فصل نامه علمی – دانشجویی انجمن فیزیک دانشگاه الزهرا (س)
شماره ۳۵/ زمستان ۱۳۹۹/ بها: ۵۰۰۰ تومان

پرونده ویژه این شماره:

رد پای رادار

شیطان ماکسول، آزمایشی فکری برای نقض قانون دوم ترمودینامیک

آنتن پلاسمایی: اهمیت و کاربردها

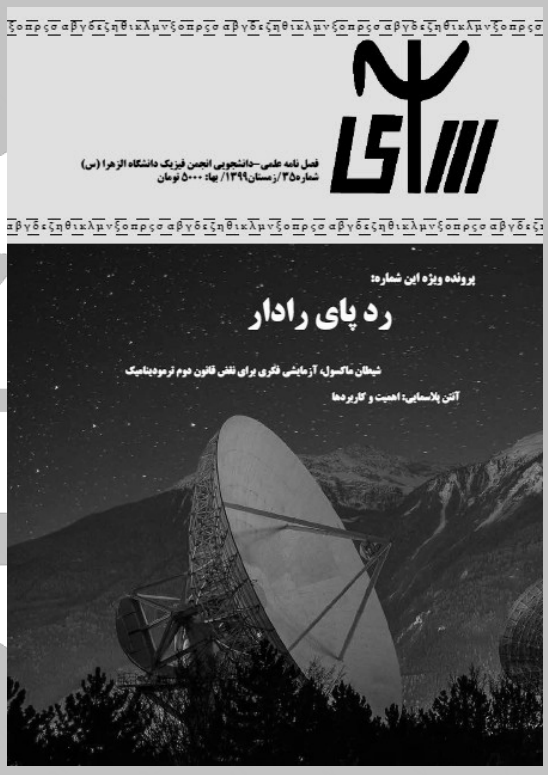
بسم الله الرحمن الرحیم

صاحب امتیاز: انجمن علمی فیزیک دانشگاه الزهرا (س)
زیر نظر: مرکز فعالیت‌های فوق برنامه
سردبیر و مدیرمسئول: مهرناز ذبایحی نجف‌آبادی
مشاور سردبیر: محدثه رفیعی
استاد مشاور: سرکار خانم دکتر زهرا سادات حسینی
طراحی جلد: مرضیه انبری، محدثه رفیعی
صفحه آرایی: مرضیه انبری
ویراستار: مهرناز ذبایحی نجف‌آبادی، محدثه رفیعی
همکاران این شماره: نسترن مظفری، نیلوفر مطفری، فهیمه جهانبخشی، عرفان قاسمی، کیمیا آمارمحمدی، مهرناز ذبایحی نجف‌آبادی، صبا طاهرپور، ریحانه قائمی‌نژاد، فاطمه عابدی، مریم شاهدی
نشانی: ایران، تهران، خیابان ده ونک، دانشگاه الزهرا (س)
کد پستی: ۱۹۹۳۸۹۳۹۳۷
چاپ دامون
کلیه حقوق مطالب چاپ شده در این نشریه، متعلق به نویسنده اثر است.
از سرکار خانم زهرا وزیری که ما را در امور نشریه یاری دادند، سپاس‌گزاریم.

psijournalphysics@gmail.com

psijournalphysics

psijournalphysics



فهرست:

سرمقاله ۲
چشم اندازی به لایه های نازک تیتانیوم دی اکسید ۳
پرونده ویژه این شماره: رد پای رادار ۵
آنتن پلاسمایی: اهمیت و کاربردها ۱۱
شیطان ماکسول، آزمایشی فکری برای نقض قانون دوم ترمودینامیک ۱۹
یادداشت‌های یک فیزیک پیشه ۲۲
کمال هم‌نشینی ماه بر زمین ۲۳

سرمقاله:

در حال اتصال به سرور...

مهرناز زبایحی نجف‌آبادی - سردبیر و مدیرمسئول

حدود یک سال پیش بود که ویروسی با ابعاد نانومتری زندگی متمدن بشر قرن بیست و یکم را به هم ریخت و آغازگر تعطیلی‌ها، دور کاری‌ها، فاصله‌گذاری‌های اجتماعی و قرنطینه‌ها شد. مدارس و دانشگاه‌ها از جمله اولین مراکز تعطیل شده بودند، هرچند آموزش را نمی‌توان تعطیل کرد و به‌همین خاطر و به لطف تکنولوژی و اینترنت، کلاس‌های درس به خانه‌ها برده شد، گچ و تخته با نشانگر و نمایشگر کامپیوترهای خانگی جایگزین شد و آموزش مجازی پا به عرصه وجود گذاشت.

دیگر خبری از ایستادن در صف‌های طولانی و وقت‌گیر اتوبوس‌ها و تاکسی‌ها در اوایل صبح و بعد از ظهر نبود و فاصله هرکس تا کلاس درس فقط چند دقیقه شد و تنها با چند کلیک کلاس چند ده نفره از دانشجویان و استاتیدی که هریک در جایی از کشور در منزل خود بودند، تشکیل می‌شد. برداشته شدن حمل و نقل از سر راه کاهش یافتن ترافیک و آلودگی کلان شهرها را به دنبال داشت، و شاید مهم‌تر از آن می‌توان گفت تا حدود زیادی در وقت برای همه صرفه‌جویی شد.

اما بی‌شک اضطراب‌ها و فشارهای روانی ایجاد شده بر اثر این همه‌گیری جهانی بر هیچ‌کس پوشیده نیست و کم‌تر کسی است که در ذهنش نشانی از نگرانی و دغدغه‌های بهداشتی، اقتصادی، اجتماعی و روانی مربوط به این معضل نباشد.

برای قشر دانشجو، دانشگاه و علم آموزی بخش بزرگی از دغدغه‌های روزانه است و حال که تمام شیوه‌ها و روش‌های این علم آموزی متحول شده انتظار می‌رود در کنار همه‌ی مزایایی که به آن‌ها اشاره شد، مشکلات و نگرانی‌های جدیدی هم برای این قشر ایجاد شده باشد.

می‌توان به قطعیت گفت که همه‌ی دانشجویان نگرانی‌هایی از بابت شبکه اینترنت دارند، قطع شدن اتصال به خاطر مشکلات اینترنت و یا بیش از حد شلوغ شدن سرورها در کلاس‌های آنلاین و امتحانات برای اکثر دانشجویان مشکل‌آفرین بوده است. قسمت زیادی از کلاس‌های آنلاین به خاطر همین مشکلات عملا فاقد بازدهی لازم‌اند. هرچند تلاش‌های مرکز آموزش‌های مجازی این مشکلات را در ترم اخیر تا حدود زیادی کاهش داده است.

دروس عملی، آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌ها که قطع به یقین از جالب توجه‌ترین واحدهای درسی برای همه دانشجویان بود، حال به گونه‌ای کاملا متفاوت برگزار می‌شود. یک سال پیش هیچ‌کس فکرش را هم نمی‌کرد روزی جای تمام پویایی کارگاه و آزمایشگاه را ویدیویی کوتاه از جانب استاد بگیرد و آن همه شوق و تلاش برای درست انجام شدن آزمایش‌ها، بی‌معنی به‌نظر برسد. خلاصه‌ی کلام، این دروس دیگر به هیچ وجه عملی نیستند و کارایی لازم را ندارند.

قسمتی از نگرانی‌ها هم به ارزشیابی‌ها و امتحانات برمی‌گردد، این مسئله که اساتید نگران تقلب و مشکلاتی از آن قبیل هستند کاملا منطقی و قابل درک می‌باشد اما باید در نظر داشت که هر دانشجو در خانه و در شرایطی متفاوت در حالی که تحت همه‌ی فشارهای روانی اشاره شده قرار دارد امتحان می‌دهد و از طرفی هم با سوال‌های سخت و وقت کم امتحان مواجه می‌شود که در نظر برخی اساتید تنها راهکار مقابله با تقلب است. بیماری احتمالی خود و اعضای خانواده، مشکلات اینترنت، شرایط نامناسب روحی و مسائلی از این دست را به موارد فوق اضافه کنید و به طور واضح در می‌یابید که نمی‌توان انتظار عملکرد قابل قبولی از دانشجو در این وضعیت داشت.

در انتها ناگفته نماند که آموزش مجازی برای اساتید و دانشگاه هم بدون دردسر و مشکل نبوده است و در این بین هم هستند اساتید و مسئولانی که بزرگ‌ترین دغدغه‌شان این روزها دانشجویان‌شان هستند و از هیچ تلاشی برای هموارتر کردن مسیر آموزش برای آن‌ها دریغ نمی‌کنند و ما نیز قدردان و سپاس‌گزار این بزرگواران هستیم. و بدیهی می‌باشد که هر مسیر تازه‌ای در ابتدا سختی‌ها و ناهمواری‌هایی دارد و امید است در آینده‌ای نزدیک با پیش رفتن در این مسیر به کمک آگاهی و درک متقابل از شرایط موجود هم از طرف دانشجویان و هم از طرف مسئولان گرامی ادامه راه یادگیری و آموزش مجازی روشن‌تر از آغازش باشد.

چشم اندازی به لایه‌های نازک تیتانیوم دی اکسید

نیلوفر مظفری-کارشناس ارشد فیزیک حالت جامد (دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات)
نسترن مظفری-کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست (دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات)

تیتانیوم عنصری است که نخستین بار در سال ۱۷۹۱ در انگلستان توسط ویلیام گرگور[۱] کشف گردید. این فلز دارای چگالی کم، استحکام و درخشندگی بالا، سبک، محکم، و مقاوم در برابر فرسودگی می‌باشد[۱]. در طبیعت، بیش از ۹۰٪ از تیتانیوم استخراج شده به صورت تیتانیوم دی اکسید می‌باشد. تیتانیوم دی اکسید یک نیم رسانا با گاف انرژی پهن (حدود ۳/۲ eV) است که در بسیاری از واکنش‌های تجزیه نوری کاربرد دارد[۲]. درخشندگی ، غیر سمی بودن، پایداری در محدوده دمایی وسیع، و پایداری شیمیایی تیتانیوم دی اکسید موجب شده‌است که در طیف وسیعی از صنایع، از جمله در صنعت کاغذ، رنگ پلاستیک، لاستیک، پارچه، و همچنین در ساخت حسگرهای رطوبتی و گازی، سنسورهای شیمیایی، سلول‌های خورشیدی، و خازن‌ها استفاده شود[۳].

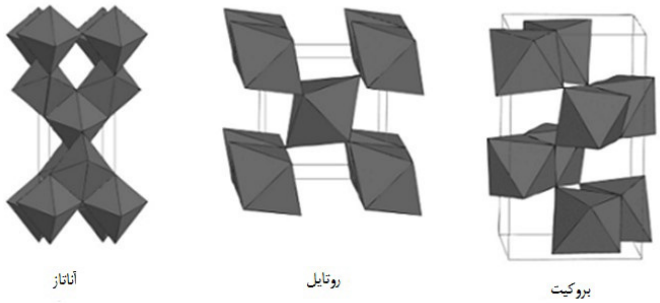
نانوذرات تیتانیوم دی اکسید

در سال‌های اخیر، نانوذرات تیتانیوم دی اکسید به دلیل دارا بودن خواص الکتریکی و اپتیکی خوب، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است. کاربردها و عملکرد تیتانیوم دی اکسید بستگی زیادی به ساختار بلوری و اندازه نانو ذرات دارد، از این رو تلاش‌های بسیاری در تولید و سنتز نانوذرات تیتانیوم دی اکسید با اندازه و شکل کنترل شده‌ای صورت گرفته‌است. تیتانیوم دی اکسید علاوه بر ساختار آمورف، دارای سه فاز بلوری آناتاز[۲] ، روتایل[۳] و بروکیت[۴] می‌باشد[۴]. شکل (۱) ساختارهای تیتانیوم دی اکسید را در سه فاز مختلف نمایش می‌دهد.

فاز آناتاز تیتانیوم دی اکسید دارای ساختار بلوری چهارگوشی، معمولا در دماهای ۳۰۰-۶۰۰ درجه سانتی گراد رخ می‌دهد، که قهوه‌ای مایل به سیاه، زرد و یا آبی رنگ دارد می‌باشد[۵]. فاز روتایل، پایدارترین فاز تیتانیوم دی اکسید، که در دمای بالاتر از ۶۰۰ درجه سانتی گراد تشکیل می‌شود. تیتانیوم دی اکسید در این فاز، در بلورهای ضخیم سیاه و یا قهوه‌ای تیره، و در بلورهای نازک زرد طلایی می‌باشد. مزیت فاز روتایل نسبت به آناتاز ضریب شکست، ثابت دی الکتریک، و مقاومت الکتریکی بالاتر آن است که در صنعت الکترونیک کاربرد زیادی دارد[۶]. فاز بروکیت از نظر خواص فیزیکی از جمله رنگ، شفافیت و چگالی تشابه زیادی به فاز روتایل دارد. فاز بروکیت فاز نیمه پایداری می‌باشد که در دمای بالای ۶۰۰ درجه سانتی گراد به فاز روتایل تبدیل می‌شود[۷].

خواص الکتریکی و اپتیکی تیتانیوم دی اکسید

تیتانیوم دی اکسید از نظر الکتریکی نیم رسانای نوع n با ضریب دی الکتریکی بالایی می‌باشد که در ساختارهای پیزوالکتریکی کاربرد گسترده‌ای دارد[۹]. ضریب دی الکتریک بالای تیتانیوم دی اکسید قابلیت‌های زیادی را برای این ماده از جمله جهت کاربرد به صورت لایه‌های عایق و محافظ فراهم کرده‌است. از نظر خواص اپتیکی، این لایه‌ها دارای شفافیت بسیار در حدود ۷۰-۱۰۰ ٪ در ناحیه طول موج مرئی می‌باشند. همچنین ضریب شکست لایه‌های تیتانیوم دی اکسید برای فاز آناتاز و روتایل بالا بوده و در بسیاری از کاربردهای اپتیکی بسیار مورد توجه قرار گرفته‌است[۱۰].

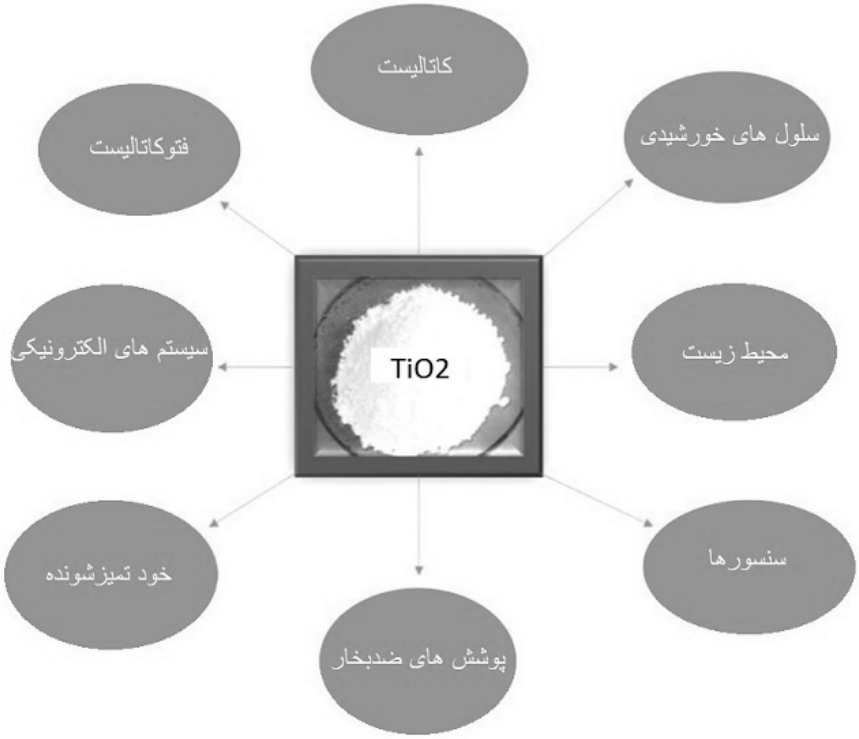


شکل (۱) ساختار تیتانیوم دی اکسید در سه فاز مختلف[۸]

کاربردهای تیتانیوم دی اکسید

تیتانیوم دی اکسید و یا ترکیبات فلزی آلیاژ تیتانیوم دار به علت خواص برجسته ی آن‌ها دارای کاربردهای گسترده‌ای می‌باشند. در سلول‌های خورشیدی پلیمری در اثر جذب نور، الکترون برانگیخته شده و در نوار رسانش اکسید نیم رسانای بلوری ترابرد بار صورت می‌گیرد[۱۱]. همچنین به علت ضریب دی الکتریک بالا در عایق‌های دی الکتریکی به منظور تحمل ولتاژ الکتریکی بالا و یا به عنوان الکترود در باتری های لیتیوم دار استفاده می‌شود[۱۲]. شکل (۲) کاربردهای متنوع تیتانیوم دی اکسید را نشان می‌دهد.

۱ William Gregor
۲ Anatase
۳ Rutile
٤ Brookite



شکل (۲) شماتیکی از کاربردهای گسترده تیتانیوم دی اکسید[۱۳]

مراجع:

[۱] N. Li, et al. Nanoscale Res. Lett., ۵ (۲۰۱۰).
[۲] F. Zhang, et al. J. Mol. Catal. A: Chem., ۱۲۰ (۱۹۹۷).
[۳] S. Yang, et al, Mater. Chem. Phys., ۷۷ (۲۰۰۲).
[۴] K.D. Kim, et al. Colloid. Sur. Eng. Aspects, ۲۲٤ (۲۰۰۳).
[۵] M.S. Francisco, et al. Chem. Mater, ۱٤ (۲۰۰۲).
[۶] H. Lin, et al. Appl. Catal. B-Environ., ۱ (۲۰۰٦).
[۷] R. Zallen, et al. Solid State Commun., ۱۳۷ (۲۰۰٦).
[۸] W. Li, PhD Thesis, Faculty of the University of Delaware, (۲۰۰٤).
[۹] B. Karunagaran, et al. Cryst. Res. Technol., ۳۸ (۲۰۰۳).
[۱۰] S. Matsushima, et al. J. Phys. Chem. Solids, ٦۸ (۲۰۰۷).
[۱۱] M. Okuya, et al. J. Photochem. Photobiol., ۱٦٤ (۲۰۰٤).
[۱۲] W. Qui, et al. J. Power Sources, ۱٥۹ (۲۰۰٦).
[۱۳] N. Raza, et al. Asian J. Atmos., ۱۱ (۲۰۱۷).

