دانشکده فنی مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان: تحلیل و شبیه‌سازی رادیوتلسکوپ

استاد راهنما: دکتر علی میرکمالی

نگارش: حامد عبدی ـ علی مقدسیان

(تیر ۱۳۸۸)

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست مطالب ..... أ

چکیده ۱

فصل اول ۲

مقدمه ۳

اخترشناسی رادیویی ۵

شدت تابش ٦

برخی اکتشافات مهم رادیویی ۹

چگونگی تولید امواج رادیویی ۹

۱ـ تابش حرارتی ۹

۲ـ تابش غیر حرارتی ۱۰

۱ـ تابش حرارتی ۱۰

۱-۱ـ تابش جسم سیاه ۱۰

۱-۲ـ تابش الکترون‌های آزاد (برمسترالانگ) ۱۱

۱-۳ـ تابش خطوط طیفی ۱۱

۲ـ تابش غیرحرارتی ۱۲

۲-۱ـ تابش سینکروترون ۱۳

۲-۲ـ تابش ژیروسینکروترون ۱٤

۲-۳ـ میزرها ۱۵

اخترشناسی راداری ۱۶
اخترشناسی فروسرخی ۱۷
اخترشناسی فرابنفش ۱۸
اخترشناسی پرتو ایکس و گاما ۱۸
تلسکوپ رادیویی ۱۹
ساختمان یک رادیو تلسکوپ ۲۰
فصل دوم ۲۱
آنتن ۲۲
پارامترهای آنتن ۲۲
الف- الگو ۲۲
۱- پهنای پرتوی نصف توان، HPBW ۲۳
۲- مساحت پرتو، Ω_A ۲۳
۳- بازده پرتو، ε_M ۲۴
۴- دایرکتیویتی D و یا بهره G ۲۴
۵- دهانه موثر، A_e ۲۵
نواحی میدانی آنتن ۲۶
آنتن‌های هورن (شیپوری) ۲۷
آنتن‌های شیپوری چهارگوش ۲۸
آنتن هورن تقسیم‌شده ۳۰
آنتن‌های بازتابنده ۳۱
آنتن‌های بازتابنده سهموی ۳۲
سیستم‌های بازتابنده کسگرین ۳۵

بهره در آنتن‌های بازتابنده ۳۷
بررسی برخی دیگر از پارامترهای تاثیرگذار آنتن ۳۹
دمای آنتن ۳۹
دمای سیستم ۴۰
تداخل‌سنجی ۴۲
بسته بودن فاز و خود تنظیمی برای نقشه‌های تمیز ۴۵
آنتن آرگوس برای نظارت بر کل آسمان ۴۶
آنتن در حالت فرستندگی و گیرندگی و اصل هم پاسخی ۴۷
۱ـ حالت گیرندگی ۴۷
۲ـ حالت فرستندگی ۴۸
اندازه‌گیری بهره و الگوی آنتن‌های بسیار بزرگ ۴۸
رادیو تلسکوپ اوهایو (گوش بزرگ) ۵۰
مزایای آنتن گوش بزرگ ۵۱
نسبت f/d ۵۳
نتایج حاصل از شبیه سازی ۵۵
آزمایش اول (نسبت f/d = 1) ۵۵
مشخصات ظاهری آنتن بازتابی ۵۵
مشخصات ظاهری آنتن مونوپل ۵۵
مشخصات شبیه‌سازی ۵۵
آزمایش دوم (نسبت f/d = 0.66) ۶۱
مشخصات ظاهری آنتن بازتابی ۶۱
مشخصات ظاهری آنتن مونوپل ۶۱

مشخصات شبیه‌سازی ٦١
آزمایش سوم (نسبت f/d = 1.5) ٦٦
مشخصات ظاهری آنتن بازتابی ٦٦
مشخصات ظاهری آنتن مونوپل ٦٦
مشخصات شبیه‌سازی ٦٦
آزمایش چهارم (نسبت f/d = 2) ٧١
مشخصات ظاهری آنتن بازتابی ٧١
مشخصات ظاهری آنتن مونوپل ٧١
مشخصات شبیه‌سازی ٧١
نتایج حاصل از شبیه‌سازی ٧٦
آزمایش اول ٧٧
مشخصات ظاهری آنتن بازتابی ٧٧
مشخصات ظاهری آنتن مونوپل ٧٧
مشخصات شبیه‌سازی ٧٧
آزمایش دوم ٨٠
مشخصات ظاهری آنتن بازتابی ٨٠
مشخصات ظاهری آنتن مونوپل ٨٠
مشخصات شبیه‌سازی ٨٠
فصل سوم ٨٣
پیش تقویت‌کننده ٨٤
مخلوط‌کننده ٨٤
فیلتر ٨٥

