். இரண்டாவது சுருளில் உருவாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை முதலாவது சுருளில் ஏற்படும் மின்னோட்ட மாற்றத்தை எதிர்க்கும் இந்நிகழ்வே பரிமாற்று மின் தூண்டல் எனப்படும். பரிமாற்று மின் தூண்டல் இரு சுருள்களின் பண்பினால் உருவாகிறது.

வரையறை: இப்பண்பினால் ஒவ்வொரு சுருளும் அதனுள் உருவாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையின் மூலமாக மின்னோட்ட பாய மாற்றத்தை எதிர்க்கும் திசையில் அமையும்.

5.9.1 பரிமாற்று மின் தூண்டல் குணகம்

t கண நேரத்தில் முதன்மை சுருளில் பாயும் மின்னோட்டத்தால் இரண்டாம் சுருளில் தொடர்பு கொண்ட காந்த பாயம் ϕ எனில்,

$$\varphi \propto I$$

அல்லது, $$\varphi = MI \qquad \ldots(5.28)$$

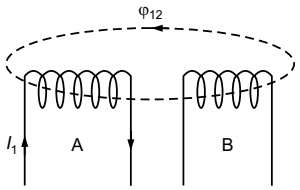
இங்கு தகவு மாறிலி என்பது பரிமாற்று மின் தூண்டல் கெழு அல்லது இரு சுருளின் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் மற்றும் சுருள்களின் பண்பு மாறிலி எனப்படும்.

$I = 1$ எனில் $\quad M = \varphi$

சுருள் இணைகளின் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் என்பது ஒரு சுருளில் ஓரலகு மின்னோட்டம் பாயும் போது மற்றொரு சுருளில் ஏற்படும் காந்த பாய தொடர்பேயாகும்.

பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்ணின் அலகு Wb/A அல்லது volt-s/amp ஆகும் மற்றும் பொதுவாக ஹென்றி (H) ஆக அறியலாம்.

படம் 5.8 ல் உள்ளபடி இரு சுருள்களை அருகருகே வைக்கவும். சுருள் A இல் மின்னோட்டம் பாயும்போது சுருள் B யில் பரிமாற்று பாயத்தின் பகுதி உருவாக்கப்படுகிறது. சுருள் A வில் I_1 மின்னோட்டம் மாறும்போது பாயமும் மாறி சுருள் B யில் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை உருவாகிறது. சுருள் B யில் உருவாகும் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசை பரிமாற்று மின்னியக்கு விசை எனப்படும்.



படம் 5.8: ஒன்றுக்கொன்று அருகில் வைக்கப்பட்டுள்ள இரண்டு சுருள்கள் A மற்றும் B

இதன் மாற்றும் மிகச்சரியாக இருக்கும். அதாவது B சுருளில் ஏற்படும் மின்னோட்ட மாற்றம் சுருள் A வில் பரிமாற்று தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையை உருவாக்கும். தன் மின் தூண்டல் மின்னியக்கு விசையே தன் மின் தூண்டல் எண்ணுக்கு (L) காரணமாக அமைவது போல் பரிமாற்று தூண்டல் *e.m.f.* பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண்ணுக்கு (M) காரணமாகிறது. இரு சுருள்கள் A மற்றும் B அவற்றினுடைய மின்தூண்டல் எண்கள் முறையே L_A மற்றும் L_B ஆகும். மேலும் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண்ணின் விளைவு

அதிகமாகவோ (L_A+M மற்றும் L_B+M) அல்லது குறைவாகவோ (L_A - M மற்றும் L_B - M) இருக்கலாம். அது சுருள்கள் வைக்கப்பட்ட அமைப்பை பொறுத்தது.

M க்கான கோவை: சுருள் B யில் பரிமாற்று தூண்டல் e.m.f. ∝ சுருள் A வில் ஏற்படும் மின்னோட்ட மாறுபாடு

அல்லது, $$e_M \propto \frac{dI_1}{dt}$$

அல்லது, $$e_M = M\frac{dI_1}{dt} \qquad \ldots(5.29)$$

இங்கு M என்பது இரு சுருள்களுக்கிடையேயான பரிமாற்று மின் தூண்டல் மாறிலி.

ஹென்றியின் வரையறை: சமன். (5.29) இல், $eM = 1$ volt, $\frac{dI_1}{dt} = 1$ A /s, எனில் M = 1H.

பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் என்பது ஒரு சுருள் ஒரு வினாடியில் ஏற்படும் ஒரு ஆம்பியர் மின்னோட்ட மாறுபாடு ஒரு வோல்ட் *e.m.f.*ஐ உண்டாக்கினால் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண்ணின் அலகு ஒரு ஹென்றி.

பரிமாற்றுமின் தூண்டல் எண்ணின் பரிமாணங்கள்: சமன். (5.29) இல் நாம் பெறுவது,

$$M = \frac{e_M}{\frac{dI_1}{dt}}$$

பரிமாற்று மின்தூண்டலின் பரிமாணங்கள்,

$$[M] = \left[\frac{emf \times \text{time}}{\text{current}}\right] = \left[\frac{\text{work} \times \text{time}}{\text{charge} \times \text{current}}\right] = \left[\frac{\text{work} \times \text{time}}{\text{charge}^2 \times \text{time}}\right]$$

$$[M] = \left[ML^2T^{-2}I^{-2}\right]$$

Mக்கான மற்ற கோவைகள்: சமன். (5.29) ஐ தவிர்த்து M க்கு மாற்றாக இரு முறைகள் பின்வருமாறு:

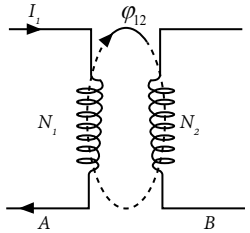
(i) **முதல் வழிமுறை:** படம் 5.9 காந்தவியலால் இணைக்கப்பட்டுள்ள இரு சுருள்கள் A மற்றும் B

$$e_M = M\frac{dI_1}{dt} = \frac{d}{dt}(MI_1)$$

மேலும் $$e_M = N_2\frac{d\varphi_{12}}{dt} = \frac{d}{dt}(N_2\,\varphi_{12})$$

இரு கோவைகளிலிருந்து, $MI_1 = N_2\varphi_{12}$

அல்லது, $$M = \frac{N_2\,\varphi_{12}}{I_1} \qquad \ldots(5.30)$$



படம் 5.9: இரண்டு காந்த பிணைப்பு சுருள்கள் A மற்றும் B

ஹென்றியின் வரையறை: $N_2\varphi_{12} = 1$ Wb மற்றும் $I_1 = 1A$, எனில் M = 1H. சுருள் A வில் ஒரு வினாடியில் பாயும் 1A மின்னோட்டத்தினால் சுருள் B யில் உருவாகும் பாயம் ஒரு வெபர் பாயத்தினால் சுருள் A மற்றும் B க்கு இடையே தோன்றும் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் ஒரு ஹென்றி ஆகும்.

(ii) **இரண்டாம் வழிமுறை:** இரு சுருள்களுக்கிடையே ஏற்படும் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண்ணும் காந்தச் சுற்றினுடைய இயல் பரிமாணங்களைக் கண்டறிகின்றன. படம் 5.9 காந்தவியலால் இணைக்கப்பட்டுள்ள இரு சுருள்கள் A மற்றும் B, N_1 மற்றும் N_2 சுற்றுக்களைக் கொண்டுள்ளன.

காந்தத்தின் நீளம் l மற்றும் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு a என்க. இங்கு μ_r என்பது சார்பு உட்புகுதிறன் என்க.

பரிமாற்றுப் பாயம், $$\varphi_{12} = \frac{m.m.f.}{\text{reluctance}} = \frac{N_1 I_1}{1/a\,\mu_0\mu_r} \quad \ldots(5.31)$$

அல்லது, $$\frac{\varphi_{12}}{I_1} = \frac{N_1 a\,\mu_0\mu_r}{l}$$

$$M = \frac{N_1 N_2 a\mu_0\mu_r}{l} \quad \left[M = \frac{N_2\,\varphi_{12}}{I_1}\right] \quad \ldots(5.32)$$

அல்லது, $$M = \frac{N_1 N_2}{l/a\,\mu_0\mu_r} = \frac{N_1 N_2}{\text{reluctance (S)}} \quad \ldots(5.33)$$

சமன். (5.33) லிருந்து பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் காந்த சுற்றின் விலக்கலுக்கு எதிர்த்தகவில் உள்ளது என்பதை அறியலாம்.

எடுத்துக்காட்டு 5.18: 300 mm நீளமுள்ள இரும்பு வளையத்தின் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு 500mm^2. இது 100 சுற்றுக்களை கொண்டது. (a) சுருளில் 500 μWb அளவு பாயத்தை உருவாக்க தேவையான மின்னோட்டத்தின் அளவு (b) அமைப்பு மின்தூண்டல் எண் (c) தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையை 1 ms மின்னோட்டம் குறையும்போது கண்டுபிடி. சார்பு உட்புகுத்திறன் 1600.

தீர்வு:

(a) வளையத்தின் விலக்கு எண், $$S = \frac{l}{\mu_0\,\mu_r\,A} = \frac{300\times10^{-3}}{4\pi\times10^{-7}\times1600\times500\times10^{-6}} = 298.4\text{kA/Wb.}$$

மீண்டும், NI = φS மின்னோட்டத்திலிருந்து,

$$I = \frac{\varphi S}{N} = \frac{500\times10^{-6}\times298415.52}{100} = 1.492\text{A.}$$

(b) தூண்டல் எண், $$L = \frac{N^2}{S} = \frac{(100)^2}{298.4\times1000} = 33.51\text{mH.}$$

(c) தூண்டப்பட்ட e.m.f., $$E = -N\frac{d\varphi}{dt} = -100\times\frac{500\times10^{-6}}{1\times10^{-3}} = -50\text{V.}$$

எடுத்துக்காட்டு 5.18

எடுத்துக்காட்டு 5.19

எடுத்துக்காட்டு 5.19: 400 சுற்றுக்களைக் கொண்ட முதன்மை சுற்று வழியே பாயும் மின்னோட்டம் 10 mA - 35 mA ஆக 100 ms ல் உயர்கிறது. இரண்டாவது சுருளில் அது கொடுக்கும் மின்னியக்கு விசை 75 mV. அது திறக்கப்பட்ட சுற்று. 240 சுற்றுக்களை கொண்டது எனில் இரு சுருள்களிடையே உள்ள (i) பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் (ii) விலக்கல் எண் (iii) இரண்டாவது சுருள்களின் தன் மின் தூண்டல் எண் ஆகியவற்றை கண்டுபிடி.

தீர்வு:

(a) பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண், $M = \dfrac{E_M}{\dfrac{dI_1}{dt}} = \dfrac{75\times10^{-3}}{\dfrac{(35-10)\times10^{-3}}{100\times10^{-3}}} = 0.30\text{H}.$

(b) விலக்கல் எண், $S = \dfrac{N_1 N_2}{M} = \dfrac{400\times240}{0.30} 320000\text{A/Wb} = 320\text{kA/Wb}.$

(c) இரண்டாம் சுருளின் தன் மின் தூண்டல் எண், $L_2 = \dfrac{N_2^{\,2}}{S} = \dfrac{(240)^2}{320\,000} = 0.18\text{H}.$

எடுத்துக்காட்டு 5.20

எடுத்துக்காட்டு 5.20: 4.5 cm ஆரமுள்ள 2100 சுற்றுக்களைக் கொண்ட சுருள் நீளம் 70 cm. 750 சுற்றுக்களைக் கொண்ட இரண்டாவது சுருள் முதல் சுருளின் மையத்தில் சுற்றப்பட்டுள்ளது. சுருளின் (i) தன் மின் தூண்டல் எண் மற்றும் (ii) இரு சுருள்களின் பரிமாற்று மின் தூண்டல் ஆகியவற்றை கண்டுபிடி.

தீர்வு

μ_r கொடுக்கப்படாததால் 1 என எடுத்துக் கொள்ளலாம். இங்கு, பரப்பு

$$a = \pi r^2 = \pi\,(4.5\times10^{-2})^2\ \text{m}^2.$$

(i) தூண்டல் எண் $\quad L = \dfrac{N^2\ \alpha\ \mu_0\mu_r}{l}$

$$= \frac{(2100)^2\times\pi\times(4.5\times10^{-2})^2\times4\pi\times10^{-7}\times1}{0.7} = 51\times10^{-3}\ \text{H}.$$

(ii) இரண்டாம் சுருள் முதல் சுருளின் மையத்தில் சுற்றப்பட்டுள்ளதால் இணைப்பு குணகம் அதாவது சுருளின் மொத்த காந்தப் பாயம் மொத்த சுருளுக்கும் சமம்.

$$M = \frac{N_1\ N_2\ \alpha\ \mu_0\mu_r}{l}$$

$$= \frac{2100\times750\times\pi\times(4.5\times10^{-2})^2\times4\pi\times10^{-7}\times1}{0.7} = 18.2\times10^{-3}\text{H}.$$

எடுத்துக்காட்டு 5.21: இரு சுருள்கள் A மற்றும் B முறையே 100 மற்றும் 1000 சுற்றுக்களைக் கொண்டது. இரு சுருள்களும் ஒன்றுக்கொன்று பக்கத்தில் 80 cm நீளமுள்ள 8 cm^2 குறுக்கு வெட்டு பரப்பு கொண்ட நீளமுள்ள இரும்பு சுற்றின் மீது சுற்றப்படுகிறது. சார்பு உட்புகுத்திறன் 900. இரு சுருள்களுக்கிடையேயான பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்ணைக் காண்க. சுருள் A வில் பாயும் மின்னோட்டம் o இலிருந்து 10A ஆம்பியருக்கு 0.02s ல் சீராக அதிகரித்தால் சுருள் B யில் உண்டாகும் மின்னியக்கு விசையைக் கண்டுபிடி.

தீர்வு:

பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண்

$$M = \frac{N_1 N_2\, a\mu_0\mu_r}{l} = \frac{100 \times 1000 \times 8 \times 10^{-4} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 900}{0.8} = 0.113 \text{ H.}$$

மற்றும் தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* $e_B = M\,\frac{dI_1}{dt} = 0.113 \times \frac{10-0}{0.02} = 56.5 \text{ V}$

எடுத்துக்காட்டு 5.21

5.10 இணைப்புக் குணகம்

ஒரு சுருளில் பாயும் மின்னோட்டத்தால் மற்றொரு சுருளில் பாயும் பகுதியளவு காந்தப் பாயம் இணைப்புக் குணகம் என வரையறை செய்யப்படுகிறது. A மற்றும் B ஆகிய இரு சுருள்களில் உள்ள சுற்றுக்கள் எண்ணிக்கை N_1 மற்றும் N_2 ஆகும். அவற்றின் தனித்தனியான தன் மின் தூண்டல் எண்கள் முறையே L_1 மற்றும் L_2 ஆகும். அவற்றின் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் M ஆகும்

எனில் $$M = \frac{N_1\varphi_1}{I_2}$$

அல்லது, $$M = \frac{N_1 K_1 \varphi_2}{I_2} \qquad \ldots(5.34)$$

இங்கு φ_2 என்பது சுருள் 2 இல் I_2 மின்னோட்டத்தினால் உருவாகும் காந்தப் பாயம். எனினும், ஒரு பகுதி அளவு $K_1\varphi_2$ மட்டுமே சுருள் ஒன்றுடன் தொடர்பில் இருக்கும்.

சுருள் 1 மற்றும் 2 ன் பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண் பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$M = \frac{N_2\varphi_2}{I_1} = \frac{N_2 K_2 \varphi_1}{I_1} \qquad \ldots(5.35)$$

இங்கு φ_1 என்பது சுருள் 1 இல் I_1 மின்னோட்டத்தினால் உருவாகும் காந்தப் பாயம். எனினும், ஒரு பகுதி அளவு $K_2\varphi_1$ மட்டுமே சுருள் ஒன்றுடன் தொடர்பில் இருக்கும். சமன். (5.34) மற்றும் சமன். (5.35) பெருக்க,

$$M^2 = \frac{N_1 N_2 \phi_1 \phi_2}{I_1 I_2} K_1 K_2 = K_1 K_2 \left(\frac{N_1\phi_1}{I_1}\right)\left(\frac{N_2\phi_2}{I_2}\right)$$

$$= K_1 K_2 L_1 L_2 \quad \left[\because L_1 = \frac{N_1 \varphi_1}{I_1} \text{ and } L_2 = \frac{N_2 \varphi_2}{I_2} \right]$$

$$M = \sqrt{K_1 K_2} \times \sqrt{L_1 L_2} \qquad \ldots(5.36)$$

எனவே, இணைப்பு குணகம்,

$$K = \sqrt{K_1 K_2} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \qquad \ldots(5.37)$$

ஆகையால், இணைப்புக் குணகம் இரு சுருள்களின் தனித்தனி தன் மின் தூண்டல் எண்ணிற்கும் அவற்றின் மொத்த பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண்ணையும் சார்ந்திருக்கும்.

இரு சுருள்களின் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் சார்புகள்: இரு சுருள்களால் உண்டாக்கப்படும் பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்ணின் சார்புகள் கீழ்க்கண்டவற்றை சார்ந்துள்ளன:

(i) சுருள்களுக்கு இடையேயான தொலைவு (d),

(ii) சுருள்களின் அமைவு,

(iii) சுருள்களின் அளவு மற்றும் வடிவம்,

(iv) இரு சுருள்களில் உள்ள சுற்றுக்கள் எண்ணிக்கை மற்றும்

(v) சுற்றுகள் சுற்றப்பட்ட சுருள் இயல் பண்பு.

எடுத்துக்காட்டாக, இரு நீண்ட ஓரச்சு கொண்ட சுருள் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண்,

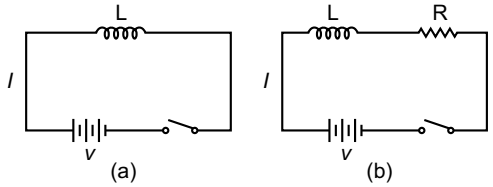
$$M = \mu_0 n_1 n_2 A d \quad \text{(காற்று ஊடகத்திற்காக)} \qquad \ldots(5.38)\ (a)$$

$$= \mu n_1 n_2 A d \quad \text{(மற்ற ஊடகத்திற்காக)} \qquad \ldots(5.38)\ (b)$$

இங்கு n_1 மற்றும் n_2 ஆகியவை முறையே ஓரலகு நீளத்தில் உள்ள முதல் மற்றும் இரண்டாம் சுற்றுக்கள் ஆகும், L என்பது சுருளின் நீளம், A என்பது உள்சுருளின் பரப்பு, μ_0 என்பது வெற்றிடத்தில் உட்புகுதிறன் மற்றும் μ என்பது ஊடகத்தின் உட்புகுதிறன் ஆகும்.

5.11 காந்தப்புலத்தில் உள்ள சுருளில் சேமிக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல்

காந்தப்புலத்தில் உள்ள சுருளில் சேமிக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல் சுருளை சுற்றி காந்தப் புலத்தை உருவாக்க ஆற்றல் தேவை. ஆனால் அதை பராமரிக்க எந்த ஆற்றலும் தேவையில்லை. இந்த ஆற்றல் காந்தப்புலத்தில் சேமிக்கப்படுகிறது. மின்னோட்டத்தில் குறைவு ஏற்படும்போது சுருளுடன் தொடர்புடைய பாயத்திலும் குறைவு ஏற்படுகிறது. இப்போது சுற்றினால் சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றல் சுற்றுக்கு திரும்புகிறது. படத்தில் 5.10 (a) காட்டியுள்ளபடி DC மூலம் மின்தூண்டிக்கு இணைக்கப்படுகிறது.



படம் 5.10: (a) D.C. மூலத்தில் இணைக்கப்பட்டுள்ள மின்தூண்டி, (b) ஒரு காந்தப்புலத்தில் உள்ள ஒரு சுருளில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றல்

மின்தூண்டியின் மின்தூண்டல் எண் L சிறு மின்தடை R உடன் படத்தில் 5.10 (b) காட்டியுள்ளபடி இணைக்கப்படுகிறது. சுற்றுக்கு கொடுக்கப்படும் ஆற்றல் இரண்டு வழிகளில் செலவிடப்படுகிறது:

(i) கொடுக்கப்பட்ட ஆற்றலின் பகுதி அளவு I^2R இழப்புகளை சரிப்படுத்த பயன்படுகிறது. அது திரும்ப பெற முடிவதில்லை.

(ii) மீதமுள்ள ஆற்றல் சுருளை சுற்றி காந்தப் பாயத்தை உருவாக்க செலவாகிறது மற்றும் இது காந்தப் புலத்தில் சேமிக்கப்படுகிறது. காந்தப் புலம் குறையும்போது சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றல் சுற்றுக்கு திருப்பப்படுகிறது.

கணிதவியல் கோவையின்படி: எந்தவொரு கணத்திலும் சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் i உயரும் விகிதம் $\frac{di}{dt}$ எனில் L ஐ தாண்டிய $e.m.f$ ஆனது,

$$e = L\frac{di}{dt}$$

ஃ உடனடியான திறன், $$p = ei = Li\frac{di}{dt} \qquad \ldots(5.39)$$

சிறு நேர இடைவெளி dt யில் காந்தப்புலத்தில் செலுத்தப்பட்ட dW ஆற்றலானது திறன் மற்றும் நேரம் ஆகியவற்றின் பெருக்குத்தொகைக்கு சமம் ஆகும்.

$$dW = p.dt = \left(Li\frac{di}{dt}\right)dt = Li\,di$$

மின்னோட்டம் சுழி நிலையிலிருந்து நிலையான மதிப்பு I ஐ அடையும்வரை,

$$W = \int_0^I Li\,di = \frac{1}{2}LI^2 \qquad \ldots(5.40)$$

ஃ காந்தப் புலத்தில் சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றல் $= \frac{1}{2}LI^2$ joules

சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றல் ஜூலிலும் மின்தூண்டல் எண் (L) ஹென்றியிலும் மின்னோட்டம் (I) ஆம்பியரிலும் அளக்கப்படும். மின்தூண்டி வழியே பாயும் மின்னோட்டம் அதிகரித்தால் சேமிக்கப்படும் ஆற்றலும் அதிகரிக்கும். மின்னோட்டம் குறைந்தால் அதுவும் குறையும். எனவே, எப்போதெல்லாம் மின்னோட்டம் உயர்கிறதோ, அப்போதெல்லாம் சுருளானது ஆற்றலை உட்கிரகித்து மின்னோட்டம் குறையும்போது ஆற்றலை சுற்றுக்கு திரும்பவும் அனுப்புகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 5.22: 50 mA மின்னோட்டம் பாயும் சுருள் மின்தூண்டல் 0.5 H எனில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றலைக் காண்க.

தீர்வு:

சேமிக்கப்படும் ஆற்றல்

$$W = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\times 0.5\times\left(50\times10^{-3}\right)^2 = 0.625\,\text{mJ}.$$

எடுத்துக்காட்டு 5.22

எடுத்துக்காட்டு 5.23

எடுத்துக்காட்டு 5.23: சுருள் வழியே பாயும் 2A மின்னோட்டம் 60J ஆற்றலை உருவாக்கினால் சுருள் தன் மின் தூண்டல் எண்ணை கணக்கிடுக.

தீர்வு:

நாம் பெறுவது, $W = \frac{1}{2} LI^2$

எனவே, சுருளின் தூண்டல்,

$$L = \frac{2W}{I^2} = \frac{2 \times 60}{(2)^2} = 30\text{H}.$$

எடுத்துக்காட்டு 5.24

எடுத்துக்காட்டு 5.24: 1200 சுற்றுக்களைக் கொண்ட சுருள் வழியே பாயும் மின்னோட்டம் 5 A இதனால் உருவாகும் பாயம் 30 mWb, 250 ms இல் வினாடியில் மின்னோட்டம் சுழிக்கு குறைந்தால் அதன் (a) தன் மின் தூண்டல், (b) ஆற்றல் சேமிப்பு மற்றும் (c) சராசரி மின்னியக்கு விசையை காண்க.

தீர்வு:

(a) சுருளின் தன் மின்தூண்டல் எண், $L = \frac{N\varphi}{I} = \frac{1200 \times 30 \times 10^{-3}}{5} = 7.2\text{H}.$

(b) ஆற்றல் சேமிப்பு, $W = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \times 7.2 \times (5)^2 = 90\text{J}.$

(c) தூண்டப்பட்ட *e.m.f.*, $E = L\frac{dI}{dt} = 7.2 \times \frac{5-0}{0.25} = 144\text{V}.$

எடுத்துக்காட்டு 5.25

எடுத்துக்காட்டு 5.25: 50 cm நீளம் கொண்ட 5 cm விட்டமுடைய காற்று உள்ளக சுருளில் சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கை 1000. ஒரு ஆம்பியர் மின்னோட்டம் சுருள் வழியே பாய்ந்தால் சுருளின் (a) தன் மின் தூண்டல் எண் (b) ஆற்றல் சேமிப்பை கணக்கிடுக.

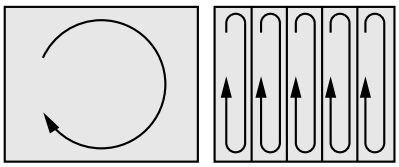
தீர்வு:

இங்கு $a = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} \times 25 \times 10^{-4} = 19.63 \times 10^{-4}\ \text{m}^2.$

(a) தூண்டல் எண், $L = \frac{N^2\, a\mu_0\mu_r}{l} = \frac{(1000)^2 \times 19.63 \times 10^{-4} \times 4\pi \times 10^{-7} \times 1}{0.5} = 4.94\ \text{mH}.$

(b) ஆற்றல் சேமிப்பு $\frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} \times 4.94 \times 10^{-3} \times (1)^2 = 2.47\ \text{mJ}.$

5.12 சுழல் மின்னோட்டங்கள்



(a) (b)

படம் 5.11: (a) உயர் சுழல் மின்னோட்டமுள்ள கடத்தி மற்றும் (b) குறை சுழல் மின்னோட்டமுள்ள உரையிட்ட கடத்தி

கடத்தியின் வழியே எப்போதெல்லாம் காந்தப் புலம் மாறுபடுகிறதோ பாரடேவின் மின்காந்த தூண்டல் விதியின் அடிப்படையின் தொடர்ச்சியாக கடத்திகளில் சுழல் வடிவில் மின்னோட்டம் தூண்டப்படும். இவை சுழல் மின்னோட்டங்கள் அல்லது எட்டி (Eddy) மின்னோட்டங்கள் எனப்படும். இது கடத்தியில் உருவாகும் மூடப்பட்ட சூழல்களில் காந்தப் புல திசைக்கு செங்குத்தாக உருவாகும். நேரத்தை பொறுத்து மாறுபடும் காந்தப் புலங்களின் விளைவால் அருகில் உள்ள கடத்திகளில் சுழல் மின்னோட்டங்கள் உருவாகிறது. இந்த சுழல் மின்னோட்டங்களுமே அருகில் உள்ள கடத்திகளுக்கு செலுத்தப்படும் புலத்தின் காந்தத்திற்கும் இடையேயான சார்பு இயக்கத்தை தூண்டுகின்றன. கொடுக்கப்பட்ட கண்ணிகளில் பாயும் மின்னோட்டத்தின் எண்மதிப்பு, பின்வருவனவற்றை சார்ந்தது :

(i) காந்தப் புல வலிமை

(ii) கண்ணியின் பரப்பு, மற்றும்

(iii) காந்தப் பாய மாறுபாடு வீதம், மற்றும் பின்வருவனவற்றுக்கு எதிர் தகவில் உள்ளது. பொருளின் மின்தடை எண்.

சுழல் மின்னோட்டத்தால் உருவாகும் காந்தப்புலம் லென்ஸ் விதியை பின்பற்றி புலம் உருவாகக் காரணமான மின்னோட்டத்தையும் எதிர்க்கும். இந்த சுழல் மின்னோட்டமே காந்தப் புலத்தை உருவாக்கும் மூலமாக இருக்கிறது. இந்த நிகழ்வு மின்சார வேக குறைப்பான்களில் பயன்படுகிறது. பொதுவாக, சுழலும் திறன் வாய்ந்த பொருட்களின் வேகத்தை உடனடியாக நிறுத்துவதற்கு இது பயன்படுகிறது. சுழல் மின்னோட்டத்தால் உருவாகும் காந்தப்புலம் லென்ஸ் விதியை பின்பற்றி புலம் உருவாகக் காரணமான மின்னோட்டத்தையும் எதிர்க்கும். இந்த சுழல் மின்னோட்டமே காந்தப் புலத்தை உருவாக்கும் மூலமாக இருக்கிறது

இந்த நிகழ்வு மின்சார வேக குறைப்பான்களில் பயன்படுகிறது. பொதுவாக, சுழலும் திறன் வாய்ந்த பொருட்களின் வேகத்தை உடனடியாக நிறுத்துவதற்கு இது பயன்படுகிறது.

கடத்தியின் மின்தடையின் வழியே பாயும் மின்னோட்டமானது ஆற்றலை வெப்பமாக இழக்கிறது. சுழல் மின்னோட்டமே, மாறுநிலை மின்னோட்ட எந்திரங்கள் அதாவது மின்தூண்டிகள் மின்மாற்றிகள் மின்மோட்டார்கள், மின்னியற்றிகளில் முதன்மையான ஆற்றல் இழப்பு மூலமாக பயன்படுகிறது.

சுழல் மின்னோட்டங்களின் விளைவைக் குறைப்பதற்கு சிறப்பான மேற்பூச்சு காந்த உள்ளகங்கள் பரிந்துரைக்கப்படுகின்றன. தூண்டல் வகை வெப்பமூட்டிகளில் சுழல் மின்னோட்டப் பண்பு உபயோகப் படுத்தப்படுகிறது. மேலும் இது உலோகப் பகுதிகளில் ஏற்படும் துளைகள் விரிசல்கள் ஆகியவற்றையும் கண்டறிய பயன்படுகிறது.

5.13 மின்காந்த வேகத்தடுப்பான்

காந்த வேகத்தடுப்பான் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்குவிசை மற்றும் லென்ஸ் விதிப்படி செயல்படுகிறது. உலோகத்தகடு பொருத்தப்பட்ட ஊசலானது காந்த துருவங்களுக்கிடையே ஊசலாடும்போது அலைவு வேகம் பெருமளவு குறைந்து சுழி அளவை எட்டும் காந்தப் புலம் வழியே தகடானது செல்லும்போது தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டங்கள் உருவாகிறது. இவை சுழல் வடிவில் அமைவதால் சுழல் மின்னோட்டங்கள் எனப்படும்.

இந்த சுழல் மின்னோட்டங்கள் உருவாகும் காந்தப் பாயத்தை எதிர்க்கும் விதமாக அமைந்து லென்ஸ் விதிக்கு சான்று பகர்கின்றன. அதில் உருவாகும் சுழல் மின்னோட்டங்களால் தகட்டின் வெப்பநிலை உயர்ந்து அதனுடைய இயக்க ஆற்றல் குறைகிறது. இதுவே மின்காந்த வேகக்குறைப்பான்களின் தத்துவம்.

இத்தத்துவம் பல்வேறு பயன்பாடுகளுக்கு உபயோகப்படுத்தப்படுகிறது. திடக்கழிவுகளிலிருந்து காந்தமல்லாத உலோகங்களை பிரித்தெடுக்கவும் விண்வெளிக்கப்பல்களில் அதிர்வுகளை குறைக்கவும் பயன்படுகின்றன. மின்காந்தம் வழியே மின்னோட்டம் பாயும் போது இரயில் தண்டவாளங்களில் நகரும் போது சுழல் மின்னோட்டங்கள் தண்டவாளங்களில் உருவாகின்றன. இந்த சுழல் மின்னோட்டங்கள் அதை உருவாக்கும் காந்தப் புலங்களை எதிர்த்து அவற்றின் வேகத்தை தடுக்கும் விசையாக செயல்படுகின்றன.

அலகு சுருக்கம்

- **காந்தப் பாயம்**

  $d\varphi = \vec{B}.d\vec{S} = BdS\cos\theta$

- **காந்தப் பாய அடர்த்தி**

  $B = \frac{d\varphi}{dS}$

- **பாரடே மின்காந்தத் தூண்டல் விதி**

  $e = \frac{d}{dt}(N\varphi) = N\frac{d\varphi}{dt}$

- **லென்ஸ் விதி**

  $e = -N\frac{d\varphi}{dt}$ volts

- **பிளெமிங் வலக்கை விதி**

  ஆள் காட்டி விரல், நடுவிரல் மற்றும் கட்டை விரல் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருக்கும்படி வைத்திருந்தால் ஆள்காட்டி விரல் காந்த புலத்தின் திசையையும், கட்டை விரல் கடத்தியின் இயக்கத்தின் திசையையும் காட்டினால் நடுவிரலின் திசையில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் அமையும்.

- **தூண்டப்பட்ட E.M.F.**

  இயக்கநிலையில் தூண்டப்பட்ட e.m.f. $e = Blv\sin\theta$

- **தன் மின் தூண்டல்**

  $L = \frac{e}{\frac{dI}{dt}}$

- **பரிமாற்று மின் தூண்டல்**

  $M = \frac{e_M}{\frac{dI_1}{dt}}$

- **இணைப்பு குணகம்**

$$K = \sqrt{K_1 K_2} = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

- **காந்தப் புலத்தில் உள்ள சுருளில் சேமிக்கப்பட்டுள்ள ஆற்றல்**

$$\frac{1}{2} LI^2 \text{ joules}$$

- **சுழல் மின்னோட்டம்**

மாறுநிலை மின்னோட்டம் பயன்படும் மின்மாற்றிகள், மின்தூண்டிகள், மின் மோட்டார்கள், மின்னியற்றிகளில் ஆற்றல் இழப்பின் மூலகாரணம் சுழல் மின்னோட்டம் ஆகும்

- **மின்காந்த வேக தடுப்பான்**

இந்த நிகழ்வு விண்வெளிக்கப்பல்களில் அதிர்வைக் குறைக்கவும், திட கழிவு களிலிருந்து காந்தமல்லாத உலோகங்களை பிரித்தெடுக்க பயன்படுகிறது.

பயிற்சிகள்

கொள்குறி வகை வினாக்கள்

5.1 காந்தப் புலத்தின் குறுக்கே கடத்தியின் இயக்கத்தினால் உருவாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை

(a) e.m.f. (b) இயக்க e.m.f. (c) நிலைம e.m.f. (d) சுழலும் e.m.f.

5.2 தன் தூண்டல் e.m.f. பின்வறுமாறும் அறியப்படுகிறது

(a) தூண்டப்பட்ட e.m.f.

(b) வருவிக்கப்பட்ட e.m.f.

(c) பின் e.m.f.

(d) (a) மற்றும் (b) இரண்டும்

5.3 கடத்தி இயக்க நிலையிலும் காந்தம் நிலையாகவும் இருந்தால் உருவாகும் emf

(a) இயக்க தூண்டப்பட்ட e.m.f.

(b) நிலைம தூண்டப்பட்ட e.m.f.

(c) தன் தூண்டல் e.m.f.

(d) பரிமாற்று தூண்டல் e.m.f.

5.4 கீழ்க்கண்டவற்றுள் எந்த சொற்றொடர் சரியானவை ?

(a) தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையை அறிய லென்ஸ் விதி பயன்படுகிறது

(b) தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையை அறிய பிளெமிங் வலக்கை விதி

(c) விசையின் திசையை கண்டறிய பிளெமிங் இடக்கை விதி பயன்படுகிறது

(d) இவை அனைத்தும்

5.5 கடத்தியில் பாயும் மின்னோட்டம் அதிகரித்தால் லென்ஸ் விதிப்படி தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டமானது
(a) உயரும் மின்னோட்டத்திற்கு உதவும்
(b) மின்னோட்டம் உருவாக காரணமான மின்னோட்ட அளவைக் குறைக்க முயற்சிக்கும்
(c) உயரும் மின்னோட்டத்திற்கு எதிராக மின்னோட்டத்தை உருவாக்கும்
(d) செலுத்தப்படும் மின்னழுத்தத்திற்கு உதவும்

5.6 தூண்டப்பட்ட e.m.f. ன் எண்மதிப்பு _____ சார்ந்தது.
(a) காந்தப் புலத்தின் பாய அடர்த்தி
(b) பாய வெட்டின் அளவு
(c) பாய தொடர்பின் அளவு
(d) பாய மாறுபட்டு வீதம்

5.7 மின்தூண்டலில் மின்னோட்டமானது _____ நேர்த்தகவில் இருக்கும்
(a) மின்தூண்டியின் வழியேயான மின்னழுத்தம்
(b) காந்தப் புலம்
(c) (a) மற்றும் (b) இரண்டும்
(d) (a) மற்றும் (b) இரண்டுமில்லை

5.8 இரு சுருள்களின் தன் மின் தூண்டல் எண் 8 mH மற்றும் 18 mH அவற்றின் இணைப்பு குணகம் 0.5 எனில் பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண்ணைக் காண்க.
(a) 4 mH (b) 5 mH (c) 6 mH (d) 12 mH

5.9 சுருள் 1 இல் பாயும் மின்னோட்டத்தினால் உருவாகும் பாயம் அனைத்தும், சுருள் 2 உடன் தொடர்பு பெற்றால் இணைப்பு குணகம் ஆனது,
(a) 2.0 (b) 1.0
(c) 0.5 (d) சுழி

5.10 எந்த t கணத்திலும் சுருளுடன் தொடர்புடைய காந்த பாயமானது $\varphi_t = 5t^3 - 100t + 200$ எனில் t = 2 வினாடியில் சுருளில் தூண்டப்படும் emf
(a) 200 V (b) 40 V
(c) 20 V (d) – 20 V

5.11 இரு காற்று உள்ளகம் கொண்ட சுருள்களில் இணைப்புக்குணகம் அவற்றின் _____ ஐ சார்ந்தது
(a) தன் மின் தூண்டல் மட்டும்
(b) பரிமாற்று மின்தூண்டல் மட்டும்
(c) பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண் மற்றும் தன் மின் தூண்டல் எண்
(d) இவற்றில் ஏதுமில்லை

5.12 தூண்டப்பட்ட *e.m.f.* ன் எண்மதிப்பானது
(a) சுருள் மற்றும் காந்தத்தின் வேகத்தையும்
(b) சுருளின் சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கையும்
(c) சுருள் வழியே பாயும் மின்னோட்டம்
(d) (a) மற்றும் (b) இரண்டும்

5.13 லென்ஸ் விதி என்பது _____ அழிவின்மை விதியின் தொடர்ச்சி

(a) தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம் (b) மின்னூட்டம்

(c) ஆற்றல் (d) தூண்டப்பட்ட *e.m.f.*

கொள்குறி வகை வினா–விடைகள்
5.1 (b), 5.2 (c), 5.3 (a), 5.4 (d), 5.5 (c), 5.6 (d), 5.7 (b), 5.8 (d), 5.9 (b), 5.10 (b), 5.11 (c), 5.12 (d), 5.13 (c)

சிறு மற்றும் பெரு வினாக்கள்

வகை I

5.1 பாரடே மின்காந்த தூண்டல் விதியை விளக்குக. அதன் வகைக்கெழு மற்றும் தொகைக்கெழு வடிவத்தை பெறுக.

5.2 காந்தப் புலத்தில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றலுக்கான கோவையை பெறுக

5.3 சூழல் மின்னோட்டத்தின் எண்மதிப்பு எக்காரணிகளைச் சார்ந்தது ?

5.4 மின்னோட்டத்தின் காந்த விளைவுக்கு சில பயன்பாடுகளைத் தருக.

5.5 மின்காந்த வேகத்தடுப்பான் சிலவற்றின் பயன்பாடுகளைத் தருக.

5.6 தன் மின் தூண்டல் எண் என்பது சுற்றுக்களின் எண்ணிக்கைக்கு இருமடிக்கு நேர்த்தகவிலும் காந்த பாதையின் விலக்கலுக்கு எதிர்த் தகவிலும் இருக்கும் என்பதை நிரூபிக்க.

5.7 பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் காந்தச் சுற்றின் விலக்கலை பொருத்தது என்பதை நிரூபிக்க.

5.8 இணைப்புக் குணகம் என்பது பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் மற்றும் தன் மின் தூண்டல் ஆகியவற்றை எவ்வாறு சார்ந்துள்ளது ?

5.9 மின் காந்த வேக தடுப்பானின் தத்துவத்தை எழுதுக.

5.10 காந்த பாயம் மற்றும் காந்த பாய அடர்த்தி ஆகியவற்றின் வரையறையிலிருந்து அதன் SI அலகை காண்க.

5.11 லென்ஸ் விதியின் கருத்திலிருந்து ஆற்றல் அழிவின்மை விதியை வெளிப்படுத்துக.

5.12 பிளெமிங்கின் வலக்கை விதியை வரையறு.