پرونده ویژه این شماره: رد پای رادار

کیمیا آمارمحمدی / کارشناسی فیزیک ۹۷
kimiya7mo@gmail.com

شاید باید به ۱۳/۷ میلیاد سال پیش برگشت و به زاد روز فضا و زمان نگاهی کرد. زمانی‌که در کسری از ثانیه انفجاری غیر قابل پیش‌بینی در کیهان رخ داد و جهان ما میلیون‌ها برابر منبسط شد و چه کسی می‌دانست که چندین میلیارد سال بعد موجودی پا به آفرینش خواهد گذاشت که رویای فتح این عظمت از تصورش بیرون نخواهد رفت.

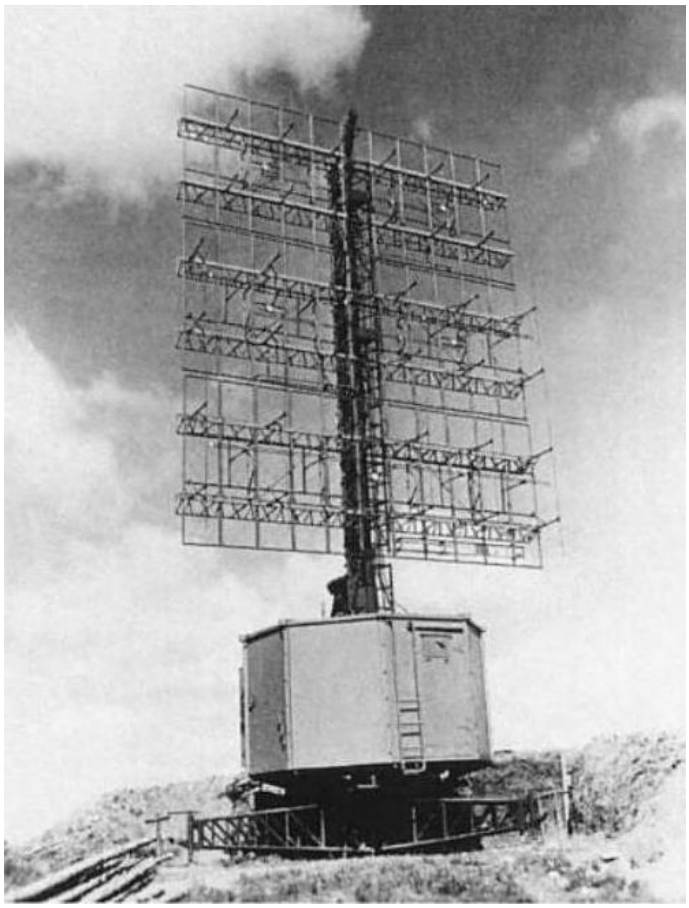
بلند پروازی‌های بشر از گذشته تا کنون موجب شد که وی تلاش‌های زیادی را برای تسخیر آسمان و دریاها انجام دهد بدون آنکه بداند این کار خطراتی هم برای او دارد. حوادثی که در طی تاریخ به علت تاریکی شب و یا ابری بودن هوا برای هواپیما و کشتی ها به وجود آمد و جان هزاران انسان را گرفت، گواهی بر این قضیه است. اما بعدها ورود ابزاری به عرصه ی فناوری نه تنها این خطرات را کاهش داد بلکه انگیزه‌ی انسان برای یکه تازی در کشف کرانه‌های آفرینش را دو چندان کرد.

آشنایی با رادار

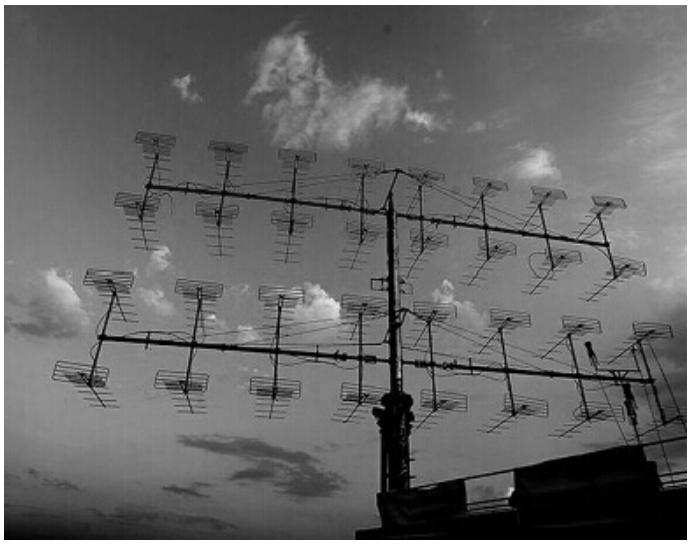
نخستین بار در سال ۱۹۰۱، « هوگو ژرنسبارک» ، که او را «ژول ورن» آمریکایی می‌نامند، در یک داستان علمی - تخیلی، دستگاهی را که امروزه آن را به نام رادار می‌شناسیم طرح ریزی کرد.[۱] شواهد حاکی از آن است که این شئ در یکی از روز های سال ۱۸۳۷ باید سفر خود را از تخیل انسان به سمت واقعیت آغاز کرده باشد. این در شرایطی بود که یکی از دانشمندان سر شناس به نام» جیمز کلارک ماکسول» پیش‌بینی کرد که امواج رادیویی با سرعت نور منتشر می‌شوند و ضمناً امواج رادیویی درست مانند امواج نورانی پس از برخورد به مانعی منعکس می‌شوند. ۱۵ سال بعد دانشمند دیگری به نام «هرتز» گفته‌های «ماکسول» را تأیید و ثابت کرد که این دسته از امواج قابل تولید هستند. تحقیقات او هم‌چنین ثابت کرد که سرعت سیر امواج رادیویی و امواج نورانی با هم برابر است.[۲] در نهایت در سال ۱۹۰۶، یک دانشجوی ۲۳ ساله آلمانی، به نام «هولفس یر» دستگاهی ساخت که قادر بود امواج را به‌سوی مانع بفرستد و بازتاب آن را دریافت کند و به‌وسیله امواج وجود کشتی یا چیز دیگری را از مسافت دور نشان دهد. وی تقاضای ثبت اختراع خود را تحت عنوان «تعیین فاصله اشیا فلزی بوسیله امواج الکتریکی باردار» به اداره ثبت امتیاز برلین داد و صاحب اختراع این دستگاه شناخته شد. radar سرواژه ی کلمه‌یRadio Detection And Ranging»» به معنای «آشکارساز و بردیابی رادیویی» است. این دستگاه برای شناسایی حضور و یا عدم حضور یک جسم در فاصله ای معین ابتدا موج‌های خود را می‌گسلید و در صورتی که مانعی مانند یک شئ پرنده در آسمان، مقابل موج‌های فرستاده شده قرار داشته باشد، از انرژی اولیه‌ی موج کاسته می‌شود وموج‌های ضعیف‌تری به سمت رادار بازگردانده می‌شوند. رادار می‌تواند با ضرب سرعت موج در مدت زمان دریافت موج، فاصله‌ی شئ را محاسبه کند.[۱]

رادار در زندگی

اگر به شما گفته شود زندگی شما توسط امواجی نامرئی احاطه و کنترل می‌شود، چه واکنشی نشان می‌دهید؟ قطعا نمونه‌های شبیه به این را در فیلم‌های علمی تخیلی دیده‌اید اما احتمال نمی‌دهید که در واقعیت هم چنین چیزی ممکن باشد. اما حقیقت این است که امواج رادار با اینکه با چشم غیر مسلح دیده نمی‌شوند اما جهان اطراف ما را احاطه کرده‌اند. رادار برای ردیابی هواپیما در مراکز کنترل ترافیک هوایی، تشخیص سرعت غیر مجاز توسط پلیس، در ناسا برای یافتن موقعیت کره‌ی زمین و دیگر سیارات، در کشتی‌ها برای دنبال کردن ماهواره‌ها و یافتن مسیر درست در دریا، در مراکز نظامی برای شناسایی دشمن و هدایت جنگ افزارها و در هواشناسی برای شناسایی گردبادها و طوفان‌های دریایی استفاده می‌شود. شما حتی نوعی خاصی از رادار را در ورودی فروشگاه‌ها می‌بینید که در هنگام قرار گرفتن اشخاص در مقابل‌شان، درب را باز می‌کنند. کاربرد وسیع رادارها به خودروهای شخصی شما نیز کشیده شده‌است. به طور مثال رادار نقطه‌ی کور که صرفا در سرعت‌های بالای ۱۰ کیلومتر بر ساعت فعال می‌شود، احتمالا جان شما را از تصادفات رانندگی نجات دهد. هنگامی‌که خودرویی در نقطه‌ی کور شما قصد سبقت داشته باشد هشداری با رنگ زرد روی آینه می‌فرستد. درصورتی که خطر جدی‌تر باشد هشداری با رنگ قرمز و درنهایت اگر احتمال تصادف بالا باشد به طور خودکار سیستم ترمز خودروی شما را فعال می‌کند[۳] اما از آنجایی‌که دوربین‌های دیجیتال اساس کار این سیستم هشدار دهنده را تشکیل می‌دهند، لذا می‌توانند محدودیت‌هایی مانند چشم شما را داشته باشند. یعنی این تکنیک معمولاً در موقعیت‌هایی که دید کافی وجود ندارد مانند هوای مه آلود و برفی به خوبی عمل نمی‌کند. در این هنگام سیستم یک پیغام به راننده می‌دهد مبنی بر اینکه استفاده از سیستم هشدار نقاط کور، برای خودروی شما غیر فعال می‌باشد.[۴] البته استفاده‌ی وسیع رادار در صنایع مختلف دلایل متعددی دارد که یکی از آن‌ها قابلیت کارکردن رادار در باند فرکانسی مختلف است.



«نمونه ای از رادارهای اولیه در جنگ جهانی دوم»[۱۷]



«رادار مطلع‌الفجر-۲، یک رادار در باند VHF است که می‌تواند اهداف هوایی را تا برد ۴۸۰ کیلومتر و همچنین اهداف با سطح مقطع پایین را ردگیری کند. این رادار که قابلیت استفاده در تمام شرایط آب و هوایی را دارد دارای ۳۲ آنتن در دو طبقه به فاصله حدود ۲ تا ۴ متر و در هر طبقه دو ردیف و در هر ردیف ۸ آنتن که به طور متقارن حول استوانه نگهدارنده قرار گرفته‌اند، می‌باشد. بنابراین ارتفاع نهایی آنتن‌ها از سطح زمین باید حدود ۱۲ تا ۱۴ متر باشد که همین موجب در افزایش پوشش‌دهی ارتفاع پایین این رادار شده است. ۳۲ آنتن موجود تشکیل ۲ کانال مجزا را داده‌اند که علاوه بر افزایش پایداری عملکرد رادار و قابلیت اطمینان بالا در زمینه شناسایی اهداف هوایی، در صورت بروز هر گونه مشکلی برای یکی از کانال ها، دیگری به کار خود ادامه می‌دهد.»[۱۴]

« رادار Lockheed Martin استرلیا که در حال حاظر در تحقیقات با آزمایشگاه نیروی دریایی آمریکا همکاری می‌کند.» منبع[۲۰]

ختلال‌های راداری

با تمام ویژگی‌ها و کاربردهای شگفت انگیزی که جایگاه رادار امروزی را، در زندگی ما پر رنگ کرده است باید گفت رادارها بدون خطا نیستند و به طور طبیعی در سیستم خود درصدی اختلال دارند چرا که اگر رادار پالسی را به سمت هدف مورد نظر بفرستد، نه تنها به هدف، بلکه به محیط اطراف آن نیز برخورد می‌کند. به‌همین دلیل پالس بازگشتی در سیستم رادار اختلال ایجاد می‌کند. اما با توجه به اینکه محل پیداش اولیه رادار در صنایع نظامی بوده این موضوع ذهن دانشمندان را به این سمت می‌برد که چگونه می‌توانیم در رادارهای دشمن اختلال ایجاد کنیم به‌طوری‌که حرکت ما را در ناحیه خود تشخیص ندهند؟ این موضوع بحث گسترده‌ی ایجاد اختلال در سیستم‌های راداری را مطرح می‌کند. تمامی رادارها به طور طبیعی شامل اختلال (نویز) می‌شوند به همین علت اولین قدم در بسیاری از الگوریتم‌های پردازش راداری، حذف اختلال از تصاویر رادار می‌باشد، چرا که بدون حذف اختلال، این الگوریتم‌ها نتایج خوبی تولید نمی‌کنند. برای مثال اختلال نقطه‌ای که یکی از انواع شایع اختلال‌ها است، مانند لکه‌های سیاه یا روشن روی تصاویر راداری دیده می‌شود. این اختلال در گیرنده رادار باقی مانده و موجب پنهان کردن تصاویر و اهداف از دید رادار می‌گردد. این اختلال از نوع پنهان بوده و معمولاً با استفاده از نوعی سیگنال به شکل سر و صدا انتقال پیدا می‌کند. این تکنیک اختلال می‌تواند بر علیه رادارهای جستجو به کار رود تا برد قابلیت تشخیص هدف آن‌ها را خراب کند. از ویژگی‌های این اختلال می‌توان به افزایش دادن سر و صدا، کاهش دادن احتمال تشخیص، افزایش دادن بیش از حد سیگنال هشدار غلط و مخفی شدن در محدوده قدرتمندی از موج به‌طور کامل اشاره کرد.[۵] البته ایجاد اختلال برای رادار دشمن آخرین راه برای گمراهی آن نیست. برای نمونه جمینگ وضعیتی است که رادار یک هدف غیرواقعی را نشان می‌دهد. از این تکنیک برای ایجاد خطا در آشکار سازی ویژگی‌های هدف از قبیل سرعت و موقعیت مکانی استفاده می‌شود که از مهم‌ترین تکنیک‌ها در جنگ‌های الکترونیکی به حساب می‌آید.[۶] در روش جمینگ ضربه، پالس بسیار باریکی که توانی در حدود مگاوات دارد ارسال می‌شود. پهنای باند چنین پالسی بسیار بزرگ است به گونه‌ای که پهنای باند رادار قربانی را می‌پوشاند. چنین پالسی خصوصیاتی

شبیه یک ضربه را از خود نشان می‌دهد. یکی از مزایای این روش عدم نیاز به آگاهی از فرکانس دقیق رادار دشمن است. با اعمال مناسب ، این پالس‌ها می‌توان دریچه برد راداری که به تعقیب پالس می‌پردازد را جابجا کرد. اگرچه مختل کردن سیستم راداری دشمن در جنگ های الکترونیکی بسیار استفاده می‌شود، اما در شرایط بحرانی وقت گیر محسوب می‌شوند. در این زمان بهترین کار فریب رادار دشمن است. مثلا در صورت ثابت بودن فرکانس رادار دشمن می‌توان هدف‌های دروغین به دریچه‌ی ردگیری رادار قربانی وارد کرد. ابتدا دستگاه فرستنده اختلال را روی فرکانس کار رادار تنظیم می‌کنیم. سپس سیگنالی فریب دهنده، با آخرین پالس دریافتی از رادار را شبیه سازی و مصادف با پالس بعدی، تولید می‌کنیم. با کاهش تأخیر ارسال سیگنال فریب دهنده، جلوتر از بازتاب اصلی موج رادار، وجود یک هدف دروغین برای رادار قربانی شبیه‌سازی می‌شود که از هدف واقعی سریع‌تر حرکت می‌کند و تهدیدآمیزتر است. در نتیجه رادار دشمن هدفی را می‌بیند که نزدیک می‌شود اما واقعی نیست.[۵]

معرفی چند نوع رادار

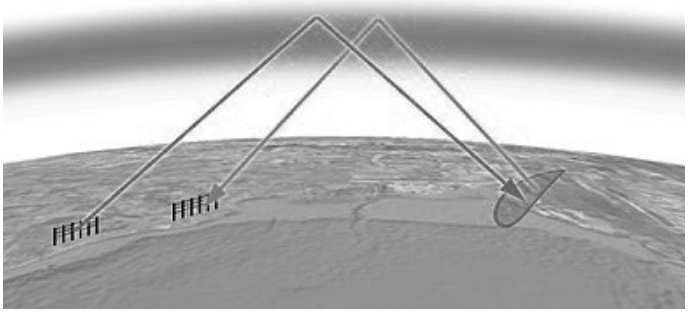
۱.رادار پالسی

رادار پالسی راداری است که ابتدا یک پالس ارسال می‌کند و سپس منتظر رسیدن بازتاب می‌ماند. به عبارت دیگر رادار زمانی در حالت گیرنده قرار دارد که انتهای پالس ارسالی از آنتن خارج شده باشد. این امر مانع از تداخل بین عمل گیرندگی و فرستندگی می‌شود و امکان استفاده از یک آنتن واحد به عنوان گیرنده و فرستنده را فراهم می‌آورد. با اندازه‌گیری زمان بین ارسال و دریافت می‌توان برد هدف نیز را به‌دست آورد. ممکن است پس از ارسال دو پالس بازتاب پالس اول به رادار برسد که در این حالت دچار ابهام در برد می‌شویم. حال اگر یک رادار پالسی از خاصیت اثر دوپلر جهت استخراج سرعت هدف استفاده کند به آن رادار، رادار پالس دوپلری می‌گوییم.[۱] این رادار با فرستادن سیگنال به سمت هدف مورد نظر و دریافت انعکاس آن، که ناشی از اثر دوپلر است، سرعت اجسام در فواصل دور را به داده تبدیل می‌کند. رادار دوپلر تغییرات سیگنال منعکس شده را نسبت به سیگنال اصلی آنالیز می‌کند و اندازه دقیق و مستقیم سرعت مورد نظر نسبت به منبع رادار و جهت پرتو را به ما می‌دهد.[۵]

«رادار دوپلری « NSSL» متعلق به NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)، سازمان ملی اقیانوسی و جوی آمریکا یک رادار هواشناسی طول موج ۱۰ سانتی متری است که برای ردیابی هوای شدید و پدیده‌های هواشناسی مرتبط استفاده می‌شود.»[۵]

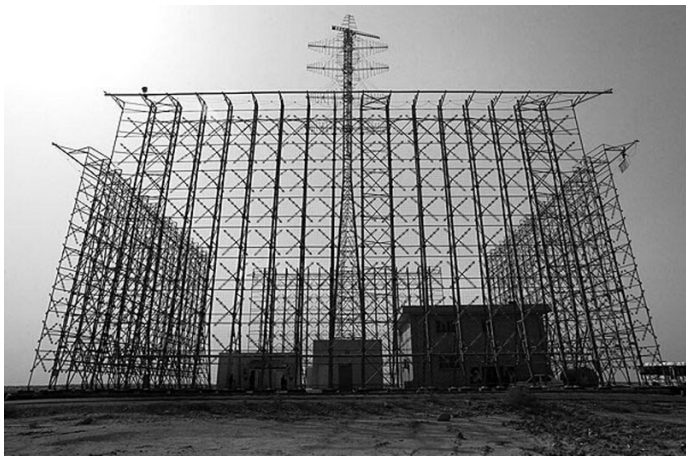
۲.رادار ماورای افق (OTH)