نویز در شبکه‌های دو قطبی ۸۶
بهره توان ۹۰
شبیه‌سازی ۹۰
۱ـ تقویت‌کننده‌ها ۹۳
۲ـ مخلوط‌کننده‌ها ۹۴
۳ـ فیلتر ۹۵
۴ـ اسیلاتور ۹۶
فصل چهارم ۱۰۰
طراحی تقویت‌کننده کم‌نویز ۱۰۱
معادلات بهره توان ۱۰۱
ملاحظات پایداری ۱۰۳
تطبیق مزدوج همزمان: حالت دو طرفه ۱۱۰
دوایر عدد نویز ثابت ۱۱۵
شبیه‌سازی تقویت‌کننده کم‌نویز ۱۲۱
۱ـ تعیین شرایط پایداری ۱۲۲
۲ـ رسم دوایر نویز ثابت ۱۲۲
مراجع ۱۲۷

چکیده

استفاده از رادیوتلسکوپ‌ها در اخترشناسی به علت برخی مزیت‌ها، با روند رو به رشدی مواجه بوده است. امروزه استفاده از انواع گیرنده‌های الکترومغناطیسی نظیر گیرنده‌های اشعه گاما، اشعه ایکس و به طور ویژه آنتن‌های امواج رادیویی (رادیوتلسکوپ) یک امر رایج در اخترشناسی است.

در این پروژه سعی شده است، پس از معرفی مختصری از اخترشناسی رادیویی، ابزارآلات و تکنیک‌های گوناگون مورد استفاده در این شاخه از اخترشناسی معرفی شوند و به طور خاص به رادیوتلسکوپ پرداخته و پس از معرفی بخش‌های سازنده رادیوتلسکوپ به تحلیل و شبیه‌سازی آنتن رادیوتلسکوپ به کمک نرم‌افزار *Super Nec* می‌پردازد.

در بخش دیگر پروژه به عملیات آماده‌سازی سیگنال برای پردازش می‌پردازد و ضمن معرفی قطعات مورد استفاده در این بخش و بررسی مدارات مختلف در بخش *RF* رادیوتلسکوپ، تکنیک‌های مورد استفاده در این پروسه را بررسی می‌کند. در این بخش کل سیستم پس از آنتن به کمک نرم‌افزار *ADS* شبیه‌سازی شده است.

فصل اول

مقدمه

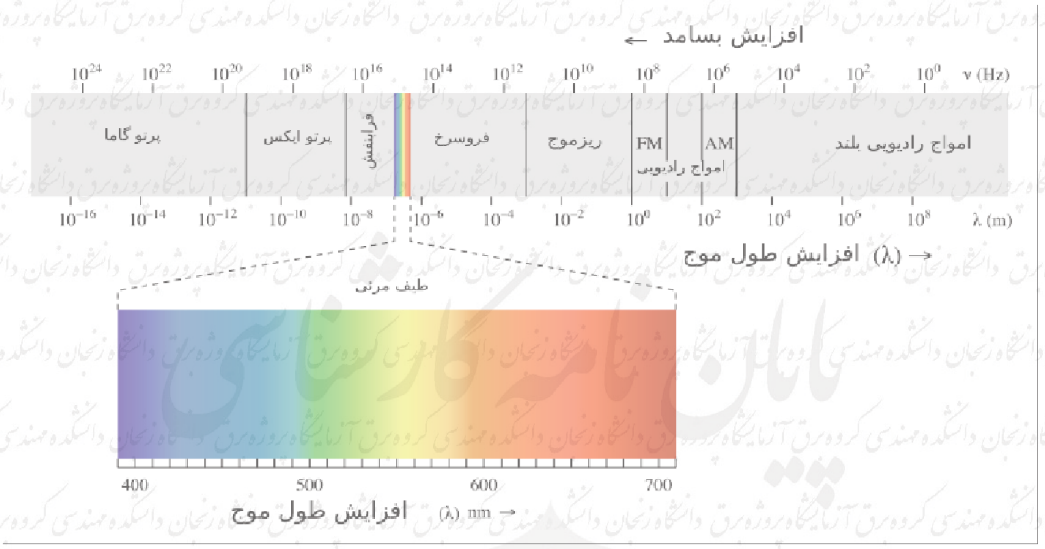
در اوایل قرن هفدهم میلادی گالیله با ساختن تلسکوپ، چشم خود را به ابزاری مسلح نمود که می‌توانست توانایی رصد او را افزایش دهد. هرچند امروزه تلسکوپ‌هایی به مراتب قوی‌تر و حساس‌تر از آنچه گالیله ساخته بود طراحی و تولید می‌شوند، اما اصل موضوع هنوز تغییر نکرده است. واقعیت این است که باید نوری وجود داشته باشد تا تلسکوپ با جمع‌آوری و متمرکز ساختن آن تصویری تهیه نماید.