5.13 இயக்க மற்றும் நிலையான *e.m.f.* பற்றி தாங்கள் கருத்தை வெளிப்படுத்துக.

5.14 இரு சுருள்களுக்கு இடையேயான இணைப்புக் குணகத்தை பற்றிய உங்கள் பார்வையை வெளிப் படுத்துக.

5.15 இயக்க *e.m.f.* ஐ சுருக்கமாக வரைந்து அதன் கோவையை பெறுக தூண்டப்பட்ட மின்னியக்குவிசை மற்றும் மின்னோட்டத்தின் திசையை பெறுக.

5.16 தன் மற்றும் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண்ணில் இருந்து அவற்றிற்கான கோவையை பெறுக.

5.17 காந்த பாயத்தின் சுழியிலிருந்து அதிகபட்ச மதிப்பிற்கு மாறும் காந்தப் பாயத்திற்கான காரணத்தை எழுதுக.

5.18 பாரடே விதியை லென்ஸ் மாற்றியமைக்க உண்டான காரணம் யாது ?

5.19 பாரடேவின் மின்காந்தத்தூண்டல் விதியின் வகை மற்றும் தொகைக்கெழு வடிவம் எப்பயன் பாட்டிற்க்கு பயன்படுகிறது ?

5.20 லென்ஸ் விதியின் கீழ் ஆற்றல் அழிவின்மை விதியைப் பற்றிய தங்கள் கருத்து என்ன ?

5.21 பிளெமிங் வலக்கை விதி தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையின் திசையை அறிய பொருத்தமான விதி மற்றும் மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தி நிலையான காந்தப் புலத்திற்கு செங்குத்தாக நகர்கிறது. இவ்விரண்டும் ஒரே கருத்தா என விளக்குக.

5.22 "கடத்தியின் வழியே பாயும் மின்னோட்டத்தின் திசையை பிளெமிங்கின் வலக்கை விதியின் மூலம் பெறலாம்". விளக்குக.

5.23 பரிமாற்று தூண்டப்பட்ட மின்னியக்குவிசையை எளிய முறை மூலம் பெறலாம். தங்களுடைய கருத்தை தெளிவாக வெளிப்படுத்துக.

5.24 தன் மின் தூண்டல் எண்ணை விளக்க எளிய முறையை கூறுக.

5.25 சுருளின் தன் மின் தூண்டல் எண் எவற்றை சார்ந்தது ?

5.26 இரு சுருள்களின் பரிமாற்று மின் தூண்டல் எண் என்பது எதைச் சார்ந்துள்ளது ?

5.27 R என்ற சிறிய மின்தடையுடன் L என்ற மின்தூண்டி தொடரில் இணைக்கப்பட்டுள்ளது. சுற்றுக்கு கொடுக்கப்படும் ஆற்றல் இரு வகைகளில் செலவிடப்படுகிறது. அவ்விருவழிகள் யாவை ?

5.28 கடத்திக்குள் சுழல் மின்னோட்டங்கள் எவ்வாறு பாய்கின்றன ?

5.29 மின்காந்த வேக குறைப்பான் விண்வெளிக்கப்பல்களில் அதிர்வைக் குறைக்கின்றன ? அதன் முறையை சுருக்கமாக குறிப்பிடுக.

வகை II

5.30 தன் மின்தூண்டல் *e.m.f.* மற்றும் பரிமாற்று மின் தூண்டல் *e.m.f.* ன் வரையறையிலிருந்து ஹென்றியை வரையறு.

5.31 மின்காந்தத்தூண்டலின் முதன்மை தேவைகளைக் குறிப்பிடுக.

5.32 காந்தப் பாயத்தை அளவிடுவதற்கு நடைமுறை தேவைகளைக் கொடுக்க.

5.33 l தொலைவு பிரித்துவைக்கப்பட்ட இரு இணை கடத்தி தண்டவாளத்தின் மீது உலோகத் தண்டானது உராய்வற்று உருளுகிறது. மின்தடை R ஆனது தண்டவாளங்கள் இடையே இணைக்கப்பட்டுள்ளது. சீரான காந்தப் புலமானது B இப்பகுதியில் நிரப்பப்பட்டுள்ளது. உலோகத் தண்டானது, செங்குத்து திசையில் மாறா வேகத்தில் v நகர்ந்தால் மின்தடையில் பாயும் மின்னோட்டம் என்ன ?

5.34 காந்தப் பாயம் என்பது திசையிலி அளவு. அதேசமயம் பாய அடர்த்தி வெக்டர் அளவு ஆகும். காரணத்தை விளக்குக. இரு அளவுகளுடைய அலகுகளையும் பரிமாணங்களையும் கொடுக்க.

கணக்குகள்

5.1 400 சுற்றுக்களைக்கொண்ட முதன்மை சுருளில் பாயும் மின்னோட்டம் சீராக 10 mA லிருந்து 35 mA க்கு 100 ms வினாடியில் உயர்கிறது எனில் 240 சுற்றுக்களைக் கொண்ட இரண்டாவது சுருளில் 75 mV தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை உருவாகிறது. இரு சுருள்களில் (a) பரிமாற்று மின்தூண்டல் எண் (b) அதன் விலக்க எண் மற்றும் (c) சுற்று திறந்துள்ள போது அதன் இரண்டாவது சுருளில் தன் மின் தூண்டல் எண்ணை கணக்கிடுக. [விடை: 0.3H, 320kA/Wb, 0.18H]

5.2 2000 AT/Wb விலக்க எண் கொண்ட காந்த சுற்றின் மீது 200 சுற்றுக்களுடைய சுருள் சுற்றப் படுகிறது. சுருளின் வழியே பாயும் 1A ஆம்பியர் மின்னோட்டம் 10 ms இல் திருப்பப்பட்டால் தூண்டப்பட்ட சராசரி மின்னியக்கு விசையைக் காண்க. [விடை: 4V]

5.3 2A மின்னோட்டம் தாங்கிய 1000 சுற்றுக்களை உடைய சுருள் 400 mm^2 குறுக்கு வெட்டுப் பரப்பும் 400 mm விட்டமும் கொண்ட வரிச்சுருளின் மீது சுற்றப்படுகிறது. (i) தன் மின் தூண்டல் எண் (ii) மின்னோட்டம் 10 ms வினாடியில் சுழிக்கு சீராக குறைக்கப்படும்போது உண்டாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசை ஆகியவற்றைக் கண்டுபிடி. [விடை: $0.4x10^{-3}$H, 0.08V]

5.4 0.5 m நீளமுள்ள கடத்தியானது பாய அடர்த்தி 1 Wb/m^2 கொண்ட சீரான காந்தப் புலத்திற்கு செங்குத்தாக 40 m/s திசைவேகத்தில் நகர்கிறது. கடத்தியில் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசையை கணக்கிடுக. கடத்தி புலத்திற்கு 60° கோணத்திற்கு நகரும் போது உண்டாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையை கணக்கிடுக. [விடை: 20V, 17.32 V]

5.5 300 சுற்றுக்களைக் கொண்ட சுருளின் மின்தடை 6 Ω மற்றும் மின்தூண்டல் எண் 0.5H. மூன்றில் ஒருபங்கு சுற்றுக்கள் நீக்கப்படும்போது உருவாகும் புதிய மின்தடையையும் மின்தூண்டல் எண்ணையும் கண்டறிக. அனைத்து சுற்றுக்களும் ஒரே சுற்றளவைக் கொண்டதாக கருதுக. [விடை: 4Ω, 0.22H]

5.6 மின்தூண்டி வழியே 2 A மின்னோட்டம் பாயும்போது காந்தப் புலத்தில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றல் 80 J ஆகும். சுருளின் தூண்டல் எண்ணைக் கண்டுபிடிக்க. [விடை: 40H]

5.7 ஒரு இரும்பு வளையத்தின் சராசரி நீளம் 300 mm மற்றும் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு 500 mm^2 ஆகும். 100 சுற்றுக்கள் சுற்றப்பட்ட இதன் சார்பு உட்புகுத்திறன் 1600 ஆகும். (a) சுருளில் 500 μWb அளவுக்கு பாய அடர்த்தியை உருவாக்க தேவையான மின்னோட்டம் மற்றும் (b) அமைப்பின் மின் தூண்டல் மற்றும் (c) 1 ms வினாடியில் புலம் மறைந்தால் தூண்டப்படும் மின்னியக்கு விசை ஆகியவற்றை கணக்கிடுக. [விடை: 1.492 A, 33.51 mH, - 50 V]

5.8 ஒற்றை சுற்று சுருளை கொண்ட பரப்பு $50m^2$ ஒவ்வொரு சுருளும் சீரான காந்தப்புலம் 0.008T க்கு செங்குத்தாக வைக்கப்படுகிறது. புலமானது 0.4sஇல் விளக்கப்படும்போது உருவாகும் தூண்டப்பட்ட மின்னியக்கு விசையை கணக்கிடுக. [விடை: 10V]

செய்முறை

1. மின்காந்த தூண்டலின் பாரடே விதி மற்றும் லென்சின் விதிக்கான ஆய்வு

நோக்கம்

(i) மின்காந்த தூண்டலின் பாரடே விதி மற்றும் லென்சின் விதிக்கான ஆய்வு

(ii) காந்தப் பாய மாற்றத்தின் விளைவாக (பட்டை காந்தம் அல்லது மின்காந்தத்தை சுருளினுள் செருகி நீக்க) அதன் உள்ளே தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையை அறியவேண்டும்.

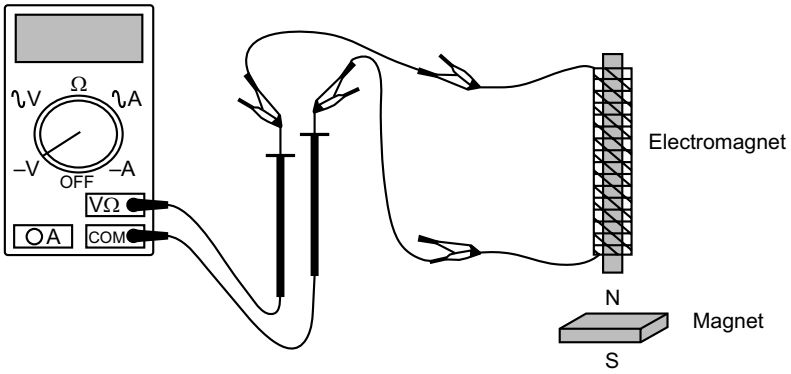
உபகரணம்

கால்வனோமீட்டர், சுருள்கள் (முதன்மை மற்றும் இரண்டாம் நிலை), பேட்டரி (1.5 V), பட்டை காந்தம், அலுமினியம் மற்றும் இரும்பு கம்பி, இணைக்கும் கம்பிகள்

கோட்பாடு

ஃபாரடேயின் தூண்டல் விதியின்படி, ஒரு நிரந்தர காந்தம், $B_{original}$, செருகப்பட்டால் (அல்லது வெளியே இழுக்கப்படும்) ஒரு சுருள், இந்த சுருளின் சுற்றுகளில் ஒரு மின்னோட்டம் I_{ind} தூண்டப்படுகிறது. இந்த மின்னோட்டம் காந்தத்தை செருகும்போது அல்லது சுருளிலிருந்து வெளியே இழுக்கும்போது மட்டுமே கிடைக்கிறது.

தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் இருப்பு சுருளை ஒரு மின்காந்தமாக மாற்றும். இது N மற்றும் S துருவங்களைக் கொண்டுள்ளது மற்றும் வேறு எந்த காந்தத்தையும் போலவே, இது மற்ற காந்தங்கள் மற்றும் காந்தப் பொருட்களின் மீது சக்தியை செலுத்தும். லென்ஸின் விதியின்படி, தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசை அதன் காந்தப்புலம், B_{ind} ஆனது $B_{original}$ மாற்றத்தை எதிர்க்கும். வலது கை விதியின் படி, உங்கள் வலது கையில் உள்ள சுருளை உங்கள் விரல்கள் முறுக்குகளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையில் சுட்டிக்காட்டினால், கட்டைவிரல் மின்காந்தத்தின் N துருவத்தை நோக்கிச் செல்லும். மறுமுனை S துருவம்.



படம் (i)

வழிமுறை

1. வழக்கமாக மின்னோட்டம் நேர்மறை முனையம் வழியாக அம்மீட்டரில் (அல்லது கல்வனோமானி) நுழையும்பொழுது சரியான திசையில் அதன் ஊசி விலகுகிறது. இந்த மாற்று சுருளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையை தீர்மானிக்க உதவும்.
2. பெரிய சுருளை (இரண்டாம் நிலை என்று அழைக்கப்படுகிறது) ஆராய்ந்து, கீழே உள்ள இரண்டு சிறிய துளைகளை அவற்றில் இருந்து வெளியே வரும் கம்பியைக் கவனியுங்கள். சுருளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையை தீர்மானிக்க இவை உதவும். இந்த ஆய்வில் இந்த தீர்மானம் மிகவும் முக்கியமானது, ஏனெனில் உங்கள் அவதானிப்புகள் லென்ஸின் விதியுடன் ஒத்துப்போகிறதா என்பதை தீர்மானிக்க உதவுகிறது.
3. இப்போது, கால்வனோமீட்டரை இரண்டாம் நிலைக்கு இணைத்து, கால்வனோமீட்டரில் உள்ள விலகலைக் கவனிக்க காந்தத்தின் N துருவத்தை சுருளில் செருகவும். இந்த கவனிப்பிலிருந்து, சுருளின் முறுக்குகளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையைக் கண்டுபிடிக்க முயற்சிக்கவும். சுருளின் எந்த முனை வட துருவம் மற்றும் எந்த முனை தென் துருவம் என்பதை அறிய வலது கை விதியைப் பயன்படுத்தவும். காந்தத்தின் இயக்கம், சுருளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்ட ஓட்டத்தின் திசை மற்றும் சுருளின் N மற்றும் S துருவங்களைக் காட்ட ஒரு வரைபடத்தை வரையவும்.

4. தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் அளவு மீது பட்டை காந்தத்தின் வேகத்தின் விளைவைக் கவனிக்கவும்.
5. இப்போது காந்தத்தை சுருளிலிருந்து விலக்கி, கடைசி இரண்டு படிகளில் உள்ள பதிவுகளைப் பாருங்கள்.
6. இப்போது காந்தத்தை அதன் S துருவத்துடன் சுருளுக்கு அருகில் பிடித்து கடைசி மூன்று படிகளை மீண்டும் செய்யவும்.
7. சுருளின் தூண்டப்பட்ட புலம் ஒவ்வொரு விஷயத்திலும் நிரந்தர காந்தத்தை ஈர்க்கிறதா அல்லது தடுக்கிறதா என்பதை தீர்மானிக்கவும்.
8. நிரந்தர காந்தத்தை ஒரு மின்காந்தத்துடன் மாற்றவும் (சுருள் ஒரு மின்கலத்துடன் இணைக்கப் பட்டுள்ளது) மற்றும் முந்தைய படிகளை மீண்டும் செய்யவும். படம் (i) காட்டப்பட்டுள்ளபடி மின்கலம் முதன்மை சுருளுடன் இணைக்கவும். முதன்மை சுருளை காந்தமாகப் பயன்படுத்தி (3) முதல் (6) படிகளை மீண்டும் செய்யவும்.
9. முதன்மை மின்கலத்துடன் இணைக்கப்பட்டவுடன், அதை இரண்டாம் நிலைக்குள் செருகவும். இப்போது அதை மின்கலத்திலிருந்து துண்டித்து, விலகலை கவனிக்கவும். அதை மின்கலத்துடன் மீண்டும் இணைத்து, மறுபடியும் விலகலைக் கவனியுங்கள். மேலே உள்ளதைப் போன்ற இரண்டு வரைபடங்களை வரையவும்.
10. முதன்மைக்குள் ஒரு இரும்பு கம்பியைச் செருகவும் மற்றும் நீங்கள் மின்கலத்தை துண்டித்து மீண்டும் இணைக்கும்போது தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் அளவில் அதன் விளைவைப் பதிவு செய்யவும்.

பகுப்பாய்வு

1. சுருளில் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் திசையைக் காட்டும் வரைபடங்களை வரையவும். சுருளின் எந்த முனை N மற்றும் எந்த முனை S என்பதை வரைபடத்திற்கு அடுத்து, பார் காந்தத்திற்கும் மின்காந்தத்திற்கும் இடையிலான ஈர்ப்புவிசை அல்லது விலக்கமா என்பதைக் குறிக்கவும். இந்த ஆற்றல் லென்ஸின் விதியுடன் ஒத்துப்போகிறதா ? உங்களிடம் இதுபோன்ற 10 வரைபடங்கள் இருக்க வேண்டும்: நான்கு நிரந்தர காந்தத்தைப் பயன்படுத்தி, நான்கு முதன்மை சுருளை காந்தமாகப் மாற்றலாம். மேலும் இரண்டாவதாக இரண்டாம் நிலைக்குள் இருக்கும்போது முதன்மை துண்டிக்கப்பட்டு மீண்டும் இணைக்கப்படும்.

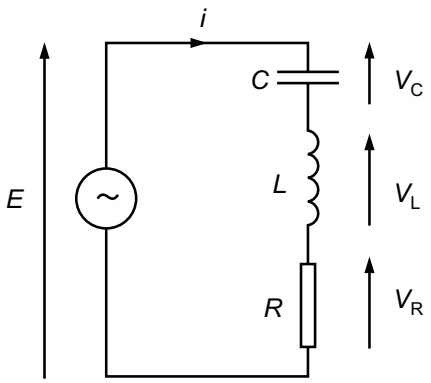
2. ஒரு தொடர் LCR சுற்றின் ஒத்ததிர்வு நிலை பற்றிய ஆய்வு

நோக்கம்

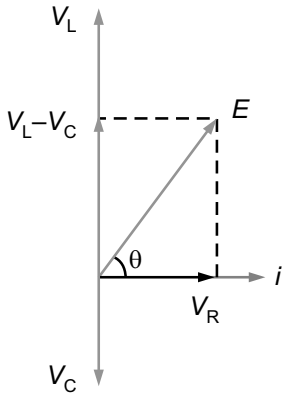
(i) ஒரு தொடர் LCR சுற்றின் ஒத்ததிர்வு நிலையை பெற
(ii) தரக் காரணி மற்றும் வெவ்வேறு மின்தடை மதிப்புகளுக்கான பட்டை அகலத்தை தீர்மானிக்க.

உபகரணங்கள்

மின்தடைகள், தூண்டிகள், மின்தேக்கி, இணைக்கும் கம்பிகள், மல்டி–மீட்டர்; செயல்பாட்டு மின்னியற்றி (0-30 kHz, சைன் வடிவில்)



படம் (i)



படம் (ii)

கோட்பாடு

LCR சுற்று மின்தடை R, மின்தூண்டி L மற்றும் மின்தேக்கியை C தொடர் முறையில் இணைக்கப் பட்டுள்ளதைக் குறிக்கிறது. இச்சுற்று குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணுக்கு அலையை உருவாக்குகிறது. ஒரு குறிப்பிட்ட அதிர்வெண்ணுக்கு அலையை ஒத்திசைவால் உருவாக்கும் பண்பு கொண்டது. இது ஒத்ததிர்வெண் எனப்படும் f_{res}. இச்சுற்றின் மின்னெதிர்ப்பு குறைவு. குறிப்பிட்ட மின்தடைக்கு இவ்வதிர்வெண் இயல்பு மின்னெதிர்ப்பு கொண்டது. மின்தூண்டியின் மின்னெதிர்ப்பும் ($X_L = \omega L$) மின்தேக்கியின் மின்னெதிர்ப்பும் ($X_C = 1/\omega C$) சமமாகவும் எதிரெதிர்க் குறியிலும் இருக்கும். எனவே அதன் கோண அதிர்வெண்:

$$\omega_{res} = 2\pi f_{res}$$

ஒத்ததிர்வில் $X_L = X_C$.

அல்லது, $\omega_{res} L = \dfrac{1}{\omega_{res} C}$

அல்லது, $\omega_{res} = \dfrac{1}{\sqrt{LC}}$ (i)

இங்கு X_L மற்றும் X_C முறையே $+90^0$ மற்றும் -90^0 கோணத்தில் R ஐப் பொருத்து உள்ளன. அவற்றுக்கிடையேயான கோண வேறுபாடு 180^0 (X_L and X_C) அவற்றை ரத்து செய்ய முனைகிறது. மின்தடை மதிப்பின் அதிகரிப்பால் அலை தடைபடுகிறது. இது தடையுறு அலைவு என்று பொருள். இது உச்ச ஒத்ததிர்வு அலையையும் கட்டுப்படுத்துகிறது. மின்னோட்டம் LCR சுற்று வழியே பாய்ந்தால் அதன் அலைவும் மட்டுப்படுத்தப்படுகிறது.

ஒரு தொடர் LCR சுற்று அலைவரிசை மற்றும் அதிர்வு பற்றிய ஆய்வை பகுப்பாய்வு செய்ய Q காரணி ஆகியவற்றில் இரண்டு முக்கியமான காரணிகள். அலைவரிசை மின்சுற்று மூலம் மின்சார

அதிர்வெண்ணுக்கு இடையேயான வித்தியாசத்தை அளவிடுகிறது. ω_1 மற்றும் ω_2 தாழ் மற்றும் உயர் அரை மின்திறன் அதிர்வெண்கள், பட்டை அகலம் எனவும் வரையறுக்கலாம்,

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 \quad \text{(ii)}$$

Q – காரணி, மறுபுறம் சுற்றில் சேமிக்கப்படும் உச்ச ஆற்றல் ஓரலகு ரேடியனில் சிதறடிக்கப்படும் சராசரி ஆற்றலால் வகுத்தால் பெறப்படுவது ஆகும். எனவே,

$$Q = \frac{\omega_{\text{res}}}{\Delta\omega} \quad \text{(iii)}$$

குறைந்த Q சுற்றுக்கள் இழக்கப்பட்டு மற்றும் உயர் Q சுற்றுக்களும் மீக்குறை தடையுறு நிலையை அடையும். Qவும் பட்டை அகலத்துடன் தொடர்புடையது. குறைந்த Q சுற்றுக்கள் அதிக பட்டை அகலத்துடனும் உயர் Q சுற்றுக்கள் குறுகிய பட்டை அகலத்துடனும் இருக்கின்றன. Qவுக்கான சுற்றுக்களை பின் வருமாறு எழுதலாம்

$$Q = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}} \quad \text{(iv)}$$

வழிமுறை

1. சுற்று வரைபடத்தின்படி சுற்றை சரியாக இணைக்கவும் மற்றும் சுற்றை சரியாக இணைக்கப் பட்டிருப்பதை உறுதிசெய்த பிறகு மின்சக்தியை இயக்கவும்.
2. AC பயன்முறையில் மல்டி–மீட்டரை அமைத்து, டயலில் உள்ள மின்னழுத்தத்தின் (V இல்) பொருத்தமான வரம்பைத் தேர்ந்தெடுக்கவும்.
3. மின்னணு செயல்பாட்டு மின்னியற்றியை kHz/அதிர்வெண் முறையில் வைத்து, DC வெட்டு மின்னழுத்தத்தை அமைத்தல் ± 0 V ஆக, AC உள்ளீட்டின் உச்சத்திலிருந்து உச்சநிலை மின்னழுத்தத்தை அளவீடுகள் முழுவதும் 6 V இல் சரிசெய்யலாம். இது சுற்று உறுப்புகள் முழுவதும் மின்னழுத்தங்களுக்கான பாதுகாப்பு வரம்புகளை உறுதி செய்யும்.
4. குறிப்பிட்ட R இன் மதிப்புக்கு L மற்றும் C மாறாமல் தேர்ந்தெடுக்கவும். கொடுக்கப்பட்ட AC அதிர்வெண்ணுக்கு வெவ்வேறு R மின்தடைக்கு கிடைக்கும் மின்னழுத்தத்தை அளவிட வேண்டும். ஒத்ததிர்வெண்ணுக்கு (f_{res}) கிடைக்கும் உயர் மின்னழுத்தத்தை குறிப்பிடவேண்டும். குறிப்பிட்ட R க்கு அவற்றை அட்டவணைப்படுத்த வேண்டும்.
5. V_R மற்றும் f க்கிடையே வரைபடம் வரைந்து அதன் உச்ச புள்ளியிலிருந்து ஒத்ததிர்வெண் f_{res} ஐ வருவிக்கவும்.
6. V_R, V_L மற்றும் V_C ஒத்ததிர்வெண்ணில் அளவிட வேண்டும்.
7. கொடுக்கப்பட்ட மின்தடையின் ஒவ்வொரு மதிப்புக்கும் கடைசி மூன்று படிகளின் படி அளவீடுகளை மீண்டும் செய்யவும். கொடுக்கப்பட்ட மின்தடைக்கு V_R vs. f வளைவுகளை ஒப்பிடுக.

முடிவுகள்

அட்டவணை 1: மின்தடையின் நிலையான மதிப்புக்கான அதிர்வெண் கொண்ட மின்னழுத்தத்தின் மாறுபாடு

தூண்டல் = ….mH;

மின்தேக்குத்திறன் = …. μF

மின்தடை (Ω)	**அதிர்வெண்** f **(Hz)**	**மின்னழுத்தம்** V_R (V)
R = நிலையான மதிப்பு		

அட்டவணை 2: முழுவதும் மின்னழுத்தங்கள் R, L மற்றும் C மற்றும் அதனுடன் தொடர்புடைய அதிர்வு அதிர்வெண்

V_R (V)	V_L (V)	V_C (V)	f_{res} (Hz)

தரக் காரணி (Q) இவ்வாறு கணக்கிடலாம்: $Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi f_{res} L}{R}$ (v)

பட்டைஅகலமானது: $\mathrm{BW} = \frac{f_{res}}{Q}$ (vi)

அட்டவணை 3: வெவ்வேறு மதிப்புகளுக்கு பட்டை அகலம் மற்றும் தரக் காரணி ஒப்பீடு

மின்தடை (Ω)	**பட்டைஅகலம்** (BW)	**தரக் காரணி** (Q)

முன்னெச்சரிக்கைகள்

1. அனைத்து இணைப்புகளையும் சரிபார்க்கவும் (குறிப்பாக மல்டி–மீட்டர் மற்றும் மின்னணு செயல்பாட்டு மின்னியற்றிக்கு).
2. பரிசோதனையைச் செய்வதற்கு மின்தடை, தூண்டல் மற்றும் மின்தேக்குத்திறன் ஆகியவற்றின் சரியான மதிப்புகளைத் தேர்ந்தெடுக்கவும்.
3. மின்னழுத்தம் மற்றும் மின்னோட்டத்தின் மதிப்புகள் பரிந்துரைக்கப்பட்ட வரம்புகளுக்குள் இருப்பதை உறுதிசெய்க. மின்தடையின் திறன் அதிகமாக இல்லை என்பதை உறுதிப்படுத்தவும். இதேபோல் மின்தேக்கியின் அதிகபட்ச அனுமதிக்கப்பட்ட மின்னழுத்த மதிப்பீட்டை மீறவில்லை என்பதை உறுதிப்படுத்தவும்.
4. f_{res} க்கு அருகில் அதிகபட்ச மின்னழுத்தம் V_{Rmax} இன் சரியான மதிப்பைக் கண்டறிய சிறிய அதிர்வெண்களில் அளவீடுகளை எடுக்கவும்.

மேலும் அறிக

மைக்கேல் ஃபாரடே (பிறப்பு: செப்டம்பர் 22, 1791 நியூயிங்டன், சர்ரே, இங்கிலாந்து; இறப்பு: ஆகஸ்ட் 25, 1867 இல் ஹேம்ப்டன் கோர்ட், சர்ரே) ஒரு ஆங்கில இயற்பியலாளர் மற்றும் வேதியியலாளர் ஆவார். அவரது பல சோதனைகள் புரிந்துகொள்ள மின்காந்த செயல்பாடு பெரிதும் பங்களித்தன.

செயல்பாடு

மாறும் காந்தப்புலத்தில் ஒரு கடத்தியை வைத்து, அது கடத்தி முழுவதும் மின்னழுத்தத்தை உருவாக்கும் என்று ஃபாரடே காட்டினார். அவர் ஒரு மின்சாரத்தை ஏற்படுத்த ஒரு வழியை ஏற்படுத்தினார். இந்த கண்டுபிடிப்பு, நாம் இன்று பயன்படுத்தும் அதிக எண்ணிக்கையிலான சாதனங்களுக்குப் பயன் படுத்தப்படுகிறது.

சுவாரஸ்யமான உண்மைகள்

மைக்கேல் ஃபாரடே காந்த சேமிப்பின் இரண்டு அடிப்படை கூறுகளை உருவாக்கினார். அவரது கண்டுபிடிப்புகள் பெரும்பாலும் வீடு, பண்ணை மற்றும் தொழிற்சாலையை மாற்றின. ஃபாரடேயின் கண்டுபிடிப்புகள் சிறு விவசாயிகளுக்கான வேலையில் புரட்சியை ஏற்படுத்தின. மின்சாரம் தண்ணீர் பம்ப் செய்வது போன்ற கைமுறை உழைப்பைக் குறைத்தது, பசுக்களிடம் பால் பெறுவது போன்ற பணிகளுக்கான தானியங்கி அமைப்புகள் விவசாயிகளின் கைகளை முடமாக்க விடாமல் செய்தது. ஃபாரடேயின் கண்டுபிடிப்புகள் இல்லாமல் அலைபேசிகள் முதல் குளிர்விப்பான்கள் வரை அனைத்து நவீன வசதிகளும் சாத்தியமில்லை.

ஒப்புமை

ஃபாரடே மின்சார மோட்டார், மின்மாற்றி மற்றும் மின்னியற்றியை கண்டுபிடித்தார். மின்காந்த தூண்டல் சிந்தனை இல்லாமல், நம்மால் தந்தியில்லா ஆற்றல் பரிமாற்றம் அல்லது மின் இசைக் கருவியை உபயோகப்படுத்த முடியாது. உண்மையில், ஃபாரடே மின்சாரத்தை பொழுதுபோக்கிலிருந்து நடைமுறை மற்றும் பரந்த பயன்பாடுகளுக்கு மாற்றினார்.

வரலாறு

ஃபாரடே 1831 இல் மின்காந்தத் தூண்டலைக் கண்டுபிடித்தார்.

காலவரிசைகள்

சமகால ஆவணங்கள்

- M. Faraday, Experimental Researches in Electricity, Volume 1 (Richard & John Edward Taylor, 1839) [The book is compiled from articles published in the Philosophical Transactions of the Royal Society from 1831-1838].
- Joseph Henry, Scientific Writings of Joseph Henry, Smithsonian Institution, 1886.

மேலும் தகவல்

- "1833 - First Semiconductor Effect is Recorded", The Silicon Engine Computer History Museum, 2008.
- Alan W. Hirshfeld, The Electric Life of Michael Faraday, Walker & Company, 2006.
- Robert D. Friedel, Lines and Waves: Faraday, Maxwell and 150 Years of Electromagnetism, Center for the History of Electrical Engineering, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1981.
- Shan X. Wang, Alexander M. Tarartorin, "Inductive Magnetic Heads" Magnetic Information Storage Technology, Academic Press, pp. 81-117, 1990.
- "Michael Faraday" (http://www.chemheritage.org/discover/online-resources/chemistry-in-history/ themes/electrochemistry/faraday.aspx)
- "Joseph Henry Biography" (http://www.ieeeghn.org/wiki/index.php/Joseph_Henry)

பயன்பாடுகள் (நிஜ வாழ்க்கை/தொழில்துறை)

மைக்கேல் ஃபாரடே (1791–1867) அவரது கண்டுபிடிப்புக்கு நன்கு அறியப்பட்டவர். அவர் கூற்றுப்படி மின்சாரம் மற்றும் காந்தவியல் ஆகியவற்றுக்கு இடையேயான தொடர்பு மின் காந்த தூண்டல் மற்றும் மின் காந்த சுழற்சி கொள்கையை உருவாக்குகிறது.

நவீன தரவு சேமிப்பக அமைப்புகளின் காந்த பதிவு மற்றும் மின்சார மோட்டார் தொழில்நுட்பங்களில் இரண்டும் முக்கிய பங்கு வகிக்கின்றன

வழக்கு ஆய்வு (சுற்றுச்சூழல் / நிலைத்தன்மை / சமூக / நெறிமுறை சிக்கல்கள்)

லண்டனில் உள்ள ராயல் சொசைட்டிக்கு தொடர்ச்சியான விரிவுரைகளில், ஃபாரடே 1831 இல் தனது சோதனைகளின் முடிவுகளை விவரித்தார். ''சாதாரண காந்தங்களால் மின்சாரம்'' உற்பத்தி செய்வதை அவர் நிரூபித்தார்.

ஃபாரடே ஒரு சிறிய சுருள் வழியாக மின்சாரத்தை அனுப்ப திரவ மின்கலத்தை பயன்படுத்தினார். அது ஒரு பெரிய சுருளில் இருந்து அல்லது வெளியே நகர்த்தப்பட்டபோது, அதன் காந்தப்புலம் ஒரு சிறிய சுழலில் ஒரு நிலையற்ற மின்னழுத்தத்தைத் தூண்டியது, இது ஒரு கால்வனோமீட்டரால் அடையாளம் காணப்பட்டது.

ஜேம்ஸ் கிளார்க் மேக்ஸ்வெல் (1831–1879) மின்காந்த தூண்டலின் நேர மாறுபட்ட அம்சத்தை ஃபாரடேயின் சட்டமாக தெரிந்த வித்தியாசமான சமன்பாடாக வெளிப்படுத்தினார்.

விசாரணையும் ஆர்வமும் உள்ள தலைப்புகள்

19 ஆம் நூற்றாண்டின் சிறந்த விஞ்ஞானிகளில் ஒருவரான ஃபாரடே ஒரு வேதியியலாளராக தனது வாழ்க்கையைத் தொடங்கினார். அவர் நடைமுறை வேதியியலின் கையேட்டை எழுதினார். இது அவரது கலையின் தொழில்நுட்ப அம்சங்களில் அவரது நிபுணத்துவத்தை பிரதிபலிக்கிறது. பென்சீன் உட்பட பல புதிய கரிம சேர்மங்களை அவர் கண்டுபிடித்தார். ''நிரந்தர'' வாயுவை முதலில் திரவமாக்கியவர். இருப்பினும், அவரது முக்கிய பங்களிப்பு மின்சாரம் மற்றும் காந்தவியல் துறையில் இருந்தது. உண்மையில் அவர், ஒரு காந்தப்புலத்திலிருந்து மின்சாரத்தை உற்பத்தி செய்ய முடிந்த முதல் நபர் ஆவார்.

மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள்

1. M. N. O. Sadiku, Elements of Electromagnetics, 4th Edition, New York & Oxford: Oxford University Press, 2007.
2. F.Ulaby, Fundamentals of Applied Electromagnetic, 5th Edition, Pearson: Prentice Hall, 2007.
3. P. Day, The Philosopher's Tree: A Selection of Michael Faraday's Writings, CRC Press, December 2019.
4. J. C. Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd Edition, Oxford University Press, 1904.
5. W. Hayt, Engineering Electromagnetics, 5th Edition, McGraw-Hill, 1989.
6. R. P. Feynman, The Feynman Lectures on Physics, V-II, www.feynmanlectures.caltech.edu.
7. D. J. Griffiths, Introduction to Electrodynamics, 3rd Edition, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
8. R/ F. Harrington, Introduction to Electromagnetic Engineering, Mineola, NY: Dover Publications, 2003.
9. https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/122101002/downloads/lec-18.pdf
10. https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/115101005/downloads/lectures-doc/Lecture-28.pdf
11. https://nptel.ac.in/content/storage2/courses/115101005/downloads/lectures-doc/Lecture-29.pdf
12. http://www.phys.ufl.edu/~acosta/phy2061/lectures/2061_ch3436.pdf

6 மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள்

அலகு குறிப்பீடு

பின்வரும் அம்சங்களை இவ்வலகு கவனம் செலுத்துகிறது :

- மின்னோட்ட அடர்த்திக்கான தொடர் சமன்பாடு;
- இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தின் தத்துவம்;
- மேக்ஸ்வெல்லின் புல சமன்பாடுகள்;
- மின்காந்த ஆற்றல் பாய்வு;
- பாயிண்டிங் தேற்றம்;
- பாயிண்டிங் வெக்டர்;
- மின்காந்தப் புலத்தில் உந்தம்;
- மின்காந்தப் புலத்தில் தொகுபயன் அழுத்தம்.

தலைப்புகளின் நடைமுறை பயன்பாடுகள் மேலும் ஆர்வத்தையும் படைப்பாற்றலையும் உருவாக்கு வதற்கும் கணக்குகளை தீர்க்கும் திறனை மேம்படுத்துவதற்கும் விவாதிக்கப்படுகின்றன.

ப்ளூமின் வகைபிரிப்பின் குறைந்த மற்றும் உயர் வரிசையைத் தொடர்ந்து இரண்டு பிரிவுகளில் குறிக்கப்பட்ட பல தேர்வு கேள்விகள் மற்றும் குறுகிய, நீண்ட பதில் வகைகளின் கேள்விகள், பல எண் கணக்குகளின் மூலம் பணிகள், குறிப்புகளின் பட்டியல் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் ஆகியவை இவ்வலகில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அதனால் ஆர்வத்துடன் ஒருவர் பயிற்சி செய்ய முடியும். ஆர்வமுள்ள பல்வேறு தலைப்புகளில் கூடுதல் தகவல்களைப் பெறுவதற்கு சில QR குறியீடுகள் வெவ்வேறு பிரிவுகளில் வழங்கப்பட்டுள்ளன, அவை தொடர்புடைய அறிவுக்கு ஸ்கேன் செய்யலாம்.

தொடர்புடைய நடைமுறைக்குப் பிறகு, உள்ளடக்கத்தின் அடிப்படையில், ‘‘மேலும் அறிக’’ என்ற பிரிவு உள்ளது. இந்த பகுதி நியாயமான முறையில் வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது, இதனால் இந்த பகுதியில் வழங்கப்பட்ட துணை தகவல்கள் புத்தகத்தின் பயனர்களுக்கு பயனளிக்கும். இந்த பிரிவு முக்கியமாக ஆரம்ப செயல்பாடு, சில சுவாரஸ்யமான உண்மைகளின் எடுத்துக்காட்டுகள், ஒப்புமை, முக்கிய அவதானிப்புகள் மற்றும் கண்டுபிடிப்புகளை மையமாகக் கொண்ட பொருளின் வளர்ச்சியின் வரலாறு, சம்பந்தப்பட்ட தலைப்புகளின் வளர்ச்சியிலிருந்து தொடங்கி சமீபத்திய காலம் வரையிலான காலக்கெடு, பொருள் சார்ந்த பயன்பாடுகள், அன்றாட நிஜ வாழ்க்கை அல்லது / மற்றும் தொழில்துறை பயன்பாடுகளுக்கான பல்வேறு அம்சங்கள், சுற்றுச்சூழல், நிலைத்தன்மை, சமூக மற்றும் நெறிமுறை சிக்கல்கள் தொடர்பான வழக்கு ஆய்வு எதுவாக இருந்தாலும் பொருந்தும், இறுதியாக அலகு பற்றிய விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பகுத்தறிவு

மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள் என்ற இவ்வலகில் மேக்ஸ்வெல்லின் புல சமன்பாடுகளை விளக்கும், மின்னோட்ட அடர்த்திக்கான தொடர்புச் சமன்பாடுகள் மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தின் தத்துவங் களை கொள்கை ரீதியாக மாணவர்களுக்கு தெளிவாக விளக்குகின்றன. மின்காந்த அலை பரவலுக்கான சிந்தனைகளைக் கொடுக்கக் கூடிய மின்காந்த ஆற்றல் பாய்வு மற்றும் பாயிண்டிங் வெக்டர் ஆகிய தலைப்புகளும் மின்காந்த புலத்தில் உந்தத்திற்குரிய கணக்கீடுகளையும் தெளிவாக விளக்குகின்றன.

காலத்தைப் பொருத்து மாறக்கூடிய மின்னோட்டங்கள் மற்றும் மின்னூட்டப் பகிர்வினால் உண்டாகக் கூடிய மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களை விளக்கும் மேக்ஸ்வெல்லின் நான்கு சமன்பாடுகளை பற்றி விரிவாக காண்போம். இவ்வகையான சமன்பாடுகள் கடந்த சில தசம ஆண்டுகளில் மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களினால் ஏற்படும் விளைவுகளுக்கான தீர்வுகளுக்கு கணித முறையில் வடிகாலாக அமைகின்றன. மேக்ஸ்வெல்லின் சுய ஆராய்ச்சியில் இவற்றை தெளிவாக்கும் நான்கு சமன்பாடுகளையும் விளக்குவதில் முக்கிய பங்காற்றினார். இச்சமன்பாடுகள் முதன் முதலாக மின் மற்றும் காந்தப் புலங்கள் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையவை மற்றும் வெளியில் எவ்வாறு பரவுகின்றன என்பதை நிரூபித்தன. மேக்ஸ்வெல்லின் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் என்ற புது சொற்கூறுகள் மின்காந்த அலைகளின் தன்னிச்சையான பரவலை விளக்கியதோடல்லாமல் அதன் திசைவேகம் ஒளியின் திசைவேகத்தை ஒத்துள்ளது என்பதை காட்டுகிறது.