طبق یک قاعده‌ی کلی در رادارها، مسیر حرکت امواج مستقیم است. این بدین معنی است که با توجه به انحنای زمین هرچقدر موج مسافت بیشتری را طی کند، فاصله ی آن از سطح زمین بیشتر می‌شود و در نتیجه نقاط کور بیشتری در رادار به وجود می‌آورد و رادار عملا اهدافی که در خارج از خط انتشار مستقیم موج، ساطع شده باشند را تشخیص نمی‌دهد. اما در مورد رادارهای OTH (Over The Horizen) قضیه کاملا برعکس و متفاوت است. رادار آسمان‌نگر که زیر شاخه ی این گروه از رادارها است، فرستنده‌ای دارد که امواج راداری با فرکانس کوتاه (محدوده ی فرکانسی ۳ تا ۳۰ مگاهرتز) را به لایه ی یونوسفر زمین(ارتفاع ۸۵ تا ۶۰۰ کیلومتری) که قابلیت بازتاب امواج الکترومغناطیسی را دارد؛ می‌فرستد. این عمل علاوه بر کاهش نقاط کور در تصویر، برد رادار را به ۵۰۰ تا ۴۰۰۰ کیلومتر می‌رساند.[۷] اما این دسته از رادارها برای فواصل زیر ۵۰۰ کیلومتر مناسب نبوده و به علت ماهیت شبکه‌ای آنتن‌های فرستنده و گیرنده، امکان حمل و نقل آسان از آن ها سلب شده. علاوه بر این، پروسه‌ی انعکاس سیگنال‌های راداری در آن‌ها به شدت به زاویه بین امواج ارسالی و لایه‌ی یونوسفر بستگی دارد به‌طوری‌که این زاویه به ۲ تا ۴ درجه محدود شده است. ساخت و انعکاس یک پرتوی راداری با چنین زاویه‌ی انعکاسی دقیق، نیاز به فرستنده‌های راداری زمینی با ابعاد بسیار بزرگ دارد که به علت هزینه بسیار بالا در ساخت چنین سازه‌های عظیم، این دسته از رادار های فرا افق‌نگر به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نمی‌باشد و هزینه تمام شده‌ی آن‌ها در حدود چند میلیارد دلار بوده و معمولاً در سطح پروژه‌های کلان ملی کشورها تعریف می‌شوند.[۱] کاربرد غیر نظامی این رادارها در امور اقیانوس‌شناسی و کنترل ترافیک دریایی و کاربرد نظامی آن‌ها در بخش هشدار اولیه سامانه‌های دفاع موشکی بالستیک و کروز است.[۷]



نحوه عملکرد یک رادار OTH: یک سیگنال موج کوتاه قدرتمند از یک آنتن بزرگ انتقال دهنده (سمت چپ) با رد کردن یونووسفر به هدف دیگری از افق می‌رسد و سیگنال بازگشت از هدف (سمت راست) در همان مسیر به آنتن گیرنده باز می‌گردد. [۵]

شبکه رادار عملیاتی Jindalee استرالیا (JORN) شامل سه سیستم رادار ماورای افق (OTH) است و بخشی از یک شبکه نظارت لایه‌ای است که پوشش رویکردهای شمالی استرالیا را فراهم می‌کند.[۲۱]

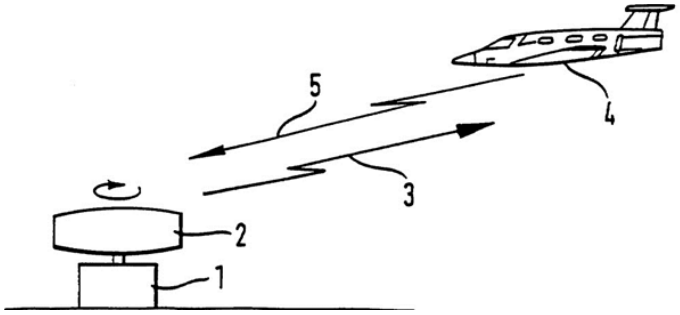


رادار سپهر از نوع رادارهای OTH و دوربردترین رادار کشور است. برد معمول آن ۲۵۰۰ کیلومتر است که قابلیت تغییر از ۸۰۰ کیلومتر تا ۳۰۰۰ کیلومتر را نیز دارد. به وسیله این رادار می‌توان تهدیدات احتمالی را در فاصله بسیار دورتر از مرزها کشف و رصد کرد که این امر زمان تصمیم گیری را بیشتر می‌کند. اهداف ریز پرنده، موشکهای بالستیک و نیمه بالستیک و نیز موشکهای کروز به راحتی توسط این رادار کشف و شناسایی می‌شوند و این امر امروز پدافند هوایی جمهوری اسلامی ایران را به یک مجموعه مقتدر و هوشیار در سطح منطقه تبدیل کرده است.[۱۴]

۳.رادار مراقبت ثانویه (SSR)

شاید فکر کنید که آسمان به این بزرگی چه نیازی به استفاده از رادار دارد؟ اما زمانی که بدانیم در ساعات اوج ترافیک در آسمان حدود ۵۰۰۰ هواپیما تردد می‌کند، به لازمه ی وجود رادار مراقبت ثانویه برای کنترل بهتر این فضا پی می‌بریم. رادار مراقبت ثانویه یا SSR (secondary surveillance radar) دارای آنتنی چرخان است که دائماً به ارسال پالس‌هایی با قدرت کافی جهت رسیدن به هواگردها می‌پردازد،[۱] اما به بازتاب آن متکی نیست چرا که با یک سیستم تقاضا و پاسخ کار می‌کند. یعنی آنتن زمینی امواج را به‌عنوان تقاضا تولید کرده و به سمت هواپیما می‌فرستد که موجب فعال شدن یک فرستنده دیگر در درون هواپیما می‌شود. فرستنده درون هواپیما در پاسخ، امواج الکترونیکی را برای ایستگاه زمینی می‌فرستد. این سیگنال حاوی اطلاعاتی کد شده از قبیل مقصد و برخی اطلاعات پروازی است. به کمک این تکنیک برد رادار تا اندازه‌ی زیادی افزایش می‌یابد و به ۴۵۰ کیلومتر می‌رسد، چرا که سیگنال درخواست اطلاعات رادار و سیگنال پاسخ هواپیما تنها یک مسیر رفت را طی می‌کنند و امواج در مقایسه با سایر روش‌ها تلفات و تضعیف کم‌تری را متحمل می‌شوند. کاربرد دیگر رادارهای مراقبت ثانویه در کنترل ترافیک هوایی است.[۸]

گونه‌ی نظامی رادار های مراقبت ثانویه به IFF (Identification friend or feo) یا سامانه تشخیص دوست از دشمن مشهور است که برای اولین بار در جنگ جهانی دوم از آن استفاده شد.(۱) سیستم تشخیص دوست از دشمن سیستم شناسایی است که برای هدایت و فرماندهی طراحی شده است. این سیستم قابلیت بازجویی هواپیماهای نظامی از تجاری و تعین جهت و فاصله آن از سیستم بازجویی‌کننده را دارد. آنها در ابتدا تنها می‌توانستند تشخیص دهند آیا هواپیمای مورد بازجویی دوست است و یا خیر و دقیقاً قادر به اثبات هواپیمای دشمن نبودند. اگر سیستم بازجویی‌کننده IFF پاسخی دریافت نمی‌کرد و یا پاسخ غیر معتبری دریافت می‌کرد، هدف نمی‌توانست به عنوان دوست تلقی گردد اما این به معنای آن نبود که هدف مورد نظر صد در صد دشمن است، چرا که دلایلی زیادی وجود داشت که هواپیماهای دوست، پاسخ درستی به سیگنال های بازجویی IFF ندهد. با این وجود این سیستم نه تنها آمار تلفات ناشی از اصابت اشتباه به اهداف خودی را کاست، بلکه یک سیستم پشتیبانی از تصمیم‌گیری در میدان نبرد هم بود.[۹]



نحوه‌ی عملکرد یک رادار مراقبت ثانویه(SSR))[۱۸]

رادار M۱۰SR یک رادار مراقبت ثاویه به منظور کنترل خطوط هوایی منبع [۱۹]

۳. رادارهای تصویربردار(SAR)

درباره این رادار ضرب‌المثلی وجود دارد که می‌گوید: «می‌توان با این فن‌آوری حتی ردپای انسان در کویر را شناسایی کرد». رادارهایSAR (Synthetic Aperture Radar) به نوعی از رادارها اطلاق می‌شود که برای امور نقشه‌برداری و تصویربرداری از سطح زمین به کار می‌رود. امواج رادیویی این رادار در تعداد بالا با سرعتی زیاد به سطح مورد نظر تابیده شده و پس از بازگشت تصویری دو بعدی از سطح مورد نظر را در اختیار کاربران قرار می‌دهد. کاربرد اصلی این فن‌آوری در امور نظامی و تهیه نقشه از مناطق مختلف است به گونه‌ای که در جدیدترین مدل‌های موجود SAR قابلیت تهیه تصاویری با قدرت تفکیک ۱۰ سانتی‌متر وجود دارد.[۱۰]

پهنای گستره بسامدها در یک رادار تصویر ساز به طور معمول در محدوده ۱۰ تا ۲۰۰ مگاهرتز است و کار اصلی آن انطباق دقیق و درست تغییرات بسامد در نتیجه‌ی اثر دوپلر برای هر نقطه از تصویر است. چنین کاری نیازمند آگاهی کامل از حرکت نسبی رادار تصویرساز و سطح شیٔ‌ای است که از آن تصویربرداری می‌شود که البته کار ساده‌ای نیست چرا که خود رادار نیز در حرکت است. رادار تصویرساز مانند دوربین عکاسی فلش‌دار کار می‌کند؛ چرا که از نور، برای روشن کردن منطقه‌ای از زمین و عکس برداری از آن استفاده می‌کند. دوربین عکاسی یک پالس نوری به صورت فلش از خود تابش می‌کند و نوری که بازتابیده می‌شود را از راه عدسی‌های خود روی فیلم ثبت می‌کند. رادار به جای عدسی و فیلم از نوارهای رایانه‌ای دیجیتال برای ثبت تصاویر دریافتی استفاده می‌کند. در یک تصویر راداری، تنها امواجی که به سوی آنتن رادار بازتابیده شده‌اند، دیده می‌شوند.[۱]

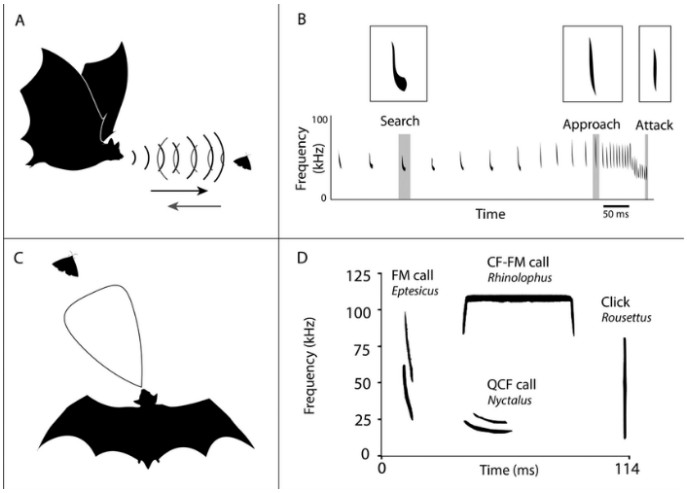
به طور کلی در تصویربرداری راداری دو روش کلی وجود دارد: روش فعال و روش غیرفعال. در روش فعال رادار امواج را به سطح زمین می‌تاباند، سپس بازتاب آن را دریافت می‌کند. در روش غیرفعال موجی ارسال نمی‌شود بلکه تنها امواج موجود در محیط (معمولا امواج خورشید) که توسط زمین بازتاب می‌شود را دریافت می‌کند.[۱۰]

تصاویر در رادارهای SAR شامل تعداد بسیاری عنصر تصویری یا پیکسل، حاصل از بازتاب نقطه‌ای از ناحیه‌ای در زمین هستند. به طور کلی می‌توان گفت که نواحی تیره‌تر در تصویر، نشان دهنده بازتاب‌های ضعیف‌تر و نواحی روشن‌تر که بیان‌گر بازتاب بخش زیادی از انرژی می‌باشد، نشان دهنده بازتاب‌های نیرومندتر هستند. مثلا هر چه بازتاب ثبت شده در یک تصویر روشن‌تر و مشخص‌تر باشد، قطعاً سطح آن ناحیه زبرتر است چرا که سطوح تخت و صاف مانند جاده و بزرگراه‌ها انرژی چندانی به سمت آنتن بازتاب نمی‌کنند و در تصاویر تیره ظاهر می‌شد. اما لزوما تصاویر روشن نماینده‌ی یک سطح زبر نیستند. خیابان و ساختمان‌های شهری، هنگامی که به گونه‌ای در مسیر امواج راداری قرار بگیرند که پالس رادار بتوانند پس از تابش روی خیابان به ساختمان‌های اطراف برخورد کند سپس از روی این ساختمان‌ها دوباره به سمت رادار بازتاب شود، پدیده‌ای به نام بازتاب دوگانه را به وجود می‌آورند که نتیجه آن نقاط بسیار روشن یا سفید در تصاویر رادار است. علاوه بر این سطوحی که رو به سمت رادار باشند بازتاب‌های نیرومندتری نسبت به سطوح دارای شیب دارند. برای نمونه شیب پشتی کوهستان‌ها در تصاویر به شکل نواحی تیره و سایه ظاهر می‌شود. میزان رطوبت نیز بر بازتاب امواج تاثیر می‌گذارد. مثلا اشیای مرطوب‌تر، روشن‌تر و مناطق خشک‌تر، تیره‌تر به نظر می‌رسند. اما سطح آب ساکن از این اصل مستثنی است و به صورت سطح تختی عمل می‌کند که پالس‌های رادار را از آنتن دریافت و به سمت مخالف بازتاب می‌کند به همین دلیل تیره دیده می‌شود.[۱] امروزه با تکنولوژی SAR، می‌توان تغییرات بسیار کوچک در سطح زمین مانند تغیرات یخچال‌ها طی دوره‌های روزانه تا سالیانه در مقیاس جهانی و با دقت در حد میلی متر بدون تأثیر پذیری از شرایط آب و هوایی و یا شب و روز را توسط این رادارها ثبت کرد.[۱۰]

رادار در طبیعت

دانشمندان پیش از آن‌که رادار را یک اختراع بزرگ در عرصه‌ی فناوری بدانند آن‌را کشفی بزرگ می‌دانند چرا که نمونه‌های ساده از طرز کار رادار همواره در طبیعت قابل مشاهده است. در واقع اختراع رادار از یک پدیده فیزیکی و بسیار طبیعی به نام انعکاس گرفته شده است. همه ما بارها و بارها بازگشت صدا را در مقابل صخره‌های عظیم تجربه کرده‌ایم. نور خورشید هم با استفاده از همین پدیده است که هنگام شب با انعکاس از سطح ماه به ما می‌رسد. امواج رادیویی و الکترومغناطیس نیز قابلیت انعکاس و بازتاب دارند و رادار بر اساس همین خاصیت ساده به وجود آمد. بنابراین بشر در ساخت رادار از طبیعت استفاده‌های فراوان و اساسی کرده و با تغییراتی جزئی برای خود وسیله‌ای سودمند ساخته است.[۱۳] اما رادار طبیعی، بیش‌ترین استفاده را برای خفاش دارد. خفاش‌ها از آن‌جا که در شب پرواز می‌کنند، دارای حس بینایی ضعیفی هستند و تنها به کمک طبیعت راداری خود می‌توانند موانع اطراف را تشخیص دهد. خفاش هنگام پرواز فریادهای ابر صوتی خاصی ایجاد می‌کند که پس از برخورد با اجسام مختلف، منعکس می‌شود و به گوشش می‌رسد و به وسیله ی این پژواک صدا، نوع مانع و فاصله‌ی آن را تشخیص می‌دهد و طوری پرواز می‌کند که از تصادف با آنها در امان باشد.[۱۱] از نگاه فیزیک این موضوع خیلی پیچیده‌ای است که آنها می‌توانند در سرعت‌های بالا پرواز کنند و در مسیرشان از همه موانع اجتناب کنند. آنها حتی می‌توانند حشرات کوچک را از چند متری تشخیص دهند. خفاش‌ها از گوش‌هایشان برای تشخیص محل طعمه استفاده می‌کنند. به خصوص خفاش‌های حشره‌خوار که گوش‌هایی بسیار حساس دارند و می‌توانند از راه دور محل یک بید یا یک سوسک را تشخیص دهند. برخی از بیدها برای اینکه طعمه خفاش ها نشوند روش جالبی دارند. نوعی بید که توانایی تشخیص امواج صوتی خفاش را دارد چون می داند که تحت تعقیب خفاش است، امواجی از خود تولید می‌کند که سیستم ردیاب صوتی خفاش را مختل کند. این عملیات دقیقا مشابه اتفاقی است که در صنایع نظامی برای جلوگیری از اختلال‌های راداری و برای امنیت رادار در مقابل

دشـمن انجـام می‌شـود.[۱۲]



A) خفاش‌هـا سـیگنال‌های صوتـی را منتشـر می‌کننـد و سـیگنال‌های بازگشـتی را بـرای درک محیـط خـود تجزیـه و تحلیـل می‌کننـد.
B) فرکانـس طیـف سـنجی در بـازه ای از زمـان، نشـان دهنـده دنبالـه‌ای از سـیگنال‌های سـاطع شـده از خفـاش کـه بـه یـک طعمـه نزدیـک می‌شـود. سـیگنال‌ها مـداوم ویژگی‌هـای خـود را طـی پروسـه جسـت و جـو و حملـه بـه طعمـه تغییـر می‌دهنـد. آنهـا بـا گـذر زمـان، کوتاه‌تـر و در پهنـای بانـد فرکانـس وسـیع‌تر مـی شـوند.
C) خفاش‌هـا می‌تواننـد پرتـو گسـیل شـده خـود را در فضـا هدایـت کـرده و از ایـن طریـق نـگاه صوتـی حسـی خـود را کنتـرل کننـد.
D) خفاش‌هایـی کـه از اسـتراتژی‌های مختلـف تغذیـه‌ای اسـتفاده می‌کننـد، بـه سـیگنال‌های مختلـف متکـی هسـتند.[۱۶]

و در آخـر بایـد گفـت کـه رادار از مظاهـر شـگفت انگیـز قـرن بیسـتم اسـت و بـا ایـن کـه ۷۰ سـال بیشـتر از عمـر آن نمی‌گـذرد نسـبت بـه نمونه‌هـای اولیـه‌ی آن پیشـرفت زیـادی کـرده اسـت. اگـر چـه پیدایـش رادار در صنایـع نظامـی موجـب طولانی‌تـر شـدن جنگ‌هـا شـد، امـا جامعـه‌ی بشـریت بـه خاطـر دسـتاوردهای عظیمـی کـه رادار در زمینـه تصویربـرداری، هوانـوردی، هواشناسـی و نجـوم به‌دسـت آورده؛ مرهـون آن اسـت. بـی شـک ایـن وسـیله گام‌هـای بلنـدی بـه انسـان در سـفر بـه کرانـه‌ی کیهـان داده اسـت.
بـه امیـد آن کـه ایـن سـفر مـاورای تخیـل انسـان را بیشـتر بـه درک تخیـل خـود نزدیـک سـازد.

