প্যারালাল TEXT

(For HSC & Pre-Admission)

পদার্থবিজ্ঞান দ্বিতীয় পত্র

তৃতীয় অধ্যায় : চল তড়িৎ

সার্বিক ব্যবস্থাপনায়
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

প্রচ্ছদ
মোঃ রাকিব হোসেন

অক্ষর বিন্যাস
জায়েদ, হৃদয় ও শাওন

অনুপ্রেরণা ও সহযোগিতায়
মাহমুদুল হাসান সোহাগ
মুহাম্মদ আবুল হাসান লিটন

কৃতজ্ঞতা
উদ্ভাস-উন্মেষ-উত্তরণ
শিক্ষা পরিবারের সকল সদস্য

প্রকাশনায়
উদ্ভাস একাডেমিক এন্ড এডমিশন কেয়ার

প্রকাশকাল
প্রথম প্রকাশ
সেপ্টেম্বর, ২০২৩ ইং

অনলাইন পরিবেশক
rokomari.com

কপিরাইট © উদ্ভাস

সমস্ত অধিকার সংরক্ষিত। এই বইয়ের কোনো অংশই প্রতিষ্ঠানের লিখিত অনুমতি ব্যতীত ফটোকপি, রেকর্ডিং, বৈদ্যুতিক বা যান্ত্রিক পদ্ধতিসহ কোনো উপায়ে পুনরুৎপাদন বা প্রতিলিপি, বিতরণ বা প্রেরণ করা যাবে না। এই শর্ত লঙ্ঘিত হলে উপযুক্ত আইনি ব্যবস্থা গ্রহণ করা হবে।

প্রিয় শিক্ষার্থী বন্ধুরা,

তোমরা শিক্ষা জীবনের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধাপে পদার্পণ করেছো। মাধ্যমিকের পড়াশুনা থেকে উচ্চ মাধ্যমিকের পড়াশুনার ধাঁচ ভিন্ন এবং ব্যাপক। মাধ্যমিক পর্যন্ত যেখানে 'বোর্ড বই'-ই ছিল সব, সেখানে উচ্চ-মাধ্যমিকে বিষয়ভিত্তিক নির্দিষ্ট কোন বই নেই। কিন্তু বাজারে বোর্ড অনুমোদিত বিভিন্ন লেখকের অনেক বই পাওয়া যায়। একারণেই শিক্ষার্থীরা পাঠ্যবই বাছাইয়ের ক্ষেত্রে দ্বিধায় ভোগে। এছাড়া, মাধ্যমিকের তুলনায় উচ্চ-মাধ্যমিকে সিলেবাস বিশাল হওয়া সত্ত্বেও প্রস্তুতির জন্য খুবই কম সময় পাওয়া যায়। জীবনের অন্যতম গুরুত্বপূর্ণ এই ধাপের শুরুতেই দ্বিধা-দ্বন্দ্ব থেকে মুক্তি দিতে আমাদের এই Parallel Text। উচ্চ মাধ্যমিক পর্যায়ে শিক্ষার্থীদের হতাশার একটি মুখ্য কারণ থাকে পাঠ্যবইয়ের তাত্ত্বিক আলোচনা বুঝতে না পারা। এজন্য শিক্ষার্থীদের মাঝে বুঝে বুঝে পড়ার প্রতি অনীহা তৈরি হয়। তারই ফলস্বরূপ শিক্ষার্থীরা HSC ও বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তি পরীক্ষায় ভালো ফলাফল করতে ব্যর্থ হয়।

তোমাদের লেখাপড়াকে আরও সহজ ও প্রাণবন্ত করে তোলার বিষয়টি মাথায় রেখে আমাদের Parallel Text বইগুলো সাজানো হয়েছে সহজ-সাবলীল ভাষায়, অসংখ্য বাস্তব উদাহরণ, গল্প, কার্টুন আর চিত্র দিয়ে। প্রতিটি টপিক নিয়ে আলোচনার পরেই রয়েছে গাণিতিক উদাহরণ; যা টপিকের বাস্তব প্রয়োগ এবং গাণিতিক সমস্যা সমাধান সম্পর্কে ধারণা দেয়ার পাশাপাশি পরবর্তী টপিকগুলো বুঝতেও সাহায্য করবে। তোমাদের বোঝার সুবিধার জন্য গুরুত্বপূর্ণ সংজ্ঞা, বৈশিষ্ট্য, পার্থক্য ইত্যাদি নির্দেশকের মাধ্যমে আলাদা করা হয়েছে। এছাড়াও যেসব বিষয়ে সাধারণত ভুল হয়, সেসব বিষয় 'সতর্কতা' এর মাধ্যমে দেখানো হয়েছে।

তবে শুধু বুঝতে পারাটাই কিন্তু যথেষ্ট নয়, তার পাশাপাশি দরকার পর্যাপ্ত অনুশীলন। আর এই বিষয়টি আরও সহজ করতে প্রতিটি অধ্যায়ের কয়েকটি টপিক শেষে যুক্ত করা হয়েছে 'টপিকভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান'। যার মধ্যে রয়েছে বিগত বোর্ড পরীক্ষার প্রশ্নের পাশাপাশি বুয়েট, রুয়েট, কুয়েট, চুয়েট, মেডিকেল ও ঢাকা বিশ্ববিদ্যালয়সহ বিভিন্ন বিশ্ববিদ্যালয়ের ভর্তি পরীক্ষার প্রশ্ন ও সমাধান। এভাবে ধাপে ধাপে অনুশীলন করার ফলে তোমরা বোর্ড পরীক্ষার শতভাগ প্রস্তুতির পাশাপাশি ভর্তি পরীক্ষার প্রস্তুতিও নিতে পারবে এখন থেকেই। এছাড়াও অধ্যায় শেষে রয়েছে 'গুরুত্বপূর্ণ প্র্যাক্টিস প্রবলেম' ও 'গাণিতিক সমস্যাবলি' যা অনুশীলনের মাধ্যমে তোমাদের প্রস্তুতি পূর্ণাঙ্গ হবে।

আশা করছি, আমাদের এই Parallel Text একই সাথে উচ্চ মাধ্যমিকে তোমাদের বেসিক গঠনে সহায়তা করে HSC পরীক্ষায় A+ নিশ্চিত করবে এবং ভবিষ্যতে বিশ্ববিদ্যালয় ভর্তিযুদ্ধের জন্য প্রস্তুত রাখবে।