جیمز کلارک ماکسول، فیزیکدان برجسته انگلیسی در قرن نوزدهم میلادی پی به ماهیت الکترومغناطیسی نور برد. در واقع امواج الکترومغناطیسی تنها به نور محدود نمی‌شوند و طیف گسترده‌ای را در بر می‌گیرد، اما چشم ما فقط قادر به ایجاد تصویر از محدوده خاصی از این طیف گسترده است که ما آن را نور می‌نامیم. برای مشاهده و درک سایر طول موج‌های ارسالی، احتیاج به ابزاری جهت جمع‌آوری، آنالیز و آشکارسازی آنها به شکل صوت یا تصویر داریم.

امواج الکترومغناطیسی طیف بسیار وسیعی از طول موج‌های بسیار کوچک تا بسیار بزرگ را در بر می‌گیرد. این امواج را با توجه به اندازه طول موج به هفت دسته مختلف تقسیم‌بندی می‌کنند که امواج گاما با طول موج‌هایی کوچک‌تر از $۱۰^{-۹}$ سانتی متر تا امواج رادیویی با طول موج بزرگ‌تر از ۱۰ سانتی متر را شامل می‌شوند. شکل ۱-۱ طیف امواج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد.

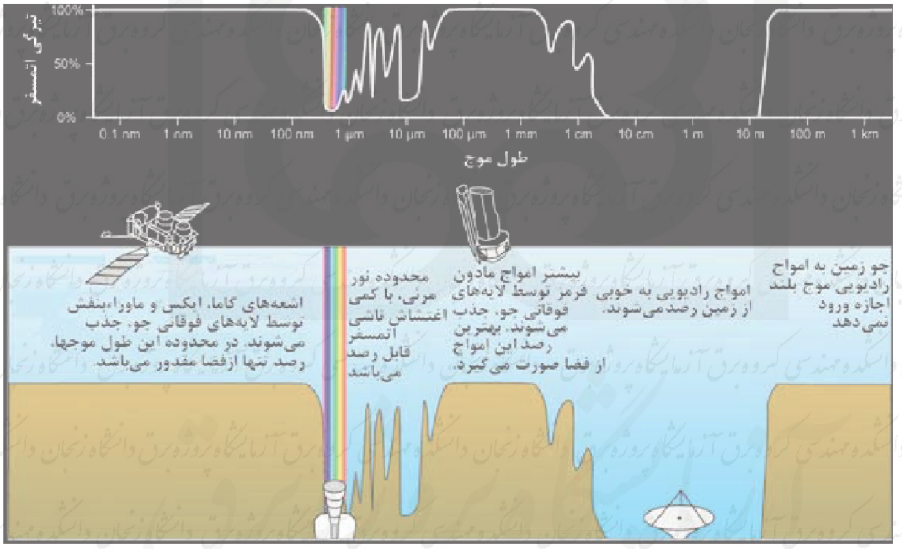
امواج نوری قابل رویت برای چشم انسان، محدوده بسیار کوچکی از این طیف گسترده را شامل می‌شود. با حرکت از سمت امواج رادیویی به سمت امواج اشعه گاما، همزمان با کاهش طول موج، فرکانس و در نتیجه طبق رابطه پلانک ($E = h\upsilon$) انرژی نهفته در موج نیز زیاد می‌شود.

