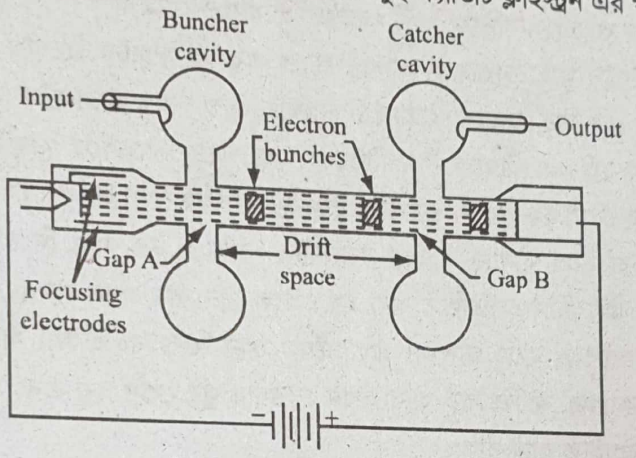
অধ্যায়-৪

বিভিন্ন ধরনের মাইক্রোওয়েভ টিউবের বৈশিষ্ট্য (Features of Different Microwave Tubes)

৪.১ টু ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন টিউবের গঠন ও কার্যপ্রণালি (Construction and operation of two cavity klystron tube) ঃ

দ্বিতীয় বিশ্বযুদ্ধের ঠিক পূর্বে ভ্যারিয়ান ব্রাদার্স কর্তৃক ক্লাইস্ট্রন টিউব উদ্ভাবিত হয়েছে। এটি উদ্ভাবনের পর হতে আজ পর্যন্ত ব্যাপকভাবে মাইক্রোওয়েভ অ্যামপ্লিফায়ার এবং অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়ে আসছে। এটি খুব বেশি পাওয়ার সরবরাহ করতে সক্ষম, যা এটি উদ্ভাবনের পূর্বে কল্পনাও করা যায় নি। ৪.১ নং চিত্রে একটি দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন এর গাঠনিক চিত্র দেখানো হয়েছে।



চিত্র ঃ ৪.১ দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন

এতে দু'টি ক্যাভিটি ব্যবহৃত হয় বলে এরূপ নামকরণ করা হয়ে থাকে। একটি ক্যাভিটিকে বাঞ্চার বা গুচ্ছক ক্যাভিটি এবং অপরটিকে ক্যাচার বা ধারক ক্যাভিটি বলে। একটি দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন-এ নিম্নলিখিত উপাদানগুলো বিদ্যমান থাকে ঃ

১। ক্যাথোড (Cathode),
২। ফোকাসিং ইলেকট্রোড (Focusing electrode),
৩। বাঞ্চার ক্যাভিটি (Buncher cavity),
৪। ক্যাচার ক্যাভিটি (Catcher cavity),
৫। কালেক্টর (Collector),
৬। গ্লাস টিউব (Glass tube)।

১। ক্যাথোড ঃ ক্যাথোড হতে ইলেকট্রন বিচ্ছুরণ ঘটানো হয়। এটা দু'ধরনের হয়ে থাকে– প্রথমত, প্রত্যক্ষ উত্তাপে এবং দ্বিতীয়ত, পরোক্ষ উত্তাপে ইলেকট্রনের বিচ্ছুরণ ঘটানো হয়। প্রত্যক্ষ উত্তাপের ক্ষেত্রে ক্যাথোডের সাথেই হিটার যুক্ত থাকে। এতে বৈদ্যুতিক সরবরাহ দিলে হিটার উত্তপ্ত হয়ে ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রনের বিচ্ছুরণ ঘটায়। পরোক্ষ উত্তাপের ক্ষেত্রে ক্যাথোডের কাছাকাছি একটি পৃথক হিটার থাকে। এতে পৃথকভাবে বৈদ্যুতিক সরবরাহ দেয়া হয়। ফলে হিটার উত্তপ্ত হয়ে ক্যাথোডকে উত্তপ্ত করে এবং ক্যাথোড হতে ইলেকট্রনের বিচ্ছুরণ ঘটে।

২। ফোকাসিং ইলেকট্রোড ঃ ক্যাথোডের কাছাকাছি একে স্থাপন করা হয়। ক্যাথোড হতে নির্গত ইলেকট্রনসমূহকে একত্রিত করে বিম গঠন করাই এর কাজ। এতে দু'ধরনের ফোকাসিং ব্যবহার করা যায়– প্রথমত, ইলেকট্রোস্ট্যাটিক ফোকাসিং এবং দ্বিতীয়ত, ইলেকট্রোম্যাগনেটিক ফোকাসিং। এক্ষেত্রে ইলেকট্রোম্যাগনেটিক ফোকাসিং ব্যবহার করা হয়। ৪.১ নং চিত্রে এর ব্যবস্থাপনা দেখানো হয় নি। একটি কয়েলের মাধ্যমে ইলেকট্রোম্যাগনেট গঠন করা হয়। যখন কয়েলে সরবরাহ দেয়া হয়, তখন তার চারপার্শ্বে একটি ম্যাগনেটিক ফিল্ড সৃষ্টি হয়। এ ফিল্ড ইলেকট্রনকে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ করে থাকে। মূলত এ ফিল্ড দ্বারা ইলেকট্রনসমূহকে বিকর্ষিত করা হয়। ফলে, ক্যাথোড থেকে নির্গত ইলেকট্রনসমূহ এ ফিল্ড দ্বারা বিকর্ষিত হয়ে নির্দিষ্ট পথে চলতে থাকে এবং ইলেকট্রন বিম গঠিত হয়।

৩। বাঞ্চার ক্যাভিটি ঃ এতে দু'টি গ্রিড সামান্য দূরত্বে স্থাপন করা হয়। ফলে ক্যাভিটি গঠিত হয়। এতে যে গ্যাপ সৃষ্টি হয়, তাকে গ্যাপ-A বলা হয়। এতে RF বা মাইক্রোওয়েভ ইনপুট দেয়া হয়। ইলেকট্রন বীম যখন এ গ্যাপের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়, তখন তারা RF ফিল্ড দ্বারা প্রভাবিত হয়। ফলে, ইলেকট্রন বাঞ্চ বা গুচ্ছ গঠন করতে সক্ষম হয়।

৪। ক্যাচার ক্যাভিটি ঃ এতেও দু'টি গ্রিডকে সামান্য দূরত্বে স্থাপন করে ক্যাভিটি গঠন করা হয়। এটিকে বাঞ্চার ক্যাভিটি থেকে নির্দিষ্ট দূরত্বে স্থাপন করা হয়ে থাকে। এতে যে গ্যাপ থাকে, তাকে গ্যাপ-B বলা হয়। বাঞ্চার ক্যাভিটির মাধ্যমে যে ইলেকট্রন গুচ্ছ তৈরি হয়, তাকে এ গ্যাপে সংগ্রহ করা হয়। এ ক্যাভিটিতে RF সিগন্যাল এর আউটপুট পাওয়া যায়। দু'টি ক্যাভিটির মধ্যবর্তী স্থানকে ড্রিফ্ট স্পেস বলে।

৫। কালেকটর ঃ এটি টিউবের সর্বশেষ প্রান্তের উপদান। এর সাহায্যে ক্যাথোড হতে নির্গত ইলেকট্রনসমূহকে সংগ্রহ করে সরবরাহে ফেরত পাঠানো হয়। এ জন্য এতে উচ্চ মানের ধনাত্মক সরবরাহ দেয়া হয়।

৬। গ্লাস টিউব ঃ এর সমস্ত উপাদানকে একটি গ্লাস টিউবের মধ্যে স্থাপন করা হয়। টিউবকে বায়ুশূন্য করা হয়। এটি একদিকে সকল উপাদানের ধারক হিসেবে কাজ করে। অন্যদিকে, এটি প্রটেক্টর হিসেবেও কাজ করে।

কার্যপ্রণালি ঃ দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন মাইক্রোওয়েভ অ্যামপ্লিফায়ার এবং অসিলেটর হিসেবে কাজ করে। ৪.১ নং চিত্রে একটি দুই-ক্যাভিটি অ্যামপ্লিফায়ার ক্লাইস্ট্রন এর চিত্র দেখানো হয়েছে। ক্যাথোড হতে নির্গত ইলেকট্রনসমূহকে যথাযথ ফোকাসিং করে উচ্চ গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন বীম গঠন করা হয়। এ বীমকে দীর্ঘ টিউবের মধ্য দিয়ে কালেক্টরে প্রেরণ করা হয়। কালেক্টরে ক্যাথোডের তুলনায় উচ্চ মানের ধনাত্মক সরবরাহ দেয়া হয়। ফলে কালেক্টর ইলেকট্রন সংগ্রহ করে থাকে। যে RF সিগন্যালকে বর্ধিত করা হবে, তাকে বাঞ্চার ক্যাভিটিতে প্রয়োগ করা হয়। বীমকে বাঞ্চার ক্যাভিটির গ্যাপ-A এর মধ্য দিয়ে প্রেরণ করা হয় এবং পরে একে মুক্তভাবে ক্যাচার ক্যাভিটির গ্যাপ-B এর দিকে সঞ্চালিত করা হয়। ইলেকট্রন বীম যখন গ্যাপ-A অতিক্রম করে, তখন সেটি RF সিগন্যাল দ্বারা প্রভাবিত হয়। কিন্তু গ্যাপ-A হতে গ্যাপ-B এর মধ্যে কোন ফিল্ড না থাকায় বীম স্বাধীনভাবে চলতে পারে। যদি সবকিছু ভালভাবে সম্পন্ন হয়, তবে ক্যাচার ক্যাভিটিতে অসিলেশন পাওয়ার খুব বেশি হয় এবং এতে উচ্চ আউটপুট পাওয়া যায়। পরবর্তীতে কালেক্টরের মাধ্যমে বীম সংগৃহীত হয়ে থাকে।