তোমাদের সার্বিক সাফল্য ও উজ্জ্বল ভবিষ্যত কামনায়-

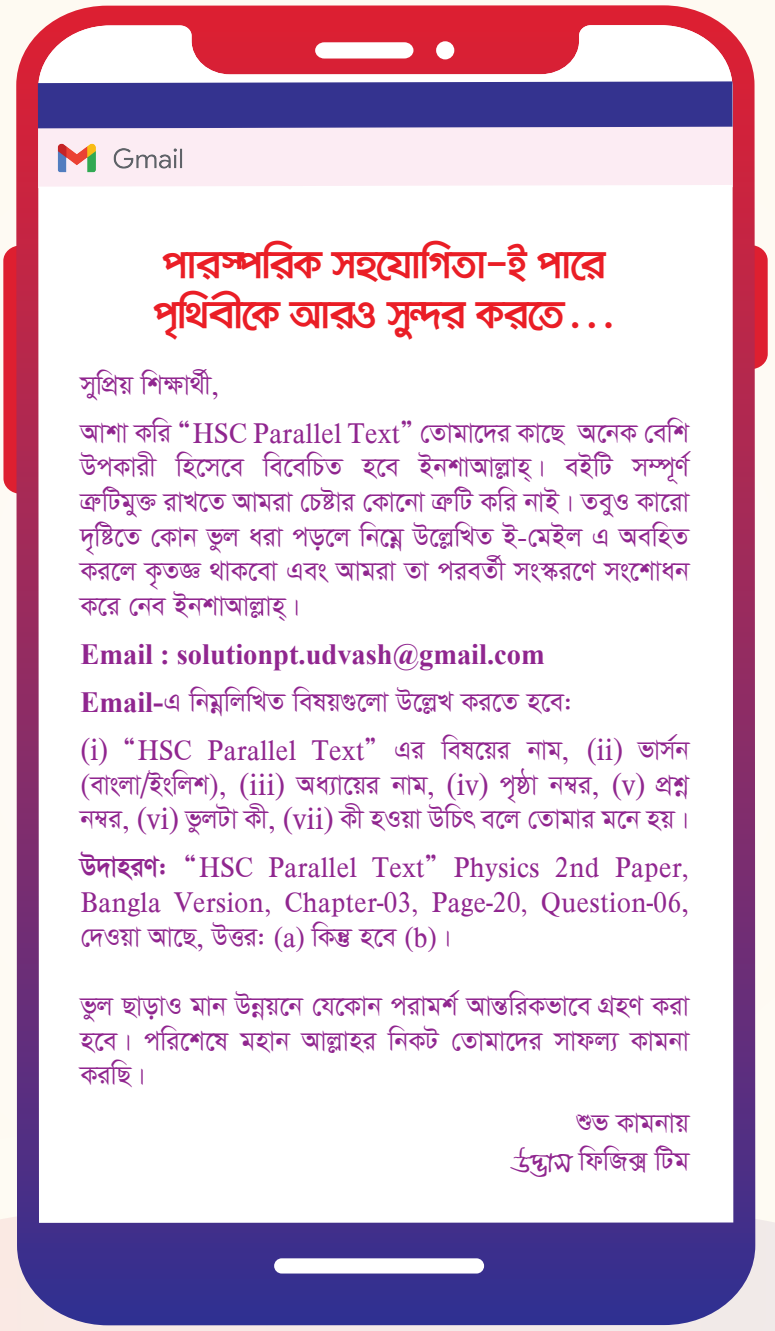
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

সূচিপত্র

পদার্থবিজ্ঞান ২য় পত্র

তৃতীয় অধ্যায় : চল তড়িৎ

ক্র.নং	বিষয়বস্তু	পৃষ্ঠা
০১	তড়িৎ প্রবাহ	০১
০২	ওহমের সূত্র	০৭
০৩	রোধের ওপর তাপমাত্রার প্রভাব	০৯
০৪	আপেক্ষিক রোধ	১১
০৫	তড়িৎ কোষ	১৬
০৬	**টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান**	২০
০৭	রোধের সমবায়	২৪
০৮	বিভব বিভাজক নীতি	৩৭
০৯	তড়িৎপ্রবাহ বিভাজক নীতি	৩৮
১০	**টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান**	৪৩
১১	বৈদ্যুতিক কাজ ও তড়িৎ শক্তি	৪৮
১২	জুলের তাপীয় ক্রিয়া	৪৮
১৩	কিলোওয়াট-ঘণ্টা	৫১
১৪	নিরাপত্তা ফিউজ	৫২
১৫	বর্তনীর বিভিন্ন বিন্দুতে বিভব	৫৫
১৬	কোষের সমন্বয়	৫৭
১৭	**টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান**	৬৩
১৮	কির্শফ-এর সূত্র	৭১
১৯	হুইটস্টোন ব্রিজ	৭৮
২০	বিভিন্ন তড়িৎ যন্ত্র	৮০
২১	**টপিক ভিত্তিক বিগত বছরের প্রশ্ন ও সমাধান**	৮৮
২২	একত্রে সব গুরুত্বপূর্ণ সূত্র	৯৭
২৩	গুরুত্বপূর্ণ প্র্যাক্টিস প্রবলেম	১০০
২৪	গাণিতিক সমস্যাবলি	১০৭



পারস্পরিক সহযোগিতা-ই পারে পৃথিবীকে আরও সুন্দর করতে...

সুপ্রিয় শিক্ষার্থী,

আশা করি "HSC Parallel Text" তোমাদের কাছে অনেক বেশি উপকারী হিসেবে বিবেচিত হবে ইনশাআল্লাহ্। বইটি সম্পূর্ণ ত্রুটিমুক্ত রাখতে আমরা চেষ্টার কোনো ত্রুটি করি নাই। তবুও কারো দৃষ্টিতে কোন ভুল ধরা পড়লে নিম্নে উল্লেখিত ই-মেইল এ অবহিত করলে কৃতজ্ঞ থাকবো এবং আমরা তা পরবর্তী সংস্করণে সংশোধন করে নেব ইনশাআল্লাহ্।

Email : solutionpt.udvash@gmail.com

Email-এ নিম্নলিখিত বিষয়গুলো উল্লেখ করতে হবে:

(i) "HSC Parallel Text" এর বিষয়ের নাম, (ii) ভার্সন (বাংলা/ইংলিশ), (iii) অধ্যায়ের নাম, (iv) পৃষ্ঠা নম্বর, (v) প্রশ্ন নম্বর, (vi) ভুলটা কী, (vii) কী হওয়া উচিৎ বলে তোমার মনে হয়।

উদাহরণ: "HSC Parallel Text" Physics 2nd Paper, Bangla Version, Chapter-03, Page-20, Question-06, দেওয়া আছে, উত্তর: (a) কিন্তু হবে (b)।