HF	3 MHz	30 MHz
VHF	30 MHz	300 MHz
UHF	300 MHz	1000 MHz
L	1000 MHz	2000 MHz
S	2000 MHz	4000 MHz
C	4000 MHz	8000 MHz
X	8000 MHz	12000 MHz
K_u	12 GHz	18 GHz
K	18 GHz	27 GHz
K_a	27 GHz	40 GHz
V	40 GHz	75 GHz
W	75 GHz	110 GHz
mm	110 GHz	300 GHz

باندهای فرکانسی رادار و فرکانس هر باند به تفکیک

منابع

۱)www.military.ir
۲)پایـان نامـه «بررسـی الگریتـم هـا و روش هـای اختـلال در سیسـتم هـای رادار و تکنیـک هـای مختلـف مقابلـه بـا آن» نگارنـده (۲ علیرضـا جامـی تیـر ۹۱ دانشـگاه زنجـان
۳)www.jamejamonline.ir
٤)www.gandomcardvd.com
٥)www.fa.wikipedia.org
۶)پایـان نامـه» جمینـگ در رادار» نـگارش امیـر حسـین نیـا، علـی معصومـی دانشـگاه زنجـان، تیـر ۹۰
۷)www.irartesh.ir
۸)www.civilaviation.blog.ir
۹)www.rahrovan-artesh.ir
۱۰)www.hamshahrionline.ir
۱۱)www.daneshnameh.roshd.ir
۱۲)www.sakhtafzarmag.com
۱۳)www.taknaz.net
۱٤)www.mashreghnews.ir
۱٥)www.defaiya.com
۱٦)www.researchgate.net

آنتن پلاسمایی: اهمیت و کاربردها

فهیمه جهان بخشی
کارشناسی ارشد مهندسی پلاسما، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی
f.jahanbakhshi@mail.sbu.ac.ir

عرفان قاسمی
کارشناسی ارشد مهندسی پلاسما، پژوهشکده لیزر و پلاسما، دانشگاه شهید بهشتی
Er.ghasemi@mail.sbu.ac.ir

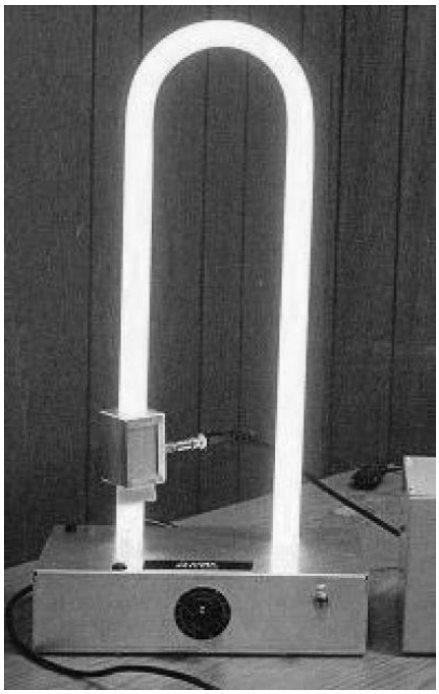
چکیده:
پلاسما رایج‌ترین شکل ماده می‌باشد مجموعه‌ای از ذرات که توسط فرآیند یونش به الکترون‌های منفی و یون‌های مثبت تفکیک می‌شود. از آن‌جایی که در پلاسما ذرات باردار قابلیت کنترل دارند، لذا پلاسما به‌عنوان یک محیط فعال الکترومغناطیسی یکی از موارد مورد توجه و جذاب برای محققین علوم و مهندسین مخابرات می‌باشد .دریافت و انتقال امواج الکترومغناطیسی از ملزومات تکنولوژی امروزه می‌باشد و آنتن وسیله‌ای مناسب و ضروری برای این هدف است .آنتن باید به حدی کارآمد باشد که در موج انتشار یافته، حداکثر شدت سیگنال، و در بازتاب آنتن حداقل اتلاف را داشته باشیم. برای این منظور باید طول آنتن و دیگر مشخصه‌های آنتن متناسب با طول موج و فرکانس دریافتی تغییر کند و به عبارتی آنتن قابل کنترل باشد. با تغییر در خواص پلاسما، آنتنِ پلاسمایی قابل کنترل خواهد شد. از سویی دیگر آنتن‌های فلزی معمولاً برای نصب در پشت بام‌ها ساخته شده و به علت عدم رعایت ارتفاع لازم قدرت دریافت همه سیگنال‌ها، به‌خصوص زمانی که فاصله‌ی آنتن تا مرکز انتقال زیاد باشد، را ندارند. اما در آنتن‌های پلاسمایی به جهت تفاوت در تحریک و مکانیسم تابش، پهنای باند بیشتری نسبت به نوع فلزی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در سال‌های اخیر آنتن پلاسمایی به عنوان یک تکنولوژی جدید و کارآمد برای جایگزینی آنتن‌های فلزی همراه با کارآیی بیشتر طراحی و ساخته شده‌است .در حالت پایدار، آنتن پلاسما با تقریب نزدیک همان الگوی تشعشعی را خواهد داد که نمونه‌ی فلزی آن‌ها در اختیار می‌گذارند با این قابلیت ویژه که با تغییر پارامترهای ماده پلاسما می‌توان فرکانس کاری آن‌را بدون تغییر در طول آنتن افزایش داد. به دلیل پیچیده بودن محیط پلاسما، اکثر این طراحی‌ها تنها براساس آزمایشات عملی انجام گرفته است و تأییدی براساس شبیه سازی انجام نگرفته است.

واژگان کلیدی:آنتن، آنتن پلاسمایی، پلاسما، فرکانس، تشعشع امواج الکترومغناطیسی

۱)مقدمه

از آغاز تمدن بشری مخابرات اهمیت اساسی برای جوامع داشته است و در مراحل ابتدایی مخابرات توسط امواج صوتی از طریق صدا صورت می‌گرفت و سپس در مسافت طولانی‌تر از ابزارهای مخابراتی نوری که از قسمت مرئی طیف الکترومغناطیسی است، استفاده شده و تنها در تاریخ اخیر بشر است که طیف الکترومغناطیسی خارج از ناحیه مرئی برای ارتباطات راه دور از طریق امواج رادیویی به‌کار برده شده است. آنتن رادیویی یک قطعه اساسی در هر سیستم رادیویی می‌باشد یک آنتن رادیویی ابزاری است که امکان تشعشع و دریافت امواج رادیویی را فراهم می‌سازد. در واقع آنتن یک ابزار الکترونیکی است که جریان الکتریکی را به امواج رادیویی (در حالت فرستندگی) و موج رادیویی را به امواج الکتریکی (در حالت گیرندگی) تبدیل می‌کند. بنابراین اطلاعات بدون هیچ گونه تغییر در ساختار و وسیله واسطه بین نقاط و محل‌های مختلف انتقال می‌یابد. مبنای نظری آنتن‌ها بر معادلات ماکسول استوار است [۱].

آنتن پلاسما یک آنتن فرکانس رادیویی است که در آن به‌جای المان رسانای فلزی از المان پلاسما استفاده می‌شود [۲]. آنتن هنگامی که گاز به صورت الکتریکی باردار، یا یونیزه شود، به صورت هادی در می‌آید و اجازه‌ی ارسال و دریافت سیگنال رادیویی را می‌دهد در این آنتن‌ها از گاز یونیزه‌ی محصور شده در یک تیوپ به عنوان المان هادی آنتن استفاده می‌شود [۳و۴]. گاز پلاسما می‌تواند از نوع گاز آرگون، نئون، هلیوم، کریپتون، بخارجیوه و زنون باشد. نمونه‌ایی از آنتن پلاسمایی در شکل ۱ مشاهده می‌کنید.



شکل ۱: نمونه‌ایی از آنتن پلاسمایی [۹]

۲) آنتن پلاسمایی و مکانیسم عملکرد

آنتن پلاسما نوع متفاوتی از آنتن‌ها است که در فناوری آن از گاز یونیزه شده با فشار کم و محفوظ در یک محفظه شیشه‌ای به عنوان هادی استفاده می‌شود. با اعمال یک پالس RF به محفظه حاوی گاز، پلاسما به سرعت تولید و ناپدید می‌شود و بنابراین آنتن به‌سرعت خاموش و روشن می‌گردد. در لحظه خاموش بودن آنتن، گاز داخل محفظه هیچ‌گونه هدایتی ندارد و آنتن ناپدید می‌شود. از این رو بر الگوی تشعشعی سایر آنتن‌ها اثری نخواهد داشت و از دید کلیه رادارها محفوظ خواهد ماند. هنگامی که آنتن روشن می‌شود پلاسما تبدیل به هادی الکتریکی شده و محیطی برای تشعشع سیگنال فراهم می‌کند و تنها در مدت زمان تبادل سیگنال رادیویی قابل رویت خواهد بود. عبارت آنتن‌های پلاسما به‌طور کلی به مجموعه‌ای از آنتن‌ها اطلاق می‌شود که به نوعی از محیط یونیزه به عنوان هادی استفاده می‌کنند. پلاسمایی که به خوبی یونیزه شده باشد هادی خوبی محسوب می‌شود، بنابراین می‌توان آن‌را به عنوان خط انتقالی برای هدایت امواج یا سطح تشعشعی آنتن در نظر گرفت. با استفاده از این فناوری، آنتن‌هایی که در زمان مشخص مورد استفاده قرار نمی‌گیرند سیگنال‌های ناخواسته با توان بالا را به گیرنده‌های مجاورشان منتقل نمی‌کنند و بدین ترتیب، از یک سو ساختار الکترونیکی گیرنده‌ها ساده‌تر شده و از سوی دیگر قابلیت اطمینان سیستم‌ها، به‌ویژه در مقابل تهدیدات جنگ الکترونیک افزایش می‌یابد. [۵]

آنتن‌های فلزی که امروزه در صنایع نظامی مورد استفاده قرار می‌گیرند اگرچه بسیار کارآمد و تأثیرگذار هستند ولی به علت داشتن سطح مقطع راداری بالا می‌توانند مشکل ساز باشند به عنوان مثال رادارهایی که اغلب از آنتن‌های رفلکتوری استفاده می‌کنند، اگرچه کارایی بالایی دارند ولی به علت سطح مقطع راداری بالا به راحتی مورد شناسایی دشمن قرار می‌گیرند . استفاده از پلاسما به عنوان یکی از راهکارهای رادار گریزی این گونه آنتن‌ها به‌شمار می‌رود. ستون پلاسما با تحریک موج سطحی کاربردهای مختلفی در علوم متفاوت دارد، درحالی‌که یکی از مهم‌ترین کاربردهای آن در مخابرات استفاده از آن به عنوان هادی در آنتن می‌باشد. جایگزین کردن فلز با ماده‌ای که قابلیت تشعشع امواج الکترومغناطیسی داشته و بتواند با امواج رفتاری مشابه فلز از خود نشان دهد توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. پلاسما از جمله موادی است که برای این منظور خواص خوبی داشته و آنتن‌های پلاسمایی از مزایای بالایی جهت استفاده در سیستم‌های ارتباطی برخوردار هستند. انعطاف پذیری بالا در کنترل خواص تشعشعی، سبک بودن، قابلیت کوپل شدن در محدوده فرکانسی وسیع و توانایی پنهان شدن از دید رادار از جمله مزیت‌های این ساختارهای جدید می‌باشند. محیط پلاسما از لحاظ خواص الکترومغناطیسی غیرهمگن، غیرخطی و پاشنده به حساب می‌آید. امواج الکترومغناطیسی با تابش بر پلاسما جذب، پراکنده و یا عبور داده می‌شوند . پلاسمای یونیزه شده رسانای خوبی برای الکتریسته می‌شود. و علاوه بر آن حرکات ذرات باردار درون پلاسما به نوبه خود می‌تواند باعث تشعشع میدان الکترومغناطیسی گردد. [۶]

در پلاسمای خنثی توزیع بارهای مثبت و منفی یکنواخت می‌باشد به طوری که در مقیاس ماکروسکوپی پلاسما از نظر الکتریکی خنثی می‌باشد و هنگامی که بارها در اثر اختلال جابجا می‌شوند نوسانات پلاسما (نوسانات بار- فضا) یک میدان الکتریکی ایجاد می‌کنند که بارهای جابجا شده را به حالت تعادل باز می‌گرداند. استفاده از پلاسما به عنوان آنتن، تغییر اساسی در طراحی آنتن‌های رایج که از هادی فلزی استفاده می‌کنند، ایجاد می‌کند . استفاده از گاز یونیزه شده با تحریک موج سطحی به عنوان هادی، مزایای قابل توجهی به آن بخشیده است. با استفاده از ستون پلاسما به عنوان آنتن و با تنظیم سریع مشخصات فیزیکی پلاسما می‌توان آنتنی برای فرکانس جدید طراحی نمود . آنتن پلاسما برای هر نوع مدولاسیون انتقالی نظیر موج پیوسته، مدولاسیون فاز، پالسی، FM و AM و طیف گسترده مدولاسیون‌های دیجیتال مناسب است. آزمایش‌ها و تحلیل‌ها نشان داده‌اند که چنین آنتن‌هایی راندمان نسبتاً خوبی (بیش از ٪ ۵۰) دارند و می توانند نویز کمی در باندهای فرکانسی HF (۳-۳۰ مگاهرتز) تولید کنند. بررسی‌ها نشان داده است که محفظه حاوی پلاسما می‌تواند به طور مستقیم از یک انتها به وسیله‌ی موج سطحی تحریک شود و این تحریک و خواص شگفت‌آور آن بر پلاسما به قابلیت بالای آنتن پلاسمایی کمک کرده و باعث شده سرمایه گذاری‌های بسیاری در زمینه تحقیق و پژوهش روی مشخصات آن‌ها در کشورهای پیشرفته جهان انجام گیرد. [۷]

۳) ساختار آنتن پلاسمایی

برای ساخت آنتن‌های پلاسمایی باید به پارامترهایی از قبیل محیط پلاسما، کوپلر، یونش گاز پلاسما، تغذیه و تئوری و پارامترهای پلاسما در شبیه سازی توجه داشت.

۳-۱) محیط پلاسما

ایجاد یک محیط پلاسمایی از راه‌هایی متعددی ممکن خواهد بود، اما دو روش در این زمینه بسیار مرسوم و کاربردی هستند. اولین و مرسوم‌ترین راه، تخلیه تابناک پلاسما نام دارد. در این روش پلاسما غیرحرارتی به‌وسیله اعمال ولتاژ DC ، یا اعمال میدان الکتریکی فرکانس پایین RF (کم‌تر از ۱۰۰ KHZ) به فضای خالی بین دو الکترود فلزی، ایجاد می‌شود. معمول‌ترین کاربرد این روش در ایجاد پلاسما در لامپ‌های فلورسنت است. روش دوم حرارت‌دهی با موج نام دارد. در این روش هم از امواج RF استفاده شده اما به‌وسیله دو ابزار الکترواستاتیک و الکترومغناطیس حرارت‌دهی می‌شود. این روش معمولا نیاز به یک میدان الکترومغناطیسی هم‌مرکز برای انتشار موج دارد. پلاسمای تولید شده در این روش به دو پلاسمای کوپل خازنی (CCP) و پلاسمای کوپل القایی (ICP) تقسیم‌بندی می‌شود. روش‌های دیگری نیز برای ایجاد پلاسما مورد نظر وجود دارد که از آن جمله می‌توان به تخلیه لیزری و تخلیه سطحی و ماکروور(MW) اشاره کرد که به‌دلیل نیاز به ادوات تطبیق امپدانس و راه اندازی پیچیده و از طرفی قیمت بالای تجهیزات لازم برای ساخت، مورد استفاده قرار نمی‌گیرد لذا سیستم DC برای تولید پلاسما هم مقرون

به‌صرفه‌تر و هم ساده‌تر است.[۸]

۳-۲) تئوری پایه و پارامترهای پلاسما

امواج الکترومغناطیسی با تابش بر پلاسما، جذب، پراکنده و یا عبور داده می‌شوند . با تغییر پارامترهای اصلی در پلاسما مثل غلظت حامل الکترون و نرخ برخورد الکترون، بخش قابل توجهی از موج می‌تواند در محیط جذب، پراکنده و یا عبور داده شود. از خاصیت جذب امواج الکترومغناطیسی پلاسما در بازه وسیعی از فرکانس برای کاربردهای رادار گریزی استفاده می‌شود.[۹]

$$\varepsilon_r=\varepsilon_r'-j\varepsilon_r''=1-\frac{\omega_p^2}{\omega(\omega-j\nu)} \qquad (1)$$

$$\omega_p=\sqrt{\frac{4\pi n_e e^2}{m_e}} \qquad (2)$$

$$\gamma=\alpha+j\beta=jk_0\sqrt{\mu_r\varepsilon_r} \qquad (3)$$

در رابطه (۱) ωp فرکانس پلاسمایی، ω فرکانس کاری و ν فرکانس برخورد الکترون‌ها است. باید توجه داشت که فرکانس پلاسما (ωp) با فرکانس کاری (ω) تفاوت دارد و شخصی که در این حوضه کار می‌کند نباید این دو را یکسان فرض کند. فرکانس پلاسما طبق رابطه (۲) با جذر تعداد الکترون موجود در پلاسما (n_e) رابطه مستقیم دارد. در این رابطه e بار الکترون، m جرم الکترون و $\varepsilon 0$ قابلیت گذردهی در خلا است. اما فرکانس کاری بسته به کاربرد متغیر خواهد بود. هنگامی که $\omega>\omega p$ باشد، ثابت انتشار (γ) موهومی خالص می‌شود. رابطه‌ی (۳) بدان معناست که انعکاسی از محیط پلاسمایی نخواهیم داشت و موج از داخل خود محیط پلاسمایی عبور خواهد کرد، درحالیکه اگر $\omega<\omega p$ باشد، ثابت انتشار حقیقی می‌شود و این بدین معنا است که موج از داخل محیط پلاسمایی عبور نخواهد کرد و محیط پلاسما مشابه فلز عمل می‌کند.

