



مبانی نجوم رادیویی

اصول و عمل

تالیف: مهدی دانشیار

با کوشش: سمانه شمیاتی

فهرست

مقدمه.....	۹
تاریخچه تلسکوپ های اپتیکی.....	۱۳
تصویری از طراحی سیستم مکانیکی و گنبد تلسکوپ OWL.....	۲۲
تصویری از تلسکوپ فضایی هابل بر فراز جو زمین.....	۲۴
تاریخچه تلسکوپ های رادیویی.....	۲۵
تاریخچه تلسکوپ های رادیویی.....	۲۷
کارل یانسکی.....	۲۸
آنتن ها Antenna.....	۴۳
آنتن ها: Antenna.....	۴۵
تداخل سنجی.....	۴۹
چشمه های رادیویی و مکانیسم تشعشع آنها.....	۵۰
مکانیسم تشعشع امواج رادیویی.....	۵۳
آنتن ها مبانی و تکنیک های مهندسی.....	۵۵
عملکرد یک آنتن.....	۵۷
تشعشع از یک آنتن.....	۵۷
دوقطبی.....	۵۸
آنتن دوقطبی نیم موج.....	۵۸
آنتن تشدید.....	۶۰
آنتن های غیر تشدید.....	۶۱
بهره آنتن: Gain.....	۶۱
جهت گرایی: Directivity.....	۶۳
مقاومت آنتن.....	۶۴
اثرات زمین روی آنتن Earth Effect.....	۶۴

۶۴	آنتن هرتز یا عدم اتصال به زمین.....
۶۵	آنتن‌های مارکونی یا اتصال به زمین
۶۵	اندازه یا طول اپتیمم آنتن: (Optimum Length of Antenna).....
۶۶	روش عمای در انتخاب طول آنتن
۶۷	انواع آنتن‌ها.....
۶۷	آرایه‌های دوقطبی: Dipole Array.....
۶۷	آرایه‌های بروساید: Broside Array.....
۶۸	آرایه‌های اندفایر
۶۸	خم دوقطبی.....
۶۹	آنتن یاگی اودا: Yagi-Uda.....
۷۱	محاسبه طول آنتن یاگی
۷۲	آنتن‌های غیر تشدید لوزی
۷۳	آنتن‌های با منعکس کننده سهموی: Parabolic Reflector Antenna.....
۷۴	دهانه سهمی: Aperture.....
۷۴	خواص منعکس کننده‌های سهموی.....
۷۶	مکانیزم تغذیه یا LMB.....
۷۷	محاسبه و طراحی آنتن‌های شپیوری
۸۱	کاسگرین: Cassegrain.....
۸۲	در این نوع کاسگرین پیراسته
۸۲	آنتن کاسگرین افست
۸۳	آنتن‌های عدسی
۸۴	آنتن‌های ماریپچ.....
۸۵	مبدل فرکانس
۸۵	پلاریزاسیون آنتن
۸۷	قطبش امواج الکترومغناطیسی
۸۸	مساحت موثر آنتن: Effective Aperture.....
۸۸	قدرت تفکیک: Resolution Power.....
۸۹	تداخل سنج
۹۱	آرایه‌ای با n منبع نقطه‌ای.....
۹۴	سیستم نشانه روی آنتن

۹۴	.....	روش‌های نصب آنتن
۹۶	.....	سیستم‌های ردگیری
۹۷	.....	ردیابی به روش تک ضربه‌ای
۹۸	.....	حفاظت آنتن در مقابل شرایط جوی نامساعد
۹۹	.....	مکانیزم تشعشع منابع رادیویی
۱۰۱	.....	طیف‌های ستارگان
۱۰۱	.....	تشعشع ظاهری
۱۰۲	.....	مکانیسم تشعشعی منابع رادیویی
۱۰۲	.....	تابش جسم سیاه
۱۰۵	.....	تابش آزاد-آزاد (Free-Free Radiation)
۱۰۵	.....	تابش سنکروترونی (Synchrotronic Emission)
۱۰۶	.....	اندازه‌گیری دمای ستارگان به وسیله رادیو تلسکوپ
۱۰۹	.....	طبقه‌بندی منابع رادیویی
۱۱۱	.....	طبقه‌بندی FRI و FR II
۱۱۳	.....	معرفی برخی منابع رادیویی قوی
۱۱۵	.....	معرفی برخی منابع رادیویی قوی
۱۱۵	.....	اخترنماها (Quasars)
۱۱۸	.....	متغیرهای شدید نوری و اجرام BLLac
۱۱۹	.....	کهکشان‌های سیفرت
۱۲۲	.....	کهکشان‌های رادیویی
۱۲۸	.....	بقایای ابر نواختران
۱۲۹	.....	نمونه‌هایی از رادیو تلسکوپ‌های آماتوری
۱۳۱	.....	آنتن مشتری
۱۳۷	.....	روشی ساده در شنیدن صدای شهاب‌ها
۱۳۸	.....	ردیابی شهاب‌ها با استفاده از آنتن کی‌آی
۱۴۰	.....	به صدای خورشید گوش فرا دهید
۱۴۱	.....	طرز کار پردازشگر
۱۴۵	.....	منابع و مراجع

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مقدمه

انسان هوشمند از زمانی که بر زمین هبوط کرد، ستارگان این اجرام درخشان آسمان شامگاهان و حرکت آنها او را مجذوب خود کرده بود، واقعا این اجرام درخشان چیستند؟ چرا از افق شرق به سوی غرب حرکت می‌کنند؟ چرا در فصل‌های مختلف در زمانهای مختلف طلوع می‌کنند؟ چرا بعضی ثابت و بعضی سیار هستند؟ و هزاران پرسش دیگر که همواره انسان خردکند را به فکر وامی داشت.

انسان برای پاسخ دادن به این سوالات، و پی بردن به نظم موجود در آسمان، به علمی چون ریاضیات، هندسه و مثلثات و ابزارهایی برای رصد‌های مستمر احتیاج داشت. و در دورانهای مختلف از عصر اسطوره‌شناسی به دوران فلسفی و با امزجاج آن با ریاضیات به دوران علوم محاسباتی پا گذاشت و با ارائه مدل‌هایی سعی در پرده برداشتن از چهره عروس حضرت علم گمارد.

پس روزگاری که دانش ستاره‌شناسی منحصر به هیات و نجوم کروی بود ابزارهایی چون اسطرلاب و سدس فخری و ربع جداری به کار می‌آمد، با ایجاد اختر فیزیک نیاز به تلسکوپ‌های نوری و ارتقای آنها متمر ثمر بود و با باز شدن افق‌هایی نو در زمینه حوزه الکترو مغناطیس و کشف ستارگانی که در بازه دیگری از امواج الکترومغناطیس تابش می‌کنند، لزوم تلسکوپ‌های کاشف این امواج به نام رادیو تلسکوپ‌ها احساس شد و توسط اندیشمندانی ساخته شد.

پس رادیو تلسکوپ‌ها آشکار ساز بازه دیگری از امواج الکترومغناطیس هستند که در بازه نورانی دیده و آشکار نمی‌شوند. چشم و گوش انسان به عنوان دو موهبت

خدادادی محدود به دریافت یک سری خاص از امواج الکترومغناطیس و نورانی هستند و خالق متعال جوری آن‌ها تنظیم نموده که برای زندگی روزانه کفایت می‌کند، و آن مدبر حکیم چشم را در بازه ای از امواج الکترومغناطیس حساس نموده و گوش را کاشف امواج مکانیکی صوتی، قرار داده است. خوب حالا انسان با پی بردن به وجود امواجی خارج از این بازه محسوس می‌بایست ابزار سازی کند. ابزاری که چون رادیو بتواند امواج دیگر را آشکار سازد.

به دنبال این مسئله در دنیا رادیو تلسکوپ های متعدد با اندازه های مختلف ساخته شد و ستاره شناسی بیشتر به سوی ستاره شناسی رادیویی سوق پیدا کرد.

در ایران هم کارهایی نه چندان خیلی مهم در این زمینه صورت گرفته و از پیشگامان این تکنیک می‌توان از دکتر سعید عطار دعضو هیات علمی دانشگاه یاسوج، دکتر سعدالله نصیری قیداری عضو هیات علمی دانشگاه شهید بهشتی و دکتر حبیب الله عصاره عضو هیات علمی دانشگاه شهید چمران اهواز نام برد.

مرکز نجوم آستان مقدس نیز در این راستا در دهه هشتاد فعالیت را شروع کرد و با همکاری دانشپژوهان مرکز نجوم اقدام به ساخت رادیو تلسکوپی با اندازه مساحت دیش ۲۷ متر مربع کرد که در نوع خود کار خوبی محسوب می‌شد.

این کتاب که به دنبال سلسله کتابهای تالیفی مرکز نجوم با عنوان:

"ستاره شناس، برای کسی که به ستاره شناس دسترسی ندارد"

در موضوع نجوم رادیویی تهیه و تنظیم شده که مورد استفاده دانشجویان کارشناسی ارشد فیزیک و مخابرات و کارشناسی بوده و می‌تواند مدد کار دانش پژوهانی باشد که علاقه دارند که در این زمینه پژوهش و تحقیق انجام دهند.

در پایان از جناب آقای مهدی دانشیار مولف این کتاب و سرکار خانم سمانه شمیاتی و آقای عبدالرسول نصرتی که در تهیه تنظیم آن تلاش کرده و همچنین از مهندس محمد عمارتی، مهندس امیر مهدی کماری زاده، که در ساخت رادیو تلسکوپ

مرکز ما را یاری نمودند کمال قدردانی و تشکر را دارم همچنین از همراهان انتشارات دانشیاران ایران جناب آقای روح الله گلستانی و دکتر امیر هوشنگ شیرازی که در طبع و انتشار کتاب با ما همکاری کردند.

و این کتاب را به نمایندگی از همه همراهان به پیشگاه مقدس

"حضرت سید الکریم عبدالعظیم الحسنی"

محدث العظیم تقدیم می‌داریم.

آنان که خاک را به نظر کیمیا کنند باشد که گوشه چشمی به ما کنند.

من الله الوفیق

محمد تقدیری

رئیس مرکز نجوم آستان مقدس حضرت عبدالعظیم علیه السلام



تاریخچه تلسکوپ های اپتیکی

در یکی از روزهای ماه مه سال ۱۶۰۹ میلادی گالیله که در سفر ونیز به سر می برد از طریق یکی از شاگردانش خبری دریافت کرد.

این خبر شگفت انگیز مربوط به ساخت لوله ای بود که مردم آن را "دید انداز هلندی" نامگذاری کردند. این لوله باعث می شد که اجسام واقع در فاصله دور نزدیک تر به نظر برسند و با آن می توانستند انسانی را در ۳ کیلومتری به طور واضح ببینند.

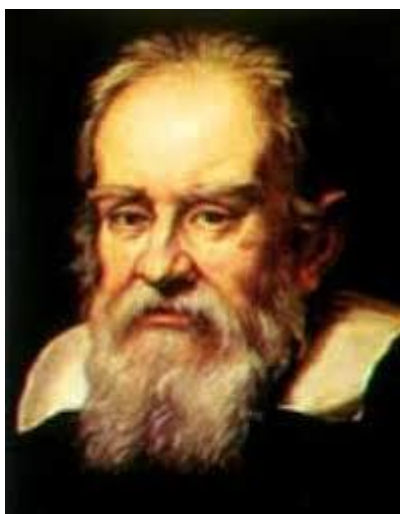
این لوله توسط یک عینک ساز هلندی به نام "هانس لیپرسی" اختراع شده بود. وی در این اختراعش دو نوع عدسی، یکی محدب و دیگری مقعر به کار برده بود.

در واقع تاریخ اختراع تلسکوپ به همین برهه از زمان برمیگردد. گالیله با عجله به پادوا- شهری در ایتالیا که وی در آن زندگی می کرد- برگشت و با محاسباتی که انجام داد تصمیم گرفت که یکی از لوله های لیپرسی را خودش بسازد.

او یک لوله سربی را به اندازه ای که محاسباتش پیش بینی کرده بود آماده کرد. سپس یک عدسی محدب در یک سر و یک عدسی مقعر در سر دیگر آن قرار داد و آن را به طرف برج کلیسایی که چند خیابان با منزلش فاصله داشت نشانه رفت. بلافاصله از خوشحالی فریاد کشید. زیرا دوربین به خوبی کار می کرد. او به روش بسیار ساده ای که بر اساس مقایسه دایره های از کاغذ که با تلسکوپ ابتدایی وی و با چشم غیر مسلح دیده می شدند توانست بزرگ نمایی این تلسکوپ را در حدود سه برابر به دست آورد. کاربرد بسیار موثر تلسکوپ گالیله در کشتیرانی باعث شد که حقوق گالیله در دانشگاه پادوا به دو برابر افزایش یابد. وی بعداً تلسکوپ هایی با بزرگ نمایی هشت، دوازده و سی برابر را ساخت. اولین کشف وی با تلسکوپ که ۳۰ برابر بزرگنمایی داشت مربوط به

دهانه های سطح ماه و لکه های روشن نوک قله های ماه که نور خورشید را منعکس می کرد بود.

این نتیجه گیری جسورانه با فرض وجود کوه و صخره روی سطح ماه شبیه آنچه که روی زمین است همراه بود. وی از دریچه تلسکوپ دست ساز خود به دنیای کاملاً جدیدی می نگریست و هرشب به آسمان خیره می شد و ده ها هزار ستاره را که با چشم غیر مسلح امکان رویتشان نبود رصد می کرد. در شکل (۱) عکس گالیله را مشاهده می کنید.



شکل (۱) گالیلیو گالیله

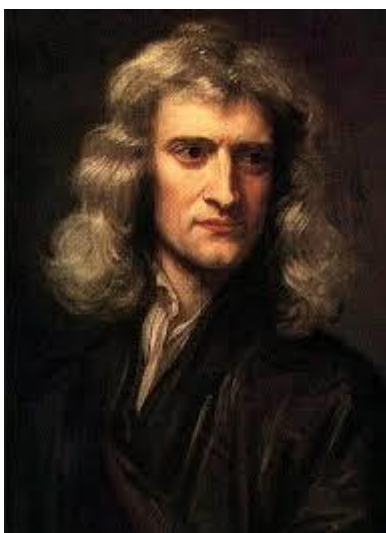
او در هفتم ژانویه ۱۶۱۰ حدود یک ساعت بعد از غروب آفتاب اولین بار به یک سیاره یعنی مشتری نگاه کرد و با روش بسیار جالبی که در اینجا به لحاظ موضوعی امکان توضیح آن نیست چهار قمر مشتری را کشف کرد و البته همانطور که می دانید مرارت های زیادی نیز در این راه متحمل شد. به این ترتیب تلسکوپ انکساری اختراع و به کار گرفته شد. در ذیل تصویری از تلسکوپ گالیله را مشاهده می کنید.



شکل (۲) تلسکوپ گالیله که ۱/۳۳ متر طول و ۲۶ میلی متر قطر داشت.

البته تلسکوپ های انکساری با یک مشکل جدی روبرو بودند که ناشی از خاصیت منشوری عدسی ها در تجزیه نور به رنگ های مختلف بود. این عمل باعث می شود که نور قرمز در فاصله دورتری از عدسی شیء نسبت به نور آبی کانونی شود و پدیده ای به نام عیب رنگی را ایجاد نماید.

فکر استفاده از یک آینه خمیده برای بزرگ کردن اجسام در یک تلسکوپ اولین بار توسط جیمز گریگوری یک راه ممکن برای اجتناب از مشکل عیب رنگی بود. او آلیاژ مخصوصی از ترکیب مس و قلع با کمی آرسنیک تهیه کرد و ذوب شدن آن را در یک قالبی ریخت و بعد آن را جلا و صیقل داد و توانست آینه فوق العاده ای بسازد. آینه را در نزدیک انتهای لوله ای که شش اینچ درازا داشت قرار داد. این ابزار می توانست نور را به نقطه ای نزدیک دهانه باز لوله منعکس کند. نور منعکس شده را توسط آینه ای به خارج از بدنه هدایت و با یک چشمی تصویر شیء مورد نظر را مشاهده کرد. چشمی یک عدسی کوچک بود و لذا عیب رنگی عدسی بزرگ را نداشت. آزمایش این تلسکوپ با سیاره مشتری نتیجه بسیار جالبی داشت و می توانست این سیاره را به خوبی رصد کند. نیوتن خود چنین می نویسد: تلسکوپ کوچک من بهتر از یک تلسکوپ شکستی به طول چهار پا کار می کند.

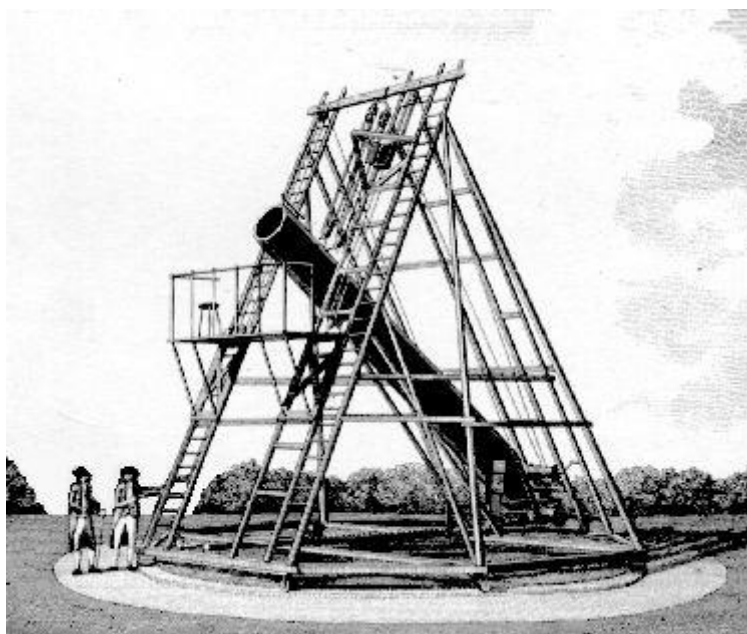


تلسکوپ او ۳۵ برابر بزرگنمایی داشت. او بعداً تلسکوپ بزرگتری ساخت و به انجمن سلطنتی هدیه کرد که هنوز هم به عنوان یک گنجینه گرانبها نگهداری می‌شود. به این ترتیب تلسکوپ‌های بازتابی اختراع و به تدریج توسعه یافت.

ویلیام هرشل، منجم مشهوری است که کار نیوتن را ادامه داد و تلسکوپ‌های بزرگتری ساخت. وی با تلاش مستمر تلسکوپ‌هایی با گشودگی مختلف ساخت و تا سال ۱۷۷۹ میلادی هرشل بهترین مجموعه تلسکوپ‌ها را در اختیار داشت به طوری که بزرگترین آنها تلسکوپ عظیم الجثه ای با فاصله کانونی ۴۰ پا و با آینه ای به قطر ۴ پا بود. وی با استفاده از این تلسکوپ رصدهای ارزشمندی انجام داد که شهرت جهانی برایش به ارمغان آورد.



این تلسکوپ تا حدود سال های ۱۸۴۰ همچنان بزرگترین تلسکوپ دنیا باقی ماند و رصدهای انجام شده، توسط آن برتری تلسکوپ های بازتابی را بر تلسکوپ های شکستی اثبات کرد که تا کنون این برتری را حفظ کرده است. شکل ۵ تصویر هرشل را نشان می دهد.



شکل (۵) تصویر تلسکوپ بزرگ هرشل که ۴۰ پا طول و ۴ پا گشودگی داشت.

بعد از تلسکوپ هرشل بزرگترین تلسکوپ بازتابی در سال ۱۸۴۵ با قطر ۱/۸۲ متر توسط لرد رئسه ساخته شد.

در حالی است که تلاش های زیادی برای عیب رنگی تلسکوپ های شکستی از سال ۱۷۳۳ با کار چستر مور هال آغاز شده و ادامه یافته است. هال توانست با الحاق دو عدسی یکی از جنس شیشه کروان و دیگری از جنس شیشه فلنیت یک عدسی آکروماتیک اختراع کند. خواص پاشندگی این عدسی به طوری بود که در صورت تعبیه مناسب آنها دو محیط مختلف آن اثرات شکستی همدیگر را که منجر به تجزیه رنگها می شد به حداقل می رساند. به کارگیری این گونه عدسی ها در پیشرفت تلسکوپ های شکستی بسیار مفید بوده است. لکن همانطوری که گفته شد تلسکوپ های بازتابی در این رقابت تاریخی همواره پیروز میدان بوده اند. در سال ۱۸۸۸ بزرگترین تلسکوپ شکستی با گشودگی ۹۰ سانتی متر در رصدخانه لیک به کار گرفته شد. تصویری از این تلسکوپ در شکل ۶ نشان داده شده است.

ممکن است استفاده از تلسکوپ شکستی با گشودگی کوچکتر در حالی که ساخت تلسکوپ بازتابی با گشودگی بزرگتر امکان پذیر است بی معنی جلوه کند. لکن چنانچه بعدا خواهیم دید گشودگی تلسکوپ ها تنها عامل تعیین کننده در انتخاب بین تلسکوپ بازتابی و شکستی نیست.

به طور کلی کیفیت تصویر حاصل از یک تلسکوپ شکستی خوب بر تصویر تشکیل شده در یک تلسکوپ بازتابی با همان گشودگی و مشخصات برتری دارد. لکن عوامل دیگری نیز در تصمیم گیری دخالت دارند و از این عوامل می توان به فاصله کانونی، دقت آینه، تصحیح عیب رنگی عدسی و حتی اجزای که قرار است مشاهده شوند و ادوات جانبی که برای رصد آنها مثل طیف سنج، نورسنج و... به کار می رود اشاره کرد. به عنوان مثال تلسکوپ شکستی ۹۰ سانتی متری رصد خانه لیک که به آن اشاره شد به دلیل فاصله کانونی زیاد دارای لوله ای به طول هفده متر بود که نیاز به برج بلند و گنبد بزرگ برای استقرار داشت. این گونه مشکلات و عوامل اقتصادی مجموعاً

باعث شد که بعد از سال ۱۸۹۷ یعنی سالی که بزرگترین تلسکوپ شکستی آن زمان با گشودگی یک متر در رصدخانه ویلیامز بی در ویسکانسن آمریکا ساخته و به کار گرفته شد هیچ تلسکوپ شکستی دیگری با گشودگی بزرگتری ساخته نشود و اکنون پس از گذشت بیش از یکصد سال تلسکوپ فوق بزرگترین تلسکوپ شکستی دنیاست.

در مورد مزایا و معایب هر دونوع تلسکوپ در بخش های بعد توضیح بیشتری خواهیم داد. در قرن بیستم تلاش ها بیشتر به طراحی ساخت تلسکوپ های بازتابی با گشودگی بزرگتر و کیفیت بالا تر معطوف شد. تلسکوپ ۲/۵ متری رصدخانه مونت ویلسون در سال ۱۹۱۷ ساخته شد. در شکل ۷ تصویری از این تلسکوپ دیده می شود.



شکل (۷) تلسکوپ بازتابی ۲/۵ متری مونت ویلسون

تلسکوپ ۵ متری رصدخانه مونت پالومار در سال ۱۹۴۸ به بهره برداری رسید و موجب تحولات شگرفت در علم نجوم و کیهان شناسی شد. در شکل ۸ روبرو تصویری از این تلسکوپ نشان داده شده است.



شکل (۸) تلسکوپ بازتابی ۵ متری مونت پالومار که در سال ۱۹۴۸ کامل شد

افزایش گشودگی آینه در این مرحله با مشکل تاثیر اغتشاشات و تلاطم جو زمین در کیفیت رصد با این گونه تلسکوپ‌ها مواجه شد.

در این سال تلسکوپ چند آینه ای (Multi Mirror Telescope) MMT در ایالت آریزونا بر فراز کوه هاپکینز اولین نور خود را از آسمان دریافت کرد و اساس کار این تلسکوپ بر اپتیک فعال (Active Optics) بود.

بر اساس این مکانیسم به جای یک آینه یکپارچه از چند آینه که توسط موتورهای به طور پیوسته به صورت یک آینه مرکب تنظیم می‌شوند استفاده می‌شود.

عمل تنظیم با استفاده از نور لیزر چندبار در دقیقه انجام می‌شود و اثر اغتشاشات جو کاهش می‌یابد. در تلسکوپ MMT از ۶ آینه $1/8$ متری جدا از هم که از نظر توان جمع کردن نور معادل یا یک آینه یکپارچه $4/4$ متری بود استفاده شده بود. این تفکر بعداً گسترش یافت و منجر به ساخت تلسکوپ ۱۰ متری کک (Keck) که متشکل از ۳۶ آینه ۶ وجهی بود شد. وزن آینه مرکب این تلسکوپ در حد وزن آینه یکپارچه تلسکوپ رصدخانه پالومار ولی سطح موثر آن چهار بار بیشتر از آن بود. این تلسکوپ در سال ۱۹۹۰ در جزایر هاوایی در محل موناکی اولین نور خود را از آسمان دریافت کرد. لکن طرح فوق به همین جا ختم نمی‌شد و قرار بود یک مولفه ی دیگر با همین

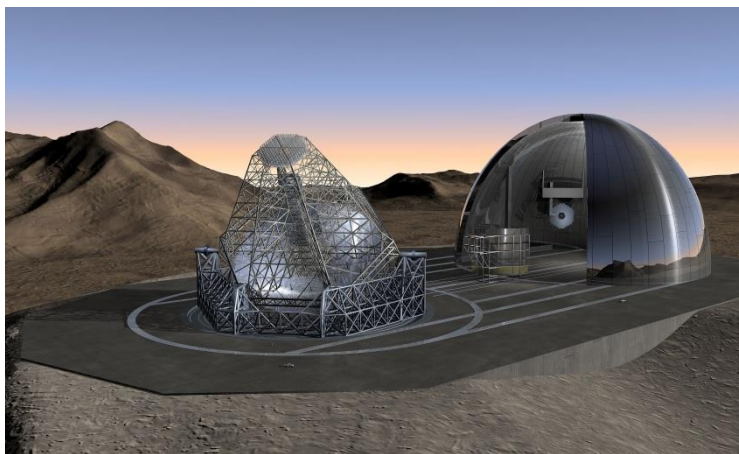
ابعاد در کنار آن به صورت یک دوقلو ساخته شود و براساس تکنیک تداخل سنجی با یکدیگر کار کنند.

با استفاده از این تکنیک می‌توان توان تفکیک تلسکوپ را به طرز شگفت‌انگیزی افزایش داد به طوری که معادل یک تلسکوپ با قطری معادل با خط مبنای مولفه‌ها (فاصله منتهی الیه لبه‌های دو تلسکوپ) عمل کند. تلسکوپ‌های دوقلوی کک به صورت یک تداخل سنج نوری از سال ۱۹۹۶ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. طرح مذکور در سال ۱۹۷۷ توسط انجمن تحقیقاتی نجوم کالیفرنیا، موسسه تکنولوژی کالیفرنیا و دانشگاه کالیفرنیا با مشارکت دانشگاه هاوایی و ناسا ارایه و در مدت حدود بیست سال اجرا و تکمیل شده است. در شکل (۹) آینه‌ای که براساس اپتیک فعال کار می‌کند دیده می‌شود. به موازات این طرح‌ها تلسکوپ‌های بزرگ دیگری در حال ساخت هستند. تلسکوپ بسیار بزرگ VLT (Very Large Telescope) بر فراز کوه پارانال در کشور شیلی که از چهار آینه جداگانه هرکدام به قطر $۸/۲$ متر و تلسکوپ ژاپنی سوبارو با آینه $۸/۲$ متر در موناکی از این میان قابل توجه‌اند. تصویر VLTI (Very Large Telescope Interferometry) که به صورت تداخل سنج کار می‌کند در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۱۰) تلسکوپ VLTI بر فراز کوه پارانال در کشور شیلی که از ۴ آینه جداگانه هرکدام به قطر $۸/۲$ متر ساخته شده و به صورت تداخل سنجی کار می‌کند

اندیشه ساخت آینه‌های مرکب هنوز رو به گسترش است. طرحی که امروزه دنبال می‌شود و ابرتلسکوپ قرن بیست و یکم نام گرفته است بر همین اساس است. این تلسکوپ دارای قطر آینه ۱۰۰ متر خواهد بود. نوری که سطح آینه اصلی آن گردآوری می‌کند ۱۰ برابر بیشتر از میزانی است که تمامی تلسکوپ‌های حرفه‌ای فعلی روی هم می‌توانند جمع کنند! نام این تلسکوپ (Overwhelmingly Large Telescope) OWL به معنی تلسکوپ بسیار بزرگ است. این طرح قرار است در سال ۲۰۱۸ تکمیل شود. تعدد قطعات سازنده آینه مرکب اصلی ۲۰۰۰ است و هزینه آن ۹۰۰ میلیون دلار خواهد بود. توان تفکیک این تلسکوپ به حدی است که یک سکه ۵۰ ریالی را در فاصله ۲۷۰۰ کیلومتری می‌توان آشکار کرد و قدرت جمع‌آوری نور آن به حد شگفت‌آور ۳۸ خواهد رسید.



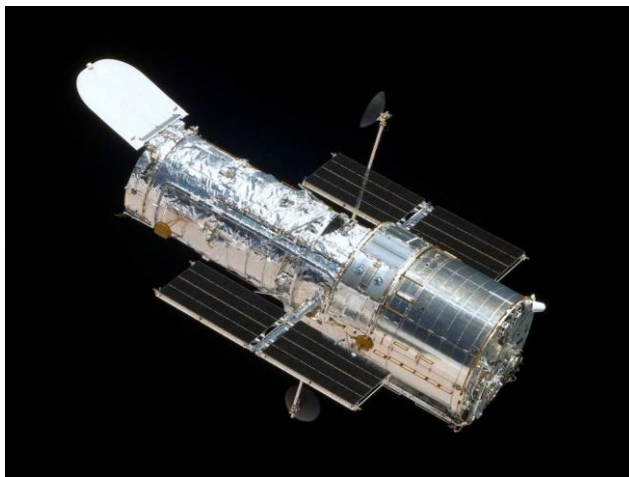
شکل ۱-۱

تصویری از طراحی سیستم مکانیکی و گنبد تلسکوپ OWL

مواردی که به آن‌ها اشاره شد مربوط به تحول تلسکوپ‌هایی بود که روی زمین نصب می‌شوند. مشکلی که این تلسکوپ‌ها با آن مواجه‌اند اثرات نامطلوبی است که تلاطم جو زمین روی آن‌ها می‌گذارد و توانایی دید تلسکوپ‌های زمینی را کم می‌کند. منجمین برای حل این مشکل به این فکر افتادند که تلسکوپ را به خارج از جو زمین منتقل کنند. موفق‌ترین پروژه در این زمینه تلسکوپ فضایی هابل HST است که در

ابتدای بهار ۱۳۶۹ توسط شاتل فضایی دیسکاوری بر فراز جو برده شد و در ارتفاع حدود ۶۰۰ کیلومتری بالای زمین رها شد. البته هزینه این گونه تلسکوپ‌ها بسیار بالا است. همان طوری که اشاره شد برای تلسکوپ غول‌پیکر OWL در حدود ۹۰۰ میلیون دلار هزینه برآورد شده است. در حالی که برای تلسکوپ هابل که دارای آینه اصلی ۲/۴ متر است در حدود ۱/۵ میلیارد دلار هزینه شد. به قولی اگر این تلسکوپ از طلای ناب ساخته می‌شد ارزانتر تمام می‌شد.