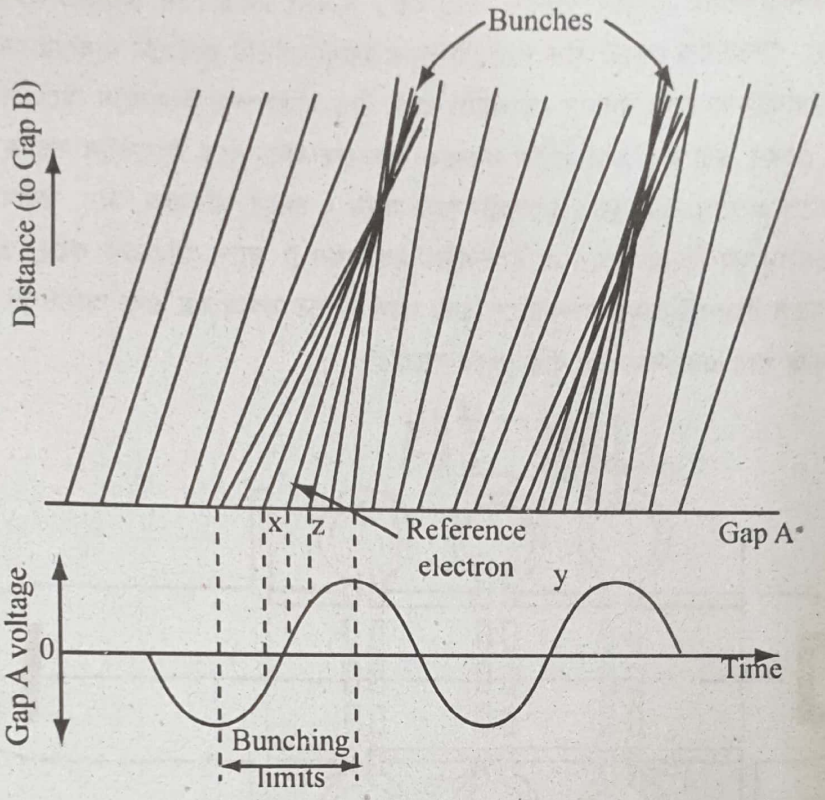
দু'টি ক্যাভিটির গ্যাপ এবং অবস্থান পরিবর্তনযোগ্য, যদিও চিত্রে এরূপ দেখানো হয়নি। এ ক্যাভিটিদ্বয়-এর অভ্যন্তরীণ অংশ অবিভাজ্য বা পুনঃস্থাপনযোগ্য হয়। যদি ক্যাভিটি পুনঃস্থাপনযোগ্য হয়, তবে গ্লাস আবরণের বাহিরে একটি রিং-এর সাথে তার গ্রিড সংযুক্ত থাকে এবং ক্যাভিটিকে রিং এর সাথে যুক্ত করা হয়। ড্রিফ্ট স্পেসকে খুব বড় করা হয় এবং ট্রানজিট সময় ব্যবহার করা হয়। গ্যাপ-A এবং গ্যাপ-B কে যথেষ্ট মানে ক্ষুদ্র করা হয়, যাতে নির্দিষ্ট বাঞ্চ ইলেকট্রন তাদের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার সময় তাদের আড়াআড়ি ভোল্টেজ পরিবর্তন খুব কম হয়। এটি আংশিকভাবে ইলেকট্রন বীমের গতি বৃদ্ধি করে সম্পন্ন করা যায় অর্থাৎ কালেক্টরের ভোল্টেজ বৃদ্ধি করা হয়।

বাঞ্চার ক্যাভিটিতে RF সিগন্যাল প্রয়োগ করা হয়। এ সিগন্যাল অনুযায়ী গ্যাপ-A তে একটি ফিল্ড সৃষ্টি হয়। বিমকে একটি নির্দিষ্ট গতিতে গ্যাপ-A এর মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত করা হয়। বিম এ গ্যাপ অতিক্রম করার সময় RF ফিল্ড দ্বারা প্রভাবিত হয়। অর্থাৎ ইলেকট্রনের গতির হ্রাস-বৃদ্ধি হয়। ইলেকট্রনের গতি RF সিগন্যালের পরিবর্তনের সাথে পরিবর্তিত হয়। ইলেকট্রনের গতিকে এমনভাবে নিয়ন্ত্রিত করা হয়, যাতে কিছু ইলেকট্রনের গতি হ্রাস-বৃদ্ধি করে তাদেরকে একটি নির্দিষ্ট স্থানে একই সময়ে একত্রিত করে বাঞ্চ বা গুচ্ছ গঠন করা হয়। ইলেকট্রনের গতির হ্রাস-বৃদ্ধি RF ওয়েভের উপর নির্ভর করে। এটি বর্ণনার জন্য ওয়েভের বিভিন্ন অবস্থা বিবেচনা করতে হয়।

৪.২ ক্লাইস্ট্রন অ্যামপ্লিফায়ারের স্কিমেটিক ডায়াগ্রাম (Schematic diagram of klystron amplifier) ঃ

বিবেচনা করা যাক, যখন গ্যাপ-A এ RF ভোল্টেজের মান শূন্য। এ অবস্থায় ইলেকট্রন অপরিবর্তিত গতিতে কালেক্টরের দিকে ধাবিত হয়। এ অবস্থা ৪.২ নং চিত্রের বামপার্শ্বের কয়েকটি ইলেকট্রনের গতি দ্বারা দেখানো হয়েছে। এর কিছু সময় পর বাঞ্চার ক্যাভিটিতে ইনপুট প্রয়োগ করা হয়। এখানে দেখানো হয়েছে যে, RF ওয়েভ ঋণাত্মক মান থেকে বর্ধিত হয়ে আবার হ্রাস পাচ্ছে এবং এক সময় শূন্য হয়ে আবার ধনাত্মকের দিকে ধাবিত হচ্ছে। যখন ওয়েভ ঋণাত্মক থেকে ধনাত্মকের দিকে ধাবিত হয়, তখন এমন এক মুহূর্ত আসে, যখন ভোল্টেজের মান শূন্য হয়। এ মুহূর্তে যে ইলেকট্রন গ্যাপ-A অতিক্রম করে, তার গতি অপরিবর্তিত থাকে। ৪.২ নং চিত্রে এ ইলেকট্রনকে রেফারেন্স ইলেকট্রন হিসেবে বিবেচনা করা হয়েছে এবং একে y দ্বারা প্রকাশ করা হয়েছে।

রেফারেন্স ইলেকট্রন বা y-এর কিছু সময় পূর্বে x ইলেকট্রন এবং y-এর কিছু সময় পর z ইলেকট্রন গ্যাপ-A অতিক্রম করে। কিন্তু x ইলেকট্রন যখন গ্যাপ-A অতিক্রম করে, তখন ভোল্টেজের মান ঋণাত্মক এবং z ইলেকট্রন যখন গ্যাপ-A অতিক্রম করে, তখন ভোল্টেজের মান ধনাত্মক হয়। এটা ৪.২ নং চিত্রে প্রদর্শন করা হয়েছে।



চিত্র ঃ ৪.২ ক্লাইস্ট্রন অ্যামপ্লিফায়ারের স্কিমেটিক ডায়াগ্রাম

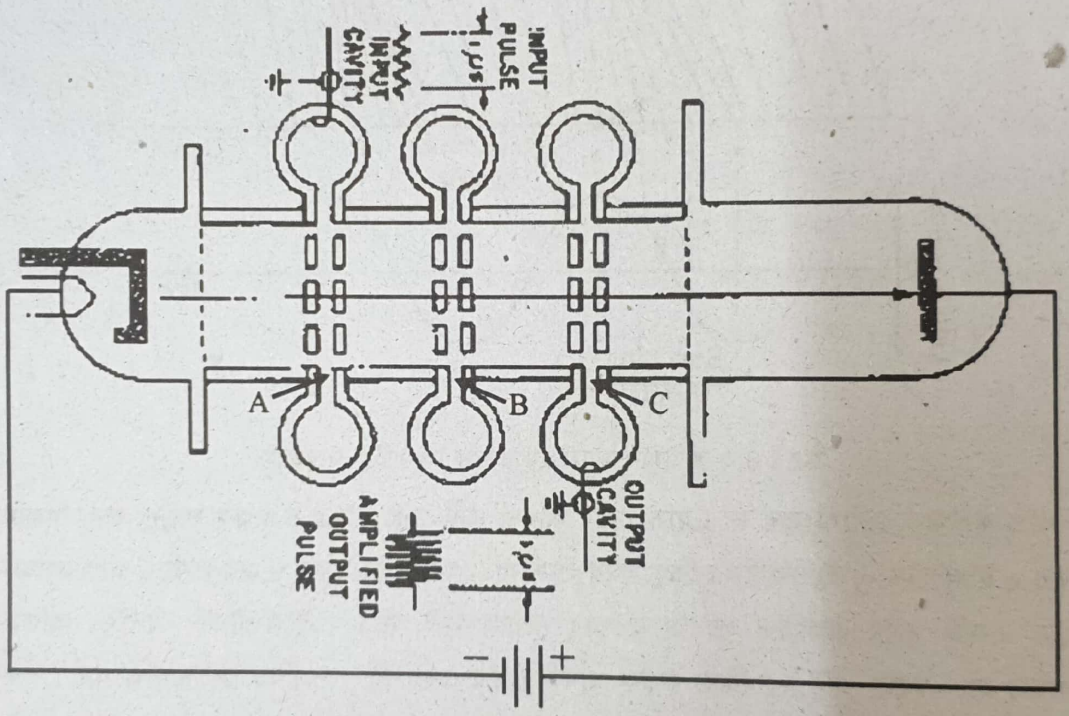
x ইলেকট্রনের গতি ঋণাত্মক ভোল্টেজের জন্য হ্রাস পায়। কারণ, এটি ভোল্টেজের ঋণাত্মক মানের জন্য বিকর্ষিত হয় এবং এর গতি হ্রাস পায়। যদিও x ইলেকট্রন, y ইলেকট্রনের কিছু সময় পূর্বে যাত্রা শুরু করে, কিন্তু y এর গতি x অপেক্ষা অধিক হওয়ায় এক সময় উভয় ইলেকট্রন একটি স্থানে একত্রিত হয় বা হওয়ার সুযোগ সৃষ্টি হয়। z ইলেকট্রনটি গ্যাপ-A অতিক্রম করে, তখন ভোল্টেজের মান ধনাত্মক হয়। ফলে, এটা RF ফিল্ড কর্তৃক আকর্ষিত হয় এবং গতি স্বাভাবিক থেকে বৃদ্ধি পায়। তখন z ইলেকট্রনের গতি y ইলেকট্রনের গতি অপেক্ষা অধিক হয়। ফলে, এক সময় z ইলেকট্রন, y ইলেকট্রনের সাথে একত্রিত হয় বা হওয়ার অবস্থা সৃষ্টি হয়। এ আলোচনা থেকে এটা প্রতিয়মান হয় যে, x, y ও z ইলেকট্রনসমূহ কোনো এক মুহূর্তে একটি নির্দিষ্ট স্থানে একত্রিত হয়ে থাকে। এভাবে ইলেকট্রনসমূহের একত্রিত হওয়াকে বাঞ্চ বা গুচ্ছ বলা হয়। গ্যাপ-A হতে গ্যাপ-B এর মধ্যে ড্রিফট স্পেস এমনভাবে নিয়ন্ত্রণ করা হয় যেন, কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন একটি নির্দিষ্ট স্থানে বাঞ্চ গঠন করতে পারে। RF ফিল্ড দ্বারা ইলেকট্রন এর গতি প্রভাবিত হওয়ার এ প্রক্রিয়াকে গতির মডুলেশন বলে। এরূপ গতি মডুলেশন বিম যখন ক্যাচার ক্যাভিটি অতিক্রম করে, তখন বাঞ্চ সম্পূর্ণরূপে প্রেরণ করে এবং পর্যায়ক্রমে সময়ের সাথে পরিবর্তিত হয়। ফলে, গ্যাপ-B তে কারেন্টের পরিবর্তন হয় এবং কারেন্ট ঘনত্বের পরিবর্তন হয়। এটিকে কারেন্ট মডুলেশন বলে। এটিই ক্লাইস্ট্রনের পর্যাপ্ত গেইন প্রদান করে থাকে।