در اکثر مقالات فرکانس برخورد برای لامپ‌های فلورسنت بین $106HZ<109HZ>\nu$ اندازه‌گیری شده است. اما برای فرکانس پلاسمایی طبق رابطه (۲) نیاز به تعداد الکترون موجود در پلاسما خواهیم داشت که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$n_e=\frac{J}{e\sqrt{\frac{KT_e}{m_e}}} \qquad (4)$$

در این رابطه J چگالی جریان، K ثابت بولتزمن و T_e دمای الکترون است. رابطه‌ی نهایی برای فرکانس برخورد نیز به صورت زیر خواهد بود:[۱۲]

$$\nu=n_e\sigma\sqrt{\frac{KT_e}{m_e}} \qquad (5)$$

۳-۳) محفظه پلاسمایی

اولین گام در طراحی آنتن پلاسمایی انتخاب یک محفظه پلاسمایی است. مرسوم‌ترین محفظه پلاسمایی لامپ‌های فلورسنت و نئون می‌باشند برای طرح‌های اجرایی به طور عمده از لامپ‌های فلورسنت به‌دلیل هزینه پایین، راه اندازی و یونش آسان، طول عمر بالا و دیگر مزایا استفاده می‌شود.

در ساختار استوانه‌ای، مودهای قابل انتشار موج سطحی، با وابستگی شدت میدان آن‌ها نسبت به زاویه افقی ϕ تعریف می‌شوند. چنان‌چه محیط یکنواخت باشد شدت میدان موج‌های متحرک به صورت

$$\exp[j(\omega t-\beta z+m\phi)-\alpha z] \qquad (6)$$

تعریف می شود که t شاخص زمان، z محور طولی، β ضریب فاز محوری ($\beta=\frac{2\pi}{\lambda}$ که λ طول موج سطحی در طول محور z است.)، α ضریب تضعیف محوری و m عدد صحیحی است که مبین مود انتشار می‌باشد.

در حالتی که از پلاسما به عنوان آنتن استفاده می‌شود باید نحوه تحریک به گونه‌ای باشد که مود صفر تحریک شود و انتخاب این مود تابعی از فرکانس موج RF و شعاع محفظه دی‌الکتریک است. مود صفر، مودی است که در سطح مقطع استوانه یکنواخت و متقارن است. تحقق مود صفر زمانی به‌وقوع می‌پیوندد که حاصل ضرب فرکاس موج RF و شعاع محفظه از ۲ GHZ.cm کم‌تر باشد.[۱۰]

۳-۴) کوپلر

برای انتقال و دریافت سیگنال در این آنتن‌ها نیاز به یک کوپلر می‌باشد. این کوپلر باید انتقال و دریافت سیگنال را بدون تداخل و انعکاس انجام دهد و طوری طراحی شود که به لامپ آسیبی وارد نسازد.[۱۱]

برای لامپ‌های فلورسنت طرح کوپلر استوانه‌ای به علت وجود پوسته محافظ بیرونی که نقش زمین را ایفا می‌کند طرحی بدون تداخل الکترومغناطیسی و قابل پیاده سازی خواهدبود. نمونه‌ایی از کوپلر استوانه‌ایی در شکل ۲ قابل مشاهده است.

شکل ۲: کوپلر استوانه ایی[۱۹]

۳-۵) راه‌اندازی

برای روشن کردن و راه‌اندازی آنتن پلاسمایی باید دو قدم مهم طی شود، اولین قدم یونش و قدم بعدی تغذیه‌ی آنتن پلاسمایی است، در ادامه با اهمیت هر کدام از این قدم‌ها آشنا می‌شویم.

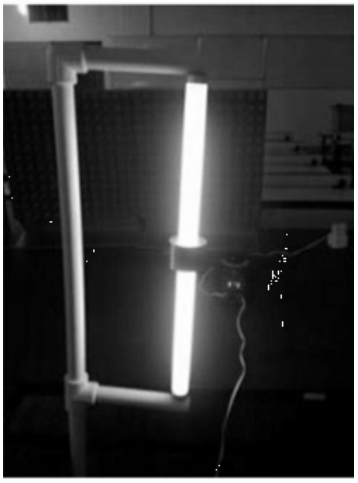
۳-۵-۱) یونش

اولین گام برای انتقال یا دریافت سیگنال یونیزه کردن لامپ فلورسنت است. آنتن پلاسمایی برای راه اندازی ابتدا باید یونیزه شود تا عمل کند. پس به یک سیستم یونش پایدار نیاز خواهیم داشت. [۱۳]

برای یونیزه کردن آنتن راه‌های مختلفی وجود دارد. ساده‌ترین راه، استفاده از یک واریاک (اتوترانس) و یک ترانس است. این واریاک دارای ورودی ۲۲۰ ولت AC و قابلیت تنظیم ولتاژ خروجی بین ۰ تا ۳۰۰ ولت را داراست. نمونه‌ایی از آن در شکل ۳ قابل مشاهده است.

شکل ۳: واریاک (اتوترانس) [۱۹]

خروجی این واریاک به یک ترانس راه انداز لامپ فلورسنت با استارت ۲۴ ولت متصل شده است. سپس خروجی این ترانس به دو سر لامپ و به الکترودهای آن متصل می‌شود و با تنظیم ولتاژ خروجی واریاک عمل یونش انجام می‌شود. که در شکل ۴ نمونه‌ایی از یونش پلاسمایی مشاهده می‌شود.

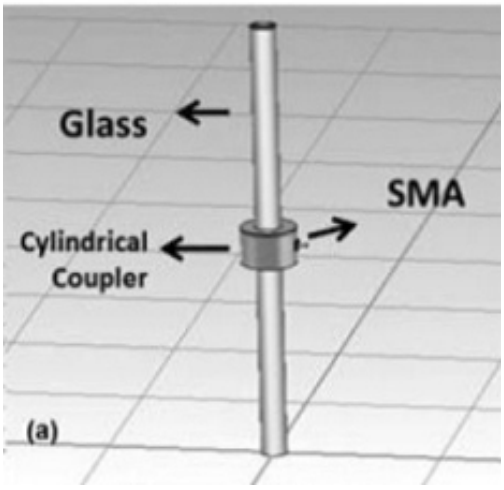


شکل ۴: یونش پلاسما[۱۹]

۳-۵-۲) تغذیه آنتن پلاسمایی

حال که آنتن پلاسمایی یونیزه شد، برای دریافت و ارسال سیگنال آنتن نیاز به یک تغذیه مناسب دارد. برای تغذیه آنتن یک پورت SMA بین استوانه بیرونی و داخلی سیستم قرار داده شده است. [۱۴]

در شکل ۵ برای درک بهتر یک طرح مفهومی آنتن پلاسمایی و نمای بریده شده آن نمایش داده شده است.



شکل ۵: نمای بریده شده آنتن پلاسمایی[۱۹]

۴)مزیت‌ها و ویژگیهای آنتن پلاسمایی[۱۵]

قابلیت مخفی سازی، کاهش تداخل هم‌مکانی، قابلیت تغییر شکل مجدد، قابلیت لانه گزینی از جمله مزیت‌هایی هستند که آنتن‌های پلاسمایی را حائز اهمیت می‌کند در ادامه اشاره مختصری به این ویژگی‌ها خواهیم داشت.

۴-۱) قابلیت مخفی سازی

در زمانی که توان عملکرد آن خاموش باشد، پلاسمای درون آنتن پلاسما از بین رفته است و آنتن تبدیل به لوله عایقی با سطح مقطع راداری پایین خواهدشد [۶].

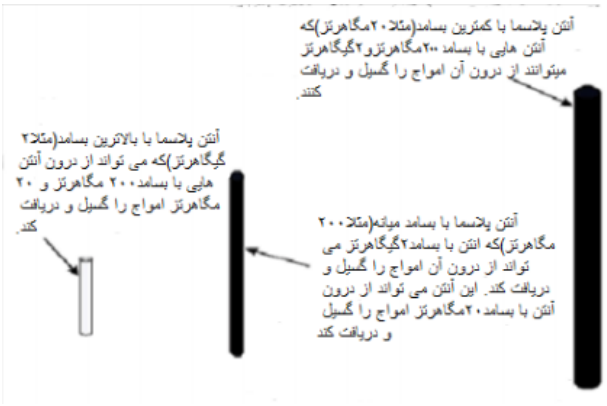
۴-۲) کاهش تداخل هم‌مکانی

بین سیستم‌های دریافت‌کننده و فرستنده تداخل هم‌مکانی وجود دارد. آنتن‌های فلزی با فرکانس‌های مختلف وقتی در مجاورت هم قرار می‌گیرند، با یکدیگر تداخل کرده و برعملکرد هم تاثیر می‌گذارند. این مساله هم در صورت روشن بودن و هم خاموش بودن گیرنده و فرستنده آنتن فلزی وجود دارد. این پدیده به عنوان تداخل هم‌مکانی برای آنتن فلزی شناخته می‌شود و نقطه ضعفی برای آن‌ها محسوب می‌گردد. زیرا آنتن‌های فلزی، قابلیت خاموش شدن و از بین رفتن المان رسانا را ندارند در حالی که با خاموش شدن آنتن پلاسما، پلاسمای درون آن از بین رفته و آنتن تبدیل به لوله دی الکتریک می‌شود .در این حالت، آنتن پلاسما بر عملکرد سایر آنتن‌های جانبی تاثیر چندانی نخواهد داشت و با این استدلال، آنتن پلاسمایی با فرکانس بالاتر، می‌تواند از درون آنتن پلاسما با فرکانس پایین‌تر موج دریافت و ارسال کند با این کار تداخل هم‌مکانی کاهش می‌یابد [۷].

۴-۳) قابلیت تغییر شکل مجدد

قابلیت کنترل الکتریکی آنتن پلاسمایی بیشتر از قابلیت کنترل مکانیکی آن است. الگوی تابشی توسط پارامترهایی همچون چگالی پلاسما، شکل لوله و کنترل توزیع جریان، کنترل می‌شود و با تغییر پارامترهای عملیاتی آنتن پلاسمایی همچون

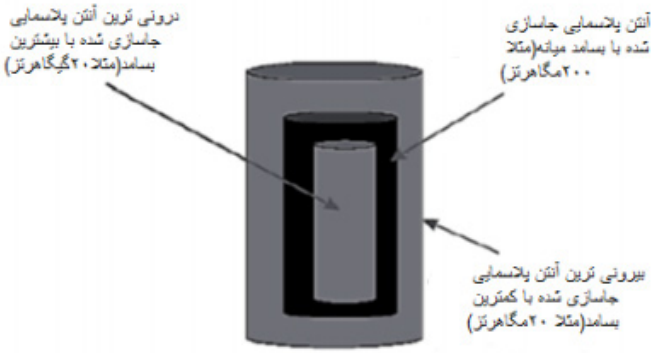
فشار گاز، توان اعمالی، فرکانس منبع، طول ستون پلاسما، نوع گاز، قطر لوله دی الکتریک و تغییر طول تشدید آنتن پلاسمایی، برای فرکانس‌های عملیاتی تنظیم می‌شود. برای درک بهتر این مفهوم به شکل ۶ مراجعه کنید.[۸]



شکل ۶: کاهش تداخل هم‌مکانی در آنتن پلاسما[۲۰]

۴-۴) قابلیت لانه گزینی

آنتن پلاسمایی با فرکانس بالاتر می‌تواند سیگنالهای مخابراتی را از درون آنتن پلاسما با فرکانس پایین‌تر ارسال و دریافت کند، بنابراین می‌توان آنتن‌های پلاسمایی را در درون هم جاسازی نمود. با این کار پهنای باند آنتن پلاسما افزایش می یابد زیرا چند آنتن پلاسما در یک سیستم قرار دارند [۹].برای فهم دقیق‌تر موضوع به شکل ۷ مراجعه کنید.



شکل ۷: طرحی شماتیک و مفهومی از قابلیت لانه گزینی آنتن پلاسما[۲۰]

۵) مقایسه‌ی آنتن پلاسمایی وآنتن معمولی[۱۶]

در آنتن‌های معمولی سیم‌های فیزیکی جامد را به عنوان عنصر هدایتی استفاده می‌کنند اما در آنتن‌های پلاسمایی از گاز یونیزه شده‌ی محبوس در یک تیوپ به عنوان عنصر هدایتی استفاده می‌شود. در ادامه ویژگی‌های آنتن معمولی و آنتن پلاسمایی را بیان می‌کنیم.

* در آنتن فلزی جامد الکترون‌ها آزادانه در داخل فلز حرکت می‌کنند ولی در آنتن پلاسمایی الکترون‌ها در حالت آزاد در داخل گاز داغ هستند و به راحتی در داخل آنتن پلاسمایی حرکت می‌کنند.
* در آنتن‌های فلزی معمولی تداخل صورت می‌گیرد و منجر به تولید صداهای مختلفی می‌شود ولی آنتن پلاسمایی اثرات تداخل را کاهش می‌دهد.
* آنتن‌های معمولی دارای اندازه‌ی بزرگ و وزن بسیار زیاد می‌باشند و در یک مکان ثابت شده‌اند و به راحتی نمی‌توان آن‌ها را حرکت داد اما آنتن‌های پلاسمایی دارای وزن کم و اندازه‌ی کوچک می‌باشند و دارای دو نوع ثابت و متحرک هستند.
* اگرچه آنتن‌های فلزی به راحتی خاموش و روشن نمی‌شوند اما آنتن پلاسمایی می‌توانند به راحتی خاموش و روشن شود.

۶) کاربرد آنتن های پلاسمایی[۱۷]

بیشترین و حائزاهمیت‌ترین کاربرد آنتن‌های پلاسمایی در دو بخش نظامی و تجاری است. کاربردهای نظامی آن شامل جایگزینی برای آنتن‌های زیر دریایی و ناوها، به عنوان آنتن‌های سنسوری در ادوات هوایی بدون سرنشین، جایگزینی برای آنتن‌های استتار در هواپیما، مکان‌یابی و تعقیب موشکهای بالستیک می‌باشد، و کاربردهای تجاری آن بیش‌تر عبارت است از: سنجش از دور، ارتباطات مخابراتی پهن باند، رادارهای نفوذی زمینی، رادار هواشناسی.

۷) انواع آنتن پلاسمایی

به طورکلی آنتن‌های پلاسمایی دو نوع هستند، آنتن‌های نیمه رسانا یا همان وضعیت ساکن و آنتن‌های گازی، که آنتن‌های نیمه رسانا مورد توجه بیشتری هستند، چون از ساختار فشرده‌تری برخوردار بوده و ضمناً بخش‌های متحرک ندارند.[۱۸]

۷-۱) آنتن پلاسمایی سیلیکونی

در این میان در وصف تمایز شاخص آنتن‌های پلاسمایی جدید با مدل‌های رایج فعلی و اهمیت چنین توسعه نویدبخشی باید اذعان داشت فناوری آنتن‌های جهت‌دار موجود که امواج رادیویی بسامد بالا را انتقال می‌دهند نیازمند مواد گران یا ساخت صنعتی بسیار دقیق می‌باشد، در حالی که فناوری آنتن‌های جدید موسوم به آنتن پلاسمای سیلیکونی یا PSIAN به تکنیک‌های کم هزینه صنعتی موجود برای ساخت تراشه‌های سیلیکونی توسعه یافته متکی است. اما در توصیف ساز و کار و ساختار فناوری نوین آنتن‌های پلاسمای سیلیکونی باید گفت که این آنتن‌های جدید از هزاران دیود واقع روی یک تراشه سیلیکونی تشکیل شده‌اند، زمانی که آنتن فعال شود هر یک از دیودها به تولید ابری از الکترون‌ها یا همان پلاسما با پهنای تقریبی ۰/۱ میلی‌متر می‌پردازد. نکته‌ی جالب اینجاست که در حضور چگالی به قدر کافی بالایی از الکترون‌ها، هر یک از ابرهای الکترونی همانند یک آینه قادر به منعکس ساختن امواج رادیویی پر بسامد خواهد بود. ویژگی دیگر این فناوری پلاسمایی به نحوه‌ی فعالیت و عملکرد دیودها بر می‌گردد. به طوری که با فعال شدن انتخابی دیودها، شکل ناحیه‌ی بازتابگر می‌توانند برای متمرکز ساختن و هدایت شعاعی از امواج رادیویی تغییر یابد. محققان معتقدند وجود همین قابلیت (شعاعی سازی) باعث می‌شود که آنتن‌ها برای کاربردهای بی‌سیم مافوق سریع نقشی تعیین کننده و شاخص داشته باشند، چرا که چنین آنتن‌هایی می‌توانند جریانی از امواج

رادیویی پر بسامد را متمرکز سازند در حالی که امواجی از این طیف با استفاده از آنتن‌های نرمال کنونی به‌سرعت پراکنده و از هم پاشیده می‌شوند. به اعتقاد طراحان فناوری نوین بی‌سیم پلاسمایی، آنتن‌های شعاع‌ساز برای توانمند ساختن نسل بعدی کاربردهای بی‌سیم با نرخ بالای داده مربوط به فضای داخلی از اهمیت کلیدی برخوردار هستند، چرا که بدون وجود آنتن‌های شعاع‌ساز، مقیاس بندی سطوح چگالی الکترونی ادوات و وسایل بی‌سیمی که توقع حضورشان در خانه‌های آینده‌مان را داریم، کار دشواری خواهد بود. به اعتقاد کارشناسان یکی از مزیت‌های آنتن‌های جدید پلاسمایی قطر و اندازه ی کوچک آن است که برای سوار شدن داخل یک گوشی تلفن همراه کفایت می‌کند. از طرفی باید توجه داشت که بسامدهای بالاتر به مفهوم طول موج‌های کوتاه‌تر و از این رو آنتن‌های کوچک‌تر است و این مزیتی است که آنتن‌های پلاسمایی سیلیکونی از آن بهره می‌برند. در واقع این آنتن‌ها در مقیاس‌های کوچک‌تر عملاً ارزان‌تر تمام می‌شوند چون که سیلیکون کم‌تری مورد نیاز خواهد بود. در واقع طول موج‌های میلی‌متری آن‌ها می‌توانند برای تامین دید لازم و کافی رانندگان در شرایط خاص آب و هوایی همانند مه یا باران مورد استفاده واقع شود. علاوه بر این، قسم دیگری ازاین گونه آنتن‌ها می‌توانند به امر شنیدن هم‌زمان داده‌های به روز شده حول محور ترافیک و اوضاع جاده‌ها کمک کند. در حقیقت طول موج‌های کوچک آنتن‌های پلاسمایی در حکم چشم و گوش رانندگان در شرایط نامساعد محسوب می‌شوند. [۱۸]

۷-۲) آنتن‌های خطی پلاسمایی تولید شده توسط تحریک لیزری

چندین دیدگاه در تولید یک آنتن پلاسمایی وجود دارد، استفاده از یک لیزر برای کمک به یونیزاسیون در مسیری به اندازه‌ی ۲۵ متر مطرح شد. لیزرها برای تعیین طول آنتن استفاده می‌شوند در حالی‌که یک تخلیه الکتریکی برای تولید و تقویت پلاسما به کار گرفته می‌شود.[۱۲]

۷-۳) آنتن‌های پلاسمایی به شکل احتراق گونه

دیدگاه دیگر برای تولید پلاسما استفاده از انفجار می‌باشد. احتمال استفاده از یک جت پلاسمای تحریک شده به عنوان یک آنتن مطرح شد. یک دستگاه شارژ انفجاری ساده به نام کاتریج پلاسمایی می‌تواند به عنوان تولید کننده ستون گاز یونیزه استفاده شود. [۵]

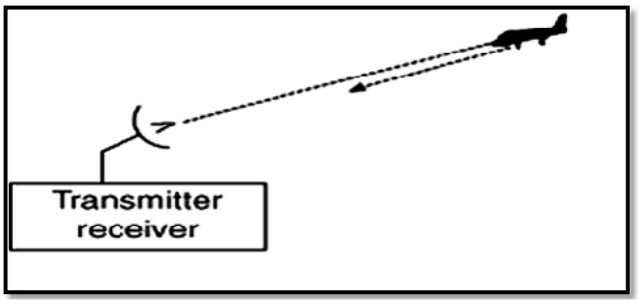
۸)رادار[۲۱]

رادار، یک سیستم مخابراتی است که برای تشخیص و تعیین موقعیت هدف به‌کار می‌رود. این دستگاه براساس ارسال یک شکل موج خاص به طرف هدف و تجزیه و تحلیل بازتاب آن عمل می‌کند. ارزش رادار در این نیست که جایگزین چشم شود بلکه ارزش آن در عملیاتی است که با چشم نمی‌توان انجام داد. با رادار میتوان درون محیطی را که برای چشم غیرقابل نفوذ است را دید (مثل تاریکی، مه، غبار و غیره) مهم‌ترین مزیت رادار، تعیین فاصله یا حدود هدف می‌باشد. اصول کارکرد رادار بر پایه بازتابش امواج رادیویی قرار دارد. برای اولین بار یک مهندس آلمانی به نام کریستین هولمیر استفاده از امواج رادیویی را برای تشخیص محل کشتی‌ها در بنادر به منظور عدم برخورد آن‌ها با یکدیگر را پیشنهاد کرد.