علیرغم این هزینه‌ها به دلیل حذف اثرات جو زمین و کیفیت خوب تصاویر تلسکوپ‌هایی فضایی طرح‌های متعددی در این زمینه در حال اجراست و تا پایان دهه آینده ناسا ناوگانی از ۳۶ تلسکوپ فضایی را به فضا خواهد فرستاد. از اهداف این تلسکوپ‌ها مشاهده دوردست‌ها یعنی روزهای نخست عالم است. در شکل (۱۲) تصویری از تلسکوپ HST دیده می‌شود.



شکل ۱-۲

تصویری از تلسکوپ فضایی هابل بر فراز جو زمین

به هر حال اخترشناسان امیدوارند با ساخت انواع پیشرفته‌ای از تلسکوپ‌های زمینی و فضایی بتوانند چشم‌های مشتاق انسان را به دورترین مرزهای زمان و فضا ببرند و از رموز عالم نجومی پرده بردارند.

تاریخچه تلسکوپ‌هایی رادیویی

تاریخچه تلسکوپ‌هایی رادیویی

برخلاف نجوم اپتیکی که قدمت آن به تاریخ باستان می‌رسد نجوم رادیویی از دهه سوم قرن بیستم و به طور جدی از اواسط این قرن آغاز شده است. البته نیمه قرن بیستم را باید از هیجان‌انگیزترین مقاطع زمانی برای پیشرفت علوم بخصوص فیزیک دانست. نسبیت خاص و عام انیشتین، تدوین مکانیک کوانتومی، معادل بودن جرم و انرژی، شناخت ساختار اتم و نیروهای پیوندی هسته‌ای و غیره نگرش انسان را نسبت به عالم هستی وسعت و عمق بیشتری بخشید. کشف ساختار کهکشان‌های بی‌شمار عالم است، کشف انبساط عالم و قوانین حاکم بر آن موجب شد رشته نجوم شتاب و پیشرفت بیشتری نسبت به سایر شاخه‌های علم فیزیک داشته باشد. اما آنچه که باعث شد رشته نجوم رونق چشمگیری پیدا کند به طوری که خیلی از فیزیکدانان و حتی دانشمندان رشته‌های دیگر علوم تغییر گرایش داده و به رشته نجوم رو آوردند اتفاقی بود که در سال ۱۹۳۱ رخ داد. این اتفاق چیزی نبود جز دریافت اولین امواج رادیویی برون مرزی که بعداً معلوم شد از هسته کهکشان راه شیری ساطع می‌شود.

در این سال یک مهندس جوان به نام کارل یانسکی که در آزمایشگاه‌های تلفن بل کار می‌کرد یک آرایه چرخان از آنتن‌های رادیویی طراحی کرد که در طول موج $14/6$ متر کار می‌کرد. در شکل (۱۳) عکسی از کارل یانسکی آورده شده است.



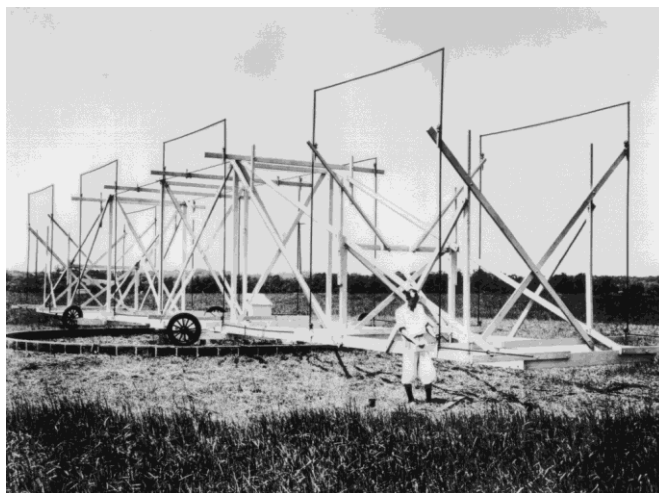
شکل ۲-۲

کارل یانسکی

او توسط این آرایه علاوه بر امواجی که دارای منشأ زمینی بودند، صدای هیس ماندی را در بلندگو آشکار کرد که از یک منبع نامعلومی تابش می‌شد. او بعداً ملاحظه کرد که این تابش هر روز ۴ دقیقه زمانی زودتر از روز پیش دریافت می‌شود.

لذا با توجه به این که پریود چرخش زمین نسبت به ستارگان دوردست ۴ دقیقه کمتر از روز خورشیدی است نتیجه گرفت این منبع که امتداد آن همراه دوران زمین حرکت می‌کند باید در آسمان باشد. مطالعات بعدی او نشان داد این منبع که در جانب صورت فلکی قوس بود، هسته کهکشان راه شیری است و به این ترتیب نجوم رادیویی آغاز شد. امروز به افتخار کار پیشتازانه یانسکی واحد شار رادیویی که از فضا دریافت می‌شود به نام او نامگذاری شده است.

(یک یانسکی 10^{-26} وات بر مترمربع در سطح زمین است).



شکل ۱-۳

شکل (۱۴) آرایه‌ای چرخان از آنتن‌های رادیویی که یانسکی با آن کار می‌کرد. کشف بسیار مهم یانسکی تا پایان جنگ جهانی دوم توجه چندانی را جلب نکرد و تنها یک منجم غیرحرفه‌ای که مهندس برق بود از سال ۱۹۳۶ کار یانسکی را دنبال کرد. او که گروت ربر (Grote Reber) نام داشت تنها منجم رادیویی تا چند سال پس از پایان جنگ جهانی دوم بود.

وی از حیاط منزل خود اولین تلسکوپ رادیویی بشقابی را از چوب و آهن گالوانیزه به قطر ۱۰ متر و فاصله کانونی ۶ متر با هزینه شخصی خود که هزینه کمی هم نبود ساخت و توانست اولین نقشه رادیویی آسمان را که شامل خورشید، هسته کهکشان و چند منبع دیگر کهکشان مثل دجاجة و ذات‌الکرسی بود ارائه کند.

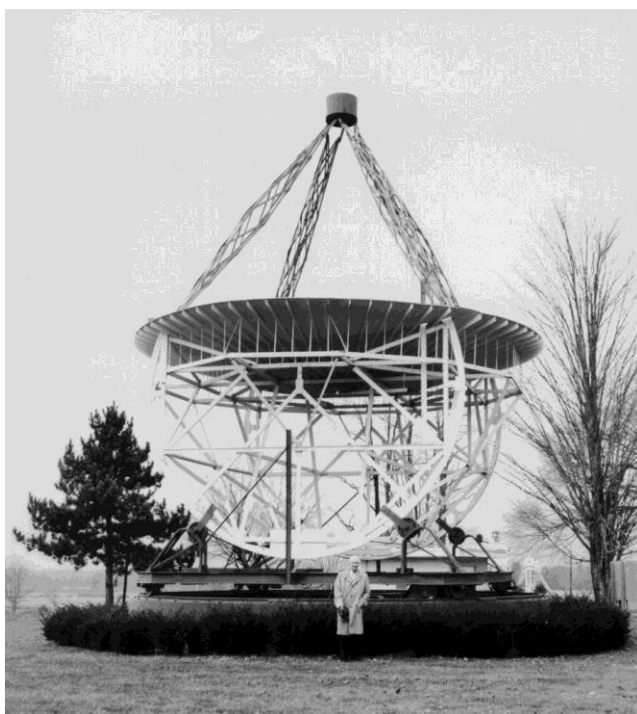


شکل ۱-۴

شکل (۱۵) گروت ربر در حال تنظیم دستگاه رسیور

در این میان پشتکار ربر ستودنی است. او به دلیل اشتغال در کار دولتی مجبور بود فقط بعد از نیمه شب کار رصدی خود را آغاز کند.

او مدت‌ها پس از تکمیل تلسکوپ موفق به دریافت امواج رادیویی از آسمان نشد و مجبور شد بارها در تجهیزات و طول موج‌هایی که در آن کار می‌کرد تجدید نظر کند. تا اینکه در سال ۱۹۳۹ با طول موج $1/87$ متر (VHF) کارش به نتیجه رسید و اهمیت نقشه‌ای که ربر براساس شدت امواج رادیویی ساطع شده از اجرام آسمانی تهیه کرده بود قابل مقایسه با نقشه‌ای بود که ویلیام هرشل در قرن هجدهم میلادی با تلسکوپ نوری خود که قبلاً به آن اشاره کردیم از کهکشان راه شیری ارائه کرده بود. شکل (۱۶) تلسکوپ گروت ربر را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۵

وی از سال ۱۹۴۰ شروع به انتشار نتایج رصدی خود نمود. لکن تا سال ۱۹۵۰ چندان توجهی به کارهای وی نشد. از این سال به بعد بسیاری از دانشمندان و مهندسان از کشورهای انگلیس، هلند و استرالیا به کارهای ربر علاقه‌مند شدند و به کاوش در این شاخه جدید روی آوردند.

در فصل بعد خواهیم دید که یکی از مشکلات نجوم رادیویی توان تفکیک بسیار کم تلسکوپ‌های رادیویی نسبت به تلسکوپ‌های اپتیکی است. این بدان دلیل است که طول موج امواج رادیویی بسیار بزرگ‌تر از طول موج امواج مرئی است.

یکی از راه‌های بالا بردن توان تفکیک بزرگ کردن قطر بشقاب تلسکوپ‌های رادیویی است. تلاش زیادی در جهت طراحی و ساخت بشقاب‌های رادیویی بزرگ در دهه پنجم قرن بیستم صورت گرفت. به طوری که تلسکوپ‌های تک بشقابی با قطرهای ۳۹ متر، ۴۳ متر، ۴۵ متر و ۶۴ متر در امریکا، ۴۵ متر در ژاپن، ۵۰ متر در کانادا، ۶۴ متر در استرالیا، ۷۶ متر در انگلیس، ۱۰۰ متر در آلمان و نهایتاً ۳۰۵ متر در دانشگاه کورنل در آرشیوی پورتوریکو ساخته شد. تلسکوپ‌های فوق در طول موج‌های بین ۰/۴ الی ۱۰ سانتیمتر کار می‌کردند.



شکل ۶-۱

شکل (۱۷) تلسکوپ ۳۰۵ متری آرسیبو در پورتو ریکو

البته هنوز مشکل توان تفکیک وجود داشت و ساختن تلسکوپ‌ی با بشقاب بزرگ‌تر دیگر امکان‌پذیر نبود. محدودیت اقتصادی و همچنین سنگین شدن بیش از حد تلسکوپ اجازه افزایش بیشتر قطر بشقاب را نمی‌داد.

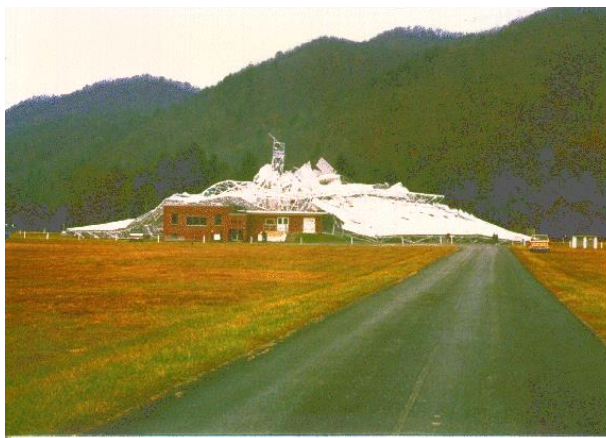
تلسکوپ رادیویی آرسیبو به دلیل سنگینی زیاد متحرک نیست و موتور ندارد و با قرارگیری در دهانه‌ی یک گودال وسیع، صرفاً حرکت زمین آن را در جهت منابع رادیویی آسمان قرار می‌دهد و مقدار کمی نیز قابلیت تنظیم آنتن به این منظور کمک می‌کند.

بزرگترین تلسکوپ رادیویی متحرک جهان دارای بشقاب ۱۰۰ متر بود. این تلسکوپ که به تلسکوپ رادیویی گرین بنک موسوم بود و یکی از بزرگترین کشفیات آن یافتن تپ اختر در مرکز سحابی خرچنگ بود در سال ۱۹۸۸ ناگهان به دلیل سنگینی زیاد فرو ریخت و یک ضربه روحی بزرگ به اخترشناسان رادیویی وارد کرد. تصاویر دیل تلسکوپ رادیویی ۱۰۰ متری گرین بنک را قبل و بعد از فروریزی نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱

شکل (۱۸) الف. رادیو تلسکوپ ۱۰۰ متری گرین بنک یک روز پیش از فروریزی در سال ۱۹۸۸



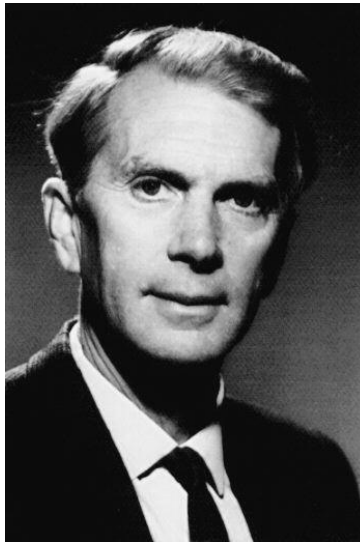
شکل ۸-۱

شکل (۱۸) ب. فروریزی ناگهانی در ساعت ۲۱:۴۳ سه‌شنبه ۱۵ نوامبر ۱۹۸۸

با این همه تلاش توان تفکیک تلسکوپ گرین بنک بزرگترین تلسکوپ رادیویی متحرک جهان ۱۶ بار کمتر از چشم غیرمسلح انسان بود! در واقع چشم انسان دو نقطه به فاصله ۱۰۰ کیلومتر را روی سطح ماه از هم تمیز می‌دهد در حالی که این فاصله برای تلسکوپ فوق در طول موج ۱۰ سانتی‌متر ۱۶۰۰ کیلومتر بود.

جهت مقایسه، فاصله فوق برای یک تلسکوپ اپتیکی ۵ متری فقط ۴۰ متر است. توان تفکیک تلسکوپ رادیویی آرسیبو با قطر ۳۰۵ متر نیز هنوز ۵ بار کمتر از چشم برهنه انسان است! در حالی که اگر این تلسکوپ در طول موج مرئی کار می‌کرد ستاره شعرای یمانی را به قرص کامل ماه نشان می‌داد!

سرانجام این مشکل به دست مارتین رایل با اختراع سیستم ترکیب گیرنده‌ها براساس تداخل‌سنجی (Interferometry) حل شد. او کاری نظیر کار مایکلسون را در امواج رادیویی انجام داد. در شکل ۱۹ عکسی از مارتین رایل را مشاهده می‌کنید.



شکل ۹-۱

در این روش ۲ یا چند تلسکوپ رادیویی به فاصله معینی از یکدیگر قرار می‌گیرند. این فاصله که بسیار بزرگتر از قطر بشقاب‌هاست در محاسبه توان تفکیک تلسکوپ به جای قطر بشقاب وارد می‌شود و لذا توان تفکیک تداخل‌سنج چندین برابر افزایش

می‌یابد. مارتین رایل در سال ۱۹۵۴ با تداخل‌سنجی که ساخته بود توانست چشمه‌هایی رادیویی زیادی را از هم تفکیک می‌دهد.

یافته‌های او نقش مهمی در تحکیم نظریه کیهان‌شناسی انفجار بزرگ و رد نظریه حالت پایدار عالم داشت. مارتین رایل به خاطر اختراع ارزشمند خود در سال ۱۹۷۴ جایزه نوبل دریافت کرد. تبدیل تداخل‌سنج دو مؤلفه‌ای یعنی ترکیب چند بشقاب رادیویی با یکدیگر به طوری که بتوان اختلاف فاز موج رسیده به آن‌ها را از بین برد موجب افزایش انرژی دریافتی و حساسیت این تلسکوپ‌ها شد.

تداخل‌سنجی که شامل ۸ تلسکوپ با طول آرایه (که به آن اصطلاحاً خط مبنا گفته می‌شود) ۵ کیلومتر بود در رصدخانه کمبریج در انگلیس ساخته شد. توان تفکیک این آرایه در طول موج ۲۰ سانتی‌متر حدود یک ثانیه قوسی بود که با توان تفکیک تلسکوپ‌های اپتیکی قابل مقایسه بود. (توان تفکیک تلسکوپ ۰/۵ متری رصدخانه بیرونی دانشگاه شیراز در طول موج نور زرد ۰/۲۳ ثانیه قوسی و برای تلسکوپ ۵ متری رصدخانه مونت پالومار ۰/۰۲۳ قوسی است). در سال ۱۹۸۰ آرایه‌ای با ۲۷ تلسکوپ که قطر هر کدام ۲۵ متر بود با خط مبنای ۳۶ کیلومتر ساخته شد. این آرایه که VLA (Very Large Array) نام دارد بزرگترین تداخل‌سنجی ردیفی دنیاست و در شهر نیومکزیکوی آمریکا قرار دارد و زیر نظر رصدخانه ملی نجوم رادیویی (NRAO) اداره می‌شود.



شکل ۱۰-۱

شکل (۲۰) آرایه VLA در نیومکزیکو که به شکل Y چیده شده‌اند.

توان تفکیک این آرایه معادل یک تلسکوپ تک بشقاب به قطر ۳۶ کیلومتر است! این آرایه در طول موج‌های بین $1/3$ تا ۹۲ سانتیمتر کار می‌کند و توان تفکیک آن حدود یکصد بار بیشتر از توان تفکیک تلسکوپ تک بشقاب ۳۰۵ متری آرسیبو است. می‌توان مولفه‌های تداخل سنج را تا هر اندازه که ابعاد کره زمین اجازه می‌دهد از هم دور کرد. تداخل سنج VLBI متشکل از دو تلسکوپ با خط مبنای برابر با قطر کره زمین است. توان تفکیک این تداخل سنج در طول موج ۶ سانتیمتر برابر یک هزارم ثانیه قوسی، یعنی به مراتب بزرگتر از توان تفکیک تلسکوپ‌های اپتیکی موجود است بطوریکه می‌توان این غلبه نجوم رادیویی بر نجوم اپتیکی دانست. در جهت ساختن تداخل سنج با خط مبنای طولانی و به صورت آرایه تلاش‌های زیادی شده و می‌شود. تداخل سنج VLBA (Very Large Baseline Array) با خط مبنای در حدود ۸۰۰۰ کیلومتر و با تعداد ۲۵ تلسکوپ نتیجه این تلاش‌هاست. شکل (۲۱) آرایه VLBA را نشان می‌دهد.

اجرای پروژه‌های دیگر نیز در کشورهای آمریکا، کانادا و هند در جهت ساختن آرایه‌های بزرگتر با قابلیت کار در بسامدهای مختلف در جریان است. این ابزار جدید در شناخت ما را در مورد چشمه‌های مختلف رادیویی آسمان از قبیل کهکشان‌های رادیویی، اخترنماها، تپ اخترها، ابرهای مولکولی کهکشان، بقایای نواختری و غیره کامل‌تر خواهند کرد و احتمالاً کشفیات جدیدی را در حوزه اندیشیده‌های بشر به ارمغان خواهند آورد.

در سال ۱۸۸۷ به دنبال پیش‌بینی مهم ماکسول که نور مری را قسمت ناچیزی از طیف امواج الکترومغناطیسی اعلام کرد، هرتز توانست امواج رادیویی را براساس همین پیش‌بینی کشف کند. از این امواج که بازه طول موجی ۱mm تا چند صد کیلومتر را شامل می‌گردد تنها امواج با طول موج‌های ۱mm تا ۱۰ متر می‌توانند از جو زمین عبور کرده و به سطح زمین برسند و بقیه توسط لایه یونیسفر زمین منعکس می‌گردد. گستره طول موج فوق را دریچه رادیویی جو زمین می‌نامند.

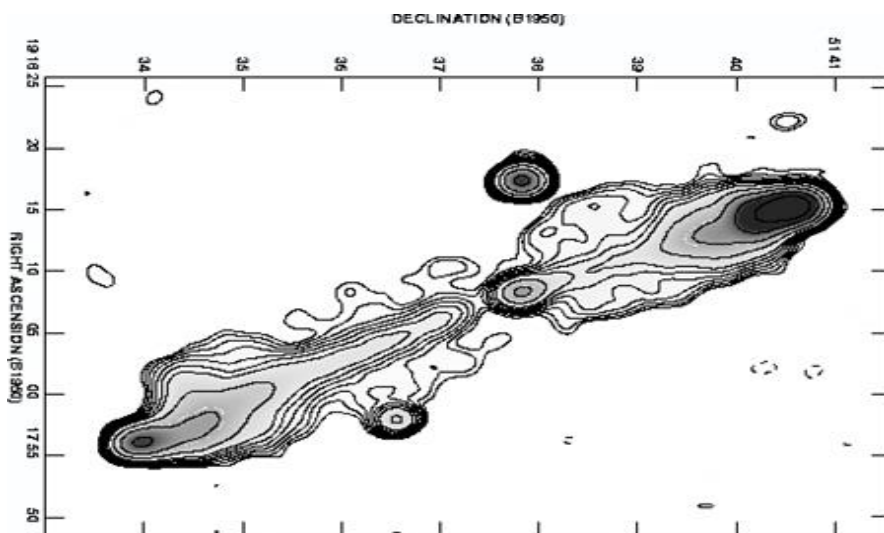
مکانیسم انعکاس امواج رادیویی از لایه یونیسفر زمین با مدل ساده‌ای به شرح زیر و توسط کمیت گذردهی الکتریکی ϵ قابل توصیف است. در لایه یونیسفر ذرات باردار از طریق یونیزه شدن اتم‌ها ایجاد می‌شوند. N ذره باردار با بار e در نظر می‌گیریم. با مطالعه حرکت این ذرات در حضور یک میدان الکتریکی می‌توان نشان داد که:

$$\omega_p = \frac{4\pi Ne^2}{m} \quad \text{و} \quad \epsilon(\omega) = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2}$$

فرکانس پلاسما است که بر جرم ذرات باردار (m) و تعداد آن‌ها (N) بستگی دارد. در جایی از جو که در اثر تغییر N ، ω_p به ω نزدیک می‌شود، $\epsilon(\omega)$ صفر می‌شود و موج با فرکانس ω از آن‌جا منعکس می‌گردد. گستره امواج به باندهای فرکانس مختلف تحت عناوینی که در جدول زیر آمده است تقسیم می‌گردد.

طول موج	عنوان	فرکانس
۱۰۰-۱۰ km	Very Low Frequency(VLF)	۳-۳۰ KHz
۱۰-۱ km	Low Frequency (LF)	۳۰-۳۰۰ KHz
۱-۰/۱ km	Medium Frequency(MF)	۳۰۰-۳۰۰۰ KHz
۱۰۰-۱۰ m	High Frequency(HF)	۳-۳۰ MHz
۱۰-۱ m	Very High Frequency(VHF)	۳۰-۳۰۰ MHz
۱-۰/۱ m	Ultra High Frequency(UHF)	۳۰۰-۳۰۰۰ MHz
۱۰-۱ cm	Super High Frequencu(SHF)	۳-۳۰ GHz
۱-۰/۱ cm	Extremely High Frequency(EHF)	۳۰-۳۰۰ GHz

همان طور که در بخش قبلی شرح داده شد، دریافت امواج رادیویی از اجرام آسمانی به حدود سال‌های ۱۹۳۰ بر می‌گردد. یعنی زمانی که کارل یانسکی مهندس آزمایشگاه‌های تلفن بل در آمریکا توانست امواج رادیویی هسته کهکشان راه شیری را در جهت صورت فلکی قدس آشکار کند. سپس شخصی به نام گروت ربر با ساخت یک تلسکوپ رادیویی در حیاط منزل خود که در طول موج ۱۰ متر کار می‌کرد توانست در سال‌های حدود ۱۹۴۰ اولین نقشه رادیویی آسمان را تهیه کند. در این نقشه چشمه‌های مهمی همچون خورشید، دات‌الکرسی، ثور و دجاجة ثبت شده بود.



شکل (۱) اولین نقشه رادیویی آسمان که توسط گروت ربر تهیه شد

بعد از او شخصی به نام هی با ادامه جدی کار نجوم رادیویی در زمینه خورشید و سنگ‌های آسمانی موفق به کسب مدال ادینگتون شد و بعد از او در استرالیا، انگلیس، آمریکا و شوروی تلسکوپ‌های غول‌پیکر رادیویی ساخته شد و امروزه مراکز متعددی در نقاط مختلف جهان در این شاخه از علم نجوم به فعالیت مشغول‌اند و می‌توان گفت: «اطلاعات کسب شده در نجوم رادیویی با عمر کوتاهش با کلیه یافته‌های نجوم اپتیکی با قدمت طولانی تاریخی آن، برابری می‌کند».

در ابتدای کار نجوم رادیویی با دو مشکل عمده روبرو بوده است. (۱) یکی پایین بودن توان تفکیک (۲) پایین بودن انرژی دریافتی

طول موج رادیویی در مقایسه با امواج مری بسیار بلند است و این نسبت از مرتبه میلیون است. لذا طبق رابطه‌ی $P_R = \eta P_{in}$ (که λ و D به تربیت طول موج نور مری دریافتی و قطر دهانه تلسکوپ می‌باشند) توان تفکیک یک تلسکوپ اپتیکی با قطر دهانه ۵ متر که در طول موج زرد کار می‌کند حدود $0.23/0$ ثانیه قوس خواهد بود. در حالی که برای داشتن توان تفکیک اخیر با طول موج رادیویی ۲۰ سانتی‌متر باید تلسکوپی با دهانه ۲۰۰۰ کیلومتر ساخت! بزرگترین تلسکوپ ساخته شده به صورت

تک بشقاب متحرک ۱۰۰ متر و ثابت حدود ۳۰۰ متر است که توان تفکیک آن‌ها از چشم غیرمسلح انسان به مراتب کمتر است! می‌بینیم که این روش افزایش توان تفکیک به شدت محدود است و ما نمی‌توانیم با این روش چشمه‌های رادیویی آسمان را عندالزوم تشخیص دهیم.

مشکل دیگر که باز از بلند بودن طول موج رادیویی ریشه می‌گیرد پایین بودن بهره توان و یا انرژی دریافتی کم تلسکوپ‌های رادیویی است. بهره توان یک تلسکوپ رادیویی به صورت $G = \frac{4\pi}{\lambda^2 A_e}$ تعریف می‌شود که در آن A_e مساحت موثر تلسکوپ است. می‌بینیم که برای بالا بردن بهره توان باید A_e را افزایش داد که این کار به همان دلیل قبلی محدودیت دارد. با توجه به مزایای که به آن می‌پردازیم ارزش دارد که در حل مشکلات فوق کوشیده شود. این کوشش که منجر به ساخت تداخل سنج‌های رادیویی توسط مارتین رایل در سال ۱۹۵۲ شد مشکلات فوق را به خوبی برطرف کرد.

مزایایی که علوم نجوم رادیویی دارد عبارتند از:

- ۱- روشنایی نور مانعی برای رصدهای رادیویی نیست و ۲۴ ساعت شبانه رز را می‌توان به رصد رادیویی پرداخت.
- ۲- رصدهای رادیویی از تلاطم جو زمین (در اثر وزش باد و گرادیان دما) و وجود گرد و غبار در هوا متاثر نمی‌شوند. زیرا پراکندگی امواج متناسب با $\frac{1}{\lambda^4}$ می‌باشد که با افزایش طول موج شدیداً کم می‌شود.
- ۳- ابری بودن آسمان مانعی در مورد مشاهدات رادیویی نیست.
- ۴- قابلیت نفوذ از مواد میان ستاره‌ای و میان کهکشانی این امواج اجازه می‌دهد که عمق بیشتری از فضا را ببینیم.
- ۵- مشاهده امواج رادیویی که فقط در طول موج‌های رادیویی قابل مشاهده هستند.

این مزایا باعث شده است که اطلاعات و تصور ما از عالم نجومی در سال‌های اخیر دگرگون شود. همان‌طوری که اشاره شد آشکارسازی پرتوهای مربوط به بازه‌های مختلف طیف الکترومغناطیسی به روش‌های متفاوتی انجام می‌شود. مثلاً یک لوله گایگر می‌تواند اشعه X, γ را آشکار کند. چشم انسان، دوربین عکاسی، فوتومتر و اسپیکترومتر ابزارهایی هستند که امواج مریی را آشکار می‌کنند.

امواج رادیویی نیز با استفاده از خاصیت القایی جریان الکتریکی آنها در هادی آشکار می‌شوند. این ابزار را آنتن می‌گویند. جریان ضعیفی که توسط امواج رادیویی در محیط هادی القا می‌شود پس از تقویت می‌تواند موتور یک رسام را به حرکت درآورد و این عمل موجب آشکارسازی اکواج فوق می‌گردد. در اینجا به توضیح آنتن‌ها می‌پردازیم و سعی خواهیم کرد براساس نیاز بخش‌های بعد مفاهیم فیزیکی و اصطلاحات فنی لازم نیز توضیح داده شود.

آنتن‌ها

Antenna

آنتن‌ها: Antenna

آنتن ساختاری است که برای انتشار توان الکترومغناطیسی به کار می‌رود و از جنس هادی جریان الکتریکی ساخته می‌شود. به عبارت دیگر آنتن ابزاری است که می‌توان یک جریان وابسته به زمان را روی آن تحریک کرد و با راندمان خوبی انرژی الکترومغناطیسی موجود در یک قسمت از فضا را با آنتن قطع داد و جریان وابسته به زمان را در آنتن ایجاد کرد.

ساده‌ترین مثال یک آنتن دو قطبی الکتریکی است. این آنتن یک میله کوچک است که روی آن جریان الکتریکی وابسته به زمان جاری است. به سهولت می‌توان پتانسیل‌های برداری و الکتریکی را محاسبه و سپس میدان‌های الکتریکی $\vec{E}$ و مغناطیسی $\vec{H}$ در اطراف آنتن را پیدا کرد. با توجه به تعریف بردار پوینتینگ $\vec{H} = \frac{c}{4\pi} (\vec{E} \times \vec{H})$ که شار انرژی است می‌توان توان تشعشع را $\{P_R = \oint \vec{S} \cdot d\vec{a}\}$ محاسبه نمود.

برای یک جریان به صورت و متوسط‌گیری زمانی در یک پرپود خواهیم داشت:

$$\overline{P_R} = \frac{2\pi}{3} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \left(\frac{dI}{\lambda} \right)^2 \frac{I^2}{2}$$

در روابط بالا μ تراوایی مغناطیسی، $\vec{n}$ بردار واحد عمود بر جزء سطح da و I شدت جریان است، کمیت P_R را توان تشعشعی یک آنتن دو قطبی می‌نامند.

الگوی به هنجار تشعشع آنتن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P_n(\theta, \phi) = \frac{S(\theta, \phi)}{S(\theta, \phi)_{\max}} S(\theta, \phi)_{\max}$$

که در آن $S(\theta, \phi)_{\max}$ مقدار بیشینه بردار پوینتینگ است. مقاومت تشعشع آنتن با استفاده از یک رابطه فرضی برای آنتن تعریف می‌شود به طوری که اگر یک مقاومت R ، جریان $(I \sin \omega t)$ از خود عبور دهد انرژی متوسط اتلافی آن مقاومت $P_R = \frac{1}{2} R I^2$ باشد. از مقایسه این رابطه با رابطه توان متوسط آنتن دو قطبی داریم.

$$R = \frac{2\pi}{3} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \left(\frac{dI}{\lambda} \right)^2$$

این کمیت برای خلاء وقتی که مقدار ϵ, μ مربوط به خلاء را قرار دهیم به دست می‌آید.

جهت‌داری برای یک آنتن به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$D(\theta, \phi) = \frac{dP_R/d\Omega}{4\pi}$$

برای آنتن دو قطبی جهت‌داری به صورت زیر است:

$$D(\theta, \phi) = 1.5 \sin^2 \theta$$

جهت‌داری بیشینه در $\theta = \frac{\pi}{2}$ و برابر با ۱/۵ است.