৪.২ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে যে, প্রতি সাইকেলে একবার বাঞ্চ গঠিত হয় এবং এটি রেফারেন্স ইলেকট্রনকে কেন্দ্র করে গঠিত হয়ে থাকে। একইভাবে, গ্যাপ-B তে প্রতি সাইকেলে একবার বাঞ্চ এসে পৌছে এবং এ ক্যাভিটিতে শক্তি সরবরাহ করে। সাধারণ ভ্যাকুয়াম টিউবের ক্ষেত্রে গ্রিডে অল্প RF পাওয়ার প্রয়োগ করা হলে প্লেট কারেন্টের ব্যাপক পরিবর্তন হয়, যা ডিসি পাওয়ার নিয়ন্ত্রণ করে। এক্ষেত্রেও একই ধরনের পরিস্থিতির সৃষ্টি হয়। অর্থাৎ বাঞ্চার ক্যাভিটিতে অল্প RF পাওয়ার প্রয়োগ করা হলে, ক্যাচার ক্যাভিটিতে বিম কারেন্টের ব্যাপক পরিবর্তন হয় এবং এটি পাওয়ার গেইন প্রদান করে। ক্যাচার ক্যাভিটিকে রেজন্যান্ট ফ্রিকুয়েন্সিতে উত্তেজিত করা হয় এবং একটি বৃহৎ সায়ন্যুসাইডাল আউটপুট পাওয়া যায়।

৪.৩ মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন-এর গঠন ও কার্যপদ্ধতি (Construction and operation of multi-cavity klystron) ঃ

দুই ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনে অধিকাংশ ক্ষেত্রে ইলেকট্রনসমূহ বাঞ্চ গঠন সম্পূর্ণ করতে পারে না। কারণ, বাঞ্চ এবং ক্যাচার ক্যাভিটির মধ্যে অনেক ইলেকট্রন পরস্পরের সাথে ফেজ পার্থক্যে অবস্থান করে। সে কারণে ব্যবহারিক ক্ষেত্রে সর্বদা দুইয়ের অধিক ক্যাভিটি বা মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন অ্যামপ্লিফায়ার হিসাবে ব্যবহার করা হয়। ৪.৩নং চিত্রে তিন ক্যাভিটি সম্পন্ন মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন অ্যামপ্লিফায়ার দেখানো হয়েছে। ব্যবহারিক ক্ষেত্রে সাত ক্যাভিটি পর্যন্ত মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন ব্যবহার করা হয়।

ক্যাথোড থেকে আগত ইলেকট্রনসমূহকে যথাযথ ফোকাসিং করে উচ্চ গতিসম্পন্ন ইলেকট্রন বিমে পরিণত করা হয়। এ বিমকে টিউবের মধ্য দিয়ে কালেক্টরে প্রেরণ করা হয় এবং সঠিক ধনাত্মক সরবরাহ দ্বারা এতে ইলেকট্রন সংগ্রহ করা হয়। যে সিগন্যালকে বর্ধিত করা হবে তাকে A গ্যাপে প্রয়োগ করা হয়। ইলেকট্রনসমূহ যখন A গ্যাপ অতিক্রম করে, তখন প্রয়োগকৃত সিগন্যাল দ্বারা প্রভাবিত হয়। ফলে, ইলেকট্রনসমূহের ভিন্নতা হয়। এ ইলেকট্রনসমূহ যখন B গ্যাপ অতিক্রম করে, তখন পুনরায় ইলেকট্রনসমূহ প্রভাবিত হয়। এর ফলে C গ্যাপে ইলেকট্রনসমূহ সম্পূর্ণরূপে বাঞ্চ গঠন করতে সক্ষম হয় এবং আউটপুট বৃদ্ধি লাভ করে। ক্যাভিটির সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে আউটপুট বৃদ্ধি পায় এবং দক্ষতাও বৃদ্ধি পেয়ে থাকে।

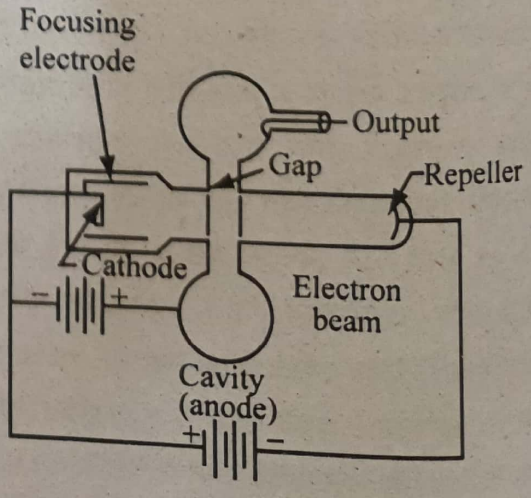


চিত্র ঃ ৪.৩ মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন

৪.৪ রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্র টিউবের গঠন ও কার্যপদ্ধতি (Construction and operation of reflex klystron tube) ঃ

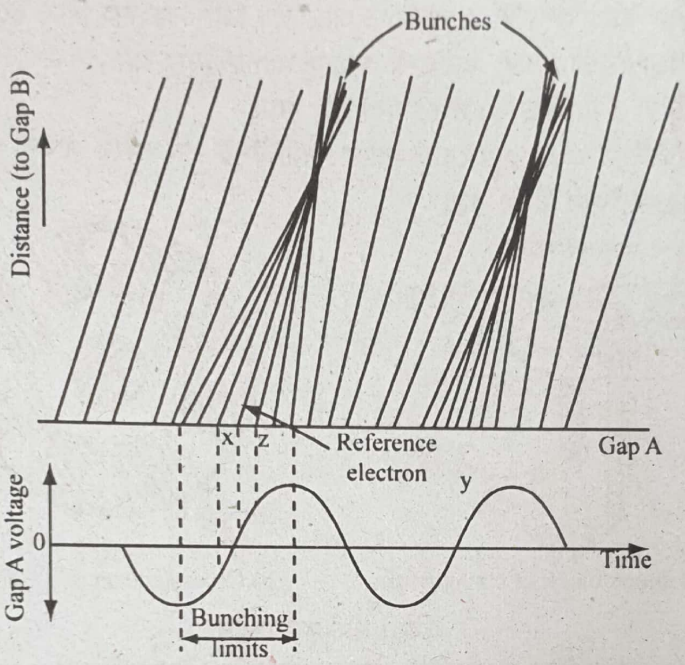
এটি এক ক্যাভিটি-বিশিষ্ট একটি ডিভাইস এবং এটিকে মাইক্রোওয়েভ অসিলেটর হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এর আউটপুট পাওয়ার খুব কম এবং দক্ষতাও খুব কম। ৪.৪ নং চিত্রে একটি রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রন এর গাঠনিক চিত্র দেখানো হয়েছে। মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের ন্যায় এতেও ইলেকট্রন গান ব্যবহৃত হয়। কিন্তু এটি তুলনামূলকভাবে খুবই ছোট। ডিভাইসটি খুবই ছোট বিধায় এতে ম্যাগনেটিক ফোকাসিং ব্যবহার করা হয় না। ক্যাভিটিই অ্যানোড হিসেবে ব্যবহৃত হয় এবং এতে উচ্চ ধনাত্মক ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয়, যার ফলে ইলেকট্রন বিম-এর ত্বরণ সংগঠিত হয়ে থাকে।

ক্যাথোড থেকে কিছু দূরে একটি ক্যাভিটি স্থাপন করা হয়। এর গ্যাপের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রন বিম প্রবাহিত হয়। ক্যাভিটি হতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে একটি প্রতিফলক ইলেকট্রোড স্থাপন করা থাকে।



চিত্র ঃ ৪.৪ রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রন অসিলেটর

এটিকে রিপেলার ইলেকট্রোড বলে। এর সাথে উচ্চমানের ঋণাত্মক ভোল্টেজ যুক্ত করা হয়। ফলে, ক্যাভিটির মধ্য দিয়ে আগত ইলেকট্রনসমূহ রিপেলার হতে বিকর্ষিত হয়ে ফিরে আসে। বস্তুত ইলেকট্রনসমূহ রিপেলারের কিছু দূর থেকেই ফিরে আসে। রিপেলারে প্রয়োগকৃত ভোল্টেজ এমন হয় যে, ধরা যাক, y ইলেকট্রনের কিছু সময় পূর্বে একটি ইলেকট্রন x গ্যাপ অতিক্রম করে। যদি গ্যাপে কোনো ভোল্টেজ প্রয়োগ করা না হতো, তবে এ ইলেকট্রন y ইলেকট্রনের পূর্বেই অ্যানোডে ফিরে আসত। কিন্তু ঐ মুহূর্তে গ্যাপে ধনাত্মক ভোল্টেজ বিদ্যমান থাকে। ফলে, x ইলেকট্রনের গতি বৃদ্ধি পায় এবং এটি রিপেলারের অধিক কাছাকাছি বিন্দু থেকে ফিরে আসে, যার প্রেক্ষিতে কিছুটা অধিক সময় প্রয়োজন হয়। যদিও এটা y ইলেকট্রনের পূর্বে যাত্রা শুরু করে, তথাপি y অপেক্ষা সময় অধিক প্রয়োজন হওয়ায় y এর একই সাথে অ্যানোডে ফিরে আসে।



চিত্র ঃ ৪.৫ ক্লাইস্ট্রন টিউবের ফিচার

একইভাবে অপর একটি ইলেকট্রন z ধরা যাক, যেটি y ইলেকট্রনের কিছু সময় পর যাত্রা শুরু করে। গ্যাপে তখন ঋণাত্মক ভোল্টেজ বিদ্যমান থাকে। ফলে, সেটি z ইলেকট্রনের গতি হ্রাস করে। z ইলেকট্রনের গতি কম থাকায় y ইলেকট্রন অপেক্ষা কম গতিপথ অতিক্রম করে এবং অ্যানোডে ফিরে আসতে y অপেক্ষা সময় কম প্রয়োজন হয়। ফলে, y ইলেকট্রনের একই সাথে অ্যানোডে ফিরে আসে।

এভাবে দেখানো যায় যে, x, y ও z ইলেকট্রনসমূহ যদিও ভিন্ন ভিন্ন সময়ে গ্যাপ অতিক্রম করে, তথাপি গ্যাপে প্রয়োগকৃত ভোল্টেজ দ্বারা প্রভাবিত হয়ে একই সময়ে গ্যাপে ফিরে আসে বা আসতে পারে। ফলে, গ্যাপে একটি বাঞ্চ গঠিত হয়। যখন ইলেকট্রনসমূহ রিপেলার হতে ফিরে এসে গ্যাপ ত্যাগ করে, তখন গতি মডুলেশন কারেন্ট মডুলেশনে রূপান্তরিত হয়। কিন্তু এতে অল্পসংখ্যক ইলেকট্রন বাঞ্চ গঠন করতে সক্ষম হয় এবং এতে দেখানো যায় যে, প্রতি সাইকেলে একবার বাঞ্চ গঠিত হয়। এ বাঞ্চগুলো অসিলেশন ক্রিয়া অব্যাহত রাখার জন্য গ্যাপে প্রয়োজনীয় শক্তি প্রদান করে থাকে। ফলে, অসিলেশন অব্যাহত থাকে।