முன்–தேவைகள்

- **கணிதம்:** திசையன் நுண்கணிதம் (வகுப்பு XII)
- **இயற்பியல்:** நிலை மின்னியல், மின்காந்தவியல் (வகுப்பு XII)

அலகு வெளிப்பாடுகள்

இவ்வலகின் அலகு வெளிப்பாட்டின் பட்டியல்:

U6-O1: மின்னோட்ட அடர்த்திக்கான தொடர் சமன்பாட்டை வரையறு

U6-O2: இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தின் தத்துவத்தை விளக்குக

U6-O3: மேக்ஸ்வெல்லின் புல சமன்பாடுகள் விளக்குக

U6-O4: மின்காந்த ஆற்றல் பாய்வு மற்றும் பாயிண்டிங் வெக்டர் தேற்றத்தை விளக்குக

U6-O5: மின்காந்தப் புலத்தில் உந்தம் மற்றும் தொகுபயன் அழுத்தத்தை கணக்கிடுக.

அலகு –6 விளைவு	எதிர்பார்க்கப்படும் பாடநெறி நடவடிக்கைகள் (1- பலவீனமான தொடர்பு; 2- நடுத்தர தொடர்பு; 3- வலுவான தொடர்பு)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U6-O1	2	1	–	–	–	1
U6-O2	2	2	–	1	–	1
U6-O3	–	–	1	3	–	2
U6-O4	–	–	–	–	–	–
U6-O5	1	–	–	–	–	–

6.1 அறிமுகம்

19 ஆம் நூற்றாண்டின் பிற்பகுதியில், மின்புலமும் காந்தப் புலமும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையவை என்று அறிவியல் அறிஞர்களால் ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டது. மின்னூட்டங்கள் நகரும் போது மின்சாரம் உருவாவதோடு அதனுடன் காந்தப் புலமும் சேர்ந்தே உருவாகிறது. உருவாகும் மின்னோட்டத்தின் மூலமானது நகரும் மின்னூட்டங்கள் எனில், உருவாகும் காந்தப் புலத்தின் மூலமானது நிலை மின்னோட்டங்களாகும். உருவாகும் காந்தப் பாயத்தில் மாற்றம் ஏதும் ஏற்படின், மின்னியக்கு விசை தூண்டப் படும். இதுவே மின்காந்தத் தூண்டல் எனப்படுகிறது. மின்காந்தத் தூண்டலின் அடிப்படை விதிகளை பாரடே உருவாக்கினார். நேரத்தை பொருத்த காந்த மாற்றம் மின்னோட்டத்தையும் உருவாக்குகிறது. இவ்வலகில், நேரத்தை பொருத்த மின்காந்தப் புலங்களின் மாறுபாட்டையும், பல்வேறு ஊடகங்களில் மின்காந்த அலைகளின் பண்பை விளக்கும் மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளை விவாதிக்க இருக்கிறோம்.

6.2 இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம்

இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் என்பது மின்னோட்டத்தின் இடப்பெயர்வு மாறுபட்டு வீதம் என்று வரையறுக்கப்படுகிறது. இந்த அளவுரு மேக்ஸ்வெல் சமன்பாட்டில் மிக முக்கிய பங்கை வகிக்கின்றது. நிலை மின் புலத்தின் அளவுறுகளிடையே உள்ள முக்கியமான தொடர்பை பின்வருமாறு எழுதலாம்:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = 0 \,;\, \vec{\nabla}.\vec{D} = \rho \qquad \ldots(6.1)$$

இங்கு நேரியல் மற்றும் திசையொருமைப் பண்புள்ள ஊடகங்களுக்கு $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$.

அதைப் போலவே காந்த நிலைமப் புலங்களில் அடிப்படை அளவுறுக்களுடைய தொடர்பையும் பின்வரு மாறு எழுதலாம்:

$$\vec{\nabla}.\vec{B} = 0 \,;\, \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \qquad \ldots(6.2)$$

இங்கு $\vec{B} = \mu \vec{H}$

சமன். (6.1) மற்றும் சமன். (6.2) நிலையான மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களுக்கிடையேயான தொடர்பை வெளிப்படுத்துகிறது. அவற்றின் நேர மாறுபட்டு வீதத்தை பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \qquad \ldots(6.3)\ (a)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \ldots(6.3)\ (b)$$

$$\vec{\nabla}.\vec{D} = \rho \qquad \ldots(6.3)\ (c)$$

$$\vec{\nabla}.\vec{B} = 0 \qquad \ldots(6.3)\ (d)$$

கூடுதலாக, ஆற்றல் அழிவின்மை விதியிலிருந்து தொடர்புச் சமன்பாட்டை பெறலாம்

$$\vec{\nabla}.\vec{J} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \qquad (6.4)$$

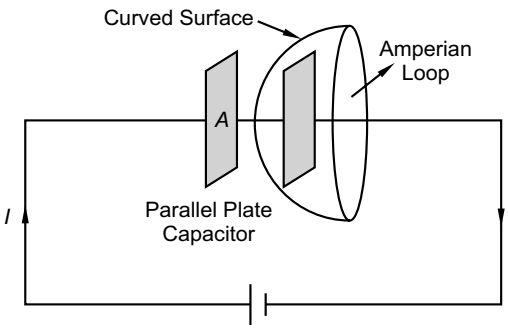
சமன். (6.3) (a)-(d) சமன். (6.4) உடன் ஒத்துள்ளது.

இதை கவனிக்கும்போது $\vec{\nabla}.\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{\nabla}.\vec{J} = 0$.

எனவே $\vec{A}$ வெக்டருக்கு $\vec{\nabla}.\vec{\nabla} \times \vec{A}$ ன் மதிப்பு சுழியாகும். $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ எனவே $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}$ ஐ நிலை புலத்திற்கு மட்டும் பயன்படுத்தலாம்.

இந்த நேர்வில் ஒரு மின்தேக்கியானது மின்னூட்டப்படுகிறது எனக் கொள்க (படம் 6.1). அந்த கண்ணிக்கு நாம் ஆம்பியர் சுற்று விதியை பயன்படுத்துவதாகக் கருதுக. படம் 6.1 ல் காட்டியுள்ளபடி,

சுற்றுக்கு மின்னோட்டம் செலுத்தப்படுவதாக கருதுக. ஒருவேளை, நாம் மற்றொரு வளைவுப் பரப்பை வரைந்தோ மானால், படத்தில் காட்டியுள்ளபடி, அதன் வழியே எந்தவொரு மின்னோட்டமும் பாய்வதில்லை. ஆகையால் I = 0. இந்நேர்வில் மின்னோட்டத்தின் தத்துவம் புலப் படாததால், நிலையற்ற மின்னோட்ட நிகழ்விற்கு கண்ணியினால் மூடப்பட்ட மின்னோட்டத்தின் தத்துவம் பொருந்துவதில்லை. மேலும் அது மூடப்பட்ட பரப்பையும் சார்ந்து அமைவதில்லை. ஆம்பியர் சுற்று விதியுமே நேர மாறு பாட்டு நேர்வில் இதை உண்மை என புலப்படுத்துகிறது. எனவே தான் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தின் சிந்தனை தோன்றி யது. நேர மாறுபாட்டு நேர்விற்காக,



படம் 6.1: இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்தின் கருத்து

$$\vec{\nabla}.\vec{\nabla}\times\vec{H}=0=\vec{\nabla}.\vec{J}+\frac{\partial\rho}{\partial t}=\vec{\nabla}.\vec{J}+\frac{\partial}{\partial t}(\vec{\nabla}.\vec{D})=\vec{\nabla}.\left(\vec{J}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\right)$$

எனவே,
$$\vec{\nabla}\times\vec{H}=\vec{J}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t} \qquad \ldots(6.5)$$

சமன். (6.5) நிலையான புலத்திற்கும் நேர மாறுபாட்டு புலத்திற்கும் பொருந்தக்கூடியது. $\vec{J}$ இல்லாமற் போனாலும், மின்சார புலத்தின் நேர மாறுபாட்டு வீதத்தினால் காந்தப்புலம் உருவாகின்றது என்பதை புலப்படுத்துகிறது.

இந்த கோவையில் $\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$ மின்னூட்ட அடர்த்தியின் (A/m^2) பரிமாணத்தை காட்டுகிறது. மேலும் அதுவே இடப்பெயர்வு மின்னோட்ட அடர்த்தி எனப்படும். இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் என்பது மொத்த மின்னோட்டத்தில் கடத்து மின்னோட்டத்தினால் ஏற்படும் தொடர்ச்சியற்ற நிலையை சமன் செய்கிறது. ஒளியியல் அதிர்வெண் அல்லாத குறைந்த அதிர்வெண் கொண்ட சுற்றுக்களில் உள்ள இடப்பெயர்வு மின்னோட்டமானது, கடத்து மின்னோட்டத்தை பொருத்தளவில் மிகவும் சிறியது.

பொருளின் மீது மின்னோட்டம் செயல்படும் போது ஏற்படும் கண நேர மின்னூட்ட நகர்விற்காக, இடப்பெயர்வு மின்னோட்டமானது,

$$\vec{I}_d=\frac{dQ}{dt}=\frac{d}{dt}(\sigma A)=\frac{d}{dt}\left(\varepsilon_0 A\vec{E}\right)$$

அல்லது,
$$\vec{I}_d=\varepsilon_0 A\frac{d\vec{E}}{dt} \qquad \ldots(6.6)$$

எனவே, இடப்பெயர்வு மின்னோட்ட அடர்த்தி என்பது ஓரலகு பரப்பில் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் என கூறப்படுகிறது.

$$\vec{J}_d=\frac{\vec{I}_d}{A}=\varepsilon_0\frac{d\vec{E}}{dt}=\frac{\partial}{\partial t}\left(\varepsilon_0\vec{E}\right)=\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$$

அல்லது,
$$\vec{J}_d=\frac{d\vec{D}}{dt} \qquad [\text{இங்கு } \vec{D}=\varepsilon_0\vec{E}\ ] \qquad \ldots(6.7)$$

எனவே இடப்பெயர்வு மின்னோட்ட அடர்த்தி என்பது மின்னோட்ட இடப்பெயர்வின் மாறுபட்டு வீதம் மற்றும் நேர மாறுபாட்டு மின் புலத்தினால் மின்காப்பு ஊடகத்தில் ஏற்படும் மின்னோட்ட அமைவாகும்.

எடுத்துக்காட்டு 6.1: I மின்னோட்டம் கொண்ட மின்தடையுடன் தொடரில் இணைக்கப் பட்டுள்ள இணைத் தட்டு மின்தேக்கியினுள் உருவாகும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தை காண்க. மின்தேக்கி தட்டின் பரப்பு A மற்றும் மின்காப்பு ஊடகம் வெற்றிடம் ஆகும்.

தீர்வு:

$$I_d = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt}(CV) = \frac{d}{dt}\left(\frac{\varepsilon_0 A}{d}V\right)$$

இங்கு $Q = CV$ மற்றும் $C = \frac{\varepsilon_0 A}{d}$

அல்லது, $I_d = \frac{\varepsilon_0 A}{d}\frac{dV}{dt} = \varepsilon_0 A\frac{dE}{dt}.$

எடுத்துக்காட்டு 6.1

எடுத்துக்காட்டு 6.2: 0.05 m^2 பரப்பு கொண்ட மின்தேக்கியின் தட்டுகளுக்கிடையே உள்ள மின்புலம் 10^{10} V/m எனில், இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தைக் கணக்கிடுக.

தீர்வு:

இங்கு, தட்டின் பரப்பு A = 0.05 m^2 மற்றும் $\frac{dE}{dt} = 10^{10}\ Vm^{-1}s^{-1}$.

எனவே, இடப்பெயர்வு மின்னோட்டமானது

$$I_d = \varepsilon_0 A\frac{dE}{dt} = 8.854\times10^{-12}\times0.05\times10^{10} = 4.43\text{mA}.$$

எடுத்துக்காட்டு 6.2

எடுத்துக்காட்டு 6.3: வெற்றிடத்திற்கான காந்தப் புலம் பின்வருமாறு குறிப்பிடப்படுகிறது.

$\vec{B} = B_0\cos(\omega t - kz)\hat{y}$

(i) கட்டுறா எலெக்ட்ரான்கள் இல்லாமல் இருந்தால் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் என்ன ?

(ii) தொகைக்கெழு மாறிலியை தவிர்த்து E க்கான கோவையைக் காண்க.

(iii) E மற்றும் B யினால் பூர்த்தி செய்யப்படும் மின்காந்தத் தூண்டலின் வகைக்கெழு வடிவத்தை பாரடே விதியைக் கொண்டுஆராய்க.

தீர்வு:

இங்கு, $\vec{\nabla}\times\vec{B} = \mu_0\vec{J}$

(i) எனவே இடப்பெயர்வு மின்னோட்ட அடர்த்தி $\vec{J} = \frac{1}{\mu_0}\vec{\nabla}\times\vec{B}$

மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் $\vec{I}_d = \vec{J}A.$

இங்கு, $\vec{B} = B_0\cos(\omega t - kz)\hat{y}$

எடுத்துக்காட்டு 6.3

எடுத்துக்காட்டு 6.3

எனவே, $$\vec{J} = \frac{1}{\mu_0}\begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & B_0\cos(\omega t - kz) & 0 \end{vmatrix} = \frac{B_0 k}{\mu_0}\sin(\omega t - kz)\hat{x}$$

மற்றும் $$\vec{I}_d = \vec{J}A = \frac{AB_0 k}{\mu_0}\sin(\omega t - kz)\hat{x}$$

(ii) மீண்டும், $$\vec{I}_d = \varepsilon_0 A\frac{d\vec{E}}{dt}$$

எனவே, $$\varepsilon_0 A\frac{d\vec{E}}{dt} = \frac{AB_0 k}{\mu_0}\sin(\omega t - kz)\hat{x}$$

அல்லது, $$\frac{d\vec{E}}{dt} = \frac{B_0 k}{\mu_0\varepsilon_0}\sin(\omega t - kz)\hat{x}$$

அல்லது, $$\vec{E} = \int \frac{B_0 k}{\mu_0\varepsilon_0}\sin(\omega t - kz)\hat{x} = \frac{B_0 k}{\mu_0\varepsilon_0\omega}\cos(\omega t - kz)\hat{x}$$

[தொகைக்கெழு மாறிலியை புறக்கணிக்க]

(iii) இப்போது, $$\vec{\nabla}\times\vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ \frac{B_0 k}{\mu_0\varepsilon_0\omega}\cos(\omega t - kz) & 0 & 0 \end{vmatrix} = \frac{B_0 k^2}{\mu_0\varepsilon_0\omega}\sin(\omega t - kz)\hat{y}$$

அல்லது, $$\vec{\nabla}\times\vec{E} = \frac{B_0 k^2 c^2}{\omega}\sin(\omega t - kz)\hat{y} = B_0\omega\sin(\omega t - kz)\hat{y}$$

$$\left[\because c^2 = \frac{1}{\mu_0\varepsilon_0}, \omega = ck\right]$$

மீண்டும், $$\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} = \frac{\partial\left\{B_0\cos(\omega t - kz)\hat{y}\right\}}{\partial t} = -B_0\omega\sin(\omega t - kz)\hat{y}$$

எனவே, $\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$ இது பாரடேவின் மின்காந்த தூண்டல் விதியின் வகைக்கெழு வடிவம் எனப்படுகிறது.

6.2.1 கடத்து மின்னோட்டம் மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம்

கடத்து மின்னோட்டம் என்பது, கடத்தியின் முனைகளுக்கிடையே மின்னழுத்த வேறுபாடு உருவாகும் போது முனைகளுக்கிடையே பாயும் அளவாகும். அதேசமயம், இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் என்பது மின்தேக்கித் தட்டுகளின் மீதுள்ள மின்னூட்டங்களினால் உருவாகும் காந்தப் புலங்களை குறிப்பிட பயன்படும் மின்னோட்டமாகும்.

கடத்து மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டங்களுக்கிடைப்பட்ட முக்கியமான வேறுபாடானது:

(i) கடத்து மின்னோட்டம் மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்ட அடர்த்தி ஆகியவை $\vec{J}_C = \sigma \vec{E}$ மற்றும் $\vec{J}_d = \frac{d\vec{D}}{dt}$ ஆக குறிப்பிடப்படுகின்றன.

(ii) கடத்து மின்னோட்டம் என்பது சுற்றில் பாயும் உண்மையான மின்னோட்டம் ஆகும், ஆனால் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம் என்பவை மின்புலத்தின் நேர மாறுபாடு மற்றும் கிடைக்கப்பட்ட ஒன்று.

(iii) கடத்து மின்னோட்டம் ஓம் விதிக்கு கட்டுப்படும். ஆனால் இடப்பெயர்வு மின்னோட்டமானது அவ்வாறல்ல.

6.3 மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள்

ஜேம்ஸ் கிளார்க் மேக்ஸ்வெல் (1831 -1879) ஒரு ஸ்காட்டிஷ் விஞ்ஞானி ஆவார், மின்சாரம், காந்தவியல் மற்றும் ஒளியியல் ஆகியவற்றை ஒன்றிணைக்கும் மின்காந்தவியல் பற்றிய பண்டைய கோட்பாட்டை உருவாக்கியதே அவரது குறிப்பிடத்தக்க சாதனையாகும். மேக்ஸ்வெலின் சமன்பாடுகள் என பொதுவாக அறியப்படும் நான்கு வெவ்வேறு சமன்பாடுகளின் உதவியுடன் மின்காந்தத்தின் அனைத்து நிகழ்வுகளும் விளக்கப்படலாம். இவை கீழே விவாதிக்கப்படும்:

6.3.1 நிலை மின்னியல் மற்றும் மின்காப்பானில் காஸின் விதி

இது மேக்ஸ்வெல்லின் முதல் சமன்பாடு ஆகும். மூடப்பட்ட கண்ணியுடன் தொடர்புடைய மின்பாயம் என்பது வெற்றிடத்தின் விடுதிறனால் வகுக்கப்படும் மொத்த மூடப்பட்ட மின்னூட்டத்திற்கு சமம். அதாவது,

$$\int_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0} \qquad [\text{நிலை மின்னியலிற்காக } \varepsilon_0 \vec{E}\,]$$

அல்லது, $\int_S \varepsilon_0 \vec{E}.d\vec{S} = \int_S \vec{D}.d\vec{S} = q \qquad [\because \vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}\,]$

அல்லது, $\int_S \vec{D}.d\vec{S} = \int_V \rho dV \qquad [\because \rho = \frac{dq}{dV}\,]$ …(6.8)

மின்காப்பானுக்கானுக்கான தொகைக்கெழு வடிவம் ஆகும்.

மீண்டும் மாற்றுத் தேற்றத்தை சமன். (6.8) ஐ பின்வருமாறு எழுதலாம்.

$$\int_V \vec{\nabla}.\vec{D}dV = \int_V \rho dV$$

தொகைக்கெழுவின் இரு பகுதிகளையும் சமன்படுத்த,

$$\vec{\nabla}.\vec{D} = \rho \qquad \ldots(6.9)\ (a)$$

அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \qquad \left[\text{as } \vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}\right]$ …(6.9) (b)

சமன். (6.9) (a) மற்றும் 6.9 (b) ஆகியவை முறையே மின்காப்பான்கள் மற்றும் மின் நிலைமத்தின் வகைக்கெழு வடிவமாகும்.

6.3.2 காந்த நிலைமத்தில் காஸின் விதி

இது மேக்ஸ்வெல்லின் இரண்டாவது சமன்பாடு ஆகும். மூடிய கண்ணியுடன் தொடர்புடைய காந்தப் பாயம் சுழிக்கு சமமாகும். அதாவது,

$$\int_S \vec{B}.d\vec{S} = 0 \qquad \ldots(6.10)$$

இதுவே சமன்பாட்டின் தொகைக்கெழு வடிவம் ஆகும்.

மீண்டும் மாற்றுத் தேற்றத்தை பயன்படுத்தி மேற்கண்ட சமன்பாட்டை பின்வருமாறு எழுதலாம்,

$$\int_V \vec{\nabla}.\vec{B}dV = 0$$

அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0 \qquad$ [இது எந்தவொரு மதிப்புக்கும் dV சரியானது] …(6.11)

இதுவே சமன்பாட்டின் வகைக்கெழு வடிவம் ஆகும்.

6.3.3 மின்காந்தத் தூண்டலின் பாரடே விதி

இது மேக்ஸ்வெல்லின் மூன்றாவது சமன்பாடு ஆகும். காந்தச் சுற்றில் உருவாகும் e.m.f. (e) ஆனது, அதன் வழியே பாயும் பாய மாறுபாட்டு வீதத்திற்கு சமாகும். மேலும், அது பாய (φ) மாறுபாட்டு வீதத்தை எதிர்க்கும் முறையிலேயே அமையும். கணித முறையில்,

$$e = -\frac{d\varphi}{dt}$$

அல்லது, $\oint_C \vec{E}.d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\left(\iint_S \vec{B}.d\vec{S}\right)$ …(6.12)

இதுவே பாரடே மின்காந்தத் (EM) தூண்டல் விதியின் தொகைக்கெழு வடிவம் ஆகும்.

மீண்டும் வெக்டர் நுண்கணிதத்தின் ஸ்டோக்ஸ் தேற்றத்தை பயன்படுத்தி,

$$\oint_C \vec{E}.d\vec{l} = \iint_S \vec{\nabla} \times \vec{E}.d\vec{S}$$

எனவே ஒப்பிட, $\iint_S \vec{\nabla} \times \vec{E}.d\vec{S} = -\frac{d}{dt}\left(\iint_S \vec{B}.d\vec{S}\right)$

அல்லது, $\iint_S \vec{\nabla} \times \vec{E}.d\vec{S} + \iint_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.d\vec{S} = 0$

அல்லது, $$\iint_S \left(\vec{\nabla} \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \right) . d\vec{S} = 0$$

இது எந்தவொரு $d\vec{S}$ க்கும் சரியானது எனவே, $\vec{\nabla} \times \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = 0$

அல்லது, $$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \ldots(6.13)$$

இதுவே பாரடே EM தூண்டல் விதியின் வகைக்கெழு வடிவமாகும்.

6.3.4 மாற்றியமைக்கப்பட்ட ஆம்பியர் சுற்று விதி

ஆம்பியர்–மேக்ஸ்வெல் விதி அல்லது மாற்றியமைக்கப்பட்ட ஆம்பியர் விதி எனப்படும். இதன்படி, வெற்றிடத்தில் நேர மாறுபாட்டு மின்னோட்டத்திற்காக, காந்தப் புலத்தில் மூடிய பாதையை சுற்றியுள்ள காந்தத் தூண்டலின் நேர்கோட்டு தொகை கெழுவானது மூடிய பாதையில் பாயும் நிகர நிலை மின்னோட்டத்தின் (I) μ_0 மடங்குக்கு சமமாகும்.

ஆம்பியர் சுற்று விதிக்காக,

$$\oint_C \vec{B} . d\vec{l} = \oint_C \mu_0 \vec{H} . d\vec{l} = \mu_0 I$$

அல்லது, $$\oint_C \vec{H} . d\vec{l} = I = \int_C \vec{J}_c . d\vec{S} \qquad \left[\because J_c = \frac{dI}{dS} \right]$$

ஸ்டோக்ஸ் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி,

$$\int_S \vec{\nabla} \times \vec{H} . d\vec{S} = \int_C \vec{J}_c . d\vec{S}$$

எந்தவொரு dS க்கும் தொகைக்கெழுவை சமன்படுத்த, $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_c$ என்பது நிலைப்புலத்திற்கு பொருந்தக் கூடியது.

சமன்பாட்டின் இருபுறமும் வகைக்கெழுப்படுத்த,

$$\vec{\nabla} . \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{\nabla} . \vec{J}_c = 0$$

மீண்டும் நிலை புலத்திற்கான தொடர்புச் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\vec{\nabla} . \vec{J}_c + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

அல்லது, $$\vec{\nabla} . \vec{J}_c = -\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

அல்லது, $$\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$$

ஆகையால், நேர மாறுபாட்டு புலத்திற்கு மொத்த மின்னோட்ட அடர்த்தியானது, கடத்து மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்ட அடர்த்திக்கு சமமாகும். எனவே, மாற்றியமைக்கப்பட்ட ஆம்பியர் சுற்று விதியான நான்காவது மேக்ஸ்வெல் சமன்பாடு ஆகும்.

காந்தப் புல செறிவின் நேர்கோட்டு தொகைக்கெழு கடத்து மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்ட அடர்த்தியின் மேற்பரப்பு தொகைக்கெழுவுக்கு சமமாகும். அதாவது,

$$\oint_C \vec{H}.d\vec{l} = \int_S \vec{J}_c.d\vec{S} + \int_S \vec{J}_d.d\vec{S}$$

அல்லது,
$$\oint_C \vec{H}.d\vec{l} = \int_S \vec{J}_c.d\vec{S} + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}.d\vec{S} \quad \ldots(6.14)$$

இதுவே சமன்பாட்டின் தொகைக்கெழு வடிவம் ஆகும். இப்போது வெக்டர் நுண்கணிதத்தில் ஸ்டோக்ஸ் விதியை பயன்படுத்தி,

$$\oint_C \vec{H}.d\vec{l} = \int_S \vec{\nabla} \times \vec{H}.\hat{n}dS = \int_S \vec{\nabla} \times \vec{H}.d\vec{S} \quad \ldots(6.15)$$

எனவே, சமன். (6.14) மற்றும் சமன். (6.15) ஐ ஒப்பிட,

$$\int_S \vec{\nabla} \times \vec{H}.d\vec{S} = \int_S \vec{J}_c.d\vec{S} + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}.d\vec{S} = \int_S \left(\vec{J}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \right) d\vec{S} \quad \ldots(6.16)$$

மேற்கண்ட சமன்பாடு எந்தவொரு dS க்கும் சரியானது மற்றும் சமன்பாட்டின் இருபுறத்தின் தொகைக்கெழு உறுப்புகள் சமம். ஆகவே,

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \quad \ldots(6.17)$$

இதுவே சமன்பாட்டின் வகைக்கெழு வடிவம் ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 6.4: $\vec{E} = \cos(y-t)\hat{k}$ மற்றும் $\vec{B} = \cos(y-t)\hat{i}$ வாய்ப்புள்ள மின்காந்த அலைகளைக் கொண்டுள்ளது என நிரூபி.

தீர்வு:

$\vec{E} = \cos(y-t)\hat{k}$ மற்றும் $\vec{B} = \cos(y-t)\hat{i}$

இப்போது,
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & 0 & \cos(y-t) \end{vmatrix} = -\hat{i}\sin(y-t)$$

மற்றும்
$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\hat{i}\sin(y-t)$$

எனவே,
$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

எனவே $\vec{E} = \cos(y-t)\hat{k}$ மற்றும் $\vec{B} = \cos(y-t)\hat{i}$ வாய்ப்புள்ள மின்காந்த அலைகளைக் கொண்டுள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு 6.4

6.4 மேக்ஸ்வெல் சமன்பாட்டின் முக்கியத்துவம்

மின்புலக் கோடுகள் நேர்மறை மின்னூட்டங்களிலிருந்து தொடங்கி எதிர்மறை மின்னூட்டங்களில் ஒன்றிணைகின்றன என்பது அறியப்படுகிறது. மின்னூட்டங்களால் தூண்டப்பட்ட மின்புலம், மின்சாரப் பாய்வு அடர்த்தியால் தெளிவாக விவரிக்கப்படலாம், ஏனெனில் இந்த அளவு மின்னூட்டத்துடன் மிக நெருக்கமாக தொடர்புடையது. அனைத்து மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளுக்கும் குறிப்பிட்ட முக்கியத் துவம் உள்ளது. இவை கீழே விவரிக்கப்பட்டுள்ளன.

6.4.1 1வது சமன்பாடு $\vec{\nabla}.\vec{D} = \rho$ அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$

(i) எந்தவொரு மூடிய மேற்பரப்பு வழியாகவும் மொத்த மின்சாரப் பாய்வு அதன் மொத்த மின்னூட்டத் தின் அளவை விட $1/\varepsilon_0$ மடங்கு இருக்கும் என்று அது கூறுகிறது. இது நிலை மின்னியலில் காஸின் விதியை வேறுபட்ட வடிவத்தில் பிரதிபலிக்கிறது.

(ii) இது மின்னூட்ட அடர்த்தி ρ ஒரு ஸ்கேலார் அளவு என்பதைக் குறிக்கிறது.

(iii) ρ நேர்மறையாக இருந்தால், மின்சார புலத்தின் வேறுபாடு நேர்மறையாகவும், ρ எதிர்மறையாக இருந்தால், மின் புலத்தின் வேறுபாடு எதிர்மறையாகவும் இருக்கும்.

எனவே, மின் புல கோடுகள் நேர்மறை மின்னூட்டத்திலிருந்து (ஆதாரங்கள்) தொடங்கி எதிர்மறை மின்னூட்டங்களில் (மூழ்கி) முடிவடையும். இதனால் இது மின்புலம் மற்றும் மின்னூட்ட விநியோகம் ஆகியவற்றுக்கு இடையேயான தொடர்பை அளிக்கிறது.

(iv) சமன்பாடு நேரத்தை சார்ந்து இல்லை என்பதால், அது ஒரு நிலையான சமன்பாட்டைக் குறிக்கிறது.

6.4.2 2வது சமன்பாடு $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$

(i) எந்த மூடிய மேற்பரப்பிலும் உள்ள நிகர காந்தப் பாய்வு பூஜ்யம் என்று அது கூறுகிறது. இது காஸின் சட்டத்தை காந்தவியல் நிலைகளில் வேறுபட்ட வடிவத்தில் பிரதிபலிக்கிறது.

(ii) ஒரு மூடிய பகுதிக்குள் எந்தவொரு பகுதிக்குள் நுழையும் மொத்த காந்தக் கோடுகளின் எண்ணிக்கை அதை விட்டு வெளியேறும் விசையின் கோடுகளின் எண்ணிக்கைக்கு சமம் என்பதை இது குறிக்கிறது. எனவே தனிமைப்படுத்தப்பட்ட காந்த துருவம் அதாவது காந்த ஒற்றைத் துருவம் இருக்க முடியாது. இது ஜோடிகளாக மட்டுமே தோன்றும்.

(iii) எனவே, காந்த விசை கோடுகளுக்கு எந்த ஆதாரமும் அல்லது மடுவும் இல்லை.

(iv) சமன்பாடு நேரத்தை சார்ந்து இல்லை என்பதால், இது ஒரு நிலையான சமன்பாடு ஆகும்.

6.4.3 3வது சமன்பாடு $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

(i) காந்தப் பாய்வு மாற்றத்தின் நேர விகிதத்தால் ஒரு மின்சார புலம் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது என்பதை இது குறிக்கிறது. எனவே, சமன்பாடு இவ்வாறு எழுதப்படலாம், $e = -\frac{\partial \varphi}{\partial t}$

இது ஃபாரடேயின் EM தூண்டல் விதியைக் குறிக்கிறது. இது அடிப்படையில் சமன்பாட்டின் வகைக்கெழு வடிவம்.

(ii) இது நேரத்தைச் சார்ந்த சமன்பாடு.

6.4.4 4வது சமன்பாடு $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_C + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

(i) கடத்தும் மின்னோட்ட அடர்த்தி $\vec{J}_C$ மற்றும் இடப்பெயர்வு மின்னோட்ட வெக்டரை $\vec{D}$ மாற்றுவதன் காரணமாக ஒரு காந்தப்புலம் உருவாகிறது என்பதைக் குறிக்கிறது அதாவது கூட்டாகவும் தனித்தனியாகவும் இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்ட அடர்த்தி $\vec{J}_D$.

(ii) இது நிலையான மின்னோட்டம் மற்றும் மாறுபட்ட மின்னோட்டத்திற்கான ஆம்பியரின் சுற்று விதியின் மாற்றப்பட்ட வேறுபட்ட வடிவமாகும்.

(iii) இது நேரத்தைச் சார்ந்த சமன்பாடு ஆகும்.

6.5 மின்காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி

மின்காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி ஒரு மின்காந்த அலைகளின் ஆற்றல் அடர்த்தி மின்சார அல்லது காந்தப்புலத்தின் வீச்சின் இருமடிக்கு தகவில் காணப்படுகிறது. எந்த மின்காந்த அலைகளிலும், வீச்சு மின் மற்றும் காந்தப்புலங்கள் இரண்டின் மிக உயர்ந்த புல வலிமையைக் குறிக்கிறது. அலை வீச்சு மற்றும் சம்பந்தப்பட்ட அலை கொண்டு செல்லும் ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி அலை ஆற்றலைப் பெறலாம்.

ஒரு பகுதியில் ஓரலகு தொகுதிக்கு மின் மற்றும் காந்த ஆற்றல் மின் மற்றும் காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி என்று அழைக்கப்படுகிறது, அவை முறையே பின்வருமாறு வழங்கப்படுகின்றன,

$$U_e = \frac{1}{2}\vec{D}.\vec{E} = \frac{1}{2}\varepsilon\vec{E}.\vec{E} = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 \qquad \ldots(6.18)$$

மற்றும்

$$U_m = \frac{1}{2}\vec{B}.\vec{H} = \frac{1}{2}\mu\vec{H}.\vec{H} = \frac{1}{2}\mu H^2 \qquad \ldots(6.19)$$

இவ்வாறு, மின்காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி அதாவது, ஊடகத்தின் ஓரலகு தொகுதிக்கு மின்காந்த ஆற்றல்

$$U_{em} = U_e + U_m = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 + \frac{1}{2}\mu H^2 \qquad \ldots(6.20)$$

வெற்றிடத்தில் மின்காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி உள்ளது,

$$U = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\mu_0 H^2 \qquad \ldots(6.21)$$

6.6 பாயிண்டிங் வெக்டர்

இது கோட்பாட்டின் கண்டுபிடிப்பாளர் ஜான் ஹென்றி பாயிண்டிங் பெயரை வைத்து பிரபலப் படுத்தப்பட்டது. பாயிண்டிங் வெக்டர் மின்காந்த புலத்தின் ஓரலகு பகுதிக்கு ஓரலகு நேரத்திற்கு ஆற்றல் பரிமாற்றத்தை வழங்குகிறது. பாயிண்டிங் வெக்டரின் SI அலகு ஒரு சதுர மீட்டருக்கான வாட் ஆகும் (W/m^2).

எனவே பாயிண்டிங் திசையன் ஆற்றல் ஓட்டத்தின் திசைக்கு செங்குத்தாக ஓரலகு பகுதிக்கு மின்காந்த ஆற்றலின் ஓட்ட விகிதமாக வரையறுக்கப்படலாம் மற்றும் கணித ரீதியாக,

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0} \qquad \ldots(6.22)$$

இது நேரம் மாறுபடும் அளவு மற்றும் நிலையான புலங்களுக்கு பொருந்தாது. இது ஓரலகு பரப்பிற்கு மின்காந்த திறனைக் கொடுக்கிறது. அதன் SI அலகு W/m^2 மற்றும் இது மின் மற்றும் காந்தப்புலம் இரண்டிற்கும் செங்குத்தாக உள்ளது.

எடுத்துக்காட்டு 6.5

எடுத்துக்காட்டு 6.5: 100 W விளக்கில் இருந்து 1 மீ தொலைவில் பாயிண்டிங் வெக்டரின் மதிப்பை கண்டறியவும்.

தீர்வு:

விளக்கில் இருந்து வெளிப்படும் மொத்த கதிரியக்க திறனை, $\wp = 4\pi R^2 P$ என்று எழுதலாம்

இங்கே, $\wp = 100\,\text{W}$ மற்றும் $R = 1\,\text{m}.$

அதனால், பாயிண்டிங் வெக்டர் $P = \dfrac{\wp}{4\pi R^2} = \dfrac{100}{4\times 3.14\times (1)^2} = 7.96\,\text{W/m}^2.$

எடுத்துக்காட்டு 6.6

எடுத்துக்காட்டு 6.6: சூரியனில் இருந்து கதிர்வீச்சு திறன் 2.8×10^{26} W மற்றும் சூரியனின் ஆரம் 7×10^8 M என்றால் சூரியனின் மேற்பரப்பில் பாயின்டிங் வெக்டரின் மதிப்பை கண்டறியவும்.

தீர்வு:

சூரியனில் இருந்து கதிர்வீச்சு செய்யப்பட்ட மொத்த சக்தியை, $\wp = 4\pi R^2 P$

இங்கே, $\wp = 2.8\times 10^{26}\,\text{W}$ and $R = 7\times 10^8\,\text{m}.$

எனவே, பாயிண்டிங் வெக்டரானது,

$$P = \frac{\wp}{4\pi R^2} = \frac{2.8\times 10^{26}}{4\times 3.14\times \left(7\times 10^8\right)^2} = 4.55\times 10^7\,\text{W/m}^2.$$

எடுத்துக்காட்டு 6.7

எடுத்துக்காட்டு 6.7: a ஆரம் கொண்ட மிக நீண்ட உருளையின் குறுக்குவாட்டின் மீது பரவியுள்ள மின்னோட்டம் I செல்கிறது. சிலிண்டர் அச்சில் மின்னோட்டம் செல்ல அனுமதிக்கப்பட்டால், கடத்தியில் உள்ள மின்சார புலத்தை தீர்மானிக்கவும். காந்தப்புலம் கடத்திக்கு வெளியே அமைந்துள்ளது மற்றும் உருளையின் மேற்பரப்பில் பாயிண்டிங் வெக்டரை கவனிக்க முடியும். பொருளின் கடத்துத்திறன் σ என்று நீங்கள் கருதலாம்.

தீர்வு:

ஆம்பியர் சுற்று விதியை பயன்படுத்தி நாம் காந்தப் புலம் $H \oint_C \vec{H}.d\vec{l} = I$

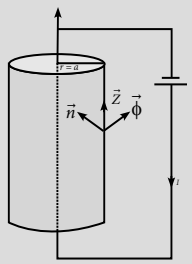
அல்லது, $H.2\pi r = I$

அல்லது, $H = \dfrac{I}{2\pi r}$

எடுத்துக்காட்டு 6.7

$r = a$ ல் புலம் $\quad H = \dfrac{I}{2\pi a}\hat{\phi}$

மற்றும் புலத் திசை மேற்பரப்பின் தொடுகோட்டின் திசையில் இருக்கும். மின் புலம் மற்றும் மின்னோட்ட அடர்த்தி தொடர்புடையது, $\vec{J} = \sigma\vec{E}$ (படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளபடி Z–அச்சில் அது இயக்கப்படட்டும்).



பாயிண்டிங் வெக்டர் போல $\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}$,

பதிலீடு செய்யும்போது $\vec{E}$ மற்றும் $\vec{H}$

$$\vec{P} = \frac{JI}{2\pi a\sigma}\hat{z} \times \hat{\phi} = \frac{JI}{2\pi a\sigma}\hat{n}$$

இங்கு $\hat{n}$ மின் மற்றும் காந்தப்புலத்திற்கு செங்குத்தாக இருக்கும் மற்றும் படத்தில் காட்டப்பட்டுள்ளபடி கடத்திக்கு உள்நோக்கி செயல்படுகிறது.

6.7 பாயிண்டிங் தேற்றம்

அறிக்கை: கொடுக்கப்பட்ட தொகுதியில் உள்ள மின்சக்தியின் நிகர ஓட்டம் கடத்தலால் ஏற்படும் இழப்புகளைக் குறைத்து, அந்த தொகுதியில் சேமிக்கப்படும் மின்காந்த ஆற்றலைக் குறைக்கும் நேர விகிதத்திற்கு சமம் என்று அது கூறுகிறது.