بهره توان برای یک آنتن به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$G = 4\pi \frac{dP_R/d\Omega}{P_{in}}$$

که در آن P_{in} توان ورودی آنتن است و ارتباط آن با P_R به صورت $P_R = \eta P_{in}$ که در آن η راندمان تبدیل انرژی ورودی به خروجی است. برای آنتن بدون اتلاف $\eta = 1$ می‌باشد. لذا داریم:

$$G(\theta, \phi) = \eta D(\theta, \phi)$$

یعنی هر چه جهت‌داری زیاد باشد بهره توان نیز بیشتر است.

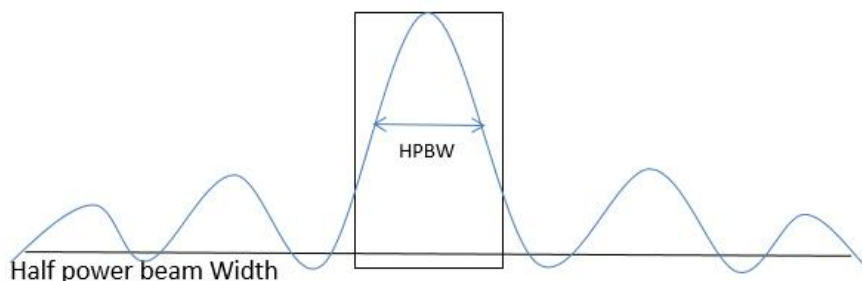
امپدانس آنتن یک کمیت مختلط است که قسمت حقیقی آن مقاومت آنتن و قسمت موهومی آن راکتانس خازنی القایی است. فرض می‌کنیم یک آنتن نیم موج به یک خط انتقال مرتبط است. اگر خط انتقال دارای امپدانس Z_t و آنتن دارای امپدانس Z_a باشد ضریب برگشتی از ترمینال‌های این آنتن به صورت زیر خواهد بود:

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_t}{Z_a + Z_t}$$

در واقع اگر بخواهیم خط انتقال با آنتن خوب جور شود باید امپدانس آن‌ها برابر باشد و گرنه برگشتی خواهیم داشت و مقداری انرژی در خطوط انتقال هدر خواهد رفت.

نمودار پرتوافکنی آنته‌هایی که نسبت به طول موج تشعشعی کوچک هستند تنها دارای یک شعاع اصلی است و گستردگی آن زیاد است، لکن در مورد آنتن‌های بزرگ (نسبت به طول موج تشعشعی) یک شعاع اصلی داریم که در مناطق توان بالا پهنای کوچکی دارد. این آنتن‌ها دارای تعدادی شعاع‌ای فرعی هستند که از نظر توان تشعشعی ضعیف‌اند.

نمودار ص ۳۱



پهنای شعاع اصلی را "پهنای شعاع" گویند. زاویه بین دو نقطه از شعاع اصلی را که شدت توانی برابر نصف توان بیشینه دارد پهنای شعاع نیم توان HPBW (که مخفف Half Power Beam Width است) گویند. توان تفکیک آنتن برابر پهنای شعاع نیم توان است.

مساحت شعاع به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Omega_a = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} (\theta, \phi) d\Omega = \theta_{HP} \phi_{HP}$$

که در آن θ_{HP}, ϕ_{HP} به ترتیب پهنای شعاع اصلی در صفحات ثابت θ, ϕ هستند. در مورد یک آنتن همسانگرد (ایزوتروپیک) که تشعشع آن در تمام جهات در فضا یکسان است، داریم

$P_{in}(\theta, \phi) = 1$ و لذا $\Omega_a = 4\pi$ بدیهی است که برای این آنتن جهت‌داری $D=1$ است که تعریف آنتن همسانگرد است.

برای آنتن غیر همسانگرد داریم: $\Omega_a < 4\pi, D > 1$

مثلا اگر $\phi_{HP} = \theta_{HP} = 2$ باشد داریم:

$$\Omega_a = \frac{2 \times 2}{(180)^2} \text{strad} \Rightarrow D = 103$$

مساحت موثر آنتن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$A_e = \frac{V^2}{4S(R_r + R_l)}$$

که در آن S اندازه بردار پوینتینگ، R_l, R_r به ترتیب مقاومت تشعشعی و مقاومت اتلافی آنتن و V پتانسیل القا شده در آنتن می‌باشد. می‌توان نشان داد که:

$$\lambda^2 = A_e \Omega_a$$

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2 A_e}$$

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} \eta A_e$$

روابط فوق کمیت‌های بسیار مهمی را در مورد طراحی ساخت و رصد با تلسکوپ‌های رادیویی تعریف می‌کنند.

تداخل‌سنجی

تاکنون آنتن را به عنوان یک محیط تشعشع کننده و یا فرستنده فرض کردیم. می‌توان براساس قضیه تقابل و یا اصل هم پاسخی آن را گیرنده نیز تصور کرد و تمام پارامترهای فوق را برای یک آنتن گیرنده تعریف نمود. حال یک آنتن دو قطبی را فرض می‌کنیم. در نقطه P به فاصله r از آنتن، میدان الکتریکی حاصل از تشعشع دو قطبی چنین است:

$$E = E_0 \frac{e^{-iRr}}{r} |\cos \theta|$$

اگر دو آنتن مشابه به فاصله d از یکدیگر قرار گیرند میدان کل آن‌ها E_t پس از انجام محاسبات لازم به صورت زیر خواهد بود.

$$E_t = E_1 + E_2 = (E_t)_0 \frac{e^{-iRr}}{r} |\cos \theta| \left[2 \cos \left\{ \frac{Rd \cos \theta + \beta}{2} \right\} \right]$$

که در آن β اختلاف فاز القاء شده بین آنتن‌ها است و

$$\theta \approx \theta_1 \approx \theta_2, \quad r_1 = r - \frac{d}{2} \cos \theta, \quad r_2 = r + \frac{d}{2} \cos \theta$$

کمیت داخل کروشه در رابطه E_t را فاکتور تداخل‌سنجی نامند. می‌توان نشان داد که برای یک تداخل‌سنج N مولفه‌ای:

$$HPBW = \frac{2\lambda}{(N+1)d} = \frac{2\lambda}{L}$$

که در d فاصله آنتن‌ها و L طول خط جبهه تداخل‌سنج است.

به عبارت دیگر توان تفکیکی تداخل سنج به جای بستگی به گشودگی یک بشقاب در تلسکوپ رادیویی یک مولفه‌ای، به خط جبهه تداخل سنج بستگی دارد که در عمل راه ساده‌تری را برای رسیدن به توان تفکیک‌های بالاتر در اختیار می‌گذارد. در این صورت الگوی تشعشعی تداخل سنج به گونه‌ای است که مساحت شعاع کاهش یافته و لذا جهت‌داری آن افزایش می‌یابد که افزایش بهره توان را نیز به دنبال خواهد داشت. می‌توان نشان داد:

$$D = 5048 = \frac{(N + 1)d}{\lambda}$$

البته در تکنیک تداخل سنجی باید بتوان اختلاف فاز امواج ورودی را به دقت از بین برد که در این صورت توان تفکیک و بهره توان به نحو مطلوبی افزایش خواهد داشت. بایستی یادآور شد که پس از توفیق تداخل سنجی بود که مارتین رایل توانست از طریق شمارش چشمه‌های رادیویی به نتایج مهمی در کیهان‌شناسی دست یابد امواج دریافتی توسط آنتن‌ها پس از تقویت کافی در تقویت‌کننده‌های با نویز پایین که در ساخت آن‌ها تکنیک خاصی بکار می‌رود به دستگاهی موسوم به تصحیح‌کننده فاز می‌رود (تقویت امواجی که فرکانس پایین دارند و اختلاف دامنه با نویز دستگاه کم است مشکلات و اطلاعات فنی خاص خود را دارد) تصحیح‌کننده فاز پس از اصلاح اختلاف فاز ناشی از اختلاف راه امواج ورودی، آن را پس از تقویت مجدد به رسام ویا مانیتور کامپیوتر می‌برد. امواج تقویت شده در محل آنتن‌ها به دلیل اتلاف در خطوط انتقال باید مجدداً تقویت شوند. این اطلاعات پس از تحلیل خواص فیزیکی چشمه رادیویی ساطع‌کننده این امواج را آشکار می‌سازد.

چشمه‌های رادیویی و مکانیسم تشعشع آن‌ها

کلیه اجرامی که در ناحیه مرئی قابل رویت هستند به نحوی امواج رادیویی از نوع تابش جسم سیاه (حرارتی)، تابش سینکروترون و یا تابش آزاد-آزاد (در اثر برخورد

ذرات) تشعشع می‌کند. علاوه بر آن‌ها اجرامی هستند که در ناحیه مرئی قابل رویت نیستند و صرفاً از دریچه رادیویی مشاهده می‌شوند.

برخی از چشمه‌های رادیویی مهم آسمان عبارتند از:

(۱) خورشید آرام که به عنوان یک جسم سیاه در $k 6000$ امواج رادیویی حرارتی تشعشع می‌کند که قسمتی از طیف پلانک در دمای فوق است.

(۲) خورشید فعال که در آن امواج رادیویی در حدود $cm 60$ از لکه‌های سیاه سطح خورشیدساطع می‌شود. این امواج به طور دایروی پولاریزه هستند و در اثر پدیده ژيرو مغناطیس از ذرات باردار تشعشع می‌شود.

(۳) سیارات نیز امواج رادیویی تشعشع می‌کنند. مثلاً مشتری در حوالی ۱۸ مگاهرتز تشعشع رادیویی خوبی دارد. این امواج با استفاده از وسیله ساده‌ای قابل شنیدن هستند. همچنین مریخ و زهره امواج ۳ سانتیمتر تشعشع می‌کنند. سطح زهره به دلیل ابرهای ضخیم جو آن از دریچه اپتیکی قابل رویت نیست ولی تصویر آن در ناحیه رادیویی به خوبی قابل رصد است.

(۴) شهاب سنگ‌ها هنگام برخورد به جو زمین در مسیر خود ذرات را یونیزه می‌کنند. این مسیر یونیزه در اثر وجود میدان مغناطیس زمین، امواج رادیویی تشعشع می‌کنند.

(۵) ستارگان رادیویی مثل UY قیطس BY, تنین امواج رادیویی تشعشع می‌کنند که در اثر وجود، زبانه‌هایی خورشیدی ولی قوی‌تر است.

(۶) محیط میان ستاره‌ای دارای هیدروژن خنثی است که امواجی را در طول موج $cm 21$ تشعشع می‌کند این تشعشع در اثر کوپلاژ اسپین-اسپین هسته و الکترون اتم هیدروژن صورت می‌گیرد. به طوری که حالت پایه اتم هیدروژن به دلیل کوپلاژ فوق یک حالت یگانه و یک حالت سه گانه تشکیل می‌دهد. اختلاف انرژی این دو حالت برابر با انرژی امواج رادیویی $cm 21$ است.

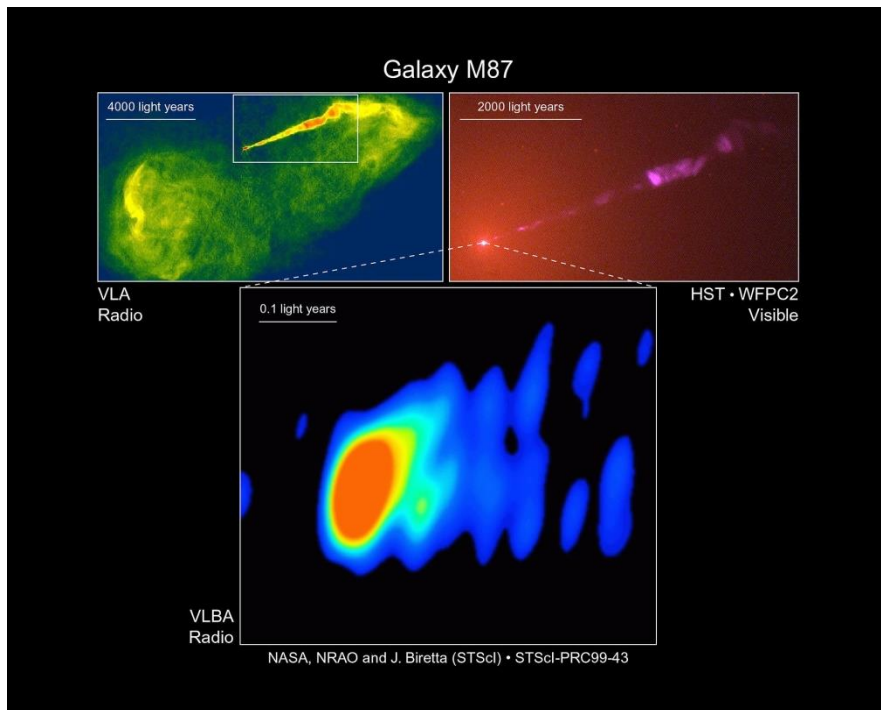
۷) مناطق HII که متشکل از گاز هیدروژن یونیزه است و مثل یک جسم سیاه در دمای حدود 10000K تشعشع حرارتی دارد.

۸) بقایای ابرنواختران از خود امواج رادیویی از نوع سینکروترون تشعشع می‌کنند. هنگام بروز واقعه ابرنواختر، لایه های خارجی ستاره با سرعت های حدود چند ده هزار کیلومتر

برثانیه از سطح آن به سمت بیرون پرتاب می‌گردد و با محیط میان ستاره‌ای اندر کنش می‌کند. الکترون های سریع السیر در این انفجار در میدان مغناطیسی تشعشع سینکروترون می‌کنند. از طریق طیف خاص امواج تاکنون حدود 150 باقیمانده ابرنواختر در کهکشان ما شناسایی شده است. این پدیده در کهکشان های دیگر نیز رخ می‌دهد. انفجار ابرنواختری که در سال 1054 میلادی توسط چینی ها ثبت شده است امواجی از 1 سانتیمتر تا 10 متر تشعشع می‌کند.

۹) تپ اخترها که اولین بار توسط منجمین رادیویی کشف شدند باقیمانده انفجار ابرنواختری به صورت ستاره نوترونی هستند و تشعشع سینکروترون می‌کنند. این ستاره‌ها که با دوره تناوب کسری از ثانیه به دور خود می‌چرخند دارای میدان مغناطیس قوی هستند (در حدود 10^{12} گوس) و الکترون های سریع ناشی از چرخش ستاره در این میدان تشعشع سینکروترون می‌کنند.

۱۰) کهکشان های رادیویی که امواج رادیویی آن ها در حدود 10000 برابر قوی تر از امواج رادیویی کهکشان های معمولی است. علت اصلی این پدیده فعال بودن هسته این کهکشان ها است که جت های گازی با سرعت های نسبیتی از هسته آن ها خارج می‌شود و امواج رادیویی از این جت ها در اثر وجود میدان مغناطیسی ساطع می‌گردد. در شکل روبرو جت های گازی که از کهکشان M87 بیرون رانده می‌شود نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۱

(تصویر رادیویی کهکشان M87 که توسط تداخل سنج VLA در طول موج ۶cm تهیه شده است.)

۱۱) اخترنماها که بعضاً دارای ابعاد گسترده در ناحیه رادیویی هستند و امواج رادیو از مناطق جت‌ها تشعشع می‌کنند. این اجرام دارای خصال رصدی عجیبی هستند که در مواردی برای منجمین ناشناخته است

مکانیسم تشعشع امواج رادیویی

امواج رادیویی به طرق مختلف تشعشع می‌شوند که به چند مورد مهم آن بطور کاملاً مختصر اشاره می‌کنیم تا در بخش‌های بعدی بطور مفصل به تشریح آن‌ها بپردازیم.

(۱) تابش جسم سیاه یا تشعشع حرارتی که توسط جسم سیاه در دمای T تشعشع می‌گردد و قسمتی از طیف پلانک را در ناحیه طول موج‌های بلند می‌پوشاند و چگالی انرژی آن در فرکانس ν به صورت:

$$U_{\nu} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \left[\exp\left(\frac{h\nu}{KT}\right) - 1 \right]^{-1}$$

است که در آن c , h , k به ترتیب ثابت‌های بولتزمان و پلانک و سرعت نور هستند.

(۲) تابش آزاد-آزاد حاصل اندرکش بین یون‌های مثبت و الکترون‌های آزاد می‌باشد. در این تابش الکترون‌های آزاد به وسیله تابش‌های ماوراءبنفش که از ستارگان دسته‌ی B, O ساطع می‌شوند و برخورد آن‌ها با هیدروژن‌های خنثی به وجود می‌آید.

(۳) تشعشع سنکروترون که در اثر چرخش الکترون‌های پرانرژی در میدان مغناطیس ایجاد می‌گردد. این تشعشع داخل مخروطی حول بردار سرعت الکترون به صورت پولاریزه انجام می‌گیرد که زاویه راس این مخروط $\theta = \frac{2mc^2}{E}$ است. که m جرم در حال سکون و E انرژی الکترون‌های نسبیتی است. علت پولاریزه بودن این تشعشع به خاطر اثر دوران فاراده است که هنگام عبور ماریچی ذره باردار از میدان مغناطیسی اتفاق می‌افتد.

آنتن‌ها مبانی و تکنیک‌های مهندسی

عملکرد یک آنتن

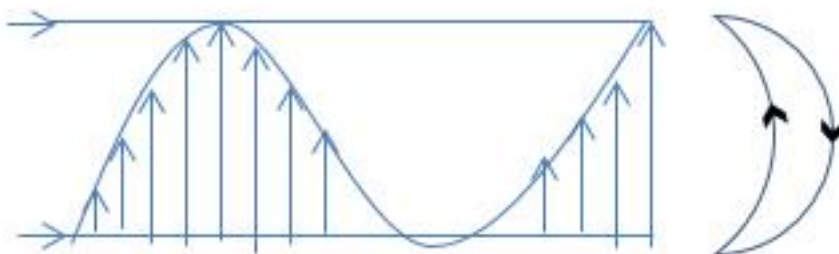
آنتن از یک جسم فلزی و اغلب به صورت سیم یا مجموعه‌ای از سیم‌ها درست شده‌است. این ساختمان برای تبدیل جریانی با فرکانس زیاد به امواج الکترومغناطیس و امواج الکترومغناطیسی به جریان فرکانس زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. آنتن‌های فرستنده و گیرنده غیر از عملکرد متفاوتشان رفتارهایی مشابه نیز دارند. یعنی عملکردشان عکس یکدیگر است که به اصطلاح به این امر «اصل هم پاسخی» گفته می‌شود.

تشعشع از یک آنتن

در یک مولد، موج به درون آنتنی که متشکل از ۲ سیم است منتقل شده و نوسان‌هایی را در آنتن به وجود می‌آورد. در حالت کلی امواج در اثر برخورد با محیط بیرون برگشت خورده و یک موج ایستاده تولید می‌کند. البته لازم به ذکر است که تمام امواج ارسالی برگشت نمی‌خورند و مقداری از آن به صورت امواج الکترومغناطیس پراکنده می‌شوند و به اصطلاح از سیستم فرار می‌کنند.

در روش فوق یک مشکل وجود دارد و آن اینکه چون ۲ سیم خیلی به هم نزدیک هستند ممکن است تشعشعی صورت نگیرد.

شکل ۱-۱۴



دوقطبی

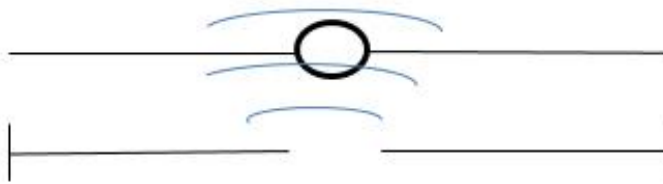
برای برطرف شدن این مسئله انتهای دو سیم را از یکدیگر دور می‌کنیم در این حالت تشعشع آنت بهتر خواهد بود به چنین تشعشع کننده‌ای یک دوقطبی گویند که ساده‌ترین نوع آنتن است. ترکیب دوقطبی‌ها انواع دیگر آنتن را حاصل می‌دارد.

عکس‌های ص ۳۹

آنتن دوقطبی نیم موج



وقتی مجموع طول دو سیم برابر با نصف طول موج باشد یعنی $L = \frac{\lambda}{2}$ آنتن را دو قطبی نیم موج گویند. در این حالت تشعشع به مقدار حداکثر می‌رسد و این به دلیل آن است که چون گره (شکم) موج در انتهای مدار باز آنتن قرار می‌گیرد لذا امپدانس یا مقاومت در آنجا کم است و جریان زیادی از خط انتقال به ورودی دو قطبی اعمال شده و بازده تشعشع زیاد می‌شود.



$$L = \frac{\lambda}{2}$$

شدت میزان تشعشعی با جریان $I = i \sin \omega t$ در درون دو قطبی به صورت زیر خواهد بود:

$$P(\theta, \phi) = S_r r^2 = \frac{1}{2} E^2 \frac{r^2}{z} = \frac{1}{2} H^2 z r^2 \sqrt{b^2 - 4ac}$$

و در نهایت با اعمال محاسبات ریاضی لازم خواهیم داشت:

$$P(\theta, \phi) = \frac{60\pi LI}{d \cdot \lambda} \cos \theta \cos \omega \left(t - \frac{d}{v_c} \right)$$

که در روابط فوق:

E : شدت میدان تشعشعی

L : طول آنتن

λ : طول موج

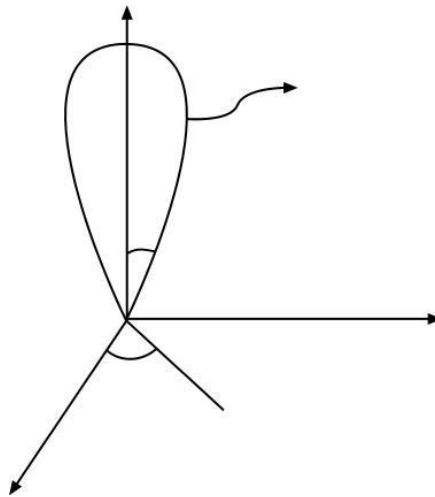
Z : امپدانس فضای آزاد

θ : زاویه انحراف

d : فاصله نقطه تا آنتن

v_c : سرعت نور در فضای آزاد

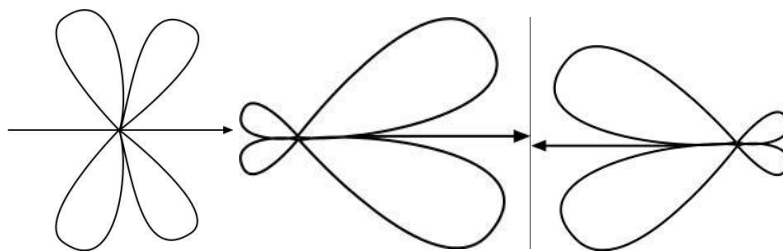
بیشترین شدت میدان زمانی است که $\theta = 0$ باشد و کمترین شدت میدان زمانی است که $\theta = 90$ باشد.



(نمودار شدت تشعشی که نشان می‌دهد آنتن در کدام طرف max تشعشع خود را دارد)

آنتن تشدید

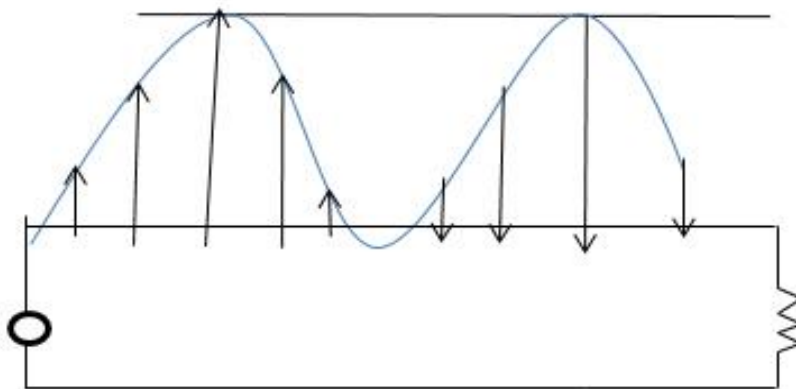
چنین آنتنی به صورت یک خط انتقال مدار باز در نظر گرفته می‌شود که با یک طول تشدید مثلاً ضریبی از ربع طول موج $(\lambda/4)$ خواهد بود. در این صورت در این نوع آنتن‌ها موج ساکن به وجود می‌آید و شدت میدان تابشی عمود بر صفحه آنتن به max مقدار خود نمی‌رسد. بلکه به علت وجود موج‌های رفت و برگشتی و خنثی شدن بعضی از شدت‌ها، میدان تابشی در گلبه‌های جانبی دامنه تشعشی بیشتری خواهد داشت.



آنتن‌های غیر تشدیدي

یک آنتن غیرتشديدی عبارت است از آنتنی که امواج ساکن در آن وجود نخواهد داشت. برای این منظور انتهای آنتن را به بار مناسبی برای حذف توان برگشتی متصل می‌سازند. پس در آنتن فقط موج رفت وجود خواهد داشت و جریانی از امواج در آنتن به وجود می‌آید و تشعشع آنتن یک جهتی بوده و بیشتر توان صرف تشعشع آنتن می‌شود.

نمودار ص ۴۱



بهره آنتن: Gain

به نسبت چگالی توان تشعشعی توسط یک آنتن توجیهی به چگالی توانی که توسط یک آنتن مرجع (استاندارد) تشعشع می‌کند، بهره یا دریافتی آنتن می‌گوییم که معمولاً آن را برحسب دسی بل بیان می‌کنند. چنانچه توان را که در جهت (θ, ϕ) تاییده

می‌شود با $P(\theta, \phi)$ نمایش دهیم، می‌توان آن را بر حسب فاکتور بهنجار P و بهره $G(\theta, \phi)$ بدین صورت نوشت:

$$P(\theta, \phi) = G(\theta, \phi)P$$

که با جانشینی مقدار فاکتور بهنجار به صورت $P = \frac{1}{4\pi} \iint P(\theta, \phi) d\Omega$ بهره آنتن خواهد بود:

$$G(\theta, \phi) = \frac{4\pi P(\theta, \phi)}{\iint P(\theta, \phi) d\Omega}$$

در عمل، مقدار بهره از نسبت توان ورودی در آنتن استاندارد به توان ورودی در آنتن توجیهی بدست می‌آید. البته باید توجه داشت که هر دو آنتن فوق در فاصله برابر، در یک جهت و در یک میدان تابشی برابر قرار می‌گیرند، بدیهی است که توجیهی بودن آنتن ضریب بهره را افزایش خواهد داد.

بهره آنتن بطور کاربردی تر و بشکل ریاضی اینگونه محاسبه می‌شود:

$$G(db) = A(db) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

بطوریکه:

$$A(db) = \text{بهره آنتن}$$

$$P_1 = \text{توان آنتن توجیهی}$$

$$P_2 = \text{توان آنتن مرجع (استاندارد)}$$

آنتن ایزوتروپیک یا آنتن ایده‌آل

آنتنی است که تمام توان ورودی را در تمام جهات به صورت یکسان تشعشع می‌کند بطوریکه برای این نوع آنتن $P(\theta, \phi)$ و $\Omega = 4\pi$ می‌باشد.

جهت‌گرایی: Directivity

خارج قسمت زاویه فضایی یک کره به زاویه فضایی انتشار در آنتن را جهت‌گرایی آنتن می‌گویند و آن را با D نمایش می‌دهند. به عبارت دیگر جهت‌گرایی یک آنتن عبارت است از مقدار ماکزیمم دریافتی یا $G_{\max}$ یعنی:

$$D = G_{\max} = \frac{4\pi P(\theta, \phi)}{\iint P(\theta, \phi) d\Omega}$$

و چون $G_{\max}$ زمانی حاصل می‌شود که $P(\theta, \phi)$ برابر با یک شود لذا خواهیم داشت:

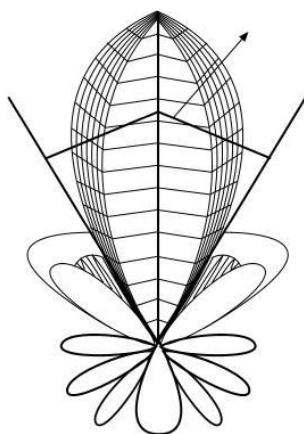
$$D = G_{\max} = \frac{4\pi}{\iint d\Omega} \Rightarrow D = \frac{4\pi}{\Omega_A}$$

جهت‌گرایی کمیتی بدون بعد است که نشان می‌دهد آنتن تا چه اندازه قدرت تشعشع را در داخل یک زاویه فضای متمرکز می‌سازد، یعنی قدرت تشعشعی یک آنتن در چه جهتی است.

$$\Omega_A = \int_{\theta=0}^{\theta=2\pi} \int_{\phi=0}^{\phi=2\pi} P_n(\theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi = \int_{4\pi} P_n(\theta, \phi) d\Omega$$

برای نمودارهای تشعشعی عادی، این زاویه برابر با پهنای شدت میزان تشعشعی می‌باشد.

شکل ۱-۱۵



مقاومت آنتن

مقاومت آنتن دارای دو جزء است:

(۱) مقاومت تشعشی آنتن که نتیجه‌ی توانی است که به امواج الکترومغناطیس تبدیل می‌شود.

(۲) مقاومت مربوط به اتلاف آنتن

مقاومت تشعشی: این مقاومت به صورت نسبت توان تشعشی آنتن به مجذور جریان در نقطه‌ی تغذیه تعیین می‌شود یا به عبارت دیگر مقاومتی است که اگر به جای آنتن قرارگیرد تمام توان تشعشی آنتن را در خود تلف می‌کند.

در یک دوقطبی کوتاه، مقاومت تشعشی متناسب با مجذور طول می‌باشد:

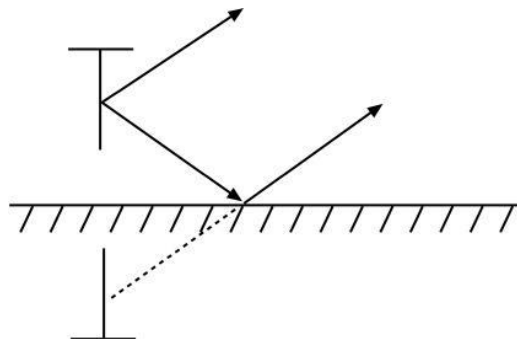
$$R_r = 80\pi^2 \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2 = 790 \left(\frac{L}{\lambda}\right)^2$$

اثرات زمین روی آنتن Earth Effect

زمین به عنوان یک عامل منعکس کننده، اثرات قابل ملاحظه‌ای را روی آنتن خواهد گذاشت و بسته به چگونگی اتصال آنتن با سطح زمین زمین این مساله قابل بررسی می‌باشد.

آنتن هرتز یا عدم اتصال به زمین

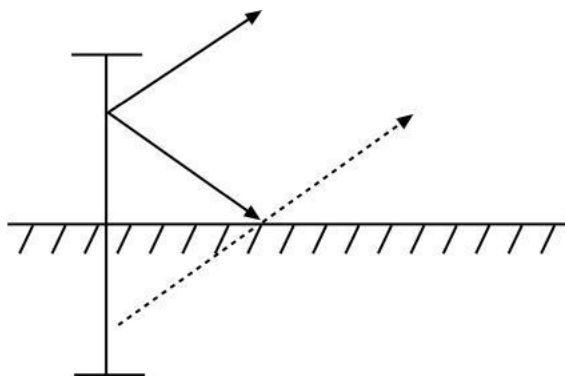
در این روش آنتن به زمین متصل نبوده‌ولی به هر حال تصویر آنتن در زمین وجود دارد.