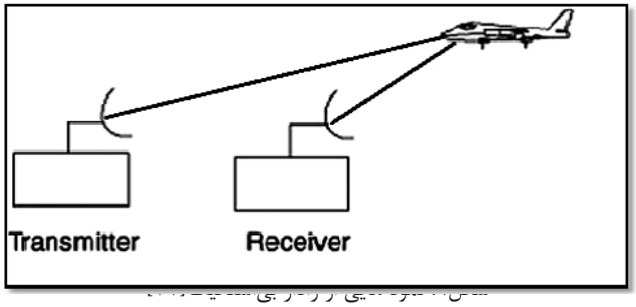
امروزه رادارها دارای انواع متنوعی هستند که برای کاربردهای مختلفی طراحی شده‌اند. یک رادار ساده شامل آنتن فرستنده، آنتن گیرنده و عنصر آشکارساز یا گیرنده می‌باشد. فاصله‌ی آنتن تا هدف با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت سیگنال انجام می‌شود. تشخیص جهت یا موقعیت زاویه‌ای هدف توسط جهت دریافت موج برگشتی هدف امکان پذیر است. روش معمول برای مشخص کردن جهت هدف، به کار بردن آنتن با شعاع تشعشعی باریک می‌باشد. تغییر فرکانس حامل موج برگشتی (اثر دوپلر) معیاری از سرعت نسبی نسبت به رادار می‌باشد که ممکن است برای تشخیص اهداف متحرک از اهداف ساکن به کار رود.

انواع رادار از لحاظ اجزا:

* رادار مونواستاتیک: به راداری گفته می‌شود که فرستنده و گیرنده در کنار هم قرار دارند. نمونه‌ایی از آن در شکل ۸ مشاهده می‌شود.



* رادار بی‌استاتیک: راداری است که فرستنده و گیرنده از هم فاصله داشته و جدا شده باشند. نمونه‌ایی از آن در شکل ۹ قابل مشاهده است.



* رادار مولتی‌استاتیک: این رادار حداقل دارای سه جزء است، به عنوان مثال اجزای تشکیل دهندی این نوع رادار عبارت‌اند از: یک گیرنده و دو فرستنده.

۹)سطح مقطع راداری و بهره در آنتن پلاسما

با افزایش چگالی پلاسما در محفظه، عمق پوسته آن کاهش می‌یابد و این کاهش تا زمانی ادامه دارد که ستون پلاسما همانند هادی فلزی رفتار کند. از آنجا که با اعمال پالس‌های RF به ستون تخلیه می‌توان در مدت کوتاهی تولید پلاسما نمود و با قطع توان تحریک به سرعت به شرایط اولیه بازگشت، آنتن به سرعت خاموش و روشن می‌شود. هنگامی که آنتن خاموش است ستون تخلیه هدایت الکتریکی ندارد. همچنین روی الگوی تشعشعی آنتن‌های مجاور اثری نخواهد داشت و تبدیل به یک محفظه دی الکتریکی می‌شود که سطح مقطع راداری بسیار کمی دارد و چنانچه این محفظه درست طراحی شده باشد از دید رادار محفوظ می‌ماند. آنتن تنها زمانی که لازم است ارتباط رادیویی صورت گیرد روشن می‌شود و از این رو به آنتن مخفی نیز معروف گردیده است. سطح مقطع راداری آنتن در زمانی که تحریک وجود ندارد به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد . تغییر میزان فرکانس تحریک در توان ثابت نیز روی سطح مقطع راداری تأثیرگذار است. در فرکانس‌های کم‌تر از فرکانس تحریک میزان بهره تفاوت کم‌تری با آنتن فلزی دارد حال آن که با افزایش فرکانس از فرکانس تحریک این مقدار نیز افزایش پیدا می‌کند، اما پس از رسیدن به حد معینی دیگر افزایش نمی‌یابد و پس از آن با افزایش توان تنها عملکرد آن در حوزه فرکانسی شیفت می‌یابد زیرا طول و در نتیجه فرکانس مرکزی آنتن تغییر می‌کند. [۱۷]

۱۰) نویز آنتن پلاسما[۵]

نویزی که توسط پلاسما تولید می‌شود یک مبحث بسیار مهم در آنتن پلاسمایی است زیرا هنگامی که از آن به عنوان گیرنده یا فرستنده استفاده می‌شود مقدار سیگنال به نویز آنتن، تحت تأثیر نویز آنتن است.

در سیستم‌های مخابراتی تشخیص و کنترل گونه‌های مختلف نویز بسیار مهم می‌باشد . با توجه به این که از پلاسمای سرد رژیم تابان، به عنوان آنتن استفاده می‌شود بررسی چشمه‌های امواج الکترومغناطیسی در این گونه از پلاسما، برای بررسی نویز امری مهم و ضروری است. برای پلاسمای سرد در فشار پایین که توسط سیستم AC یا DC فرکانس پایین تحریک می‌شود چند احتمال برای وجود منابع نویز وجود دارد.

۱_نویز گرمایی
۲_نویز جریان
۳_نویز کاتدی
۴_نویز فرکانس یونی پلاسما

این ۴ مورد اساسی ترین موارد نویز در پلاسما هستند که باید درصدد رفع آن بود.

۱۱) شبیه سازی

برای بررسی واقعی بودن یک طرح در عمل و تأثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد یک قطعه، از شبیه سازی استفاده می‌کنیم. گاهی دستیابی به اهداف تعریف شده در پروژه به روش عملی آنقدر سخت و گاهی غیرممکن به نظر می‌رسد که تنها راه در نظر گرفتن پدیده‌های فیزیکی مختلف برای دقت در انطباق، با عمل و تنها از راه شبیه ساختن محیط مورد نظر و تأثیر پارامترهای مؤثر بر آن انجام پذیر می‌باشد و می‌توان بدون کوچک‌ترین مشکلی با تعریف و افزودن پارامترها و معادلات مختلف به فیزیک مورد نظر، قطعات جدید را طراحی و بهینه سازی و به سیستم اضافه کرد. اما آنچه که در شبیه سازی حائز اهمیت می‌باشد، انتخاب درست یک نرم افزار یا روش تحلیلی درست برای ایجاد مشابهت بین فیزیک‌های مورد نظر می‌باشد. شناخت فیزیک کار و معادلات حاکم بر آن و پارامترهای مؤثر بر قطعه به ما در انتخاب بهترین روش حل مسأله کمک خواهد کرد. برای شبیه سازی در حوزه الکترومغناطیسی و تحلیل روابط حاکم، روش‌های عددی متعددی وجود دارند. روش‌های حل تنها پاسخ یک ترکیب خاص از مسأله را بدست می‌آورند. اما مسأله در عمل، بدست آوردن پاسخی است که باتوجه به معیارهای ما بهینه باشد، به این معنا که به ازای تغییر پارامترهای مختلف و اعمال آن، باز سیستم در حالت بهینه باقی بماند. آنچه که لزوم استفاده از یک روش خاص برای تحلیل را برای ما تعریف می کند نتایج و اهداف شبیه سازی می‌باشد. در ادامه به چند نمونه از روش های عددی و تحلیلی اشاره شده است:

* شبیه سازی به روش MoM
* شبیه سازی به روش HFSS
* شبیه سازی به روش FDTD
* شبیه سازی به روش FEM
* المان بندی مسئله مورد نظر
* اعمال شرایط مرزی
* حل به منظور محاسبه متغیر میدانی مجهول
* محاسبه تنش‌ها و کرنش‌های المانی
* نرم افزار کامسول

۱۲)خلاصه و نتیجه گیری

آنتن پلاسما نوعی آنتن رادیویی است که در آن اجزای تابنده‌ی رسانا با اجزای پلاسمایی جایگزین شده‌اند. این نوع آنتن به دلیل داشتن ویژگی‌های قابل توجه از جمله قابلیت استتار، قابلیت شکل پذیری مجدد ، قابلیت لانه گزینی و جاسازی آنتن در درون سایر آنتن‌های پلاسما، کاهش اثرات تداخلی مثل تداخل هم‌مکانی، کارکرد در محدوده‌ی فرکانسی وسیع‌تر، جهت‌مندی بهتر و غیره کاربرد وسیعی در علم و صنعت ارتباطات مخصوصاً در زمینه‌های نظامی و دفاعی پیدا کرده‌است. در این مقاله صرف نظر از خصوصیات آنتنی آنتن پلاسما، پلاسمای موجود در درون لوله‌ی آنتن پلاسما مورد بررسی قرار گرفت. روش‌های متفاوتی برای تولید پلاسما در درون آنتن پلاسما وجود دارد که می‌توانند در آینده مورد بررسی قرار گیرد.

۱۳)سپاسگزاری

بدینوسیله از زحمات و تلاش بی دریغ استاد محترم جناب آقای عزالدین مهاجرانی که در تهیه این مجموعه با بنده همکاری داشته‌اند ، تشکر و مراتب سپاس قلبی خود را اعلام نموده. این مجموعه به منظور ارائه در درس سمینار رشته فناوری پلاسما ورودی ۹۸ آماده گردیده است.

۱۴)مراجع

SU, Hung-Der; LEE, Jian-Hsing; KUO, Di-Son. Test [۱] structures for monitoring gate oxide defect densities and the J. H..۲۰۰۰ ,۶,۰۲۸,۳۲۴ plasma antenna effect. U.S. Patent No .(۲۰۰۲) ,Harris,G. G. N. M. Martin, “Plasma antenna”, U.S.A
Kumar, Rajneesh, and Dhiraj Bora. «A reconfigurable plasma [۲] J. .۰۵۳۳۰۳ :(۲۰۱۰) ۱۰۷,۵ antenna.» Journal of Applied Physics
P. Rayner, et al., Physical Characteristics of Plasma Antennas, .۲۰۰۴ ,۲۸۱-۲۶۹ ,۳۲ .IEEE Trans. Plasma Sci, Vol
DWYER, T. J. J. R., et al. On the feasibility of using an [۳] atmospheric discharge plasma as an RF antenna. IEEE -۱۴۱ :۳۲,۲ ,۱۹۸۴ ,Transactions on antennas and propagation
N. A. Krall and A.W. Trivelpiece, Principles of Plasma.۱۴۶ ۱۹۷۳ Physics, McGraw-Hill, New York
NORRIS, Elwood G.; ANDERSON, Ted; ALEXEFF, Igor. [۴] ,۶,۳۶۹,۷۶۳ Reconfigurable plasma antenna. U.S. Patent No H. Q. Ye, et al., Radiation Theory of the Plasma Antenna,.۲۰۰۲
.۲۰۱۱ ,۱۵۰۲-۱۴۹۷ ,۵۹ .IEEE Trans. Antennas Propag.,Vol
G. Cerri, et al., Measurement of the properties of a [۵] plasma column used as a radiating element, IEEE Trans. .۲۰۰۸ ,۲۴۷-۲۴۲ ,۵۷ .Instrumentation and Measurement, Vol
HARPER, Ruth Elizabeth. Solid state plasma antenna. U.S. .۲۰۰۶ ,۷,۱۰۹,۱۲۴ Patent No
KANG, Weng Lock; RADER, Mark; ALEXEFF, Igor. A [۶] conceptual study of stealth plasma antenna. In: IEEE Conference IEEE International Conference on ۱۹۹۶ .Record-Abstracts
T. Anderson, Plasma.۲۶۱ .p ۱۹۹۶ ,Plasma Science. IEEE [۶] .۲۰۱۱ ,Antennas, Artech House, Norwood, MA
BRELET, Yohann, et al. Radiofrequency plasma antenna [۷] generated by femtosecond laser filaments in air. Applied Physics J. P. Rayner, et al., Physical .۲۶۴۱۰۶ :۱۰۱,۲۶ ,۲۰۱۲ ,Letters Characteristics of Plasma Antennas, IEEE Trans. Plasma Sci,
.۲۰۰۴ ,۲۸۱-۲۶۹ ,۳۲ .Vol
M. Pourbagher, and Hunt et al., Reconfigurable plasma[۸] YE, .۲۰۱۲ ,۲۹۳۲-۲۹۲۸ ,۵ .antennas. Indi. J. Sci. Technol., Vol
Huan Qing; GAO, Min; TANG, Chang Jian. Radiation theory of the plasma antenna. IEEE Transactions on Antennas and .۱۵۰۲-۱۴۹۷ :۵۹,۵ ,۲۰۱۱ ,Propagation
HARRIS, Jeffrey Hunter; BORG, Gerard George; MARTIN, [۹] ,۶,۴۹۲,۹۵۱ Noel Maxwell. Plasma antenna. U.S. Patent No I. Alexef, and T. Anderson, Experimental and Theoretical .۲۰۰۲
,۳۴ .Results with PlasmaAntennas, IEEE Trans. Plasma Sci., Vol
.۲۰۰۶ ,۱۷۸-۱۶۶
CHAO, Liang; YUE-MIN, Xu; ZHI-JIANG, Wang. [۱۰] Numerical simulation of plasma antenna with FDTD method. Jenn, D. C. Plasma .۳۷۱۲ :۲۵,۱۰ ,۲۰۰۸ ,Chinese Physics Letters ,antennas: Survey of Techniques and the Current State of the Art .(۲۰۰۳)
ALEXEFF, Igor, et al. A plasma stealth antenna for the [۱۱] ۲۵th Anniversary, IEEE Conference Record- :US Navy. In IEEE International Conference on Plasma ۱۹۹۸ .Abstracts ASI .۲۷۷ .p ۱۹۹۸ ,IEEE .(۹۸CH۳۶۲۲۱ .Science (Cat. No Technology Corporation, Plasma Antenna Technology, http:// .www.asiplasma.ceni/asi_plasma_Technology_page.html
BORG, Gerard G., et al. Application of plasma columns to [۱۲] :۷۴,۲۲ ,۱۹۹۹ ,radiofrequency antennas. Applied physics letters Massoudi, H., N. Damskos, et al. Scattering by a .۳۲۷۴-۳۲۷۲ composite and anisotropic circular cylindrical structure:Exact .(۱۹۸۸)۸۳-۷۱ :(۱)۸ solution, Electromagnetics
QIAN, Z. H., et al. FDTD analysis of a plasma whip [۱۳] :۴۷,۲ ,۲۰۰۵ ,antenna. Microwave and optical technology letters Borg, G. G., J. H. Harris, et al, Application of plasma.۱۵۰-۱۴۷ columns to radiofrequency antennas, Applied physics letters .(۱۹۹۹) .۳۲۷۴-۳۲۷۲ :(۲۲)۷۴
KUMAR, Vikram; MISHRA, Mrinal; JOSHI, N. K.[۱۴] Study of a Fluorescent Tube as Plasma Antenna. Progress In Roumeliotis, [.۲۶-۱۷ :۲۴ ,۲۰۱۱ ,Electromagnetics Research J. A., J. G. Fikioris, et al, Electromagnetic scattering from an eccentrically coated infinite metallic cylinder, Journal of Applied .(۱۹۸۰)۴۴۹۳-۴۴۸۸ :(۸)۵۱ Physics
Veselov, G. and S. Semenov, Theory of circular waveguide [۱۵] with eccentrically placed metallic conductor, Radio Eng. and .(۱۹۷۰)۶۹۰-۶۸۷ :۱۵ Electronic Physics
Kumar, R. and D. Bora, A reconfigurable plasma [۱۶] -۰۵۳۳۰۳-۰۵۳۳۰۳ :(۵)۱۰۷ antenna, Journal of Applied Physics .(۲۰۱۰)۰۵۳۳۰۹
ANDERSON, Theodore R. Plasma antenna system and [۱۷] Altgilbers, L. L., I..۲۰۰۳ ,۶,۶۵۷,۵۹۴ method. U.S. Patent No Merritt, et al. Plasma antennas- Theoretical and experimental .(۱۹۹۸) ,۲۵۶۷-۹۸-considerations. AIAA
LEE, Yoonjae; GANGULY, Suman. Analysis of a plasma- [۱۸] column antenna using FDTD method. Microwave and Optical Norris, E. G., T..۲۵۹-۲۵۲ :۴۶,۳ ,۲۰۰۵ ,Technology Letters ,Anderson, et al, Reconfigurable plasma antenna, Google Patents .(۲۰۰۲)
[۱۹] سیدحمید شهیدی مارنانی،دکتر مهدی شریعت، بهمن ۱۳۹۵، دانشگاه ولی عصر(عج) رفسنجان دانشکده ی علوم گروه فیزیک
[۲۰] صالحه قنبری،دکتر علیرضا گنجویی،تیر ۱۳۹۵،دانشکده علوم و فناوریها نوین گروه فوتونیک
[۲۱] سعیده گلهرانی،دکتر بهرام جزی،بهمن ۱۳۹۱ ،دانشگاه کاشان دانشکده فیزیک گروه لیزر و فوتونیک

شیطان ماکسول، آزمایشی فکری برای نقض قانون دوم ترمودینامیک

مهرناز زیایحی نجف آبادی، کارشناسی فیزیک ۹۷
Mehrnaz.alzahra@gmail.com

مقدمه

قدمت ترمودینامیک به دویست سال پیش برمی‌گردد. این علم در کارهای کارنو در اوایل قرن ۱۹ میلادی زاده شد و به موضوعی با اهمیت تبدیل گشت. چهار قانون ساده (قانون صفرم، اول، دوم و سوم) بر ترمودینامیک حاکم است. هرچند که قانون اول و دوم از اهمیت بیش‌تری برخوردارند. ترمودینامیک دو ویژگی مهم نیز دارد که آن را منحصر به فرد می‌کند؛ اول مستقل بودن از مفهوم زمان (زمان در حل و فصل مسائل ترمودینامیک نقشی ندارد) و دوم مستقل بودن از سیستم در حال بررسی (چه سیستم جامد، مایع و یا گاز باشد و چه از ملکول تشکیل شده یا نشده باشد و غیره)

آزمایش فکری ماکسول چیزی جز یک ایده‌ی ساده در ابعاد مولکولی نیست اما برخی از بهترین ذهن‌های علمی را به چالش کشیده است ومقالات نوشته شده در این رابطه در زمینه‌های ترمودینامیک، فیزیک آماری، مکانیک کوانتوم، تئوری اطلاعات، سایبرنتیک، علوم زیستی و تاریخ و فلسفه ی علم می‌باشند.