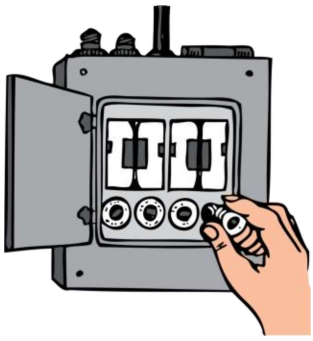
ভুল ছাড়াও মান উন্নয়নে যেকোন পরামর্শ আন্তরিকভাবে গ্রহণ করা হবে। পরিশেষে মহান আল্লাহর নিকট তোমাদের সাফল্য কামনা করছি।

শুভ কামনায়
উদ্ভাস ফিজিক্স টিম

অধ্যায় ০৩

চল তড়িৎ

অনিকের বাড়িতে বিয়ের অনুষ্ঠান চলছিল। চারদিকে অসংখ্য আলোকসজ্জা। হঠাৎ, ওদের বাড়ির সবগুলো বাতি নিভে গেল। কিন্তু দেখা গেল পাশের বাসাগুলোতে ঠিকই বিদ্যুৎ আছে। বৈদ্যুতিক মিস্ত্রীকে ডাকা হলো, তিনি বাড়ির মেইন সুইচের বোর্ড খুলে একটিমাত্র ফিউজ ঠিক করলেন। তাতেই ওদের বাড়িতে আবার বিদ্যুৎ ফিরে এলো। অনিক ভাবলো, শুধুমাত্র একটি ফিউজ ঠিক করেই কিভাবে পুরো বাড়িতে বিদ্যুৎ ফিরে এল? এ ব্যাপারে সে বড় ভাই আবিরকে জিজ্ঞেস করলে আবির বললেন, শ্রেণি সংযোগে থাকা বর্তনীতে কোনো একটি যন্ত্র নষ্ট হলে পুরো বর্তনীই অকেজো হয়ে যায়। আবার সেটিকে ঠিক করে দিলে পুরো বর্তনীটিই সচল হয়ে উঠে। অপরদিকে, সমান্তরাল সংযোগে থাকলে একটি যন্ত্র নষ্ট হলেও পুরো বর্তনীর কোনো ক্ষতি হয় না।



অনিক বিষয়টি শুনে বেশ মজা পেল। সে বর্তনীর বিভিন্ন সংযোগ নিয়ে আরও জানার আগ্রহ পোষণ করলো। শিক্ষার্থী বন্ধুরা, তোমরাও কি এই বিষয়ে জানতে আগ্রহী? এই অধ্যায়ে আমরা তড়িৎ কোন সংযোগে কিভাবে চলাচল করে এবং বিভিন্ন তড়িৎ যন্ত্রপাতি নিয়ে আলোচনা করবো। চলো আমরা চল-তড়িতের আলোচনার সাথে চলাচল শুরু করি।

তড়িৎ প্রবাহ

আগের অধ্যায়ে আমরা স্থির তড়িৎ সম্পর্কে জেনেছিলাম। ঐ অধ্যায়ের আলোচ্য বিষয় ছিল স্থির আধান ও তার বৈশিষ্ট্য। এই অধ্যায়ে আমরা আলোচনা করব গতিশীল আধান সম্পর্কে। এ কারণেই এই অধ্যায়ের নাম 'চল তড়িৎ'।

আমরা দ্বিতীয় অধ্যায়ে 'বিভব ও চার্জের গতিপথ' পড়ার সময় জেনেছি ধনাত্মক আধান উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে গতিশীল হয় এবং ঋণাত্মক আধান নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভবের দিকে গতিশীল হয়। গতিশীল আধানের এই প্রবাহকেই তড়িৎ প্রবাহ বলা হয়। ভিন্ন বিভবের দুইটি পরিবাহীকে তার দ্বারা যুক্ত করা হলে তারের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রন নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভবের দিকে প্রবাহিত হয়। অন্য ভাষায় বলা যায়, পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয়।

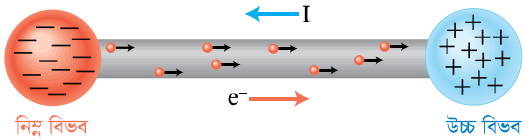


Fig 3.01

এখন আমরা দেখব তড়িৎ প্রবাহকে গাণিতিকভাবে কীরূপে প্রকাশ করা হয়। ধরা যাক, একটি পরিবাহী তামার তারের মধ্য দিয়ে আধান বা তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। আরও মনে করা যাক, তারের সর্বত্র আধানের প্রবাহ সুষম। পরিবাহী তারের যেকোনো প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে t সময়ে q আধান প্রবাহিত হয়।

∴ t সময়ে প্রবাহিত আধান q

অর্থাৎ, একক সময়ে প্রবাহিত আধান $= \frac{q}{t}$

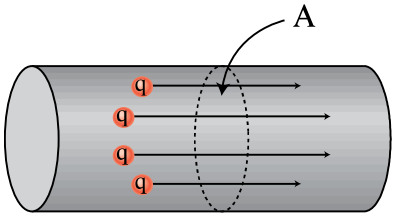


Fig 3.02

এই একক সময়ে প্রবাহিত আধানকেই তড়িৎ প্রবাহ হিসেবে সংজ্ঞায়িত করা হয়।

তড়িৎ প্রবাহ: কোনো পরিবাহীর যেকোনো প্রস্থচ্ছেদের মধ্যদিয়ে একক সময়ে প্রবাহিত আধাে পরিমাণকে তড়িৎ প্রবাহ বলা হয়।

তড়িৎ প্রবাহকে I দ্বারা প্রকাশ করা হয়। তাই তড়িৎ প্রবাহের সংজ্ঞানুসারে কোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে t সময়ে সুষমভাবে q আধান প্রবাহিত হলে প্রবাহিত তড়িৎ, $I = \frac{q}{t}$।

সতর্কতা!

আধানের প্রবাহ যদি সুষম না হয় অর্থাৎ, সর্বদা একই হারে আধান প্রবাহিত না হয়, তাহলে কিন্তু তড়িৎ প্রবাহ নির্ণয়ের জন্য $I = \frac{q}{t}$ সমীকরণ ব্যবহার করা যাবে না। কেননা, তখন প্রবাহিত আধান q সময়ের সময়ের সাথে পরিবর্তিত হয়। অর্থাৎ, $Q = f(t)$ এক্ষেত্রে অন্তরীকরণের সাহায্য নেওয়া হয়। Δt সময় ব্যবধানে পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে Δq আধান প্রবাহিত হলে প্রবাহিত তড়িৎ, $I(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{dq}{dt}$। অর্থাৎ, সময়ের সাপেক্ষে আধানের সমীকরণকে অন্তরীকরণ করলে তড়িৎ প্রবাহের সমীকরণ পাওয়া যায়। আবার, $I = \frac{dq}{dt} \Rightarrow q = \int_0^t i\, dt$। অর্থাৎ, এই সমীকরণ থেকে সমাকলনের মাধ্যমে t সময়ে প্রবাহিত চাজ নির্ণয় করা যায়। অর্থাৎ, i বনাম t লেখচিত্র আঁকা হলে তার ক্ষেত্রফল হবে প্রবাহিত চার্জ q।