در هنگام رصد از سطح زمین، دریافت و آشکارسازی امواج الکترومغناطیسی با مشکلی روبرو می‌شود که به اثرات جو غلیظ زمین مربوط است. جو زمین تنها به محدوده امواج مرئی، مایکروویو و رادیویی، آن هم با جذب و پراکنده ساختن بسیار، اجازه عبور می‌دهد



شکل ۱-۱ـ طیف الکترومغناطیسی

از آنجا که امواج مایکروویو بخشی از امواج رادیویی محسوب می‌شوند، با آشکارسازی محدوده وسیع امواج رادیویی گسیل شده از آسمان، راه دیگری برای رصد اجرام سماوی گشوده می‌شود که آن را اخترشناسی رادیویی[1] می‌نامند.



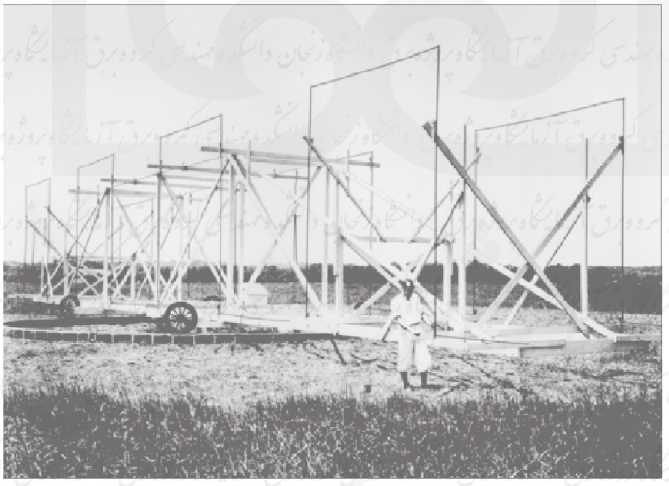
شکل ۲-۱ـ تاثیر جو بر روی امواج الکترومغناطیسی

[1] Radio astronomy

اخترشناسی رادیویی

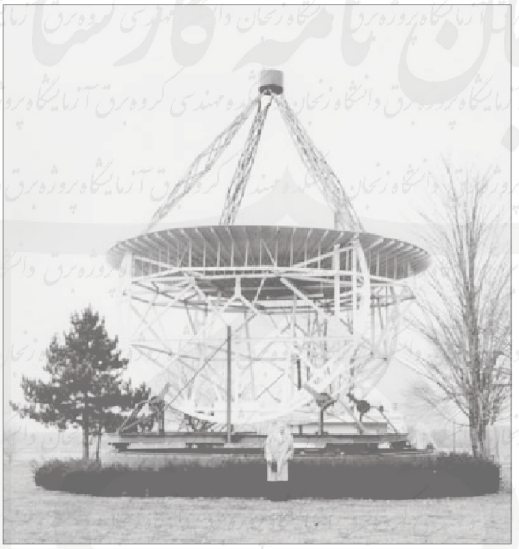
در دهه ۲۰ میلادی، شرکت تلفنی بل شروع به ارائه خدمات تلفنی دوربرد با طول موج $\lambda = 15m$ کرد. این پروژه بدلیل بروز نویزهایی که منشا آنها نامشخص بود، با مشکلاتی مواجه شد. به همین دلیل شرکت بل از مهندس کارل یانسکی خواست تا علت را بررسی کند.

یانسکی برای یافتن علت، آنتن‌هایی ساخت که در فرکانس 20.5 MHz کار می‌کردند. در واقع می‌توان این آنتن‌ها را اولین رادیوتلسکوپ دانست. یانسکی پس از تحقیقات بسیار متوجه شد که بخشی از نویزها به علت رعد و برق است، اما باز هم نویزهای دیگری وجود داشتند. این نویزها که صداهایی هیس مانند تولید می‌کردند هر روز تقریبا ٤ دقیقه زودتر آغاز می‌شدند. همین مسئله باعث شد تا فکر یانسکی به آسمان معطوف شود چرا که می‌دانست که شبانه روز نجومی (زمان حرکت وضعی زمین نسبت به ستارگان) ٤ دقیقه کمتر از شبانه روز خورشیدی (مدت زمان حرکت وضعی زمین نسبت به خورشید) است. بنابراین، یانسکی متوجه شد که منبع این امواج رادیویی بایستی در خارج از منظومه شمسی و در مرکز کهکشان راه شیری باشد. در حقیقت نویزهای دریافتی یانسکی امواج رادیویی بودند که در اثر برخورد الکترون‌ها و پروتون‌های پرانرژی با گازها و غبار بین ستاره‌ای و بقایای به جا مانده از انفجارهای ابرنواختری در کهکشان راه شیری بوجود آمده بودند.



