

## رادار چیست و چگونه کار می‌کند؟

(امواج) رادار چیزی است که در تمام اطراف ما وجود دارد، اگر چه دیده نمی‌شود. مرکز کنترل ترافیک فرودگاه‌ها برای ردیابی هواپیماها چه آنها که بر روی باند فرودگاه قرار دارند و چه آنها که در حال پرواز هستند و هدایت آنها از رادار استفاده می‌کنند. در برخی از کشورها پلیس از رادار برای شناسایی خودروهای با سرعت غیر مجاز استفاده می‌کند. ناسا از رادار برای شناسایی موقعیت کره زمین و دیگر سیارات استفاده می‌کند، همین طور برای دنبال کردن مسیر ماهواره‌ها و فضاپیماها و برای کمک به کشتی‌ها در دریا و مانورهای رزمی از آن استفاده می‌شود. مراکز نظامی نیز برای شناسایی دشمن و یا هدایت جنگ‌افزارهایشان از آن استفاده می‌کنند. هواشناسان برای شناسایی طوفانها، تندبادهای دریایی و گردبادها از آن استفاده می‌برند. شما حتی نوعی خاص از رادار را در مدخل ورودی فروشگاهها می‌بینید که در هنگام قرار گرفتن اشخاص در مقابلشان، درب را باز می‌کنند. بطور واضح می‌بینید که رادار وسیله‌ای بسیار کاربردی می‌باشد. در این بخش از مقالات ما به اسرار رادار می‌پردازیم.

استفاده از رادار عموماً در راستای سه هدف زیر می‌باشد:

شناسایی حضور یا عدم حضور یک جسم در فاصله‌ای مشخص – عمدتاً آنچه که شناسایی می‌شود متحرک است و مانند هواپیما، اما رادار قادر به شناسایی حضور اجسام که مثلاً در زیرزمین نیز مدفون شده‌اند، می‌باشد. در بعضی از موارد حتی رادار می‌تواند ماهیت آنچه را که می‌یابد مشخص کند، مثلاً نوع هواپیمایی که شناسایی می‌کند.

شناسایی سرعت آن جسم - دقیقاً همان هدفی که پلیس از آن در بزرگراه‌ها برای کنترل سرعت خودروها از آن استفاده می‌کند.

جابه‌جایی اجسام – شاتل‌های فضایی و ماهواره‌های دوار بر دور کره زمین از چیزی به عنوان رادار حفره‌های مجازی برای تهیه نقشه جزئیات، نقشه‌های عوارض جغرافیایی سطح ماه و دیگر سیارات استفاده می‌کنند.

تمام این سه عملیات می‌تواند با دو پدیده‌ای که شما در زندگی روزمره با آن آشنائید پیاده شود: «پژواک» و «پدیده داپلر» این دو پدیده به سادگی قابل فهم می‌باشند، چرا که هر روزه شما با آنها در حوزه شنوایی خویش برخورد دارید. رادار از این دو پدیده در حوزه امواج رادیویی استفاده می‌برد.

بگذارید ابتدا با این پدیده در حوزه شنیداری یا صوتی خویش بیشتر آشنا شویم.

پژواک پدیده‌ای است که شما هر روزه با آن برخورد دارید، اگر شما به داخل یک چاه و یا در یک دره فریاد بزنید، پژواک صدای شما چند لحظه بعد به گوش‌تان می‌رسد. در واقع شما صدایتان را باز خواهید شنید. پژواک بدین جهت رخ می‌دهد که بعضی از امواج صدای شما (به این دلیل واژه بعضی را آوردیم که صدای برخی از حیوانات مانند اردک در فرکانس خاص امواج صدای این حیوان هیچگاه پژواکی ندارد) پس از برخورد به یک سطح (که این سطح می‌تواند سطح آب، انتهای چاه یا دیواره کوه موجود در انتهای دره باشد) به سمت شما باز می‌گردد و گوش شما دوباره آنرا می‌شنود. فاصله زمانی‌ای که بین فریاد شما تا شنیدن پژواک آن طول می‌کشد با فاصله مکانی بین شما و آن سطح بازگرداننده پژواک ارتباط دارد.

هنگامی که شما به داخل یک چاه فریاد می‌کشید، صدای شما از دهانه چاه به سمت انتهای چاه رفته و پس از برخورد با سطح آب انتهای چاه منعکس می‌شود. در این حالت اگر شما سرعت صدا را به طور دقیق بدانید، با اندازه‌گیری زمان رفت و برگشت صدا می‌توانید عمق چاه را حساب کنید.