তড়িৎ প্রবাহের একক:

তড়িৎ প্রবাহ, $I = \frac{\text{চার্জ (q)}}{\text{সময় (t)}}$

$\therefore$ তড়িৎ প্রবাহের একক $= \frac{\text{চার্জের একক}}{\text{সময়ের একক}} = \frac{1\,C}{1\,s} = 1Cs^{-1}$

$1\ Cs^{-1}$ কে SI এককে 1 A (অ্যাম্পিয়ার) বলা হয়। অর্থাৎ, তড়িৎ প্রবাহের SI একক অ্যাম্পিয়ার (A)।

কোনো পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহ 1 A বলতে বুঝায় পরিবাহীর যেকোনো প্রস্থচ্ছেদের মধ্য দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে 1 C চার্জ প্রবাহিত হচ্ছে।

তড়িৎ প্রবাহের দিক

তড়িৎ প্রবাহ হলো ইলেকট্রনের প্রবাহ। আর ইলেকট্রন প্রবাহিত হয় নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভবের দিকে। তাই তড়িৎ প্রবাহের দিক হওয়া উচিত ছিল নিম্ন বিভব থেকে উচ্চ বিভবের দিকে। কিন্তু ইলেকট্রন আবিষ্কারের অনেক আগেই বিজ্ঞানীরা চল তড়িৎ আবিষ্কার করেন। তখন তড়িৎ প্রবাহকে ধনাত্মক চার্জের প্রবাহ মনে করা হতো। আর ধনাত্মক চার্জ যেহেতু উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে প্রবাহিত হয়, তাই তড়িৎ প্রবাহের দিকও তখন ধরা হয় উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে।

পরবর্তীতে যদিও বিজ্ঞানীরা আবিষ্কার করেন যে তড়িৎ প্রবাহ মূলত ইলেকট্রনের প্রবাহ, তারা তড়িৎ প্রবাহের প্রচলিত দিককে পরিবর্তন করার ঝামেলা পোহাতে চাননি। কারণ তড়িৎপ্রবাহের দিক পরিবর্তন করলেও ফলাফলের কোনো পরিবর্তন হয় না। তাই তড়িৎ প্রবাহের দিক আগের মতই রয়ে গেছে, অর্থাৎ উচ্চ বিভব থেকে নিম্ন বিভবের দিকে। ইলেকট্রন প্রবাহের দিক ও তড়িৎ প্রবাহের দিক পরস্পর বিপরীত।

Fig 3.03 লক্ষ কর। ধরা যাক, দুইটি পরিবাহী গোলক A ও B পরিবাহী তার দ্বারা যুক্ত। A নিম্ন বিভবের এবং B উচ্চ বিভবের।

তাহলে A প্রান্ত থেকে B প্রান্তে ইলেকট্রন প্রবাহিত হবে। ধরা যাক, তারের প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে প্রতি সেকেন্ডে 5C ইলেকট্রন A থেকে B প্রান্তে যাচ্ছে।

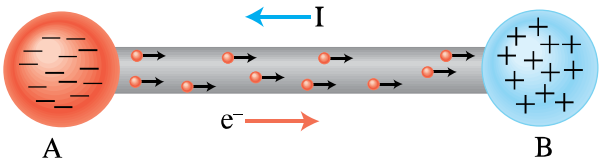


Fig 3.03

একে এভাবেও বলা যায় যে, 5 A তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে B থেকে A এর দিকে। কার্যত কোনো নির্দিষ্ট দিকে ইলেকট্রন বা ঋণাত্মক চার্জের প্রবাহ তার বিপরীত দিকে সমপরিমাণ ধনাত্মক চার্জ প্রবাহের সমতুল্য।

সতর্কতা!

তড়িৎ প্রবাহ একটি স্কেলার রাশি। আমরা জানি, ভেক্টর রাশির মান ও দিক থাকে। আমরা তো এই মাত্রই তড়িৎ প্রবাহের মান ও দিক উভয় সম্পর্কেই জেনেছি। কিন্তু তারপরও তড়িৎ প্রবাহ ভেক্টর রাশি নয় কেন? তড়িৎ প্রবাহের সংজ্ঞা থেকেই এই প্রশ্নের উত্তর পাওয়া সম্ভব। যেকোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ বরাবর একটি তল কল্পনা করো। এক সেকেন্ডে যতগুলো ইলেকট্রন এই তলকে অতিক্রম করে, ততগুলো ইলেকট্রনের চার্জই হলো প্রবাহিত তড়িৎ। আর চার্জ হলো স্কেলার রাশি। এ কারণে তড়িৎ প্রবাহও স্কেলার রাশি। তাহলে আমরা যে তড়িৎ প্রবাহের দিক নিয়ে আলোচনা করলাম, এই দিক বলতে কী বুঝায়? এই দিক দ্বারা বুঝায়, চার্জ কোনদিক থেকে কোনদিকে প্রস্থচ্ছেদের তলটিকে অতিক্রম করছে। তড়িৎ প্রবাহ স্কেলার রাশি হওয়ার আরও একটি কারণ হলো এটি ভেক্টর যোগের নীতি মেনে চলে না।

Fig 3.04 এর মতো দুইটি পরিবাহী তার (1 এবং 2) কল্পনা করো, যারা পরস্পর লম্বভাবে যুক্ত। যদি তড়িৎ প্রবাহ ভেক্টর রাশি হত, তাহলে (1) ও (2) নং তারের প্রবাহ ভেক্টর পদ্ধতিতে যোগ হয়ে (3) নং তারে প্রবাহিত হতো এবং (3) নং তারে প্রবাহিত তড়িৎ-এর মান হতো $\sqrt{5^2+5^2} = 5\sqrt{2}$ A। কিন্তু বাস্তবে তা দেখা যায় না বরং (3) নয় তারে 10A তড়িৎ প্রবাহিত হতে দেখা যায়। এই যোগ নিঃসন্দেহে স্কেলার যোগ। তড়িৎ প্রবাহকে যোগ করা হয় কার্শফের সূত্রের সাহায্যে। কার্শফের সূত্র সম্পর্কে আমরা পরে জানবো।

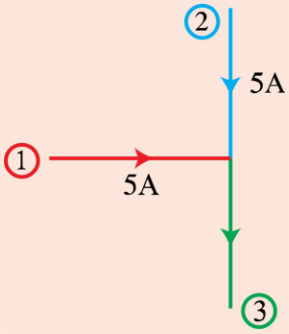


Fig 3.04

উদাহরণ-০১: কোনো পরিবাহীর মধ্য দিয়ে 3A তড়িৎ 10 s ধরে প্রবাহিত হলে পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে মোট কতগুলো ইলেকট্রন প্রবাহিত হবে?