வருவித்தல்: மேக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகளிலிருந்து நாம் பெறுவது,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{மற்றும்} \quad \vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$$

எனவே, $\quad \vec{H}.\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\vec{H}.\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ $\qquad$ மற்றும் $\vec{E}.\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{E}.\left(\vec{J} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right)$

எனவே, $\quad \vec{H}.\vec{\nabla} \times \vec{E} - \vec{E}.\vec{\nabla} \times \vec{H} = -\vec{H}.\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} - \vec{E}.\left(\vec{J} + \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right) = -\left(\vec{H}.\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \vec{E}.\dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right) - \vec{E}.\vec{J}$

அல்லது, $\quad \vec{\nabla}.\vec{E} \times \vec{H} = -\left(\vec{H}.\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t} + \vec{E}.\dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}\right) - \vec{E}.\vec{J} \quad \left[\because \vec{H}.\vec{\nabla} \times \vec{E} - \vec{E}.\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{\nabla}.\vec{E} \times \vec{H}\right]$

$$= -\left(\mu\vec{H}.\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + \varepsilon\vec{E}.\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right) - \vec{E}.\vec{J}$$

அல்லது, $\quad \vec{\nabla}.\vec{E} \times \vec{H} = -\dfrac{\partial}{\partial t}\left(\dfrac{1}{2}\mu H^2 + \dfrac{1}{2}\varepsilon E^2\right) - \vec{E}.\vec{J}$ $\qquad$ …(6.23) (a)

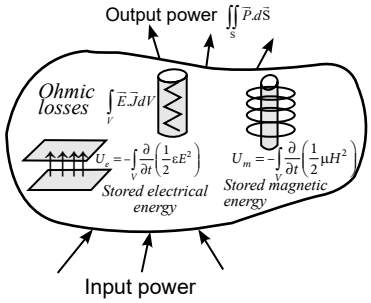
அல்லது, $\quad \vec{\nabla}.\vec{P} = -\dfrac{\partial U_{em}}{\partial t} - \vec{E}.\vec{J}$ $\qquad$ [சமன். (6.22) பயன்படுத்தி] $\qquad$ …(6.23) (b)

மேலே உள்ள சமன்பாட்டை ஒருங்கிணைக்கும் ஊடகத்தின் ஒரு குறிப்பிட்ட தொகுதிக்கு நாம் பெறுகிறோம்,

$$\int_V \vec{\nabla}.\vec{P}dV = -\int_V \frac{\partial U_{em}}{\partial t} dV - \int_V \vec{E}.\vec{J}dV$$

அல்லது, $\iint_S \vec{P}.d\vec{S} = -\int_V \frac{\partial U_{em}}{\partial t} dV - \int_V \vec{E}.\vec{J}dV$ [காஸின் தேற்றத்தைப் பயன்படுத்தி] …(6.24)

சமன். (6.24) என்பது பாயிண்டிங் தேற்றத்தின் கணித வடிவமாகும். இதில் முதல் உறுப்பு மேற்பரப்பு S னால் சூழப்பட்ட கனஅளவிலிருந்து வெளிப்படும் திறன் மற்றும் இரண்டாவது உறுப்பு கனஅளவு V‌ல் மின்காந்த ஆற்றல் குறையும் வீதம் மற்றும் கடைசி உறுப்பு அதே கனஅளவில் ஏற்படும் திறன் இழப்பு ஆகும் (படம் 6.2).



படம் 6.2: பாயிண்டிங் தேற்றத்தின் விளக்கப் படம்

6.8 மின்காந்த ஆற்றல்

மின் ஆற்றல் என்பது ஓரலகு மின்னூட்டத்தை சில தன்னிச்சையான புள்ளியில் இருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட புலத்திற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்திற்கு நகர்த்துவதற்கு தேவையான வேலை ஆற்றலைக் குறிக்கிறது. ஒரு மின்காந்த ஆற்றல் மின் ஸ்கேலார் ஆற்றல் மற்றும் காந்த வெக்டர் ஆற்றல் இரண்டையும் ஒருங்கிணைக்கிறது.

மேக்ஸ்வெல் இரண்டாவது சமன்பாடு (காந்தநிலையியலில் உள்ள காஸ் விதி) இருந்து நாம், $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$

மீண்டும், வெக்டர் நுண்கணிதத்தில் இருந்து, ஒரு வெக்டரின் சுருளை விலகிச்செல்லும் பூஜ்யம். அதாவது, $\vec{\nabla}.\vec{\nabla} \times \vec{A} = 0$

எனவே, $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ …(6.25)

காந்தப்புலத்திற்கும் $\vec{B}$ காந்த வெக்டர் ஆற்றலுக்கும் $\vec{A}$ இடையில் உள்ள சாத்தியமான தொடர்பைக் கொடுக்கிறது.

மீண்டும் மேக்ஸ்வெல்லின் மூன்றாவது சமன்பாட்டிலிருந்து (ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டல் விதி),

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla} \times \vec{A}\right) = -\vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

அல்லது, $\vec{\nabla} \times \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\right) = 0$

இப்போது, ஒரு ஸ்கேலர் செயல்பாட்டின் சுருள் சரிவு பூஜ்ஜியமாகும். அதாவது, $\vec{\nabla} \times \vec{\nabla}\phi = 0$

மேலே உள்ள இரண்டு சமன்பாடுகளை இணைத்து நாம் எழுதலாம்

$$\vec{\nabla} \times \left(\vec{\nabla}\phi + \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0$$

அல்லது, $\vec{\nabla}\phi + \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = 0$

அல்லது, $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ …(6.26)

இது மின்சார புலம் $\vec{E}$, காந்த ஸ்கேலார் ஆற்றல் ϕ மற்றும் வெக்டர் ஆற்றல் $\vec{A}$ ஆகியவற்றுக்கு இடையேயான தொடர்பை அளிக்கிறது.

எடுத்துக்காட்டு 6.8: மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாட்டிலிருந்து தொடங்கி, மின்புலத்தை (ஸ்கேலார் மற்றும் வெக்டர் ஆற்றலின் அடிப்படையில்) இவ்வாறு எழுத முடியும் என்பதைக் காட்டுகிறது, $\vec{E} = -\nabla\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$

தீர்வு:

இங்கு $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$

இப்போது, மேக்ஸ்வெல்லின் மூன்றாவது சமன்பாட்டிலிருந்து (ஃபாரடேயின் EM தூண்டல் விதி),

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla} \times \vec{A}\right) = -\vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

அல்லது, $\vec{\nabla} \times \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0$

மீண்டும், நுண்கணித வெக்டரில் இருந்து ஒரு ஸ்கேலர் செயல்பாட்டின் சுருள் சாய்வு பூஜ்ஜியமாகும். அதாவது, $\vec{\nabla} \times \vec{\nabla}\phi = 0$

இவ்வாறு, நாம் இணைப்பது $\vec{\nabla} \times \left(\vec{\nabla}\phi + \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} \right) = 0$

அல்லது, $\vec{\nabla}\phi + \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = 0$

அல்லது, $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}.$

எடுத்துக்காட்டு 6.8

எடுத்துக்காட்டு 6.9: ϕ என்பது மின்புலத்துடன் $\vec{E}$ இணைந்த ஸ்கேலார் ஆற்றல் என்றால் $\vec{A}$ என்பது காந்தப் புலத்துடன் $\vec{B}$ இணைந்த வெக்டர் ஆற்றலாகும். அவைகள் $\nabla^2\phi + \frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla}.\vec{A}\right) = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}$ என்ற சமன்பாடுகளை பூர்த்தி செய்கிறதா என்று காட்டுக.

தீர்வு:

இங்கு, $\vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$

இப்போது, மேக்ஸ்வெல்லின் மூன்றாவது சமன்பாட்டிலிருந்து (பாரடேவின் EM தூண்டல் விதி),

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla} \times \vec{A}\right) = -\vec{\nabla} \times \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

அல்லது, $$\vec{\nabla} \times \left(\vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\right) = 0$$

மீண்டும், வெக்டர் நுண்கணிதத்தில் இருந்து ஒரு ஸ்கேலர் செயல்பாட்டின் சுருள் சாய்வு பூஜ்ஜியமாகும். அதாவது, $\vec{\nabla} \times \vec{\nabla}\phi = 0$

இவ்வாறு, நாம் பெறுவது $$\vec{\nabla} \times \left(\vec{\nabla}\phi + \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\right) = 0$$

அல்லது, $$\vec{\nabla}\phi + \vec{E} + \frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = 0$$

அல்லது, $$\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

மீண்டும், மேக்ஸ்வெல்லின் முதல் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

அல்லது, $$\vec{\nabla}.\left(-\vec{\nabla}\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}\right) = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

அல்லது, $$\nabla^2\phi + \frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla}.\vec{A}\right) = -\frac{\rho}{\varepsilon_0}.$$

எடுத்துக்காட்டு 6.9

6.9 EM அலைகளின் உந்தம் மற்றும் அழுத்தம்

அலைகளின் உந்தம் என்பது அலைகளின் ஆற்றலை ஒளியின் திசைவேகத்தால் வகுத்தால் கிடைப்பது என்று வரையறுக்கப்படுகிறது. EM அலைகளின் உந்தம் ஒரு EM அலை பொருளால் உட்கிரகிக்கப்பட்டால் அல்லது பிரதிபலித்தால் அலையானது பொருளுக்கு உந்தத்தை மாற்றும். பொருளின் மீது படும் அலை நீண்டதாக இருந்தால், அதிக அளவு உந்தம் மாற்றப்படும்.

மின் மற்றும் காந்தப்புலங்களின் ஆற்றல் அடர்த்தி

$$U_e = \frac{1}{2}\vec{D}.\vec{E} = \frac{1}{2}\varepsilon\vec{E}.\vec{E} = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 \qquad \left[\because \vec{D} = \varepsilon\vec{E} \text{ and } \vec{E}.\vec{E} = E^2\right]$$

மற்றும், $$U_m = \frac{1}{2}\vec{B}.\vec{H} = \frac{1}{2}\mu\vec{H}.\vec{H} = \frac{1}{2}\mu H^2 \qquad \left[\because \vec{B} = \mu\vec{H} \text{ and } \vec{H}.\vec{H} = H^2\right]$$

எனவே, EM ஆற்றல் அடர்த்தி

$$U_{em} = U_e + U_m = \frac{1}{2}\varepsilon E^2 + \frac{1}{2}\mu H^2$$

இந்த நேரச் சார்பின் சிக்கலைத் தவிர்க்க, கதிர்வீச்சு அழுத்தம் P என்ற சொல் அறிமுகப்படுத்தப்பட்டது. இது நேரத்தைப் பொறுத்தது அல்ல.

EM அலைகளால் எடுத்துச் செல்லப்படும் உந்தம் இவ்வாறு வெளிப்படுத்தப்படலாம்,

$$p = \frac{U}{c} \qquad \ldots(6.27)$$

மற்றும் அதனுடன் தொடர்புடைய கதிர்வீச்சு அழுத்தம் வழங்கப்படுகிறது,

$$P = \frac{F}{A} = \frac{1}{A}\frac{dp}{dt} = \frac{1}{Ac}\frac{dU}{dt} = \frac{S}{c} \qquad \left[\because F = \frac{dp}{dt} \text{ and } S = \frac{1}{A}\frac{dU}{dt}\right] \qquad \ldots(6.28)$$

சமன். (6.27) மற்றும் சமன். (6.28) ஒரு உறிஞ்சும் மேற்பரப்பில் படுவதற்கு மட்டுமே உண்மை. சரியாக பிரதிபலிக்கும் மேற்பரப்பைத் தாக்க மதிப்புகள் இரட்டிப்பாக்கப்பட வேண்டும், எனவே அந்த வழக்கில், உந்த பரிமாற்றம் $p = \frac{2U}{c}$ மற்றும் கதிர்வீச்சு அழுத்தம் $P = \frac{2S}{c}$.

அலகு சுருக்கம்

- **இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்தின் கருத்து: மேக்ஸ்வெல்லின் புல சமன்பாடுகள்**

  இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் $\vec{I}_d = \varepsilon_0 A\frac{d\vec{E}}{dt}$

  இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்ட அடர்த்தி $\vec{J}_d = \frac{d\vec{D}}{dt}$

- **மேக்ஸ்வெல்லின் மின்காந்த தூண்டலின் சமன்பாடுகள்**

  1. நிலை மின்னியல் மற்றும் மின்காப்பானில் காஸ் விதி தொகுப்பு வடிவம்

  $$\int_S \vec{D}.d\vec{S} = \int_V \rho dV \qquad \text{(மின்காப்பான்)}$$

$$\int_S \vec{E}.d\vec{S} = \frac{q}{\varepsilon_0}$$ (மின்னியல்)

வகைக்கெழு வடிவம் $\vec{\nabla}.\vec{D} = \rho$ (மின்காப்பான்)

$$\vec{\nabla}.\vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$ (மின்னியல்)

2. காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதி

தொகுப்பு வடிவம் $\int_S \vec{B}.d\vec{S} = 0$

வகைக்கெழு வடிவம் $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$

3. ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டல் விதி

தொகுப்பு வடிவம் $\oint_C \vec{E}.d\vec{l} = -\frac{d}{dt}\left(\iint_S \vec{B}.d\vec{S}\right)$

வகைக்கெழு வடிவம் $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$

4. திருத்தப்பட்ட ஆம்பியரின் சுற்று விதி

தொகுப்பு வடிவம் $\oint_C \vec{H}.d\vec{l} = \int_S \vec{J}_c.d\vec{S} + \int_S \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}.d\vec{S}$

வகைக்கெழு வடிவம் $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_c + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$

- **மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளின் இயற்பியல் முக்கியத்துவம்**

1. மேக்ஸ்வெல்லின் முதல் சமன்பாட்டின் முக்கியத்துவம்
   - மின்னூட்ட அடர்த்தி ஒரு ஸ்கேலார் அளவு என்பதைக் குறிக்கிறது.
   - இது ஒரு நிலையான சமன்பாட்டைக் குறிக்கிறது.
2. மேக்ஸ்வெல்லின் இரண்டாவது சமன்பாட்டின் முக்கியத்துவம்
   - காந்த ஒற்றை துருவம் இருக்க முடியாது என்பதைக் குறிக்கிறது
   - இது ஒரு நிலையான சமன்பாடு ஆகும்.
3. மேக்ஸ்வெல்லின் மூன்றாவது சமன்பாட்டின் முக்கியத்துவம்
   - காந்தப் பாய்வில் ஏற்படும் மாற்றத்தால் மின் புலம் உருவாகிறது
   - இது நேரத்தைச் சார்ந்த சமன்பாடு
4. மேக்ஸ்வெல்லின் நான்காவது சமன்பாட்டின் முக்கியத்துவம்
   - ஒரு காந்தப்புலம் $\vec{J}_C$ மற்றும் $\vec{J}_D$ காரணமாக உருவாக்கப்படலாம் என்பதை இது குறிக்கிறது.
   - இது நேரத்தைச் சார்ந்த சமன்பாடு.

- **மின்காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி**

$$U = \frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2 + \frac{1}{2}\mu_0 H^2$$

- **பாயிண்டிங் வெக்டர்**

$$\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu_0}$$

- **பாயிண்டிங் தேற்றம்**

$$\iint_S \vec{P}.d\vec{S} = -\int_V \frac{\partial U_{em}}{\partial t} dV - \int_V \vec{E}.\vec{J} dV$$

- **மின்காந்த ஆற்றல்**

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$$

- **மின்காந்த அலைகளின் உந்தம் மற்றும் விளைவினால் ஏற்படும் அழுத்தம்**

உந்தம் $p = \frac{U}{c}$

கதிர்வீச்சு அழுத்தம் $P = \frac{F}{A} = \frac{S}{c}$

பயிற்சிகள்

கொள்குறி வகை வினாக்கள்

6.1 இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தின் காரணம்

(a) நேர் மின்னூட்டம் மட்டுமே (b) எதிர் மின்னூட்டம் மட்டுமே

(c) நேர–மாறுபாடு மின்புலம் (d) நேர–மாறுபாடு காந்தபுலம்

6.2 வெற்றிடத்தில் $\vec{E}$ மின்புலத்தால் வெக்டரின் அடிப்படையில் மேக்ஸ்வெல் மின்காந்த அலை சமன்பாடுகளாகும்.

(a) $\nabla^2 \vec{E} = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$ (b) $\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$

(c) $\nabla^2 \vec{E} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$ (d) $\nabla^2 \vec{E} = -\mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$

6.3 ஆம்பியரின் சுற்று விதி மின்னோட்ட அடர்த்தி _____ பொருந்தும்

(a) வெளியில் மாறிலி (b) நேர சார்பின்மை (c) சுருள் பண்புள்ளது (d) சுழலற்று

6.4 மின்காந்த தூண்டலின் ஃபாரடேயின் விதியின் வகைக்கெழு வடிவம்

(a) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (b) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = 2\vec{B}$ (c) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (d) $\vec{\nabla} \times \vec{B} = -\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$

6.5 ஒரு காந்தப்புலத்துடன் $\vec{H}$ தொடர்புடைய ஆற்றல்

(a) $\frac{1}{2}H^2$ (b) $\mu_0 H^2$ (c) $\frac{1}{2}\mu_0 H^2$ (d) $\frac{1}{2\mu_0}H^2$

6.6 ஒரு குறிப்பிட்ட பிராந்தியத்தில் உள்ள மின்சார புலத்தில் $E_x = ax - bz$, $E_y = -ay + bz$ மற்றும் $E_z = b(y - x)$ என்ற கூறுகள் உள்ளன. பின்வருவனவற்றில் எந்த அறிக்கை சரியானது ?

(a) $\vec{E}$ ஒரு மின் புலம் (b) வெளியில் உள்ள கட்டுறா மின்னூட்டங்கள்

(c) $\vec{E}$ சுழலற்றது (d) $\vec{E}$ சுருளானது

6.7 சமன்பாடு $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J}_C + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ குறிக்கிறது

(a) காஸின் விதி (b) ஆம்பியர் விதியின் மேக்ஸ்வெல்லின் மாற்றம்

(c) ஃபாரடேயின் விதி (d) கூலும் விதி

6.8 மின் புல வெக்டர் $\vec{E}$ உடன் தொடர்புடைய ஆற்றல்

(a) $\frac{1}{2}E^2$ (b) $\frac{1}{2}\varepsilon_0 E^2$ (c) $\mu_0 \varepsilon_0 E^2$ (d) $\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}E^2$

6.9 பாயிண்டிங் வெக்டரின் SI அலகு

(a) Wm^2 (b) $Js^{-1}m^{-2}$ (c) Wm (d) Ws^{-1}

6.10 மேக்ஸ்வெல்லின் 3 வது சமன்பாட்டின் தொகைக்கெழு வடிவம்:

(a) காஸ் விதி (b) பயோட் சவர்ட்டின் விதி

(c) ஃபாரடேயின் விதி (d) ஆம்பியரின் சுற்று விதி

6.11 மின்னூட்டம் இல்லாத கடத்தும் ஊடகத்தில் EM அலைகள்

(a) நிலை அலைகள் (b) பரவும் அலைகள்

(c) குறுக்கு அலைகள் (d) துருவப்படுத்தப்பட்ட அலைகள்

6.12 1 mF மின்தேக்கியில், 1 A இன் உடனடி இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் அதன் தட்டுகளுக்கு இடையில் உள்ள இடைவெளிகளில் நிறுவப்பட _____ மின்னழுத்தம் தர வேண்டும்

(a) 10^6 A (b) 10^6 A/s (c) 10^6 volts (d) 10^6 volts/s

6.13 எந்த அறிக்கையில் மின்னியல் புலம் மாறாதது என்று கூறவில்லை ?

(a) E இன் சுருள் பூஜ்ஜியமாக இருந்தால்

(b) இரண்டு புள்ளிகளுக்கு இடையிலான மின்னழுத்த வேறுபாடு ஒரு மின்னியல் புலத்தில் பூஜ்ஜிய மாகும்

(c) மின்னழுத்த புலம் ஒரு ஸ்கேலார் ஆற்றலின் சாய்வாக இருந்தால்

(d) புலங்களுக்குள் ஒரு மூடிய பாதையில் செய்யப்படும் வேலை பூஜ்யம்

6.14 பின்வருவனவற்றில் எது மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடு அல்ல ?

(a) $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ (b) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ (c) $\vec{D} = \varepsilon \vec{E}$ (d) $\vec{\nabla}.\vec{D} = \rho$

6.15 ஆற்றல் ஓட்ட விகிதம் எவ்வாறு வழங்கப்படுகிறது ?

(a) மேக்ஸ்வெல் சமன்பாடு (b) பாயிண்டிங் வெக்டர்

(c) பாய்சன் சமன்பாடு (d) தொடர்ச்சியான சமன்பாடு

6.16 மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடு $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ குறிப்பிடுவது

(a) காந்த வெக்டர் ஆற்றல் (b) காந்தவியலில் காஸ் விதி

(c) ஆம்பியரின் சுற்று விதி (d) பயோட்–சவர்ட் சட்டம்

கொள்குறி வகை வினா–விடைகள்
6.1 (c), 6.2 (a), 6.3 (b), 6.4 (c), 6.5 (c), 6.6 (all), 6.7 (b), 6.8 (b), 6.9 (b), 6.10 (c), 6.11 (c), 6.12 (d), 6.13 (b), 6.14 (c), 6.15 (b), 6.16 (c)

சிறு மற்றும் பெரு வினாக்கள்

வகை I

6.1 ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டல் விதி வகைக்கெழு வடிவத்தை வெளிப்படுத்துக.

6.2 ஒரு தள மின்காந்த அலைக்கான பாயிண்டிங் வெக்டரின் சராசரி மதிப்பை கண்டறிந்து அதன் முக்கியத்துவத்தை விளக்கவும்.

6.3 $\vec{E} = \sin(y - t)\hat{k}$ மற்றும் $\vec{B} = \sin(y - t)\hat{i}$ சாத்தியமான மின்காந்த அலைகளை உருவாக்குகிறது என நிரூபி.

6.4 மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாட்டின் இயல் முக்கியத்துவத்தைக் கொடுங்கள் $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$.

6.5 ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டல் விதிகளிலிருந்து மேக்ஸ்வெல்லின் மூன்றாவது சமன்பாட்டை வருவி.

6.6 பாயிண்டிங் தேற்றத்தின் பயனை விளக்குங்கள்.

6.7 $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ என நிரூபி

6.8 ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டல் விதியைப் பயன்படுத்தி மின் புலத்தின் செறிவை $\vec{E} = -\vec{\nabla}\phi - \frac{\partial \vec{A}}{\partial t}$ வெளிப்படுத்தலாம். இங்கு ϕ என்பது ஸ்கேலார் ஆற்றல்.

6.9 மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளை நேர மாறுபடும் புலத்தில் எழுதி ஒவ்வொன்றின் இயல் முக்கியத்துவத்தை விளக்கவும்.

6.10 $\vec{\nabla}.\vec{E}\times\vec{H}=-\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{1}{2}\mu H^2+\frac{1}{2}\varepsilon E^2\right)+\vec{E}.\vec{J}$ என்பதைக் காட்டுங்கள். சொற்களுக்கு அவற்றின் வழக்க மான முக்கியத்துவம் உள்ளது.

6.11 மேக்ஸ்வெல்லின் புல சமன்பாட்டிலிருந்து காஸின் விதி, ஆம்பியரின் விதி மற்றும் ஃபாரடேயின் விதி ஆகியவற்றை அடையாளம் காணவும்.

6.12 ஒரு மின்காந்த அலைக்கான அலை சமன்பாடுகளைக் கண்டறிந்து இந்த அலையின் வேகத்தைக் கண்டறியவும்.

6.13 a ஆரமுள்ள நீண்ட உருளை அதன் குறுக்கு வெட்டு பரப்பு முழுதும் சீரான மின்னோட்டம் I கொண்டுள்ளது. உருளையின் அச்சில் மின்னோட்டம் செல்ல அனுமதிக்கப்பட்டால், கடத்தியில் உள்ள மின்புலத்தை தீர்மானிக்கவும். காந்தப்புலம் கடத்திக்கு வெளியே அமைந்துள்ளது மற்றும் உருளையின் மேற்பரப்பில் பாயிண்டிங் வெக்டர் குறிப்பிடப்படலாம் என்று கொடுக்கப்பட்டுள்ளது. நீங்கள் பொருளின் கடத்துதிறனை σ என்று கருதலாம்.

6.14 வெற்றிடத்தின் ஒரு பகுதியில் உள்ள காந்தப்புலம் $\vec{B}=B_0\cos(\omega t-kz)\hat{k}$ என வழங்கப்படுகிறது

(i) கட்டுறா மின்னூட்டம் இல்லை என்றால் இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் என்ன ?

(ii) E க்கான சமன்பாட்டை பெறுங்கள். தொகைக்கெழு மாறிலியை புறக்கணிக்க.

(iii) ஃபாரடேயின் மின்காந்த தூண்டுதல் விதியின் வகைக்கெழு வடிவம் E மற்றும் B ஆல் திருப்தி அடைந்ததைச் சரிபார்க்கவும்.

6.15 ϕ என்பது மின் புலத்துடன் $\vec{E}$ தொடர்புடைய ஸ்கேலார் ஆற்றல் மற்றும் காந்தப்புலத்துடன் $\vec{B}$ தொடர்புடைய வெக்டர் ஆற்றல் $\vec{A}$ என்றால், அவை $\nabla^2\phi+\frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla}.\vec{A}\right)=-\frac{\rho}{\varepsilon_0}$. ஐ திருப்திப்படுத்த வேண்டும் என்பதைக் காட்டு.

6.16 மின் புலம் ($\vec{E}$), காந்த புலம் ($\vec{B}$) மற்றும் பரவல் வெக்டர் ($\hat{k}$) ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ளன எனக் காட்டுக.

6.17 மின்காந்த அலைகளின் வேகத்தை பற்றி தாங்கள் கூறவிழைவது என்ன ? மின்காந்த அலைகளால் மேற்கொள்ளப்படும் வேகத்திற்கான கோவையைப் பெறுங்கள் மற்றும் அதனுடன் தொடர்புடைய கதிர்வீச்சு அழுத்தத்தையும் கண்டறியவும்.

6.18 மின்னோட்டம் கொண்டு செல்லும் ஒரு மின்தடையுடன் தொடரில் ஒரு இணை தட்டு மின்தேக்கி உள்ள இடப்பெயர்வு மின்னோட்டத்தை I காணவும். மின்தேக்கி தகடுகளின் பரப்பளவு A மற்றும் மின்கடத்தா வெற்றிடம் ஆகும். மேலே உள்ள உதாரணத்தைத் தீர்க்க நீங்கள் பயன்படுத்திய சட்டத்தைக் குறிப்பிடவும்.

6.19 எளிய சுற்று வரைபடத்தைப் பயன்படுத்தி இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்தைப் பற்றிய உங்கள் கருத்தைக் கொடுங்கள்.

6.20 நிலையான புலத்தில் உள்ள மின்சார மற்றும் காந்தப்புல அளவுகளுக்கு இடையிலான உறவு என்ன ?

6.21 கடத்தல் மின்னோட்டம் மற்றும் இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் இடையே உள்ள முக்கியமான வேறுபாடு களைக் குறிப்பிடுங்கள்.

6.22 மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளில் உள்ள குறியீடுகளை தெளிவுபடுத்துக.

6.23 மூன்றாவது மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாட்டின் அறிக்கையைக் கொடுத்து அதன் பயன்பாட்டை விளக்கவும்.

6.24 ஆம்பியரின் சுற்று விதியை மாற்ற வேண்டிய அவசியம் என்ன ?

6.25 நேர–மாறுபாடு புலங்களுக்கு, மொத்த மின்னோட்ட அடர்த்தி கடத்தல் மற்றும் இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்ட அடர்த்திக்கு சமமாக இருக்க வேண்டும் என்பதை தெளிவாக விளக்கவும்.

6.26 அலை வீச்சால் அலை ஆற்றலை எவ்வாறு தீர்மானிக்க முடியும் என்பதை விளக்கவும் மற்றும் ஒரு அலை கொண்டு செல்லும் ஆற்றல் அதன் வீச்சைப் பொறுத்தது.

6.27 பாயிண்டிங் வெக்டரின் வரையறையின் அடிப்படையில், ஓரலகு பகுதிக்கு மின்காந்த ஆற்றலின் ஓட்ட விகிதம், ஆற்றல் ஓட்டத்தின் திசைக்கு செங்குத்தாக வரையறுக்கப்படலாம், கணித வடிவத்தை எழுதி விவாதிக்கவும்.

6.28 மின்காந்த ஆற்றலின் பங்கை விளக்கவும். மின்சார புலம், காந்த ஸ்கேலார் ஆற்றல் மற்றும் வெக்டர் ஆற்றல் ஆகியவற்றுக்கு இடையே ஒரு தொடர்பை ஏற்படுத்தவும்.

வகை II

6.29 பரந்த பொருளில், உங்கள் கருத்துப்படி, மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளின் இயல் முக்கியத்துவம் என்ன ?

6.30 இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டம் அடர்த்தியை அளவிடும் நோக்கத்தைக் குறிப்பிடவும்.

6.31 ஆம்பியரின் சுற்று விதியில் மேக்ஸ்வெல்லின் மாற்றத்தின் தேவையை விளக்கவும்.

6.32 இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்தைப் பெறுவதற்கான ஒரு முறையைக் கொடுங்கள்.

6.33 ஆம்பியரின் சுற்று விதி பொருந்தாத நிலையான மின்னோட்டத்தைக் கொண்டு செல்லும் மின்சுற்று. அதற்கு ஒரு உதாரணம் கொடுங்கள்.

6.34 ''இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்ட அடர்த்தி என்பது மின்சார இடப்பெயர்ச்சியின் மாற்ற விகிதம் மற்றும் நேர மாறுபாடு மின் புலத்தின் காரணமாக ஒரு மின்கடத்தா ஊடகத்தில் தற்போதைய அமைவு ஆகும்.'' – நியாயப்படுத்து.

6.35 ''மின்காந்தத்தின் அனைத்து நிகழ்வுகளும் நான்கு வெவ்வேறு சமன்பாடுகளின் உதவியுடன் விளக்கப்படலாம்.'' நான்கு சமன்பாடுகளின் உதவியுடன் மின்காந்த நிகழ்வுகளை எவ்வாறு வெற்றிகரமாக விளக்க முடியும் என்பதை விமர்சன ரீதியாக விவாதிக்கவும்.

கணக்குகள்

6.1 $E = Ee^{i(\mathrm{ky}-\omega \mathrm{t})}$ என்பது வெற்றிடத்தில் உள்ள ஒரு மின்காந்த புலத்தின் மின்சார வெக்டரை குறிக்கிறது என்றால் காந்த வெக்டரை கண்டுபிடிக்கவும்.

6.2 சூரியனின் கதிர்வீச்சு திறன் $2.8\times10^{26}\,\mathrm{W}$ மற்றும் சூரியனின் ஆரம் $7\times10^{8}\,\mathrm{m}$ என்றால் சூரியனின் மேற்பரப்பில் பாயிண்டிங் வெக்டரின் மதிப்பை கண்டறியவும். [விடை: $4.55\times10^{7}\,\mathrm{W/m^2}$]

6.3 பூமியின் மேற்பரப்பை அடையும் சூரிய ஒளியின் செறிவு சுமார் $1.5\mathrm{kW/m^2}$. சூரிய ஒளியின் மின்சார மற்றும் காந்தப்புலங்களின் வலிமையைக் கண்டறியவும். [விடை: $752\,\mathrm{V/m}, 1.99\,\mathrm{A/m}$]

6.4 $0.05\mathrm{m^2}$ மூலம் பிரிக்கப்பட்ட ஒரு இணை தட்டு மின்தேக்கி பரப்புள்ள வட்ட தகடுகளுடன் 0.2 A மின்னோட்டத்தால் மின்னூட்டப்படுத்தப்படுகிறது. இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்தைக் கண்டறியவும்.

மேலும் அறிக

இயற்பியலாளர் ஜேம்ஸ் கிளார்க் மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள் ஒன்றாக மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களின் உற்பத்தி மற்றும் தொடர்பு பற்றிய முழுமையான விளக்கத்தை அளிக்கின்றன.

செயல்பாடு

மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள் மின் மற்றும் மின்னணுவியல் பொறியாளர்களின் பரவலாக ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட மற்றும் இன்றியமையாத கருவிகளாகும். இன்று, இந்த சமன்பாடுகள் அலைபேசிகள் முதல் செயற்கைக்கோள்கள், தொலைக்காட்சிகள் கணினிகள் மற்றும் மின் நிலையங்கள் மற்றும் சலவை இயந்திரங்கள் வரை அனைத்து மின் மற்றும் மின்னணு உபகரணங்களையும் வடிவமைக்கப் பயன்படு கின்றன.

மின்காந்தவியல் கோட்பாடு பல விஞ்ஞானிகள் மற்றும் பொறியியலாளர்களின் கண்டுபிடிப்புகள் மற்றும் முன்னேற்றங்கள் மீது கட்டப்பட்டது என்பது உண்மைதான். ஆனால் 19 ஆம் நூற்றாண்டின் இரண்டாம் பாதியில் தொழில்நுட்பத்தில் பெரும் முன்னேற்றத்திற்கு உதவும் மிகப்பெரிய கருத்தியல் பாய்ச்சல்களைச் செய்தது மேக்ஸ்வெல்லின் முக்கிய பங்களிப்பு ஆகும்.

சுவாரஸ்யமான உண்மைகள்

இன்றைய சூழலில், மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள், மின் மற்றும் காந்தப்புலங்களின் பண்புகள் மற்றும் தொடர்புகளை விவரிக்க நான்கு சமன்பாடுகள் தொகுப்பைக் குறிக்கின்றன. இந்த சமன்பாடுகள் எவ்வாறு ஒரு திசைகாட்டி ஊசி எப்பொழுதும் வடக்கே சுட்டிக்காட்டுகிறது, ஒரு மின் நிலைய விசையாழி எவ்வாறு மின்சாரத்தை உருவாக்க முடியும், ஒரு நைலான் ஸ்வெட்டரை அகற்றும்போது முடி எப்படி நிற்கிறது மற்றும் ஒரு ஒலிபெருக்கியால் மின்சாரத்தை எப்படி ஒலியாக மாற்ற முடியும் என்பதை வெற்றிகரமாக விளக்க முடியும்.

நான்கு சமன்பாடுகளும் இணைந்தால் அவை ரேடியோ அலைகளின் பரிமாற்றம் மற்றும் ஒளியின் பரவலை விவரிக்கின்றன.

ஒப்புமை

இயற்பியலில் யாங்–மில்ஸ் கோட்பாடு, மேக்ஸ்வெல்லின் மின்காந்தவியல் கோட்பாட்டின் பொது வடிவம் ஆகும். இது வடிவியல் அமைப்பு அல்லது குவாண்டம் புல கோட்பாட்டில் உள்ள துணை அணுத் துகள்களில் உள்ள பலவீனமான மற்றும் வலுவான சக்தியை ''நிறை இடைவெளி'' என்று அழைக்கப்படுகிறது. இந்த கோட்பாடு 1954 ஆம் ஆண்டில் சென் நீங் யாங் மற்றும் ராபர்ட் எல். மில்ஸ் ஆகியோரால் அறிமுகப்படுத்தப்பட்டது. அவர்கள் முதன்முதலில் ஒரு காஜ் கோட்பாட்டை உருவாக்கினர். துணை குழுக்களை விவரிப்பதற்காக லீ குழுக்களைப் பயன்படுத்தினர்.

யாங்–மில்ஸ் கோட்பாடு குவாண்டம் பயன்பாடுகளில் உள்ள நிறை இடைவெளி அல்லது சுழியற்ற நிறை பற்றி விளக்குகிறது. பொருள் இடைவெளிகளுக்கான சான்றுகள் பொருள் பரிசோதனைகள் மற்றும் கணினி அடிப்படையிலான கணித மாதிரிகள் மூலம் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது மற்றும் வலுவான அணுக்களுக்குள் மிகச் சிறிய தூரத்தில் மட்டுமே செயல்படுகிறது என்று கருதப்படுகிறது.

வரலாறு

ஆண்ட்ரி–மேரி ஆம்பியர் (1775–1836), பிரெஞ்சு இயற்பியலாளர்: 1820 ஆம் ஆண்டில், ஒரு காந்த ஊசி ஒரு மின்னோட்டத்தால் செயல்படுகிறது என்று HC ஓர்ஸ்ட்டின் 1806 கண்டுபிடிப்பைக் கேட்ட ஆம்பியர் ஒரு வாரத்திற்குப் பிறகு, அது தொடர்புடைய நிகழ்வை பற்றி அவர் முழுமையான விளக்கத்தை அகாடமிக்கு வழங்கினார்.

கார்ல் ஃப்ரீட்ரிக் காஸ் (1777–1855), ஜெர்மன் கணிதவியலாளர்: கிரீன் கோட்பாட்டை சுதந்திரமாக வரையறுத்தார், கூலம்பின் சட்டத்தை பொதுமைப்படுத்தினார் மற்றும் தனித்தனி நிலை மின்னியலில் மற்றும் மின்னியக்கவியலில் விதிகளை வகுத்தார், இதில் நான்கு ''மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள்'' உள்ளன.

மைக்கேல் ஃபாரடே (1791–1867), பிரிட்டிஷ் பரிசோதகர்: ஒரு காந்தத்தை கம்பி வளையத்திற்கு அருகில் நகர்த்துவது ஒரு மின்சாரம் பாய்வதற்கு காரணம் என்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இது ஃபாரடேயின் தூண்டல் விதிக்கு வழிவகுத்தது.

ஜேம்ஸ் கிளார்க் மேக்ஸ்வெல் (1831–1879), ஸ்காட்டிஷ் இயற்பியலாளர்: ஃபாரடேயின் இயற்பியல் கருத்துக்களை கணித மாதிரியாக மாற்றினார், இது ஃபாரடேயின் தூண்டல் விதி மின்காந்த அலைகளை உருவாக்கும் தொடர்புடைய ''இடப்பெயர்ச்சி மின்னோட்டத்தை'' குறிக்கிறது. மாக்ஸ்வெல்லின் நான்கு சமன்பாடுகள் மின்காந்த அலைகளை ஆய்வகத்தில் உருவாக்க முடியும் என்பதை தெளிவாக சுட்டிக் காட்டியது, மேக்ஸ்வெல்லின் மரணத்திற்கு எட்டு ஆண்டுகளுக்குப் பிறகு 1887 இல் ஹென்றிச் ஹெர்ட்ஸால் முதன்முதலில் நிரூபிக்கப்பட்டது.

காலவரிசை

1785: கூலொம்பின் விதி வெளியிடப்பட்டது

1812: பாய்சனின் விதி வெளியிடப்பட்டது

1813: காஸின் மாற்று தேற்றம் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது

1820: HC ஓர்ஸ்டெட் ஒரு மாறுபடும் மின்னோட்டம் காந்தப்புலத்தை உருவாக்குகிறது என்று கண்டுபிடித்தார்

1820: ஆண்ட்ரே–மேரி ஆம்பியரின் மின்னியக்கவியல் மற்றும்; பயோட்–சவர்ட் விதி கண்டுபிடிக்கப்பட்டது

1826: ஆம்பியரின் விதி வெளியிடப்பட்டது

1831: ஃபாரடேயின் விதி வெளியிடப்பட்டது

1856: ஜேம்ஸ் கிளார்க் மேக்ஸ்வெல் ''ஆன் ஃபாரடேஸ் ஃபோர்ஸ் ஆஃப் லைன்ஸ்'' தொகுப்பை வெளியிட்டார்.

1861: ஃபிகல் மேக்ஸ்வெல்லைன்ஸ் ஆஃப் ஃபோர்ஸ்'' தொகுப்பை வெளியிட்டார்

1865: மேக்ஸ்வெல்லின் ''மின்காந்த புலத்தின் இயக்கவியல் கோட்பாடு'' வெளியிடப்பட்டது

1873: மேக்ஸ்வெல், மின்சாரம் மற்றும் காந்தவியல் பற்றிய ஆய்வை வெளியிட்டார்

1888: ஹென்றிச் ஹெர்ட்ஸ் வானொலி அலைகளைக் கண்டுபிடித்தார்

1940: ஆல்பர்ட் ஐன்ஸ்டீன் 'மேக்ஸ்வெல் சமன்பாடுகள்' என்ற பெயரை பிரபலப்படுத்தினார்

1966: கென் யீ, மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளைத் தீர்க்க வரையறுக்கப்பட்ட–நேர முறைகளை அறிமுகப்படுத்தினார்.

முக்கியத்துவம் வாய்ந்த மேற்கோள்கள்

- James Clerk Maxwell. 1856. "On Faraday's lines of force". Transactions of the Cambridge Philosophical Society, vol. 10 (1856), pp. 27-83
- James Clerk Maxwell. 1862. "On physical lines of force". Philosophical Magazine Series 4, vol. 21 (1861), pp. 161-175, 281-291, 338-348; Philosophical Magazine Series 4, vol. 23 (1862), pp. 12-24, 85-95
- James Clerk Maxwell. 1865. "A dynamical theory of the electromagnetic field". Philosophical Transactions of the Royal Society, vol. 155 (1865), p. 459-512
- James Clerk Maxwell. 1873. A Treatise on Electromagnetism. Oxford: Clarendon Press, 1873
- Oliver Heaviside. 1894. Electrical Papers. New York and London: Macmillan & Co, 1894

பயன்பாடுகள் (நிஜ வாழ்க்கை / தொழில்துறை)

மின்சாரம் மற்றும் காந்தவியல் அறிவியல் மற்றும் மின்காந்தம் போன்றவற்றின் இணைவு தொடர் முன்னேற்றங்கள் மூலம் பரிணமித்தது. 1820 இல் கோபன்ஹேகனில் ஒரு மின்சாரம் ஒரு திசைகாட்டியின் காந்த ஊசியை திசை திருப்ப முடியும் என்று நிரூபிக்கப்பட்டது.