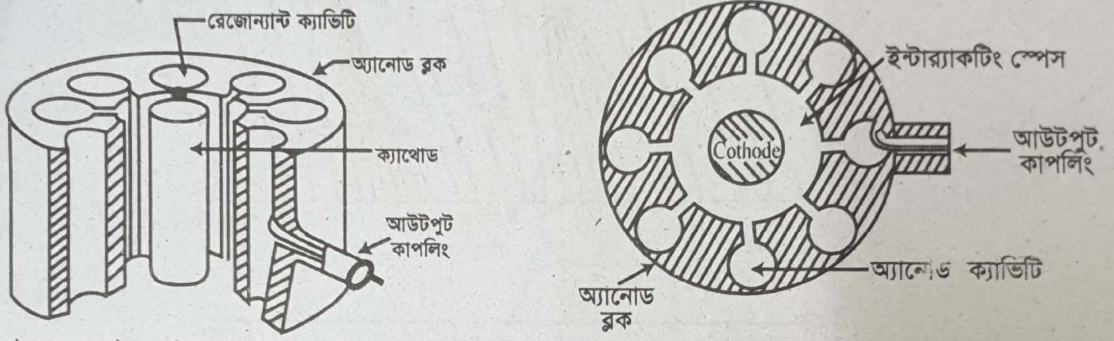
৪.৫ ক্যাভিটি ম্যাগনেট্রনের গঠনগত বৈশিষ্ট্য (Constructional feature of cavity magnetron) ঃ

ক্লাইস্ট্রন উদ্ভাবনের সমসাময়িক সময়ে ম্যাগনেট্রন উদ্ভাবিত হয়েছে। এটিই সর্বপ্রথম ডিভাইস, যে ডিভাইস মাইক্রোওয়েভ ফ্রিকুয়েন্সিতে অধিক পাওয়ার উৎপন্ন করতে সক্ষম। ম্যাগনেট্রন একটি ডায়োড, যার ক্যাভিটিতে ম্যাগনেটিক এবং ইলেকট্রিক ফিল্ডের মধ্যে ক্রিয়া-বিক্রিয়ায় খুব উচ্চ পাওয়ারের অসিলেশন উৎপন্ন হয়। প্রথম যখন ম্যাগনেট্রন উৎপন্ন হয়, তখন ৩ গিগাহার্টজ-এ ১০০ কিলোওয়াট পাওয়ার উৎপন্ন করতে সক্ষম ছিল। কিন্তু বর্তমান কালে প্রথম উদ্ভাবিত ম্যাগনেট্রনের পরিবর্তে ক্যাভিটি ম্যাগনেট্রন ব্যবহার করা হয়।

ম্যাগনেট্রনের প্রকারভেদ ঃ প্রথম যে ধরনের ম্যাগনেট্রন ব্যবহৃত হত, তা ছিল সাইক্লোট্রন রেজনেন্স নীতির। এর অনিয়ম আচরণ এবং পাওয়ার সক্ষমতা খুবই কম। পরবর্তীতে অন্য ধরনের ম্যাগনেট্রন উদ্ভাবিত হলো, যাতে হাবান (Habann) অসিলেশন নীতি ব্যবহার করা হতো। সর্বশেষে ক্যাভিটি ম্যাগনেট্রন উদ্ভাবিত হয়েছে। এতে ট্রাভেলিং ওয়েভ নীতি ব্যবহৃত হয়। আধুনিক কালে যে ম্যাগনেট্রন ব্যবহৃত হচ্ছে, তা ট্রাভেলিং ওয়েভ নীতির উপর ভিত্তি করে কাজ করে।

ম্যাগনেট্রনের গঠন ঃ এখানে ক্যাভিটি ম্যাগনেট্রনকে আমরা ম্যাগনেট্রন হিসেবে বিবেচনা করেছি। ম্যাগনেট্রনকে সাধারণত চোঙাকৃতি করে তৈরি করা হয়। এতে ম্যাগনেটিক এবং ইলেকট্রিক ফিল্ড ব্যবহার করা হয়। পরস্পরের মধ্যে ৯০° কোণ বিদ্যমান থাকে। ম্যাগনেটিক ফিল্ডকে ক্যাভিটির অক্ষ বরাবর প্রেরণ করা হয়। এতে ব্যবহৃত ক্যাভিটিকে অ্যানোড হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এর অ্যানোডের গঠন নির্দিষ্ট সংখ্যক স্থায়ী ক্যাভিটি, যা ৪.৬ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে। একটি চোঙাকৃতির ক্যাথোডের চারপার্শ্বে অ্যানোডগুলো সজ্জিত থাকে। ক্যাথোডের চারপার্শ্বে অ্যানোড ব্লককে কর্তন করে কিছুসংখ্যক ক্যাভিটি তৈরি করা হয়। ক্যাভিটি বা অ্যানোড এবং ক্যাথোডের মাঝে বৃত্তাকার আকৃতির ফাঁকা স্থান থাকে। এটিকে ইন্টার-অ্যাকশন বা ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া স্থান বলে। ক্যাথোডের অক্ষ বরাবর ম্যাগনেটিক ফিল্ড সৃষ্টি করা হয়। এটি একটি ম্যাগনেটের মাধ্যমে সৃষ্টি কর হয়, যা চিত্রে প্রদর্শন করা হয় নি। চৌম্বকীয় বলরেখা ক্যাথোড এবং ইন্টার-অ্যাকশন স্পেসের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়। অপরদিকে, বাহিরের অ্যানোডে ডিসি সরবরাহ দিয়ে ইলেকট্রিক ফিল্ড সৃষ্টি করা হয়। এ ফিল্ড ক্যাথোড অক্ষের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে। ফলে, ম্যাগনেটিক ফিল্ড ম্যাগনেট্রনের ক্রস-সেকশনের সাথে এবং ইলেকট্রিক ফিল্ডের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে। এজন্য এটিকে ক্রস-ফিল্ড ডিভাইসও বলা হয়ে থাকে।

যে-কোনো ক্যাভিটি হতে আউটপুট গ্রহণ করা যেতে পারে। আউটপুট সমঅক্ষীয় লাইন বা ওয়েভগাইডের মাধ্যমে গ্রহণ করা যায়। এটি ফ্রিকুয়েন্সি এবং পাওয়ারের উপর নির্ভর করে।



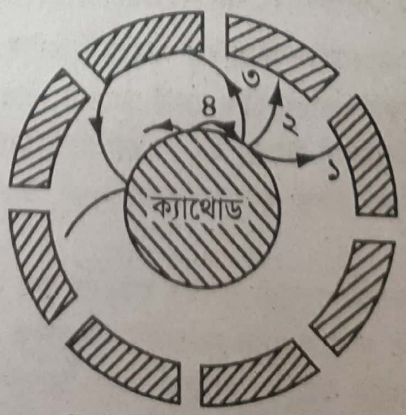
(a) A cut section of anode block of a magnetron. (b) Cross-section of a hole-and slot magnetron.

চিত্র ঃ ৪.৬ ম্যাগনেট্রন

ম্যাগনেটিক ফিল্ডের প্রভাব ঃ ম্যাগনেট্রনে ইলেকট্রিক এবং ম্যাগনেটিক উভয় ফিল্ডই প্রয়োগ করা হয়। ক্যাথোড হতে যখন একটি ইলেকট্রন নির্গত হয়, তখন সেটি উভয় ফিল্ড দ্বারা প্রভাবিত হয়। এখানে ইলেকট্রনের উপর উভয় ফিল্ডের প্রভাব পৃথকভাবে বিশ্লেষণ করা প্রয়োজন।

যখন একটি ইলেকট্রন গমন করে, তখন এটি নিরবচ্ছিন্ন বৈদ্যুতিক কারেন্ট সৃষ্টি করে। যদি ঐ চলমান ইলেকট্রনের উপর একটি ম্যাগনেটিক ফিল্ড প্রয়োগ করা হয়, তখন তার উপর একটি ফোর্স কাজ করে, যার মান BVe এর সমানুপাতিক হয়। এখানে B = ইলেকট্রনের গতির সাথে লম্ব ম্যাগনেটিক ফিল্ড উপাদান, V = ইলেকট্রনের গতি এবং e = ইলেকট্রনের চার্জ। ইলেকট্রনের উপর প্রযুক্ত ফিল্ড উভয় দিকের সাথে লম্ব হয়। যদি ম্যাগনেটিক ফিল্ড স্থির মানের হয় অর্থাৎ এতে ডিসি সরবরাহ দেয়া হয়, তবে কার্যরত বল ইলেকট্রনের গতির উপর নির্ভরশীল হয়।

ইলেকট্রিক ফিল্ডের প্রভাব ঃ ইলেকট্রিক ফিল্ড RF সরবরাহের মাধ্যমে সৃষ্টি করা হয়। ফলে, ইলেকট্রনের উপর ম্যাগনেটিক ফিল্ডের একই সাথে ইলেকট্রিক ফিল্ডও কাজ করে। ফলশ্রুতিতে ইলেকট্রনের গতিপথ পরিবর্তিত হয়। এ গতিপথ নির্ভর করে পরস্পরের সাথে লম্বভাবে অবস্থিত ইলেকট্রিক এবং ম্যাগনেটিক ফিল্ডের আপেক্ষিক শক্তির উপর। ৪.৭ নং চিত্রে একটি স্থির ইলেকট্রিক ফিল্ড এবং ম্যাগনেটিক ফিল্ডের যেকোন মানের জন্য ইলেকট্রনের গতিপথ দেখানো হয়েছে।



চিত্র ঃ ৪.৭ ইলেকট্রিক ফিল্ড

ম্যাগনেটিক ফিল্ড শূন্য হলে ইলেকট্রন ক্যাথোড হতে সরল রেখায় অ্যানোডে গমন করে। কিন্তু ইলেকট্রিক ফিল্ডের দরুন ইলেকট্রনের গতি নির্দিষ্ট হারে বৃদ্ধি পেতে থাকে। ৪.৭ নং চিত্রে এটি লাইন ১ দ্বারা দেখানো হয়েছে। সামান্য ম্যাগনেটিক ফিল্ড প্রযুক্ত হলে ইলেকট্রনের গতিপথ বামদিকে সামান্য বেঁকে যায়। একে চিত্রে ২ নং লাইন দ্বারা দেখানো হয়েছে। এখানে উল্লেখ্য, ইলেকট্রিক ফিল্ড দ্বারা ইলেকট্রনের গতি সর্বদা বৃদ্ধি পেতে থাকে। কিন্তু ম্যাগনেটিক ফিল্ডের জন্য এর গতিপথ বেঁকে যায় এবং অধিক দূরত্ব অতিক্রম করতে হয়।