সমাধান:

আমরা জানি,

$I = \frac{q}{t} \Rightarrow q = It$

আবার, $q = ne$

$\Rightarrow It = ne$ [∵ চার্জের কোয়ান্টায়ন]

$\Rightarrow n = \frac{It}{e}$

$= \frac{3\times10}{1.6\times10^{-19}}$

$= 1.875 \times 10^{20}$

প্রবাহিত তড়িৎ, $I = 3$ A

সময়, $t = 10$ s

একটি ইলেকট্রনের চার্জ, $q = 1.6 \times 10^{-19}$ C

∴ মোট 1.875×10^{20} টি ইলেকট্রন প্রবাহিত হবে।

ইলেকট্রনের তাড়নবেগ

সাধারণ অবস্থায় যখন কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য থাকে না, তখন ইলেকট্রনের কোনো নিট প্রবাহ থাকে না। কিন্তু তার মানে এই না যে, পরিবাহীর ভেতরে ইলেকট্রনগুলো স্থির থাকে। ইলেকট্রনগুলো এলোমেলো জিগজ্যাগ পথ অনুসরণ করে চারপাশের অণু-পরমাণুর সাথে ধাক্কা খেতে থাকে। ইলেকট্রনের এই এলোমেলো গতির গড়বেগ শূন্য হয়, তাই ইলেকট্রনের নিট প্রবাহ থাকে না।

যখন পরিবাহীর দুই প্রান্তে নির্দিষ্ট বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হয়, তখন পরিবাহীর অভ্যন্তরে তড়িৎক্ষেত্র সৃষ্টি হয়। এর ফলে পরিবাহীর মুক্ত ইলেকট্রনগুলো তড়িৎক্ষেত্রের বিপরীত দিকে বল লাভ করে এবং ত্বরণ প্রাপ্ত হয়। তাই ইলেকট্রনগুলোর এলোমেলো গতির বেগের পাশাপাশি তড়িৎক্ষেত্রের বিপরীত দিকে বেগের একটি উপাংশ তৈরি হয়। তাই তড়িৎক্ষেত্রের বিপরীত দিকে ইলেকট্রনের নিট প্রবাহ শুরু হয়। ইলেকট্রনের এই প্রবাহ কিন্তু সরলরৈখিক নয়। ইলেকট্রনগুলো জিগজ্যাগ পথ অনুসরণ করে সামনের দিকে গতিশীল হয়।

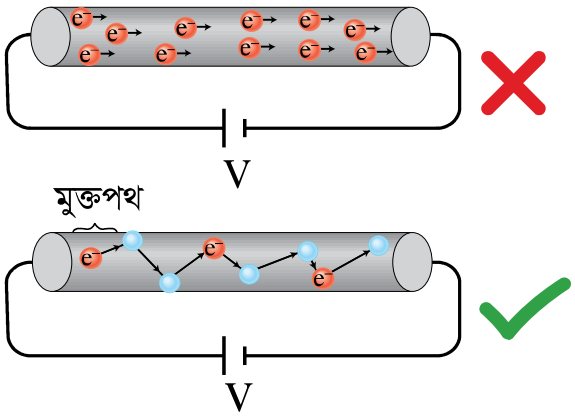


Fig 3.05

এই নিট প্রবাহের ফলে ইলেকট্রনের যে গড় বেগ থাকে, তাই হলো তাড়ন বেগ বা সঞ্চারণ বেগ।

তাড়নবেগ: পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করলে পরিবাহীর মুক্ত ইলেকট্রনগুলো যে গড় বেগে চলতে থাকে তাকে ইলেকট্রনের তাড়নবেগ বা সঞ্চারণ বেগ বলে।

আমরা যখন সন্ধ্যায় খোলা মাঠে দাঁড়িয়ে থাকি তখন আমাদের মাথার উপর ছোট পোকার ঝাঁক উড়তে থাকে। পোকারা তাদের নিজস্ব যে বেগ নিয়ে এলোমেলো পথে উড়তে থাকে তাকে ইলেকট্রনের প্রকৃত বেগের সাথে মেলানো যায়। এবার হঠাৎ একটু বাতাসের প্রবাহ হলে সম্পূর্ণ ঝাঁক বাতাসের প্রবাহের দিকে সরে যাবে। সম্পূর্ণ ঝাঁক সরে যাওয়ার যে বেগ, তাকে ইলেকট্রনের তাড়ন বেগের সাথে মেলানো যায়।

জেনে রাখো

ইলেকট্রনের এলোমেলো জিগজ্যাগ পথে বেগ অত্যন্ত বেশি হলেও এর তাড়নবেগ বা বাহ্যিক তড়িৎক্ষেত্রের প্রভাবে নিট প্রবাহের গড়বেগ খুবই কম হয় (10^{-4} ক্রমের)। অর্থাৎ, তড়িৎ প্রবাহের সময় ইলেকট্রনগুলো খুবই ধীরে সামনের দিকে এগিয়ে চলে।

তাড়নবেগের গাণিতিক রাশিমালা

একটি পরিবাহীর খানিকটা অংশ বিবেচনা করা যাক, যার মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে।

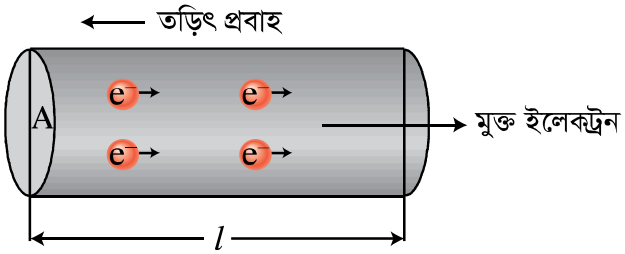


Fig 3.06

ধরা যাক,

পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ = I

পরিবাহীর বিবেচিত অংশের দৈর্ঘ্য = l

পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল = A

পরিবাহীর একক আয়তনের মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা = n

প্রতিটি ইলেকট্রনের চার্জ = e

∴ পরিবাহীর বিবেচ্য অংশের আয়তন = ক্ষেত্রফল × দৈর্ঘ্য = Al

∴ পরিবাহীর বিবেচ্য অংশে মোট মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা = একক আয়তনে ইলেকট্রন সংখ্যা × পরিবাহীর আয়তন = nAl