شکل ۳-۱ـ آنتن‌های ساخته شده توسط کارل یانسکی

اخترشناسان حرفه‌ای در ابتدا به توان بالقوه اخترشناسی رادیویی پی نبردند و در عوض یک اخترشناس آماتور بنام گروت ربر در سال ۱۹۳۶ برای نخستین بار و به صورت آگاهانه یک آنتن برای جمع‌آوری سیگنال‌های رادیویی طراحی کرد. او برای نخستین بار نقشه‌ای از منابع قوی تابش رادیویی را به دست آورد. او نخستین کسی بود که رادیوتلسکوپ با آنتن بازتابنده سهموی ساخت و توانست نقشه رادیویی کهکشان راه شیری را در فرکانس 160 MHz ترسیم کند.



شکل ٤-١ـ اولین رادیوتلسکوپ ساخته شده توسط گروت ربر

شدت تابش

یکی از مشکلات اخترشناسی رادیویی کم بودن شدت تابش است. به طوری که رصد رادیویی را بسیار مشکل می‌کند. یک ستاره را می‌توان در حالت ایده‌آل منبع تابش سیاه فرض کرد که در طول موج‌های مرئی بیشترین امواج را ساطع می‌کند. میزان درخشندگی و یا شدت تابش یک جسم سیاه ایده‌آل در فضای آزاد به کمک قانون پلانک محاسبه می‌شود و داریم:

$$B_\nu(t) = I_\nu(t) = \frac{2h\nu^3}{c^2}\left(\frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kt}} - 1}\right)$$

و با کمک بسط تیلور داریم:

$$e^{\frac{h\nu}{kt}}-1\cong 1+\frac{h\nu}{kt}+\cdots-1\cong\frac{h\nu}{kt}$$

در نتیجه با جایگذاری در رابطه بالا داریم:

$$B_\nu(t)\cong\frac{2h\nu^3}{c^2}\frac{kt}{h\nu}=\frac{2kt\nu^2}{c^2}=\frac{2kt}{\lambda^2}$$

اگر به طور مثال خورشید را که دمای فتوسفر یا سطح مرئی آن در حدود ۵۸۰۰ کلوین است را در نظر بگیریم و فرض کنیم فناوری دهه ۱۹۳۰ قدرت دریافت فرکانس 1 GHz را داشته است آنگاه داریم:

$$B_\nu(t)\cong\frac{2kt\nu^2}{c^2}=\frac{2(1.38\times10^{-23})(5800)(109)^2}{(3\times10^8)^2}=1.78\times10^{-18}$$

که عدد بسیار کوچکی است. حتی رادیوتلسکوپ‌های مدرن امروزی نیز قادر به ردیابی پرتوهایی با فرکانس 1 GHz را که از فتوسفر ستاره‌ای مانند خورشید که در فاصله‌ی بسیار کمی از ما قرار دارد انتشار می‌یابد، نیستند. به همین دلیل اخترشناسی رادیویی بیشتر به بررسی کهکشان‌ها و دیگر اجرام پرانرژی و بزرگ می‌پردازد تا اجرامی همانند ستارگان.

یکی دیگر از معایب رادیوتلسکوپ‌ها، قدرت تفکیک بسیار پایین آنهاست. یعنی تعیین محل دقیق منابع رادیویی در آسمان بسیار مشکل است. با توجه به فرمول زیر:

$$\alpha=\frac{2.1\times10^5\lambda}{d}$$

که در آن d، اندازه دهانه رادیو تلسکوپ است. یعنی هرچه دهانه بزرگ باشد، قدرت تفکیک بهتر است و یا هرچه λ بزرگتر باشد قدرت تفکیک کم می‌شود. در واقع هرچه α یعنی معیار ثانیه قوس کمتر باشد، قدرت تفکیک بالا می‌رود. این مسئله مشکل بزرگی است، زیرا امواج رادیویی معمولا دارای طول موج بلندی هستند (معمولا ۲×۱۰^5 برابر امواج مرئی) و با توجه به فرمول فوق برای رسیدن به قدرت تفکیکی برابر با قدرت تفکیک تلسکوپ‌های اپتیکی می‌بایستی طول دهانه نیز با همین نسبت بزرگ شود که امری غیرممکن است. به همین دلیل از روش تداخل‌سنجی استفاده می‌شود. البته در حالت

عادی ساخت رادیوتلسکوپ‌های بسیار بزرگ امر رایجی است (نمونه‌اش رادیوتلسکوپ آرسیبو با قطر ۳۰۵ متر) چرا که می‌توان سطح آنتن بازتابنده را به صورت شبکه‌ای ساخت (این مسئله در نتیجه تاثیری ندارد) اما رسیدن به سطح دهانه‌ای ۲۰۰۰۰۰ برابری حتی با این ویژگی منحصر به فرد امری ناممکن است.