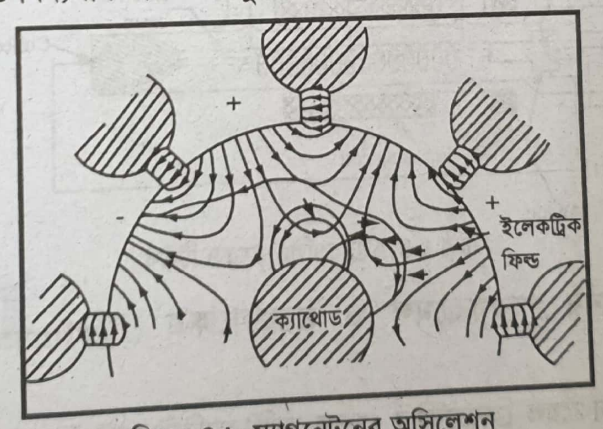
উভয় ক্ষেত্রের শক্তি এমন হওয়া স্বাভাবিক যে, ইলেকট্রন অ্যানোডে গিয়ে পৌঁছতে পারে না, যা চিত্রে ৩ নং লাইন দ্বারা দেখানো হয়েছে। এক্ষেত্রে ম্যাগনেটিক ফিল্ডের মান এমন হওয়া উচিত যে, ইলেকট্রন অ্যানোডের কিনারা দিয়ে ঘুরে পুনরায় ক্যাথোডে ফিরে আসে। এটিকে কাট-অফ ক্ষেত্র বলে। অসিলেশনের অনুপস্থিতিতে অ্যানোড কারেন্ট হ্রাস পায় এবং সে কারণে ম্যাগনেট্রনের ক্ষেত্রে কাট-অফ ক্ষেত্রের গুরুত্ব অপরিসীম। যদি ম্যাগনেটিক ফিল্ড আরো অধিক শক্তিশালী হয়, তবে ইলেকট্রন ৪ নং লাইন অনুসরণ করে। এক্ষেত্রে ইলেকট্রন খুব দ্রুত ক্যাথোডে প্রত্যাবর্তন করে।

কিন্তু যদি RF ফিল্ড বিদ্যমান থাকে, তাহলে ইলেকট্রনের এ সমস্ত পথ পরিবর্তিত হয়। এখানে RF ফিল্ডের অনুপস্থিতিতে অর্থাৎ অসিলেশনের অনুপস্থিতিতে ইলেকট্রনের গতিপথ বিশ্লেষণ করার পিছনে দু'টি প্রধান কারণ আছে। **প্রথমত,** অসিলেটিং ম্যাগনেট্রনের কাজ সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা গ্রহণ করা। **দ্বিতীয়ত,** যখন ম্যাগনেট্রনে অসিলেশন হয় না, তখন সকল ইলেকট্রন ক্যাথোডে ফিরে আসে, যা ক্যাথোডকে উত্তপ্ত করে এবং একে ধ্বংস করে দেয়। এটি তখনই ঘটে, যখন ম্যাগনেটিক ক্ষেত্রে শক্তি কাট-অফ অপেক্ষা অধিক হয়।

৪.৬ ম্যাগেনেট্রনে অসিলেশনের কৌশল (Mechanism of oscillations in a magnetron) ঃ

এখানে, π-mode অসিলেশন প্রক্রিয়া বর্ণনা করা হয়েছে। ম্যাগনেট্রনে সেল্ফ-অসিলেশন পাওয়ার জন্য পাশাপাশি দু'টি অ্যানোড পোলের মধ্যে ফেজ পার্থক্য $n\frac{\pi}{n}$ আবশ্যক। এখানে, n একটি পূর্ণসংখ্যা। সবচেয়ে ভালো অসিলেশন পাওয়ার জন্য n এর মান 4 হওয়া আবশ্যক। তখন পাশাপাশি দু'টি অ্যানোড পোলের মধ্যে ফেজ পার্থক্য থাকে π পরিমাণ। এজন্য এ পদ্ধতিকে 'π' mode বলা হয়। 'π' mode অসিলেশনের চিত্র ৪.৮ নং চিত্রে দেখানো হয়েছে, যখন উপরের অ্যানোড পোলের বামদিক সর্বাধিক ধনাত্মক হয়। অ্যানোড পোলের পোলারিটি স্থির নয়। এটি অসিলেশনের সাথে পরিবর্তিত হয়। এমন একটি সময় আসে, যখন উপরের অ্যানোডে পোলের বামদিক সর্বাধিক ঋণাত্মক হয়।

RF ইলেকট্রিক ফিল্ডের অনুপস্থিতিতে, a ও b ইলেকট্রন যে পথ অনুসরণ করে, তা ডটেড লাইন দ্বারা দেখানো হয়েছে। বস্তুত প্রত্যেক ক্যাভিটি রেজোনেটরে RF ফিল্ড বিদ্যমান থাকে। কিন্তু সহজতর করার উদ্দেশ্যে এখানে প্রদর্শন করা হয় নি।



চিত্র ঃ ৪.৮ ম্যাগনেট্রনের অসিলেশন

ইন্টার-অ্যাকশন স্পেসের মধ্যে RF ইলেকট্রিক ফিল্ড প্রয়োগ করলে এতে ইলেকট্রিক ফিল্ডের স্পর্শক উপাদান প্রতিষ্ঠিত হয়। ধরা যাক, কোনো এক মুহূর্তে a ইলেকট্রন ১ নং বিন্দুতে অবস্থান করে। ইলেকট্রিক ফিল্ডের স্পর্শক উপাদান ইলেকট্রনের লম্ব গতিতে সম্পূর্ণরূপে বাধা প্রদান করে। এ অবস্থা কোনো ইলেকট্রন রিপোলার হতে বিকর্ষিত হওয়ার ঘটনার অনুরূপ। এ ইলেকট্রন এমন মহূর্তে ফিরে আসবে, যখন গ্যাপ এর মধ্যে শক্তি সম্পূর্ণরূপে হারিয়ে ফেলে অর্থাৎ শূন্য হয়। এভাবে a ইলেকট্রন বাধা পেয়ে, এর শক্তি ইলেকট্রিক ফিল্ডে স্থানান্তরিত হয়। অন্যদিকে, b ইলেকট্রন একই সমান শক্তি RF ইলেকট্রিক ফিল্ড থেকে গ্রহণ করে, যা a ইলেকট্রন ইলেকট্রিক ফিল্ডকে প্রদান করে। ফলে, b ইলেকট্রন এর গতি ত্বরান্বিত হয়ে থাকে। অব্যাহত অসিলেশনের জন্য মোট শক্তি ইলেকট্রন থেকে RF ইলেকট্রিক ফিল্ডে যথারীতি স্থানান্তর হওয়া আবশ্যক। আমরা দেখি যে, a এবং b ইলেকটনের ন্যায় আরও অনেক ইলেকট্রন বিদ্যমান থাকে। ফলে, ইলেকট্রন হতে মোট শক্তি RF ইলেকট্রিক ফিল্ডে স্থানান্তর সম্ভব হলেও মোট শক্তি BF ইলেকট্রিক ফিল্ডে স্থানান্তর সম্ভব হয় না। এখানে উল্লেখ্য, RF ইলেকট্রিক ফিল্ডে b ইলেকট্রন যে সময় অতিবাহিত করে, a ইলেকট্রন তার চেয়ে অধিক সময় ব্যয় করে। a ইলেকট্রন যখন বাধা পায়, তখন এর উপর ডিসি ম্যাগনেটিক ফিল্ডের প্রভাব হ্রাস পায়। ফলে, এটি অ্যানোডের খুব কাছাকাছি চলে যায়। কিন্তু a ইলেকট্রন যখন ২নং বিন্দুতে পৌঁছে, তখন পুনরায় এটি বাধার সম্মুখীন হয় এবং পুনরায় RF ফিল্ডে শক্তি প্রদান করে। এটি RF ইলেকট্রিক ফিল্ডের পোলারিটি হওয়ার জন্য ঘটে।

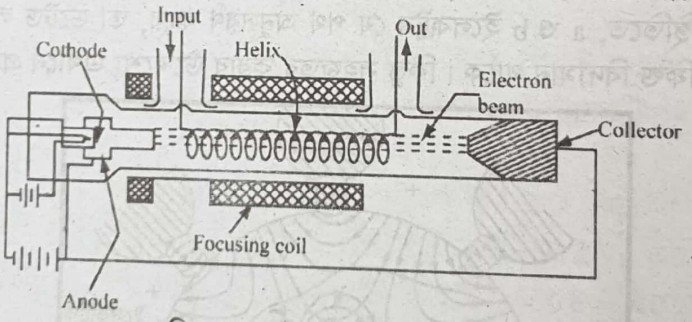
'a' ইলেকটনের উপর ম্যাগনেটিক ফিল্ডের প্রভাব পুনরায় হ্রাস পায় এবং এটি যখন ৩ নং বিন্দুতে পৌঁছে, তখন একই অবস্থার সৃষ্টি হয়। এভাবে আমাদের প্রধান উদ্দেশ্য হবে যে, RF ইলেকট্রিক ফিল্ডের পোলারিটি এমনভাবে পরিবর্তন করা, যাতে 'a' ইলেকট্রন RF ফিল্ড দ্বারা এর শক্তি হারাতে থাকে এবং অ্যানোডে এসে শেষ হয়। ইলেকট্রনকে ইন্টার-অ্যাকশন স্থানের মধ্যে বিবেচ্য পরিমাণ সময় অতিবাহিত করতে সহায়তা করতে হয়।

যাহোক, 'a' ইলেকট্রন থেকে 'b' ইলেকট্রনের ঘটনা ভিন্নতর হয়। কারণ, 'b' ইলেকট্রন RF ফিল্ড দ্বারা অধিক গতি প্রাপ্ত হয় এবং একই সাথে ম্যাগনেটিক ফিল্ডের প্রভাবও একই অনুপাতে বৃদ্ধি পেয়ে থাকে। ফলে, এটি খুব অল্প সময়ের মধ্যে ক্যাথোডে প্রত্যাবর্তন করে। এটি ইন্টার-অ্যাকশন স্পেসের মধ্যে 'a' ইলেকট্রন অপেক্ষা খুব কম সময় অতিবাহিত করে। পরিপ্রেক্ষিতে যদিও 'b' ইলেকট্রন RF ইলেকট্রিক ফিল্ড হতে অধিক শক্তি প্রাপ্ত হয়, যেখানে 'a' ইলেকট্রন RF ফিল্ডে শক্তি প্রদান করে থাকে, তথাপি 'a' ধরনের ইলেকট্রন অপেক্ষা 'b' ধরনের ইলেকট্রনের খুবই কম ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া ঘটে। এর প্রেক্ষিতে RF অসিলেশনের জন্য RF ফিল্ড অধিক শক্তি প্রাপ্ত হয়ে থাকে এবং ফলশ্রুতিতে ম্যাগনেট্রনে অসিলেশন অব্যাহত থাকে।

৪.৭ ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউবের গঠন ও কার্যপদ্ধতি (Construction and operation of travelling wave tube) ঃ