∴ মুক্ত ইলেকট্রনগুলোর মোট চার্জ = ইলেকট্রন সংখ্যা × একটি ইলেকট্রনের চার্জ

$$\Rightarrow q = nAle$$

ইলেকট্রনের তাড়নবেগ v এবং পরিবাহীর l দৈর্ঘ্য অতিক্রম করতে t সময় লাগলে,

$$l = vt$$

$$\therefore t = \frac{l}{v}$$

যেহেতু t সময়ে একটি ইলেকট্রন পরিবাহীটির এক প্রান্ত থেকে অন্য প্রান্তে পৌঁছাবে, তাই এ সময়ে ঐ অংশের সকল মুক্ত ইলেকট্রন পরিবাহীর অপর প্রান্তের প্রচ্ছচ্ছেদকে অতিক্রম করবে। সুতরাং তড়িৎ প্রবাহ,

$$I = \frac{q}{t}$$

$$= \frac{nAle}{\frac{l}{v}}$$

$$= nAve$$

$$\therefore \boxed{v = \frac{I}{nAe}}$$

এটি ইলেকট্রনের তাড়নবেগের রাশিমালা।

উদাহরণ-০২: একটি তামার তারের ব্যাস 2 mm। তারের মধ্য দিয়ে 1.5 A সুষম তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে। তামার প্রতি ঘন সেন্টিমিটারে মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা 6×10^{18} হলে, ইলেকট্রনের তাড়নবেগের মান নির্ণয় কর।

সমাধান: তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল,

$$A = \pi r^2$$
$$= 3.1416 \times (10^{-3})^2$$
$$= 3.1416 \times 10^{-6} m^2$$

$\therefore$ ইলেকট্রনের তাড়নবেগ,

$$v = \frac{I}{nAe}$$

$$= \frac{1.5}{6\times10^{24}\times3.1416\times10^{-6}\times1.6\times10^{-19}}$$

$$\therefore v = 0.5\ ms^{-1}\ \textbf{(Ans.)}$$

তারের ব্যাস, $d = 2$ mm

$\therefore$ তারের ব্যাসার্ধ, $r = 1\ mm = 10^{-3}$ m

তড়িৎ প্রবাহ, $I = 1.5$ A

একক আয়তনে/প্রতি ঘনমিটারে মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা,

$n = 6 \times 10^{18} \times 10^6 = 6 \times 10^{24}$

ইলেকট্রনের চার্জ, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C

চিন্তা করো

ইলেকট্রনে যদি এতই ধীরে চলে তবে কোনো সুইচ অন করে বাতি জ্বালানো বা ফ্যান চালানোর জন্য বেশ কিছুক্ষণ সময় লাগার কথা। কিন্তু বাতি বা ফ্যান সুইচ অন করার সাথে সাথেই তাৎক্ষণিকভাবে চালু হতে দেখা যায়। কীভাবে এমনটা সম্ভব?

প্রবাহ ঘনত্ব

Fig 3.07 এর পরিবাহীটি লক্ষ কর। ধরা যাক, পরিবাহীটির দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হলো, যার ফলে সুষম তড়িৎ প্রবাহ সৃষ্টি হলো। যেহেতু পরিবাহীতে তড়িৎ প্রবাহ সুষম বা সর্বত্র একই। তাই A প্রস্থচ্ছেদ ও B প্রস্থচ্ছেদ, উভয় তল দিয়েই একই পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হবে। কিন্তু B প্রস্থচ্ছেদ A এর তুলনায় অনেক সংকুচিত, তাই বুঝাই যাচ্ছে ইলেকট্রনগুলো যখন B প্রস্থচ্ছেদের তলকে অতিক্রম করবে, তখন অনেক ঘন সন্নিবিষ্ট থাকবে।

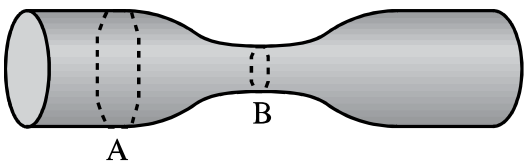


Fig 3.07

অন্যদিকে A প্রস্থচ্ছেদকে অতিক্রমের সময় ইলেকট্রনগুলো ততটা ঘন সন্নিবিষ্ট থাকবে না। এই বিষয়টি পরিমাপ করা হয় যে রাশি দ্বারা তাই প্রবাহ ঘনত্ব। প্রবাহ ঘনত্বকে পরিমাপ করা হয় একক ক্ষেত্রফলের মধ্য দিয়ে যে তড়িৎ প্রবাহিত হয় তা দ্বারা।

প্রবাহ ঘনত্ব: কোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের একক ক্ষেত্রফলের মধ্যদিয়ে যে তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তাকে ঐ তড়িৎ প্রবাহের প্রবাহ ঘনত্ব বলে।

প্রবাহ ঘনত্বকে j দ্বারা প্রকাশ করা হয়। কোনো পরিবাহীর প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল A এবং ঐ পরিবাহীতে সুষম I তড়িৎ প্রবাহিত হলে প্রবাহ ঘনত্ব, $j = \frac{I}{A}$। প্রবাহ ঘনত্বকে তাড়নবেগের মাধ্যমেও প্রকাশ করা যায়। $I = nAve$ বসিয়ে পাই,

$$j = \frac{I}{A}$$

$$= \frac{nAve}{A}$$

$$\therefore j = nve$$

সতর্কতা!

তড়িৎ প্রবাহ স্কেলার রাশি হলেও প্রবাহ ঘনত্ব ভেক্টর রাশি। প্রবাহ ঘনত্বের দিক ধরা হয় ধনাত্মক আধান প্রবাহের দিকে এবং ঋণাত্মক আধান প্রবাহের বিপরীত দিকে। অর্থাৎ, ইলেকট্রনের তাড়ন বেগের দিকই প্রবাহ ঘনত্বের দিক। এটি ভেক্টর রাশি কীভাবে, তা এখন দেখা যাক। যেকোনো পরিবাহীর অতিক্ষুদ্র dA ক্ষেত্রফলের মধ্যদিয়ে dI তড়িৎ প্রবাহিত হলে এবং প্রবাহ ঘনত্ব j হলে, $dI = j\,dA$।