بنابراین لزوم استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی رادیویی امری اجتناب‌ناپذیر است. در بخش‌های بعدی در مورد تداخل‌سنجی رادیویی بیشتر بحث خواهد شد.

یکی دیگر از مشکلات، تداخل امواج رادیویی دست‌ساز بشر (البته این مشکل برای تلسکوپ‌های اپتیکی در برابر آلودگی نوری هم وجود دارد) و همچنین امواج رادیویی‌ای است که با جو زمین برخورد کرده و به دلیل تغییر فاز موجب ایجاد اختلال در کار رادیوتلسکوپ می‌شوند. به همین دلیل رادیوتلسکوپ‌ها معمولا در ارتفاعات که جو رقیق‌تری دارند و مکان‌هایی که از شهر دور هستند ساخته می‌شوند.

مساله دیگر که وجود دارد فاصله زیاد منابع رادیویی، طول موج بلند و در نتیجه فرکانس و انرژی پایین امواج رادیویی دریافتی است. به همین دلیل در قسمت دریافت‌کننده رادیوتلسکوپ‌ها از تقویت‌کننده‌های همسان استفاده می‌شود تا امواج دریافتی تقویت شده و اغتشاشات موجود آن حداقل شود. به منظور جلوگیری از ورود نویز اضافی به سیستم، این تقویت‌کننده‌ها باید در دمایی که حداقل میزان آن از طریق رابطه‌ی زیر به دست می‌آید، نگهداری شوند:

$$T = \frac{h\nu}{2k}$$

که در آن k ثابت بولتزمن، h ثابت پلانک، و T معرف دما است. در طول موج‌های مرئی، حداقل این دما باید 10^4 کلوین باشد. به همین دلیل در کار با امواج فرکانس پایین، از ابررساناها[1] استفاده می‌شود.

[1] Super coductor

برخی اکتشافات مهم رادیویی

از جمله مهم‌ترین و تاثیرگذارترین اکتشافات رادیویی عبارتند از:

۱ـ کشف کهکشان‌هایی به نام کهکشان‌های رادیویی (کهکشان‌هایی که با ابزارآلات اپتیکی قابل تشخیص نیستند و فقط امواج رادیویی از خودشان ساطع می‌کنند) و همچنین اجرام شگفت‌انگیزی همانند کوازارها و سیاهچاله‌های بسیار بزرگ و ستاره‌های نوترونی.

۲ـ تابش زمینه میکروموج که رازهای پیدایش هستی را در خود دارد (یکی از بزرگترین اکتشافات بشر در قرن گذشته که جایزه نوبل را برای کاشفانش به همراه داشت).

۳ـ اشعه گرانش (یکی از بحث برانگیزترین و چالش‌انگیزترین مباحث در نجوم و فیزیک) براساس نظریه نسبیت عام انیشتین، اشعه گرانشی نتیجه حرکت اشیا در فضا ـ زمان است درست مانند امواجی که یک کشتی در حین حرکت بر روی آب ایجاد می‌کند. به کمک معادلات نسبیت عام می‌توان ثابت کرد اشعه گرانشی با سرعتی معادل سرعت نور در خلاء، در فضا از منبع مولد خود به اطراف حرکت می‌کند. برای درک بهتر این مطلب فرض کنید خورشید به یک‌باره از مرکز منظومه شمسی حذف می‌شد. در آن صورت حدود ۸ دقیقه (معادل زمانی که نور برای پیمودن فاصله خورشید تا زمین صرف می‌کند) طول می‌کشید تا تاثیر این واقعه بر روی زمین احساس شود.