در این نوع آنتن‌ها، آنتن حقیقی و تصویرش دو آنتن را به وجود می‌آورند و اگر بخواهیم اثرات تشعشع را روی یک ناحیه از فضا مطالعه کنیم، علاوه بر آنکه اثرات آنتن حقیقی را بررسی می‌کنیم، اثرات آنتن دوم یا همان آنتن تصویر را هم در نظر خواهیم گرفت و این دو اثر باهم جمع می‌شوند.

آنتن‌های مارکونی یا اتصال به زمین

این نوع آنتن‌ها به زمین متصل هستند و مانند آنتن‌های زمین نشده تصویر آن‌ها در زمین مدنظر قرار می‌گیرد. در این نوع آنتن‌ها مجموع آنتن و تصویرش به صورت یک آنتن واحد در نظر گرفته می‌شود. مزیتش این است که برای به‌دست‌آوردن یک آنتن تشعشعی فقط به نصف طول آنتن نیازمندیم و نیمی دیگر از طریق انعکاس تامین می‌شود.



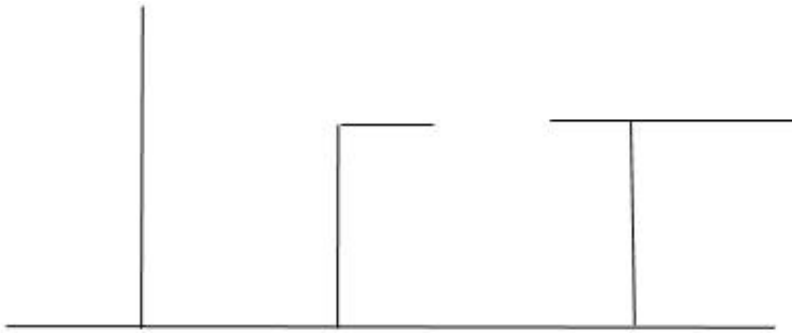
اندازه یا طول اپتیمم آنتن: (Optimum Length of Antenna)

ارتفاع حقیقی یک آنتن بهتر است که حداقل برابر ربع طول موج $\left(L = \frac{\lambda}{4}\right)$ باشد. اگر چنین حالتی ممکن نشد معمولاً این آنتن یک تشعشع کننده خوب نخواهد بود. آنتنی که خیلی از این مقدار کوچکتر باشد اگر چنانچه به علت هدایت محدود دو قطبی و یا به علت صفحات دی الکتریک، تلفات حرارتی داشته باشد به ازای این تلفات یک مقاومت تلفاتی معادل R_{loss}

خواهیم داشت و مقاومت در ترمینال آنتن عبارت خواهد بود:

$$R = R_r + R_{loss}$$

البته این مساله را مهندسان مخابرات با قرار دادن سلفی در بالای آنتن به صورت ضعیف یا بارگذاری فوقانی به صورت خوبی حل کرده‌اند که نوع بارگذاری باعث افزایش جریان اپایه آنتن و یکنواخت نمودن توزیع جریان خواهد شد که این بارگذاری را می‌توان به صورت Γ یا T انجام داد. البته پلاریزاسیون چنین آنتن‌هایی عمودی خواهد بود.



همچنین درست است که در بعضی از طول موج‌ها مثلاً در ناحیه LF و VHF خوب است که طول آنتن بلند باشد اما بهتر است طول آنتن حداکثر برابر یک طول موج یا مضربی از آن باشد. زیرا اگر مقداری از اندازه طول موج بیشتر شود در حالت تشعشع فرکانس‌هایی ناخواسته را نیز تشعشع خواهد کرد.

روش عمای در انتخاب طول آنتن

در حالت عملی ممکن است ضخامت و اشیاء حول آنتن روی آنتن تاثیر گذاشته و لازم باشد اندازد آنتن از حالت واقعی مقداری تغییر کند. در این حالت بهتر است آنتن را از حد معمول بلندتر انتخاب کرده و سپس با آزمایش و به طور تجربی طول آن را به میزان لازم کوتاه‌تر نماییم.

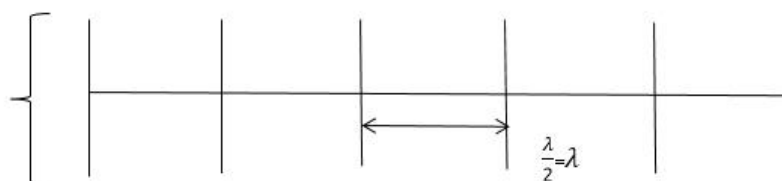
انواع آنتن‌ها

آرایه‌های دوقطبی: Dipole Array

یک آرایه از آنتن عبارت است از سیستم تشعشعی که شامل چندین شعشع کننده یا عنصر تک می‌باشد و آنقدر نزدیک یکدیگر قرار گرفته‌اند که هر یک در میدان القایی بقیه واقع می‌شود. بنابراین آن‌ها بر روی هم اثر گذاشته و ایجاد پرتوی تشعشعی می‌کنند که بصورت جمع برداری تک تک پرتوها نتیجه می‌شوند.

آرایه‌های بروساید: Broside Array

ساده‌ترین آرایه تشکیل شده از تعدادی دو قطبی با اندازه‌ها و فواصل مساوی در امتداد یک خط مستقیم می‌باشد که با فاز ثابتی از یک منبع تغذیه قرار گرفته‌اند. یک آرایه بروساید معمولی دارای خاصیت جهتی قوی در امتداد عمود بر صفحه آرایه‌ها می‌باشد در حالیکه در راستای صفحه‌ی مذکور تشعشع خیلی کمی خواهیم داشت اما عمود بر آن تشعشع ماکزیمم است. طول آنتن نمونه در آرایه بروساید از ۲ تا ۱۰ برابر طول موج متغیر بوده و فواصل آن‌ها بین $\frac{\lambda}{2}$ یا λ خواهد بود.

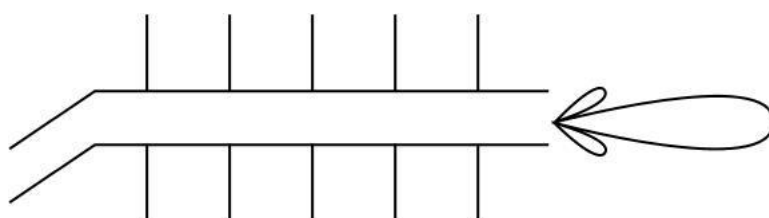


از جمله رادیو تلسکوپ‌هایی که از این نوع سیستم در آن‌ها استفاده شده رادیو تلسکوپ دانشگاه شیراز می‌باشد که توسط دکتر سعید عطارد مورد مطالعه و استفاده قرار گرفته است و به وسیله آن امواج تشعشعی از خورشید و مرکز کهکشان راه شیری مورد بررسی قرار می‌گیرد. از این نوع آنتن در حالت دیگری توسط کارل یانسکی (اولین کسی که روی رادیو تلسکوپ‌ها کار کرد) ساخته شده بود که روی امواج با طول موج ۱۳ متر کار می‌کرد. البته یانسکی طوری آنتن را طراحی کرده‌بود که آنتن در یک فضای

بزرگ می‌توانست به دور خود دوران نماید و به وسیله آن بخش‌های مختلف آسمان را رصد می‌کرد. در صورتی که تلسکوپی که توسط دکتر عطارد ساخته شده بود توانایی جابه‌جایی نداشت. در آنتن‌های تلویزیونی نیز از این آرایه‌ها استفاده می‌شود و بسته به طول موجی که باید دریافت شود فاصله آرایه‌ها و طول آن‌ها باید تغییر کند. مثلاً برای امواجی که از عمق کهکشان می‌آید اگر طول موج ۹ متر را در نظر بگیریم باید آرایه‌ای با طول آنتن‌های ۹ متر و فاصله ۴/۵ متر را در نظر بگیریم و به وسیله آن سیگنال‌ها را دریافت کنیم.

آرایه‌های اندفایر

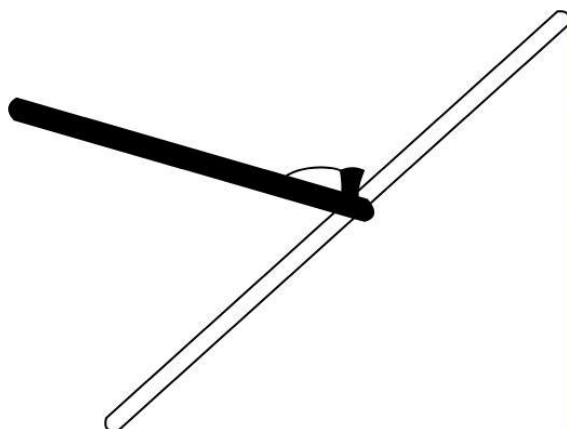
این نوع آرایه‌ها قدرت تشعشعشان در جهت افقی می‌باشد و دو قطبی‌ها به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که در جهت صفحه ماکزیمم تشعشع را داشته باشند. تشعشع آن‌ها جهتی است در راستای جهت آنتن. البته قابل ذکر است که دو آنتن اندفایر و بروساید برای گیرندگی قوی نیستند و بیشتر برای تشعشع مفید هستند و از جمله آنتن‌های تشدید می‌شوند. از این نوع آنتن‌ها بیشتر در دکل‌های کشتی، فرستنده‌ها و گیرنده‌های دریانوردی و نیز در جبهه جنگ استفاده می‌شود.



خم دو قطبی

اگر یک دو قطبی نیم موج را بطور خاصی خمیده کنیم، امپدانس ۷۳ اهم آن افزایش می‌یابد و این کار باعث می‌شود پهنای باند آنتن افزایش یابد. در شکل زیر نمونه‌ای از یک دو قطبی خم را مشاهده می‌کنید.

عکس ص ۴۷



آنتن یاگی اودا: Yagi-Uda

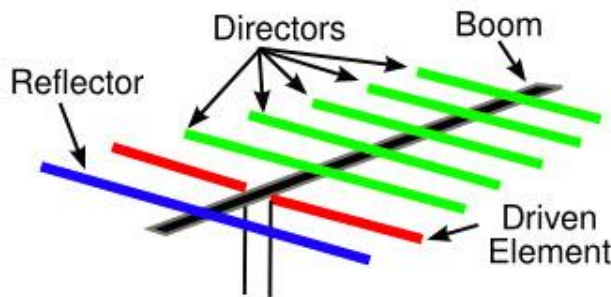
اولین بار این آنتن توسط یک مهندس ژاپنی به نام یاگی به بازار عرضه شد که صرفاً به منظور گیرنده تلویزیونی بکار می‌رفت. اما در خلال جنگ جهانی دوم و پس از آنکه روس‌ها و آلمان‌های نازی از این آنتن به عنوان رادارهای نظامی خود استفاده کردند، به تدریج ایده‌ی استفاده از این آنتن در نجوم رادیویی به عنوان یک رادیو تلسکوپ ساده مطرح و سپس بکار گرفته شد.



این آنتن عبارت است از آرایه‌ای که شامل یک عنصر محرک یا فعال (که یک دوقطبی خم می‌باشد) و یک یا چند عنصر فرعی (غیر فعال) است.

این آنتن عموماً در فرکانس های بالا و تلویزیون بکار می رود و مقاومت آن (امپدانس) حدود ۳۰۰ اهم می باشد. در آنتن یاگی جهت دریافت بیشتر امواج، تعداد ۳ میله و یا بیشتر به عنوان دایرکتور (هدایت کننده) در کنار دوقطبی خم قرار می دهند که امواج را دریافت و به طرف دوقطبی آنتن متمرکز می نماید. همچنین از ۱ میله و گاهی بیشتر به عنوان رفلکتور یا منعکس کننده قرار می دهند که امواجی که از آنتن می گذرد را مجدداً به طرف دوقطبی برمی گرداند. در زیر طرحی از یک آنتن یاگی با چند میله به عنوان رفلکتور را مشاهده می کنید.

شکل ۱۷-۱



این آنتن نسبتاً یک جهتی بوده و دارای بهره متوسطی در حدود ۷db می باشد. لذا بیشتر از این آنتن به عنوان فرستنده و گیرنده HF استفاده می کنند. همانطور که اشاره شد، در این نوع آنتن ها بهتر است برای عنصر محرک از یک دوقطبی خم شده استفاده کنیم. این دوقطبی شامل دو عنصر است که اولی مستقیماً تغذیه شده در حالیکه دومی به صورت هدایتی در دو انتها تجویز می شود. در این نوع آنتن ها امپدانس (مقاومت تشعشعی) زیاد بوده و در نتیجه قدرت تشعشع خوبی دارد. آنتن یاگی یکی از ابزارهای رایج منجمین برای مطالعه سیاره مشتری می باشد که به آنتن مشتری نیز نامیده می شود. سیاره مشتری امواجی در گستره فرکانس ۱۸ تا ۲۲ مگاهرتز گسیل می کند که معمولاً بیشترین تشعشع آن در باند ۲۱ مگاهرتز است.

محاسبه طول آنتن یاگی

تقریباً اکثر کسانی که با نجوم رادیویی و مخابرات آشنا هستند از آنتن‌های یاگی و طرز کار آن‌ها شناخت کافی دارند. اما به مجرد اینکه همین افراد بخواهند یک نمونه از این آنتن‌ها را خودشان بصورت دست ساز طراحی و بسازند به مشکل برمی‌خورند. چرا که دانستن اطلاعات لازم در مورد تعداد میله‌ای بکار رفته در آنتن، طول هر یک از میله‌ها و نیز فاصله آن‌ها از یکدیگر شرط اصلی در ساخت یک آنتن می‌باشد. در ذیل برای آن عده از افرادی که قصد دارند تا بصورت تجربی یک نمونه آنتن یاگی بسازند (خواه برای استفاده به عنوان گیرنده تلویزیون و خواه برای مطالعه سیاره مشتری) نحوه محاسبه پارامترهای مورد اشاره را برای یک آنتن یاگی با ۱ رفلکتور و ۳ دایرکتور ارایه می‌کنم.

$$L_{0.5} = \text{فاصله دو میله از هم در دوقطبی خم}$$

$$L_{0.51} = \text{طول میله رفلکتور}$$

$$L_{0.15} = \text{فاصله رفلکتور از دوقطبی}$$

$$L_{0.46} = \text{طول دایرکتور اول}$$

$$L_{0.44} = \text{طول دایرکتور دوم}$$

$$L_{0.42} = \text{طول دایرکتور سوم}$$

$$L_{0.1} = \text{فاصله دایرکتورها از دوقطبی و از یکدیگر}$$

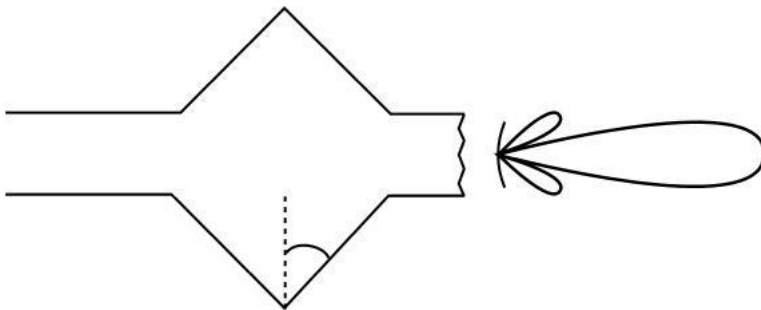
نکته: در تلویزیون چون شبکه ۱ روی کانال ۱۱ (فرکانس ۲۱۶ تا ۲۲۳ مگاهرتز) و شبکه ۲ روی کانال ۹ (فرکانس ۱۸۸ تا ۱۹۵ مگاهرتز) پخش می‌شود جهت دریافت امواج فوق، معدل امواج را حساب کرده و آنتنی جهت آن محاسبه می‌کنند و برای اینکه محدوده‌ی وسیعی را شامل شود به تعداد میله‌های آنتن اضافه می‌کنند. که به لحاظ تجربی معمولاً حداکثر میله‌هایی که به عنوان دایرکتور استفاده می‌شوند ۹ عدد می‌باشد

که از میله چهارم به بعد مانند آنچه گفته شد به میزان 0.2λ از طول هر میله کاسته می شود.

آنتن های غیر تشدیدی لوزی

یکی از بزرگترین نیازهای مخابرات دریافت های رادیویی در باند HF می باشد که احتیاج به یک آنتن چند بانندی در محدوده فرکانسی ۳ تا ۳۰ مگاهرتز چه برای دریافت و چه برای ارسال می باشد. یکی از راه حل ها استفاده از آرایه های آنتن غیر تشدید می باشد که مشخصه های آن در محدوده فرکانسی فوق تغییر زیادی نخواهد کرد. یکی از مهم ترین آرایه ها آرایه لوزی گون است. این آرایه به صورت لوزی مسطحی به خط انتقالی که از ۲ خط موازی تشکیل شده متصل گردیده است. این ۲ خط موازی در وسط به ۲ نقطه متصل شده اند تا شکل لوزی به وجود آید.

عکس ۱۸-۱



طول هر یک از تشعشع کننده ها باید بین ۲ تا ۸ برابر طول موج با زاویه شیب ϕ بین 40° تا 75° درجه که ارتباط نزدیکی با طول تشعشع کننده دارد باشد.

برای مثال: برای دریافت فرکانس 21MHz مربوط به مشتری باید از آرایه ای با طول حداقل ۱۳ متر استفاده کرد. ۴ ساق آنتن به صورت آنتن های غیر تشدید عمل می کنند. برای این کار خط انتقال بایستی به باری برابر با امپدانس مشخصه اش منتهی شود، بنابراین فقط امواج رفت در این آرایه وجود دارد. بنابراین این آنتن لوزی باید به

مقاومتی منتهی گردد که برای انتقال قادر به جذب تقریباً $\frac{1}{3}$ توان آنتن را داشته باشد. این مقاومت معمولاً در حدود ۸۰۰ اهم و امپدانس ورودی حدود ۶۵۰ تا ۷۰۰ اهم می باشد. جهت داری یک آنتن لوزی در حدود ۲۰ تا ۹۰، با افزایش طول آنتن تا ۸۲ افزایش می یابد و بنابراین بهره آنتن بین ۱۵ تا ۶۰ وات تغییر می کند. بایستی اشاره شود که چون آنتن لوزی غیر تشدیدی است، لازم نیست که طول آن مضرب صحیحی از نصف طول موج باشد.

آنتن های با منعکس کننده سهموی: Parabolic Reflector Antenna

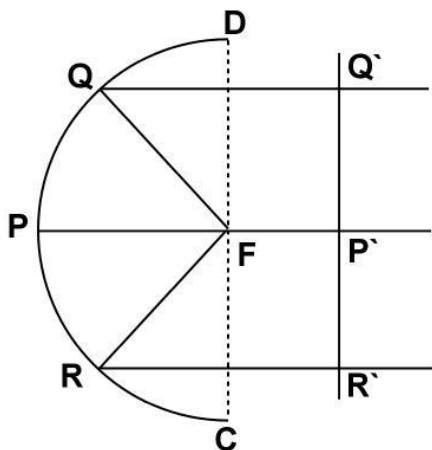
سهمی یک منحنی صفحه ای است که عبارت است از مکان هندسی نقاطی که فاصله آن ها از یک نقطه به نام کانون به علاوه فاصله آن ها از یک خط مستقیم مقداری ثابت باشد. چنانچه خواهیم دید این خصوصیات هندسی، منعکس کننده بسیار خوبی را برای نور میکروویو عرضه خواهد نمود.

طبق تعریف سهمی می توان نوشت:

$$FP + PP' = FQ + QQ' = FR + RR' = K$$

در اینجا K ثابتی است که با اشکال متفاوت سهمی تغییر می کند.

نمودار ص ۵۳



دهانه سهمی: Aperture

PF طول کانون سهمی و CD قطر دهانه سهمی است. همچنین نسبت طول کانون سهمی به قطر دهانه سهمی، مانند عدسی‌های عکاسی، دهانه سهمی نامیده می‌شود:

$$\text{Aperture} = \left(\frac{AF}{CD} \right) : \text{دهانه سهمی}$$

اگر چنانچه یک منبع تشعشعی در کانون سهمی واقع شود، تمام امواجی که از منبع خارج شده و توسط سهمی منعکس می‌شود فاصله یکسانی را در موقع رسیدن به خط هادی طی خواهد نمود $\Leftarrow$ تمام امواج هم فاز خواهند بود. پس تشعشع حاصله بسیار قوی شده و با تمرکز بیشتری مسیر را طی خواهد کرد. یک منعکس کننده عملی، دارای خواص یک سهمی در سه بعد می‌باشد که از دوران یک سهمی حول محور کانونی به دست می‌آید که سطح به دست آمده را اغلب منعکس کننده سهموی یا بشقاب میکروویو (دیش) می‌نامند. این بشقاب‌های میکروویو دارای قدرت تشعشع و گیرندگی مشابهی هستند یعنی هم پاسخ‌اند و همان طور که نور را از کانون به صورت هم فاز منعکس می‌کنند، امواج را دریافت کرده و در کانون متمرکز می‌کنند و اشعاعی که از جهات دیگر وارد می‌شود به سبب تفاوت در مسیرهای آن‌ها اثرات یکدیگر را خنثی می‌کنند. در این حالت آنتن دارای بهره زیادی بوده و مانند تلسکوپ نوری یک سطح بزرگ را در یک نقطه کانونی می‌کند.

خواص منعکس کننده‌های سهموی

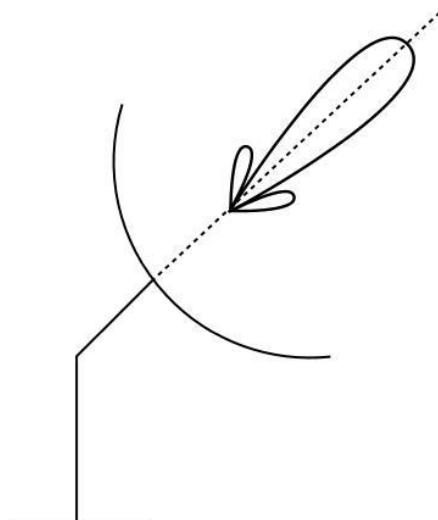
پرتو جهتی یک آنتن با استفاده از یک منعکس کننده سهموی دارای یک گلبرگ اصلی خیلی تیز بوده که توسط تعدادی گلبرگ فرعی که از آن خیلی کوچکتند احاطه شده است. یعنی بیشتر توان آنتن در اینجا تمرکز دارد.

پهنای پرتو مابین صفرها بر حسب درجه به صورت زیر می‌باشد:

$$\Phi_0 = \frac{140\lambda}{D}$$

که D قطر دهانه برحسب متر است.

عکس ص ۵۴



عکس ۱۹-۱

مثال: مطلوب است محاسبه پهنای پرتو بین صفراهای یک منعکس کننده ۲ متری سهموی در فرکانس ۶۰ گیگاهرتز.

جواب:

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{6 \times 10^9} = 0.05m$$

$$\phi_0 = \frac{140 \times 0.05}{2} = 2.5^\circ$$

نکته: بهره آنتنی که دارای یک منعکس کننده سهموی است از رابطه زیر محاسبه

می شود:

$$G = 6 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2$$

همانطور که ملاحظه می شود هر قدر قطر دهانه بیشتر باشد بهره آنتن بیشتر خواهد بود و در طول موج های بالا در صورت کوچک بودن آنتن، مقدار بهره تنزل پیدامی کند.

مثال: بهره آنتن مثال قبل را به دست می آوریم:

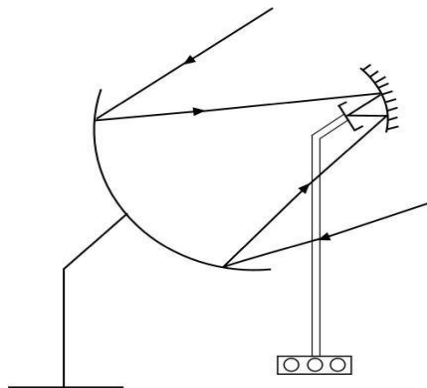
$$G = 6 \left(\frac{D}{\lambda} \right)^2 = 6 \left(\frac{2}{0.05} \right)^2 = 9600 \text{ وات}$$

برای اینکه منعکس کننده کاملاً موثر و مفید باشد باید دارای قطر دهانه حداقل λ ۱۰ باشد. یعنی برای باند ۶۳ مگاهرتز حداقل قطر دهانه تلسکوپ باید ۴۸ متر باشد. برای دریافت موج ۲۱ cm هیدروژن موجود در کیهان داشتن یک آنتن ۲/۱ متری مناسب که این طول موج اثر مهبانگ bigbang را ثابت می کند.

مکانیزم تغذیه یا LMB

برای بهترین نتیجه انتقال و دریافت باید این وسیله یعنی LMB را در کانون سهمی قرار دهیم که معمولاً برای کاربردهای رادیویی به شکل یک موج بر به نام هورن (شیپور) است. در هر صورت تشعشع مستقیم به سوی LMB بدون برخورد موج به سهمی، موج را پخش وجهت داری آنتن را خراب می کند. چندین روش برای جلوگیری از آن وجود دارد: یکی از روش ها این است که به جای LMB از یک دوقطبی کوچک که در کانون سهمی قرار می گیرد مانند (آرایه یاگی) استفاده می شود. در روش دیگر برای متفرغ نشدن امواج از یک منعکس کننده کوچک کروی استفاده می شود.

۱-۲۰



همچنین می توان از آنتن های شیپوری یا بوقی در مرکز کانون استفاده کرد. آنتن

بوقی را می‌توان یک موجبر باز شده دانست که وظیفه آن این است که یک جبهه موج یک‌نواخت با دهانه‌ای بزرگتر از موج‌بر و با سمت‌گرایی بیشتر را به وجود آورد.

آنتن‌های بوقی شکل‌های متفاوتی دارند که سه نوع عمده عبارتند از:

(۱) آنتن‌های بخشی

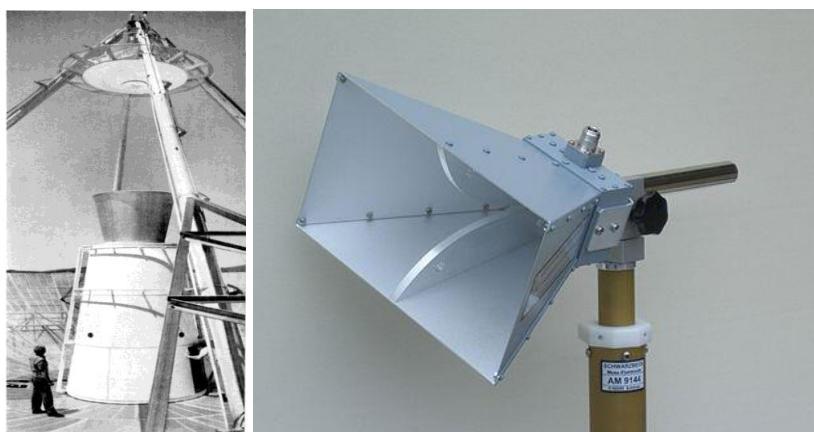
(۲) آنتن‌های هرمی

(۳) آنتن‌های دایره‌ای

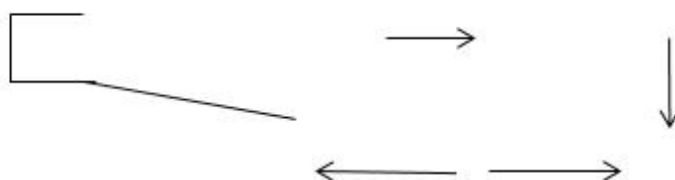
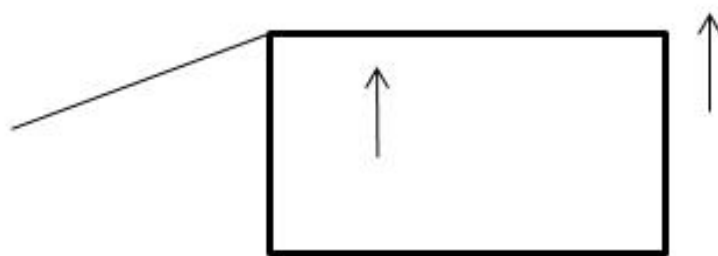
آنتن‌های بخشی، موج را در یک جهت، هرمی در دو جهت ارسال می‌کند.

محاسبه و طراحی آنتن‌های شیپوری

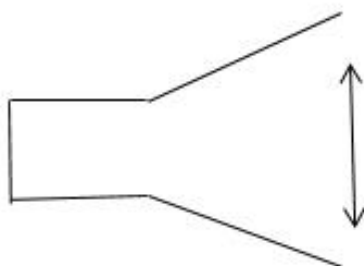
اگر چنانچه شیپور کم‌عمق باشد (Φ بزرگ باشد) امواج ارسالی جهت‌دار نخواهند بود. پس عمق شیپور یعنی زاویه Φ را متناسب با طول موج ارسالی می‌بایست تنظیم کرد. در عمل Φ از 40° درجه وقتی طول آنتن برابر با 1.7λ تا 150° درجه وقتی طول آنتن برابر با 5.7λ باشد تغییر می‌کند. این آنتن‌ها موج دریافتی را تک مد می‌کنند بنا به مورد استفاده در طول موج‌های مختلف ساخته می‌شوند. اگر چنانچه طول آن‌ها متناسب با طول موج دریافتی نباشد به موج دریافتی صدمه خواهند زد.



عکس ۲۱-۱



ترسیم هندسی آنتن فوق چنین خواهد بود: $\frac{h}{\gamma}$
عکس ۲۲-۱



لذا با توجه به وضع هندسی بوق می توان نوشت:

$$\begin{cases} \cos \theta = \frac{L}{L + \varepsilon} \\ \sin \theta = \frac{h}{2(L + \varepsilon)} \Rightarrow L = \frac{h^2}{8\varepsilon}, \theta = \tan^{-1} \frac{h}{2L} = \cos^{-1} \frac{L}{L + \varepsilon} \\ \tan \theta = \frac{h}{2L} \end{cases}$$

که مقدار ε بسیار کوچک است.

روش متداول آن است که در سطح $\vec{E}$ از بوق، اجازه اختلاف فازی بیش از 72° درجه $\left(\varepsilon \approx \frac{\lambda}{5}\right)$ و یا انحراف $\pm 36^\circ$ داده می‌شود. ولی در سطح $\vec{H}$ اختلاف فاز می‌تواند بیشتر از مثلاً 135° درجه $\left(\varepsilon \approx \frac{3\lambda}{8}\right)$ باشد بدون آنکه اثرات نامطلوب حاصل شود. زیرا $\vec{E}$ در لبه‌های بوق با توجه به شرط مرزی $E_1 = 0$ مساوی صفر است. مثال: اگر یک آنتن بوقی دارای دهانه‌ی $h = 10\lambda$ باشد. طول L ، پهنای w و نیم زاویه θ و ϕ را محاسبه می‌کنیم.