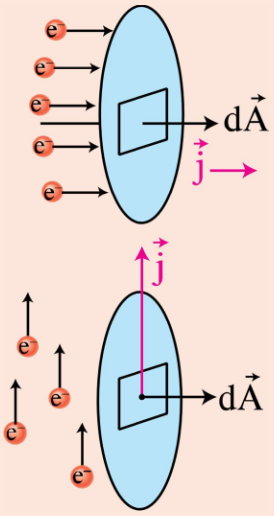


Fig 3.08

dA হলো ক্ষুদ্র ক্ষেত্রফল। আমরা জানি, ক্ষেত্রফলকে ভেক্টররূপে বিবেচনা করা যায়, যার দিক হলো তলের লম্ব বরাবর। এখন, চার্জের বেগের দিক বা প্রবাহ ঘনত্বের দিক যদি ক্ষেত্রফল ভেক্টরের দিক বরাবর হয়, তাহলে চার্জ ঐ তলকে অতিক্রম করবে। আর বেগের দিক প্রবাহ ঘনত্বের দিক যদি ক্ষেত্রফল ভেক্টরের লম্বদিক বরাবর হয়, তাহলে কোনো চার্জ ঐ তলকে অতিক্রম করবে না। অর্থাৎ, $\vec{j}$ এবং $d\vec{A}$ এর মধ্যবর্তী কোণ 0° হলে সবচেয়ে বেশি চার্জ তলকে অতিক্রম করবে। মধ্যবর্তী এ কোণ বাড়াতে থাকলে তল অতিক্রমকারী চার্জের সংখ্যা কমতে থাকবে এবং মধ্যবর্তী এ কোণ 90° হলে তল অতিক্রমকারী চার্জের সংখ্যা সর্বনিম্ন হয়ে যাবে বা শূন্য হয়ে যাবে।

এ কারণে আমাদেরকে সমগ্র ক্ষেত্রফল ভেক্টরের পরিবর্তে চার্জের বেগের দিক বরাবর (বা প্রবাহ ঘনত্বের দিক বরাবর) ক্ষেত্রফল ভেক্টরের উপাংশ $dA\cos\theta$ নিতে হবে।

$\therefore dI = j\,dA\cos\theta = \vec{j}.d\vec{A}$

$\Rightarrow I = \int \vec{j}.d\vec{A}$

অর্থাৎ, প্রবাহ ঘনত্ব ও ক্ষেত্রফল ভেক্টরের ডট গুণফলকে সমাকলন করলে তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া যাবে। অন্যদিকে $j = \frac{I}{A}$ বা $I = JA$ সমীকরণ তখনই প্রযোজ্য যখন তড়িৎ প্রবাহ সুষম এবং চার্জ তলের ক্ষেত্রফলের দিক বরাবর অতিক্রম করে।

একক: প্রবাহ ঘনত্বের একক Am^{-2}।

উদাহরণ-০৩: **একটি তামার তারের ব্যাসার্ধ 1 mm। এর মধ্য দিয়ে 1 ঘণ্টায় 65 C চার্জ প্রবাহিত হলে প্রবাহ ঘনত্ব নির্ণয় কর।**

সমাধান: আমরা জানি,

প্রবাহ ঘনত্ব, $j = \frac{I}{A}$

$= \frac{\frac{q}{t}}{\pi r^2} = \frac{q}{\pi r^2 t}$

$= \frac{65}{3.1416\times(10^{-3})^2\times 3600}$

$= 5747.25\ Am^{-2}$

তারের ব্যাসার্ধ, $r = 1\ mm = 10^{-3}\ m$

সময়, $t = 1$ ঘণ্টা$= 3600\ s$

চার্জ, $q = 65\ C$

উদাহরণ-০৪: একটি রুপা তৈরি তারের দুই প্রান্তে বিভব পার্থক্য প্রয়োগ করা হলে তড়িৎ প্রবাহ শুরু হয়। প্রবাহ ঘনত্ব $1000 Am^{-2}$ এবং রুপার প্রতি ঘনমিটারে ইলেকট্রন সংখ্যা 3×10^{25} হলে, ইলেকট্রনের তাড়নবেগ বা সঞ্চারণ বেগ নির্ণয় কর

সমাধান:

আমরা জানি, $j = nve$

$$\Rightarrow v = \frac{j}{ne}$$

$$= \frac{1000}{3\times10^{25}\times1.6\times10^{-1}}$$

$$= 2.08 \times 10^{-4}\ ms^{-1}$$

প্রবাহ ঘনত্ব, $j = 1000\ Am^{-2}$

একক আয়তনে মুক্ত ইলেকট্রন সংখ্যা, $n = 3 \times 10^{25}$

একটি ইলেক্ট্রে চার্জ, $e = 1.6 \times 10^{-19}\ C$

চিন্তা করো

প্রবাহ ঘনত্বের দিক বরাবর ক্ষেত্র ভেক্টরের উপাংশ $dA\cos\theta$ কেন নেওয়া হলো? $dA\sin\theta$ কেন নয়? এবং প্রবাহ ঘনত্বের দিক বরাবর ক্ষেত্র ভেক্টরের উপাংশ $dA\cos\theta$ এর পরিবর্তে ক্ষেত্র ভেক্টরের দিক বরাবর প্রবাহ ঘনত্বের উপাংশ $j\cos\theta$ বিবেচনা করলে ফলাফলে কোনো পরিবর্তন হতো কী?

ওহমের সূত্র

আমরা জেনেছি, কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তে বিভবের পার্থক্য থাকলে ঐ পরিবাহী দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত হয়। কিন্তু এই বিভব পার্থক্য ও প্রবাহিত তড়িৎ এর মধ্যে কি কোনো সম্পর্ক বিদ্যমান? জার্মান বিজ্ঞানী জর্জ সাইমন ওহম পরিবাহীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ নিয়ে পরীক্ষা-নিরীক্ষা করেন এবং বিভব পার্থক্যের সাথে তড়িৎ প্রবাহের সম্পর্ক নিয়ে একটি সূত্র প্রতিষ্ঠা করেন, একেই ওহমের সূত্র বলে।

ধরা যাক, একটি পরিবাহীর দুই প্রান্তকে A ও B বিন্দুর সাথে যুক্ত করা হয়েছে, A ও B বিন্দুর বিভব যথাক্রমে V_A ও V_B। যদি $V_A > V_B$ হয় তাহলে পরিবাহীর মধ্য দিয়ে A থেকে B এর দিকে তড়িৎ প্রবাহিত হয়।

দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য $V = V_A - V_B$। ধরা যাক, কোনো এক মুহূর্তে বিভব পার্থক্য পাওয়া গেল 5 V এবং তড়িৎ প্রবাহ পাওয়া গেল 2A। এবার বিভব পার্থক্যকে বাড়িয়ে 10 V করা হলে দেখা যাবে তড়িৎ প্রবাহ 4 A হয়ে যাবে। এভাবে বিভব পার্থক্যকে যতগুণ বাড়ানো বা কমানো হবে, তড়িৎ প্রবাহও ততগুণ বেড়ে যাবে বা কমে যাবে। এই ঘটনাটিই লক্ষ করেন বিজ্ঞানী ওহম। তিনি সিদ্ধান্ত গ্রহণ করেন যে, তড়িৎপ্রবাহ ও বিভব পার্থক্যের মধ্যে সমানুপাতিক সম্পর্ক বিদ্যমান।