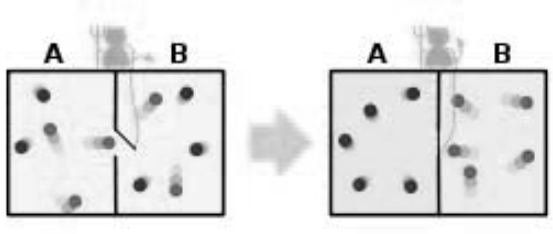
قانون دوم

بنابر قانون دوم ترمودینامیک، گرما نمی‌تواند از یک منبع سرد به یک منبع گرم برود بدون این که فرایند دیگری رخ دهد. هیچ کس انتظار ندارد که یخچال بدون این که انرژی مصرف کند بتواند محتویات خود را سرد کند زیرا این امر متناقض با قانون دوم ترمودینامیک است. گرما هیچ وقت خود به خود از جسم سرد به سوی جسم گرم نمی‌رود. برای گرفتن گرمای داخل یخچال و سرد کردن آن باید انرژی مصرف کرد. ولی آیا این قانون همیشه صحت دارد؟

ایده ماکسول

جیمز کلارک ماکسول در سال ۱۸۶۷ کتابی با عنوان « تئوری گرما « منتشر کرد در فصلی از کتاب به اسم « محدودیت‌های قانون دوم ترمودینامیک « یک آزمایش فکری جالب مطرح شده که حالا دانشمندان، طرحی برای عملی کردن آن پیشنهاد کرده‌اند. ماکسول با مطرح کردن این آزمایش فکری، سعی کرد تا چگونگی نقض این قانون را نشان دهد.

ماکسول می‌گوید فرض کنید جعبه‌ای داریم که حاوی ملکول‌های گاز در حال تعادل است. این جعبه توسط یک دیواره‌ی عایق به دو قسمت مساوی الف و ب تقسیم شده است. حالا فرض کنید درست در همین دیواره‌ی عایق، یک درب وجود دارد که توسط دربانی باز و بسته می‌شود. همه چیز در اختیار دربان است. او قسمت الف را بیشتر دوست دارد و به ملکول‌هایی که سرعت بیشتری نسبت به سرعت متوسط ملکول‌ها دارند اجازه می‌دهد تا وارد آن الف شوند. از طرفی به ملکول‌هایی که سرعت کمتری نسبت به سرعت متوسط ملکول ها دارند، فقط اجازه‌ی رفتن به قسمت ب را می‌دهد. به این ترتیب، قسمت الف رفته رفته، گرم‌تر، و قسمت ب سردتر می‌شود. در نتیجه، انتروپی قسمت ب کاهش می‌یابد. در نهایت می‌توان از این نیروی اجباری دربان، کار هم استخراج کرد. در اینصورت، دربان توانسته از سیستمی که در تعادل دمایی اولیه قرار داشت، کار استخراج کند که این در تناقض با قانون دوم ترمودینامیک است. آزمایش فکری ماکسول، بیشتر به لحاظ نظری، مورد بررسی قرار گرفته است و از نظر تجربی، کم‌تر به آن پرداخته شده است.



آزمایش فکری ماکسول

نام‌گذاری دربان به عنوان شیطان

ویلیام تامسون در مقاله ای در ۱۸۷۴ این دربان خیالی ماکسول را « شیطان هوشمند ماکسول « نامید. هرچند او ظاهرا شیطان ماکسول را به عنوان موجودی پلید متصور نشده است. این دربان کوچک، براساس سخنان ماکسول، موجودی هوشمند و با اختیار تام و ادراک و دیدی کامل است تا حدی که به آن اجازه نظارت و تاثیر گذاری بر ملکول‌های ماده به صورت جداگانه را می‌دهد.

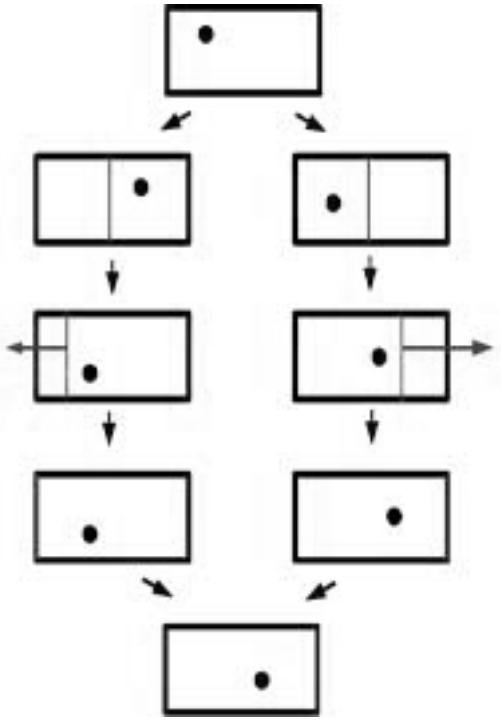
تامسون در رابطه با این نام‌گذاری می‌گوید:

« این کلمه در یونانی به معنای موجود ماوراء طبیعی آمده و موجود ماکسول موجودی خیالی است که قدرت عمل فیزیکی مشخص و کاملا تعریف شده دارد. او ویژگی غیر طبیعی که او را از موجودات زنده متمایز کند ندارد هرچند کوچک و ظریف باشد. او نمی‌تواند انرژی تولید یا نابود کند بلکه، دقیقا مشابه یک موجود زنده، می‌تواند مقادیر محدود انرژی را ذخیره و هر وقت که بخواهد استفاده کند. با تاثیر گذاشتن گزینشی بر اتم‌های واحد می‌تواند اتلاف طبیعی انرژی را معکوس کند، می‌تواند باعث شود یک ظرف دربسته از هوا، یا یک شمش آهن، از

گرمـا گداختـه شـود و دیگـری از سـرما منجمـد شـود. می‌توانـد ملکول‌هـای نمـک را در یـک محلـول آب نمـک جهـت دهـی کـرده و رونـد طبیعـی انحـلال را معکـوس کنـد و در یـک قسـمت آب غلظـت محلـول را بـالا ببـرد و در قسـمت دیگـر آب خالـص باقـی بگـذارد. بـه صـورت کلـی می‌توانـد سیسـتم را در خـلاف جهـت طبیعـی افزایـش آنتروپـی پیـش ببـرد. »

موتور زیلارد

از روزی کـه ماکسـول نظریـه‌ی خـود را در ایـن زمینـه ارائـه داد، دانشـمندان زیـادی بـه دفـاع از قانـون دوم ترمودینامیـک برخاسـتند و ایـن مسـأله را کـه ایـن شـیطان‌ها چگونـه می‌تواننـد کار کننـد مـورد بررسـی قـرار دادنـد. نظریـه پـردازان بـه تازگـی دربـاره نظریه‌هـای جدیـدی در ایـن بـاره کار می‌کننـد کـه یکـی از آن‌هـا نظریـه اطلاعات اسـت. در ایـن نظریـه ایـن موضـوع مطـرح می‌شـود کـه شـیطان ماکسـول بـرای هدایـت گرمـا و انجـام کار مفیـد، چـه اطلاعاتـی بایـد داشـته باشـد. یکـی از سـاده‌ترین نمونه‌هـای ماشـینی کـه بـا شـیطان ماکسـول کار می‌کنـد موتـور زیـلارد اسـت کـه البتـه تنهـا در ذهـن نظریـه پـردازان وجـود دارد. ایـن موتـور تشـکیل شـده اسـت از محفظـه‌ای کـه محتـوی یـک مولکـول منفـرد اسـت، و نیـز دارای دیوار جـدا کننـده‌ی متحرکـی اسـت کـه می‌توانـد پایین بیایـد و محفظـه را بـه دو قسـمت تقسـیم کنـد. در دو طـرف چـپ و راسـت ایـن محفظـه، پیسـتون‌های بـدون اصطکاکـی حرکـت می‌کننـد. زمانـی کـه دیـوار پایین می‌آیـد شـیطانک مشـخص می‌کنـد کـه مولکـول در کـدام قسـمت محفظـه گیـر افتـاده اسـت و سـپس پیسـتون را در قسـمت خالـی محفظـه بـه طـرف دیـوار حرکـت می‌دهـد و دیـوار را بـالا می‌بـرد. در ایـن هنـگام مولکـول پیسـتون را بـه عقـب می‌رانـد و در نتیجـه، در مغایـرت بـا قانـون دوم، کار مفیـد انجـام می‌دهـد.



موتور زیلارد

یکـی از متخصصـان [1] IBM توضیـح داد کـه چـرا شـیطان ماکسـول نمی‌توانـد در کار خـود موفـق شـود؛ بـرای ایـن کـه چرخـه‌ی کار موتـور زیـلارد کامـل شـود یـک مرحلـه‌ی دیگـر بایـد بـه چرخـه اضافـه شـود، بـه ایـن ترتیـب کـه حافظـه‌ی شـیطان ماکسـول بایـد یـک داده‌ی اطلاعاتـی را در خـود ذخیـره کنـد کـه عبـارت اسـت از ایـن کـه آیـا مولکـول در قسـمت راسـت محفظـه قـرار دارد یـا در قسـمت چـپ آن. شـیطان ماکسـول در هـر چرخـه بایـد ایـن اطلاعـات را از حافظـه پـاک کنـد تـا بـرای چرخـه‌ی بعـدی آمـاده شـود. ایـن پـاک کـردن اطلاعـات از حافظـه نیـاز بـه مصـرف انـرژی دارد کـه در نتیجـه حصـول انـرژی در هـر جـای دیگـر را خنثـی می‌کنـد.

بـرای حـل کـردن ایـن مسـأله، کارلتـون کیـور سیسـتمی را در نظـر گرفـت کـه از یـک سـری موتـور زیـلارد بـه هـم پیوسـته تشـکیل شـده اسـت. بـرای ایـن کـه ایـن سیسـتم کار کنـد شـیطان ماکسـول بایـد اطلاعـات را بـه نحـوی جمـع آوری کنـد کـه در پایـان هـر چرخـه، مجبـور بـه پـاک کـردن میـزان کم‌تـری از آن‌هـا باشـد. بدیـن ترتیـب، شـیطان ماکسـول طـوری آمـوزش می‌بینـد کـه مجموعـه‌ای از محفظه‌هـا را بررسـی کنـد و اطلاعـات را در صورتـی در حافظـه‌ی خـود ذخیـره کنـد کـه مولکول‌هـا (یکـی در هـر محفظـه) در آرایشـی باشـند کـه بتـوان دقیقـاً آن را توصیـف کـرد. مثـلاً موقعـی کـه مولکول‌هـا همگـی در قسـمت راسـت جعبـه قـرار دارنـد، ایـن وضعیـت بـه صـورت یـک واحـد اطلاعاتـی (بیـت) در حافظـه‌ی شـیطان ماکسـول ثبـت می‌شـود. پـس از آن کـه موتـور کار لازم را از مولکول‌هـا گرفـت شـیطان ماکسـول تنهـا مجبـور بـه پـاک کـردن یـک واحـد اطلاعاتـی از حافظـه‌ی خـود خواهـد بـود. ولـی بـه علـت آن کـه چنیـن حالت‌هایـی بـه نـدرت اتفـاق می‌افتنـد، شـیطان ماکسـول بایـد منتظـر بمانـد تـا آرایـش دل‌خـواه مولکولـی رخ دهـد. بـه ایـن ترتیـب شـیطان ماکسـول گاهـی موفـق می‌شـود و قانـون دوم در حالت‌هایـی خـاص نقـض خواهـد شـد.

امـا خـود کیـور بعـداً نظریـه‌ی خـود را رد کـرد. علـت رد نظریـه ایـن بـود کـه شـیطان ماکسـول بـرای ایـن کـه بتوانـد ترتیـب مناسـب مولکول‌هـا را تشـخیص دهـد بایـد واحدهـای اضافـی اطلاعـات را در حافظـه‌ی خـود ذخیـره کنـد، چـرا کـه در غیـر ایـن صـورت، در چرخـه‌ی بسـته‌ای گرفتـار خواهـد شـد کـه در آن یـک آرایـش مولکولـی را نـگاه می‌کنـد و آن را بـه علـت مناسـب نبـودن رد می‌کنـد، سـپس بـه آرایـش بعـدی نـگاه می‌کنـد و نمی‌دانـد آن را قبـلاً کنتـرل کـرده اسـت یـا نـه، و دو بـاره آن را وارسـی می‌کنـد، و ایـن گـردش دائمـی ادامـه پیـدا می‌کنـد. بـرای اجتنـاب از افتـادن در ایـن چرخـه‌ی بسـته، حافظـه‌ی شـیطان ماکسـول انباشـته از ارقـام مختلفـی می‌شـود کـه بـه وسـیله‌ی آن‌هـا بایـد آرایش‌هـای مولکولـی مناسـب و غیـر مناسـب را از یـک دیگـر تمیـز دهـد. ایـن اطلاعـات را نمی‌تـوان بـه صـورت فشـرده در حافظـه ذخیـره کـرد و پـاک کـردن ایـن اطلاعـات، هرگونـه انـرژی بـه دسـت آمـده در سیسـتم را بـه هـدر خواهـد داد.

آیـا نقـاط ضعـف دیگـری نیـز وجـود دارنـد؟ بـه اعتقـاد زورک یـک مـورد دیگـر نیـز قابـل بررسـی اسـت. او می‌گویـد کـه مبنـای نظریـه‌ی مـا بـر ایـن بـوده اسـت کـه فـرض کرده‌ایـم کـه شـیطان ماکسـول قـادر بـه تصمیـم گیـری قطعـی اسـت. بـه عبـارت دیگـر

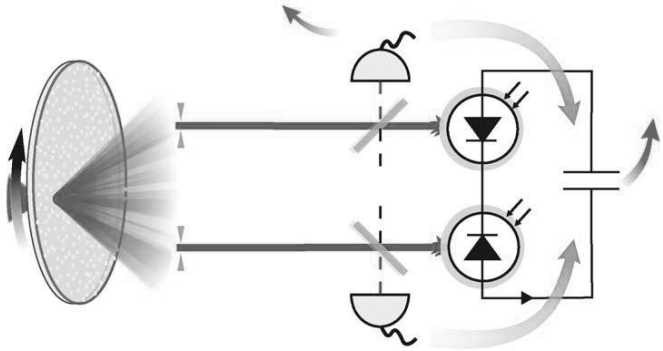
[1] International Business Machines Corporation

مانند کامپیوتری عمل می‌کند که قبل از آن که به دستور العمل بعدی بپردازد دستور العمل قبلی را کامل می‌کند. حال اگر شیطان ماکسول ، دستور العمل‌های خود را بداند ولی در مورد ترتیب اجرای آن‌ها مطمئن نباشد، به صورت اتفاقی از یک مرحله به مرحله‌ی دیگر می‌رود و در دراز مدت ممکن است بتواند مقداری کار از سیستم بگیرد.

تحقق شیطان ماکسول

در مقاله‌ای تازه فیزیکدانان، نخستین اجرای فوتونیکی شیطان ماکسول را گزارش کرده‌اند. در واقع آن‌ها نشان داده‌اند که از اندازه‌گیری دو پرتوی نور، می‌توان برای ایجاد عدم تعادل انرژی بین پرتوها استفاده کرد و از آن، کار استخراج کرد. یکی از نکات جالب، این است که از کار استخراج شده می‌توان برای شارژکردن یک باتری استفاده کرد که این، یک شاهد قوی برای اثبات فعالیت شیطان است!

حالا اجازه دهید به سراغ جزییات اجرایی این آزمایش برویم. فیزیکدانان، در طرح خود به جای یک جعبه‌ی دو قسمتی از ملکول‌های گازی، از دو پالس نور، استفاده کردند. نقش شیطان ماکسول را هم در این آزمایش، ترکیبی از آشکارسازهای نوری ایفا می‌کنند. این آشکارسازها می‌توانند تعداد فوتون‌های هر پالس نوری را اندازه گرفته و کاری، درست شبیه به باز کردن درب در آزمایش اصلی، انجام دهند؛ یعنی پرتوی روشن‌تر (با فوتون های بیشتر) را در یک جهت هدایت کرده و پرتوی تیره‌تر (با فوتون های کمتر) را به جهت دیگر بفرستند. این دو پرتوی متفاوت به آشکارسازهای نوری متفاوت می‌روند و جریانی الکتریکی را تولید می‌کنند که از جهت‌های مختلف به سمت یک خازن می‌روند. اگر انرژی هر دو پالس، مساوی باشد، آن‌ها یکدیگر را تخریب خواهند کرد. اما این اتفاق نمی‌افتد و در واقع انرژی دو پالس برابر نبوده و یک عدم تعادل وجود دارد و این همان چیزی است که خازن‌ها را شارژ می‌کند. اگرچه هدف محققان از این پژوهش، استخراج کار بهینه نبود، اما توانایی استخراج کار از شیطان ماکسول، می‌تواند باعث کاربردی شدن آن در آینده شود.