جواب:

با انتخاب $\left(\varepsilon \approx \frac{\lambda}{5}\right)$ در سطح $\vec{E}$ داریم:

$$L = \frac{h^2}{8\varepsilon} = \frac{100\lambda}{\left(\frac{8}{5}\right)} = 62.5\lambda$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{h}{2L} = \tan^{-1} \frac{10}{125} = 4.6^\circ \text{ پس نیم زاویه } \theta \text{ در این سطح برابر است با:}$$

و با انتخاب $\left(\varepsilon \approx \frac{3\lambda}{8}\right)$ در سطح $\vec{H}$ خواهیم داشت:

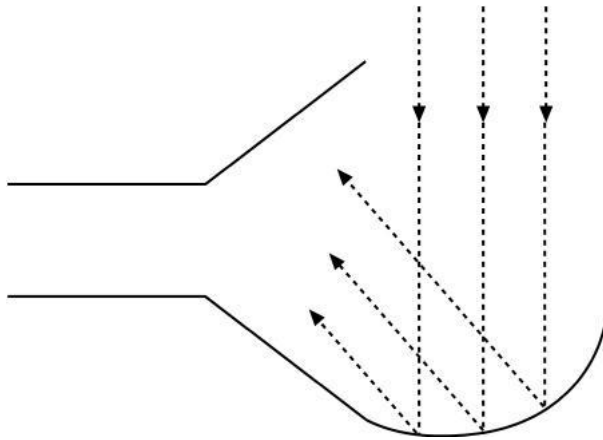
$$\phi = \cos \frac{L}{L + \varepsilon} = \cos \frac{62.5\lambda}{62.5\lambda + \left(\frac{3\lambda}{8}\right)} = 6.3^\circ$$

و در نهایت پهنای بوق W در این سطح برابر است با:

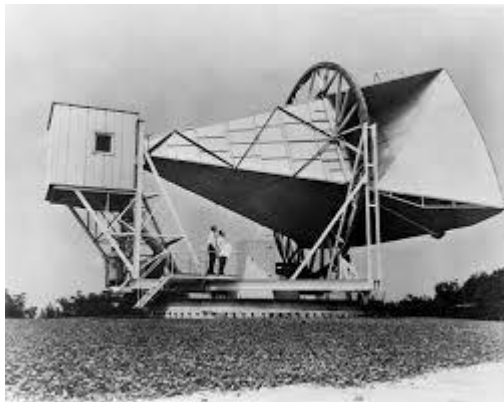
$$W = 2L \tan \phi = 2 \times 62.5\lambda \times \tan 6.3^\circ = 13.8\lambda$$

آنتن منعکس کننده بوقی: Horn Reflector Antenna

نمودار ص ۵۸



این نوع آنتن از اولین طرح‌های ساخته شده است که توسط آزمایشگاه بل آمریکا طراحی شده است. این آنتن دارای کارایی بالا ولی از لحاظ مکانیکی خیلی سنگین و گران قیمت است. آنتن PB_1 ایستگاه پلومور در فرانسه و آنتن AN_1 ایستگاه آندوور از آمریکا از این نوع می‌باشد.



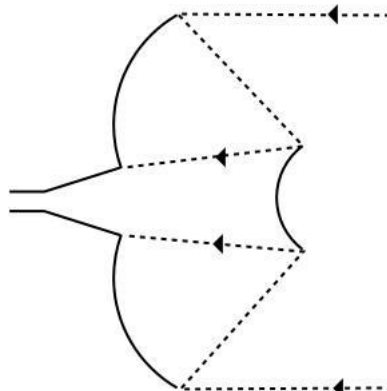
عکس ۲۳-۱

تصویری از آنتن هورن، ساخته شده توسط آلن پنزیاس و رابرت ویلسون که با آن توانستند امواج میکروویو پس زمینه کیهان را کشف و جایزه نوبل سال ۱۹۶۵م را به خود اختصاص دهند.

کاسگرین: Cassegrain

یک نوع دیگر تغذیه، تغذیه کاسگرین است. این نام منجمی مربوط به قرن ۱۸ میلادی می باشد که از این نوع سهمی در منعکس کننده تلسکوپ فضایی استفاده کرد. در این روش یک منعکس کننده ثانویه به شکل هذلولی بکار رفته است که معمولاً یکی از کانون های هذلولی منطبق بر کانون سهمی بوده و اشعه ورودی تحت تاثیر آینه سهمی به هذلولی متمرکز شده و هذلولی آن را به گیرنده بوقی منتقل می کند.

عکس ۱-۲۴



این شرایط اغلب در گیرنده های کم نویز و در آنتن های ۳۰ متر به بالا مشاهده می شود. اشکال اصلی در به کار بردن یک منعکس کننده ثانویه مسدود نمودن مقداری از تشعشع توسط منعکس کننده اصلی است. این اشکال بسیار بزرگی بخصوص در مورد منعکس کننده های کوچک است. چون ابعاد هذلولی توسط فاصله اش از تغذیه اولیه بوقی قطر دهانه بوق که بستگی به فرکانس عمل دارد، تعیین می شود. یکی از راه

های مقابله با این اشکال استفاده از یک سهمی بزرگ همراه با بوق (LMB) که به حد امکان نزدیک به منعکس کننده ثانویه است می باشد.

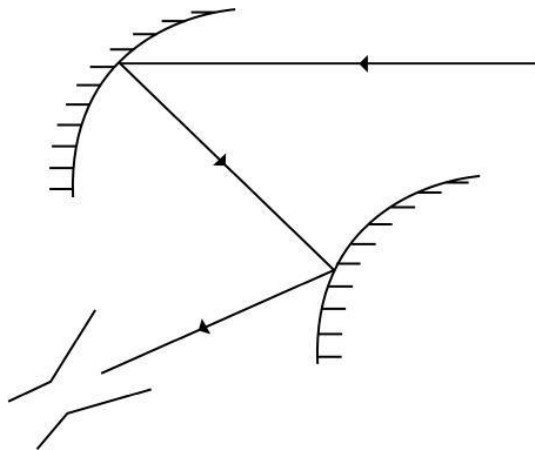
این نوع آنتن ها دارای کارایی بالا (از طریق شکل دادن منعکس کننده ها)، درجه حرارتی نویزی کم و بهره خوبی هستند و تجهیزات گیرنده در اتاق پشت منعکس کننده اصلی قرار دارد. آنتن FO_1 در ایستگاه فوجینو در ایتالیا و آنتن BU_2 در ایستگاه بویترگو در اسپانیا از این نوع هستند. در ایران نیز در ایستگاه مخابراتی شهید قندی آنتن AA_1 برای دریافت امواج ماهواره ای استفاده می شود.

در این نوع کاسگرین پیراسته

این آنتن دارای تمام مزایای آنتن کاسگرین معمولی می باشد بجز اینکه گیرنده می تواند در جای دیگر غیر از پشت آنتن مستقر شود. آنتن IB_2 در ژاپن VM_1 ایستگاه ام العیش در کویت از این نوع هستند.

آنتن کاسگرین افست

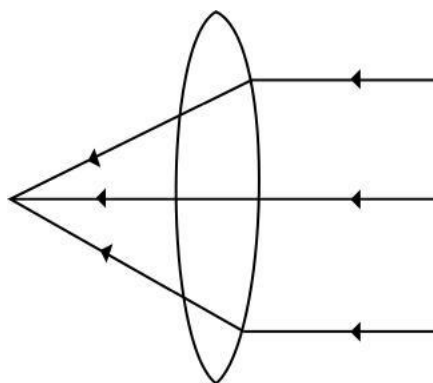
در این نوع آنتن برای از بردن اثر باز داشته شدن راه تشعشع، منعکس کننده فرعی به شکل افست قرار داده شده است.



عکس ۱-۲۵

آنتن‌های عدسی

همانطور که مشاهده شد منعکس کننده های سهموی یک مثال در ارتباط با کاربرد قوانین نوری در آنتن‌های ماکروویو بوده و می‌توان آنتن‌های عدسی را نیز مثال دیگری در این مورد دانست. این آنتن‌ها در موارد فرستندگی به عنوان موازی ساز و در حالت گیرندگی به عنوان متمرکز کننده کار می‌کنند.



آنتن‌ها اشعه در لبه های عدسی بیشتر از قسمت های دیگر شکسته شده و اشعه همگرا می‌شود. اصل هم پاسخی در این آنتن‌ها نیز وجود دارد و در موازی و هم فاز کردن امواج در فرستنده‌ها نقش بسزایی ایفا می‌کنند. بیشتر اوقات آنتن‌های عدسی را از پلی‌استیرن درست می‌کنند. مشکل اساسی در این آنتن‌ها این است که در فرکانس های کمتر از ۱۰ گیگاهرتز بیشتر از اندازه ضخیم می‌شوند. مثلاً ضخامت عدسی در مرکز ذره‌بین‌های نوری در حدود ۶mm است که با مقایسه با طول موج ۰/۶ میکرومتری نور دقیقاً ۱۰'۰۰۰ برابر طول موج است. البته عدسی‌های دی‌الکتریک چنین ضخامت‌هایی را نداشته ولی بزرگی و وزن آن‌ها از جمله اشکالات آن می‌باشد. برای غلبه بر مشکل فوق از عدسی‌های دندان‌دار یا پله‌ای استفاده می‌کنند که با پله‌ای کردن سیستم با توجه به فرکانس عبوری نتیجه‌ی مطلوب را می‌گیرند و بیشتر در فرستنده‌ها استفاده می‌شود.

آنتن‌های مارپیچ

این نوع آنتن‌ها از یک مارپیچ و یک صفحه زمین که می‌تواند شبکه‌ای از سیم باشد تشکیل شده است.



عکس ۲۶-۱

در اینجا دو مورد تشعشع وجود دارد: عمودی و محوری.

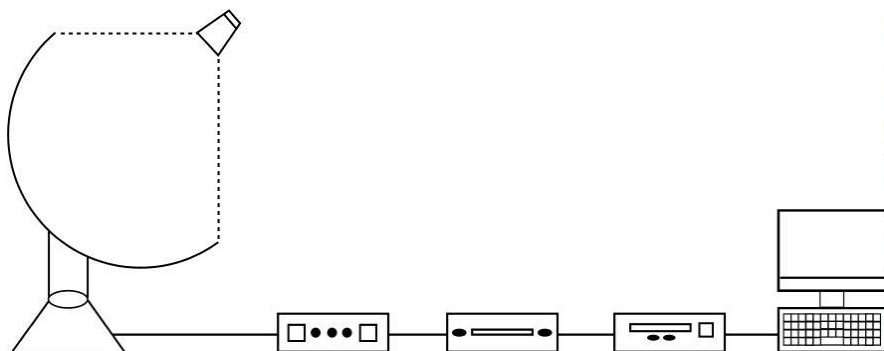
در حالت عمودی تشعشع در جهت عمود بر محور مارپیچ است و در حالت محوری که به سبب ایجاد خاصیت باند وسیع بسیار جالب است جهت تشعشع در امتداد محور مارپیچ بوده و تقریباً جهتی می‌باشد. با این حال بیشترین کاربرد به صورت عمودی است. اگر محیط هر حلقه مارپیچ به حدود یک طول موج برسد می‌توان نشان داد که موج در امتداد محیط حلقه حرکت کرده و گلبزرگ تشعشعی در این حالت به صورت اندفایر و پولاریزه دایره‌ای خواهد بود. وقتی آنتن مارپیچ دارای خواص نشان داده شده باشد بهره آن ۲۵ و پهنای پرتو

90° درجه و محدوده تغییرات فرکانس، تقریباً ۲۰٪ در هر طرف فرکانس میانی آنتن خواهد بود. همچنین یک آنتن مارپیچ پولاریزاسیون افقی یا عمودی را می‌توان دریافت کند. آنتن مارپیچ را می‌توان بصورت تکی یا آرایه‌ای بکار برد که در تلسکوپ‌های رادیویی از حالت آرایه‌ای به شکل بروساید استفاده می‌شود و در انتقال امواج از ماه به زمین توسط

فضانوردان از یک آنتن تک محوری استفاده نمودند.

مبدل فرکانس

غالبا جریان القا شده در آنتن و یا هورمون بسیار ضعیف است و باید قبل از آشکار سازی به میزان قابل ملاحظه‌ای تقویت شود. امروزه در کنار آنتن معمولا دستگاه‌هایی مانند تقویت کننده با نوفه کم، مبدل فرکانس، نوسانگر محلی و تقویت کننده IF قرار می‌گیرد. نقش مبدل فرکانس، تبدیل فرکانس دریافتی بالا به فرکانس پایین تر IF است تا قدرت مانور در طراحی و ساخت مدارات الکترونیکی را افزایش دهد. فرکانس تقویت شده IF توسط کابل‌های کواکسیال (Coaxial) و یا کابل‌های موج بر به آزمایشگاه منتقل می‌شود. در آزمایشگاه باید بعد از عمل تقویت توسط مدارات آشکارساز پوش تغییرات دامنه امواج دریافتی را حذف کرد. پس از این مدحله تقویت کننده‌های DC می‌توانند دامنه تغییرات سیگنال نهایی را برای ورود به دستگاه رسام و یا به کامپیوتر تنظیم نماید. در نهایت سیگنال ثبت شده روی کامپیوتر یا رسام، حاوی اطلاعاتی مفید از جرم ساطع کننده این امواج برای منجمین رادیویی است. نمایشی شماتیک از یک سیستم کامل تلسکوپ رادیویی (از مرحله دریافت اولیه امواج تا آشکارسازی آن‌ها) را در ذیل مشاهده می‌کنید

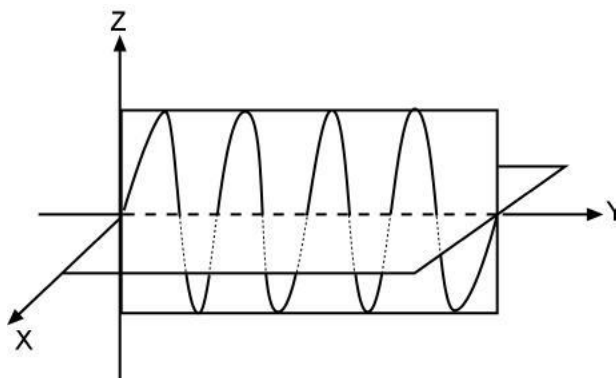


پلاریزاسیون آنتن

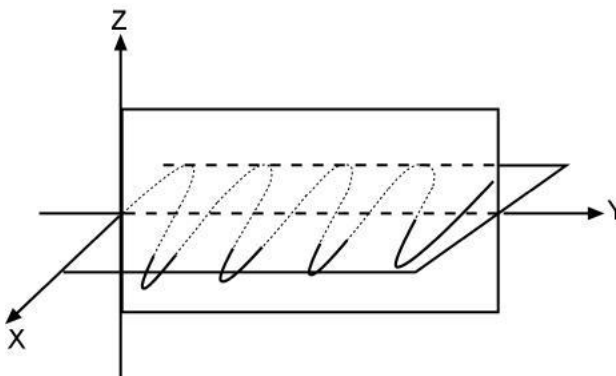
قطبش یا پلاریزاسیون آنتن عبارت است از جهت دار شدن شدت میدان الکتریکی در یک موج الکترومغناطیسی که به صورت افقی یا عمودی یا بین آنها قابل ردیابی

است. اکثر آنتن های MF.VLF.LF و همچنین تعداد زیادی از آنتن های HF که نزدیک به زمین هستند را پلاریزاسیون عمودی می سازند.

ساده ترین پلاریزاسیون، پلاریزاسیون خطی است که در نقطه مکان هندسی نوک بردار میدان الکتریکی موج در زمان های مختلف، در امتداد خط مستقیمی می باشد. آنتن های خطی و روزنه ای، معمولاً این نوع پلاریزاسیون را ایجاد می کنند.



قطبش عمودی



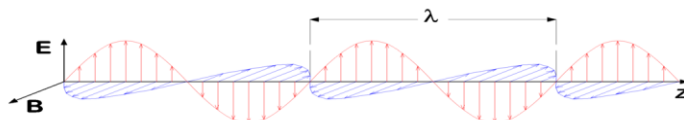
قطبش افقی

پلاریزاسیون مهم دیگر، پلاریزاسیون دایره ای می باشد که در آن بردار میدان الکتریکی در امتداد خطی واقع می باشد که مرکز دایره را به نقطه ای بر روی محیط آن وصل می کند و با سرعت ثابت ω (فرکانس زاویه ای موج) در گردش است. در سیستم

های مخابراتی که موج از یونسفر می‌گذرد مانند ماهواره های مخابراتی، پلاریزاسیون دایره ای بکار می‌رود. به این دلیل که راستای میدان الکتریکی امواج دارای پلاریزاسیون خطی، ضمن عبور از یونسفر، تا اندازه ای می‌چرخد. این چرخش که به چرخش فارادی معروف است، به وضعیت یونسفر بستگی دارد که به آسانی قابل پیش بینی نیست. بنابراین، آنتن گیرنده با پلاریزاسیون خطی که تنها می‌تواند امواج دارای پلاریزاسیون خطی در جهت معینی را دریافت کند دچار مشکلاتی می‌شود در حالیکه استفاده از آنتن های فرستنده و گیرنده دارای پلاریزاسیون دایره ای، این مشکل را از میان می‌برد.

قطبش امواج الکترومغناطیسی

همان‌طور که می‌دانید امواج الکترومغناطیسی از تاثیر متقابل بین دو میدان الکتریکی $\vec{E}$ و مغناطیسی $\vec{B}$ ته وجود می‌آید. مولفه‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی که از کیهان ساطع می‌شود دارای یک جهت‌گیری خاص مثلا در یکی از جهات x, y, z هستند که به این جهت‌گیری میدان الکتریکی قطبش می‌گویند.



عکس ۲۷-۱

قطبش های موجود در یک صفحه ممکن است حالت های مختلفی از یک بیضی باشد. از ترکیب E_x و E_y در دو راستا به معادله زیر می‌رسیم:

$$aE_x^2 - bE_x E_y + cE_y^2 = 1$$

که در آن $c = \frac{1}{E_2^2 \sin^2 \theta} a = \frac{2 \cos \theta}{E_1 E_2 \sin^2 \theta}$ می‌باشد که مشخصه یک بیضی می‌باشند.

مساحت موثر آنتن: Effective Aperture

موجی با چگالی S که به وسیله یک آنتن قطع می‌شود را در نظر بگیرید. یک اندازه مشخص از توان این موج توسط آنتن گرفته می‌شود که آن را P_e می‌نامیم. کسر زیر را مساحت موثر آنتن گویند:

$$A_e = \frac{P_e}{S}$$

معمولاً حداکثر مساحت موثر آنتن در جهت شعاع اصلی است. مساحت موثر و جهت‌داری بصورت زیر بهم وابسته‌اند:

$$D = G_{\max} = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2}$$

که با توجه به رابطه $D = \frac{4\pi}{\Omega_A}$ که از قبل داشتیم، برای مساحت موثر خواهیم داشت:

$$A_e = \frac{\lambda^2}{\Omega_A} \quad \text{مساحت موثر}$$

به عنوان نمونه سطح موثر برای تلسکوپ رادیویی زنجان در طول موج ۷/۵ متر با $D=512$ برابر $0/3m^2$ می‌باشد در حالی که سطح فیزیکی آنتن $9/5m^2$ است.

قدرت تفکیک: Resolution Power

قدرت تفکیک یک تلسکوپ (θ) کوچکترین زاویه جدایی بین دو منبع است که یک تلسکوپ می‌تواند آن‌ها را به طور مجزا ردیابی کند. بایستی اشاره شود که قدرت تفکیک بالا یعنی تلسکوپ قادر است دو منبع که فاصله بسیار اندکی از هم دارند را تشخیص دهد. در نتیجه هر چقدر مقدار θ از لحاظ عددی کمتر باشد یعنی قدرت تفکیک تلسکوپ بالاتر است. قدرت تفکیک یا توان تفکیک تلسکوپ طبق رابطه ی

ریلی با قطر تلسکوپ رابطه عکس و با طول موج ساطع شده از منبع نسبت مستقیم دارد بطوری که:

$$\theta = 1.22 \frac{\lambda}{D}$$

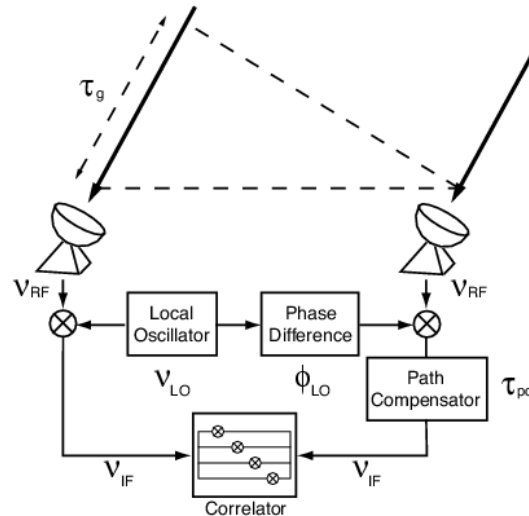
توان تفکیک برحسب رادیان

به عنوان مثال: توان تفکیک یک تلسکوپ رادیویی با آنتنی به قطر ۱۲ متر که در طول موج ۱ متر کار می کند 6° خواهد بود و می توانیم بگوییم که این منبع قادر به تشخیص و تفکیک چشمه هایی به فاصله حدود 6° از یکدیگر خواهد بود. اما در صورتی که دو منبع با فاصله ای کمتر از این مقدار نسبت بهم قرار داشته باشند، این آنتن آن ها را بصورت یک منبع واحد تشخیص می دهد.

تداخل سنج

در جهان ۲ گروه تلسکوپ رادیویی وجود دارد. گروه اول را (Single Dish)SD یا تک آنتن می گویند که شرح مفصلی از آن ها را در بخش های قبل مورد مطالعه قرار دادیم. گروه دیگر را تلسکوپ های تداخلی می نامند. همانطور که در قسمت قبل توضیح داده شد توان تفکیک یک تلسکوپ متناسب با $\frac{\lambda}{D}$ می باشد که قطر دهانه تلسکوپ است. پس برای بهبود توان تفکیک بایستی قطر تلسکوپ افزایش یابد. اما واضح است که یک حد عملی برای قطر تلسکوپ وجود دارد که از ۱۰۰ متر و نهایتاً ۳۰۰ متر تجاوز نمی کند و این خود مستلزم امکانات مالی و تکنیکی بسیار بالایی است. بنابراین منجمان رادیویی قدرت تفکیک این ابزار را با قرار دادن ۲ یا چند آنتن به فاصله L که به این فاصله خط مبنا یا اصطلاحاً BaseLine می گویند از هم افزایش می دهند. به آرایه حاصل که متشکل از چندین تلسکوپ مدببط باهم می باشد آرایه تداخلی یا تداخل سنج می گویند. امواج دریافت شده توسط هر یک از آنتن های یک تداخل سنج به دلیل اتلاف انرژی در خطوط انتقال، ابتدا تقویت شده و سپس در دستگاهی به نام تصحیح کننده فاز، اختلاف فاز ناشی از اختلاف راه آن ها از بین

می‌رود و پس از تقویت مجدد به دستگاه ثبت‌کننده فرستاده می‌شوند تا این اطلاعات مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرند.



امروزه ۲ نوع سیستم تداخل‌سنج وجود دارد. آنتن‌هایی که به وسیله کابل یا موج‌بر با فاصله محدود به هم اتصال دارند (مانند تصویر قبل) و سیستم‌هایی با خط مبنای طولانی که سیگنال‌های دقیق با استفاده از ساعت‌های اتمی تعیین می‌شوند و سیگنال‌های نجومی را روی نوارهای مغناطیسی در هر آنتن ثبت می‌کنند. در نهایت سیگنال‌های هر آنتن ترکیب می‌شود تا سیگنال نهایی را حاصل کنند. در اصل این ۲ سیستم هم‌ارز هستند اما مزیت‌ها و محدودیت‌هایی هم دارند. در سیستم اول به علت طولانی بودن طول موج‌برها و کانال‌ها نویزهای فراوانی در سیستم ایجاد می‌شود در سیستم دوم فاصله از هم بسیار زیاد است و ارتباط کندتر انجام می‌گیرد اما در سیستم دوم با چینش صحیح آنتن‌ها می‌توان آنتنی را به ابعاد قطر زمین به وجود آورد و در پروژه‌های فعلی توسعه این سیستم به ماهواره‌ها در حال تدارک است. مثال: برای نوع اول سیستم آرایه بسیار بزرگ (Very Large Array) است که به وسیله رصدخانه نجوم رادیویی ملی آمریکا (NRAO) اجرا گردیده است. برای نوع دوم آرایه با خط مبنای خیلی طولانی VLBI را می‌توان نام برد. تداخل‌سنجی را می‌توان به شکل یک

تلسکوپ رادیویی واحد در نظر گرفت که قطر دهانه آن به اندازه فاصله بین آنتن‌ها (خط مبنا) است.

آرایه‌ای با n منبع نقطه‌ای

اگر چنانچه در آرایه تداخل‌سنج از تعداد n مولفه استفاده شده باشد و هر کدام از مولفه‌های آرایه به فاصله d از هم باشند آنگاه طول موج به صورت زیر می‌باشد:

$$L = (n-1)d \quad \text{طول کل آرایه}$$

همچنین طول آرایه بر حسب طول موج خواهد بود: $L_\lambda = \frac{L}{\lambda}$ که اگر n خیلی بزرگ باشد $L_\lambda = (n-1)d_\lambda \cong nd_\lambda$ می‌باشد. با توجه به شکل، الگوی دور میدان آرایه‌ای با n منبع یکنواخت هم‌دامنه و متحدالفاصله به شکل زیر بدست می‌آید:

$$E = E_0(1 + e^{i\psi} + e^{i2\psi} + \dots + e^{i(n-1)\psi}) = E_0 \sum_{n=1}^{n=N} e^{i(n-1)\psi}$$

که $\psi = \beta d \sin \phi + \delta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \phi + \delta$ اختلاف فاز تصاعدی بین منابع و d فاصله بین منابع می‌باشد.

اکنون با ضرب E در $e^{i\psi}$ داریم: $Ee^{i\psi} = E_0(e^{i\psi} + e^{i2\psi} + \dots + e^{in\psi})$

که اگر دو رابطه‌ی فوق را از هم کم کنیم داریم:

$$E - Ee^{i\psi} = E_0(1 - e^{in\psi})$$

با ضرب صورت در $e^{-in\frac{\psi}{2}}$ و مخرج در $e^{-i\frac{\psi}{2}}$ در دو طرف رابطه بالا داریم:

$$E = E_0 \frac{1 - e^{in\psi}}{1 - e^{i\psi}} = E_0 \frac{\sin\left(n \frac{\psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} e^{(n-1)\frac{\psi}{2}}$$

در رابطه قبلی، عمود منصف خط جبهه منبع شماره یک به عنوان مبنای فاز انتخاب شده است. حال اگر مرکز آرایه را به عنوان مبنای فاز انتخاب کنیم داریم:

$$E = \frac{E_0 \sin\left(n \frac{\psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)}$$

چنانچه $\psi \rightarrow 0$ میل کند و با توجه به اینکه $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin(nx)}{\sin x} = n$ داریم: $E = nE_0$. این مقدار، ماکزیمم مقدار میدان است که n بار از میدان یک منبع بزرگتر است. حال با تقسیم دو رابطه اخیر می توانیم الگوی بهنجار میدان را بدست آوریم:

$$E_n = \frac{E}{nE_0} = \frac{\sin\left(n \frac{\psi}{2}\right)}{n \sin\left(\frac{\psi}{2}\right)}$$

الگوی بهنجار میدان

اکنون به کمک الگوی بهنجار میدان می توانیم پارامترهای یک تداخل سنج n مولفه ای را بدست آوریم. با توجه به این رابطه، اولین صفرها در الگوی توانی هنگامی رخ می دهد که: $e^{i\psi} \neq 1$ و $e^{in\psi} \neq 1$ باشد که در این صورت داریم:

$$n\psi = \pm 2k\pi$$

$$\pm \frac{2k\pi}{n} = \beta d \sin \phi_0 + \delta \quad \text{یا}$$

$$\phi_0 = \sin^{-1} \left[\left(\pm \frac{2k\pi}{n} - \delta \right) \frac{1}{d_r} \right] \quad \text{یا}$$

$$d_r = \beta d = \frac{2\pi d}{\lambda}, \quad \phi_0 = \text{که: زاویه صفرها}$$

و. (....., ۱, ۲, ۳, ..., m. که $k \neq mn$). (....., ۱, ۲, ۳, ..., k)

اگر آرایه‌ای که اختلاف فاز در آن صفر است ($\delta = 0$) در نظر گرفته شود، بنابراین برای ϕ_0 داریم:

$$\phi_0 = \sin^{-1} \left(\pm \frac{2k\pi}{nd_r} \right) = \sin^{-1} \left(\pm \frac{k\lambda}{nd} \right)$$

حال اگر تعداد مولف‌های آرایه بسیار زیاد باشد به طوری که $nd \gg k\lambda$ باشد داریم:

$$\phi_0 = \pm \frac{k\lambda}{nd} = \pm \frac{k}{nd_r} \cong \pm \frac{k}{L_\lambda}$$

اما اولین صفرها زمانی رخ می‌دهد که $k=1$ باشد، در این صورت پهنای پرتو در بین اولین صفرها (BWFN) برابر است با:

$$\text{BWFN} = 2\phi_0 = \frac{2}{L_\lambda}$$

و با توجه به اینکه پهنای شعاع نیم توان (HPBW) در واقع نصف پهنای پرتو در بین اولین صفرها است داریم:

$$\text{HPBW} \cong \frac{\text{BWFN}}{2} = \frac{1}{L_\lambda} (\text{rad}) = \frac{\lambda}{(N-1)d} (\text{rad}) \quad H$$

همانگونه که قبلاً عنوان شد نجوم رادیویی در اوایل کار با دو مشکل اساسی روبرو بود:

- ۱) پایین بودن توان تفکیک، که بستگی مستقیم با قطر دهانه تلسکوپ دارد
- ۲) دریافت انرژی خیلی کم، که به خاطر بلند بودن طول موج امواج رادیویی می‌باشد.

اما می‌بینیم که این دو مشکل نجوم رادیویی، با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تا حدود زیادی حل می‌شود، به طوری که با استفاده از آرایه‌های رادیویی، توان تفکیک و دریافتی تا هزاران مرتبه بیشتر از حالت تک آنتن (SD) می‌شود. امروزه با کمک

تداخل سنجی و نیز افزایش خط مبنای آرایه‌ها، توان تفکیک رادیوتلسکوپ‌ها به مراتب بیشتر از توان تفکیک تلسکوپ‌های اپتیکی سنتی می‌باشد.

سیستم نشانه روی آنتن

در آنتن‌های رادیویی به یک سیستم فرعی حرکت خودکار که قادر به نشانه روی آنتن به طرف یک منبع تشعشعی معین و همچنین پیگیری این منبع برای حداکثر قدرت سیگنال باشد احتیاط داریم. برای کثر سیستم‌ها، افت سیگنال به خاطر کامل نبودن نشانه روی آنتن باید چیزی در حدود 0.1 dB باشد. در فرکانس‌ها در حد 4 GHz که $\lambda = 3.75 \text{ m}$ می‌باشد باید دقت نشانه روی در حد 0.1° درجه باشد اما برای آنتن‌های کوچک که برای سیارات تنظیم می‌شود گاهی تنظیم جهت آنتن به صورت دستی نیز امکان پذیر است. زیرا پهنای شعاع چنین آنتن‌هایی خیلی پهن‌تر از تغییرات مکانی سیاره است. قسمت نگهدارنده آنتن باید طوری طراحی شود که آنتن دارای حرکتی ریز و نرم در تمام جهات باشد و ضمناً در مقابل باد و باران و برف آنتن را محکم و مقاوم نگه‌دارد. همچنین باید آنقدر خوب طراحی شود که علیرغم تغییر زاویه ارتفاع، سرعت باد، حرارت خورشید و یخ زدگی تغییری در سطح منعکس‌کننده ایجاد نکند.