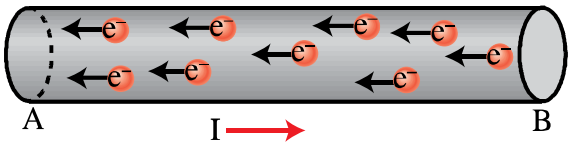


Fig 3.09

ওহমের সূত্র: তাপমাত্রা স্থির থাকলে কোনো পরিবহীর মধ্যদিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্যের সমানুপাতিক।

প্রবাহিত তড়িৎ I হলে ওহমের সূত্রানুসারে,

$$I \propto (V_A - V_B)$$

$$\Rightarrow I \propto V \quad [\because V_A - V_B = V]$$

$$\Rightarrow I = GV$$

এখানে, G একটি সমানুপাতিক ধ্রুবক। একে পরিবাহীর তড়িৎ পরিবাহিতা বলে। এ সমীকরণে G এর বিপরীত রাশি $R = \frac{1}{G}$ বসালে, $I = \frac{V}{R}$ বা, $V = IR$ হয়; যেখানে R একটি ধ্রুবক। R কে পরিবাহীর রোধ বলা হয়।

সতর্কতা!

একটি বহুল প্রচলিত ভুল ধারণা বিদ্যমান যে ওহমের সূত্রের বর্ণনা হলো $V = IR$। এই সমীকরণটি হলো রোধের সংজ্ঞামূলক সমীকরণ। কোনো পরিবাহক ওহমের সূত্র মেনে চলে এটা তখনই বলা যাবে, যখন $V = IR$ সমীকরণের R নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ঐ পরিবাহকের জন্য সর্বদা ধ্রুবক হয়, V ও I এর উপর নির্ভর করে না। আমরা দশম অধ্যায়ে জাংশন ডায়োড নামক অর্ধপরিবাহী দ্বারা সৃষ্ট ডিভাইস সম্পর্কে পড়ার সময় দেখব যে, এটির রোধ $V = IR$ সমীকরণ থেকেই নির্ণয় করা হয়, কিন্তু তারপরও এটি ওহমের সূত্র মেনে চলে না। এর কারণ ডায়োডের রোধ R নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় ধ্রুব নয়, ভোল্টেজ ও কারেন্টের পরিবর্তনের সাথে পরিবর্তিত হয়, অর্থাৎ রোধ ধ্রুব নয়। একে এভাবেও বলা যায়, কোনো পরিবাহীর তড়িৎ প্রবাহ বনাম বিভব পার্থক্যের লেখচিত্র অঙ্কন করলে যদি সরলরেখা পাওয়া যায়, তাহলে তা ওহমের সূত্র মেনে চলে এবং যদি বক্ররেখা পাওয়া যায় তবে তা ওহমের সূত্র মেনে চলে না। যে সকল পদার্থ ওহমের সূত্র মেনে চলে তাদেরকে ওহমিক পদার্থ (ohmic material) বলে।

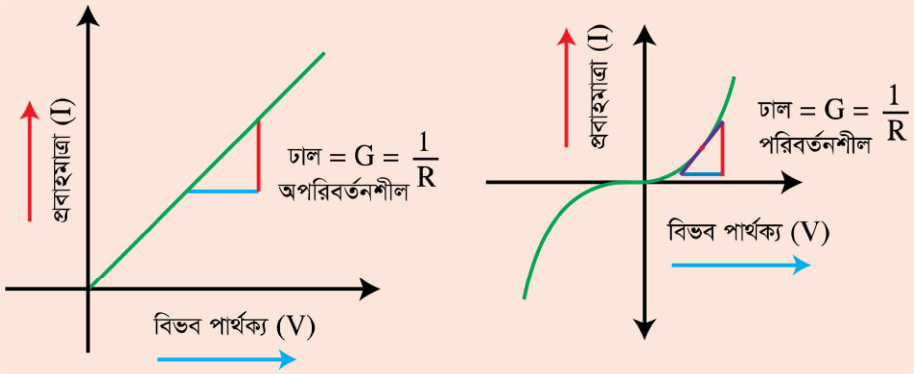


Fig 3.10

ওহমের সূত্র ও রোধ

আমরা ওহমের সূত্র থেকে রোধ সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা পেলাম। এখন আমরা রোধের তাৎপর্য্য সম্পর্কে জানবো। ওহমের সূত্র থেকে আমরা পাই, $V = IR$ বা, $I = \frac{V}{R}$। অর্থাৎ তড়িৎ প্রবাহ ও রোধের মধ্যে ব্যস্তানুপাতিক সম্পর্ক বিদ্যমান। বিভব পার্থক্য ধ্রুব থাকলে পরিবাহীর রোধ যত বেশি হবে, তড়িৎ প্রবাহ তত কম হবে। এ থেকে বুঝা যায়, রোধ তড়িৎপ্রবাহকে বাধাদান করে, (যে কারণে এর নাম "রোধ") আর বিভব পার্থক্য বা ভোল্টেজ তড়িৎ প্রবাহিত হতে সাহায্য করে।

রোধ কীভাবে তড়িৎপ্রবাহকে বাধা দেয়? আমরা জানি, তড়িৎ প্রবাহ প্রকৃতপক্ষে ইলেকট্রনের প্রবাহ। কোনো পরিবাহীর ভেতরে ইলেকট্রনসমূহ যখন গতিশীল হয়, তখন পরিবাহীর অণু-পরমাণুর সাথে গতিশীল ইলেকট্রনের সংঘর্ষ হয়। এতে ইলেকট্রনের প্রবাহ বা তড়িৎপ্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হয়। তড়িৎ প্রবাহে সৃষ্ট এই বাধাকেই বলা হয় রোধ।

রোধ: পরিবাহীর যে ধর্মের জন্য এর ভেতর দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ বাধাপ্রাপ্ত হয়, তাকে পরিবাহীর রোধ বলে।

রোধের একক:

রোধের সূত্রটি হল, $R = \frac{V}{I}$

$\therefore$ রোধের একক $= \frac{\text{বিভবের একক}}{\text{তড়িৎ প্রবাহের একক}} = \frac{V}{A} = VA^{-1}$

VA^{-1} কে SI পদ্ধতিতে Ω (বড় হাতের ওমেগা) প্রতীক দ্বারা প্রকাশ করা হয় এবং একে ওহম বলা হয়। কোনো পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব পার্থক্য 1 V হলে যদি পরিবাহী দিয়ে 1 A তড়িৎ প্রবাহিত হয় তাহলে ঐ পরিবাহীর রোধকে 1 Ω (এক ওহম) বলা হয়।

অর্থাৎ, $1\ \Omega = 1\ VA^{-1}$