ஒரு வாரத்திற்குள் ஆண்ட்ரே ஆம்பியர் பாரிசில் உள்ள பிரெஞ்சு அகாடமி ஆஃப் சயின்ஸில் இரண்டு கம்பிகளில் இணையான மின்னோட்டங்கள் ஒன்றையொன்று ஈர்க்கின்றன, அதே சமயம் எதிர் மின்னோட்டங்கள் ஒன்றையொன்று விரட்டும். விரைவில், ஜீன்–பாப்டிஸ்ட் பயோட் மற்றும் பிலிப் சவார்ட் ஆகியோர் கம்பியின் தொலைவில் விசைகளின் வலிமை எவ்வாறு குறைகிறது என்பதை நிரூபித்தனர். அடுத்த ஆறு ஆண்டுகளில் ஆம்பியரின் முயற்சிகள் மின்னியக்கவியல் துறையை நிறுவியது மற்றும் அவரது பணி சோதனைகள் மற்றும் கோட்பாட்டை நேர்த்தியாக இணைத்தது.

மேக்ஸ்வெல் இதை ''அறிவியலின் மிக அழகான சாதனைகளில் ஒன்று'' என்று விவரித்தார்.

வழக்கு ஆய்வு (சுற்றுச்சூழல் / நிலைத்தன்மை / சமூக / நெறிமுறை சிக்கல்கள்)

மேக்ஸ்வெல் ஃபாரடேயின் தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டங்களின் கருத்துக்களுக்கு கணிதத்தை வகுத்தார், ஆனால் திரவ வடிவத்திற்குள் இதை விளக்க முடியவில்லை. வண்ணப் பார்வை மற்றும் சனி கிரகத்தின் வளையங்களின் இயக்கவியல் போன்ற வேறு சில தலைப்புகளில் கவனம் செலுத்திய பிறகு, மேக்ஸ்வெல் முற்றிலும் புதிய கோட்பாட்டுடன் மின்காந்தத்தின் உதாரணத்திற்குத் திரும்பினார்.

மேக்ஸ்வெல் அனைத்து இயந்திர மின்காந்த நிகழ்வுகளையும் கணக்கிடக்கூடிய ஒரு இயந்திர மாதிரியை உருவாக்கினார். இது ஆம்பியர், ஃபாரடே மற்றும் காஸ் விதிகளை விவரிக்க அவருக்கு உதவியது, ஆனால் அது மின்தேக்கிகள் மூலம் மின்னோட்டத்தை சரியாக விவரிக்கவில்லை.

தேவையான திருத்தங்களுக்குப் பிறகு அவர் கோட்பாட்டின் அத்தியாவசிய இயற்பியலை முடித்தார் மற்றும் 1862 இல் ''ஆன் ஃபிசிகல் லைன்ஸ் ஆஃப் ஃபோர்ஸ்'' இன் இறுதி இரண்டு பகுதிகளையும் வெளியிட்டார். இருப்பினும், அவரது அசல் சமன்பாடுகள் இன்று பயன்படுத்தப்படும் கணித வடிவத்தி லிருந்து வேறுபட்டவை.

விசாரணை மற்றும் ஆர்வத்தின் தலைப்புகள்

20 ஆம் நூற்றாண்டில், மாக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள் மின்காந்தத்திற்கு அப்பால் தாக்கத்தை ஏற்படுத்தியது சார்பியல் கோட்பாடு மற்றும் குவாண்டம் இயக்கவியலின் கள சமன்பாடுகளின் கண்டுபிடிப்பில். கணினி சக்தியின் வியத்தகு அதிகரிப்பு மற்றும் 1960 களின் நடுப்பகுதியில் இருந்து வரை யறுக்கப்பட்ட வேறுபாடு நுட்பங்களின் வளர்ச்சி ஆகியவை அவற்றின் பரவலான அன்றாட பயன்பாட்டிற்கு உதவியது.

மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள்

1. B. J. Hunt, The Maxwellians, Chapter 5 and Appendix, Cornell University Press, 1991.
2. D. J Griffiths, Introduction to Electrodynamics, 3rd Ediotion, Prentice Hall, 1999.
3. A. Zangwill, Modern Electrodynamics, Cambridge University Press, 2013.
4. P. Monk, Finite Element Methods for Maxwell's Equations, Oxford UK: Oxford University Press, 2003.
5. H. F. Harmuth and M. G. M. Hussain, Propagation of Electromagnetic Signals, Singapore: World Scientific, 1994.
6. D. M. Cook, The Theory of the Electromagnetic Field. Mineola NY: Courier Dover Publications, 2002.
7. S. F. Mahmoud, Electromagnetic Waveguides: Theory and Applications, London UK: Institution of Electrical Engineers, Chapter 2, 1991.
8. J. A. Stratton, Electromagnetic Theory, McGraw-Hill Book Company, 1941.

9. K. Imaeda, Biquaternionic Formulation of Maxwell's Equations and their Solutions, in Ablamowicz, Rafał; Lounesto, Pertti (eds.), Clifford Algebras and Spinor Structures, Springer, 1995.
10. https://nptel.ac.in/courses/115/101/115101005/
11. https://onlinecourses.nptel.ac.in/noc19_ph08/preview
12. https://depts.washington.edu/mictech/optics/me557/week2.pdf

7 மின்காந்த அலைகள்

அலகு குறிப்பீடு

பின்வரும் அம்சங்களை இவ்வலகில் விவாதிப்போம்:

- மேக்ஸ்வெல்லின் அலை சமன்பாடுகள்;
- வெற்றிடத்தில் மெக்ஸ்வெல்லின் அலை சமன்பாடுகளுக்கான தீர்வு;
- மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தின் மின்காந்த அலைகள்;
- மேற்பரப்பு ஆழம் மற்றும் அதன் இயல் முக்கியத்துவம்;
- கடத்தா ஊடகம் மற்றும் வெற்றிடத்தின் இடைப்பரப்பில் மின்காந்த அலைகளின் செங்குத்து படுகதிருக்கான எதிரொளிப்புகள்;
- கடத்தா ஊடகம் மற்றும் வெற்றிடத்தின் இடைப்பரப்பில் மின்காந்த அலைகளின் செங்குத்து படுகதிருக்கான பரவுதல்.

தலைப்புகளின் நடைமுறை பயன்பாடுகள் மேலும் ஆர்வத்தையும் படைப்பாற்றலையும் உருவாக்கு வதற்கும் கணக்குகளை தீர்க்கும் திறனை மேம்படுத்துவதற்கும் விவாதிக்கப்படுகின்றன.

ப்ளூமின் வகைபிரிப்பின் குறைந்த மற்றும் உயர் வரிசையைத் தொடர்ந்து இரண்டு பிரிவுகளில் குறிக்கப்பட்ட பல தேர்வு கேள்விகள் மற்றும் குறுகிய, நீண்ட பதில் வகைகளின் கேள்விகள், பல எண் கணக்குகளின் மூலம் பணிகள், குறிப்புகளின் பட்டியல் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள் ஆகியவை இவ்வலகில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. அதனால் ஆர்வத்துடன் ஒருவர் பயிற்சி செய்ய முடியும். ஆர்வமுள்ள பல்வேறு தலைப்புகளில் கூடுதல் தகவல்களைப் பெறுவதற்கு சில QR குறியீடுகள் வெவ்வேறு பிரிவுகளில் வழங்கப்பட்டுள்ளன, அவை தொடர்புடைய அறிவுக்கு ஸ்கேன் செய்யலாம்.

தொடர்புடைய நடைமுறைக்குப் பிறகு, உள்ளடக்கத்தின் அடிப்படையில், ''மேலும் அறிக'' என்ற பிரிவு உள்ளது. இந்த பகுதி நியாயமான முறையில் வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளது. இதனால் இந்த பகுதியில் வழங்கப்பட்ட துணை தகவல்கள் புத்தகத்தின் பயனர்களுக்கு பயனளிக்கும். இந்த பிரிவு முக்கியமாக ஆரம்ப செயல்பாடு, சில சுவாரஸ்யமான உண்மைகளின் எடுத்துக்காட்டுகள், ஒப்புமை, முக்கிய அவதானிப்புகள் மற்றும் கண்டுபிடிப்புகளை மையமாகக் கொண்ட பொருளின் வளர்ச்சியின் வரலாறு, சம்பந்தப்பட்ட தலைப்புகளின் வளர்ச்சியிலிருந்து தொடங்கி சமீபத்திய காலம் வரையிலான காலக்கெடு, பொருள் சார்ந்த பயன்பாடுகள், அன்றாட நிஜ வாழ்க்கை அல்லது / மற்றும் தொழில்துறை பயன்பாடுகளுக்கான பல்வேறு அம்சங்கள், சுற்றுச்சூழல், நிலைத்தன்மை, சமூக மற்றும் நெறிமுறை சிக்கல்கள் தொடர்பான வழக்கு ஆய்வு எதுவாக இருந்தாலும் பொருந்தும், இறுதியாக அலகு பற்றிய விசாரணை மற்றும் ஆர்வமுள்ள தலைப்புகள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

பகுத்தறிவு

மின்காந்த அலைகள் என்ற இத்தலைப்பு வெற்றிடத்தில் அலை சமன்பாடுகளுக்கான தீர்வுகளை பற்றி மாணாக்கர்கட்கு ஒரு தெளிவான சிந்தனையை கொடுக்கிறது. மின்காந்த அலைகள் மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தையும் மேற்பரப்பு ஆழத்தையும் மற்றும் அதன் முக்கியத்துவத்தையும் தெளிவாக்கு கிறது. கடத்தா மற்றும் வெற்றிட இடைநிலைகளிலிருந்து மின்காந்த அலைகளின் எதிரொலிப்பு மற்றும் ஊடுருவலின் பண்புகளை தெளிவாக அறிந்து பயன்படுத்த இக்கொள்கைகள் பெருமளவு பயன்படு கின்றன.

ஆற்றல் மற்றும் மின்சாரத்தைப் போல் காந்தவியலும் நிலைமப் பண்பைக் கொண்டுள்ளன. மாறும் காந்தப் பாயம் மின்னோட்டத்தையும், மாறும் மின்னோட்டம் காந்தப் பாயத்தையும் உருவாக்குகிறது. இவ்வகையில் இரு புலமும் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையது. இந்த மாறுபாடு மின்காந்த அலைகள் எனப்படுகின்றன. மின்காந்த அலைகள் இயக்கவியல் அலைகளிலிருந்து மாறுபடுவதால் அவை பரவ ஊடகம் தேவையில்லை. ஆக மின்காந்த அலைகள் திட திரவ வாயு மற்றும் வெற்றிடங்களிலும் பரவும் என்பதைக் குறிக்கிறது. மேக்ஸ்வெல் வடிவமைத்த கோட்பாடுகள் மின்காந்த அலைகளை நன்கு விளக்குகிறது. மேலும் அவர் மின் மற்றும் காந்தப் புலங்கள் ஒன்றுடன் ஒன்று எவ்வாறு ஒன்றிணைகின்றன என்பதை விளக்கினார்.

முன்–தேவைகள்

- **கணிதம்:** திசையன் நுண்கணிதம் (வகுப்பு XII)
- **இயற்பியல்:** நிலை மின்னியல், மின்காந்தவியல் (வகுப்பு XII)

அலகு வெளிப்பாடுகள்

இந்த அலகு வெளிப்பாடுகளின் பட்டியல் பின்வருமாறு:

U7-O1: மேக்ஸ்வெல்லின் அலை சமன்பாடுகளைக் காண்க

U7-O2: வெற்றிடத்தில் மேக்ஸ்வெல்லின் அலை சமன்பாடுகளுக்கான தீர்வுகளை விளக்குக

U7-O3: மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தின் மின்காந்த அலைகளை விளக்குக

U7-O4: மேற்பரப்பு ஆழம் மற்றும் அதன் இயல் முக்கியத்துவத்தை விளக்குக

U7-O5: கடத்தா ஊடகம் மற்றும் வெற்றிடத்தின் இடைப்பரப்பில் மின்காந்த அலைகளின் செங்குத்து படுகதிருக்கான பரவுதலை விளக்குக

U4-O4: வெய்ஸ் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாடு மற்றும் கியூரி–வெய்ஸ் விதியை விளக்குக.

U4-O5: எதிர் பெர்ரோ காந்தவியல், பெர்ரோ காந்தவியல் மற்றும் பெர்ரைட்ஸ் பற்றி விளக்குக

அலகு –7 விளைவு	எதிர்பார்க்கப்படும் பாடநெறி நடவடிக்கைகள் (1- பலவீனமான தொடர்பு; 2- நடுத்தர தொடர்பு; 3- வலுவான தொடர்பு)					
	CO-1	CO-2	CO-3	CO-4	CO-5	CO-6
U7-O1	1	–	1	3	–	3
U7-O2	–	–	1	3	–	3
U7-O3	–	–	1	2	–	3
U7-O4	2	–	–	1	–	3
U7-O5	2	1	–	–	–	3

7.1 அறிமுகம்

மின்காந்தம் மற்றும் காந்தப்புலத்தின் உள்ளார்ந்த இடையூறு மின்காந்த (EM) அலையை உருவாக்கலாம். இவ்வாறு உருவாக்கப்பட்ட அலை அதன் தோற்றத்திலிருந்து வெளிப்புற திசையில் பரவும். அலைகள் ஒரே மாதிரியான ஊடகம் மூலம் பரவுகிறது என்றால் அது அதன் தொடக்க புள்ளியில் இருந்து ஒவ்வொரு திசையிலும் ஒரே மாதிரியாக பரவுகிறது.

தோற்றத்தின் புள்ளியில் இருந்து வெகு தொலைவில், இவ்வலை பரப்பு திசையை நோக்கி செங்குத்தாக ஒரு தளம் முழுவதும் ஒரே வீச்சைக் கொண்டிருப்பதாகத் தெரிகிறது. அத்தகைய அலை ஒரு தள அலை என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. இந்த வகை அலைகள் வெற்றிடத்தின் சமநிலையிலோ அல்லது ஒருங்கமை ஊடகத்திலோ அலை சமன்பாட்டை திருப்திப்படுத்துகிறது. ஒரு தள அலையின் இந்த கருத்தின் மூலம் முழு அலை ஒவ்வொரு திசையிலும் பரவுவதை விட, ஒரு குறிப்பிட்ட திசையில் பயணிக்கிறது என்று நாம் கருதலாம்.

7.2 வெற்றிடத்தின் அலை சமன்பாடு

EM அலை சமன்பாடு வெற்றிடத்தின் மூலமாகவோ அல்லது எந்த ஊடகத்தின் மூலமோ EM அலைகளை பரப்புவதை விளக்குகிறது. இது அலை சமன்பாட்டின் முப்பரிமாண வடிவத்தைக் குறிக்கிறது.

வெற்றிடத்தில் மின்னூட்ட அடர்த்தி $\rho = 0$ உள்ளது, மின்னோட்ட அடர்த்தி $\vec{J}_c = 0$ மற்றும் கடத்துத்திறன் $\sigma = 0.$

எனவே, வெற்றிடத்தில் மேக்ஸ்வெல்லின் அலை சமன்பாடுகள் வழங்கப்படுகின்றன.

(i) $\vec{\nabla}.\vec{D} = 0$ அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{E} = 0$ …(7.1) (a)

(ii) $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$ …(7.1) (b)

(iii) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\dfrac{\partial \vec{B}}{\partial t}$ …(7.1) (c)

(iv) $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \dfrac{\partial \vec{D}}{\partial t}$ அல்லது, $\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \dfrac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ $\left[\because \vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E}, \vec{B} = \mu_0 \vec{H}\right]$ …(7.1) (d)

சமன். (7.1) (d) ன் இருபுறமும் சுருள் எடுத்துக்கொள்வது,

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla} \times \vec{E}\right) = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t}\left(-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\right) = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

அல்லது, $\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}.\vec{B}\right) - \nabla^2 \vec{B} = -\mu_0 \varepsilon_0 \dfrac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$

அல்லது, $-\nabla^2 \vec{B} = -\mu_0 \varepsilon_0 \dfrac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \qquad \left[\because \vec{\nabla}.\vec{B} = 0\right]$

அல்லது, $\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \dfrac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$ …(7.2)

இது வெற்றிடத்தில் காந்தப்புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டை அளிக்கிறது.

மீண்டும் சமன். (7.1) (c) இன் இருபுறமும் சுருள் எடுத்துக்கொண்டால்,

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla} \times \vec{B}\right) = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right) = -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

அல்லது, $\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}.\vec{E}\right)-\nabla^2\vec{E}=-\mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$

அல்லது, $-\nabla^2\vec{E}=-\mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}\qquad\left[\because\vec{\nabla}.\vec{E}=0\right]$

அல்லது, $\nabla^2\vec{E}=\mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$ …(7.3)

இது வெற்றிடத்தில் மின்சார புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டை அளிக்கிறது.

இப்போது, சமன். (7.2) மற்றும் சமன். (7.3) களை பொது அலை சமன்பாட்டுடன் ஒப்பிட்டு, $\nabla^2\psi=\dfrac{1}{v^2}\dfrac{\partial^2\psi}{\partial t^2}$,

$$v^2=\frac{1}{\mu_0\varepsilon_0} \qquad \ldots(7.4)$$

அல்லது, $v=\dfrac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}=\dfrac{1}{\sqrt{4\pi\times10^{-7}\times8.854\times10^{-12}}}=3\times10^8\,\text{m/s}$

எனவே, மின்காந்த அலை ஒளியின் வேகத்துடன் வெற்றிடத்தில் பரவுகிறது என்று நாம் முடிவு செய்யலாம். அதாவது, ஒளி ஒரு மின்காந்த அலை ஆகும்.

எடுத்துக்காட்டு 7.1

எடுத்துக்காட்டு 7.1: வெற்றிடத்தில் மின்புலம் E இன் அலை சமன்பாடு $\nabla^2\vec{E}=\mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$ என்பதைக் காட்டுக.

தீர்வு:

இங்கு, $\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\dfrac{\partial\vec{B}}{\partial t}$

எனவே, $\vec{\nabla}\times\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\dfrac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla}\times\vec{B}\right)=-\mu_0\dfrac{\partial}{\partial t}\left(\vec{\nabla}\times\vec{H}\right)$

$=-\mu_0\dfrac{\partial}{\partial t}\left(\dfrac{\partial\vec{D}}{\partial t}\right)=-\mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$

அல்லது, $\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}.\vec{E}\right)-\nabla^2\vec{E}=-\mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$

அல்லது, $\nabla^2\vec{E}=\mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}\qquad\left[\because\vec{\nabla}.\vec{E}=0\right]$

இதுவே தேவையான சமன்பாடு.

7.3 EM அலையின் குறுக்கலைப் பண்பு

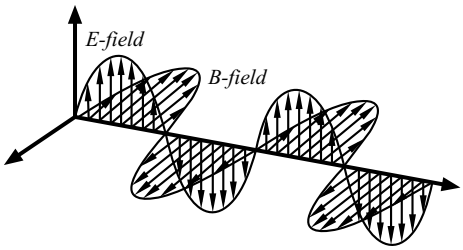
EM அலைகள் இயற்கையில் குறுக்கலைப் பண்பு கொண்டவை. அதாவது, மின் மற்றும் காந்தப்புலங்கள் அலை பரவும் திசைக்கு செங்குத்தாக ஒரு தளத்தில் ஊசலாடுகிறது. மேலும் EM அலையில் மின்சார மற்றும் காந்தப்புலங்கள் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக இருக்கும்.

EM அலை சமன்பாடுகள் வழங்கப்படுகின்றன,

$$\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

மற்றும் $$\nabla^2 \vec{B} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

அல்லது, $$\nabla^2 \vec{H} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$$



படம் 7.1: EM அலைகளின் குறுக்குலை பண்பு

இப்போது, மேற்கண்ட சமன்பாடுகளின் தீர்வுகள் பின்வருமாறு வழங்கப்படுகிறது

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} = \hat{e}E_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} \quad \ldots(7.5)$$

மற்றும் $$\vec{H}(\vec{r},t) = \vec{H}_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} = \hat{b}H_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} \quad \ldots(7.6)$$

மீண்டும், $\vec{\nabla}.\vec{E} = 0$ மற்றும் $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$ [வெற்றிடத்திற்கு]

இவ்வாறு, சமன். (7.5) இன் இருபுறமும் வகைப்படுத்துவதால்,

$$\vec{\nabla}.\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{\nabla}.\left[\hat{e}E_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\right] = \vec{\nabla}.\left(E_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\right)\hat{e} + E_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\vec{\nabla}.\hat{e}$$

அல்லது, $$\vec{\nabla}.\left(E_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\right)\hat{e} = 0 \qquad \left[\because \vec{\nabla}.\hat{e} = 0\right]$$

அல்லது, $$i\vec{k}E_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\hat{e} = 0$$

அல்லது, $$\vec{k}.\hat{e} = 0 \quad \ldots(7.7)$$

மீண்டும், சமன். (7.6) இன் இருபுறமும் வகைப்படுத்தினால்,

$$\vec{\nabla}.\vec{H}(\vec{r},t) = \vec{\nabla}.\left[\hat{b}H_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\right] = \vec{\nabla}.\left(H_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\right)\hat{b} + H_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\vec{\nabla}.\hat{b}$$

அல்லது, $$\vec{\nabla}.\left(H_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\right)\hat{b} = 0 \qquad \left[\because \vec{\nabla}.\hat{b} = 0\right]$$

அல்லது, $$i\vec{k}H_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}\hat{b} = 0$$

அல்லது, $\vec{k}.\hat{b} = 0$ …(7.8)

இவ்வாறு, சமன். (7.7) மற்றும் சமன். (7.8) லிருந்து மின்காந்த அலைகளின் E–புலம் மற்றும் B – புலம் ஆகியவை பரவல் வெக்டருக்கு செங்குத்தாக இருக்கும் என்று நாம் முடிவு செய்யலாம். இது மின்காந்த அலைகளின் குறுக்கு தன்மையை நிரூபிக்கிறது. மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாட்டிலிருந்து,

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

to view the Propagation of Electromagnetic Wave

அல்லது, $\vec{\nabla} \times \vec{E}_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} = -\frac{\partial \vec{B}_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}}{\partial t}$

அல்லது, $i\vec{k} \times \vec{E} = i\omega \vec{B}$

அல்லது, $\vec{k} \times \vec{E} = \omega \vec{B}$ …(7.9)

அல்லது, B–புலம் E–புலத்திற்கு செங்குத்தாக உள்ளது மற்றும் பரப்புதல் வெக்டர் $\vec{k}$.

அளவின் அடிப்படையில் E, B மற்றும் k க்கு இடையிலான உறவு மட்டுமே இருக்கும், $kE = \omega B$

அல்லது, $\frac{E}{B} = \frac{\omega}{k} = v$ …(7.10)

இது மின்காந்த அலைகளின் மின்சார மற்றும் காந்த வெக்டர்களுக்கு இடையிலான உறவை அளிக்கிறது. வெற்றிடத்தில், மின்காந்த அலைகளின் வேகம் ஒளியின் வேகமாக இருக்கும், அதாவது,

$$\frac{E_0}{B_0} = c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$$ …(7.11)

அல்லது, $\frac{E_0}{H_0} = \frac{\mu_0}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$ …(7.12) (a)

அல்லது, $Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = \sqrt{4\pi \times 10^{-7} \times 36\pi \times 10^9} = 120\pi = 377\Omega$ …(7.12) (b)

இங்கு Z_0 என்பது உள்ளார்ந்த மின்மறுப்பாகும்.

எடுத்துக்காட்டு 7.2

எடுத்துக்காட்டு 7.2: 1nT அளவின் காந்தப்புல வெக்டருடன் தொடர்புடைய மின்காந்த அலைக்கு, மின்சார புல வெக்டர் அளவை கணக்கிடவும்.

தீர்வு:

இங்கே, $B = 1nT = 10^{-9} T$

இப்போது, $\frac{E}{B} = c$

அல்லது, $E = cB = 3 \times 10^8 \times 10^{-9} = 0.3 V/m.$

எடுத்துக்காட்டு 7.3

எடுத்துக்காட்டு 7.3: சார்பு விடுதிறன் 2 உம் மற்றும் சார்பு உட்புகு திறன் 1 உம் கொண்ட மின்காப்பானின் நேர் Z–அச்சின் திசையில் பயணம் செய்கிறது. அலையின் வேகத்தையும் ஊடகத்தின் உள்ளார்ந்த மின்மறுப்பையும் காண்க.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டவை, சார்பு விடுதிறன் = 2 மற்றும் சார்பு உட்புகுத்திறன் = 1.

எனவே மின்காந்த அலையின் வேகம் $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \varepsilon_r}} = \frac{3\times10^8}{\sqrt{2}} = 2.1\times10^8 \text{ m/s}.$

மற்றும், ஊடகத்தின் உள்ளார்ந்த மின்மறுப்பு $z = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}\sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} = \frac{377}{\sqrt{2}} = 266.62\,\Omega.$

எடுத்துக்காட்டு 7.4

எடுத்துக்காட்டு 7.4: பூமியின் மேற்பரப்பை அடையும் சூரிய ஒளியின் செறிவு சுமார் 1300 W/m^2 எனில், மின் புலத்தின் வலிமையையும், வரும் சூரிய ஒளியின் காந்தப்புலத்தையும் கண்டறியவும்.

தீர்வு:

கொடுக்கப்பட்டவை I = P = EH = 1300 W/m^2

மீண்டும், E/H = 377 ohm

எனவே, $\frac{E}{H}.EH = 377\times1300 = 490100\text{V}^2/\text{m}^2$

அல்லது, $E = \sqrt{490100}\text{V/m} = 700.07\text{V/m}.$

எனவே, $H = \frac{1300}{E} = \frac{1300}{700.07}\text{A/m} = 1.857\text{A/m}.$

இவை வரும் சூரிய ஒளியின் மின்சார மற்றும் காந்தப்புலங்களின் வலிமையை அளிக்கின்றன.

7.4 கடத்தா (மின்காப்பான்) ஊடகத்தில் EM அலை

ஒரு மின்காந்த புலத்திற்கான எந்த நிலையற்ற கடத்தும் ஊடகத்திலும் மின்காப்பு மாறிலி மற்றும் ஊடுருவல் ஆகிய இரண்டும் புள்ளி–செயல்பாடுகளுடன் தொடர்புடையவை. மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்திற்கு மின்னூட்ட அடர்த்தி $\rho = 0$ மற்றும் கடத்துதிறன் $\sigma = 0$, மற்றும் மின்னூட்டமல்லாத மின்காப்பு ஊடகத்தின் விடுதிறன் ε மற்றும் உட்புகுத்திறன் μ ஆகியவற்றின் மேக்ஸ்வெல் அலை சமன்பாடுகளாக,

(i) $\vec{\nabla}.\vec{D} = 0$ அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{E} = 0$ …(7.13) (a)

(ii) $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$ அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{H} = 0$ …(7.13) (b)

(iii) $\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$ …(7.13) (c)

(iv) $\vec{\nabla} \times \vec{H} = \varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$ …(7.13) (d)

சமன். (7.13) (d) ன் இருபுறமும் சுருளை எடுக்க,

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{H} = \varepsilon \frac{\partial \vec{\nabla} \times \vec{E}}{\partial t} = -\mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$$

அல்லது, $\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}.\vec{H}\right) - \nabla^2 \vec{H} = -\mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$

அல்லது, $-\nabla^2 \vec{H} = -\mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} \qquad \left[\because \vec{\nabla}.\vec{H} = 0\right]$

அல்லது, $\nabla^2 \vec{H} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$ …(7.14)

இது மின்னூட்டமற்ற கடத்தாத ஊடகத்தில் காந்தப்புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டை அளிக்கிறது.

மீண்டும், சமன். (7.13) (c) ன் இருபுறமும் சுருள் எடுக்க,

$$\vec{\nabla} \times \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\mu \frac{\partial \vec{\nabla} \times \vec{H}}{\partial t} = -\mu \frac{\partial}{\partial t}\left(\varepsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\right) = -\mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

அல்லது, $\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}.\vec{E}\right) - \nabla^2 \vec{E} = -\mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$

அல்லது, $-\nabla^2 \vec{E} = -\mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \qquad \left[\because \vec{\nabla}.\vec{E} = 0\right]$

அல்லது, $\nabla^2 \vec{E} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$ …(7.15)

இது மின்னூட்டமற்ற கடத்தாத ஊடகத்தில் மின் புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டை அளிக்கிறது.

இப்போது, சமன். (7.14) மற்றும் சமன். (7.15) களை பொது அலை சமன்பாட்டோடு ஒப்பிட்டு, $\nabla^2 \psi = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$

இங்கு, $v^2 = \frac{1}{\mu\varepsilon}$

அல்லது, $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} < c \qquad \left[\because \varepsilon > \varepsilon_0, \mu > \mu_0\right]$ …(7.16)

இவ்வாறு, EM அலை, வெற்றிட வெளியில் ஒளியின் வேகத்தை விட குறைவான வேகத்தில் ஒரு மின்னூட்டமற்ற கடத்தா அல்லது ஒரு முழுமையான மின்காப்பு ஊடகத்தில் பரவுகிறது என்று நாம் முடிவு செய்யலாம். சமன். (7.14) மற்றும் சமன். (7.15) லிருந்து மின்னூட்டமற்ற கடத்தாத ஊடகம் மூலம் பரப்பும் போது EM அலைகள் சிதைவடையாது என்பதை நாம் காண்கிறோம். இவ்வகைப் பண்பின் காரணமாக இந்த வகையான ஊடகம் இழப்பில்லா ஊடகம் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

எடுத்துக்காட்டு 7.5: ஒரு ஊடகத்தின் விடுதிறன் மற்றும் உட்புகுத்திறன் ஆகியவை முறையே 5 மற்றும் 2 ஆக இருந்தால், அதன் மூலம் பரவும் மின்காந்த அலையின் திசைவேகத்தைக் கண்டறியவும்.

தீர்வு:

இங்கே, $\varepsilon_r = 5, \mu_r = 2$

அலை பரவுதலின் வேகம்,

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}}\frac{1}{\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r\varepsilon_r}} = \frac{3\times10^8}{\sqrt{5\times2}} = 9.5\times10^7 \text{ m/s.}$$

எடுத்துக்காட்டு 7.5

7.5 கடத்து ஊடகத்தில் EM அலை

பொதுவாக, ஒரு கடத்தியின் உள்ளே உள்ள மின் புலம் பூஜ்யம் எனில் EM அலைகள் கடத்திகளால் பிரதிபலிக்கப்படுகின்றன.

மின்னூட்டமற்ற கடத்தி ஊடகத்திற்கு மேக்ஸ்வெல்லின் அலை சமன்பாடுகள்,

(i) $\vec{\nabla}.\vec{D} = 0$ அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{E} = 0$ …(7.17) (a)

(ii) $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$ அல்லது, $\vec{\nabla}.\vec{H} = 0$ …(7.17) (b)

(iii) $\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t} = -\mu\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}$ …(7.17) (c)

(iv) $\vec{\nabla}\times\vec{H} = \vec{J}c + \frac{\partial\vec{D}}{\partial t} = \sigma\vec{E} + \varepsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$ …(7.17) (d)

சமன். (7.17) (d) ன் இருபுறமும் சுருள் எடுக்க,

$$\vec{\nabla}\times\vec{\nabla}\times\vec{H} = \vec{\nabla}\times\left(\sigma\vec{E} + \varepsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\right) = \sigma\vec{\nabla}\times\vec{E} + \varepsilon\frac{\partial\vec{\nabla}\times\vec{E}}{\partial t} = -\mu\sigma\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} - \mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2}$$

அல்லது, $\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}.\vec{H}\right) - \nabla^2\vec{H} = -\mu\sigma\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} - \mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2}$

அல்லது, $-\nabla^2\vec{H} = -\mu\sigma\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} - \mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2} \qquad \left[\because \vec{\nabla}.\vec{H} = 0\right]$

அல்லது, $\nabla^2\vec{H} - \mu\sigma\frac{\partial\vec{H}}{\partial t} - \mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2} = 0$ …(7.18)

இது மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தில் காந்தப்புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டை அளிக்கிறது.

மீண்டும், சமன். (7.17) (c) இன் இருபுறமும் சுருள் எடுக்க,

$$\vec{\nabla}\times\vec{\nabla}\times\vec{E}=-\mu\frac{\partial\vec{\nabla}\times\vec{H}}{\partial t}=-\mu\frac{\partial}{\partial t}\left(\sigma\vec{E}+\varepsilon\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}\right)=-\mu\sigma\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}-\mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$$

அல்லது, $$\vec{\nabla}\left(\vec{\nabla}.\vec{E}\right)-\nabla^2\vec{E}=-\mu\sigma\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}-\mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$$

அல்லது, $$-\nabla^2\vec{E}=-\mu\sigma\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}-\mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}\qquad\left[\because\vec{\nabla}.\vec{E}=0\right]$$

அல்லது, $$\nabla^2\vec{E}-\mu\sigma\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}-\mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0 \qquad \ldots(7.19)$$

இது மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தில் மின் புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டை அளிக்கிறது.

(7.18) மற்றும் (7.19) ஆகிய இரு சமன்பாடுகளிலும், உறுப்புகள் $-\mu\sigma\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}$ மற்றும் $-\mu\sigma\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}$ ஆகியவை மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகம் மூலம் பரவும் போது EM அலைகள் சிதைந்துவிடும் என்பதைக் குறிக்கிறது. இந்த வகையான பண்பின் காரணமாக இவ்வகையான ஊடகம் இழப்பு ஊடகம் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது.

7.6 கடத்து ஊடகத்தில் EM அலையின் தேய்வு

தேய்வு என்பது ஒரு ஊடகம் மூலம் படிப்படியாக பாய செறிவை இழப்பது ஆகும். காற்றில், மின்சுற்றுகளில் மற்றும் ஒளியியல் இழைகளில் அலைகள் மற்றும் சமிக்ஞைகளை பரப்புவதை இத்தேய்வு பாதிக்கிறது.

மின்னூட்டமற்ற கடத்தும் ஊடகம் என்றால், மின் மற்றும் காந்தப்புலங்களுக்கான அலை சமன்பாடுகள் (7.18) மற்றும் (7.19) களில் இருந்து கொடுக்கப்படும்,

$$\nabla^2\vec{E}-\mu\sigma\frac{\partial\vec{E}}{\partial t}-\mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}=0$$

மற்றும் $$\nabla^2\vec{H}-\mu\sigma\frac{\partial\vec{H}}{\partial t}-\mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{H}}{\partial t^2}=0$$

மேலே உள்ள இரண்டு சமன்பாடுகளின் தீர்வுகள்

$$\vec{E}(\vec{r},t)=\vec{E}_0e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} \qquad \ldots(7.20)$$

மற்றும் $$\vec{H}(\vec{r},t)=\vec{H}_0e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} \qquad \ldots(7.21)$$

சமன். (7.20) ஐ சமன். (7.19) ல் பயன்படுத்த,

$$\nabla^2\vec{E}_0e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}-\mu\sigma\frac{\partial\vec{E}_0e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}}{\partial t}-\mu\varepsilon\frac{\partial^2\vec{E}_0e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)}}{\partial t^2}=0$$

அல்லது, $-k^2\vec{E}_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} + i\mu\sigma\omega\vec{E}_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} + \varepsilon\mu\omega^2\vec{E}_0 e^{i(\vec{k}.\vec{r}-\omega t)} = 0$

அல்லது, $-k^2\vec{E} + i\mu\sigma\omega\vec{E} + \varepsilon\mu\omega^2\vec{E} = 0$

அல்லது, $\left(-k^2 + i\mu\sigma\omega + \varepsilon\mu\omega^2\right)\vec{E} = 0$

அல்லது, $k^2 = i\mu\sigma\omega + \varepsilon\mu\omega^2 = \varepsilon\mu\omega^2\left(1 + \frac{i\sigma}{\varepsilon\omega}\right)$

அல்லது, $k = \omega\sqrt{\varepsilon\mu}\sqrt{\left(1 + \frac{i\sigma}{\varepsilon\omega}\right)}$ (7.22)

இவ்வாறு, மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தின் பரவல் மாறிலி k என்பது ஒரு சிக்கல் எண் ஆகும். சமன். (7.22) என்பது மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தின் சிதறல் தொடர்பு என அறியப்படுகிறது. சமன். (7.22) இல், $\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}$ காரணி சிதறல் காரணி என அறியப்படுகிறது. $k = \alpha + i\beta$ ஐ தோர்வு செய்ய, மற்றும் சமன். (7.22) ஐப் பயன்படுத்த, $\alpha + i\beta = \omega\sqrt{\varepsilon\mu}\sqrt{\left(1 + \frac{i\sigma}{\varepsilon\omega}\right)}$

அல்லது, $\left(\alpha + i\beta\right)^2 = \alpha^2 - \beta^2 + 2i\alpha\beta = \varepsilon\mu\omega^2\left(1 + \frac{i\sigma}{\varepsilon\omega}\right)$

இருபுறமும் உண்மையான மற்றும் கற்பனையான உறுப்புக்களை ஒப்பிட,

$\alpha^2 - \beta^2 = \varepsilon\mu\omega^2$ மற்றும் $2\alpha\beta = \sigma\mu\omega$

α மற்றும் β க்கு தீர்வு காண,

$$\alpha = \omega\sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{2}}\sqrt{\left\{1 + \left(\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}\right)^2\right\}^{1/2} + 1} \quad \ldots(7.23)$$

மற்றும் $$\beta = \omega\sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{2}}\sqrt{\left\{1 + \left(\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}\right)^2\right\}^{1/2} - 1} \quad \ldots(7.24)$$

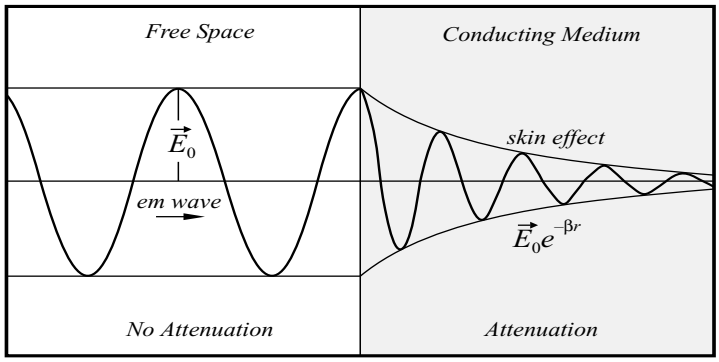
இங்கு α என்பது தேய்வு மாறிலி மற்றும் β என்பது கட்ட மாறிலி என அழைக்கப்படுகிறது.

பரவல் மாறிலி மூலம் சமன். (7.18) மற்றும் (7.19) களின் தீர்வுகள்

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0 e^{-\beta r} e^{i(\alpha r - \omega t)} \quad \ldots(7.25)$$

மற்றும் $$\vec{H}(\vec{r},t) = \vec{H}_0 e^{-\beta r} e^{i(\alpha r - \omega t)} \quad \ldots(7.26)$$

இங்கு $e^{-\beta r}$ என்பது தேய்வு காரணி மற்றும் $e^{i(\alpha r - \omega t)}$ என்பது கட்ட காரணி என அறியப்படுகிறது.



படம் 7.2: EM அலையின் தேய்வு

7.6.1 மேற்பரப்பு ஆழம்

ஊடுருவல் ஆழம் என்பது ஒரு மின்காந்த கதிர்வீச்சு ஒரு பொருளுக்குள் எவ்வளவு ஆழமாக ஊடுருவுகிறது என்பதை அளவிடுவதாகும். இது பொருளின் உள்ளே உள்ள கதிர்வீச்சின் செறிவு அதன் ஆரம்ப மதிப்பில் கிட்டத்தட்ட 37% வரை குறைந்திருக்கும் ஆழ அளவாகும்.

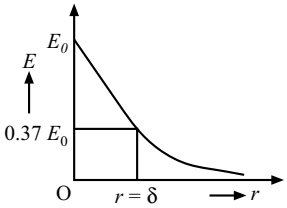
மறுபுறம், மேற்பரப்பு ஆழம் என்பது உலோகத்திற்குள் காந்தப்புலம் ஊடுருவிச் செல்லும் ஆழம் ஆகும். இந்த காந்தப்புலம் கடத்தியின் மேற்பரப்பில் அதிகபட்சமாக இருக்கும்போது அது மற்ற விளிம்பை நோக்கி செல்லும்போது அதிவேக வடிவத்தில் சிதைகிறது.