روش‌های نصب آنتن

معمولاً نصب آنتن به دو صورت کلی انجام می‌گیرد:

(۱) نصب سمتی-ارتفاعی (در جهت محورهای x, y)

(۲) نصب استوایی (بعد و میلی)

نصب سمتی-ارتفاعی به مراتب ساده‌تر می‌باشد و نشانه‌روی روی منبع با این روش راحت‌تر است در این روش صفحه افق مبدا مختصات و سمت و ارتفاع مولفه‌های سنجش می‌باشند. که سمت از نقطه شمال جغرافیایی آغاز و در جهت شرق به میزان 360° درجه محاسبه می‌شود و ارتفاع از لبه افق دید ناظر به میزان $90^\circ +$ درجه شمالی و

90- درجه جنوبی می‌باشد. اما از آنجا که در هر نقطه‌ای از کره زمین ناظر یک افق متفاوت را پیش رو دارد (مماس بر کره را در هر نقطه بر روی محیط کره، افق آن نقطه می‌گوییم) لذا مختصات هر جرم آسمانی در این روش برای نقاط جغرافیایی مختلف در زمین متفاوت است. یعنی اگر از دید ناظری در شهر تهران ستاره‌ی پروکسما مختصات y و x را داشته باشد، همان ستاره برای ناظری در شهر نیویورک مختصات y', x' را دارد. همچنین به دلیل چرخش زمین به دور خود و نیز گردش به دور خورشید، موقعیت یک ستاره در آسمان و در دستگاه مختصات سمتی-ارتفاعی، ارتباط مستقیم با زمان پیدا می‌کند و این از معایب نصب به روش سمتی-ارتفاعی می‌باشد.

اما در روش استوایی این مشکل وجود ندارد، زیرا از آنجا که مبدا مختصات و مولفه‌های سنجش که همان بعد و میل می‌باشند، هر سه در فضا هستند و نه در زمین لذا هر جرم آسمانی فقط یک مختصات دارد و در تمام نقاط کره زمین، ناظرهای مختلف اعداد یکسانی را برای مختصات‌دهی به یک جرم سماوی به کار می‌برند. مبدا مختصات در دستگاه استوایی، نقطه اعتدال بهاری (که محل تلاقی استوای سماوی و دایره البروج است) می‌باشد و مولفه‌های سنجش، بعد و میل هستند. بعد مانند سمت می‌باشد با این تفاوت که بعد را بر حسب ساعت و دقیقه می‌سنجیم. به این صورت که هر ۱۵ درجه را ۱ ساعت در نظر می‌گیریم، لذا در یک دور کامل ۳۶۰ درجه‌ای، بعد از ۰ تا ۲۴ ساعت محاسبه می‌شود. میل نیز مانند ارتفاع می‌باشد.

تنها نکته‌ای که در این روش بایستی به آن دقت داشت این است که برای تنظیم اولیه رادیوتلسکوپ، استگاه باید شبیه به اندازه عرض جغرافیایی محل مورد نظر و در راستای شمال جغرافیایی داشته باشد. این کار باعث خواهد شد تا آنتن در راستای ستاره‌ی قطبی قرارگیرد و از آن پس محاسبه بعد و میل دقیق‌تر خواهد بود.

سیستم‌های ردگیری

دوروش در هدایت آنتن ایستگاه زمینی وجود دارد:

(۱) ردگیری خود به خودی:

در این حالت یک سیگنال از سوی سیاره‌ای که قبلاً یک ردیاب روی آن قرار گرفته دریافت می‌شود. در این صورت سیگنال توسط دیش دریافت می‌شود و با توجه به سیستم نرم‌افزاری متصل به رادیوتلسکوپ، سیستم در جهت سیاره یا ماهواره شروع به حرکت می‌کند.

(۲) کنترل برنامه‌ای:

در این حالت اطلاعات مربوط به مدار سیاره یا جرم سماوی موردنظر به نرم‌افزاری که در سیستم کنترل تلسکوپ نصب شده داده می‌شود. سیستم کامپیتری با تجزیه و تحلیل داده‌ها مسیر حرکت را تعیین می‌کند. این روش در ایستگاه‌های ردیابی ماهواره‌ها، دنباله‌دارها و موشک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش ردیابی خودبخودی یکی از سه سیستم متفاوت زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

الف) روش چرخشی

- روش جاروب کردن پرتو

- روش سویچ کردن پرتو

ب) روش تک ضربه‌ای

- روش برق چند مد

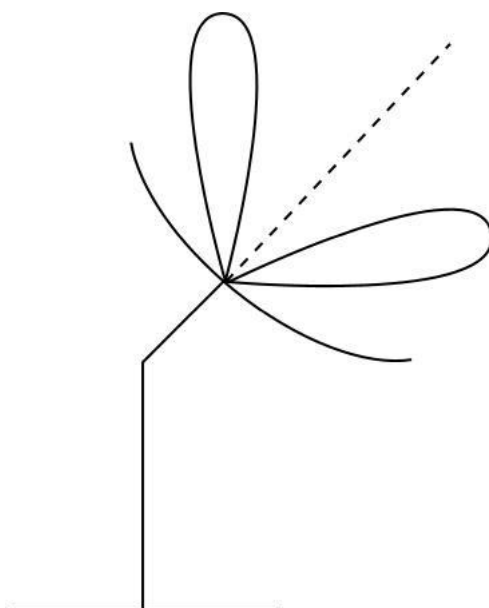
- روش آشکارسازی مد بالا

ج) روش پله‌ای

ردیابی به روش جاروب کردن پرتو:

در این سیستم وقتی آنتن در حالت حرکت افقی و عمودی می باشد پرتو در اطراف محور حرکت نوسانی دارد. مثلاً در یک نقطه از نوسان پرتو در موقعیت A و در نیم دوره ی بعدی در نقطه B می باشد. اگر جهت سیاره یا ستاره و محور آنتن روی هم منطبق نباشند سیگنال دریافتی در این دو موقعیت دارای دامنه متفاوت خواهد بود. اگر دو سیگنال دریافتی بر هم منطبق باشند جهت سیاره و آنتن یکی خواهد بود.

۱-۳۰



ردیابی به روش تک ضربه ای

در این روش اختلاف زاویه ی نشانه روی از سیگنال دریافتی می تواند توسط ترکیبی از چهار بوق (Horn) که دور محور آنتن به شکل متقارن قرار دارند آشکار شود. وقتی که سیگنال را از چهار بوق به یک صورت دریافت کنیم و مقدار اختلاف آن ها صفر شود آنتن دقیقاً به سوی هدف نشانه رفته است.

حفاظت آنتن در مقابل شرایط جوی نامساعد

احتمال یخ بستن آنتن و اثرات برف و باران و تگرگ عواملی هستند که در طراحی آنتن باید منظور گردند و رعایت برخی از ملاحظات در این مورد الزامی است. الف) در شرایط بد آب و هوایی و احتمال یخ بستن آنتن، باید سیستمی طراحی شود که سطح

آنتن و قسمت‌های حساس ساختمان نگهدارنده به وسیله آن گرم شود. ب) سازه‌ها و مواد تشکیل دهنده آنتن باید به گونه‌ای انتخاب شوند که در مقابل بدترین شرایط مانند بادهای شدید و یخ‌زدگی مقاومت کنند.

تذکر: باران بر روی سطح آنتن کاسگرین باعث تغییر شکل پرتو تشعشعی آنتن می‌شود که هم لبه اصلی گلبرگ اصلی و هم حداقل شعاع ردیابی تغییر پیدا می‌کند و اثر مهم‌تر عبارت است از کم شدن بهاء آنتن مخصوصا در فرکانس‌های بالاتر از ۱۰ گیگاهرتز.

مکانیزم تشعشع منابع رادیویی

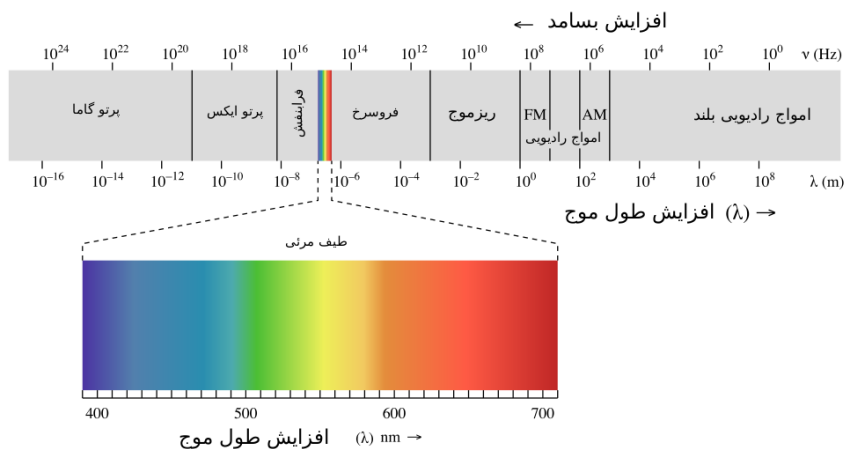
طیف‌های ستارگان

به کمک رصد ستارگان در مرحله اول می‌توان اطلاعاتی راجع به کمیت و کیفیت نور و سایر تشعشعات الکترومغناطیسی به دست آورد.

تشعشع ظاهری

مقدار انرژی که در واحد زمان به 1 سانتی‌مترمربع از صفحه که عمود بر جهت ستاره است می‌رسد و یا مقدار تشعشعی که به یک آشکارساز روی سطح زمین می‌رسد. لازم به ذکر است که تشعشع حاصل از ستارگان در فرکانس‌های مختلفی روی می‌دهد.

عکس ۱-۳۱



(طول موج امواج الکترومغناطیسی)

همان‌گونه که در نمودار فوق مشاهده می‌شود تنها بازه کوچکی از این امواج الکترومغناطیسی در حوزه مرئی هستند و مناطق وسیعی در پهنه رادیویی و غیرمرئی می‌باشند که البته پنجره امواج رادیویی که توسط ما قابل ردگیری است از امواج مرئی وسیع‌تر است.

مکانیسم تشعشعی منابع رادیویی

۳ نوع عمده از مکانیسم‌های تابشی که در منابع رادیویی در نظر گرفته می‌شوند عبارت‌اند از:

- تابش جسم سیاه (Black Body Emission)

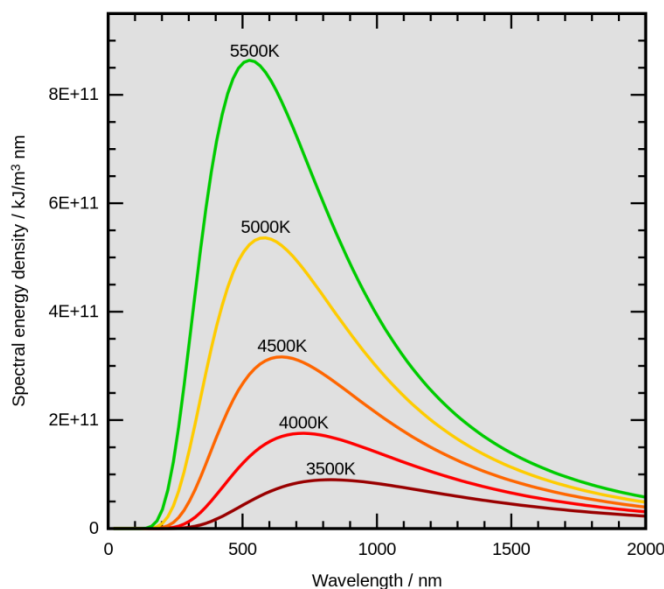
- تابش آزاد-آزاد (Free-Free Emission)

- تابش سنکروترونی (Synchrotron Emission)

تابش جسم سیاه

ماده به‌طور دائمی در حال گسیل و جذب تابش است. هر جسمی در اثر اغتشاشات حرارتی تابش می‌کند به عنوان مثال یک فلز وقتی تا چند هزار درجه کلرین گرم شود ملتهب و قرمز رنگ می‌شود و هم‌چنین وقتی جسمی با دمای T در داخل محفظه بسته که قسمت‌هایی از فضا را لشغال کرده قرار می‌گیرد محفظه حاوی تابش الکترومغناطیسی خواهد بود که در

حالت تعادل این تابش، تابش جسم سیاه نامیده می‌شود. به‌طور تجربی ثابت شده که تابش فوق شامل ترکیب مشخصی از فرکانس‌ها است که این فرکانس‌ها فقط تابع دمای کلرین بوده و تابع ترکیب شیمیایی محتویات یا شکل محفظه نیستند.



عکس ۱-۳۲

(منحنی‌های پلانک برای سه دمای مختلف یک جسم سیاه بصورت تابعی از طول موج)

چگالی تشعشعی را به صورت انرژی تابشی که در گستره فرکانس ν قرار داشته باشد تعریف می‌کنیم. این نوع تابش اندیشمندان زیادی افکار خود را متمرکز نمودند از جمله وین و رالی (ریلی) که فرمول‌هایی ارائه دادند. البته این تئوری‌ها تنها در فرکانس‌های خاصی با تجربه توافق داشت. یا در فرکانس‌های خیلی زیاد یا در فرکانس‌های پایین. تا اینکه فیزیکدان مشهور ماکس پلانک که یکی از پیروان دوش ریلی نیز بوده با ارائه فرمولی، تحولی عظیم در جهان فیزیک به‌وجودآورد. وی انرژی را به صورت کوانتیده در نظر گرفت یعنی $E_n = nh\nu$ که با این تعبیر برای انرژی، چگالی تشعشعی به فرمول زیر منجر شد:

$$P(\nu, T) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \left[\exp\left(\frac{h\nu}{kT}\right) - 1 \right]^{-1} :$$

رابطه پلانک‌ها

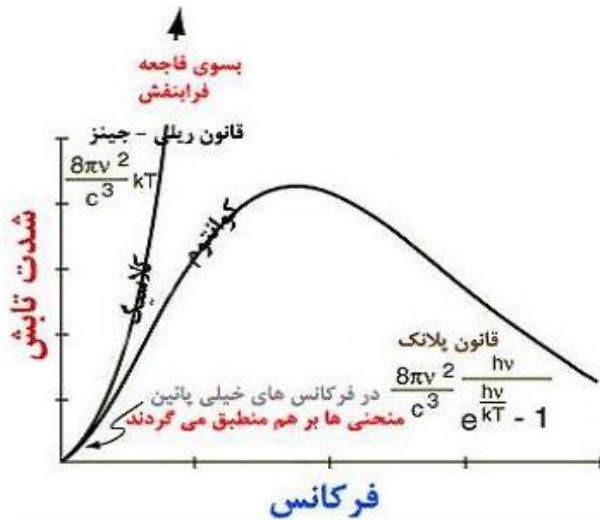
روابط پلانک‌ها در حالت حدی منجر به وجودآمدن معادلات وین در نقطه ماکزیمم (max) می‌شد به‌طوریکه:

: $p(\nu, T) = 5.87 \times 10^{10} T$ قانون جابه جایی وین

و نیز در فرکانس های مینیمم (min) رابطه ریلی-جینز به صورت زیر به دست می آید:

$$p(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} KT \quad \text{رابطه ریلی-جینز}$$

چون h (ثابت پلانک) در معادله دیده نمی شود رابطه رابطه کلاسیک است.



عکس ۱-۳۳

(منحنی های پلانک و ریلی-جینز که در فرکانس های پایین بر هم مطابق هستند)

با توجه به نمودار روبرو گفته های فوق بهتر درک می شوند.

این رابطه که میزان درخشندگی یک جسم سیاه و تناسب آن با دما را نشان می دهد و در طول موج های بلند کاربرد دارد یک فرمول اساسی در نجوم رادیویی می باشد که از طریق آن دمای درخشندگی یک منبع رادیویی را تخمین می زنیم. این دما، دمایی است که ماکزیمم درخشندگی در آن دمای معین صورت می گیرد:

$$T_b = \frac{c^2 p(\lambda, T)}{2k\nu^2} = \frac{1}{2k} p(\lambda, T) \lambda^2$$

تابش آزاد-آزاد (Free-Free Radiation)

تابش آزاد-آزاد حاصل اندر کنش بین یون‌های مثبت و الکترون‌های آزاد می‌باشد. در این تابش الکترون‌های آزاد به وسیله تابش‌های ماوراء بنفش که از ستارگان دسته‌ی O و B ساطع می‌شوند و برخورد آن‌ها با هیدروژن‌های خنثی به وجود می‌آید.

عکس ۳۴-۱



این الکترون‌ها در هنگام عبور از محیط‌های یونیزه (محیط‌هایی با دمای بیش از ۱۰۰۰۰ درجه به بالا) در اثر اندرکنش با میدان الکتریکی آن‌ها شتاب‌دار شده و تشعشع می‌کنند. این تابش حاصل از برهم‌نهی یک مجموعه از الکترون‌های خیلی سریع با انرژی‌های متفاوت است که یک طیف پیوسته را تشکیل می‌دهد. در این تابش چون الکترون‌ها قبل و بعد از برهم کنش با یون‌های مثبت آزاد و نامقید هستند تابش آزاد-آزاد نامیده می‌شوند.

تابش سنکروترونی (Synchrotronic Emission)

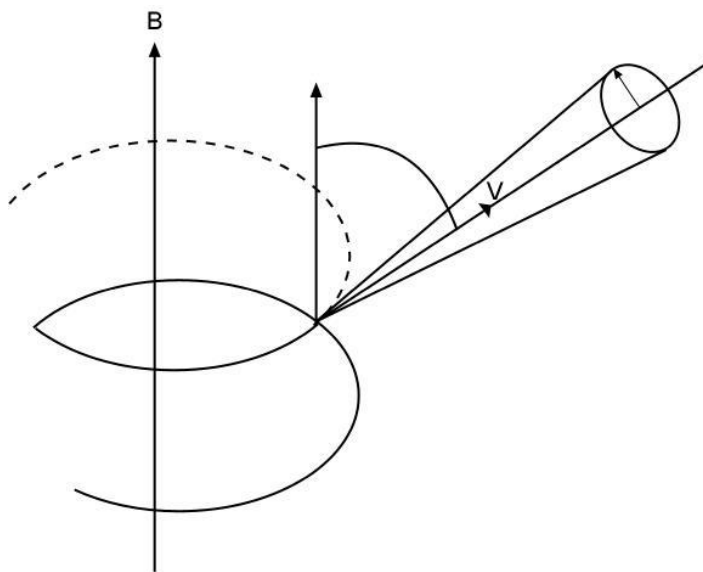
تابش سنکروترونی حاصل از حرکت الکترون‌های نسبیتی (الکترون‌هایی با سرعت‌های نزدیک به سرعت نور) در میدان مغناطیسی فضای بین ستاره‌ای یا کهکشانی می‌باشد که در این فرآیند الکترون‌ها در اثر وارد آمدن نیروی لورنتس ($F = e\vec{V} \times \vec{B}$) شتاب‌دار شده و با یک مسیر مارپیچ حول میدان مغناطیسی حرکت کرده و در یک مخروط با زاویه Ψ از دید ناظر زمینی تابش می‌کنند.

این تابش نیز که حاصل از یک الکترون می‌باشد دارای یک طیف پیوسته نیست. اما تابش کیهانی چون از یک مجموعه الکترون‌ها با انرژی‌های متفاوت ناشی شده است

تابش پیوسته و وابسته به انرژی الکترون‌ها می‌باشد و چگالی شار آن نیز متناسب با فرکانس است.

$S \propto \nu^{-\alpha}$ که α شاخص طیفی چگالی شار است که مقدار آن برای منابع رادیویی با تابش سنکروترونی بیش از ۰/۵ می‌باشد و مقدار بیشینه آن به انرژی الکترون‌ها و میدان مغناطیسی وابسته می‌باشد.

عکس ۳۵-۱



(تابش سنکروترونی که در یک مخروط با زاویه ν و در حضور میدان مغناطیسی رخ می‌دهد)

اندازه‌گیری دمای ستارگان به وسیله رادیو تلسکوپ

میزان تشعشع یک منبع ستاره‌ای (رادیویی) در درجه حرارت T برابر با عبارت زیر می‌باشد:

$$P = \sigma T_A$$

که P چگالی تابش

$$\sigma = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/k} \quad \text{ثابت بولتزمن}$$

و T درجه حرارت مطلق برحسب کلوین می باشد.

درجه حرارت در علم مخابرات نویز یا پارازیت نامیده می شود. اگر چنانچه در یک رادیو تلسکوپیک آنتن بدون تلفات به جای یک مقاومت تشعشعی R جایگزین شود امپدانس در ترمینال ها تغییر نخواهد کرد ولی قدرت نویز مثل گذشته نخواهد بود مگر آنکه آنتن تشعشع را از منطقه ای دریافت نماید که درجه حرارت آن T است. در آنتن یک رادیو تلسکوپ که در طول موج های سانتی متری کار می کنند شعاع آنتن را می توان متجه قسمت هایی از آسمان نمود که در درجه حرارت های موثر نزدیک به صفر مطلق (2.73° -درجه) قرار دارند. درجه حرارت نویز (T_A) که در آنتن بوجود می آید برابر با درجه حرارت آن نقطه از آسمان می باشد. از این رو یک آنتن رادیو تلسکوپ را می توان یک رادیومتر برای تعیین درجه حرارت مناطق دور فضا دانست. البته در این بحث فرض شده است که آنتن خود تلفات حرارتی ندارد.

در رادیو تلسکوپ بهتر است میزان تشعشع برحسب چگالی بیان شود از این رو با تقسیم قدرت دریافت شده به ازای واحد پهنای باند (P) بر دهانه موثر آنتن چگالی شار S بدست می آید.

$$S = \frac{P(\lambda, T)}{A_{eff}} (W m^{-2} Hz^{-1})$$

ملاحظه می شود که واحد چگالی شار یعنی $W m^{-2} Hz^{-1}$ با بردار پوینتینگ ($\vec{S}$) به ازای واحد پهنای باند یکسان است. بنابراین می توان چگالی شار را معیاری از بردار پوینتینگ $\vec{S}$ که از منابع رادیویی منتشر می شود دانست.

اکثر منابع، امواج را کاملاً غیرپلاریزه تشعشع می کنند و چون آنتن قادر است فقط نیمی از قدرت تابشی یک موج غیرپلاریزه را دریافت کند، در نتیجه در عمل چگالی شار واقعی ۲ برابر مقدار عبارت قبلی می باشد یعنی:

$$S = 2 \frac{p(\lambda, T)}{A_{eff}} = \frac{2\sigma T_A}{A_{eff}}$$

اگر حدود زاویه فضایی منبع کیهانی یعنی Ω_s نسبت به زاویه فضای آنتن یعنی Ω_A کوچک و مقدار آن معلوم باشد و شعاع آنتن در امتداد منبع قرار گرفته باشد می‌توان درجه حرارت منبع یعنی T_s را از فرمول زیر بدست آورد:

$$T_s = \frac{\Omega_A}{\Omega_s} T_A$$

که در این عبارت Ω_A زاویه فضایی آنتن و Ω_s زاویه فضایی منبع، بصورت زیر بدست می‌آیند و با جایگزینی در رابطه فوق دمای منبع ستاره‌ای را می‌توان محاسبه کرد.

$$\Omega_s = \pi \left(\frac{S \cdot S \cdot A}{2} \right)^2, \Omega_A = S^2$$

که S.S.A (Seeing Space Angle) زاویه فضایی دید می‌باشد.

در ذیل با ارایه یک مثال و بهره‌گیری از روابط فوق به درک بهتری از این مبحث می‌رسیم.

-مثال:

درجه حرارت آنتن برای سیاره مریخ بوسیله رادیوتلسکوپ ۱۵ متری رصدخانه تحقیقاتی نیروی دریایی آمریکا در طول موج $31/5$ میلی‌متر برابر با $0/24 K$ اندازه‌گیری شده است. در زمان اندازه‌گیری، زاویه فضایی دید مریخ $0/005$ درجه و پهنای باند نیم قدرت آنتن (HPBW) بصورت $S=0/116$ بوده است. درجه حرارت سیاره مریخ را محاسبه کنید.

جواب:

$$\Omega_A = S^2 = (116 \times 10^{-3})^2 = 0.0134$$

$$T_s = \frac{0.0134}{\pi \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{2} \right)^2} \times 0.24 = 164 (^\circ K)$$

که می‌بینیم دقیقا با دمایی که توسط سایر روش‌های اختر فیزیکی و نیز توسط کاوشگرهای ارسالی به سطح مریخ اندازه‌گیری شده مطابقت دارد. این درجه حرارت از درجه حرارت مادون قرمز طرف رو به خورشید (250K) کمتر است و می‌رساند که تشعشع رادیویی ممکن است از مناطق پایین‌تر سطح مریخ نسبت به منبع تشعشعی مادون قرمز آن ناشی شده باشد. حساسیت گیرنده رادیوتلسکوپ بایستی به اندازه کافی زیاد باشد تا بتواند درجه حرارت‌های خیلی کوچک را اندازه‌گیری نماید. کوچکترین درجه حرارت قابل احساس بوسیله یک گیرنده رادیوتلسکوپ عبارت است از:

$$T_{\min} = \frac{T_{\text{sys}}}{\sqrt{t \Delta \nu}}$$

که در آن:

T_{sys} درجه حرارت سیستم برحسب کلوین

$\Delta \nu$ پهنای باند قبل از آشکارسازی برحسب هرتز

t ثابت زمانی بعد از آشکارسازی در گیرنده برحسب ثانیه است.

منابع رادیویی قوی و طبقه بندی آن‌ها

طبقه‌بندی منابع رادیویی

کلیه اجرامی که در ناحیه مرئی قابل رویت هستند به نحوی امواج رادیویی تشعشع می‌کنند. علاوه بر آن‌ها اجرامی هستند که در ناحیه مرئی قابل رویت نیستند و صرفا از دریچه رادیویی مشاهده می‌شوند. گرچه منابع رادیویی از دو خانواده مختلف منابع کهکشانی که در صفحه کهکشانی متمرکز هستند و منابع فرا کهکشانی که به صورت کم و بیش یکنواخت در فضا توزیع شده‌اند، تشکیل می‌شوند ولی معمولا طبقه‌بندی آن‌ها براساس مکانیسم تشعشعی، اندازه ناحیه نشری و ریخت‌شناسی انجام می‌پذیرد.

طبقه‌بندی مکانیسم تشعشعی براساس منابع رادیویی را می‌توان به دو دسته

تقسیم‌بندی کرد:

۱) گرمایی و ۲) غیرگرمایی

منابع رادیویی برحسب مکانیسم تشعشعی به دو دسته گرمایی و غیر گرمایی تقسیم می‌شوند. مکانیسم تشعشعی موردنظر برای منابع گرمایی تابش آزاد-آزاد و یا تابش جسم سیاه می‌باشد و درمورد منابع غیر گرمایی مکانیسم قابل قبول تابش سنکروترونی است.

با توجه به رابطه $(S \propto \nu^{-\alpha})$ که قبلاً نیز عنوان شده بود، می‌توان به گرمایی یا غیر گرمایی بودن منابع پی برد. با توجه به این رابطه اگر چگالی شار (S) را در یک نمودار لگاریتمی برحسب فرکانس (ν) رسم کنیم مقدار شیب این نمودار (α) که برابر است با $\left(-\frac{d(\log S)}{d(\log \nu)} \right)$ اگر بزرگتر از (0.5) بشود منبع غیر گرمایی است. در غیر این صورت منبع گرمایی است. از جمله منابع گرمایی می‌توان به نواحی HI و HII و از منابع غیرگرمایی به کهکشان‌های فعال مانند اخترنماها اشاره کرد. بیشتر تابش کننده‌های قوی در اصل غیرگرمایی هستند.

طبقه‌بندی براساس اندازه ناحیه نشری:

معیار موردنظر برای طبقه‌بندی منابع در این دسته، اندازه ناحیه نشری می‌باشد که دارای سه تعبیر به شکل زیر می‌باشد:

الف) منابع متراکم که ساختار متراکم کوچک و محدود دارند و منابع گسترده که ساختار و اندازه بزرگتری دارند. معمولاً منابعی با قطر زاویه‌ای بیش از ۱ درجه منابع متراکم می‌باشند.

ب) منابع گسترده دارای ناحیه نشری بزرگتر از ۱ و منابع متراکم دارای ناحیه نشری کوچکتر از ۱ درجه می‌باشند.

ج) منابع گسترده دارای ناحیه نشری با مقیاس خیلی بزرگ و منابع متراکم دارای هسته رادیویی غیرقابل تفکیک می‌باشند.

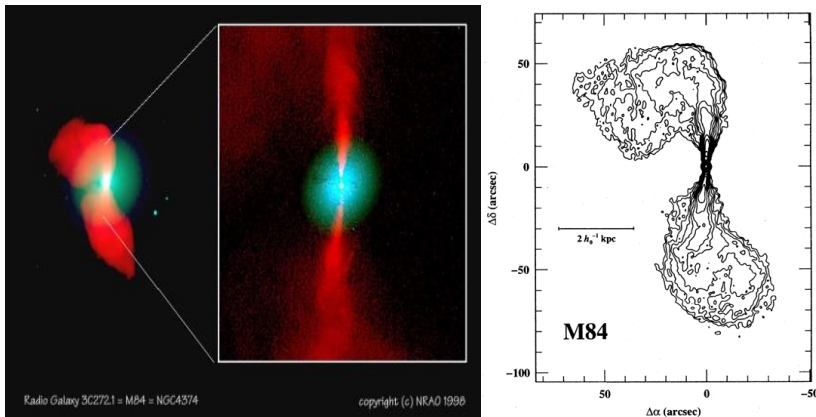
با توجه به مشاهداتی که در فرکانس‌های مختلف انجام گرفته است سه تعبیر بالا تابع فرکانس است و ممکن است در هر محدوده فرکانسی (با افزایش حساسیت و توان تفکیک ابزار) این دسته‌بندی تغییر کند. به‌طور کلی مشاهدات انجام شده نشان داده است که منابع متراکم با اجرام شبه ستاره‌ای همچون اخترنماها و کهکشان‌های فعال و (تا حدودی با کهکشان‌های شبه بیضوی عادی) و منابع گسترده با کهکشان‌های عادی منطبق می‌باشند.

با وجود این برخی از مشاهدات که با توان تفکیک بالا انجام شده است نشان داده است که اکثر منابع رادیویی شامل هر دو مؤلفه متراکم و گسترده هستند. به عنوان مثال مشاهدات VLBI نشان داده که حدود ۵۰٪ از منابع گسترده شامل مؤلفه متراکم مرکزی با اندازه در حد میلی ثانیه قوسی هستند و از طرفی مشاهدات مؤلفه‌های متراکم نشان داده است که بیشتر این مؤلفه‌ها دارای مؤلفه‌های گسترده با اندازه در حد چند ثانیه قوسی در نزدیکی مؤلفه متراکم می‌باشند. بنابراین به نوعی می‌توان نتیجه گرفت که این طبقه‌بندی بر مبنای برتری نسبی مؤلفه متراکم به گسترده و یا برعکس پایه گذاری شده است.