٤ـ سیارات خارج از منظومه شمسی

۵ـ رصد ابرهای هیدروژنی و مکان‌های تولد ستارگان جدید

چگونگی تولید امواج رادیویی

۱ـ تابش حرارتی

۱-۱ـ تابش جسم سیاه

۱-۲ـ تابش الکترون‌های آزاد (تابش برمسترالانگ)

۱-۳ـ تابش خطوط طیفی

۲ـ تابش غیر حرارتی

۱-۲ـ تابش سینکروترون

۲-۲ـ تابش ژیروسینکروترون

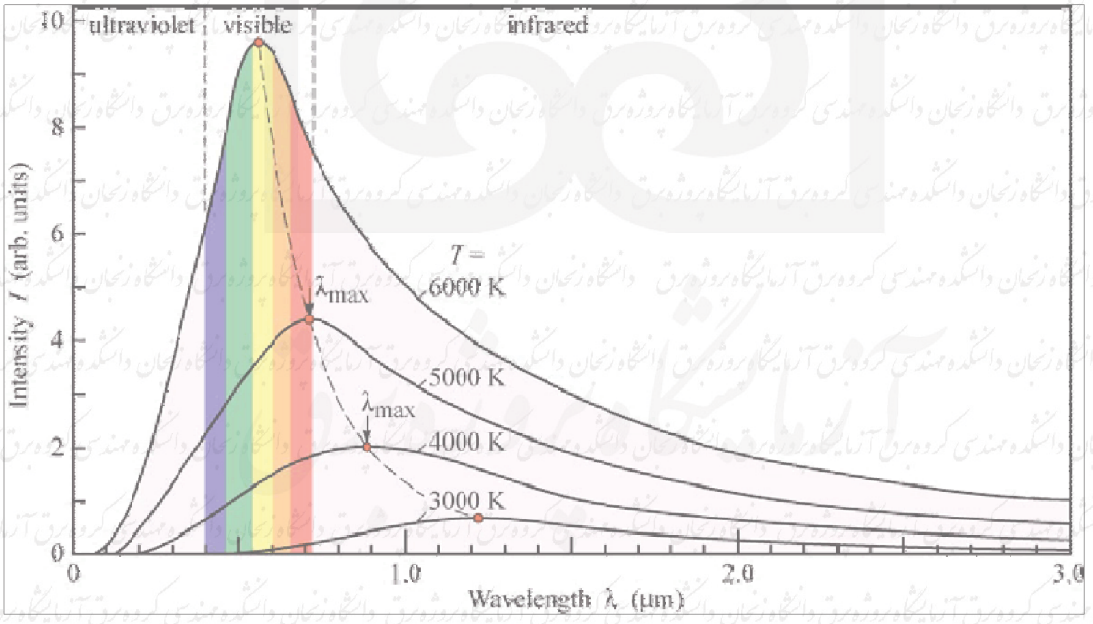
۳-۲ـ میزرها

۱ـ تابش حرارتی

تابش حرارتی در اثر برخورد الکترون‌هایی که سرعت آن‌ها بسیار کمتر از سرعت نور است و به دمای جسم بستگی دارد رخ می‌دهد.

۱-۱ـ تابش جسم سیاه

می‌دانیم هر شی یا ماده‌ای که دمای آن از صفر مطلق بیشتر باشد امواج حرارتی ساطع می‌کند. دمای جسم سبب می‌شود اتم‌ها و مولکول‌های تشکیل‌دهنده آن به اطراف حرکت و با یکدیگر برخورد کنند و در نتیجه راستای حرکت خود را تغییر دهند. این بدان معناست که شتاب الکترون‌ها تغییر می‌کند. هنگامی که ذرات باردار شتاب می‌گیرند امواج الکترومغناطیسی ساطع می‌کنند که به آن تابش جسم سیاه می‌گویند و ارتفاع قله آن معرف دمای جسم است.



شکل ۵-۱ـ تابش جسم سیاه

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

مراجع

[1]- John D. Kraus, Ronald J. Marhefka. " Antennas: for all applications ". Mc Graw-Hill. Pp. 691-707, 2002.

[2]- Merrill L.Skolnik. " Introduction to RADAR systems ". Mc Graw-Hill. Pp. 1-25, 2001.

[3]- Thomas L. Wilson, Kristen Rohlfs. " Tools of Radio Astronomy ". Springer. Pp. 121-233, 2008.

[4]- Warrant L. Stutzman. " Antenna theory and design ". Wiley. Pp. 631-714, 1997.

[۵]- رضوی، بهزاد - و شیری، داریوش. "میکروالکترونیک"، انتشارات نص، ص ۱۸۵-۲۲۲، ۱۳۸۷.