منابع:

"Maxwell's demon ۲, Entropy, classical and quantum information, computing" Institute of Physics Publishing Bristol and Philadelphia ۲۰۰۳ edited by Harvey S Leff and Andrew F Rex

General article " Maxwell's demon and the second law of thermodynamics" by P. Radhakrishnamurty , published in Resonance June ۲۰۱۰

«تحقق شیطان ماکسول پس از ۱۴۹ سال و برای اولین بار» نوشته شده توسط ناهید سادات ریاحی بهمن ۹۴

deeplook.ir

«شیطانک ماکسول و قانون دوم ترمودینامیک» تالیف و ترجمه حمید وثیق زاده انصاری

rasekhoon.net

یادداشت‌های یک فیزیک پیشه

ریحانه قائمی نژاد - کارشناسی ارشد ماده چگال دانشگاه تهران
ghaeminejad.r1998@gmail.com

وقتی از من خواسته شد یک یادداشت بنویسم و از تجربیات خودم برایتان بگویم خیلی در مورد این موضوع فکر کردم و اولین و بهترین نکته‌ایی که در ذهن دارم تا با شما همراهان در میان بگذارم تنها یک موضوع را در بر می‌گیرد و آن هم چیزی جز جمله‌ی کلیشه‌ای «از زندگی لذت بردن» نیست. از نظر من لذت بردن از زندگی، در آسوده و راحت نفس کشیدن و خندیدن ها خلاصه می‌شود و اوج لذت در آن جایی است که راهی را در پیش بگیریم که از تمام ثانیه‌های عمرمان با همه‌ی افت و خیزهایش لذت ببریم. از دیدگاه من بهترین افراد و موفقترین آن‌ها، کسانی هستند که در ابتدا خود را خوب شناخته‌اند و هدفشان را قاطعانه انتخاب کرده‌اند و در عین حال در مسیر رسیدن به هدف خود هم تلاش می‌کنند و هم از مجموعه کارهاشان لذت می‌برند. لذت جز این نیست که در نهایت از عملکرد و تلاشمان رضایت کافی داشته باشیم تا بعد از گذر چند سال به جمله «ای کاش ...» بر نخوریم.

همان‌طور که یک پزشک جراح با توانایی و علمی که در اختیار دارد جان یک انسان را نجات می‌دهد و قطعاً از نجات آن لذت می‌برد من هم با مطالعه و خواندن مطالب علمی به خصوص فیزیک و ریاضی و البته کمی زیست‌شناسی تصمیم گرفتم اینگونه از زندگی خود لذت ببرم چرا که احساس می‌کنم فیزیک وسیله لذت بردن از جهانی ست که آدمی نه از ابتدایش و نه انتهایش خبر دارد، شیرینی‌اش دقیقاً در همان لحظه دل-انگیز حل مسئله است، در همان لحظه‌ی درک موضوع پنهان شده است و یا زمانی که حس می‌کنی چشمانت در عین دیدن یک پدیده، هر چند ساده، چه قدر با ذهنت هماهنگ شده است و در همان حال است که طبیعت انرژی مثبتش را با تو به اشتراک می‌گذارد در حالی‌که که بسیاری از کنار این اتفاقات، ساده می‌گذرند. ناگفته نماند این علم را حتی اگر به طور تمام و کمال به دست بیاوری باز هم نباید فراموش کنی که خالق این جهان و کسی که علم تمام و کمال و بدون نقصش همه جهان را در برگرفته خداوند است و ما چیزی جز مهره‌های کوچک یک بازی نیستیم که به دنبال قاعده‌اش می‌گردیم.

اگر زمان به عقب برگردد و قرار باشد چهار سال کارشناسی را دوباره بگذرانم به انجام چند کار به مراتب بیشتر پافشاری خواهم کرد، در رأس این کارها حل تمرین و مسئله است یعنی سعی می‌کنم دو برابر یا شاید ده برابر بیشتر مسئله حل کنم چرا که تا تمرین حل نشود ذهن شما مانند یک فیزیک‌دان رفتار نمی‌کند و آن خیالتان است که شما را همراهی می‌کند و دوم اینکه سعی می‌کنم تا می‌توانم در همهی کلاس‌های تخصصی حضور پیدا کنم. گرچه کمتر کلاسی بوده است که از دست داده‌ام؛ چون حضور در کلاس‌ها فضای علمی را بسیار لذت بخش‌تر می‌کند و باعث می‌شود نکاتی که به ذهن بقیه دوستانتان می‌رسد به اشتراک گذاشته شود و این بسیار به نفع همگان است. از همان اول، ترم دو و یا سه، همه‌ی دروس را از منابع اصلی و به زبان اصلی مطالعه می‌کردم نه صرفا چند کتاب. این کار درک جذاب تری را برایتان ایجاد می‌کند و از طرفی شما با یک تیر دو نشان زده‌اید و زبان انگلیسی خود را هم قوی‌تر کرده‌اید. و از همه مهم‌تر غیر از کسب مهارت‌های رشته خودم و مهارت‌های دیگر را بیشتر کسب می‌کردم مثلا یکی از بهترین مهارت‌ها یاد گرفتن یک زبان برنامه‌نویسی خوب و به روز است مانند python و یک برنامه رسم نمودار مانند maple ۲۰۱۹ و امثال آنها. هم‌چنین لازم است مقاله‌خوانی را از ترم شش به بعد شروع کنید و از علم روز غافل نمانید. به عنوان آخرین نکته دوست دارم بگویم قدر اساتید را بدانید؛ آن ها گوهرهای ارزشمندی هستند که در هر لحظه شما را راهنمایی می‌کنند و بدون کم‌ترین چشم داشتی بیشتر تجربه‌های چندین ساله خود را که قطعاً با زحمت فراوان به‌دست آورده‌اند ظرف چند دقیقه به شما می‌آموزند پس حتما قدردان آنها باشید و از حضور ارزشمندشان بهره‌مند شوید.

در پایان این یادداشت، می‌خواهم بگویم برای هرآنچه که دل‌تان می‌خواهد تلاش کنید و به یاد داشته باشید که قانون طبیعت این گونه است که به تلاش‌ها پاسخ مثبت می‌دهد. برای همه‌ی شما همراهان، آرزوی سلامتی و موفقیت روز افزون می‌کنم.

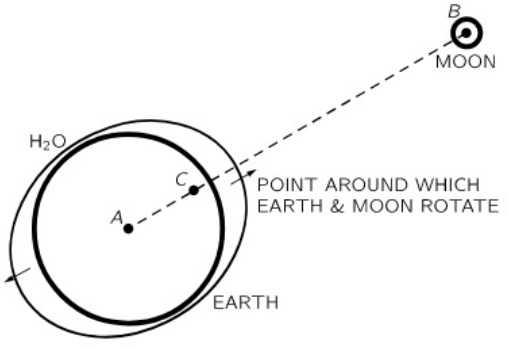
کمالِ هم نشینی ماه بر زمین

مریم شاهدی - کارشناسی فیزیک ۹۶
2m.shahedi@gmail.com

از دیرباز نگاه انسان‌ها به آسمان بوده و همواره با مشاهده ماه در آسمان سوالات مختلفی در مورد تاثیرات این همنشین همیشگی زمین در ذهن‌هایشان به‌وجود می‌آمده است.
در پی یافتن پاسخ بیش‌تر سوالات، باید به وضعیت حرکت ماه و زمین توجه کرد. ماه و زمین در مداری بیضوی به دور مرکز جرم خود درحال چرخش هستند. این مدار غیر دایره‌ای باعث تغیرات سرعت زاویه‌ای ماه، و تفاوت اندازه ظاهری‌اش به هنگام دور و نزدیک شدن از زمین شده است. وقتی که ماه کامل است و در نزدیک‌ترین نقطه به زمین قرار دارد (حضیض)، تقریبا ۱۰٪ از دیگر مواقع و ۳۰٪ از زمانی که در دورترین نقطه است (اوج)، بزرگ‌تر به نظر می‌رسد. میانگین انحراف مدار ماه از سطح دایره البروج (صفحه ی مدار گردش زمین به دور خورشید) ۵/۱۴۵ درجه است.
دوره تناوب چرخش ماه به دور زمین و به دور خودش، ۲۷/۳ روز است و این پدیده که به نام چرخش هم‌زمان شناخته می‌شود، همان دلیلی است که باعث می‌شود همیشه یک طرف ماه به سمت زمین باشد. از این رو است که سمت دیگر ماه نیمه‌ی تاریک نامیده می‌شود. اما این نام کمی گمراه کننده است، همان‌طور که ماه به دور زمین می‌گردد، آن‌سوی دیگرش در زمان‌های مختلف در معرض تابش خورشید و یا در تاریکی قرار می‌گیرد. در واقع هیچ سمت ماه دائما تاریک و یا روشن نیست.
از آن‌جایی که زمین هم درحال گردش است (حرکت وضعی و چرخشی)، به نظر می‌رسد که ماه هر ۲۹/۵۳ روز به دور ما می‌چرخد که به عنوان دوره‌ی هلالی شناخته می‌شود. دوره‌ی هلالی فاصله زمانی بین دوبار مشاهده شدن ماه در یک نقطه از آسمان است. در طول دوره‌ی هلالی، ماه در ظاهر تغییراتی می‌کند که به آن فاز ماه گفته می‌شود.
نیروی جاذبه یا گرانش یکی از نیروهای مهم و تاثیر گزار در طبیعت است که در مورد اجسام بزرگ خود را نشان می‌دهد. طبق قانون جاذبه عمومی نیوتن؛ بین هر دو جسم نیروی جاذبه‌ای وجود دارد که نسبت مستقیم با جرم آن دو جسم، و نسبت معکوس با فاصله دو جسم دارد که با این فرمول نشان داده می‌شود

$$F = G\,\frac{M_1 M_2}{r^2}$$

این نیرو به صورت جفت نیروی مساوی و در خلاف جهت هم عمل می‌کنند (نیروهای عمل و عکس العمل) و این ربطی به تفاوت بین جرم دو جسم ندارد. درواقع به همان اندازه که کره زمین یک جسم، مثلا یک سیب، را به سمت خود می‌کشد، سیب هم کره زمین را با همان نیرو به سمت خودش می‌کشد. همه‌ی ما می‌دانیم که زمین دور خورشید و ماه هم به دور زمین می‌چرخد و تمام این اجرام آسمانی میدان گرانشی ایجاد می‌کنند. این میدان‌های گرانشی به همراه چرخش زمین به دور خودش سبب جزر و مد می‌شوند. نیروی گرانشی خورشید ۱۷۹ برابر نیرویی است که ماه به زمین وارد می‌کند ولی از آنجایی که به طور متوسط خورشید ۳۸۹ برابر ماه از زمین فاصله دارد، گرادیان میدانش ضعیف‌تر است. به همین دلیل معمولاً در گفتگوهای عامیانه علت جزر و مد را به جاذبه‌ی ماه نسبت می‌دهند (که این دلیل کافی نمی‌باشد) جاذبه کره ماه علاوه بر جزر و مد باعث ثابت ماندن محور گردش زمین به‌دور خودش هم می‌شود، یعنی اگر ماه وجود نداشت، انحراف محوری زمین مرتباً تغییر می‌کرد و باعث آشفته شدن آب و هوا و فصل‌ها در زمین می‌شد.
فاینمن در درس‌نامه‌های خود در مورد جزرومد این‌گونه توضیح می‌دهد:
« ساز و کار واقعی جزر و مد از این قرار است که کشش ماه بر زمین در مرکز زمین متعادل است. اما آبی که به ماه نزدیک‌تر است، بیش‌تر از متوسط و آبی که دورتر از ماه است کم‌تر کشیده می‌شود. در حالی‌که زمین جامد و صلب است، آب می‌تواند جریان داشته باشد. تصویر واقعی جزر و مد ترکیبی از این دو اتفاق است! خب منظور از تعادل چیست؟ چه چیزی تعادل پیدا می‌کند؟ اگر ماه کل زمین را به سمت خودش می‌کشد پس چرا زمین درست به سمت بالا (ماه) سقوط نمی‌کند؟



علتش این است که زمین هم، همین کلک را می‌زند، یعنی این‌که زمین بر روی دایره‌ای، که مرکزش در داخل کره‌ی زمین است ولی با مرکز زمین خیلی فاصله دارد، گردش می‌کند. اوضاع صرفاً به این سادگی نیست که ماه به دور زمین بچرخد،

زمین و ماه هر دو حول یک مرکز مشترک می‌چرخند. یعنی هر دو دارند به طرف این مرکز مشترک که مرکز جرم این منظومه‌ی دوتایی است سقوط می‌کنند. حرکت به دور مرکز مشترک همان چیزی است که سقوط آن‌ها را متعادل و متوازن می‌کند! بنابراین زمین هم روی خط راست حرکت نمی‌کند، روی یک دایره حرکت می‌کند! آب طرف دورتر به ماه، متعادل نشده، چون که کشش ماه آن‌جا ضعیف‌تر از مرکز زمین است، که در آن نیروی کشش ماه درست با نیروی مرکزگریز برابر است. نتیجه‌ی نبود این تعادل این است که آب بالا می‌آید، یعنی از مرکز زمین فاصله می‌گیرد. در طرف نزدیک به ماه، جاذبه ماه شدیدتر است، بنابراین نیروی خالص ناشی از نبود تعادل، به سمت دیگر فضاست. ولی این بار هم در جهتی است که از مرکز زمین دور شود. نتیجه‌ی نهایی همه‌ی این‌ها این است که دو مد، هر کدام در یک طرف زمین، داریم!»

به بیان علمی‌تر زمین با تقریب خوبی یک کره‌ی صلب هست که سطح زیادی از آن را سیال (آب اقیانوس‌ها و دریاها) فراگرفته است. با در نظر نگرفتن جریان‌های اقیانوس‌ها، می‌توان سطح اقیانوس‌ها را یک سطح هم‌پتانسیل در نظر گرفت. از آن‌جایی که نیروهای گرانشی، گرادیان پتانسیل هستند، هیچ نیروی مماسی بر این سطوح وجود ندارد و سطح اقیانوس‌ها در تعادل گرانشی قرار دارند. اجرام خارجی سنگین، مثل ماه و خورشید، به خاطر این‌که میدان‌های گرانشی متناسب با فاصله ایجاد می‌کنند، شکل این سطح هم‌پتانسیل را به‌هم می‌زنند. در این بین ناگهان سر و کله‌ی نیروهای جزر و مدی یا نیروهای کشندی پیدا می‌شود! در حقیقت، نیروهای کشندی از آثار ثانویه نیروی گرانش هستند که باعث به وجود آمدن جزرومد می‌شوند. نیروی کشندی به این دلیل به‌وجود می‌آید که نیروی گرانشی وارد شده از یک جسم به یک جسم دیگر، در طول قطرش یکسان نیست و سطوحی از جسم که به جسم اول نزدیک‌ترند با نیروی بیش‌تری از نقاط دورتر جسم کشیده می‌شوند. برای درک بهتر، جاذبه گرانشی ماه بر روی اقیانوس‌های نزدیک به ماه، زمین جامد (صلب) و اقیانوس‌های دور از ماه را در نظر بگیرید. بین زمین جامد و ماه یک جاذبه دو جانبه وجود دارد که بر مرکزثقل وارد می‌شود. اما اقیانوس‌های نزدیک‌تر با نیروی بیش‌تری جذب می‌شوند و چون سیال هستند، کمی به سوی ماه کشیده شده و باعث مد می‌شوند. برخلاف نیروهای گرانشی، نیروهای کشندی، با تقریب خوبی، با وارون مکعب فاصله متناسب هستند. درحقیقت سطح اقیانوس‌ها به خاطر تغییر پتانسیل‌های کشندی جابه‌جا می‌شود.

در حال حاضر ماه با نرخ تقریبی ۱ الی ۲ سانتی‌متر در سال آرام آرام در حال دور شدن از زمین است. این پدیده دقیقا با مسئله طولانی شدن روزها در زمین مرتبط است، روزها در حال بلندتر شدن با مقدار تقریبی یک پانصدم ثانیه در هر قرن هستند. در واقع منجمان تخمین زده‌اند که حدود ۶۰۰ میلیون سال پیش، یک روز بر روی زمین حدودا ۲۱ ساعت و ماه حدود ۶۲۰۰ الی ۱۲۴۰۰ کیلومتر به زمین نزدیک‌تر بوده است.

اکنون، طول هر روز ۲۴ ساعت می‌باشد و این مقدار در حال افزایش است و ماه به‌طور تقریبی در فاصله‌ی ۳۸۴۴۰۰ کیلومتری ما قرار دارد. در واقع ماه و زمین به هم گره خورده‌اند، اما این وضعیت در میلیاردها سال آینده قطعا تغییر خواهد کرد. این اتفاق حتی برای زمین و خورشید هم اتفاق خواهد افتاد، ممکن است روزی فرارسد که فقط یک سوی زمین به سمت خوشید باشد و نیم دیگر زمین برای همیشه در تاریکی مطلق رود در حالی‌که نیم دیگر آن یک جهنم ابدی شده و این در حالی است که فاصله زمین و خورشید افزایش پیدا کرده است و زمین و ماه خورشید مانند یک جسم صلب رفتار کنند.

از زمانی که بشر شروع به نگاه کردن به آسمان نمود، همیشه ماه بخشی از این جهان بوده است و برای مدت حدود ۴/۵ میلیارد سال است که ماه تنها ماهواره طبیعی زمین بوده است، رابطه‌ی بین سیاره ی ما و آن تغییراتی کرده است و در گذر زمان همچنان تغییر خواهد کرد اما برای ما همیشه ماه همان ماهِ قبلی خواهد بود.

منابع:

www.sitpor.org

www.bigbangpage.com

www.wikipedia.org

http://www.feynmanlectures.caltech.edu/I_۰۷.html#Ch-۷S۴

چه زیبا گفت انیشتین...
«همه چیز عادیست جز زمان.... زمان مشکوک است»
به راستی چیست این موجود؟!
محیط فضاست یا محاط آن؟!
ظرف خاطرات است یا در دل خاطرات باید یافتش؟!
چه زیبا گفت انیشتین....
مطلق نیست این مشکوک موجود ما....
دیروز، امروز، فردا
دیروزی که دیروزش، آینده بود
فردایی که امروزش، حال است
امروزی که دیروزش، فردا بود
در کدام نقطه از خط زمان ایستاده‌ای؟
عجیبند این گذر لحظه‌ها
یکی پس از دیگری بی‌درنگ
در این گذر بی‌درنگ
چه یافتی؟
یافتی جهان وجودت را؟
نگریستی آسمان را تا ستاره‌ات را بیابی؟
در خلوت فارغ شدی از هر آن‌چه نازیباست؟
چه قدر دیوانه بودی؟
چه قدر خودت؟
گاه اتاق تاریک ذهن را خالی کردی از وهم؟
حالِ خوش و دلِ گرم شد ارمغانش؟
چه هستی؟ چه می‌خواهی؟ حالِ دلت را چه خوب می‌کند؟
این گذر بی‌درنگ
گاه رنگارنگ است
و گاه بی‌رنگ
برای تو کدام؟!

فاطمه عابدی
کارشناسی فیزیک ۹۷
fatemeabedi2000@gmail.com

Journal of Alzahra Physics Society
No.35 January.2021

دانشگاه الزهرا
Alzahra University