طبقه‌بندی FRI و FR II

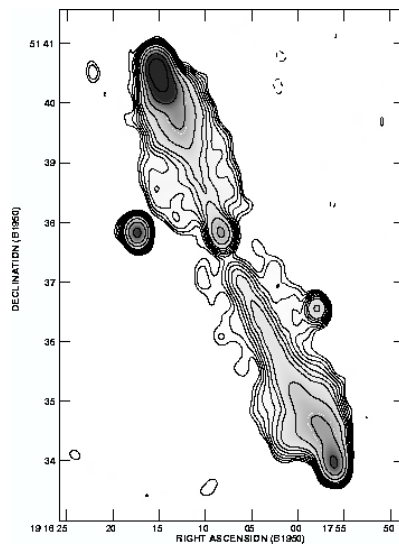
این طبقه‌بندی که براساس درخشندگی است بیشتر در مورد منابع گسترده به کار می‌رود. فنروف و ریلی (۱۹۷۴) منابع گسترده را به دو طبقه FRI و FR II تقسیم کردند. منابع FRI منابع ضعیف رادیویی هستند که بیشتر درخشندگی آن‌ها در مرکز می‌باشد و با حرکت به سمت لبه‌ها درخشندگی سطحی آن‌ها کاهش می‌یابد شکل اما منابع FR II علاوه بر درخشندگی در مرکز دز لبه‌ها نیز درخشان می‌باشند. سی ای جکسون (۱۹۹۹م) در مورد طبقه‌بندی FRI و FR II تعبیر دیگری بکار برده است. او منابع را براساس فاصله بین دو ناحیه که ماکزیمم درخشندگی را دارند طبقه‌بندی کرده است. FRI ها منابعی هستند که فاصله بین دو ناحیه با ماکزیمم درخشندگی کمتر از نصف

کل اندازه منبع رادیویی می باشد. این طبقه بندی رابطه ای خیلی نزدیک با توان رادیویی منبع دارد به طوریکه قوی ترین منابع رادیویی FR II منابع ضعیف تر FRI هستند. برای مثال می توان به اخترنماها به عنوان منابع FR II و اجرام BL Lac به عنوان منابعی که FR II و FRI هستند اشاره کرد.



عکس ۱-۳۶

(تصویر کهکشان رادیویی M84 که نمونه ای از منابع FRI می باشد)



عکس ۱-۳۷

(تصویر کهکشان رادیویی B1918 که از منابع FR II به حساب می آید)

معرفی برخی منابع رادیویی قوی

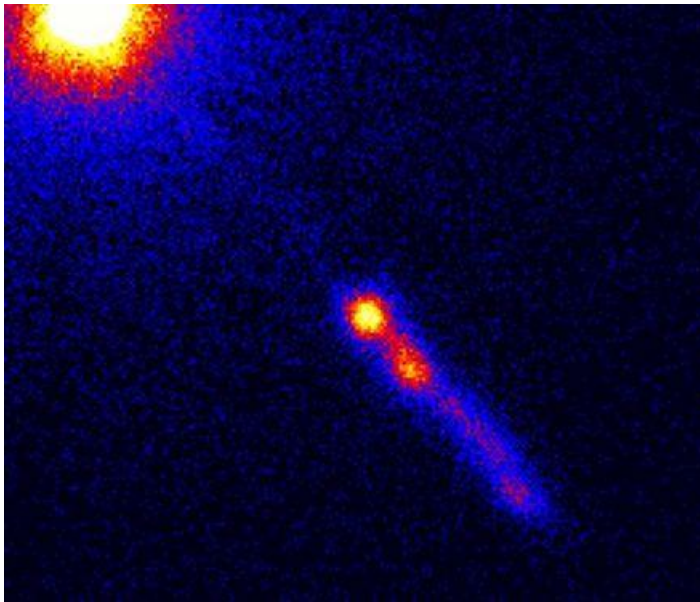
معرفی برخی منابع رادیویی قوی

اکثر منابع قوی رادیویی فرا کهکشانی (اخترنماها، اجرام BLLac، کهکشان‌های سیفرت، کهکشان‌های رادیویی و غیره) تحت عنوان هسته‌های کهکشانی فعال (Active Galactic Nucle: AGNs) شناخته می‌شوند. عبارت است از یک فرآیند انرژی (Energetic) که انرژی تولید شده در آن آنقدر زیاد است که قابل مقایسه با انرژی حاصل از تحول ستاره‌ای یا انرژی ایجاد شده در مواد ستاره‌ای نیست و اغلب تغییراتی را در شار (در محدوده رادیویی و اپتیکی) و قطبیدگی از خود نشان می‌دهند. به خاطر قرمزگرایی بالا و درخشندگی زیاد این هسته‌ها، کهکشان‌های احاطه کننده آن‌ها اغلب اوقات قابل رویت نمی‌باشد و نمی‌توان بین آن‌ها و ستاره‌ها تمیز قائل شد و به همین خاطر به برخی از آن‌ها لقب شبه ستاره‌ای (Quasi-stellar) داده شده است. در ادامه اجرامی معرفی می‌شوند که منابع اصلی تولید امواج رادیویی در آسمان هستند. همچنین با توجه به تشریح انواع مکانیسم‌های تشعشی در بخش قبل، در خصوص مکانیسم تشعشی این اجرام توضیح داده می‌شود.

اخترنماها (Quasars)

اخترنماها توسط مارتین اشمیت در سال ۱۹۶۳م از طریق آشکارسازی خطوط بالمر طیف هیدروژن برای منبع رادیویی ۲۷۳ C (عنصر ۲۷۳ کاتولوگ کمبریج) کشف شدند. هنگامی که اخترنماها مستقیماً و به طریق عادی عکس‌برداری شوند به صورت ستارگان کم نور تقریباً آبی رنگ ظاهر می‌شوند. مارتین اشمیت با بررسی این خطوط یک سری خطوط بالمرجا جابجا شده را در طیف ۲۷۳ C مشاهده کرد که

دارای قرمزگرایی به اندازه $Z=0.158$ بودند. این قرمزگرایی مطابق با یک سرعت پسروی برابر با 45000 Km/s بود که طبق قانون هابل ($V=HD$) فاصله آن تا زمین برابر با 600 Mpc (دو میلیارد سال نوری) بود که با توجه به این فاصله $3C 273$ نمی‌توانست ستاره معمولی باشد بلکه منبع عظیمی از نور و تابش می‌بود. به خاطر این تشعشع قوی و حیرت‌آور و خواص شبه ستاره‌ای به اجرامی مشابه با $3C 273$ لقب اخترنما یا چشمه‌های رادیویی شبه ستاره‌ای را دادند.



عکس ۳۸-۱

(تصویری از اخترنمای $3C 273$ همراه با یک جت خروجی)

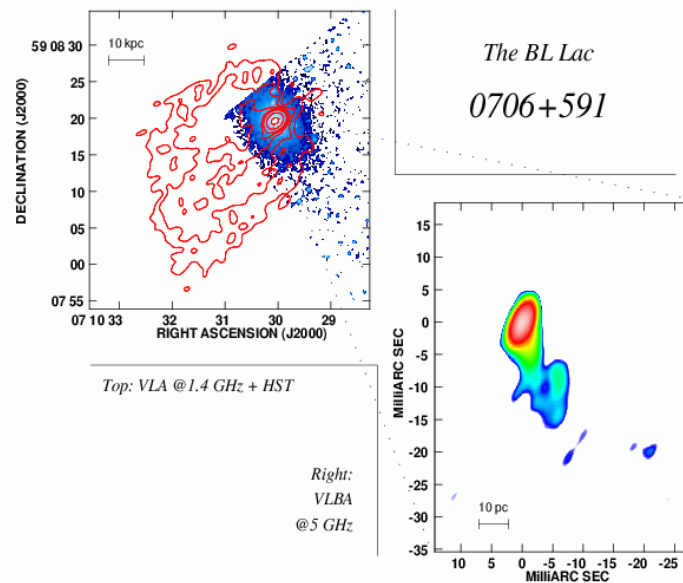
اخترشناسان در اولین قدم به سوی شناخت اخترنماها به این مشکل برخورد کردند که این اجرام آسمانی چگونه این توان بالا (حدود 10^{37} W) را تولید می‌کنند. با توجه به کوچکی اخترنماها (از چند روز نوری تا 10 سال نوری) و مشاهدات اخیر که وجود یک منبع عظیم انرژی را در مرکز اخترنماها پیشنهاد می‌کنند، چه منبع عظیمی در مرکز اخترنماها باید وجود داشته باشد تا بتواند چنین انرژی زیادی را تولید کند؟

دو تئورسین به نام‌های ادوین سالپیتر و یاکوف بی زلدویچ بطور مستقل از هم این نظریه را مطرح کردند که یک سیاه چاله بیسار سنگین با جرم $10^9 M_{\odot} - 10^7 M_{\odot}$ در مرکز اخترنماها قرار دارد و انرژی مورد نیاز آن را تامین می‌کند. مطابق این مدل سیاه چاله بسیار سنگین در مرکز کهکشان ابرهای عظیم گازی را از فضای بین ستاره‌ای که آن‌ها را احاطه کرده است جذب می‌کند. این ابرهای گازی در اطراف سیاه چاله درون یک دیسک چرخشی قرار می‌گیرند که حول سیاه چاله با سرعت خیلی زیاد می‌چرخند و به درون سیاه چاله سقوط می‌کنند. مواد فرو ریزش‌کننده در حین فروریزش در اثر برخورد های خیلی شدید گرم می‌شوند و دمایشان تا چند میلیون درجه بالا می‌رود و بدین ترتیب انرژی تابش می‌کنند و به اخترنماها انرژی می‌دهند. یک نمونه از این علائم در کهکشان $M106$ مشاهده شده است. هسته فعال و چرخنده این کهکشان شامل ابرهای گازی است که با اشعه X برانگیخته شده‌اند و تشعشع فوران گونه‌ای را به بیرون ساطع می‌کنند. اخترشناسان ژاپنی و آمریکایی مشاهده کرده‌اند که این ابرهای گازی حول یک جسم سیاه به جرم تقریبی $36 \times 10^6 M_{\odot}$ و ابعاد کمتر از یک ماه نوری می‌چرخند. یکی از نکات جالب در مورد اخترنماها خطوط طیفی پهن آن‌ها می‌باشد. در طیف اخترنماها خطوط نشری خیلی پهنی دیده می‌شوند که پهن‌ترین این خطوط خطوط سری بالمر ($H_{\gamma} 4340$, $H_{\beta} 4861$, $H_{\alpha} 6563A$) و خط لیمان $Ly_{\alpha} 1216A$ و خط‌هایی از یون‌های ($MgII 2798A$, $CII 1909A$, $CIV 1549A$) هستند. پهنای این خطوط با توجه به قرمزگرایی دوپلری خیلی زیاد آن‌ها است. علاوه بر این خوط نشری یک‌سری خطوط جذبی نیز در طیف اخترنماها دیده شده است که منحصر در خطوط طیفی اخترنماهایی با قرمزگرایی بزرگتر از $2/2$ دیده می‌شوند و این خطوط، قرمزگرایی برابر یا کمتر از قرمزگرایی خطوط نشری دارند و خیلی باریک‌تر از خطوط نشری هستند. این خطوط با حالات یونیده چندین عنصر معمولی مثل کربن (C)، سیلیسیم (Si)، و ازت (N_2) منطبق هستند. یکی از علت‌های وجود این خطوط جذبی می‌تواند ابرهای گازی باشد که از مرکز اخترنماها به سمت ناظر زمینی پرتاب

می‌شوند و خطوط جذبی این گازها می‌تواند بر روی نور ساطع شده از اخترنماها تاثیر بگذارد.

متغیرهای شدید نوری و اجرام BLLac

هسته‌های فعال کهکشانی در اکثر طول موج‌ها، از اشعه X تا امواج رادیویی، تشعشع پیوستارشان تغییر می‌کند. یک زیر مجموعه کوچکی از هسته‌های کهکشانی فعال تغییراتی در مقیاس‌های زمانی خیلی کوتاه در حد روز با ($\Delta m \geq 0.1$) (m قدر ظاهری) در طول موج مرئی و همچنین تغییرات زیادی را در قطبیدگی از خود نشان می‌دهند که به این اجرام متغیرهای شدید نوری گفته می‌شود.



عکس ۳۹-۱

(دو نمای متفاوت از یک جرم BLLac که توسط آرایه‌های VLA و VLBA در فرکانس‌های مختلف تهیه شده است.)

برخی از خواص متغیرهای شدید نوری در دسته‌ای از هسته‌های فعال کهکشانی به نام اجرام BLLac دیده شده است (از آنجا که اولین بار این موضوع در ستاره BL از

صورت فلکی سوسمار-Lac-کشف شد این نام‌گذاری صورت گرفت). این اجرام فاقد خطوط نشری و جذبی قوی در طیفشان هستند که بتوان به کمک آن‌ها قرمزگرایی آن‌ها را تعیین کرد. اما خطوط نشری ضعیفی در زمانی که شدت پیوستار نشری آن‌ها مینیمم است دیده شده است. به عنوان مثال در دو نمونه از این اجرام به نام‌های $A.0.2535+164$ و $pk80.735+178$ به ترتیب دو خط جذبی جابجا شده ($Z=0.851$ و $Z=0.524$) و یک خط جذبی جابجا شده ($Z=0.424$) دیده شده است که مشابه با خطوط جذبی جابجا شده در اخترنماها می‌باشند که نشان می‌دهد این اجرام در فاصله‌ای دور قرار گرفته‌اند و ذاتا درخشان هستند. همانطور که گفته شد یکی از خصوصیات‌های بارز اجرام BLLac تغییرات شدید این اجرام در محدوده مرئی می‌باشد. این تغییرات برای $3C279$ در طول سال‌های ۱۹۳۱م تا ۱۹۵۲م در شکل (۳-۴) رسم شده است. در طی انفجاراتی که در طی سال‌های ۱۹۳۷م. تا ۱۹۴۳م. اتفاق افتاده است تغییراتی در درخشندگی تا ۲۵ برابر مشاهده شده است. با توجه به اینکه این اجرام نمایشی ستاره‌ای شکل دارند و هاله‌ای آن‌ها را احاطه کرده است طیف هاله BL سوسمار مورد مطالعه قرار گرفت و خطوط جذبی ستاره‌ای مشابه با طیف یک کهکشان بیضوی مشاهده شد (جوزف مایلر ۱۹۷۰م.) و این نتیجه حاصل شد که اجرام BLLac کهکشان‌های بیضوی با هسته شبه ستاره‌ای درخشان می‌باشد.

کهکشان‌های سیفرت

کارل سیفرت (Carl Seyfert) ۱۹۴۳م. تعدادی از کهکشان‌ها را بخاطر تابش و درخشندگی

سطحی خیلی زیاد آن‌ها مورد مطالعه قرار داد. او در خطوط طیفی اجرامی همانند NGC۱۲۷۵ و NGC۷۴۶۹ خطوط نشری برانگیخته و پهنی (مطابق با سرعت پسروی 8500 Km/s) به خصوص در مورد خطوط طیفی هیدروژن را مشاهده کرد.

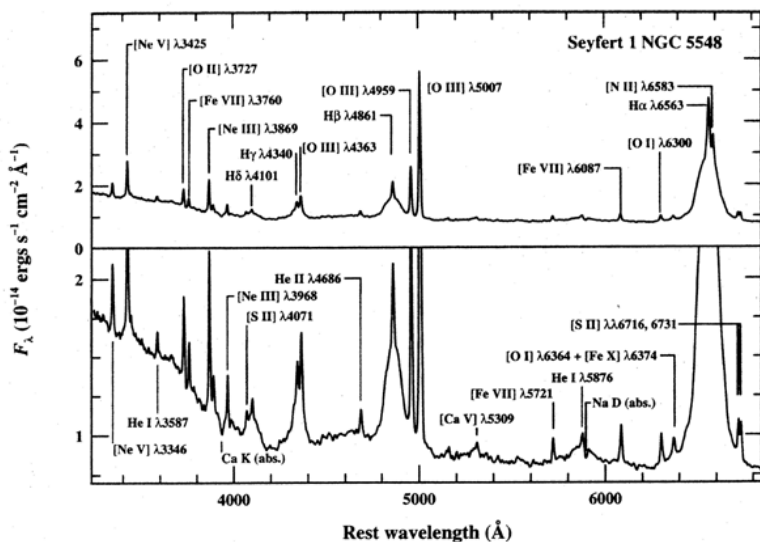
در ارتباط با این کهکشان‌ها سه فیزیکی بیان شده است:

(۱) اندازه هسته این کهکشان‌ها خیلی کوچک می‌باشد (کمتر از 100 pc) به طوری که هسته کاملاً قابل تشخیص است.

(۲) عمر این کهکشان‌ها تقریباً 10^8 سال می‌باشد.

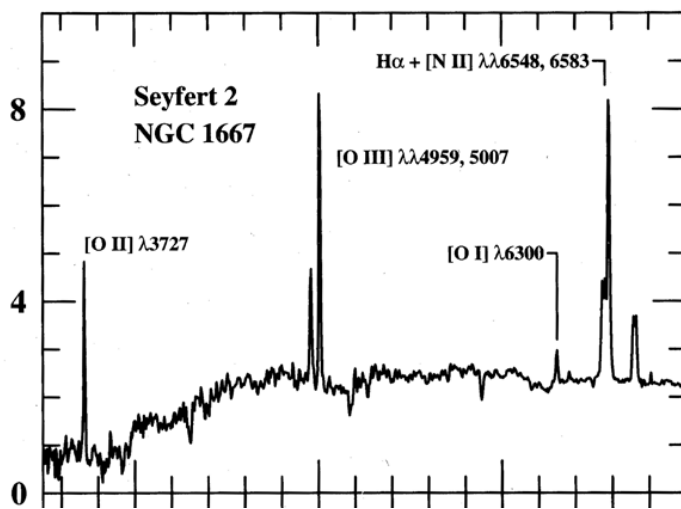
(۳) اگر مواد در هسته کهکشان تحت جاذبه گرانشی باشند، جرم هسته باید خیلی سنگین باشد. با توجه به قضیه ویریال می‌توان استدلال کرد که $M \approx \frac{v^2 r}{G}$ می‌باشد. حال با توجه به سرعت به دست آمده از پهنای خطوط که از مرتبه 10^3 Km/s می‌باشد و با توجه به اندازه هسته که از مرتبه $1 \text{ pc} \leq r \leq 100 \text{ pc}$ می‌باشد جرم هسته تقریباً دارای مقدار $M \approx 10^{9 \pm 1} M_{\odot}$ می‌باشند. البته علاوه بر این سه ویژگی می‌توان به خطوط نشری پهن سیفرت‌ها نیز اشاره کرد که سال‌ها بعد به معیاری برای دسته‌بندی این اجرام به دو دسته کهکشان‌های سیفرت نوع اول و نوع دوم تبدیل شد. سیفرت‌های نوع اول دارای خطوط بالمر پهن (مطابق با سرعت پسروری از مرتبه چند هزار کیلومتر بر ثانیه) و خطوط ممنوعه (مطابق با سرعت پسروری در حد چند کیلومتر بر ثانیه) از سایر عناصر مانند OIII هستند. منشاء خطوط طیفی نازک در سیفرت‌های نوع اول، گازهای یونیده‌اند که برای تمایز آن‌ها از خطوط طیفی نواحی HII سایر کهکشان‌های عادی، از نسبت شار $(\lambda 5007) [\text{OIII}]$ به شار H_{β} یعنی $\left(\frac{F_{\text{OIII}(\lambda 5007)}}{F_{H_{\beta}}} \right)$ استفاده

می‌کنند که چنانچه این نسبت بزرگتر از ۳ شود، این خطوط متعلق به سیفرت‌های نوع اول می‌باشند و الا مربوط به نواحی HII سایر کهکشان‌های عادی می‌باشند. اما سیفرت‌های نوع دوم دارای خطوط بالمر و OIII با پهنای یکسان (مطابق با سرعت پسروری چند کیلومتر بر ثانیه) می‌باشند و هر دو کمی از خطوط OIII در سیفرت‌های نوع اول هستند.



عکس ۴۰-۱

(طیف اپتیکی کهکشان NGC ۵۵۴۸ که یک کهکشان نوع I می باشد. در شکل خطوط طیفی مختلف علامت گذاری شده است)

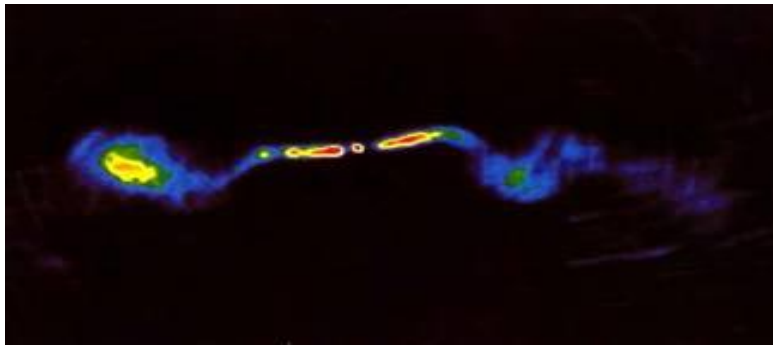


عکس ۴۱-۱

(طیف اپتیکی NGC ۱۶۶۷ که یک کهکشان سیفرت نوع II می باشد)

کهکشان‌های رادیویی

به نظر می‌رسد که برخی از کهکشان‌ها در حال انفجارند. انفجاری که در کهکشان‌ها رخ می‌دهد نخستین بار توسط تلسکوپ‌ها رادیویی آشکار شد چرا که از این کهکشان‌ها علاوه بر نور مرئی تابش‌های رادیویی قدرتمندی نیز گسیل می‌شود. مطالعات دقیق در چند سال اخیر، تنها توضیح قابل قبول منبع گسیل امواج رادیویی از این کهکشان‌ها را نوعی رویداد انفجاری می‌دانند که احتمالاً در مناطق مرکزی کهکشان‌ها رخ می‌دهند و ذرات با سرعت‌های نزدیک به سرعت نور معمولاً در دو ستون مختلف البجهت به بیرون پرتاب می‌شود که اگر چنین ستونی به یک ابر گازی که در سرتاسر کهکشان یا حتی خارج از آن کشیده شده است برخورد کند مسیر حرکت ذرات بر سرعت به وسیله میدان مغناطیسی که همواره در چنین ابرهایی وجود دارد تعیین خواهد شد.



عکس ۴۲-۱

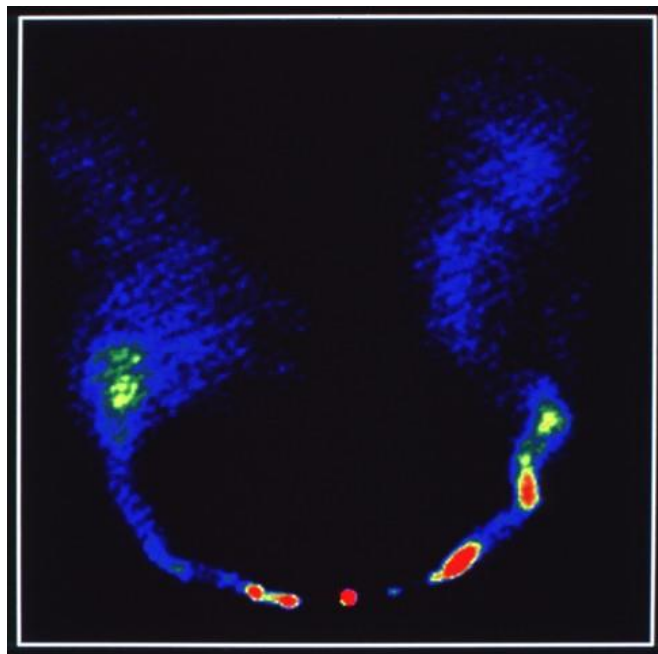
(کهکشان رادیویی ۳C ۴۴۹ که در زمره منابع غیرگرمایی به حساب می‌آید)

سپس ذرات در اطراف میدان مغناطیسی حرکت دایره‌وار انجام می‌دهند که موجب گسیل امواج رادیویی می‌شود. چنین فرآیندی به تشعشع سنکروترون معروف است. کهکشان‌های رادیویی اکثر کهکشان‌های بیضوی شکل با توان $10^{33}W - 10^{37}W$ در محدوده رادیویی می‌باشند. این اجرام براساس پهنای خطوط نشری طیفشان به دو دسته تقسیم می‌شوند.

۱) کهکشان‌های رادیویی خط باریک (NLRG) که پهنای خطوط آن‌ها منطبق بر سرعت‌های پسروری از مرتبه 10^3 Km/s می‌باشد و طیفشان شامل خطوط ممنوعه Fe, O, N, S می‌باشد که به خوبی خطوط بالمر هلیوم قابل مشاهده می‌باشد.

۲) کهکشان‌های رادیویی خط پهن (BLRG) با خطوط نشری پهن He, H که پهنای آن منطبق منطبق بر سرعت‌های پسروری از مرتبه $25 \times 10^3 \text{ Km/s}$ و حتی بالاتر می‌باشد. یک سری از کهکشان‌های رادیویی دارای یک هسته رادیویی در جلو و دنباله که با یک زاویه خاص به سمت پشت هسته کشیده شده‌اند هستند و به کهکشان سر دنباله معروف می‌باشند. این حالت ناشی از وجود گازهای داغ یونیده در خوشه‌های کهکشانی است که این اجرام در داخل آن‌ها قرار دارد. کهکشان‌هایی که با سرعت در این محیط حرکت می‌کنند در یک فوران

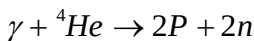
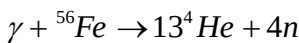
موادی را به بیرون پرتاب می‌کنند. سرعت این مواد توسط محیط درون خوشه‌ای کند شده و در نتیجه به سمت عقب کشیده می‌شوند.



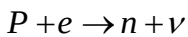
عکس ۴۳-۱

(تصویر تهیه شده توسط VLA از کهکشان سر دنباله NGC ۱۲۶۵ در این کهکشان بعلت وجود گازهای داغ یونیده در خوشه کهکشانی، دنباله‌ها به عقب کشیده شده‌اند.)
تپنده‌ها

ستارگانی که دارای جرمی بیش از $10M_{\odot}$ - 8 در رشته اصلی باشند در انتهای مسیر تکاملی خود دارای یک هسته آهنی می‌باشند که جرم آن‌ها از حد چاندرااسکار ($1.4M_{\odot}$) تجاوز می‌کند. در این حالت با برهم خوردن تعادل بین فشار گرانشی و فشار هسته‌ای، هسته آهنی منقبض شده و دمای هسته بالا رفته ($5 \times 10^9 K$ تا $10^{10} K$) برای ستارگانی با جرم $10K_{\odot}$ تا $100M_{\odot}$) و در این شرایط هسته آهنی تجزیه و به پرتون‌ها و نوترون‌ها تبدیل می‌شوند.



اگر جرم هسته با چگالی‌های بیش از 10^{14} Kg/m^3 متراکم شود الکترون‌ها با پرتون‌ها ترکیب شده و در این حالت هسته مملو از نوترون می‌شود:



در چگالی‌های بالاتر تقریباً تمام مواد هسته ستاره‌ای، به شکل نوترون‌ها با درصد بسیار کمی از الکترون‌ها، پرتون‌ها و هسته‌های سنگین‌تر می‌باشند. در این حالت نوترون‌ها به جای یک گاز تبهگن را می‌دهند و ستاره به عنوان یک ستاره نوترونی شناخته می‌شود و میدان مغناطیسی آن‌ها به عنوان نمونه تا 10^8 تسلا به شدت افزایش می‌یابد (همه ستارگان دارای میدان مغناطیسی هستند برای نمونه متوسط شدت میدان خورشید 0.4 تسلا می‌باشد اما با توجه به بقای شار مغناطیسی هر چقدر که ستاره کوچکتر می‌شود فراوانی خطوط شار افزایش می‌یابد) این ستارگان به علت شعاع کوچک ($10-20 \text{ Km}$) دارای انرژی دورانی و در نتیجه سرعت چرخش بالایی هستند و در هر دوران پالسهای رادیویی منظمی با پیروی از حد چند میلی ثانیه و بالاتر را تابش

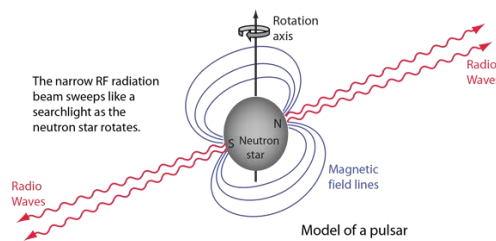
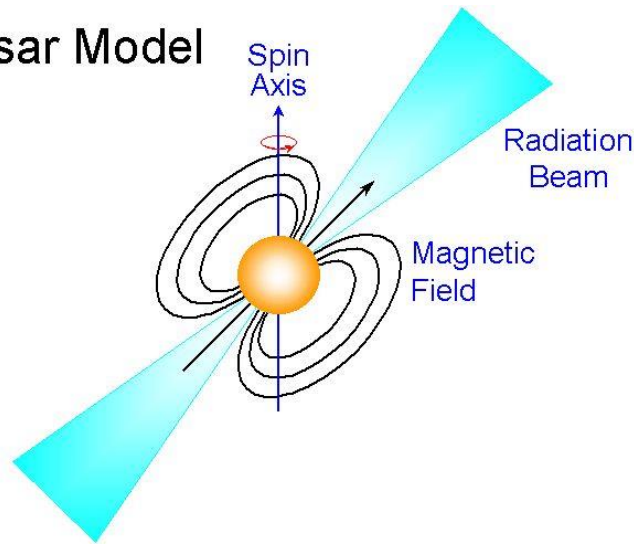
می‌کنند که به خاطر این خاصیت به این ستاره تپنده نیز می‌گویند. تپنده‌ها اولین بار توسط گروهی از منجمین رادیویی در دانشگاه کمبریج در سال ۱۹۶۷م. کشف شدند. مکانیسم‌هایی که برای یک تپنده در نظر گرفته می‌شود به این نحو است که آن را به شکل یک ستاره نوترونی مغناطیسی چرخنده در نظر می‌گیرند. این الگو که به الگوی فانوس دریایی شهرت دارد دارای دو فرضیه اساسی می‌باشد:

(۱) تپنده یک ستاره نوترونی است که چگالی زیاد و چرخش سریع آن دلیل مقدار زیاد انرژی دورانی است.

(۲) یک میدان مغناطیسی ناشی از یک دوقطبی، انرژی دورانی را به انرژی الکترو مغناطیسی تبدیل می‌کند.

در این مدل به علت انحراف محور میدان مغناطیسی ستاره نوترونی از محور چرخش آن، میدان مغناطیسی موجب القای یک میدان الکتریکی در سطح آن می‌شود. این میدان الکتریکی ذرات باردار را (که غالباً الکترون‌ها هستند) از هسته آهنی پوسته جامد تپنده به بیرون می‌راند. این الکترون‌ها به طرف مغناطیس سپهر جایی که توسط خطوط میدان مغناطیسی در حال چرخش شتاب‌دار می‌شوند جریان می‌یابند. الکترون‌های شتاب‌دار تابش سنکروترونی را که شدیداً قطبیده و نوعاً دارای قطبش خطی است و در اثر عبور و انتشار در محیطین ستاره‌ای صفحه قطبش آن می‌چرخد به صورت یک پرتو فشرده و کم و بیش در امتداد خطوط میدان گسیل می‌دارند و بدین ترتیب تپنده با تابش این پالس‌ها به عنوان یکی از منابع قوی در نظر گرفته می‌شود.

Pulsar Model



عکس ۴۴-۱

(نمایی شماتیک از تابش یک ستاره تپنده، در این حالت به علت اختلاف بین محور چرخش از محور مغناطیسی، در هر دوران پالس‌هایی در راستای میدان مغناطیسی تپنده تولید می‌شود.)