கடத்தும் ஊடகத்தின் அதிர்வெண் மிக அதிகமாக இல்லை என்றால், அதாவது, $\sigma >> \varepsilon\omega$ எனில் சமன். (7.23) மற்றும் (7.24) லிருந்து,

$$\alpha = \beta = \omega\sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{2}}\sqrt{\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}}$$

$$= \sqrt{\frac{\omega\mu\sigma}{2}} = \frac{1}{\delta} \text{ [say]}$$

இங்கே, $$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}} \quad \ldots(7.27)$$



படம் 7.3: மேற்பரப்பு ஆழத்தின் கருத்து

மேற்பரப்பு ஆழம் என்று அழைக்கப்படுகிறது. ஊடகத்தின் அதிர்வெண் மற்றும் கடத்துத்திறன் அதிகரிக்க மேற்பரப்பு ஆழம் குறைகிறது.

மின் மற்றும் காந்தப்புலங்களுக்கான அலை சமன்பாடுகளின் தீர்வுகள் வழங்கப்படுகின்றன.

$$\vec{E}(\vec{r},t) = \vec{E}_0 e^{-\beta r} e^{i(\alpha r - \omega t)} \quad \ldots(7.28)$$

மற்றும் $$\vec{H}(\vec{r},t) = \vec{H}_0 e^{-r/\delta} e^{i(r/\delta - \omega t)} \quad \ldots(7.29)$$

வீச்சு $\vec{E}_0 e^{-r/\delta}$ மற்றும் $\vec{H}_0 e^{-r/\delta}$. ஆல் வழங்கப்படுகிறது

for more on Skin Effect

மதிப்பு $r = \delta$ இருந்தால் மின்காந்த புலத்தின் வீச்சு $1/e$ மடங்காக (37%) கடத்தும் ஊடகத்தின் மேற்பரப்பில் உள்ள மதிப்பு குறைக்கப்படும்.

மேற்பரப்பு ஆழத்தின் இயல் முக்கியத்துவம்:

(i) மேற்பரப்பு ஆழத்தின் பெரிய மதிப்பு மின்காந்த அலைகளின் குறைந்த தேய்வு மதிப்பைக் குறிக்கிறது.

(ii) அலைகளின் அதிக அதிர்வெண் ஊடகம் மூலம் பரப்ப முடியாது. இதை மின்காந்தக் கவசத்தில் பயன்படுத்தலாம்.

எடுத்துக்காட்டு 7.6: மின்காந்த அலைகளின் அதிர்வெண் 10^4 Hz என்றால் 6×10^7 mho/m கடத்துத்திறன் கொண்ட கடத்து ஊடகத்தின் மேற்பரப்பு ஆழத்தைக் கண்டறியவும்.

தீர்வு:

மேற்பரப்பு ஆழம் $\delta = \sqrt{\dfrac{2}{\omega\mu\sigma}}$

இங்கே, $\sigma = 6\times10^7$ mho/m $\omega = 2\pi f = 2\pi\times10^4$ Hz,

எனவே, $\delta = \sqrt{\dfrac{2}{\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\dfrac{2}{2\pi\times10^4\times4\pi\times10^{-7}\times6\times10^7}} = 0.042\text{mm}.$

எடுத்துக்காட்டு 7.6

எடுத்துக்காட்டு 7.7: 4×10^7 mho/m கடத்துத்திறன் கொண்ட கடத்தும் ஊடகத்தின் மேற்பரப்பு ஆழம் 0.02mm என்றால், EM அலைகளின் அதிர்வெண்ணைக் கண்டறியவும். [விடுதிறன் = உட்புகுத்திறன் = 1]

தீர்வு:

மேற்பரப்பு ஆழம் $\delta = \sqrt{\dfrac{2}{\omega\mu\sigma}} = \sqrt{\dfrac{1}{\pi f\mu\sigma}}$

எனவே, EM அலைகளின் அதிர்வெண்

$$f = \frac{1}{\pi\mu\sigma\delta^2} = \frac{1}{4\times\pi^2\times10^{-7}\times4\times10^7\times\left(0.02\times10^{-3}\right)^2} = 15.87\text{MHz}.$$

எடுத்துக்காட்டு 7.7

7.7 EM அலைகளின் எல்லை நிபந்தனைகள்

மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள் மாறுபட்ட பண்புகள் கொண்ட இரண்டு ஊடகங்களின் எல்லைகளில் EM புலங்களின் பண்பை வலுவாக கட்டுப்படுத்துகின்றன மற்றும் சில நிபந்தனைகள் புல வெக்டர்களால் $\vec{E}, \vec{D}, \vec{B}$ and $\vec{H}$. திருப்தி அடைகின்றன.

இவை எல்லை நிபந்தனைகள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இந்த நிபந்தனைகள் அனைத்தும் கீழே விவாதிக்கப்படும்.

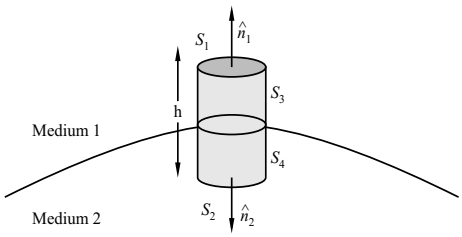
D க்கான நிபந்தனை: இரண்டு ஊடகங்களுக்கிடையேயான எந்த இடைமுகத்திலும் நாம் மிகக் குறைவான உயரம் (படம் 7.4) கொண்ட ஒரு சிறிய மாத்திரை பெட்டி போன்ற வடிவத்தை கருத்தில் கொள்வோம். முதல் மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாட்டில் இருந்து, $\vec{\nabla}.\vec{D} = \rho$. மேக்ஸ்வெல்லின் முதல் சமன்பாட்டின் இருபுறமும் கனஅளவு தொகைக்கெழுப்படுத்த,

$$\int_V \vec{\nabla}.\vec{D}dV = \int_V \rho dV$$

அல்லது, $$\int_S \vec{D}.\hat{n}dS = \int_V \rho dV$$

அதாவது, $$\int_{S_1} \vec{D}_1.\hat{n}_1 dS + \int_{S_2} \vec{D}_2.\hat{n}_2 dS + \int_{S_3} \vec{D}_1^{'}.\hat{n}_1^{'} dS$$

$$+ \int_{S_4} \vec{D}_2^{'}.\hat{n}_2^{'} dS = \int_V \rho dV$$



படம் 7.4: D மற்றும் B க்கான எல்லை நிபந்தனைகள்

மேற்கண்ட கோவையில் கடைசி இரண்டு உறுப்புகள் பெட்டியின் சுவர்களின் சுவருக்காக வருகிறது. அவைகளின் உயரம் h மிக சிறிய உயரம் ஆதலால் அவைகள் நிராகரிக்கப்பட்டது. எனவே, வரம்பு $h \to 0$,

$$\lim_{h\to 0}\left[\int_S \vec{D}_1.\hat{n}_1 dS + \int_S \vec{D}_2.\hat{n}_2 dS\right] = \lim_{h\to 0}\int_V \rho dV = \lim_{h\to 0}\int_V \sigma S dV \quad [\text{இங்கு } \rho = \sigma S]$$

அல்லது, $$\left[\vec{D}_1.\hat{n} - \vec{D}_2.\hat{n}\right]S = \sigma S \qquad [\because S_1 = S_2 = S;\ n_1 = n \text{ and } n_2 = -n]$$

அல்லது, $$D_{1n} - D_{2n} = \sigma \qquad \ldots(7.30)$$

இங்கே, D_{1n} மற்றும் D_{2n} இரண்டு ஊடகங்களில் மின்சார இடப்பெயர்ச்சி வெக்டரின் செங்குத்துக் கூறுகள். சமன். (7.30) லிருந்து, மின்சார இடப்பெயர்ச்சி வெக்டரின் செங்குத்துக் கூறுகள் இரண்டு ஊடகங்களின் இடைமுகத்தில் தொடர்ச்சியாக இல்லை என்று முடிவு செய்யலாம்.

B க்கான நிபந்தனை: இரண்டாவது மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாட்டிலிருந்து, $\vec{\nabla}.\vec{B} = 0$. இரண்டு ஊடகங்களுக்கிடையேயான எந்த இடைமுகத்திலும் நாம் மிகக் குறைந்த உயரம் கொண்ட ஒரு சிறிய பெட்டியை கருத்தில் கொள்வோம் (படம் 7.4). மேக்ஸ்வெல்லின் இரண்டாவது சமன்பாடுகளின் இருபுறமும் தொகைக்கெழுப்படுத்த,

$$\int_V \vec{\nabla}.\vec{B}dV = 0$$

அல்லது, $$\int_S \vec{B}.\hat{n}dS = 0$$

அதாவது, $$\int_{S_1} \vec{B}_1.\hat{n}_1 dS + \int_{S_2} \vec{B}_2.\hat{n}_2 dS + \int_{S_3} \vec{B}_1^{'}.\hat{n}_1^{'} dS + \int_{S_4} \vec{B}_2^{'}.\hat{n}_2^{'} dS = 0$$

மேற்கண்ட கோவையில் கடைசி இரண்டு உறுப்புகள் பெட்டியின் சுவருக்காக வருகிறது. அவைகளின் உயரம் h மிக சிறிய உயரம் ஆதலால் அவைகள் நிராகரிக்கப்பட்டது. எனவே, வரம்பு $h \to 0$,

$$\lim_{h\to 0}\left[\int_S \vec{B}_1.\hat{n}_1 dS + \int_S \vec{B}_2.\hat{n}_2 dS\right] = 0$$

அல்லது, $\left[\vec{B}_1.\hat{n} - \vec{B}_2.\hat{n}\right]S = 0 \qquad [\because S_1 = S_2 = S;\ n_1 = n \text{ and } n_2 = -n]$

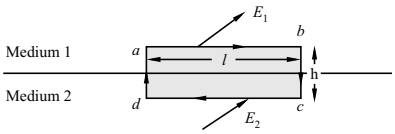
அல்லது, $B_{1n} - B_{2n} = 0$

அல்லது, $B_{1n} = B_{2n}$ …(7.31)

இங்கே, B_{1n} மற்றும் B_{2n} இரண்டு ஊடகங்களில் காந்த தூண்டல் வெக்டரின் செங்குத்துக் கூறுகள். சமன். (7.31) லிருந்து, காந்த தூண்டல் வெக்டரின் செங்குத்து கூறுகள் இரண்டு ஊடகங்களின் இடைமுகத்தில் தொடர்ச்சியாக இல்லை என்று முடிவு செய்யலாம்.

E க்கான நிபந்தனை: மேக்ஸ்வெல்லின் மூன்றாவது சமன்பாட்டிலிருந்து, $\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\dfrac{\partial\vec{B}}{\partial t}$

படம் 7.5 இல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி இரண்டு ஊடகங்களுக்கிடையே யான எந்த இடைமுகத்திலும் *abcd* எல்லைப் பரப்பு S ஐக் கொண்ட ஒரு செவ்வக வளையத்தை கருத்தில் கொள்வோம். மேக்ஸ்வெல்லின் மூன்றாவது சமன்பாட்டின் இருபுறமும் மேற்பரப்பு தொகைக்கெழுப்படுத்த,



படம் 7.5: E மற்றும் H க்கான எல்லை நிபந்தனைகள்

$$\int_S \left(\vec{\nabla}\times\vec{E}\right).\hat{n}dS = \oint_{abcd} \vec{E}.d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial\vec{B}}{\partial t}.\hat{n}dS$$

அல்லது, $$\int_{ab}\vec{E}_1.d\vec{l} + \int_{cd}\vec{E}_2.d\vec{l} + \int_{bc}\vec{E}_1^{'}.d\vec{l} + \int_{da}\vec{E}_2^{'}.d\vec{l} = -\int_S \frac{\partial\vec{B}}{\partial t}.\hat{n}dS$$

இடது பக்கத்தில் கடைசி இரண்டு உறுப்புகளுக்கான பங்களிப்பு ஒன்றுக்கொன்றால் ரத்து செய்யப் படும் மற்றும் வளையம் $h\to 0$ வலது புறத்தில் உள்ள மேற்பரப்பு தொகைக்கெழுவால் வழங்கப்பட்ட பூஜ்ஜியமாக இருக்கும் எல்லா இடங்களிலும் $\dfrac{\partial\vec{B}}{\partial t}$ வரையறுக்கப்பட்டுள்ளது.

அதனால், $$\int_{ab}\vec{E}_1.d\vec{l} + \int_{cd}\vec{E}_2.d\vec{l} = 0$$

அல்லது, $\left(E_{1t} - E_{2t}\right)l = 0$

அல்லது, $E_{1t} = E_{2t}$ …(7.32)

இங்கே, E_{1t} மற்றும் E_{2t} இரண்டு ஊடகங்களில் மின்சார புல வெக்டரின் தொடு கூறுகள். சமன். (7.32) லிருந்து மின் புல வெக்டரின் தொடு கூறுகள் இரண்டு ஊடகங்களின் இடைமுகத்தில் தொடர்ச்சியாக இருக்கும் என்று முடிவு செய்யலாம்.

H க்கான நிபந்தனை: மேக்ஸ்வெல்லின் நான்காவது சமன்பாட்டில் இருந்து, $\vec{\nabla}\times\vec{H} = \vec{J} + \dfrac{\partial\vec{D}}{\partial t}$

படம் 7.5 இல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி இரண்டு ஊடகங்களுக்கிடையேயான எந்த இடைமுகத்திலும் ஒரு abcd ஆல் சூழப்பட்ட மேற்பரப்பு S செவ்வக வளையத்தை கருத்தில் கொள்வோம். மேக்ஸ்வெல்லின் நான்காவது சமன்பாட்டின் இருபுறமும் மேற்பரப்பு தொகைக்கெழுப்படுத்த,

$$\int_S \left(\vec{\nabla}\times\vec{H}\right).\hat{n}dS = \oint_{abcd} \vec{H}.d\vec{l} = \int_S \left(\vec{J}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\right).\hat{n}dS$$

அல்லது, $$\int_{ab} \vec{H}_1.d\vec{l} + \int_{cd} \vec{H}_2.d\vec{l} + \int_{bc} \vec{H}_1'.d\vec{l} + \int_{da} \vec{H}_2'.d\vec{l} = \int_S \left(\vec{J}+\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}\right).\hat{n}dS$$

இடது பக்கத்தில் கடைசி இரண்டு உறுப்புகளின் பங்களிப்பு ஒன்றுக்கொன்று ரத்து செய்து கொள்ளப்படும்.

$h \to 0$ சுழற்சிக்காக வலது புறத்தில் உள்ள மேற்பரப்பு தொகைக்கெழு $\int_S \vec{J}.\hat{n}dS$ எல்லா இடங்களிலும் $\frac{\partial\vec{D}}{\partial t}$ ஆல் வரம்பிடப்படும் எனில்,

எனவே, $$\int_{ab} \vec{H}_1.d\vec{l} + \int_{cd} \vec{H}_2.d\vec{l} = \lim_{h\to 0}\int_S \vec{J}.\hat{n}dS = J_{s\perp}l$$

அல்லது, $$\left(H_{1t} - H_{2t}\right)l = J_{s\perp}l$$

அல்லது, $$H_{1t} - H_{2t} = J_{s\perp} \qquad \ldots(7.33)$$

இங்கே, H_{1t} மற்றும் H_{2t} இரண்டு ஊடகங்களில் காந்தப்புல செறிவின் தொடு கூறுகள். சமன். (7.33) லிருந்து, காந்தப்புல செறிவின் தொடு கூறுகள் இரண்டு ஊடகங்களின் இடைமுகத்தில் தொடர்ச்சியாக இல்லை என்று முடிவு செய்யலாம். இங்கே $J_{s\perp}$ என்பது மேற்பரப்பு மின்னோட்ட அடர்த்தி மற்றும் கடத்துத்திறன் எல்லையற்றதாக இல்லாவிட்டால் பூஜ்ஜியத்திற்கு சமம். எனவே, வரையறுக்கப்பட்ட கடத்துத்திறனுக்காக,

$$H_{1t} = H_{2t} \qquad \ldots(7.34)$$

7.8 EM அலைகளின் பிரதிபலிப்பு மற்றும் பரிமாற்றம்

EM அலைகளின் பிரதிபலிப்பு மற்றும் பரிமாற்றம் நகரும் மின்கடத்தா ஊடகத்தின் மூலம் EM அலைகளை பிரதிபலிப்பு மற்றும் பரிமாற்றத்தை கோட்பாட்டளவில் பிரதிபலிப்பு மற்றும் பரிமாற்ற குணகங் களைக் கண்டறியலாம். பிரதிபலித்த அலை எல்லையிலிருந்து விலகிச் செல்கிறது ஆனால் படுகதிர் அலையின் அதே ஊடகத்தில் அதே சமயம் கடத்தப்பட்ட அலை படுகதிர் அலையிலிருந்து எல்லையின் மற்ற பக்கத்தில் உள்ள எல்லையிலிருந்து விலகிச் செல்கிறது.

Z–திசையில் பரவும் தள முனைவு கொண்ட $\vec{E} = \vec{E}_0 e^{i(kz-\omega t)}$ மற்றும் $\vec{B} = \vec{B}_0 e^{i(kz-\omega t)}$ அலைகளைக் கருதுக. மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாட்டிலிருந்து, $\vec{\nabla}\times\vec{E} = -\frac{\partial\vec{B}}{\partial t}$

$$ik\hat{e}_z \times \vec{E}_0 = i\omega B_0 \hat{e}_y$$

இங்கே $\vec{E}_0 = E_0\hat{e}_x$ மற்றும் $\vec{B}_0 = \frac{kE_0}{\omega}\hat{e}_y$ எனக் கருதலாம்

இங்கு E_0 மற்றும் B_0 ஆகியவை சிக்கல் எண்களாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன மற்றும் அதன் உண்மையான அளவுகளுடன் தொடர்புடைய,

$$E_0 = \left|E_0\right| e^{i\delta}$$

சிக்கலான மின்மறுப்பு சிக்கலான வீச்சுகளின் விகிதத்தால் வழங்கப்படுகிறது.

$$Z = \frac{E_0}{H_0} = \frac{\mu E_0}{B_0} \qquad \ldots(7.35)$$

E மற்றும் H க்கு இடையில் கட்ட மாற்றத்தை அனுமதிக்கிறது.

ஒரு இடைமுகத்திற்கு $\vec{E}_i$. செங்குத்தாக Z- திசையில் பரவும் ஒரு தள முனைவாக்கப்பட்ட அலையை கருத்தில் கொள்ளுங்கள். பொதுவாக ஊடகம் 1 சிக்கலான மின்மறுப்பு $Z = Z_1$ மற்றும் ஊடகம் 2 சிக்கலான மின்மறுப்பு $Z = Z_2$ ஆகியவற்றைக் கொண்டுள்ளது. $\hat{e}_x$ உடன் $\vec{E}_i$; $\hat{e}_y$ உடன் $\vec{H}_i$ மற்றும் $\hat{e}_z$ உடன் k_1 ஆகிய ஆயங்களை எடுத்துக்கொள்க. $Z = 0$ ஐ எல்லையாக வைக்க, X-Y தளம் என்பது இரண்டு ஊடகங்களுக்கு இடையேயுள்ள இடைமுகம் ஆகும்.

நாம் பார்த்த இரண்டு மின்காப்பு ஊடகங்களைக் கருத்தில் கொண்டு தொடங்குவது எளிது.

$$Z_i = v_i \mu_i \qquad \ldots(7.36)$$

உண்மையானது மற்றும், $\vec{E}$ மற்றும் $\vec{H}$. இடையே இடைவெளி இல்லை.

$$\overrightarrow{E_i} = E_i \hat{e}_x e^{i(k_1 z - \omega t)} \ , \ \overrightarrow{H_i} = \frac{E_i}{\mu_1 v_1} \hat{e}_y e^{i(k_1 z - \omega t)} \qquad \ldots(7.37)\ (a)$$

மேலும் நாம் வீச்சு E_i ஐ உண்மையானதாக எடுத்துக்கொள்ளலாம். அதேபோல் கடத்தப்பட்ட மற்றும் பிரதிபலித்த அலைகளுக்கு:

$$\overrightarrow{E_t} = E_t \hat{e}_x e^{i(k_2 z - \omega t)} \ , \ \overrightarrow{H_t} = \frac{E_t}{\mu_2 v_2} \hat{e}_y e^{i(k_2 z - \omega t)} \qquad \ldots(7.37)\ (b)$$

மற்றும் $$\overrightarrow{E_r} = E_r \hat{e}_x e^{i(-k_2 z - \omega t)} \ , \ \overrightarrow{H_r} = -\frac{E_r}{\mu_1 v_1} \hat{e}_y e^{i(-k_2 z - \omega t)} \qquad \ldots(7.37)\ (c)$$

இப்போது, $\hat{e}_x$ மற்றும் $\hat{e}_y$ ஆகியவை இடைமுகத்தின் தொடுகோடுகளாகும், $\vec{E}$ மற்றும் $\vec{H}$ தொடுதல் கூறுகள் தொடர்ச்சியாக உள்ளன எனவே, தொடர்ச்சியான நிபந்தனைகள்,

$\vec{E}_{\tan} = E_x$ தொடர்ச்சியானவை: $E_i + E_r = E_t$ $\ldots(7.38)\ (a)$

மற்றும், $\vec{H}_{\tan} = H_y$ தொடர்ச்சியானவை: $\frac{E_i}{\mu_1 v_1} - \frac{E_r}{\mu_1 v_1} = \frac{E_t}{\mu_2 v_2}$ $\ldots(7.38)\ (b)$

மேலே உள்ள இரண்டு வெளிப்பாடுகளைத் தீர்க்க, வீச்சு பரிமாற்ற குணகத்தை பெறலாம்

$$t = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2}{1+\beta} \qquad \ldots(7.39)$$

மற்றும் வீச்சு பிரதிபலிப்பு குணகம்

$$r = \frac{E_r}{E_i} = \frac{1-\beta}{1+\beta} \qquad \ldots(7.40)$$

இங்கே, $$\beta = \frac{\mu_1 v_1}{\mu_2 v_2} \qquad \ldots(7.41)$$

இப்போது உட்புகுத்திறன் (காந்தமல்லாத ஊடகம்) என்றால் $\mu_i = \mu_0$

$$r = \frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1} = \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \qquad \ldots(7.42)$$

மற்றும், $$t = \frac{2v_2}{v_2 + v_1} = \frac{2n_1}{n_1 + n_2} \qquad \ldots(7.43)$$

எனவே பிரதிபலிக்கப்பட்ட அலை $v_2 > v_1$ கட்டத்தில் உள்ளது ஆனால் $v_2 < v_1$ என்றால் கட்டத்திற்கு வெளியே உள்ளது. $v_2 = v_1$ என்றால் (இரண்டும் அதே ஊடகம்) எதிர்பார்த்தபடி அங்கு பிரதிபலிப்பு அலை ஏதுமில்லை.

ஆற்றல் ஓட்டம்: பாயிண்டிங் வெக்டர் என்பது $\vec{P} = \vec{E} \times \vec{H} = \frac{\vec{E} \times \vec{B}}{\mu}$ ஆகும்

எனவே, அலையின் ஒரு முழுமையான காலத்திற்கு சராசரியாக ஓரலகு கன அளவுக்கு ஆற்றல் பாய்வு வழங்கப்படுகிறது,

$$\left|\left\langle \vec{P} \right\rangle\right| = \frac{\left|\left\langle \vec{E} \times \vec{B} \right\rangle\right|}{\mu} = \frac{E_0^2}{2\mu v} = \frac{\varepsilon v E_0^2}{2} \qquad \ldots(7.44)$$

இப்போது, R என்பது படுகதிர் செறிவுக்கும் பிரதிபலிப்புக்கும் உள்ள விகிதம் மற்றும் T என்பது படுகதிர் செறிவுக்கும் பரவுதலுக்கும் உள்ள விகிதம் ஆகும்.

$$\therefore \qquad R = r^2 = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}\right)^2 \qquad \ldots(7.45)$$

மற்றும் $$T = \frac{\varepsilon_2 v_2}{\varepsilon_1 v_1} t^2 = \frac{4 n_1 n_2}{\left(n_1 + n_2\right)^2} \qquad \ldots(7.46)$$

அதனால் $R + T = 1$; ஆற்றல் அழிவின்மைக்கு வழிவகுக்கிறது.

சிக்கலான மின்னெதிர்ப்புக்கு $\vec{E}$ மற்றும் $\vec{H}$ இடையே கட்ட பின்னடைவு இருக்கலாம்.

அதனால், $$\vec{E_i} = E_i \hat{e}_x e^{i(k_1 z - \omega t)},\ \vec{H_i} = \frac{E_i}{Z_1} \hat{e}_y e^{i(k_1 z - \omega t)}$$

$$\vec{E_t} = E_t \hat{e}_x e^{i(k_2 z - \omega t)}\ ,\ \vec{H_t} = \frac{E_t}{Z_2} \hat{e}_y e^{i(k_2 z - \omega t)}$$

மற்றும் $$\vec{E_r} = E_r \hat{e}_x e^{i(-k_2 z - \omega t)},\ \vec{H_r} = -\frac{E_r}{Z_1} \hat{e}_y e^{i(-k_2 z - \omega t)}$$

மேற்பரப்பு மின்னோட்டம் அல்லது மின்னூட்டங்கள் இல்லை என்று கருதுங்கள். பின்னர் தொடர்ச்சியான நிபந்தனைகள் குறைக்கப்படுகின்றன.

$\vec{E}_{\tan} = E_x$ தொடர்ச்சியானது : $E_i + E_r = E_t$

மற்றும் $\vec{H}_{\tan} = H_y$ தொடர்ச்சியானது : $\frac{E_i}{Z_1} - \frac{E_r}{Z_1} = \frac{E_t}{Z_2}$

எனவே, வீச்சு பரிமாற்றக் குணகம் $t = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$ …(7.47)

மற்றும் வீச்சு பிரதிபலிப்பு குணகம் $r = \frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$ …(7.48)

இவை இப்போது சிக்கல் எண்கள் ஆகும்.

அலகு சுருக்கம்

- **மேக்ஸ்வெல் அலை சமன்பாடுகளும் மற்றும் வெற்றிடத்தில் அதன் தீர்வு**

  E–அலை சமன்பாடு $\nabla^2 \vec{E} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$

  H–அலை சமன்பாடு $\nabla^2 \vec{H} = \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$

  பரப்பு திசைவேகம் $v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

- **மின்காந்த அலைகளின் குறுக்கலைப் பண்பு**

  $\vec{k}.\hat{e} = 0 \qquad \vec{k}.\hat{b} = 0$

- **ஒரு மின்னோட்டமற்ற கடத்தா (மின்காப்பு) ஊடகத்தில் EM அலைகள்**

  E–அலை சமன்பாடு $\nabla^2 \vec{E} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$

  H–அலை சமன்பாடு $\nabla^2 \vec{H} = \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2}$

  பரப்பு திசைவேகம் $v = \frac{1}{\sqrt{\mu\varepsilon}} < c \quad [\because \varepsilon > \varepsilon_0, \mu > \mu_0]$

- **ஒரு மின்னோட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தில் EM அலைகள்**

  E–அலை சமன்பாடு $\nabla^2 \vec{E} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$

  H–அலை சமன்பாடு $\nabla^2 \vec{H} - \mu\sigma \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0$

- **மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தில் EM அலைகளின் தேய்வு**

  பரப்புதல் மாறிலி $\gamma = \omega\sqrt{\varepsilon\mu}\sqrt{\left(1 + \frac{i\sigma}{\varepsilon\omega}\right)}$ [சிதறல் தொடர்பு]

தேய்வு மாறிலி $\alpha = \omega\sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{2}}\sqrt{\left\{1+\left(\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}\right)^2\right\}^{1/2}+1}$

கட்ட மாறிலி $\beta = \omega\sqrt{\frac{\varepsilon\mu}{2}}\sqrt{\left\{1+\left(\frac{\sigma}{\varepsilon\omega}\right)^2\right\}^{1/2}-1}$

ஊடுருவல் ஆழம் அல்லது மேற்பரப்பு ஆழம் $\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$

- **இரண்டு ஊடகங்களின் இடைமுகத்தில் மின்காந்த அலைகளுக்கான எல்லை நிபந்தனைகள்**

$D_{1n} - D_{2n} = \sigma$

$B_{1n} = B_{2n}$

$E_{1t} = E_{2t}$

$H_{1t} - H_{2t} = J_{s\perp}$

- **கடத்தா நடுத்தர–வெற்றிட இடைமுகத்திலிருந்து செங்குத்து படு கதிருக்கு மின்காந்த அலைகளின் பிரதிபலிப்பு மற்றும் பரிமாற்றம்**

வீச்சு பரிமாற்றக் குணகம் $t = \frac{E_t}{E_i} = \frac{2Z_2}{Z_1 + Z_2}$

வீச்சு பிரதிபலிப்பு குணகம் $r = \frac{E_r}{E_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$

பயிற்சிகள்

கொள்குறி வகை வினாக்கள்

7.1 வெற்றிடத்தில் மின்காந்த அலைகளின் திசைவேகம்

(a) ஒளியின் திசைவேகத்திற்கு சமம்

(b) ஒளியின் திசைவேகத்தை விட அதிகம்

(c) ஒளியின் திசைவேகத்தை விடக் குறைவு

(d) சுழி

7.2 ஒருபடித்தான மற்றும் திசையொருமைப் பண்புள்ள, கடத்து ஊடகத்தின் விடுதிறன் ε உட்புகுத்திறன் μ மற்றும் கடத்துத்திறன் σ எனில் மேற்பரப்பு ஆழம் δ,

(a) $\sqrt{\frac{1}{\omega\mu\sigma}}$ (b) $\sqrt{\frac{2}{\omega\mu\sigma}}$ (c) $\sqrt{\frac{\mu}{\omega\sigma}}$ (d) $\sqrt{\frac{2\mu}{\omega\sigma}}$

7.3 ஒரு தளத்தில் EM அலை உள்ளது

(a) $\vec{E} \times \vec{B} = 0$ (b) $\vec{E} \| \vec{B}$ (c) $\vec{E} \perp \vec{B}$ (d) $\vec{k} \times \vec{B} = 0$

7.4 $1/\mu_0\varepsilon_0$ ன் பரிமாணம் ஆகும்

(a) $L^{-2}T^{-2}$ (b) $L^{-2}T^{2}$ (c) LT^{-1} (d) $L^{2}T^{-2}$

7.5 இழப்பு மின்காப்பானில் அலையின் ஊடுருவலின் ஆழம் அதிகரிப்பது இதைப் பொருத்து

(a) கடத்துத்திறன் (b) அலைநீளம் (c) உட்புகுதிறன் (d) விடுதிறன்

7.6 வெளியில் பரவும் மின்காந்த அலைகளின் E_o மற்றும் B_o ஆகியவை முறையே மின் மற்றும் காந்தப் புலங்களின் வீச்சு எனில் E_o/B_o என்பது

(a) $\sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$ (b) $\sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}$ (c) $\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}$ (d) $\sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0\mu_0}}$

7.7 வெற்றிடத்தில் உள்ளார்ந்த மின்மறுப்பு உள்ளது

(a) 0 ohm (b) 370 ohm

(c) 377 ohm (d) இவை எதுவும் இல்லை

7.8 மின்காந்த அலைகளின் திசைவேகம் இதிலிருந்து பெறப்படுகிறது

(a) EB (b) E - B (c) E (d) E/B

7.9 உட்புகுதிறன் μ மற்றும் விடுதிறன் ε கொண்ட ஊடகத்தின் உள்ளார்ந்த அலை மின்மறுப்பு

(a) $\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}$ (b) $\sqrt{\frac{\varepsilon}{\mu}}$ (c) $\sqrt{\frac{1}{\varepsilon\mu}}$ (d) $\sqrt{\varepsilon\mu}$

7.10 ஒரு நல்ல தள கடத்திக்கு, மேற்பரப்பு ஆழம் மாறுபடுவது

(a) அதிர்வெண்ணின் இருமடிக்கு நேர்த்தகவு

(b) அதிர்வெண்ணின் இருமடிக்கு எதிர்த்தகவு

(c) அதிர்வெண்ணின் சார்புக்கு நேர்த்தகவு

(d) அதிர்வெண்ணுக்கு எதிர்த்தகவு

7.11 $\vec{E}$ மற்றும் $\vec{B}$ ஆகியவை முறையே ஒரு மின்காந்த அலையின் மின் புலம் மற்றும் காந்தப்புலத்தை குறிக்கிறது, வெற்றிடத்தில் பரவும் வெக்டருடன் பயணிக்கும் எனில் எந்த நிலை சரியானது?

(a) $\hat{k}.\vec{E} = 0$ (b) $\hat{k} \times \vec{E} = 0$ (c) $\vec{B} \times \vec{E} = 0$ (d) $\hat{k} \times \vec{E} = -\vec{B}$

7.12 மின்காந்த அலை வெற்றிடத்தின் ஒரு பகுதி வழியாக பரப்பப்படுகிறது, அதில் எந்த மின்னூட்டமும் மின்னோட்டமும் இல்லை. மின் வெக்டர் $\vec{E} = E_0 \exp i(kx - \omega t)\hat{j}$, எனில் காந்த வெக்டரானது,

(a) x திசையில் இருக்கும் (b) y திசையில்

(c) z திசையில் (d) xy தளத்தில் சீராக சுழலும்

7.13 மின்காந்த அலை குறுக்கலை என அழைக்கப்படுகிறது, ஏனெனில்

(a) மின் புலம் மற்றும் காந்தப்புலம் ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ளன

(b) மின்புலம் பரவும் திசைக்கு செங்குத்தாக உள்ளது

(c) காந்த புலம் பரவும் திசைக்கு செங்குத்தாக உள்ளது

(d) மின் மற்றும் காந்தப்புலங்கள் இரண்டும் பரப்பும் திசைக்கு செங்குத்தாக உள்ளன

7.14 வெற்றிடத்தில் ஒரு மின்காந்த அலைகளில், மின் மற்றும் காந்தப்புலங்கள் ஆகியவை

(a) ஒன்றுக்கொன்று இணையாக (b) ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக

(c) ஒரு கோணத்தில் சாய்ந்தது (d) குறுங்கோணத்தில் சாய்ந்தது

7.15 $\mu_0\varepsilon_0$ ன் பரிமாணம் (சின்னங்கள் அவற்றின் வழக்கமான முக்கியத்துவத்துடன்)

(a) $L^{-2}T^{-2}$ (b) LT^{-1} (c) $L^{-2}T^{-1}$ (d) $L^{-2}T^{2}$

7.16 மின்காந்த அலைக்கு ஒரு கடத்தியின் மேற்பரப்பு ஆழம் மாறுபடும்

(a) அதிர்வெண்ணுக்கு எதிர்த்தகவில்

(b) அதிர்வெண்ணுக்கு நேர்த்தகவில்

(c) அதிர்வெண் இருமடிக்கு எதிர்த்தகவில்

(d) அதிர்வெண் இருமடிக்கு நேர்த்தகவில்

7.17 படுகதிர் அலையின் அதிர்வெண் மடங்கு உயர்ந்தால் கடத்தியில் அதன்

(a) 2 மடங்கு அதிகரிக்கிறது (b) 4 மடங்கு அதிகரிக்கிறது

(c) 2 மடங்கு குறைகிறது (d) 4 மடங்கு குறைகிறது

7.18 மின்காந்த அலை பரப்பு திசை எதன் திசையில் இருக்கும் ?

(a) $\vec{E}$ (b) $\vec{B}$ (c) $\vec{E}\times\vec{B}$ (d) $\vec{B}\times\vec{E}$

கொள்குறி வகை வினா–விடைகள்
7.1 (a), 7.2 (b), 7.3 (c), 7.4 (d), 7.5 (b), 7.6 (d), 7.7 (c), 7.8 (d), 7.9 (a), 7.10 (b), 7.11 (a), 7.12 (c), 7.13 (d), 7.14 (a), 7.15 (d), 7.16 (c), 7.17 (c), 7.18 (c)

சிறு மற்றும் பெரு வினாக்கள்

வகை I

7.1 மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்திற்கான மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளை எழுதுங்கள். எனவே, ஊடகத்தில் மின்காந்த அலைகளின் திசைவேகம் வெற்றிடத்தில் ஒளியின் வேகத்தை விட குறைவாக இருப்பதைக் காட்டுங்கள்.

7.2 மின்னூட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தில் மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாட்டிலிருந்து தொடங்கி மேற்பரப்பு ஆழத்தின் கருத்தை அடைக.

7.3 மின்காந்த புலத்தின் மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளை எழுதுங்கள். எனவே, வெற்றிட வெளியில் மின் புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டைப் பெறுங்கள்.

7.4 $\vec{E}$, $\vec{B}$ மற்றும் $\vec{k}$ ஒன்றுக்கொன்று செங்குத்தாக உள்ளன என நிரூபி.

7.5 ஒளியின் வேகம் ஊடகத்தின் பண்புகளைப் பொருத்தது என்பதை விளக்கவும்.

7.6 வெற்றிடத்தில் மின்சார மற்றும் காந்த வெக்டர்கள் இரண்டும் அலை சமன்பாட்டிற்கு கீழ்ப்படிவதை நிரூபிக்கவும். ஒரு தள அலை தீர்வைக் கருதினால், மின் புலம் எப்போதும் காந்தப்புலத்திற்கு செங்குத்து ஆகும்.

7.7 வெற்றிடத்திற்கு, $\vec{E}$ க்கான மின்காந்த அலை சமன்பாடு $\nabla^2\vec{E} = \mu_0\varepsilon_0\dfrac{\partial^2\vec{E}}{\partial t^2}$ என காட்டுக. இங்கு குறியீடுகள் அவற்றின் வழக்கமான முக்கியத்துவத்தைக் கொண்டுள்ளன.

7.8 மின்காந்த அலைகளின் குறுக்கலைப் பண்பு என்றால் என்ன ?

7.9 மின்காந்த அலைகளின் E–புலம் மற்றும் B–புலம் பரவல் வெக்டர் k க்கு செங்குத்தாக உள்ளது என்று நீங்கள் எப்படி முடிவு செய்யலாம் ?

7.10 தேய்வு என்றால் என்ன, அலைகள் மற்றும் சமிக்ஞைகளின் பரவுதலை அது எவ்வாறு பாதிக்கிறது ?

7.11 மின்னூட்டமற்ற கடத்தும் ஊடகத்திற்கான பரவல் மாறிலி k ஒரு சிக்கல் எண் என்பதை கணித ரீதியாகக் காட்டு.

7.12 பரப்புதல் மாறிலி, தேய்வு மாறிலி மற்றும் கட்ட மாறிலி ஆகியவற்றுக்கு இடையிலான தொடர்பைப் பெறுதல்.

7.13 வெற்றிடத்தில் ஒளியின் வேகத்துடன் மின்காந்த அலை நகர்கிறது என்பதை நிரூபிக்கவும்.

7.14 EM அலைகளுக்கான எல்லை நிபந்தனைகளைப் பெறுங்கள்.

வகை II

7.15 மின்னூட்டமற்ற கடத்தா ஊடகத்தில் மின் புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டிலிருந்து, என்ன வகையான முடிவுகளை எடுக்க முடியும் ?

7.16 மின்காப்பு ஊடகம் மற்றும் நற்கடத்திகளின் நோ்வில் மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளின் வடிவம் என்னவாக இருக்கும் ?

7.17 மின்காந்த அலை சமன்பாடு மின்காந்த அலைகளின் பரவலை விவரிக்கிறது என்ற அறிக்கையை நியாயப்படுத்துங்கள்.

7.18 எவ்வகைப் பண்புக்கு கடத்தா ஊடகம் இழப்பு இல்லாத ஊடகம் என்றும் அழைக்கப்படுகிறது ?

7.19 மின்னோட்டமற்ற கடத்து ஊடகத்தில் காந்தப்புலத்திற்கான அலை சமன்பாட்டிலிருந்து, உங்கள் விமர்சனக் கருத்துகளைச் சொல்லுங்கள்.

7.20 ஊடுருவல் ஆழத்திற்கும் மேற்பரப்பு ஆழத்திற்கும் அடிப்படை வேறுபாடு உள்ளது என்பதை தெளிவாக விளக்குங்கள்.

7.21 ஒரு நற்கடத்தியில் EM அலைகளை பரப்புவதற்கு சமிக்ஞை அதிர்வெண் அடிப்படையில் மேற்பரப்பு ஆழத்தைக் கண்டறியவும்.