এটিকে সংক্ষেপে TWT বলা হয়। এটিকে প্রধানত মাইক্রোওয়েভ অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহার করা হয়। ৪.৯ নং চিত্রে একটি প্রচলিত TWT এর গাঠনিক চিত্র দেখানো হয়েছে। এতে খুব সরু ইলেকট্রন বিম তৈরি করার জন্য পিয়ার্স (ভেদ করা) ধরনের ইলেকট্রন গান ব্যবহার করা হয়। ইলেকট্রন বিমকে একটি দীর্ঘ হেলিক্যাল পথের অক্ষ বরাবর প্রেরণ করা হয়। ক্যাথোডের তুলনায় কালেক্টরে অধিক ধনাত্মক সরবরাহ দেয়া হয়। এতে ইলেকট্রন বিমের গতি ত্বরান্বিত হয়। এ ছাড়াও হেলিক্সকে ক্যাথোড অপেক্ষা ধনাত্মক সরবরাহ প্রদান করা হয়। ইলেকট্রন বিমের চারপার্শ্বে টিউবের উপর একটি ফোকাসিং কয়েল পেঁচানো থাকে। এতে ডিসি সরবরাহ প্রদান করা হয়। ফলে, যে ফিল্ডের সৃষ্টি হয় তা বিমের ইলেকট্রনকে কেন্দ্রীভূত করতে নিশ্চয়তা প্রদান করে। ইলেকট্রন বিমকে খুব সরু করা হয় এবং সঠিকভাবে ফোকাসিং করা হয়, যাতে হেলিক্স এর অক্ষপথে ইলেকট্রন বিম চলার সময় এতে স্পর্শ না করে।

যে সিগন্যাল বর্ধিত করতে হবে, তাকে চিত্রের ন্যায় ইনপুট প্রান্তে প্রয়োগ করা হয়। RF সিগন্যাল হেলিক্স পথে প্রায় আলোর সমান গতিতে গমন করে। কিন্তু হেলিক্স এর অক্ষ বরাবর এর গতি হ্রাস পায়। কারণ, এর মান আলোর গতি এবং হেলিক্স পিচ ও হেলিক্সের পরিসীমার রেশিও-এর গুণফলের সমান হয়। এটি RF সিগন্যালকে ধীরগতিসম্পন্ন করে, যাতে প্রায় বিমের সমান গতিসম্পন্ন হয়। এ পথে বিম এবং RF সিগন্যালের মধ্যে ধারাবাহিক ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া চলতে থাকে।



চিত্র ঃ ৪.৯ ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউব

৪.৮ মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের পারফরমেন্স ও প্রয়োগক্ষেত্র (Performance and application of multicavity klystron) ঃ

ইউএইচএফ (UHF) এবং মাইক্রোওয়েভ ফ্রিকুয়েন্সির ক্ষেত্রে মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনকে মধ্যম, বেশি এবং খুব বেশি পাওয়ার অ্যামপ্লিফায়ার হিসাবে ব্যবহার করা হয়। এর ফ্রিকুয়েন্সি রেঞ্জ ২৫০ মেগাহার্টজ হতে ৯৫ গিগাহার্টজ পর্যন্ত হয়ে থাকে। এর গেইন খুব বেশি হয়। UHF এর ক্ষেত্রে ৩০–৩৫ ডিবি এবং মাইক্রোওয়েভের ক্ষেত্রে ৬০–৬৫ ডিবি হয়। ৪.১ নং টেবিলে মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন এর পারফরমেন্স ও প্রয়োগক্ষেত্র দেখানো হয়েছে।

টেবিল ঃ ৪.১ মাল্টিক্যাভিটির পারফরমেন্স ও প্রয়োগক্ষেত্র।

প্রয়োগক্ষেত্র	ফ্রিকুয়েন্সি রেঞ্জ (GHz)	প্রয়োজনীয় পাওয়ার (সর্বোচ্চ)	সরবরাহকৃত পাওয়ার (সর্বোচ্চ)
UHF টিভি ট্রান্সমিটার (CW)	0.5–0.9	55 KW	100 KW
লংরেঞ্জ রাডার (পালস)	1.0–12	10MW	20MW
লিনিয়ার কণিকা এক্সিলেটর (পাল্‌স)	2.0–3.0	25 MW	40MW
ট্রান্সপন্ডার লিঙ্কস (CW)	1.5–12	250KW	1000KW
আর্থ স্টেশন ট্রান্সমিটার (CW)	5.9–14	8KW	25KW

৪.৮.১ রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রনের পারফরমেন্স এবং প্রয়োগ (Performance and application of reflex klystron) ঃ

রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রনকে মূলত মাইক্রোওয়েভ অসিলেটর হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এর পাওয়ার খুব কম এবং দক্ষতাও কম। নিচে এর সাধারণ প্রয়োগ তালিকা দেয়া হয়েছে ঃ

১। মাইক্রোওয়েভ জেনারেটরের সিগন্যাল উৎস হিসেবে ব্যবহৃত হয়,
২। মাইক্রোওয়েভ লিঙ্ক-এর ক্ষেত্রে ফ্রিকোয়েন্সি মডুলেটেড অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়,
৩। মাইক্রোওয়েভ রিসিভারের লোকাল অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়,
৪। প্যারামেট্রিক অ্যামপ্লিফায়ারে পাম্প অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়,
৫। রাডার রিসিভারে স্ট্যাবল অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

৪.৮.২ ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউবের পারফরমেন্স, ধর্ম এবং প্রয়োগ (Performance, properties and applications of travelling wave tube) ঃ

পারফরমেন্স এবং ধর্ম ঃ দু'ধরনের ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউব আছে ঃ একটি কম পাওয়ার ও কম নয়েজি বিশিষ্ট এবং অপরটি বেশি পাওয়ার এবং নয়েজি ধরনের হয়ে থাকে। ০.৫ থেকে ১৬ গিগাহার্টজ সিগন্যালের কম পাওয়ার-বিশিষ্ট ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউবের নয়েজ স্তর ৪–৮ ডিবি হয়। এর আউটপুট পাওয়ার সাধারণত ৫ থেকে ৩০ মিলিওয়াট (mW) হয়। মধ্যম পাওয়ার টিউব ৪০ গিগাহার্টজ পর্যন্ত ফ্রিকুয়েন্সির ক্ষেত্রে ২ থেকে ২৫ ওয়াট পাওয়ার সরবরাহ করতে পারে, যার মধ্যে নয়েজ ২৫ ডিবি পর্যন্ত হতে পারে। কম পাওয়ারের টিউবে পালসড সিগন্যালের ক্ষেত্রে এবং মধ্যম পাওয়ারের টিউব Cw (Continuous wave) সিগন্যালের ক্ষেত্রে ব্যবহৃত হয় ঃ

প্রয়োগক্ষেত্র ঃ কম নয়েজ বিশিষ্ট টিউব ব্রডব্যান্ড মাইক্রোওয়েভ রিসিভারে RF অ্যামপ্লিফায়ার হিসাবে ব্যবহৃত হয়। যোগাযোগ ব্যবস্থায় অধিক দূরত্বের ক্ষেত্রে রিপিটারের অ্যামপ্লিফায়ার হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

স্যাটেলাইট কমিউনিকেশনে অধিক স্থায়িত্বের টিউব প্রয়াজন হয় এবং সে ক্ষেত্রে TWT ব্যবহৃত হয়। রাডার ব্যবস্থাপনায়ও TWT ব্যবহৃত হয়।

অনুশীলনী-৪

অতি সংক্ষিপ্ত প্রশ্নোত্তর ঃ

১। **ক্যাভিটি বলতে কী বুঝায়?** [বাকাশিবো-২০০৯, ১০, ১৬(পরি)]

উত্তর ঃ Cavity (ক্যাভিটি) অর্থ– গহ্বর, খোল, গর্ত, hollow place। ক্লাইস্ট্রন টিউবের অভ্যন্তরে গ্লাস আবরণে ঢাকা শূন্যস্থানকে ক্যাভিটি বলে। ইলেকট্রন বিমকে ক্যাভিটির গ্যাপে প্রেরণ করা হয়।

২। **দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন বলতে কী বুঝায়?**

উত্তর ঃ ক্লাইস্ট্রন টিউবে মাইক্রোওয়েভ অ্যামপ্লিফায়ার ও অসিলেটর হিসেবে দুটি ক্যাভিটি ব্যবহৃত হয় বলে একে দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন বলা হয়।

৩। **ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের বিভিন্ন উপাদানের নাম লেখ।**

উত্তর ঃ ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের বিভিন্ন উপাদানগুলো নিম্নরূপ ঃ

(i) ক্যাথোড (Cothode),
(ii) ফোকাসিং ইলেকট্রোড (Focusing Electrode),
(iii) কালেক্টর (Collector),
(iv) গ্লাস টিউব (Glas Tube)।

৪। দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের বিভিন্ন উপাদানগুলোর নাম লেখ।

উত্তর ঃ (i) ক্যাথোড,
(ii) ফোকাসিং ইলেকট্রোড,
(iii) বাঞ্চার ক্যাভিটি,
(iv) ক্যাচার ক্যাভিটি,
(v) কালেক্টর,
(vi) গ্লাস টিউব।

৫। বাঞ্চ কী? [বাকাশিবো-২০১৫(পরি)]

উত্তর ঃ দু'টি গ্রিড সামান্য দূরত্বে স্থাপন করে গুচ্ছাকারে যে ক্যাভিটি বা গর্ত তৈরি হয়, তাকে বাঞ্চ বলে। এ বাঞ্চে RF বা মাইক্রোওয়েভ ইনপুট দেয়া হয়।

৬। বাঞ্চ কেন গঠিত হয়? [বাকাশিবো-২০১১, ১৪(পরি), ১৫, ১৫(পরি)]
অথবা, ইলেকট্রন বাঞ্চ কেন গঠিত হয়? [বাকাশিবো-২০১৭(পরি)]

উত্তর ঃ ইলেকট্রন বিমকে গ্যাপের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করে ইলেকট্রন বাঞ্চ বা গুচ্ছ গঠন করার জন্য বাঞ্চ গঠন করা হয়।

৭। রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রন কী?

উত্তর ঃ এটি একটি ক্যাভিটিবিশিষ্ট ডিভাইস। এটিকে মাইক্রোওয়েভ অসিলেটর হিসেবে ব্যবহার করা হয়। এতে ক্যাভিটি হতে নির্দিষ্ট দূরত্বে একটি প্রতিফলক ইলেকট্রোড স্থাপন করা হয়।

৮। রিপেলার কী?

উত্তর ঃ রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রনে ক্যাভিটি হতে নির্দিষ্ট দূরত্বে একটি প্রতিফলক ইলেকট্রোড স্থাপন করা হয়, এটিকে রিপেলার বলা হয়।

৯। রিপেলারে কোন ধরনের সরবরাহ দেয়া হয়?

উত্তর ঃ রিপেলারের সাথে উচ্চমানের ঋণাত্মক ভোল্টেজ যুক্ত করা হয়।

১০। ক্লাইস্ট্রন টিউবে রিপেলারের কাজ কী? [বাকাশিবো-০২০০৬, ০৭, ০৯, ১০, ১৭, ১৮(পরি)]

উত্তর ঃ রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রন টিউব হতে নির্দিষ্ট দূরত্বে একটি প্রতিফলক ইলেকট্রোড স্থাপন করে উচ্চমানের ঋণাত্মক ভোল্টেজ যুক্ত করা হয়। এটাই রিপেলারের প্রধান কাজ।

১১। ম্যাগনেট্রন কখন উদ্ভাবিত হয়?

উত্তর ঃ ক্লাইস্ট্রন উদ্ভাবনের সমসাময়িক সময়ে ম্যাগনেট্রন উদ্ভাবিত হয়েছে।

১২। ম্যাগনেট্রন কোন ফ্রিকুয়েন্সিতে অধিক ক্রিয়াশীল?