Ω محور چرخش تپنده است که با محور مغناطیسی آن (μ) زاویه α می‌سازد. به دلیل این اختلاف زاویه و نیز چرخش سریع تپنده پالس‌هایی را در راستای محور مغناطیسی خواهیم داشت که با دیواره مخروط نیم زاویه ρ می‌سازد. هم‌چنین 2δ ضخامت زاویه‌ای جداره مخروط می‌باشد. با توجه به پارامترهای فوق، برای حل مساله چرخش و تابش تپنده ۵ معادله خواهیم داشت که با حل آن‌ها شناخت صحیح‌تری از تپنده مورد نظر خواهیم رسید:

$$\sin(\lambda) \cos\left(\frac{O_i}{2}\right) = \begin{cases} \cos(\rho + \delta - \alpha); \alpha \geq \rho + \delta \\ \sin(\lambda); \rho - \delta < \alpha < \rho + \delta \\ \cos(\rho - \delta - \alpha); \alpha \leq \rho - \delta \end{cases} \quad (۱)$$

$$\sin(\lambda) \cos\left(\frac{O_o}{2}\right) = \cos(\rho + \delta + \alpha) \quad (۲)$$

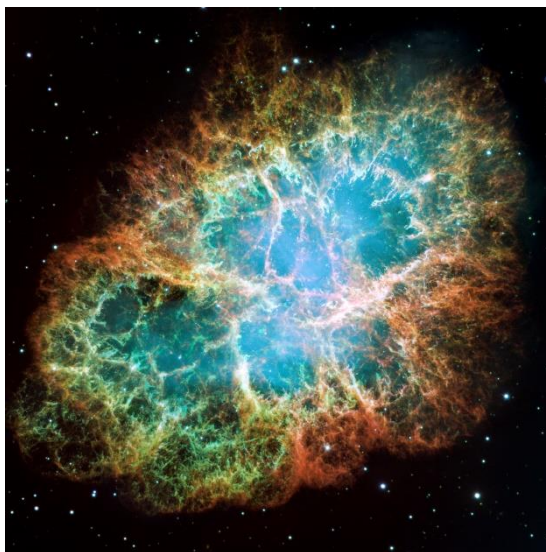
$$\phi = O_m \quad (۳)$$

$$\cos(\rho - \delta) = A \cos(\alpha) + \sqrt{1 - A^2} \sin(\alpha) \cos(p_i / 2) \quad (۴)$$

$$\cos(\rho + \delta) = A \cos(\alpha) + \sqrt{1 - A^2} \sin(\alpha) \cos(p_o / 2) \quad (۵)$$

$$A = \cos(\lambda) \cos(i) - \sin(i) \sin(\lambda) \sin(\phi) \quad \text{که}$$

عکس ۴۵-۱



عکس بالا سحابی خرچنگ را نشان می‌دهد که تولید شده از یک انفجار سوپرنوا می‌باشد. گفته می‌شود این انفجار اولین بار در سال ۱۰۵۴ م. توسط چینی‌ها مشاهده شده است. تصویر سمت چپ در سال ۱۹۹۶ در رصدخانه مونت پالومار تهیه شده

است. تصویر سمت راست توسط تلسکوپ فضایی هابل تهیه شده است که شدت فعالیت تپنده را از طریق تشعشع ناشی از چرخش نشان می دهد.

بقایای ابر نواختران

در بین ستارگان برخی از آنهایی که جرم زیاد دارند حیات خود را با انفجارهای فاجعه آمیزی به پایان می برند و به صورت یک ابر نواختر درخشان گسترده می شوند. اعتقاد بر این است که انفجار با فرو ریختن هسته ستاره تحت جاذبه آغاز می شود که نهایتاً به یک ستاره بسیار چگال نوترونی یا یک سیاه چاله تبدیل می گردد. لایه های خارجی ستاره با سرعت ۱۰۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه و با انرژی حدود 10^6 ارگ از سطح آن به بیرون پرتاب می شوند و با مواد میان ستاره ای پیرامون بر هم کنش می کنند که به آن ها بقایای ابر نواختر می گویند. با مشاهده بقایای ابر نواختر آن ها را می توان به سه دسته تقسیم کرد:

۱) بقایای ابر نواختری که دارای یک ساختار پوسته ای هستند و مشاهدات حاصل از این بقایا نشان می دهند که این پوسته در حال انبساط است. مانند سحابی ذات الکرسی A.

۲) بقایای ابر نواختری که دارای ساختار بدون لایه و توپر هستند که سحابی خرچنگ یک نمونه از این نوع بقایا می باشد.

۳) بقایای ابر نواختران که دارای ساختار مشخصی نیستند مانند بقایای

$$G16/73+0/1$$

مشاهدات رادیویی بقایای ابر نواختران در فرکانس های مختلف نشان داده است که شاخص طیفی شار (α) این اجرام در محدوده (-0.6) تا (-0.8) قرار می گیرند که نشان دهنده تابش غیر گرمایی از نوع سنکروترون می باشد. الکترون های لازم جهت این تابش توسط یک تپنده مرکزی تامین می شود. این الکترون ها پس از وارد شدن به گازهای در حال انبساط در میدان مغناطیسی آن ها شتابدار شده و تابش می کنند که میزان قطبش این تابش در بقایای ابر نواختری با ساختار لایه ای حدود ۵٪ و ۱۵٪ است در حالی که در بقایای با ساختار توپر قسمت اعظم تابش قطبیده می باشد.

نمونه‌هایی از رادیوتلسکوپ‌های آماتوری

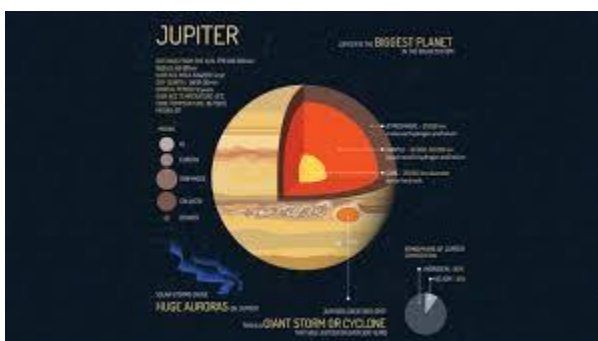
آنتن مشتری

مشتری بزرگترین سیاره منظومه شمسی یکی از کانون های اصلی تابش های رادیویی در منظومه شمسی محسوب می شود.

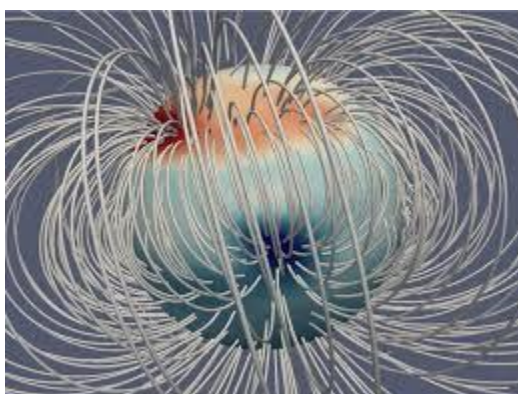
مشتری با جرمی حدود ۳۰۰ برابر جرم زمین و حجمی ۱۰۰ برابر زمین از جمله سیارات گازی به حساب می آید که به طور متوسط هر ده ساعت حول محورش گردش کرده و هر حدود ۱۱ سال به گرد خورشید دور می زند.



همان طور که گفته شد بدنه مشتری گازی است و هر قدر که از سطح مشتری به داخل آن پیش می رویم چگالی این گاز بیشتر و بیشتر می شود به طوری که گاز مرکزی مشتری را از شدت فشار به هیدروژن فلزی لقب داده اند. از ویژگی های این گاز چگال خاصیت ابر رسانایی آن است. یعنی جریانهای الکتریکی را بدون هیچ مقاومتی از خود عبور می دهد.

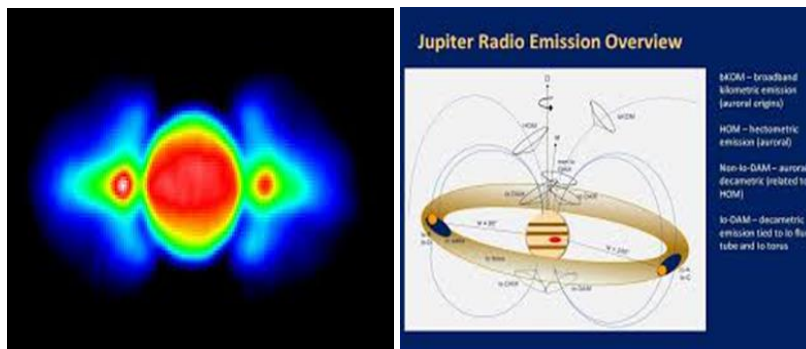


از طرفی مشتری با تکنیک انقباض گرانشی و تبدیل انرژی پتانسل به انرژی گرمایی منبع داخلی جهت داغ کردن گازهای پیرامون خود را دارد از این رو می‌توان تا حدودی گازهای داخلی مشتری را نه گاز بلکه پلاسما نامید.



محیط پلاسما تشکیل شده از یونهای بار دار که با سرعت زیادی حول مشتری در حال گردش هستند و همین باعث به وجود آمدن امواج الکترومغناطیس می‌شود و خاصیت ابر رسانایی مرکزی نیز بر این مساله می‌افزاید.

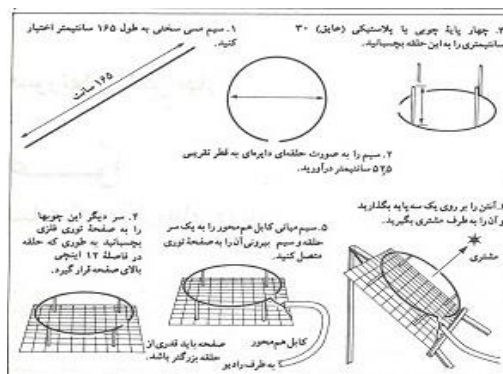
پس مشتری با این مکانیسم از جمله منابع پر قدرت رادیویی منظومه شمسی محسوب می‌شود که دامنه امواج به وجود آمده از آن می‌تواند تا زمین هم گسترش داشته باشد.



سالها این امواج توسط رادیو تلسکوپ‌ها ثبت و ضبط می‌شد و گمان می‌کردند این امواج که منشا فرا زمینی دارد از ما ورای منظومه شمسی یعنی کیهان وارد منظومه شمسی می‌شود ولی بعدها متوجه شدند که در واقع این امواج از جانب مشتری به سوی ما می‌آید.

این امواج فرکانسی در حدود ۱۸ تا ۲۱ مگا هرتز در باند HW هستند که به راحتی توسط رادیو قابل آشکار سازی هستند مشروط به آنکه آنتنی جهت فیلترینگ سایر امواج برای این منظور ساخته شود.

برای ساخت این آنتن کافیسیت سیم مفتولی فلزی به اندازه ۱۶۵ سانتیمتر تهیه کنید و آن را به صورت حلقوی درآورید حلقه ای در حدود ۵۲/۵ سانتیمتر، و با قرار دادن پایه‌هایی عایق آنرا در فاصله ۳۰ سانتی متری از توری فلزی قرار دهیم البته نباید حلقه کامل باشد بلکه باید دوسر آن از هم جدا بوده باشد این تنوعی آنتن یوگی آدا ست که توری فلزی به منزله جمع کننده موج و حلقه به منزله LMB می باشد.



نمونه‌ای از آنتن که برای مطالعه روی سیاره مشتری در فرکانس ۱۸-۲۲ مگاهرتز ساخته شده است.

یک سرحلقه را با یک سیم آنتن کوکسی (۵۰ یا ۷۵ اهمی) تلوزیونی به آنتن یک رادیو متصل کرده و رادیو را روی موج ۱۸ تا ۲۲ مگا هرتز روی باند MW تنظیم کرده و آنتن را به سوی سیاره مشتری بگیرید.



آنتن کوکسی همان طور که در شکل دیده می‌شود. چند لایه و قسمت دارد یک قسمت شامل یک سیم مفتول مسی است و اطراف آن تارهای رسانای ریش ریش، کافیت همان مفتول مسی به آنتن متصل شود و قسمت ریش ریش آشفته باید به زمین متصل شود و به آنتن مثل نشود، سوی دیگر حلقه آنتن هم لازم نیست چیزی متصل شود.

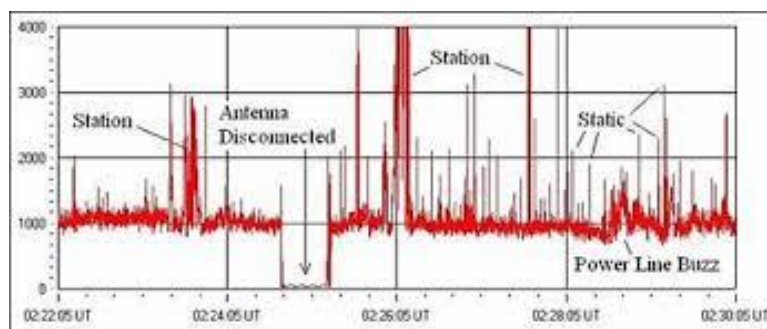


صدای مشتری شبیه به صدای امواج دریا به گوششان می‌رسد. برای اینکه اطمینان پیدا کنید که این صدای مشتری است کافیست دهانه آنتن را به جهت های دیگر بچرخانید پس لاجرم صدای مشتری قطع می‌شود.

به جای استفاده کردن از رادیو می‌توانید از اسلیسکوپ هم استفاده کنید که در این صورت می‌توانید طول موج فرکانس و بسیاری از ویژگیهای این امواج را بدست آورید.

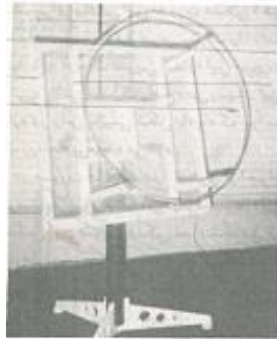


در زیر تحلیل‌های مختلف صورت گرفته به کمک نرم‌افزارهای مخصوص آنالیز سیگنال بر روی امواج دریافتی از مشتری را مشاهده می‌کنید:



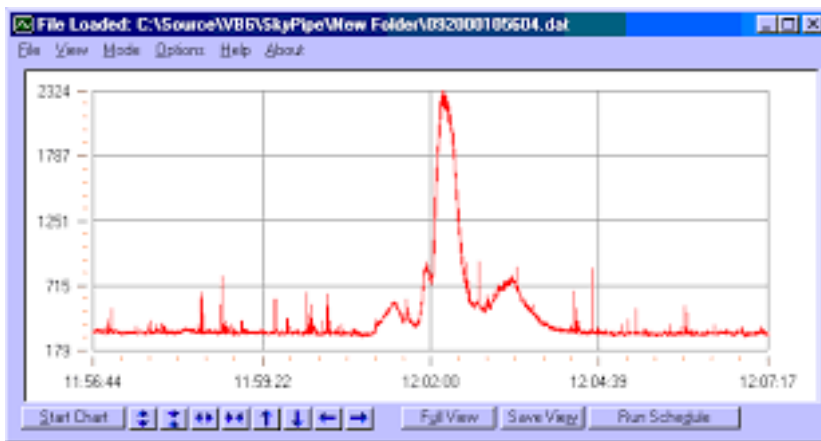
در آنتن فوق الذکر گاهی به جای استفاده از توری از دیش سهموی استفاده می‌شود که تکنیک آن مشابه همان آنتن یوگی آدا می‌باشد.

یک نمونه آنتن سهموی با قطر دیش ۱۲۰ سانتی‌متر که از یک میله ۱۶۵ سانتی‌متری که به شکل دو قطب خمیده درآمده به عنوان LMB استفاده شده است.



در رادیوتلسکوپ فوق از یک کابل کواکسیال به عنوان هدایت‌کننده موج به دستگاه آشکار که یک ضبط صوت می‌باشد استفاده شده است. یک سر مغزی کابل به دو قطبی و سر دیگر آن به آنتن ایزوتروپیک ضبط صوت متصل گردیده، همچنین یک سر شیلد کابل اتصال به زمین و سر دیگر آن به قطب منفی پشت دستگاه ضبط (جای باتری) وصل شده است. با این رادیوتلسکوپ ساده نیز مانند آنتن قبلی بر روی سیاره مشتری در فرکانس ۱۸-۲۲ مگاهرتز مطالعه صورت گرفته است.





روشی ساده در شنیدن صدای شهاب‌ها

رصد شهاب‌ها یکی از جمله رصدهایی است که رصگران آماتور علاقه وافری بدان دارند چه بسیار شهابی که کانون های بارش فعال هستند و علاقمندان در زیر آسمانی عاری از آلودگی های نوری و غباری به رصد مشغولند ولی اگر زمان اوج بارش شهابها در روز باشد یا ماه تابان در نزدیکی آن نور افشانی کند رصد این شهابها بسیار دشوار است. نجوم رادیویی روشی برای رد یابی شهابها پیشنهاد می دهد روشی ساده و کم خرج و در عین حال دقیق.

کافیست در زمانی که بارش شهابی اتفاق می افتد رادیویی با موج FM در اختیار داشته باشید مثلاً در شهرری می خواهید این کار را انجام دهید کافیست. رادیوی FM خود را روی موج رادیویی شهری مجاور که قدرت دریافت آن در منطقه شما وجود ندارد تنظیم کنید مثلاً رادیو البرز (۹۴/۹ مگا هرتز) یا رادیو قم (۹۴/۵ مگا هرتز). پس در آن منطقه رصدی آن را در آن باند تنظیم کنید در حالت عادی هیچ صدایی دریافت نمی کنید و فقط صدای خش خش شنیده می شود ولی اگر شهابی در صفحه آسمان شما ظاهر شود.



به علت اینکه این جرم موج FM ایستگاه مزبور را به سوی شما آنی می‌فرستد شما در یک لحظه کوتاه صدای رادیو قم (۹۴/۵ مگا هرتز) یا البرز (۹۴/۹ مگا هرتز) را می‌شنوید و دوباره قطع می‌شود. از تعداد قطع و وصل شدن این صدا شما می‌توانید تعداد شهابهای گذری را تخمین زنده و از طول مدت وصل شدن صدا مدت حضور آن در آسمان را نیز تشخیص دهید. این کار از جمله تجارب آماتوری در رصد شهابها ست که بسیار در دنیا معمول است.

ردیابی شهابها با استفاده از آنتن کی آی

مبنای کار کی آی بر این اساس است که هر جسم تندرو و پر جرم هنگام وارد شدن به جو زمین و اعماق جو به دنبال خود ردی پرتلاطم از گازهای یونیده به جای می‌گذارد این رد یونیده در مسیر خطوط منظم میدان مغناطیسی زمین را آشفته و در هم و برهم می‌کند با ترکیب مجدد گازهای یونیده این میدان دوباره آرام می‌شود و انرژی خود را به صورت امواج رادیویی با تسامد بسیار پایین (VLF) از ۱ تا ۱۰ کیلوهرتز تابش می‌کند.

VLF از جمله باندهای بسیار شلوغ است که که از هزاران طوفان الکتریکی در چهار گوشه دنیا تا فعالیت های خورشید و حتی شمع اتموبیل ها در آن دخالت دارند. پس لزوم انتخاب شبی آرام و دور از آلودگی ها وجود دارد.

برای ساخت این آنتن باید یک صلیب از چوب با مقطع ۲/۵ در ۲/۵ سانتیمتر بسازید و حدود ۲۰۰ حلقه سیم روپوش دار نمره ۲۵، دور آن بپیچید.

فهرست قطعات

rhombic-loop for 17/12m direct and parallel
fed with 50ohm-cable

۱۳۹

به صدای خورشید گوش فرا دهید

وقتی با فیلترهای مخصوص با تلسکوپ خورشید را رصد می‌کنیم، گاهی لکه‌هایی سیاه را در سطح رخشانسپهر خورشید ملاحظه می‌کنیم که به صورت زوج زوج ظاهر شده و در مدارات $35^{\circ}+$ درجه شمالی و $35^{\circ}-$ جنوبی خورشید ظاهر می‌شوند. و هر ۱۱ سال زیاد و کم می‌شوند.

منشا این لکه‌ها سالها بر خورشید شناسان پوشیده بود تا آنکه در آزمایشگاه فیزیک مدرن دانشمندی به نام زیمن که روی تاثیرات میدامن مغناطیسی روی طیف‌های گسیلی از مواد کار می‌کرد پی برد که در حضور میدان الکترو مغناطیس طیف عناصر به دو تاسه طیف تجزیه می‌شود. اختر فیزیک دانان با توجه به اثر زیمن این پدیده را در خورشید بررسی کردند و متوجه شدند که در مجاورت این لکه‌های سیاه اثر زیمن وجود دارد و این دال براین بود که میدان مغناطیسی در اطراف این لکه‌ها زیاد است.

پس نتیجه گرفته شد که این لکه‌ها در اصل گره‌های مغناطیسی درون خورشید هستند، که باعث می‌شود که مقداری از مایع همرفتی خورشید را درون خود قفل یا منجمد کنند و همین عامل سرد شدن و در مقام مقایسه با جاهای روشن خورشید تاریک شدن آن مناطق می‌شود.

از جمله عوارضی که برای این کلف‌ها قائل هستند این است که وقتی این‌ها در خورشید زیادند، بادهای خورشیدی که در اثر انفجارات ابر دانه‌های خورشیدی به وجود می‌آید مضاعف می‌شود یا به اصطلاح خورشید فعال است. که به این انفجارات ابر دانه‌ای که منجر به باد خورشیدی می‌شود مشعل‌های خورشیدی می‌گویند.

باد خورشیدی تشکیل شده از ذرات بار دار می‌باشد و این ذرات باردار تحت تاثیر میدان مغناطیسی زمین قرار می‌گیرند و به قطب‌ها جذب می‌شود و تشکیل شفق‌های قطبی را می‌دهند.

این تسعشعات که توسط مشعل های خورشیدی ایجاد می شوند با سرعت نور منتشر شده و پس از حدود ۸ دقیقه به زمین می رسد.

لیکن ذرات باردار اتمی با سرعتی برابر با هزار و دویست کیلومتر در ثانیه حرکت می کنند و ۲۴ تا ۳۶ ساعت بعد به زمین می رسند.

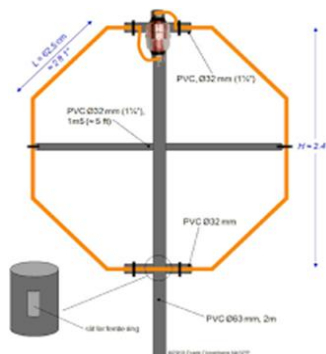
این انفجارات خورشیدی می توانند روی طول موج های کوتاه رادیویی اثر بگذارند. و گاهی سبب می شوند که صدای گیرنده های رادیویی را برای چند لحظه قطع نمایند با گوش فرا دادن به خورشید تاثیرات طوفان های خورشیدی را بر طول موج های کوتاه می توان پیش بینی کرد.

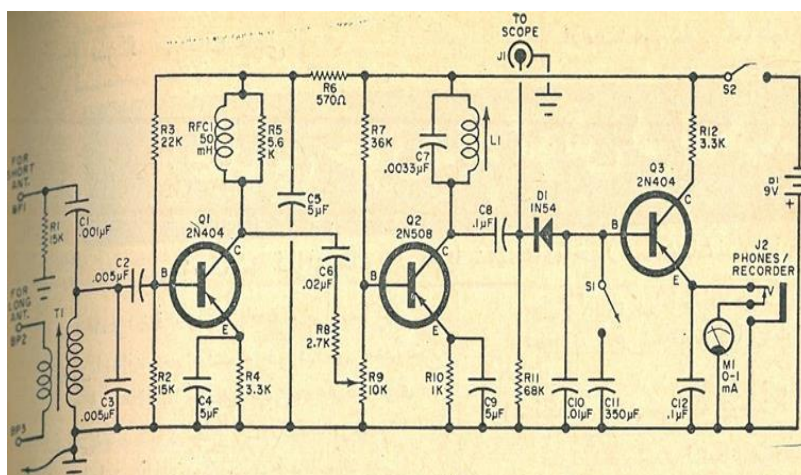
فرکانسهای ۲۰-۳۰ کیلو هرتز از سایر باندها در طیف امواج رادیویی از لحاظ زمینه سروصداهای اضافی جوی در تراز بالاتری قرار دارند. چند دقیقه پس از رویداد ن طوفان های خورشیدی این طراز بالاتر خواهد رفت. مدتی در این سطح باقی می ماند و سپس به تدریج کاهش می یابد.

برای رد یابی این پدیده هر رادیو آماتور به یک گیرنده ساده احتیاج دارد که روی فرکانس ۳۰ کیلو هرتز میزان شده باشد

طرز کار پردازشگر

مدار این رادیو تلسکوپ دارای دو تراز یستور تقویت کننده است که برای تقویت فرکانسهای ۲۵ تا ۳۵ کیلو هرتز انتخاب شده است.





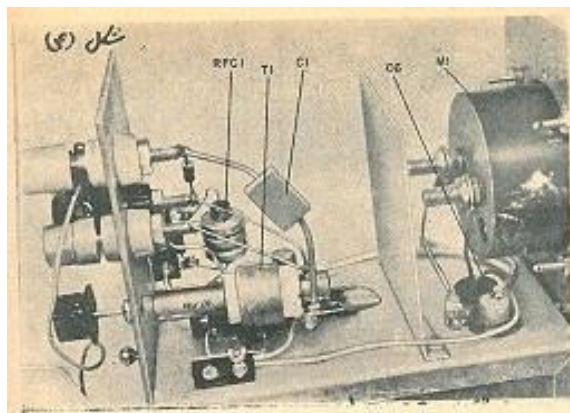
C۶-خازن کاغذی ۰۰۲ میکرو فاراد.
 C۷-خازن سرامیک ۰۰۰۳۳ میکرو فاراد.
 C۸-C۱۲-خازن کاغذی ۰۱ میکرو فاراد.
 C۱۰-خازن کاغذی ۰۰۱ میکرو فاراد.
 C۱۱-خازن شیمیائی ۳۵۰ میکرو فاراد.
 ولت.
 D۱-دیود کریستال 1N54.
 J۱-جافیش محوری.
 L۱-سیم پیچ متغیر ۰۰۶-۸ میلی ها نری.
 M۱-میلی آمپر متر ۰-۱.
 Q۱-Q۳-ترانزیستورهای P-N-P.
 2N۵۰۸ با معادل ژاپنی آن.
 Q۲-ترانزیستور P-N-P یا 2N508.
 ل آن.
 R۱-R۲-مقاومت ۱۵ کیلو اهم-نیم وات.
 R۳-مقاومت ۲۲ کیلو اهم-نیم وات.
 R۴-R۱۲-۳۳۰۰ اهم-نیم وات.
 R۵-مقاومت ۵۶۰۰ اهم-نیم وات.
 R۶-مقاومت ۵۷۰ اهم-نیم وات.
 R۷-مقاومت ۳۶ کیلو اهم-نیم وات.
 R۸-مقاومت ۲۷۰۰ اهم-نیم وات.
 R۹-ولوم ۱۰ کیلو اهمی.
 R۱۰-مقاومت ۱ کیلو اهمی-نیم وات.
 R۱۱-مقاومت ۶۸ کیلو اهمی-نیم وات.
 RFC۱-چک فرکانس رادیویی ۵۰ میل.
 S۱-S۲-کلیدهای شستی دار.

B۱-پیل ولتی مخصوص رادیوهای
 ترانزیستوری.
 BP۱-BP۳-جافیش های اتصال.
 C۱-خازن خازن میکائی ۰/۰۰۱.
 میکرو فاراد.
 C۲-C۳-خازن میکائی ۰۰۰۵.
 میکرو فاراد.
 C۴-C۵-C۹-خازن شیمیایی ۵
 میکرو فاراد ۱۵ ولت.

این دو ترازیستور به یک دیودی منتهی می شود که خروجی آن توسط یک ترازیستور دیگر تقویت می شود.

این ترانزیستور نیز با همین فرکانس کار می کند اگر یک دستگاه اسیلوسکوپ داشته باشیم می توانیم آن را به مدار این دستگاه وصل کنیم در همه مدارات هماهنگی از سیم پیچ های معمولی تلویزیون استفاده می شود.

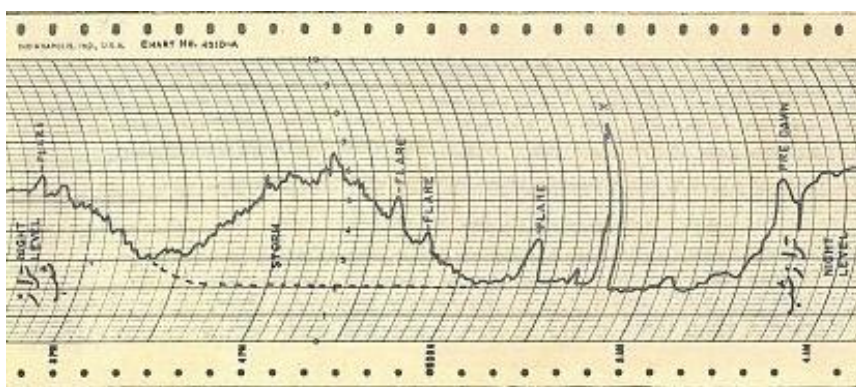
مدار دیودی که کارش یک سو کردن امواج رادیویی است و خازن های C_{10} و C_{11} آن کار خازنهای صاف کننده امواج را انجام می دهند.



مقدار واقعی ظرفیت این خازنها بستگی دارد به مقاومت میلی آمپر متر و دستگاه ثبات که به ترازیستور Q_3 وصل می شود. این مقدار بین ۱۵ تا ۳۵۰ میکرو فاراد تغییر می کند.

کلید S_1 خازن C_{11} را وقتی که می خواهید صدای رعد و برق های جوی را بشنوید از مدار خارج کنید.

ولوم R_{19} را تا آخرین وضعیت سمت چپ چرخانید سیم آنتن را به یکی از اتصالات BP_1 و BP_2 و سیم زمین را به یک لوله آب زیر زمین به اتصال BP_3 وصل کنید.



برای آنتن مورد استفاده هم می‌توان از همان آنتن فوق‌الذکر که برای شهابها مورد استفاده قرار می‌گرفت استفاده نمود در این رادیو تلسکوپ مجموع آنتن و مدار وابسته برای بازه فرکانسی ۲۰ تا ۳۵ کیلو هرتز طراحی شده است که امواج انفجارات خورشید که در حدود ۳۰ کیلو هرتز می‌باشد در خود جای می‌دهد.

منابع و مراجع

- ۱) آنتن‌ها، زمینی و ماهواره‌ای. توماس آدامسون. علیرضا سرورالدین ۱۳۷۸، انتشارات تبریز
- ۲) طراحی و ساخت تلسکوپ‌های اپتیکی و رادیویی، سعداله نصیری قیداری، ۱۳۸۴، مؤسسه جغرافیایی. کارتوگرافی گیتاشناسی
- ۳) طرح و نصب آنتن‌های علمی. کندي. ج. فرخ حجت کاشانی ۱۳۸۲، انتشارات پرتونگار
- ۴) طراحی فرستنده‌ها و آنتن‌ها. بهروز سهرابیان، ۱۳۸۲، مشهد، انتشارات استاد
- ۵) روشی سیستمی در تحلیل و طراحی سیستم‌های مخابراتی. ریچارد. ا. ویلیامز، کمال محامدپ. ور. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۶) طراحی و ساخت رادیو تلسکوپ، مجهز به سیستم کنترل سمتی - ارتفاعی. جواد زنجانی جسم. ۱۳۸۴، دانشگاه زنجان
- ۷) مبانی اختر فیزیکی و مهندسی ستاره‌شناسی رادیویی مهدی دانشیار، مرکز نجوم شهری
- ۸) واژه نامه نجوم و احکام نجوم. محمد طباطبایی. انتشارات فرهنگان
- ۹) دیکشنری فارسی به انگلیسی و انگلیسی به فارسی BabyLon V.6
- 10) sky and telescops
- 11) Tools of Radio Astronomy. 4th edition. K. Rohlfs, T. L. Wilson. Springerpress
- 12) Basics Radio Astronomy. Diane. F. Miller. March 1997. JPL
- 13) Astronomy Today. 5th Edition. Chaisson, McMillan. 2007. prentice Hall
- 14) <http://www.nasa.org>