கணக்குகள்

7.1 ஒரு ஊடகத்தின் விடுதிறன் மற்றும் உட்புகுதிறன் முறையே 50 மற்றும் 2 ஆக இருந்தால், அதன் மூலம் மின்காந்த அலை பரப்புதலின் திசைவேகத்தைக் கண்டறியவும். [விடை: 3×10^7 m/s]

7.2 EM அலையில் காந்தப்புல வெக்டரின் எண்மதிப்பு 1μT என்றால், அதனுடன் தொடர்புடைய மின் புல வெக்டரின் எண்மதிப்பை கண்டறியவும். [விடை: 300 V/m]

மேலும் அறிக

19 ஆம் நூற்றாண்டில் இயற்பியலின் மிகப்பெரிய தத்துவார்த்த சாதனை, மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள் மற்றும் மின்காந்த அலைகளின் தொடர்புடைய கண்டுபிடிப்பு என்று கூறப்படுகிறது. இயற்கையில் உள்ள மின் விசைகள் இரண்டு வகைகளாகும், அதாவது, (+) மற்றும் (–) மின்னூட்டங்களுக்கு இடையில் மின் ஈர்ப்பு அல்லது விலக்குதல். இணையான மின்னோட்டங்களுக்கு இடையே ஒரு ஈர்ப்பும் விரட்டலும் உள்ளது. எனவே மின்னோட்டம் மற்றும் மின்னூட்டம் ஆகியவை ஒன்றுக்கொன்று தொடர்புடையது. மின்னோட்டம் என்பது கம்பியின் ஓரலகு குறுக்குவெட்டு வழியாக ஒவ்வொரு நொடியும் செல்லும் ஓரலகு மின்னூட்டம் ஆகும். இந்த வரையறை மிகவும் வித்தியாசமானது மற்றும் அனைத்து வரையறைகளிலும் மீட்டர் மற்றும் வினாடிகள் பயன்படுத்தப்பட்டால், மின்னோட்டத்தின் இரண்டு அலகுகளின் விகிதம் ஒளியின் வேகம், $3x10^8$ m/s.

செயல்பாடு

ஒரு இணையான கீறல்களால் கோடிடப்பட்டிருக்கும் மேற்பரப்பால் ஏற்படும் விளிம்பு விளைவின் மூலம் ஒளியின் அலை இயல்பானது வெவ்வேறு நிறங்களை வெளித்தோற்றுவிக்கிறது. இதனால்தான் இசை அல்லது கணினி பயன்பாட்டிற்கான ஒரு சிறிய லேசர் வட்டு, வானவில்லின் அனைத்து வண்ணங்களிலும் மின்னும். இதேபோல், ஒரு படிகத்தில் உள்ள அணுக்களின் வரிசைகள் இணையான கோடுகளுடன் நெருக்கமான இடைவெளியில் உள்ளன, அவை எக்ஸ்–கதிர்கள் மீது அதே விளைவை ஏற்படுத்தியது. ஒளியைப் போன்றே எக்ஸ்–கதிர்கள் குறைந்த அலைநீள மின்காந்த அலைகள் என்பதை வெளிப்படுத்துகின்றன. காந்தப்புலத்தில் வைக்கப்பட்ட வெற்றிடக் குழாயில் உள்ள எலக்ட்ரான்களை போல் நிலையற்றதாகி ஒளியை விட பெரிய அலைகளை வெளியிடும் என்றும் கண்டறியப்பட்டது. மேக்னட்ரான் குழாய் இரண்டாம் உலகப் போரில் ஒரு இரகசிய ரேடார் சாதனமாக இருந்தது. பின்னர் அது மைக்ரோவேவ் அடுப்பை உருவாக்க பயன்பட்டது.

சுவாரஸ்யமான உண்மைகள்

நன்கு அறியப்பட்ட ஃபாரடேயின் விசைக்கோடுகளை நாம் இன்று பயன்படுத்தும் கணித வடிவங்களாக மாற்றினார். EM புலங்கள் கணிதம் முழுவதும் பல துறைகளில் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மேக்ஸ்வெல்லின் ''மின்சாரம் மற்றும் காந்தவியல் பற்றிய ஒரு ஒப்பந்தம்'' என்ற துறையின் முதல் குறிப்பு ஒரு மின் புலமாகும். இது ''மின் நிகழ்வுகளைக் கருத்தில் கொண்டு மின்மயமாக்கப்பட்ட பொருள்களின் சுற்றுப்புறத்தில் உள்ள இடத்தின் பகுதி'' என்று விவரித்தார் (மேக்ஸ்வெல், 1892, pp 47–48). இது காற்று அல்லது பிற பொருட்களால் ஆக்கிரமிக்கப்படலாம். எங்களிடம் உள்ள வழிமுறைகளுடன் செயல்பட ஒவ்வொரு பொருளையும் திரும்பப் பெற்றோம். மின்மயமாக்கப்பட்ட பொருளை ஒரு மின்சார புலத்தின் எந்தப் பகுதியிலும் வைத்திருந்தால் அது மற்ற பொருட்களின் மின்மயமாக்கலில் ஒரு குறிப்பிடத்தக்க மாற்றத்தை உருவாக்குகிறது.

ஒப்புமை

மின்காந்த அலைகள் வானொலி மற்றும் தொலைக்காட்சிக்கு வழிவகுத்தது மட்டுமல்லாமல், இன்று அது ஒரு பெரிய மின்னணு தொழிலுக்கு முக்கிய பங்கு வகிக்கிறது. காந்த மண்டலத்தில் உள்ள நிலையற்ற எலக்ட்ரான் கதிர்களாலும், சூரியன் மற்றும் தொலைதூர பிரபஞ்சத்திலிருந்தும் EM அலைகள் விண்வெளியில் உருவாக்கப்படுகின்றன, தொலைதூர இடத்தில் உள்ள ஆற்றல் துகள்களைப் பற்றி நமக்குத் தெரிவிக்கின்றன அல்லது தீர்க்கப்படாத மர்மங்களைக் கூறுகின்றன.

வரலாறு

மின்காந்த அலைகளின் வரலாற்றைப் பொருத்த வரையில் முக்கியமான மைல்கற்கள் அதிகம் விவரிக்கப்படாமல் கீழே குறிப்பிடப்பட்டுள்ளன:

1770–90 கேவென்டிஷ் மற்றும் கூலம்ப், நிலை மின்னியலில் அடித்தளங்களை நிறுவினர்

1820 மின்னூட்ட நகர்விற்கும் காந்தப் புலத்திற்கும் இடையேயுள்ள தொடர்பை ஓயர்ஸ்டெட் கண்டறிந்தார்

1820s ஆம்பியர் மின்னோட்டங்களே அனைத்து காந்தவிசையின், நிலைத்த காந்தங்களுக்கும் உட்பட ஆதாரமாக உள்ளதை கண்டறிந்தார்

1831 அந்த நேரத்தில் ஃபாரடே மற்றும் ஹென்றி நேர மாறுபாட்டு காந்த புலங்களே மின் புலத்தின் ஆதாரங்கள் என கண்டறிந்தனர்.

1864 மேக்ஸ்வெல் எல்லாவற்றையும் ஒன்று சேர்த்தார்.

1887 ஹெர்ட்ஸ், மின்காந்த கதிர்வீச்சுஇருப்பதை நிரூபித்தார்.

காலக்கெடு

600 BCE: பண்டைய கிரீஸில் அரக்கின் ஆர்வம் தொடங்கியது

221–206 BCE: சீன காந்தக்கல் திசைகாட்டி

1600: கில்பர்ட் மற்றும் காந்தக்கல்

1752: ஃபிராங்க்ளின் பட்டம் பரிசோதனைகள்

1785: கூலும் விதி

1789: கால்வனிக் மின்சாரம்

1790: மின்னழுத்த மின்சாரம்

1820: காந்தப்புலங்கள்

பயன்பாடுகள் (நிஜ வாழ்க்கை / தொழில்துறை)

1873 இல் வெளியிடப்பட்ட 'மின்சாரம் மற்றும் காந்தவியல் பற்றிய ஒரு ஆய்வு', மேக்ஸ்வெல்லின் முழுமையான மின்காந்தக் கோட்பாட்டை பன்னிரண்டு சமன்பாடுகளில் ஒரு முழு ஆராய்ச்சித் துறையை சுருக்கமாகக் காட்டியது. ஆலிவர் ஹெவிசைட் மேக்ஸ்வெல்லின் கோட்பாட்டை நான்கு சமன்பாடுகளாக சுருக்கி இன்று நன்கு அறியப்பட்டிருக்கிறார். மாக்ஸ்வெல்லின் மின்காந்தக் கோட்பாடு புரட்சிகரமானது, ஏனெனில் அது சரியான திசையில் மின்காந்தவியல் ஆய்வை முற்றிலும் மாற்றியது. ஹெர்ட்ஸ் விண்வெளியில் மின்காந்த அலைகளை கண்டுபிடித்தபோது, வயர்லெஸ் டெலிகிராப் கண்டு பிடிக்கப்பட்டது மற்றும் முதல் முறையாக பெருங்கடல்களுக்கிடையே வேகமான தொலைத்தொடர்பு சாத்தியமானது. மேக்ஸ்வெல்லின் கோட்பாடு மேலும் தொலைதூர மின் கம்பிகளைச் செயல்திறன் மிக்கதாக ஆக்கியது மற்றும் மாக்ஸ்வெல்லின் மின்காந்தவியல் கோட்பாட்டிலிருந்து நாங்கள் மகத்தான தொழில்நுட்பத்தை அடைந்தோம்.

வழக்கு ஆய்வு (சுற்றுச்சூழல் / நிலைத்தன்மை / சமூக / நெறிமுறை சிக்கல்கள்)

சமன்பாடுகளை உருவாக்கும் போது மேக்ஸ்வெல் ஒளியானது மின்சாரம் மற்றும் காந்தம் போன்றது என்று கண்டுபிடித்தார். 19வது நூற்றாண்டின் மத்தியில், சுதந்திர வர்த்தக கொள்கை பற்றியான அமைதியான கருத்து ஐரோப்பிய சமுதாயம் மூலம் மெதுவாக பரவ தொடங்கியது. உண்மையில், ஆதிக்கம் செலுத்தும் பொருளாதார தத்துவம் வர்த்தகவியலாகவே இருந்தது. இது மாநிலங்களின் வளங்களின் கடுமையான பாதுகாப்பு, வர்த்தகம் மீதான அதிக வரி மற்றும் காலனி ஆதிக்கத்தின் கோட்பாடுகளை உருவாக்கின. அறிவார்ந்த கலாச்சாரத்தில் சுதந்திர வர்த்தகத்தின் நன்மைகள் பற்றிய இந்த எண்ணங்கள் அறிவியல் கலாச்சாரத்திலும் ஒரு இடத்தைக் கொண்டிருந்தன. சுயாதீனமாக வேலை செய்வதற்குப் பதிலாக, விஞ்ஞானிகள் தங்கள் சகாக்களின் கருத்துக்களை வளர்த்துக் கொள்வதன் நன்மைகளையும் அறிவியல் கோட்பாடுகளின் ஒப்பீட்டுத் தகுதியை ஒரு சமூகமாக விரிவாக்குவதையும் கண்டுபிடிக்கத் தொடங்கினர் (டர்னர், 1980).

இந்த சுதந்திர வர்த்தக யோசனைதான் மேக்ஸ்வெல்லை ஐரோப்பாவுடன் தனது கோட்பாட்டை சமாதானமாக முன்னணி கோட்பாட்டுடன் ஒப்பிட்டு வழங்க வைத்தது (Forfar, 1995). இருப்பினும், அரசியல்வாதிகள் மற்றும் தொழிலதிபர்கள் உட்பட பொது வாழ்வில் முன்னணியில் இருந்த மக்கள் அறிவியலுக்கும் தங்கள் வேலைக்கும் எந்த சம்பந்தமும் இல்லை என்ற கருத்தை நிராகரித்தனர். தாமதமாக 19வது நூற்றாண்டுவாக்கில், ஜெர்மனி, கிரேட் பிரிட்டனின் பொருளாதார ஆதிக்கத்துக்கு ஒரு தொழில்துறை சவாலாக ஆனது. மேலும் மெதுவாக ஒரு இராணுவ அச்சுறுத்தலாகவும் ஆனது. ஜெர்மனியின் பொது மக்கள் பணத்தால் தங்கள் விஞ்ஞானிகளின் 'ஆராய்ச்சிக்கு அங்கீகாரம் வழங்கி ஜெர்மன், அறிவியலில் செழித்தோங்கியது.

விசாரணையும் ஆர்வமும் உள்ள தலைப்புகள்

மின்காந்தத்தின் முன்னணி கோட்பாடு, ''தொலைவில் உள்ள செயல்'' ஜெர்மனியில் உருவாக்கப்பட்டது. மேக்ஸ்வெல்லின் கோட்பாட்டை ஏற்றுக்கொள்ள ஜெர்மன் விஞ்ஞானிகள் மறுத்தனர். ''ஆன் ஃபாரடேஸ் லைன்ஸ் ஆஃப் ஃபோர்ஸ்'' என்ற தனது ஆய்வறிக்கைக்கு அறிவியல் சமூகத்தின் பதில் இல்லாததால் விரக்தியடைந்த மேக்ஸ்வெல் தனது விரிவான கோட்பாட்டை பன்னிரண்டு சமன்பாடுகளாக மாற்றினார். இது அறிவியல் முன்னேற்றத்தின் இன்றைய வேகத்திற்கு கூட ஒரு பெரிய சாதனையாகும் (ஃபோர்பார், 1995). இருப்பினும், ஜெர்மன் விஞ்ஞானிகள் மின்காந்தவியல் மீதான ஏகபோகத்தை விட்டுக்கொடுக்க மறுத்து, மேக்ஸ்வெல்லின் கோட்பாட்டை காகிதத்தில் வேலை செய்யும் ஒன்று என்று நிராகரிக்க முயன்றனர் (டர்னர், 1980). இருப்பினும், மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகளின் ஆலிவர் ஹெவிசைட் ஆல் மேற்கொள்ளப்பட்ட சிறு மாற்றம் அறிவியலாளர்களின் அலைகளை இதன் மேல் திருப்பத் தொடங்கியது. ஜெர்மன் விஞ்ஞானிகள் மேக்ஸ்வெல்லின் கோட்பாட்டை ஏற்றுக்கொள்ளத் தொடங்கிய பின் மின்காந்த அலைகளை விண்வெளியில் அடையாளம் கண்டு 1887 இல் மின்காந்தவியல் இருப்பை நிரூபித்தார் ஜெர்மன் இயற்பியலாளர் ஹென்ரிச் ஹெர்ட்ஸ் (ஹண்ட், 1983).

மேற்கோள்கள்

Forfar, D. O. (1995, July). *James Clerk Maxwell: Maker of Waves*. Retrieved November 30, 2011, from James Clerk Maxwell Foundation: http://www.clerkmaxwellfoundation.org/Maker_of_Waves.pdf

Hunt, B. J. (1983, September). "Practice vs. Theory": The British Electrical Debate, 1888-1891. *Isis, 74(3)*, 341-355

Turner, F. M. (1980, December). Public Science in Britain, 1880-1919, *Isis, 71(4)*, 589-608.

மேற்கோள்கள் மற்றும் பரிந்துரைக்கப்பட்ட நூல்கள்

1. J. D. Jackson, Classical Electrodynamics, 3rd Edition, John Wiley & Sons, 1999.
2. E. Hecht, Optics, 4th Edition, Pearson Education, 2001.
3. P. Tipler, G. Moscsa, Physics for Scientists and Engineers: Electricity, Magnetism, Light, and Elementary Modern Physics 2, 5th Edition, W. H. Freeman, 2004.
4. J. Reitz, F. Milford, R. Christy, Foundations of Electromagnetic Theory, 4th Edition, Addison Wesley, 1992.
5. A. Bettini, A Course in Classical Physics, Vol. 4 - Waves and Light, 2016.
6. G. Elert, Electromagnetic Waves, The Physics Hypertextbook, 2018.
7. "The Impact of James Clerk Maxwell's Work", (www.clerkmaxwellfoundation.org) Archived from the original on 17 September 2017.
8. "Discovering the Electromagnetic Spectrum" (imagine.gsfc.nasa.gov), 2013.
9. Jeans James, The Growth of Physical Science, Cambridge University Press, 1st Edition, 1947.
10. https://nptel.ac.in/courses/115/101/115101005/
11. https://onlinecourses.nptel.ac.in/noc19_ph08/preview
12. https://depts.washington.edu/mictech/optics/me557/week2.pdf

இயற்பியல் மாறிலிகளின் அட்டவணை

அட்டவணை I : 20°C–ல் பல்வேறு பொருட்களின் மோலார் ஏற்புத்திறன்

ஹீலியம்	-2.38×10^{-11}
ஸெனான்	-5.71×10^{-10}
ஆக்சிஜன்	$+4.3\times10^{-8}$
நைட்ரஜன்	-1.56×10^{-10}
நீர்	-1.631×10^{-10}
பிஸ்மத்	-3.55×10^{-9}

அட்டவணை II : பல்வேறு பொருட்களின் உட்புகு திறன் மற்றும் சார்பு உட்புகுதிறன்

ஊடகம்	**உட்புகுதிறன், μ (H/m)**	**சார்பு உட்புகுதிறன் max., μ/μ_0**
வெற்றிடம்	$4\pi \times 10^{-7}$	1
நீர்	1.256627×10^{-6}	0.999992
ஹைட்ரஜன்	1.2566371×10^{-6}	1
மரக்கட்டை	1.25663760×10^{-6}	1.00000043
காற்று	1.25663753×10^{-6}	1.00000037
பிஸ்மத்	1.25643×10^{-6}	0.999834
கார்பன் ஸ்டீல்	1.26×10^{-4}	100
காப்பர்	1.256629×10^{-6}	0.999994
நிக்கல்	1.26×10^{-4} - 7.54×10^{-4}	100 - 600
பிளாட்டினம்	1.256970×10^{-6}	1.000265
சஃபயர்	1.2566368×10^{-6}	0.99999976
மின்சார ஸ்டீல்	5.0×10^{-3}	4000
பெர்ரைட் (நிக்கல் ஜிங்க்)	1.26×10^{-5} - 2.89×10^{-3}	10 - 2300
பெர்ரைட் (மாங்கனீஸ் ஜிங்க்)	4.4×10^{-4} - 2.51×10^{-2}	350 - 20000
பெர்ரைட் (கோபால்ட் நிக்கல் ஜிங்க்)	5.03×10^{-5} - 1.57×10^{-4}	40 - 125
கோபால்ட் இரும்பு	2.3×10^{-2}	18000
ஆஸ்டினைட் ஸ்டெயின்லெஸ் ஸ்டீல்	1.260×10^{-6} - 8.8×10^{-6}	1.003 - 1.05
டெஃப்லான்	1.2567×10^{-6}	1
சிலிகான் இரும்பு துகள் கலவை	2.39×10^{-5} - 1.13×10^{-4}	19 - 90
பெர்மலாய்	1.25×10^{-1}	100000

அட்டவணை III : பல்வேறு பொருட்களின் மின்காப்பு மாறிலி

ஊடகம்	மின்காப்பு மாறிலி
வெற்றிடம்	1
பாலிமிட்	3.4
பாலிப்ரோபைலின்	2.2 -2.36
பாலிஸ்டெரின்	2.4 - 2.7
கார்பன்–டை–ஸல்ஃபைட்	2.6
மைலார்	3.1
மின் செயல் பாலிமர்	2 - 12
மைக்கா	3 - 6
சிலிக்கான் டை ஆக்ஸைட்	3.9
கான்க்ரீட்	4.5
பைரெக்ஸ்	4.7
நியோபிரின்	6.7
ரப்பர்	7
டைமண்ட்	5.5 - 10
உப்பு	3 - 15
கிராஃபைட்	10 - 15
சிலிக்கான் ரப்பர்	2.9 - 4
சிலிக்கான்	11.68
GaAs	12.4
கண்ணாடி	3.7 - 10
மெத்தனால்	30
எத்திலீன் கிளைகால்	37
பியூர்பியூரால்	42
டைட்டானியம்–டை–ஆக்ஸைட்	86 - 173
ஸ்டரான்சியம் டைட்டனேட்	310
பேரியம் ஸ்டரான்சியம் டைட்டனேட்	500
லெட் ஜிர்கோனேட் டைட்டனேட்	500 - 6000
கால்சியம் காப்பர் டைட்டனேட்	> 250000

பிற்சேர்க்கைகள்

பிற்சேர்க்கை – A: செய்முறைகளுக்கான பரிந்துரைக்கப்பட்ட மாதிரி வடிவங்கள்

- **நோக்கம்**
  சோதனையின் நோக்கம் பற்றி சுருக்கமாக விளக்குங்கள்.

- **சம்பந்தம்**
  உங்கள் சொந்த வார்த்தைகளில் பரிசோதனையின் பொருத்தத்தைப் பற்றி விளக்கவும்.

- **தேவைகள்**
  தேவையான அனைத்து சாதனங்களையும் அவற்றின் சரியான விவரக்குறிப்புகளுடன் பட்டியலிடுங்கள்.

- **செயல்முறை, அவதானிப்புகள் மற்றும் அனுமானம்**
  பரிசோதனையின் செயல்முறையை படி வாரியாக விவரிக்கவும் மற்றும் துல்லியமாக ஊகிக்க அவதானிப்புகளை சரியாக கவனிக்கவும். கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளதைப் போன்ற ஒரு அட்டவணையை நீங்கள் பயன்படுத்தலாம்:

படி எண்	செயல்முறை	அவதானிப்பு	அனுமானம்
1.			
2.			
3.			

- **வீடியோ/அனிமேஷன்**
  முடிந்தால், படிகளை சுய ரீதியாகப் பார்க்க நீங்கள் சில வீடியோ/ அனிமேஷன் மூலம் செல்லலாம்.

- **கணக்கீடுகள்**
  முறையாக பரிசோதனைகளுக்கு தேவையான அனைத்து இயல் அளவுகளையும் கணக்கிட வேண்டும்.

- **முடிவு மற்றும் கலந்துரையாடல் (பிழை அளவீடு)**
  இறுதி முடிவைப் பெறுங்கள் மற்றும் உங்கள் பரிசோதனையின் போது உருவாகக்கூடிய பிழைகளின் சரியான கருத்தோடு அதைப் பற்றி விவாதிக்கவும் .

- **முடிவுகள்**
  இறுதியாக பெறப்பட்ட தீர்வுகளின் அடிப்படையில் ஒரு முடிவை எடுக்கின்றன.

- **பரிசோதனையில் உள்ள தலைப்புகளின் சரிபார்ப்பு**
  நிஜ வாழ்க்கை சூழ்நிலையில் பரிசோதனையின் முடிவை சரிபார்க்க முயற்சிக்கவும்.

- **ICT இன் பயன்பாடு**
  நீங்கள் கிடைக்கக்கூடிய வலைதள ஆதாரங்களைப் பயன்படுத்தி படிக்கலாம். நேரக் கட்டுப்பாடு இல்லாததால் இவை பயனுள்ளதாக இருக்கும். அவற்றில் சில கீழே பட்டியலிடப்பட்டுள்ளன (மட்டுப் படுத்தப்படவில்லை):

  <https://swayam.gov.in/>
  <https://nptel.ac.in/>
  <https://www.swayamprabha.gov.in/>

பயிற்றுவிப்பாளர் மற்றும் ஆய்வக தொழில்நுட்ப வல்லுநர்களுக்கான குறிப்புகள்

சில பொது மற்றும் குறிப்பிட்ட அறிவுறுத்தல்கள் தனித்தனியாக பட்டியலிடப்பட்டுள்ளன [இணைப்பு V ஐப் பார்க்கவும்] ஆய்வகத் தயாரிப்பு, பராமரிப்பு, பாதுகாப்பு அம்சங்கள், முதலியன. ஆய்வக பயிற்றுவிப்பாளர் மற்றும் ஆய்வக–தொழில்நுட்ப வல்லுநர்கள் அந்த அறிவுறுத்தல்களை ஒழுங்காகப் பின்பற்றலாம்.

பிற்சேர்க்கை – B: புதிய செய்முறைகள் / திட்டங்கள் / நடவடிக்கைகளுக்கான குழு வழங்கல் மதிப்பீட்டிற்காக குறிப்பிட்ட வழிகாட்டுதல்கள்

திட்டம் சார்ந்த திறன்கள்

திட்ட அளவைகள் மற்றும் நிலை	வளர்ச்சி	திறன்	புலமை
கையாளுதல் அமைப்பு			
தரவைப் பதிவு செய்தல்			
கால நிர்வாகம்			
குழு வேலை			
தனிப்பட்ட வேலை			
பாதுகாப்பு முன்னெச்சரிக்கைகள்			

தயாரிப்பு தொடர்பான திறன்

அளவுகோல்கள் மற்றும் நிலை	வளர்ச்சி	திறன்	புலமை
உள்ளடக்கம்			
ஆராய்ச்சி / ஆய்வு			
சமீபத்திய தொழில்நுட்பத்தின்			
பயன்பாடு			
தலைப்பில் உள்ளவை			
தயார்நிலை			
விளக்கக்காட்சியின் நம்பிக்கை			
ppt தயாரிக்கும் திறன் உட்பட			
ICT பயன்பாடு			
கால நிர்வாகம்			
குழு முயற்சிகள்			
தனிப்பட்ட முயற்சிகள்			

பிற்சேர்க்கை – C: மதிப்பீடுகள் ப்ளூம்–ன் நிலைக்கு சீரமைக்கப்பட்டன

– திருத்தப்பட்ட ப்ளூமின் வகைபிரித்தல் – கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளபடி இந்த நாற்கரத்திற்கான கேள்விகளின் வளர்ச்சிக்காக பின்வரும் இரண்டு பிரிவுகளாக இணைக்கப்பட்டுள்ளது:

வகை I கேள்விகள்	வகை II கேள்விகள் – உயர் ஒழுங்கு சிந்தனை திறன்
ப்ளூமின் நிலை 1: நினைவில் கொள்ளுங்கள்	ப்ளூமின் நிலை 4: பகுப்பாய்வு செய்யவும்
ப்ளூமின் நிலை 2: புரிந்து கொள்ளுங்கள்	ப்ளூமின் நிலை 5: மதிப்பிடு
ப்ளூமின் நிலை 3: பயன்படுத்துங்கள்	ப்ளூமின் நிலை 6: உருவாக்கு

பிற்சேர்க்கை – D: செய்முறைகளுக்கான குறியீடு

வ எண்	பககம எண	பரிசோதனையின் பெயர்	தேதி			மதிப் பெண்கள்	கையொப்பம்
			உண்மையானவை	திருப்புதல்	பதிவு		
1.		கொடுக்கப்பட்ட மின்காப்பு பொருளின் மின்காப்பு மாறிலி தீர்மானித்தல்					
2.		ஃபாரடேயின் விதி மற்றும் மின்காந்த தூண்டலின் லென்ஸின் சட்டம் பற்றிய ஆய்வு					
3.		BH வளைவைப் பயன்படுத்தி ஒருகாந்தப் பொருளின் ஆற்றல் இழப்பைக் கணக்கிட					
4.		ஹால் விளைவு பரிசோதனையைப் பயன்படுத்தி ஒரு குறைக்கடத்தி மாதிரியின் ஹால் இணை–செயல்திறன் மற்றும் மின்னூட்ட செறிவு அளவீடு					
5.		ஒரு தொடர் LCR சுற்றின் அதிர்வு நிலை பற்றிய ஆய்வு					
6.		ஜேஜே தாம்சனின் முறையால் எலக்ட்ரானின் தன் மின்னூட்ட எண் (e/m) தீர்மானித்தல்					
7.		ஹெல்ம்ஹோல்ட்ஸ் சுருள்களைப் பயன்படுத்தி காந்தப்புலத்தின் மாறுபாடு பற்றிய ஆய்வு					

இணைப்புகள்

இணைப்பு– I சில முக்கியமான இரண்டாம் வரிசை பகுதி வகைக்கெழு சமன்பாடுகள்

(i) **நிலை மின்னழுத்தம்:** மின்னூட்ட விநியோகம் காரணமாக உருவான நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல் V என்பது வெளி மாறிகள் x, y மற்றும் z சார்பு ஆகும். நிர்ணயிக்கும் சமன்பாடு V நன்கு அறியப்பட்ட பகுதி வகைக்கெழு சமன்பாடு ஆகும்.

$$\nabla^2 V = \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = \left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) V = 4\pi\rho$$

இங்கே $\rho = \phi(x, y, z)$, கொடுக்கப்பட்ட கனஅளவு –விநியோக மின்னூட்டம்.

சமன்பாடு $\nabla^2 V = 4\pi\rho$ பாய்சனின் நிலை மின்னியல் சமன்பாடு ஆகும்.

எனினும் இப்பகுதி மின்னூட்டம் இல்லாமல் இருந்தால், $\rho = 0$.

$$\nabla^2 V = 0$$

இது நிலை மின்னியல் மற்றும் லாப்லேஸின் சமன்பாடு ஆகும்.

$$\nabla^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} = \sum \frac{\partial^2}{\partial x^2}$$

லாப்லாசியன் ஆபரேட்டர் அல்லது வெறுமனே லாப்லாசியன்.

அலைகளின் பரவுதல்: ஒரு பொருண்மை அலையின் வடிவத்தில் பரவும் போது, அது x, y, z (வெளி ஆயத்தொலைவுகள்) மற்றும் t (நேர மாறி) ஆகியவற்றின் செயல்பாடாகும்.

$$\psi = \phi(x, y, z, t)$$

திருப்திப்படுத்தப்பட்ட சமன்பாடு ψ வழங்கப்படுகிறது.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2} = c^2 \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) = c^2 \nabla^2 \psi$$

c என்பது அலை பரவல் திசைவேகமாகும். இது அலை சமன்பாடு என்று அழைக்கப்படுகிறது.

மீள் அலைகளுக்கு, ψ என்பது இடப்பெயர்வின் ஒரு கூறு ஆனால் மின்காந்த அலைகளுக்கு அது மின் அல்லது காந்த செறிவின் ஒரு கூறு.

(ii) **மேக்ஸ்வெல்லின் புல சமன்பாடுகள்:** இவை மின் மற்றும் காந்த செறிவு வெக்டர் E மற்றும் H சம்பந்தப்பட்ட வேறுபட்ட சமன்பாடுகளின் தொகுப்பாகும் மற்றும் மின்காந்தத்தின் அனைத்து பிரச்சனை களிலும் அடிப்படை முக்கியத்துவம் வாய்ந்தவை.

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \qquad \vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} . \vec{D} = \rho \qquad \vec{\nabla} . \vec{B} = 0$$

இணைப்பு – II லாப்லேஸ் சமன்பாட்டின் தீர்வு

முப்பரிமாண கார்ட்டீசியன் வடிவம்:

$$u(x, y, z) = X(x)Y(y)Z(z)$$

மூன்று பரிமாண (கார்ட்டீசியன்) லாப்லேஸ் சமன்பாடுகளை தீர்வாக எடுத்துக் கொள்க:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0$$

மேற்கண்ட சமன்பாட்டில் $u(x, y, z)$ ஐ பதிலிட மற்றும் XYZ ஆல் முழுவதும் வகுக்க நாம் பெறுவது

$$\frac{1}{X}\frac{d^2X}{dx^2} + \frac{1}{Y}\frac{d^2Y}{dy^2} + \frac{1}{Z}\frac{d^2Z}{dz^2} = 0$$

இந்த தொடர்பு வடிவம்

$$f_1(x) + f_2(y) + f_3(z) = 0$$

x, y, z ஆகியவை சார்பற்றதாக இருந்தால் மட்டுமே f_1, f_2, f_3 ஆகியவை மாறிலி சார்பாக இருக்கும். இம்மாறிலிகளை $k^2, l^2, -(k^2 + l^2)$ ஆக எடுத்துக்கொண்டால், நாம் பெறுவது

$$\frac{d^2X}{dx^2} - k^2X = 0$$
$$\frac{d^2Y}{dy^2} - l^2y = 0$$
$$\frac{d^2Z}{dz^2} + (k^2 + l^2) = 0$$

இங்கு k^2, l^2 உண்மையான அல்லது சிக்கலானதாக இருக்கும்.

இவை அந்தந்த தீர்வுகளைக் கொண்டுள்ளன.

$$X = Ae^{kx} + Be^{-kx}$$
$$Y = Ce^{ly} + De^{-ly}$$
$$Z = E\cos\sqrt{k^2 + l^2}\,z + F\sin\sqrt{k^2 + l^2}\,z$$
$$\therefore \quad u = XYZ = (Ae^{kx} + Be^{-kx})(Ce^{ly} + De^{-ly})(E\cos\sqrt{k^2 + l^2}\,z + F\sin\sqrt{k^2 + l^2}\,z)$$

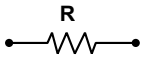
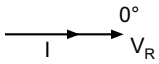
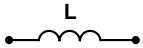
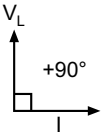
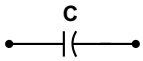
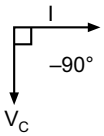
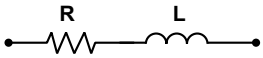
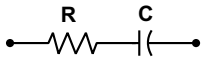
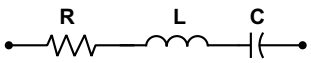
இணைப்பு – III தொடர் RLC சுற்று கட்ட கோணம்

சுற்றின் கட்டக் கோணம் தீட்டா (ϕ) எப்பொழுதும் சுற்றின் மின்னோட்டத்தையும் பிரயோகிக்கும் மின்னழுத்த மூலத்தையும் பிரிக்கும் கோணமாகும் கீழே சுருக்கமாக கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.

- ஒரு தொடர் RLC சுற்றானது, தூண்டல் மற்றும் நேர்மறையான கட்ட கோணத்தைக் கொண்டிருக்கும்போது தூண்டல் வினைத்திறன் மற்றும் இதன் விளைவாக மின்னழுத்தம் மின்தேக்கி எதிர்வினை மற்றும் மின்தேக்கி முழுவதும் மின்னழுத்தம் அதிகமாக இருக்கும்.

- ஒரு தொடர் RLC சுற்றானது, மின்தேக்கி மற்றும் எதிர்மறை கட்ட கோணத்தைக் கொண்டிருக்கும்போது மின்தேக்கி எதிர்வினை மற்றும் அதன் விளைவாக மின்னழுத்தம் தூண்டல் வினைத்திறன் மற்றும் தூண்டியின் மீது மின்னழுத்தம் அதிகமாக இருக்கும்.

அட்டவணை A.1

Circult Elements	Impedance Z	Phase Angle (ϕ)
	$Z = R$	
	$Z = X_L$	
	$Z = X_C$	
	$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$	Positive, between 0° and 90°
	$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$	Negative, between –90° and 0°
	$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$	Negative if $X_C > X_L$ Positive if $X_C < X_L$

இணைப்பு – IV லெஜண்டர் பல்லுறுப்பு கோவைகள்

லெஜண்டர் பல்லுறுப்பு கோவைகள் $P_n\ (u)$ வரிசை n பின்வரும் உருவாக்கும் செயல்பாடு மூலமாக வரையறுக்கலாம்:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + h^2 - 2hu}} = \sum_{n=0}^{\infty} h^n P_n(u)$$

இங்கு $|h| < 1, |u| < 1$

இதுவே முதல் 5 லெஜண்டர் அடுக்குக்கோவைகளாலானவை:

$$P_0(u) = 1$$
$$P_1(u) = u$$
$$P_2(u) = \frac{3u^2 - 1}{2}$$
$$P_3(u) = \frac{5u^3 - 3u}{2}$$
$$P_4(u) = \frac{35u^4 - 30u^2 + 3}{8}$$

சில லெஜண்டர் பல்லுறுப்புக்கோவை வாய்ப்பாடுகளில் மேலும் $n = -1$ குறியீடு கிடைக்கிறது. இந்த குறியீடு செல்லுபடியாகும் பொருட்டு, $P_{-1}(u) = P'_{-1}(u) = P''_{-1}(u) = 0$ மாற்றை பயன்படுத்த வேண்டும்

இங்கு $P'_n = P'_n(u)$ மற்றும் $P''_n = P''_n(u)$ லெஜண்டர் அடுக்குக்கோவை முதல் மற்றும் இரண்டாவதைக் குறிக்கிறது. $P_n = P_n(u)$

லெஜண்டர் அடுக்குக்கோவைகளின் சிறப்பு மதிப்புகள்

பின்வருமாறு:

$$P_n(1) = 1$$
$$P_n(-1) = (-1)^n$$
$$P_{2n+1}(0) = 0$$
$$P_{2n}(0) = (-1)^n \frac{2n!}{\left(2^n n!\right)^2}$$
$$P'_n(\pm 1) = (\pm 1)^{n+1} \frac{n(n+1)}{2}$$

பின்வரும், 2 நிகழ்தல் தொடர்புகளைப் வேகமாக கணக்கீடு லெஜண்டர் அடுக்குக்கோவைகளாலான மற்றும் அவைகளின் முதல் பங்குகள் (n க்கு > 1) பின்வரும்:

$$P_n = 2uP_{n-1} - P_{n-2} - (uP_{n-1} - P_{n-2}) / n$$
$$P'_n = 2uP'_{n-1} - P'_{n-2} + (uP'_{n-1} - P'_{n-2}) / (n-1)$$

உடன் $P'_0(u) = 0,\ P'_1(u) = 1$

மீண்டும் நிகழ்வு தொடர்புகள் உயர் வரிசை வகைக்கெழுக்கள் செல்லுபடியாகும்

$$P_n^{(m)} = d^m P_n / du^m \quad (\text{for } n > m)$$
$$P_n^{(m)} = 2uP_{n-1}^{(m)} - P_{n-2}^{(m)} + \frac{2m-1}{n-m}\left(uP_{n-1}^{(m)} - P_{n-2}^{(m)}\right)$$

நிகழ்வு தொடர்புகள் மிகவும் பகுப்பாய்வு மற்றும் எண் விசாரணைகளை லெஜண்டர் அடுக்குக் கோவைகளுடன் இணைக்க பயனுள்ளதாக இருக்கும்.

P_n மற்றும் P_n' இரண்டையும் உள்ளடக்கிய வேறு பல கலவையான மறுபிறப்பு உறவுகள் உள்ளன.

$$nP_n = uP_n^{'} - P_{n-1}^{'}$$
$$(n+1)P_n = P_{n+1}^{'} - uP_n^{'}$$
$$(2n+1)P_n = P_{n+1}^{'} - P_{n-1}^{'}$$
$$(1-u^2)P_n^{'} = n(P_{n-1} - uP_n)$$
$$(1-u^2)P_n^{'} = (n+1)(uP_n - P_{n+1})$$

u மூலம் மேலே சமன்பாடுகள் வகைப்படுத்தும், நாம் இரண்டாவது வரிசை கோவை P_n'' கொண்ட பயனுள்ள தொடர்புகள் பெற

$$(1-u^2)P_n^{''} = (n+2)uP_n^{'} - nP_{n+1}^{'}$$
$$(1-u^2)P_n^{''} = (n+1)P_{n-1}^{'} - (n-1)uP_n^{'}$$
$$(1-u^2)P_n^{''} = 2P_{n-1}^{'} - n(n-1)P_n$$
$$(1-u^2)P_n^{''} = 2P_{n+1}^{'} - (n+1)(n+2)P_n$$

இணைப்பு – V அளவீடுகளில் பல்வேறு வகையான பிழைகள்

அளவீடுகள் மற்றும் அறிவியல் மற்றும் தொழில்நுட்பத்தில் அதன் முக்கியத்துவம்

அளவீடுகள் எண் மதிப்புகளைப் பயன்படுத்துவதன் மூலம் ஒரு உண்மையான நேர அமைப்பு தொடர்பான எண் மதிப்புகளுக்கு தொடர்புடைய அளவுகளைக் குறிக்கின்றன. துல்லியமான அளவீடுகளுக்கான தேவைகள்:

(i) எந்திரம் துல்லியமாக இருக்க வேண்டும்,

(ii) பயன்படுத்தப்பட்ட முறை நிரூபிக்கப்பட வேண்டும் மற்றும்

(iii) பயன்படுத்தப்படும் தரநிலை சரியாக வரையறுக்கப்பட வேண்டும்.

அறிவியல் மற்றும் தொழில்நுட்பத்தில், நடைமுறை சான்றுகளுடன் உண்மையான அளவிடப்பட்ட மதிப்புகள் கிடைக்காமல் முன்னேற்றம் சிறிய முக்கியத்துவம் வாய்ந்தது. சாதனம் என்பவை மாறியைத் தீர்மானிக்கும் ஒரு கருவி. அறியப்படாத அளவுகளின் மதிப்புகளை அளவிட மனிதர்களுக்கு இது உதவுகிறது. ஒரு கருவி மின்னணு, இயந்திர அல்லது மின்னியல் ஆக இருக்கலாம். நேரத்தைப் பொருத்து அளவிடப்பட்ட அளவின் மாறுபாட்டின் அளவை அடிப்படையாகக் கொண்டு, ஒரு கருவி நிலையான அல்லது மாறும் பண்புகளைக் கொண்டிருக்கலாம்.