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রন মাইক্রোওয়েভ ফ্রিকুয়েন্সিতে অধিক পাওয়ার উৎপন্ন করতে সক্ষম।

১৩। সাইক্লোটন রেজনেন্স নীতির ভিত্তিতে তৈরি ম্যাগনেট্রনের প্রধান অসুবিধা কী?

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রনকে সাধারণত চোঙাকৃতি করে তৈরি করা হয়।

১৪। ম্যাগনেট্রনে কোন ধরনের ফিল্ড ব্যবহার করা হয়? [বাকাশিবো-২০০৯, ১০, ১২]

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রনে ম্যাগনেটিক এবং ইলেকট্রিক ফিল্ড ব্যবহার করা হয়।

১৫। ম্যাগনেট্রনে ইলেকট্রিক ও ম্যাগনেটিক ফিল্ড পরস্পরের মধ্যে কীভাবে অবস্থান করে?

উত্তর ঃ এতে ম্যাগনেটিক ও ইলেকট্রিক ফিল্ড পরস্পরের মধ্যে ৯০° কোণ বিদ্যমান থাকে।

১৬। ম্যাগনেট্রনের ক্যাভিটিকে কী হিসেবে ব্যবহার করা হয়?

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রনে ব্যবহৃত ক্যাভিটিকে অ্যানোড হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

১৭। ম্যাগনেট্রনের আউটপুট কীভাবে নেয়া হয়?

উত্তর ঃ আউটপুট ওয়েভগাইডের মাধ্যমে গ্রহণ করা হয়।

১৮। ম্যাগনেট্রনে ইলেকট্রিক ফিল্ড কীভাবে সৃষ্টি করা হয়?

উত্তর ঃ ইলেকট্রিক ফিল্ড RF সরবরাহের মাধ্যমে সৃষ্টি করা হয়।

১৯। ম্যাগনেট্রনে ইলেকট্রন কখন সরল রেখায় অ্যানোডে গমন করে?

উত্তর ঃ ম্যাগনেটিক ফিল্ড শূন্য হলে ইলেকট্রন ক্যাথোড হতে সরল রেখায় অ্যানোডে গমন করে।

২০। TWT-এর পূর্ণনাম কী?

উত্তর ঃ TWT-এর পূর্ণনাম "Travelling Wave Tube" ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউব।

২১। TWT কে কী কাজে ব্যবহার করা হয়?

উত্তর ঃ এটিকে প্রধানত মাইক্রোওয়েভ অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহার করা হয়।

২২। ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউব কয় প্রকার ও কী কী?

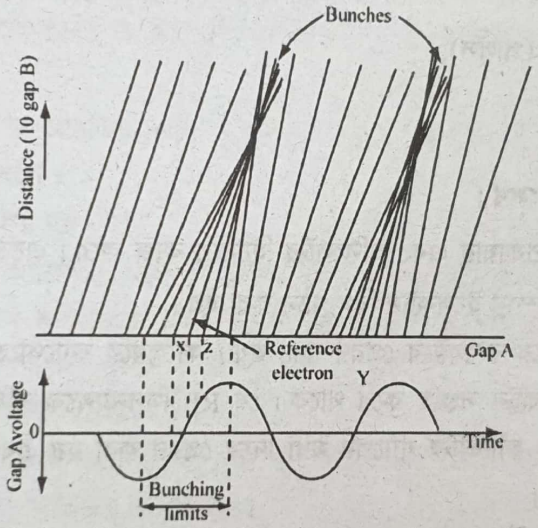
উত্তর ঃ দু'প্রকার, যথা–

(i) একটি কম পাওয়ার এবং কম নয়েজি বিশিষ্ট,

(ii) অপরটি বেশি পাওয়ার এবং নয়েজি ধরনের।

২৩। Klystron amplifier-এর Applegate diagram অঙ্কন কর। [বাকাশিবো-২০১৬]

উত্তর ঃ

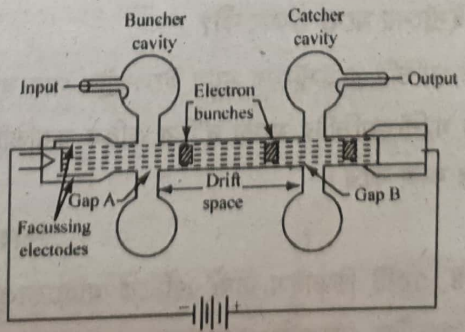


চিত্র ঃ ক্লাইস্ট্রন অ্যামপ্লিফায়ারের আপলগেট ডায়াগ্রাম

HP সংক্ষিপ্ত প্রশ্নোত্তর ঃ

১। দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের গঠন চিত্র দেখাও এবং বিভিন্ন অংশের নাম লেখ। [বাকাশিবো-২০০৭, ০৯]

উত্তর ঃ



চিত্র ঃ দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রন

বিভিন্ন অংশের নাম ঃ

(i) ক্যাথোড,
(ii) ফোকাসিং ইলেকট্রোড,
(iii) বাঞ্চার ক্যাভিটি,
(iv) ক্যাচার ক্যাভিটি,
(v) কালেক্টর,
(vi) গ্লাস টিউব।

২। দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের ক্যাভিটি দুটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দাও।

উত্তর ঃ দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনে দুটি ক্যাভিটি থাকে, যথা–

(i) বাঞ্চার ক্যাভিটি, (ii) ক্যাচার ক্যাভিটি।

বাঞ্চার ক্যাভিটি ঃ এতে দুটি গ্রিড সামান্য দূরত্বে স্থাপন করা হয়, যার ফলে ক্যাভিটি গঠিত হয়। এতে যে গ্যাপ সৃষ্টি হয়, তাকে গ্যাপ A বলা হয়। এতে মাইক্রোওয়েভ ইনপুট দেয়া হয়। ইলেকট্রন বিম যখন A গ্যাপের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয় তখনই তারা RF ফিল্ড দ্বারা প্রভাবিত হয়। ফলে, ইলেকট্রন বাঞ্চ গঠন করতে সক্ষম হয়।

ক্যাচার ক্যাভিটি ঃ এতেও দু'টি গ্রিডকে সামান্য দূরত্বে স্থাপন করে ক্যাভিটি গঠন করা হয়। টিকে বাঞ্চার ক্যাভিটি থেকে নির্দিষ্ট দূরত্বে স্থাপন করা হয়ে থাকে। এতে যে গ্যাপ থাকে, তাকে গ্যাপ B বলা হয়। এ ক্যাভিটিতে RF সিগন্যালের আউটপুট পাওয়া যায়। দু'টি ক্যাভিটির মধ্যবর্তী স্থানকে ড্রিফ্ট স্পেস বলে।

৩। মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের প্রয়োগক্ষেত্র উল্লেখ কর।

উত্তর ঃ মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের প্রয়োগক্ষেত্র নিম্নরূপ ঃ

(i) UHF টিভি ট্রান্সমিটার (CW),

(ii) লংরেঞ্জ রাডার (পালস),

(iii) লিনিয়ার কণিকা অ্যাক্সিলেটর (পাল্‌স),

(iv) ট্রান্সপন্ডার লিঙ্কস (CW),

(v) আর্থ স্টেশন ট্রান্সমিটার (CW)।

৪। দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের মূলনীতি লেখ। [বাকাশিবো-২০১০, ১৩, ১৫, ১৮(পরি)]

উত্তর ঃ মাইক্রোওয়েভ অ্যামপ্লিফায়ার এবং অসিলেটর হিসেবে কাজ করে। এতে ক্যাথোড হতে নির্গত ইলেকট্রনসমূহকে যথাযথ ফোকাসিং করে উচ্চগতিসম্পন্ন ইলেকট্রন বিম গঠন করা হয়।

এ বীমকে দির্ঘ টিউবের মধ্য দিয়ে কালেক্টরে প্রেরণ করা হয়। কালেক্টরে ক্যাথোডের তুলনায় উচ্চমানের ধনাত্মক সরবরাহ দেয়া হয়। ফলে, কালেক্টর ইলেকট্রন সংগ্রহ করে থাকে। যে RF সিগন্যালকে বর্ধিত করা হবে, তাকে বাঞ্চার ক্যাভিটিতে প্রয়োগ করা হয়। বিমকে বাঞ্চার ক্যাভিটির গ্যাপের মধ্য দিয়ে প্রেরণ করা হয় এবং পরে একে মুক্তভাবে ক্যাচার ক্যাভিটির গ্যাপের দিকে সঞ্চালিত করা হয়।

৫। ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনে কীভাবে বাঞ্চ গঠিত হয়? [বাকাশিবো-২০০৩, ০৬, ০৯, ১০, ১১, ১২]

অথবা, Klystron এর Bunch গঠনের তৈরি হয়, লেখ। [বাকাশিবো-২০১২]

উত্তর ঃ ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের বাঞ্চার ক্যাভিটির গ্যাপে RF বা মাইক্রোওয়েভ ইনপুট দেয়া হয়। ইলেকট্রন বিম যখন এ গ্যাপের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়, তখন তারা RF ফিল্ড দ্বারা প্রভাবিত হয়। ফলে, ইলেকট্রন গুচ্ছ বা ইলেকট্রন বাঞ্চ গঠন করতে সক্ষম হয়।

৬। রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রন ও মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের মধ্যে তফাৎ কী?

উত্তর ঃ রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রনেও মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের ন্যায় ইলেকট্রন গান ব্যবহৃত হয়, কিন্তু এটি তুলনামূলকভাবে খুবই ছোট। ডিভাইসটি ছোট হওয়ায় এতে মাল্টিক্যাভিটির মতো দু'টির অধিক ক্যাভিটি ও ম্যাগনেটিক ফোকাসিং ব্যবহৃত করা হয় না। এতে ক্যাভিটিই অ্যানোড হিসেবে কাজ করে।

৭। রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রনের মূলনীতি লেখ। [বাকাশিবো-২০০৮, ০৯, ১০, ১১, ১২, ১৪, ১৭]

উত্তর ঃ এটি এক-ক্যাভিটি বিশিষ্ট একটি ডিভাইস এবং এটিকে মাইক্রোওয়েভ অসিলেটর হিসেবে ব্যবহার করা হয়। ডিভাইসটি খুব ছোট বিধায় এতে ম্যাগনেটিক ফোকাসিং ব্যবহার করা হয় না। ক্যাভিটিই অ্যানোড হিসেবে ব্যবহৃত হয় এবং এতে উচ্চ ধনাত্মক ভোল্টেজ প্রয়োগ করা হয়, যার ফলে ইলেকট্রন বিমের ত্বরণ সংগঠিত হয়ে থাকে। ক্যাথোড থেকে দূরে একটি ক্যাভিটি স্থাপন করা হয়। এর গ্যাপের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রন বিম প্রবাহিত হয়। ক্যাভিটি হতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে একটি প্রতিফলক ইলেকট্রোড স্থাপন করা থাকে। এর সাথে উচ্চমানের ঋণাত্মক ভোল্টেজ যুক্ত করা হয়। ফলে, ক্যাভিটির মধ্য দিয়ে আগত ইলেকট্রনসমূহ প্রতিফলক ইলেকট্রোড হতে বিকর্ষিত হয়ে ফিরে আসে।