அளவீட்டில் பிழைகள்

எந்த அளவுருவை அளவிடுவதற்கு உகந்த நிலைமைகள் பயன்படுத்தப்பட்டால், வெவ்வேறு காரணிகளின் சராசரி விலகல்கள் பூஜ்ஜியமாக இருக்கும். அளவிடப்பட்ட மதிப்புகளின் இந்த எல்லையற்ற எண்களின் சராசரி, உண்மையான மதிப்பு என்று அழைக்கப்படுகிறது. ஆனால் எதிர்மறை மற்றும் நேர்மறை விலகல்கள் நடைமுறையில் ஒன்றுக்கொன்று ரத்து செய்யாததால் இது கற்பனையானது. சிறந்த நிலைமைகளின்

கீழ் பெறப்பட்ட அளவிடப்பட்ட மதிப்பு உண்மையான மதிப்பு அல்லது சிறந்த அளவிடப்பட்ட மதிப்பு என்று கருதப்படுகிறது. சீர்மிகு மதிப்புக்கும் உண்மையான மதிப்புக்கும் உள்ள வேறுபாடு பிழை என்று அழைக்கப்படுகிறது.

பிழைகளின் வகைகள்

முறையான பிழைகள் பொதுவாக மூன்று வகைகளாகும்;

(i) கருவி பிழைகள்,

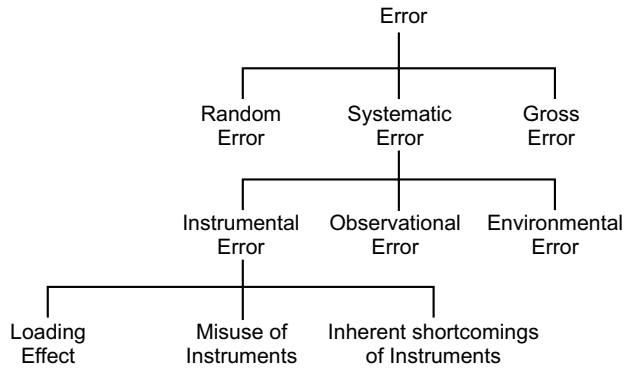
(ii) சுற்றுச்சூழல் பிழைகள் மற்றும்

(iii) கண்காணிப்பு பிழைகள்.

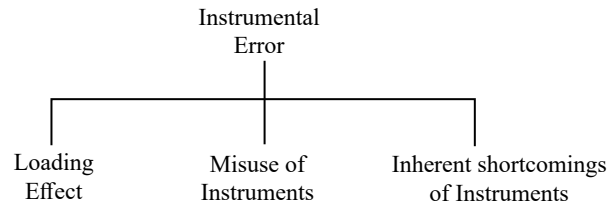
கருவிகளில் உள்ள குறைபாடுகள், கருவிகளின் முறையற்ற பயன்பாடு அல்லது கருவியின் பளு ஏற்றுதல் விளைவு காரணமாக கருவி பிழைகள் ஏற்படுகின்றன. ஒரு கருவியின் முறையற்ற கட்டுமானம், அளவுத்திருத்தம் அல்லது செயல்பாடு சில உள்ளார்ந்த பிழைகளை ஏற்படுத்தக்கூடும். வெப்பநிலை, ஈரப்பதம், தூசி கிடைப்பது, அதிர்வுகள் அல்லது வெளிப்புற காந்த அல்லது மின்னியல் புலங்களின் விளைவுகள் உள்ளிட்ட கருவியின் வெளிப்புற சுற்றுப்புற நிலைமைகளால் சுற்றுச்சூழல் பிழைகள் ஏற்படுகின்றன. சீரற்ற பிழை என்பது ஒரு அளவீட்டில் இருந்து மற்றொன்றுக்கு மாறக்கூடிய சில சிறிய காரணிகளால் ஏற்படுகின்றன.

எந்தவொரு கருவியின் உற்பத்தியாளரும் ஒரு குறிப்பிட்ட துல்லியத்தை வரையறுக்கிறார், இது பொருள் வகை மற்றும் கருவியை உற்பத்தி செய்யும் முயற்சியைப் பொருத்தது. இந்த துல்லியம் பெயரளவு மதிப்பில் இருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட விலகலுக்குள் வரையறுக்கப்படுகிறது. இந்த விலகல்களின் வரம்புகள் வரையறுக்கும் பிழைகள் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. குறிப்பிட்ட பெயரளவு மதிப்பின் பிழையின் விகிதம் தொடர்பு வரம்பு பிழை என்று அழைக்கப்படுகிறது. ஒரு கருவியைப் படிப்பது அல்லது எந்த அளவீடுகளையும் பதிவு செய்வதில் உள்ள கையேடு பிழைகள் சோதனைகளின் போது ஏற்படும் மொத்தப் பிழைகள் எனப்படும். எந்த அறிவியல் அளவீடுகளிலும் பிழைகள் படம் A.1 இல் வழங்கப்பட்டுள்ள பல்வேறு ஆதாரங்களில் இருந்து நிகழலாம்.

பல ஆதாரங்களுக்கான கருவி அளவிடுதலின் தவறான ஆய்வு காரணமாக அவதானிப்பு பிழைகள் ஏற்படலாம். மறுபுறம், அளவீட்டு கருவிகளின் பிழைகள் வெளிப்புற சூழ்நிலைகள் காரணமாக சுற்றுச்சூழல் பிழைகள் நிகழ்கின்றன, பெரும்பாலும் வெப்பநிலை விளைவு, ஆற்றல், ஈரப்பதம், மாசு, அதிர்வு காரணமாக பிழைகள் நிகழ்கின்றன. படம் A.2 இல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி சில காரணங்களுக்காக கருவி பிழைகள் நிகழ்கின்றன.



படம் A.1 அளவீடுகளில் பிழைகள்



படம் A.2 கருவி பிழைகளுக்கு காரணமான காரணிகள்

அவற்றின் இயந்திர அமைப்பால் சாதனங்களின் உள்ளார்ந்த வரம்பு உள்ளது.

அளவீட்டில் பிழைகள் கணக்கீடு

இந்த பிழைகள் மூன்று வகைகளாக வகைப்படுத்தப்படுகின்றன:

(i) முழுமையான பிழை,

(ii) தொடர்பு பிழை மற்றும்

(iii) சதவீத பிழை.

முழுமையான பிழை, உண்மையான மற்றும் அளவிடப்பட்ட மதிப்புகளுக்கு இடையிலான மாறுபாடு என வரையறுக்கப்படுகிறது.

அளவிடப்பட்ட மதிப்பு V_A என்றும், சரியான மதிப்பு V_E என்றும் குறிப்பிடுகிறது.

முழுமையான பிழை = $|V_A - V_E|$

தொடர்பு பிழை = $\frac{\text{Absolute error}}{\text{Actual error}} = \frac{|V_A - V_E|}{V_E}$

சதவீத பிழை (%) = $\frac{|V_A - V_E|}{V_E} \times 100$

எடுத்துக்காட்டு: ஒரு நீளம் 6.8 cm என கணக்கிடப்பட்டது ஆனால் முழுமையான நீளம் 6.74 cm முழுமையான, தொடர்பு மற்றும் சதவீதத்திற்கான பிழைகளைக் கண்டறியவும்.

கொடுக்கப்பட்டவை V_A = 6.8 cm மற்றும் V_E =6.74 cm

முழுமையான பிழை = $|V_A - V_E|$ = |6.8-6.74| = 0.06 cm

தொடர்பு பிழை = $\frac{|V_A - V_E|}{V_E} = \frac{0.06}{6.74} = 0.0089$

சதவிகித பிழை (%) = $\frac{|V_A - V_E|}{V_E} \times 100 = \frac{0.06}{6.74} \times 100 = 0.89\%$

எண்கணித சராசரி மதிப்பு

சீரற்ற பிழைகளை குறைக்க, அளவீடுகள் மீண்டும் மீண்டும் எடுக்கப்பட்டு அளவிடப்பட்ட அளவின் சராசரி மதிப்பு சரியான மதிப்பாக எடுக்கப்படுகிறது. எண்கணித சராசரி மதிப்பு மிகவும் துல்லியமான மதிப்புக்கு மிக அருகில் இருக்கும். கவனிப்பு எண்ணிக்கை 'எடுக்கப்பட்டால் n' முறை, சீரற்ற பிழை $\frac{1}{n}$ முறை குறைகிறது.

$a_1, a_2, a_3 \ldots , a_n$ ஆகியவை ஒரு இயல் அளவுகளின் வெவ்வேறு அளவீடுகள் ஆகும். மிகவும் துல்லியமான மதிப்பு என்பது அதன் எண்கணித சராசரி மதிப்பாக பெறலாம்.

$$a_{mean} = \frac{a_1 + a_2 + ... + a_n}{n}$$

$$= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_i$$

முழுமையான பிழை

அளவின் உண்மையான மதிப்புக்கும் அளவிடப்பட்ட மதிப்புக்கும் உள்ள வித்தியாசத்தின் அளவீடு அளவீட்டில் முழுமையான பிழை என அறியப்படுகிறது. அளவின் உண்மையான மதிப்பு தெரியாததால், அளவிடப்பட்ட மதிப்புகளின் எண்கணித சராசரி, உண்மையான மதிப்பாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது.

If $a_1, a_2, \ldots$ என்பவை குறிப்பிட்ட அளவின் அளவிடப்பட்ட மதிப்புகள் ஆகும்.

$\Delta a_1, \Delta a_2, \ldots\ldots\ldots$ என்பவை அளவீட்டில் பிழைகளாக

$\Delta a_1 = a_{mean} - a_1$

$\Delta a_2 = a_{mean} - a_2$

$\Delta a_3 = a_{mean} - a_3$

$\Delta a_4 = a_{mean} - a_4$ மற்றும்

அனைத்து முழுமையான பிழைகளின் எண்கணித சராசரி அளவீட்டில் இறுதி முழுமையான பிழையாகக் கருதப்படுகிறது மற்றும் இது சராசரி முழுமையான பிழை என்று அழைக்கப்படுகிறது. ஒற்றை அளவீட்டில் பெறப்பட்ட மதிப்பு வரம்பில் இருக்கலாம்: $a_{mean} \pm \Delta a_{mean}$

தொடர்பு பிழை

அளவிடப்பட்ட அளவின் உண்மையான மதிப்புக்கு முழுமையான பிழையின் விகிதம் ஒப்பீட்டு பிழை அல்லது பின்ன பிழை என அறியப்படுகிறது. எண்கணித சராசரி மதிப்பு உண்மையான மதிப்பாக எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதால்,

தொடர்பு பிழை, $\delta a = \frac{\Delta a_{mean}}{a_{mean}}$

சதவிகித பிழை

தொடர்பு பிழை, சதவிகித பிழையாக குறிப்பிடப்படுவதால்,

சதவிகித பிழை $= \frac{\Delta a_{mean}}{a_{mean}} \times 100\%$

உதாரணம்: ஒரு கம்பியின் ஆரம் ஒரு திருகு அளவைப் பயன்படுத்தி அளவிடும்போது, அடுத்தடுத்த அளவீடுகள் 1.21 மிமீ, 1.19 மிமீ, 1.20 மிமீ, 1.18 மிமீ மற்றும் 1.17 மிமீ என அளவிடப்படுகிறது. அளவீட்டில் முழுமையான பிழைகள் மற்றும் தொடர்புடைய பிழைகளைத் தீர்மானிக்கவும்.

விடை: எண்கணித சராசரி மதிப்பு, $a_{mean} = \frac{1.21+1.19+1.20+1.18+1.17}{5}$

$= 1.19\,\text{mm}$

சராசரி மற்றும் அளவிடப்பட்ட மதிப்பு இடையே உள்ள வேறுபாடு mm ல்	பிழைகளின் எண்மதிப்பு mm ல்
1.21-1.19 = 0.02	0.02
1.19-1.19 = 0.00	0.00
1.20-1.19 = 0.01	0.01
1.18-1.19 = -0.01	0.01
1.17-1.19 = -0.02	0.02

முழுமையான பிழைகளின் கூட்டப்பட்ட சராசரி, $\Delta a_{mean} = \frac{0.02+0.00+0.01+0.01+0.02}{5}$

$= 0.016\,\text{mm}$

தொடர்பு பிழை, $\delta a = \frac{\Delta a_{mean}}{a_{mean}} = \frac{0.016}{1.19} = 0.0134$

சதவிகித பிழை $= \frac{\Delta a_{mean}}{a_{mean}} \times 100\% = \pm 1.34\%$

பிழைகளின் சேர்க்கை

சில அளவீடுகளை இணைப்பதன் மூலம் ஒரு அளவு பெறப்பட்டால், அந்த அளவீடுகளில் உள்ள பிழைகள் ஏதோ ஒரு வகையில் அல்லது வேறு வழியில் இணையும்.

அளவின் கூட்டுத்தொகையில் உள்ள பிழை

$A \pm \Delta A$ மற்றும் $B \pm \Delta B$ ஆக அளவிடப்படும் இரண்டு அளவுகள் முறையே A மற்றும் B ஐ கருத்தில் கொள்க. இது ஒரு முறையே ΔA மற்றும் ΔB ஆகியவை அளவீடுகளில் முழுமையான பிழைகள்.

பிழை ΔZ ஐ கணக்கிட $Z = A + B$ ன் கூட்டுத் தொகையாக இருக்கும்.

$$Z \pm \Delta Z = (A \pm \Delta A) + (B \pm \Delta B) = A + B \pm \Delta A \pm \Delta B$$

Z இன் மதிப்பில் உள்ள அதிகபட்ச சாத்திய பிழை,

$$\Delta Z = \Delta A + \Delta B.$$

எனவே, இரண்டு அளவுகள் சேர்க்கப்படும்போது, முடிவில் முழுமையான பிழை என்பது அளவிடப்பட்ட அளவுகளில் உள்ள முழுமையான பிழைகளின் கூட்டுத்தொகையாகும்.

அளவின் வேறுபாட்டில் பிழைகள்

நாம் இரண்டு அளவுகளை A மற்றும் B கருத்தில் கொள்ள அவை முறையே A ±ΔA மற்றும் B ±ΔB ஆக அளவிடப்படுகிறது. ΔA மற்றும் ΔB ஆகியவை அவற்றின் அளவீடுகளில் முழுமையான பிழைகள்.

வித்தியாசத்தில் ஏற்படக்கூடிய பிழை ΔZ ஐத் தீர்மானிக்க $Z = A - B$,

$$Z \pm \Delta Z = (A \pm \Delta A) - (B \pm \Delta B)$$

$$= A - B \pm \Delta A \pm \Delta B$$

எனவே Z இன் மதிப்பில் சாத்தியமான அதிகபட்ச பிழை

$$\Delta Z = \Delta A + \Delta B.$$

எனவே, இரண்டு அளவுகளைக் கழிக்கும்போது, முடிவின் முழுமையான பிழை என்பது அளவிடப்பட்ட அளவுகளில் உள்ள முழுமையான பிழைகளின் கூட்டுத்தொகையாகும்.

அளவின் உற்பத்தியில் பிழை

நாம் இரண்டு அளவுகளை A மற்றும் B கருத்தில் கொள்ள அவை முறையே A ±ΔA மற்றும் B ±ΔB ஆக அளவிடப்படுகிறது. ; ΔA மற்றும் ΔB ஆகியவை அவற்றின் அளவீடுகளில் முழுமையான பிழைகள்.

தயாரிப்பில் ஏற்படக்கூடிய பிழை ΔZ ஐ பெற $Z = AB$,

$$Z \pm \Delta Z = (A \pm \Delta A)\,(B \pm \Delta B)$$

$$= AB \pm A\Delta B \pm B\Delta A \pm \Delta A\Delta B$$

ஆக, இடது பக்கம் Z ஆல் மற்றும் வலது பக்கம் AB ஆல் வகுக்க,

Zல் அதிகபட்ச பின்ன பிழை,

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{\Delta A}{A} \pm \frac{\Delta B}{B}$$

(ΔA மற்றும் ΔB சிறியதாக இருப்பதால், அவற்றின் தயாரிப்புகள் $\frac{\Delta A \Delta B}{AB}$ மிகச்சிறியவை மற்றும் புறக்கணிக்கப்படலாம்)

எனவே இரண்டு அளவுகள் பெருக்கப்படும்போது, இதன் விளைவாக உள்ள பிழை என்பது அளவிடப்பட்ட அளவுகளில் உள்ள பின்னப் பிழைகளின் கூட்டுத்தொகையாகும்.

ஈவின் அளவில் உள்ள பிழை

நாம் இரண்டு அளவுகளை A மற்றும் B கருத்தில் கொள்ள அவை முறையே A ±ΔA மற்றும் B ±ΔB ஆக அளவிடப்படுகிறது. ΔA மற்றும் ΔB ஆகியவை அவற்றின் அளவீடுகளில் முழுமையான பிழைகள்.

ஈவில் ஏற்படும் பிழை ΔZ ஐ கண்டுபிடிக்க $Z = \frac{A}{B}$,

$$Z \pm \Delta Z = \frac{A \pm \Delta A}{B \pm \Delta B}$$

அதே வழியில் தீர்க்க, Z ல் அதிகபட்ச பின்ன பிழை,

$$\frac{\Delta Z}{Z} = \frac{\Delta A}{A} \pm \frac{\Delta B}{B}$$

எனவே, இரண்டு அளவுகளை வகுக்கும்போது, விளைவுகளில் பின்னமான பிழை என்பது அளவிடப்பட்ட அளவுகளில் பின்ன பிழைகளின் கூடுதல் ஆகும்.

Zல் அது அதிகபட்ச சதவீதம் பிழை என்று காட்டுகிறது. அதிகபட்ச சதவீதம் பிழைதொகை A மற்றும் அதிகபட்ச சதவீதம் பிழை B அதாவது,

$$\frac{\Delta Z}{Z} \times 100 = \frac{\Delta A}{A} \times 100 + \frac{\Delta B}{B} \times 100$$

அளவின் அடுக்கில் ஏற்படும் பிழை

பிழை ΔZ என்பது n அளவு அடுக்கில் செல்லும்போது n^{th} ஆவது அடுக்கு முறைக்கு பின்ன பிழையை உருவாக்கும். $Z = A^n$ எனில்,

$$\frac{\Delta Z}{Z} = n\frac{\Delta A}{A}$$

அதிகபட்ச சதவீதம் பிழை Z பின்வருமாறு எழுதலாம்,

$$\frac{\Delta Z}{Z} \times 100 = n \times \frac{\Delta A}{A}$$

முறையான பிழைகள்

அளவிடும் சாதனத்தில் தவறு காரணமாக முறையான பிழைகள் ஏற்படுகின்றன. அவை பூஜ்ஜிய பிழை என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன – நேர்மறை அல்லது எதிர்மறை பிழை. அளவீட்டு சாதனத்தை சரிசெய்த பிறகு இந்த பிழைகள் பிரிக்கப்படலாம். இந்த பிழைகள் பல்வேறு வகைகளாக வகைப்படுத்தப்பட்டுள்ளன.

முறையான பிழைகள் பின்வருமாறு வகைப்படுத்தப்படுகின்றன:

- உபகரணங்களின் பிழை
- சுற்றுச்சூழல் பிழை
- கண்காணிப்பு பிழை
- கோட்பாட்டு பிழை

இடமாறு பிழை

கருவிகள் அளவீட்டில் தவறான கவனிப்பு காரணமாக இந்த பிழை ஏற்படுகிறது. தவறான அவதானிப்புகள் இடமாறு காரணமாக இருக்கலாம். இடமாறு பிழையைக் குறைக்க, கண்ணாடி அளவீடுகளுடன் கூடிய மிக துல்லியமான மீட்டர் அவசியம்.

சீரற்ற பிழைகளை மதிப்பிடுவது

ஒரு குறிப்பிட்ட அளவீட்டில் சீரற்ற பிழை மதிப்பீடு செய்ய பல வழிகள் உள்ளன. கொடுக்கப்பட்ட அளவின் தொடர்ச்சியான அளவீடுகளை (x என்க) மற்றும் சராசரி மற்றும் நிலையான விலகலை கணக்கிடுவதே ($\bar{x}$ மற்றும் σ_x) இந்தத் தரவிலிருந்து சராசரி $\bar{x}$ என வரையறுக்கப்படுகிறது.

$$\bar{x} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

இங்கு, x_i என்பது i^{th} அளவீடுகளின் விளைவு, N என்பது அளவீடுகளின் எண்ணிக்கை,

நிலையான மாறுபாடு பின்வருமாறு வழங்கப்படுகிறது,

$$\sigma_x = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)^2$$

இணைப்பு–VI ஆய்வகத்தில் பணிபுரியும்போது சில பொது மற்றும் குறிப்பிட்ட வழிமுறைகள்

பொது அறிவுறுத்தல்கள்

1. ஆய்வகத்தில், அமைதியாகவும் கவனமாகவும் வேலை செய்யுங்கள். எந்தவொரு பரிசோதனையும் செய்வதன் முக்கிய நோக்கம் நம்பிக்கையான அளவீடுகளை செய்வதாகும் என்பதை நினைவில் கொள்ளுங்கள்.
2. வேலையின் அனைத்து படிகளையும் எப்போதும் உங்கள் துணையுடன் சமமாகப் பகிரவும்.
3. அட்டவணை வடிவத்தில் தகவல்கள், வரைபடங்கள் மற்றும் கணக்கீடுகள் கொடுக்கும்போது சரியாகவும் நேர்மையாகவும் செய்யப்பட வேண்டும்.
4. சோதனை தரவைப் பதிவுசெய்யும் மற்றும் பிரதிநிதித்துவப்படுத்தும் போது எப்போதும் நேர்மையாக இருங்கள்.
5. கோட்பாட்டின் படி வரைபடத்தின் சிறந்த பொருத்தத்தைப் பெற வாசிப்புகளை உருவாக்கவோ அல்லது சரி செய்யவோ கூடாது என்பதை நினைவில் கொள்வது மிகவும் முக்கியம். ஏதேனும் வாசிப்பு தவறாகத் தோன்றினால், பிழையின் மூலத்தைக் கண்டறிய நீங்கள் அளவீட்டை மீண்டும் மீண்டும் செய்ய வேண்டும்.
6. வரைபடத்தை வரையும்போது சோதனையிலிருந்து பெறப்பட்ட அனைத்து தரவுகளும் சரியாக திட்டமிடப்பட வேண்டும்.
7. ஆய்வகத்தின் நோக்கம் கற்றல் மற்றும் நீங்கள் சேகரித்த அறிவின் சரிபார்ப்பு என்பதும் ஒரு உண்மை. இயற்பியலின் அனைத்து முக்கியப் பகுதிகளிலும் வெவ்வேறு நிகழ்வுகளை விளக்கும் நோக்கத்திற்காக சோதனைகள் சரியாக வடிவமைக்கப்பட்டுள்ளன.
8. உங்கள் சொந்த ஆர்வத்துடன் பரிசோதனையைச் செய்வதன் மூலம் மட்டுமே அனைத்து நுணுக்கங்களையும் நன்கு அறிந்திருக்க முடியும் மற்றும் அளவிடும் கருவிகளுக்கு உங்களை வெளிப்படுத்தலாம்.
9. கற்றல் மனப்பான்மையுடனும், நீங்கள் சேகரித்த கோட்பாட்டு அறிவை சரிபார்க்க உங்கள் ஆர்வத்துடனும் எப்போதும் பரிசோதனையைச் செய்யுங்கள்.
10. ஆய்வகத்தில் சரியான நேரத்தில் வருவதற்கு மிகவும் கவனமாக இருங்கள் மற்றும் பரிசோதனை குறித்த தெளிவான அறிவுடன் எப்போதும் சரியான தயாரிப்புடன் இருங்கள்.

குறிப்பிட்ட வழிமுறைகள்

1. உங்கள் பரிசோதனையின் தரவைச் சேகரிக்க ஆய்வகத்தில் பணிபுரியும் போது, அளவிடப்பட்ட அனைத்து தரவையும் குறிப்பேட்டில் நேர்த்தியாகக் குறிப்பிடுவது முக்கியம்.
2. குறிப்பேட்டில் பதிவுசெய்யப்பட்ட தரவு ஆய்வகத்தை விட்டு வெளியேறுவதற்கு முன்பு உங்கள் பயிற்றுவிப்பாளரால் உறுதிப்படுத்தப்பட வேண்டும்.

3. ஒரே பரிசோதனையைச் செய்யும் அனைத்து மாணவர்களும் பதிவு செய்யப்பட்ட தரவின் தனிப்பட்ட நகலை பராமரிக்க வேண்டும். நீங்கள் பரிசோதனை செய்ய வரும்போது ஆய்வக குறிப்பேட்டை தொடர்ந்து ஆய்வகத்தில் கொண்டு வர வேண்டும்.
4. ஒவ்வொரு பரிசோதனையின் முடிவிலும் வரைபடங்கள் சரியாக வரையப்பட வேண்டும். இதற்காக வரைபடத்தாளின் பயன்பாட்டை எவ்வாறு மேம்படுத்துவது என்பதை நீங்கள் தெரிந்து கொள்ள வேண்டும். மீண்டும் மீண்டும் தரவுகள் அனைத்தும் ஒரே வரைபடத்தாளில் இடப்படும் என்பதை நினைவில் கொள்ளுங்கள்.
5. தொடர்புடைய அலகுகளைக் காட்டும் அச்சுகளுடன் வரைபடங்கள் சரியாக பெயரிடப்பட வேண்டும்.
6. ஆய்வகத்தில் வேலை நேரத்தில் நீங்கள் கால அளவை முழுமையாக பயன்படுத்த வேண்டும் மற்றும் வேலை நேரம் முடிவதற்குள் ஆய்வகத்தை விட்டு வெளியேற வேண்டாம். நீங்கள் முன்கூட்டியே முடித்தால், கணக்கீடுகள் மற்றும் வரைபடங்களை வரைவதற்கு மீதமுள்ள நேரத்தை நீங்கள் செலவிடலாம், அதற்காக ஆய்வகத்தில் நீங்கள் கால்குலேட்டர்கள், பென்சில்கள் மற்றும் அளவுகளுடன் பொருத்தப்பட்டிருக்க வேண்டும்.

மேற்கோள்கள்

சில புத்தகங்களின் பட்டியல்கள் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளன, அவை ஆர்வமுள்ள மாணவர்களால் பாடத்தின் மேலதிக கற்றலுக்கு (கோட்பாடு மற்றும் நடைமுறை) பயன்படுத்தப்படலாம்:

1. Laboratory Experiments in College Physics", C.H. Bernard and C.D. Epp, John Wiely and Sons, Inc., New York, 1995
2. "Practical Physics", G.L. Squiers, Cambridge University Press, Cambridge, 1985
3. "Great Experiments in Physics", M.H. Shamos, Holt Rinehrt and Winston Inc., 1959
4. "Experiments in Modern Physics", A.C. Melissions, Academic Press, New York, 1978
5. "Reliable Knowledge", J. Ziman, Cambridge University Press, Cambridge, 1978
6. "Introductory Readings in the Philosophy of Science", Edited by E.D. Klenke,R. Hollinger and A.D. Kline, Prometheous Books, Bufallo, New York, 1988
7. "The Feynman Lectures in Physics", Vol. I, II and III, R.P. Feymann, R.B. Leighton and M. Sands, Addison Wesley, 1963
8. "Vibration and Waves", A.P. French, Arnold-Heineman, New Delhi, 1972
9. Browne, Michael, Physics for Engineering and Science (2nd ed.). McGraw-Hill/Schaum, 2008.
10. Dibner, Bern, Oersted and the discovery of electromagnetism. Literary Licensing, LLC, 2012.
11. Durney, Carl H.; Johnson, Curtis C., Introduction to modern electromagnetics. McGraw-Hil], 1969.
12. Fleisch, Daniel, A Student's Guide to Maxwell's Equations. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008. .
13. I.S. Grant; W.R. Phillips; Manchester Physics, Electromagnetism (2nd ed.). John Wiley & Sons, 2008.
14. Griffiths, David J., Introduction to Electrodynamics (3rd ed.). Prentice Hall, 1998.
15. Jackson, John D., Classical Electrodynamics (3rd ed.). Wiley, 1998 .
16. Moliton, André Basic electromagnetism and materials. 430 pages. New York City: Springer-Verlag New York, LLC, 2007.
17. Purcell, Edward M., Electricity and Magnetism Berkeley, Physics Course Volume 2 (2nd ed.). McGraw-Hill, 1985.
18. Purcell, Edward M and Morin, David., Electricity and Magnetism, 820p (3rd ed.). Cambridge University Press, New York, 2013.
19. Rothwell, Edward J.; Cloud, Michael J., Electromagnetics. CRC Press, 2001.
20. TiplerA. Beiser, Concepts of Modern Physics (4th ed.). McGraw-Hill (International), 1987.
21. L.H. Greenberg, Physics with Modern Applications. Holt-Saunders International W.B. Saunders and Co, 1978.
22. R.G. Lerner; G.L. Trigg, Encyclopaedia of Physics (2nd ed.). VHC Publishers, Hans Warlimont, Springer. pp. 12–13, 2005.
23. The Physics of Vibrations and Waves (3rd ed.). John Wiley & Sons, 1984.

24. R. Penrose, The Road to Reality. Vintage books., 2007 .
25. P.A. Tipler; G. Mosca, Physics for Scientists and Engineers: With Modern Physics (6th ed.). W.H. Freeman and Co, 2008.
26. P.M. Whelan; M.J. Hodgeson, Essential Principles of Physics (2nd ed.). John Murray, 1978.

அறிவியல் சொற்களஞ்சியம்

சொல்	பொருள்
அணு முனைவாக்கம்	Atomic polarisation
அயனி முனைவாக்கம்	Ionic polarisation
அளவுறுத் தொடர்புகள்	Constitutive relations
இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம்	Displacement current
இடைமுகம் (வெளி மின்னூட்டம்) முனைவாக்கம்	Interfacial (Space charge) polarisation
இணைதட்டு மின்தேக்கி	Parallel plate capacitor
இணைப்புக் குணகம்	Co-efficient of coupling
இருமுனை திருப்புத்திறன்	Dipole moment
எதிர்–ஃபெரோகாந்தவியல்	Anti-ferromagnetism
எல்லை நிபந்தனைகள்	Boundary condition
ஏற்புத்திறன்	Susceptibility
ஒருங்கமைவு முனைவாக்கம்	Orientation polarisation
ஓரச்சு வடம்	Coaxial cable
கடத்து மின்னோட்டம்	Conducting current
காந்த தயக்கம்	Magnetic hysteresis
காந்த திசையிலி ஆற்றல்	Magnetic scalar potential
காந்த தூண்டல் மற்றும் செறிவு	Magnetic induction and intensity
காந்த நிலைமம்	Magnetostatics
காபி மோதிர விளைவு	Coffee-Ring method
சுருள்	Solenoid
சுழல் மின்னோட்டம்	Eddy current
தயக்க இழப்பு	Hysteresis loss
தன் மின்தூண்டல் எண்	Self-inductance
தூண்டப்பட்ட ந.அ.க	Induced e.m.f.
தேய்வு	Attenuation
நெய்ம மாதிரி	Sublattice model
நேரியல் மின்காப்பு ஊடகம்	Linear dielectric medium

சொல்	பொருள்
பரிமாற்று தூண்டல் எண்	Mutual inductance
பாரடே கூண்டு	Faraday cage
பெருங்கூறு கோட்பாடு	Domain theory
மின்காந்த அலைகள்	Electromagnetic wave
மின்காந்த தூண்டல்	Electromagnetic induction
மின்காந்த வேகக்குறைப்பான்	Electromagnetic brake
மின்காப்பு மாறிலி	Dielectric constant
மின் பாயம்	Electric flux
மின் புலம்	Electric field
மின் புல செறிவு	Electric field ntensity
மின்னழுத்த வேறுபாடு	Potential difference
மின்னூட்ட அடர்த்தி	Charge density
மென் காந்தப் பொருட்கள்	Soft magnetic materials
மேற்பரப்பு ஆழம்	Skin depth
மேற்பொருந்துதல் கொள்கை	Superposition principle
அழிவின்மை விதி	Conservative law
வரிச்சுருள்	Toroid
வன்காந்தப் பொருட்கள்	Hard magnetic materials

அடைவுகள் மற்றும் இடைவெளி பகுப்பாய்வு

பாடநெறி முடித்தவுடன் (COs) பாடத்திட்டத்தின் முடிவை (POs) சரிபார்க்க வேண்டும். PO ஐ அடைவதில் உள்ள இடைவெளியின் சரியான பகுப்பாய்விற்குப் பிறகு, இடைவெளிகளை சமாளிக்க தேவையான நடவடிக்கைகளை எடுக்க வேண்டும்.

இடைவெளி பகுப்பாய்வு மற்றும் வேலை மாற்று நடவடிக்கை அட்டவணை

பாடநெறி வெளிப்பாடு	திட்டம் வெளியீட்டின் அடைவுகள் (1– பலவீனமான தொடர்பு; 2– நடுத்தர தொடர்பு; 3– வலுவான தொடர்பு)											
	PO-1	PO-2	PO-3	PO-4	PO-5	PO-6	PO-7	PO-8	PO-9	PO-10	PO-11	PO-12
CO-1												
CO-2												
CO-3												
CO-4												
CO-5												
CO-6												

குறியீடு

அணு முனைவாக்கம், 75
அணு முனைவாக்கத்திறன், 65
அயனி முனைவாக்கம், 75
அளவுறுத் தொடர்புகள், 70

ஆம்பியரின் சுற்று விதி, 119, 245
ஆம்பியர் விதியின் பயன்பாடு, 120

இடப்பெயர்வு மின்னோட்டம், 239
இடைமுகம் (வெளி மின்னூட்டம்) முனைவாக்கம், 77
இணைதட்டு மின்தேக்கி, 37
இணைப்புக் குணகம், 217
இருமுனை முனைவாக்கம், 76

எதிர்–ஃபெரோகாந்தவியல், 158, 178

ஏற்புத்திறன், 65

உருவங்களின் முறை, 42
உருளை மின்தேக்கி, 40

ஓரணு வாயுவின் முனைவாக்கம், 77

கடத்தா ஊடகத்தில் மின்காந்த அலைகள், 271
கடத்து ஊடகத்தில் மின்காந்த அலைகள், 273
கடத்து மின்னோட்டம், 243
காந்த ஏற்புத்திறன், 152
காந்தக் கணக்கீடுகள், 174
காந்த தயக்கம், 174
காந்த திசையிலி ஆற்றல், 128
காந்த தூண்டல் மற்றும் செறிவு, 151
காந்த நிலைமம், 101
காந்த நிலைமத்தில் காஸ் விதி, 126, 244
காந்த பாய அடர்த்தி, 197
காந்தப் பாயம், 197
காந்தப் புலத்தின் சுருள், 125
காந்தப்புலத்தில் நகரும் மின்னூட்டம், 118
காந்த பொருட்கள், 173
காந்தப் பொருட்களின் வகைப்பாடு, 155
காந்தமாக்கல், 151
காந்த வெக்டர் ஆற்றல், 129
காபி மோதிர விளைவு, 42
கார்டீசியன் ஆயத்தொலைவில் லாப்லேஸ் சமன்பாடு,35
காஸ் விதி, 16
காஸ் விதியிலிருந்து கூலும்பின் விதி, 23
காஸ் விதியின் பயன்பாடு, 18
காஸ் விதியின் வகைக்கெழு வடிவம், 17
காஸின் மேற்பரப்பு, 16
கியூரி–வெய்ஸ் விதி, 168
கிளாசியஸ் மொசொட்டி தொடர்பு, 79
கூலும்பின் விதி, 3
கூலும் விதியின் வெக்டர் வடிவம், 6
கோள மின்தேக்கி, 38

சுருளில் சேமிக்கப்பட்ட ஆற்றல், 218
சுழல் மின்னோட்டம், 221
செறிவு மற்றும் ஆற்றல், 27
செறிவு மற்றும் முனைவாக்கம், 68

டயா காந்தவியல், 155

தன் மின்தூண்டல் குணகம், 208
தனித்துவ தேற்றம், 34
தயக்க இழப்பு, 175
தயக்க கண்ணி, 174
தரையிடப்பட்ட கடத்துக் கோளம், 44
தொடர்பு சமன்பாடு, 104
தூண்டப்பட்ட e.m.f., 201, 202
தூண்டப்பட்ட (மின்னணு) முனைவாக்கம், 73
தூண்டப்பட்ட மின்னோட்டம், 201

நிலைத்த காந்த இருமுனை, 159
நிலைமின் புல அழிவின்மை விதி 13
நிலை மின்னழுத்த ஆற்றல், 30
நிலை மின்னழுத்தம், 23
நிலை மின்னியலில் காஸ் விதி, 243
நிலை மின்னோட்டம், 105
நீல் மூலக்கூறு புல கோட்பாடு, 178
நேரியல் மின்காப்பு ஊடகம், 59

B, H மற்றும் M இடையே உள்ள தொடர்பு, 155
B-H வளைவு, 174
பயோட்–சவர்ட் விதி, 107
பரிமாற்று தூண்டல் எண், 213

பல்லணு வாயுவின் முனைவாக்கம், 78
பாய்சன் மற்றும் லாப்லேஸ் சமன்பாடுகள், 32
பாரடே கூண்டு, 41
பாரடே விதிகள், 195, 198
பாரடே விதியின் தொகைக்கெழு வடிவம், 200
பாராகாந்தவியல், 156
பாய அடர்த்தி, 70
பாயிண்டிங் தேற்றம், 250
பாயிண்டிங் வெக்டர், 248
பிளெமிங் வலக்கை விதி, 202
ஃபெர்ரிகாந்தப் பொருட்கள், 180
ஃபெர்ரிகாந்தவியல், 157
ஃபெர்ரிகாந்தவியல் பொருட்கள், 168
ஃபெர்ரைட்ஸ், 181
ஃபெர்ரோகாந்தவியல், 157
பெருங்கூறு கோட்பாடு, 169

மாறுநிலை புலத்தில் மின்காப்பான், 67
மின் இருமுனை, 64
மின் இருமுனை திருப்புத்திறன், 64
மின் ஏற்புத்திறன், 65, 71
மின் கடத்துத்திறன், 104
மின்காந்த அலைகள், 265
மின்காந்த அலைகளின் எதிரொலிப்பு, 280
மின்காந்த அலைகளின் குறுக்கு தன்மை, 269
மின்காந்த அலைகளின் தேய்வு, 274
மின்காந்த அலைகளுக்கான எல்லை நிபந்தனைகள்,277
மின்காந்த ஆற்றல் அடர்த்தி, 248
மின்காந்த தூண்டல், 244
மின்காந்த ஆற்றல், 251
மின்காந்த வேகக்குறைப்பான், 221
மின்காப்பான், 61
மின்காப்பானில் காஸ் விதி, 70
மின்காப்பின் பயன்பாடுகள், 85
மின்காப்பு ஊடகத்தில் காஸ் விதி, 16
மின்காப்பு ஊடகத்தில் மின்காந்த அலைகள், 271
மின்காப்பு கோளம் 82
மின்காப்பு மாறிலி, 72
மின்காப்பு முனைவாக்கம், 64
மின்காப்பு வலிமை மற்றும் முறிவு, 85
மின் பாயம், 15, 70
மின்புல செறிவு, 9
மின்புலத்தில் மின்காப்பான், 67
மின் புலம், 9
மின் புலம் – மின்னூட்டப்பட்ட உருளை, 18
மின் புலம் – மின்னூட்டப்பட்ட திட கோளம், 19
மின்புலம்–முடிவிலா மின்னூட்டப்பட்ட தாள், 22
மின் முனைவாக்கம், 72
மின்னழுத்த கணக்கீடு, 26
மின்னழுத்த வேறுபாடு, 24
மின்னோட்டம் தாங்கிய கடத்தி, 117
மின்னோட்டம், மின்னோட்ட அடர்த்தி, 103
மின்னூட்ட அடர்த்தி, 8
மின்னூட்ட அழிவின்மை விதி, 3
மின்னூட்டத்தின் குவாண்டமாக்கல், 3
முனை மின்னூட்டம், 26, 43
முனைவாக்க வகைகள், 72
முனைவாக்க வெக்டர், 64
மென் காந்தப் பொருட்கள், 181
மேக்ஸ்வெல் சமன்பாட்டின் முக்கியம், 247
மேக்ஸ்வெல்லின் சமன்பாடுகள், 237, 243
மேற்பரப்பு ஆழம், 276
மேற்பொருந்துதல் கொள்கை, 7

லாஞ்சிவின் டயாகாந்தவியல் கோட்பாடு, 160
லாஞ்சிவின் பாராகாந்தவியல் கோட்பாடு, 163
லாப்லேஸின் சமன்பாட்டின் பயன்பாடு, 36
லாப்லாசியன் ஆபரேட்டர், 34
லாரென்ட்ஸ் விசை, 106
லென்ஸ் விதி, 201
லென்ஸின் விதி மற்றும் ஆற்றல் அழிவின்மை விதி, 201

வன்காந்தப் பொருட்கள், 182
விநியோகிக்கப்பட்ட மின்னூட்டங்கள், 26
வெற்றிடத்தில் நிலைமின்னியல், 1
வெற்றிடத்திற்கான அலை சமன்பாடு, 267
வெயிஸ் மூலக்கூறு புலக் கோட்பாடு, 169

ஹுண்ட் விதி, 160