৮। **রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রনের প্রয়োগক্ষেত্রগুলো উল্লেখ কর।** [বাকাশিবো-২০১১]

উত্তর ঃ প্রয়োগক্ষেত্রগুলো নিম্নরূপ ঃ

(i) মাইক্রোওয়েভ জেনারেটরের সিগন্যাল উৎস হিসেবে ব্যবহৃত হয়,
(ii) মাইক্রোওয়েভ লিংকের ক্ষেত্রে ফ্রিকুয়েন্সি মডুলেটেড অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়,
(iii) মাইক্রোওয়েভ রিসিভারের লোকাল অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়,
(iv) প্যারামেট্রিক অ্যামপ্লিফায়ারে পাম্প অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়,
(v) রাডার রিসিভারে স্ট্যাবল অসিলেটর হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

৯। **ম্যাগনেট্রন কাকে বলে?** [বাকাশিবো-২০১১, ১৫]

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রন একটি ডায়োড, যার ক্যাভিটিতে ম্যাগনেটিক এবং ইলেকট্রিক ফিল্ডের মধ্যে ক্রিয়া-বিক্রিয়ায় খুব উচ্চ পাওয়ারের অসিলেশন উৎপন্ন হয়। এটি মাইক্রোওয়েভ ফ্রিকুয়েন্সিতে ব্যবহার হয়।

১০। **কোন কোন নীতির উপর ভিত্তি করে ম্যাগনেট্রন তৈরি হয়?**

উত্তর ঃ প্রথমে যে ধরনের ম্যাগনেট্রন ব্যবহৃত হতো, তা ছিল সাইক্লোট্রন রেজনেন্স নীতির। এর অনিয়ম আচরণ এবং পাওয়ার সক্ষমতা খুবই কম। পরবর্তীতে অন্য ধরনের ম্যাগনেট্রন উদ্ভাবিত হলো, যাতে হাবান অসিলেশন নীতি ব্যবহার করা হত। সর্বশেষ ক্যাভিটি ম্যাগনেট্রন উদ্ভাবিত হয়েছে। এতে ট্রাভেলিং ওয়েভ নীতি ব্যবহৃত হয়।
আধুনিক কালে যে ম্যাগনেট্রন ব্যবহৃত হচ্ছে, তা ট্রাভেলিং ওয়েভ নীতির উপর ভিত্তি করে কাজ করে।

১১। **ইন্টার-অ্যাকশন বলতে কী বুঝায়?** [বাকাশিবো-২০১৫]

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রনের ক্যাভিটি বা অ্যানোড এবং ক্যাথোডের মাঝে বৃত্তাকার আকৃতির ফাঁকা স্থান থাকে, এটিকে ইন্টার-অ্যাকশন বা ক্রিয়া-প্রতিক্রিয়া স্থান বলে।

১২। **ম্যাগনেট্রনকে ক্রস-ফিল্ড ডিভাইস বলা হয় কেন?** [বাকাশিবো-২০০৬, ১০, ১৫(পরি)]

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রনের বাহিরের অ্যানোডে ডিসি সরবরাহ দিয়ে ইলেকট্রিক ফিল্ড সৃষ্টি করা হয়। এ ফিল্ড ক্যাথোড অক্ষের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে, ফলে ম্যাগনেটিক ফিল্ড ম্যাগনেট্রনের ক্রস-সেকশনের সাথে এবং ইলেকট্রিক ফিল্ডের সাথে লম্বভাবে অবস্থান করে। এজন্য এটিকে ক্রস-ফিল্ড ডিভাইসও বলা হয়ে থাকে।

১৩। **ম্যাগনেট্রনে ইলেকট্রিক ম্যাগনেটিক ফিল্ডের প্রভাব কী?** [বাকাশিবো-২০০৮, ১০, ১২]

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রনে ইলেকট্রিক ফিল্ড দ্বারা ইলেকট্রনের গতি সর্বদা বৃদ্ধি পেতে থাকে, কিন্তু ম্যাগনেটিক ফিল্ডের জন্য এর গতিপথ বেঁকে যায় এবং অধিক দূরত্ব অতিক্রম করতে হয়।

১৪। **ম্যাগনেট্রনে অসিলেশন না হলে কী অসুবিধা হয়?**

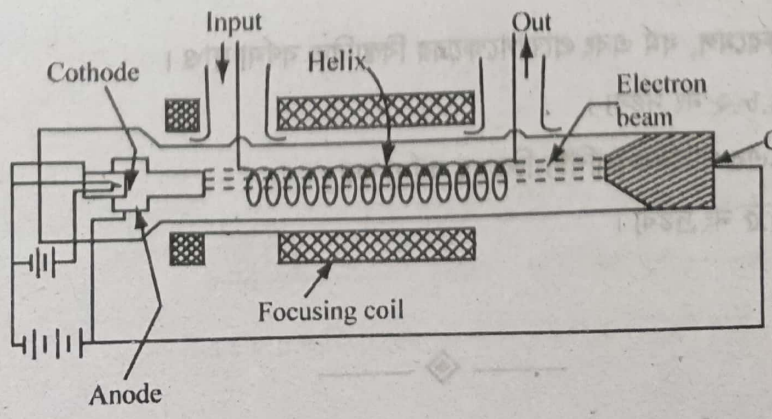
উত্তর ঃ যখন ম্যাগনেট্রনে অসিলেশন হয় না, তখন সকল ইলেকট্রন ক্যাথোডে ফিরে আসে, যা ক্যাথোডকে উত্তপ্ত করে এবং একে ধ্বংস করে দেয়।

১৫। **π-mode বলতে কী বুঝায়?** [বাকাশিবো-২০১৭]

উত্তর ঃ ম্যাগনেট্রনে সেক্ষ অসিলেশন পাওয়ার জন্য পাশাপাশি দু'টি অ্যানোড পোলের মধ্যে ফেজ পার্থক্য $n\pi/\eta$ আবশ্যক। সবচেয়ে ভালো অসিলেশন পাওয়ার জন্য n এর মান 4 হওয়া আবশ্যক। তখন পাশাপাশি দু'টি অ্যানোড পোলের মধ্যে ফেজ পার্থক্য থাকে π পরিমাণ। এজন্য এ পদ্ধতিকে 'π' mode বলা হয়।

১৬। **ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউবের গঠন চিত্র অঙ্কন করে বিভিন্ন উপাদানগুলো দেখাও।** [বাকাশিবো-২০০৬, ০৯, ১০, ১৩]

উত্তর ঃ ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউবের গঠন চিত্র অঙ্কন করে বিভিন্ন উপাদানগুলো দেখানো হলো ঃ



১৭। TWT-এর প্রয়োগক্ষেত্র উল্লেখ কর। [বাকাশিবো-২০০৬, ১১, ১২, ১৪(পরি), ১৫, ১৬(পরি), ১৮(পরি)]

অথবা, Traveling wave tube-এর ব্যবহার লেখ। [বাকাশিবো-২০১২]

উত্তর ঃ কম নয়েজবিশিষ্ট টিউব ব্রড ব্যান্ড মাইক্রোওয়েভ রিসিভারে RF অ্যামপ্লিফায়ার হিসাবে ব্যবহৃত হয়। যোগাযোগ ব্যবস্থায় অধিক দূরত্বের ক্ষেত্রে রিপিটারের অ্যামপ্লিফায়ার হিসেবে ব্যবহৃত হয়।

স্যাটেলাইন কমিউনিকেশনে অধিক স্থায়িত্বের টিউব প্রয়োজন হয় এবং সে ক্ষেত্রে TWT ব্যবহৃত হয়। রাডার ব্যবস্থাপনায়ও TWT ব্যবহৃত হয়।

১৮। রিপেলার-এর কাজ কী? [বাকাশিবো-২০১৯(পরি)]

উত্তর ঃ ক্যাথোড থেকে কিছু দূরে একটি ক্যাভিটি স্থাপন করা হয়। এর গ্যাপের মধ্য দিয়ে ইলেকট্রন বিম প্রবাহিত হয়। ক্যাভিটি হতে একটি নির্দিষ্ট দূরত্বে একটি প্রতিফলক ইলেকট্রোড স্থাপন করা থাকে। এটিকে রিপেলার ইলেকট্রোড বলে।

HP রচনামূলক প্রশ্নাবলি ঃ

১। দুই-ক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের গঠন ও কার্যপদ্ধতি আলোচনা কর। [বাকাশিবো-২০০৬, ০৭, ১০, ১১, ১২, ১৫(পরি), ১৭, ১৭(পরি)]

অথবা, একটি Two cavity klystron tube এর গঠন চিত্র অঙ্কন করে বর্ণনা কর। [বাকাশিবো-২০১৩]

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.১ নং দ্রষ্টব্য।

২। রিফ্লেক্স ক্লাইস্ট্রনের গঠন ও কার্যপদ্ধতি বর্ণনা কর। [বাকাশিবো-২০০৭, ১৩]

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৪ নং দ্রষ্টব্য।

৩। মাল্টিক্যাভিটি ক্লাইস্ট্রনের গঠন ও কার্যপ্রণালি বর্ণনা কর। [বাকাশিবো-২০০৪, ১১, ১৫]

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৩ নং দ্রষ্টব্য।

৪। ম্যাগনেট্রন বলতে কী বুঝ? কত প্রকার ও কী কী? কোন কোন নীতির উপর ভিত্তি করে ম্যাগনেট্রন তৈরি করা হয়?

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৫ নং দ্রষ্টব্য।

৫। চিত্রের সাহায্যে ম্যাগনেট্রনের গঠনপ্রণালি বর্ণনা কর।

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৫ নং দ্রষ্টব্য।

৬। ম্যাগনেট্রনে ম্যাগনেটিক ও ইলেকট্রিক ফিল্ডের প্রভাব চিত্রসহকারে আলোচনা কর।

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৫ নং দ্রষ্টব্য।

৭। ম্যাগনেট্রনে অসিলেশন কৌশল পদ্ধতি চিত্রসহকারে বর্ণনা কর। [বাকাশিবো-২০০৬, ১১]

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৬ নং দ্রষ্টব্য।

৮। ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউবের গঠন ও কার্যপ্রণালি চিত্রসহ বর্ণনা কর।
[বাকাশিবো-২০০৩, ০৪, ০৮, ০৯, ১০, ১১, ১২, ১৪, ১৪(পরি), ১৫(পরি), ১৬(পরি), ১৭, ১৮(পরি), ১৯(পরি)]

অথবা, TWT এর গঠন ও কার্যপ্রণালি বর্ণনা কর। [বাকাশিবো-২০১৫]

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৭ নং দ্রষ্টব্য।

৯। ট্রাভেলিং ওয়েভ টিউবের পারফরমেন্স, ধর্ম এবং প্রয়োগক্ষেত্রের বিস্তারিত বর্ণনা দাও।

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৮.২ নং দ্রষ্টব্য।

১০। একটি Cavity magnetron-এর গাঠনিক বৈশিষ্ট্য চিত্রসহ বর্ণনা কর।

উত্তর সংকেত ঃ অনুচ্ছেদ ৪.৫ নং দ্রষ্টব্য।