پدیده داپلر نیز بسیار معمول است. شما هر روز (بدون اینکه حتی از آن درکی داشته باشید) آن را تجربه می‌کنید. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که یک مولد امواج صوتی و یا منعکس کننده امواج صوتی دارای حرکت باشد. مثلاً یک خودرو که در حال بوق زدن است. حالت تشدید شده پدیده داپلر در شکستن «دیوار صوتی» رخ می‌دهد. در این جا به درک این پدیده می‌پردازیم (ممکن است شما برای اینکه بهتر این پدیده را درک کنید کنار یک اتوبان آن را تجربه کنید) فرض کنید که خودرویی با سرعت ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت در حال بوق زدن به سمت شما در حرکت باشد. تا زمانی که خودرو در حال نزدیک شدن به شماست فقط یک نت صوتی را می‌شنوید (در واقع یک فرکانس ثابت، در شماره گذشته راجع به فرکانس صحبت کردیم)، اما هنگامی که خودرو به کنار شما می‌رسد صدای بوق ناگهان تغییر کرده و به عبارتی «بم» تر می‌شود و بعد از لحظه‌ای که از شما عبور کرد (و اگر همچنان راننده در حال بوق زدن بود) ناگهان صدا بم‌تر نیز می‌شود، در صورتی که شما می‌دانید که صدای بوق همیشه ثابت است، کما اینکه راننده داخل خودرو در تمام مدت بوق زدن فقط نت واقعی بوق را می‌شنود. این تغییرات صوت شنیده شده توسط شما بوسیله پدیده داپلر قابل توضیح است. اما آنچه که رخ می‌دهد: «سرعت صوت» مقداری ثابت است، برای ساده‌تر شدن محاسباتمان سرعت صوت را ۱۰۰۰ کیلومتر در ساعت در نظر بگیرید. (سرعت واقعی صوت وابسته به دما، فشار هوا و رطوبت هواست.) فرض کنید که خودرویی در فاصله یک کیلومتری شما قرار دارد (بصورت غیر متحرک). راننده داخل خودرو به مدت یک دقیقه شستی بوق را فشرده تا صدا به گوش ما برسد، این صدا با سرعتی برابر با ۱۰۰۰ کیلومتر بر ساعت به سمت شما حرکت می‌کند، بعد از ۶ ثانیه از فشرده شدن شستی بوق توسط راننده، شما چه صدایی را خواهید شنید؟ (این ۶ ثانیه در واقع مدت زمانی است که طول می‌کشد صدا به شما برسد) و به مدت یک دقیقه پس از آن چه می‌شنوید؟ مسلماً صدای بوق را بدون هیچ تغییری.

پدیده داپلر: شخص پشت سر خودرویی را با بسامدی (فرکانس) پایین تر و بم تر از آنچه که راننده داخل خودرو و در حال حرکت می شنود. راننده از شخصی که خودرو به سمت آن در حال حرکت است صدا را با نت پایین تر می شنود.

حال فرض کنید خودرو از فاصله ای دور با سرعتی معادل ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت به سمت شما حرکت کند، همان راننده با همان خودرو و با همان صدای بوق و به مدت همان یک دقیقه شستی بوق را فشار می دهد می شود. جالب است! شما صدای بوق را فقط به مدت ۵۴ ثانیه خواهید شنید آن هم به خاطر حرکت خودرو رخ داده است.

در واقع تعداد اعوجاجهای موج صوتی ثابت بوده ولی در زمان کوتاه تری به سمت شما آمده و از آنجائی که تعریف فرکانس تعداد نوسانات موج در واحد زمان است لذا اگر قبلاً این نوسانات را ۱ بر ۶۰ ثانیه تقسیم کردیم و فرکانس  $F_1$  بدست می آمد، حال باید این تعداد نوسانات را بر ۵۴ تقسیم کنیم که مطمئناً عددی بزرگتر خواهد شد. این عدد بزرگتر یا فرکانس بالاتر یعنی صدای «زیر» تر. همین توجیه نیز برای خودرویی که از شما وجود دارد، در این حالت شما ۶۴ ثانیه صدای بوق را می شنوید که فرکانس حاصله در این حالت کمتر (یا صدای بم تر) خواهد بود.

### شکستن دیوار صوتی

اینک که ما در حال بحث بر روی رابط صدا و سرعت هستیم می توانیم در مورد شکستن دیوار صوتی هم صحبت کنیم. فرض کنید آن خودرویی که صحبتش بود با سرعتی معادل ۱۰۰ کیلومتر در ساعت به سوی شما، آن هم در حال بوق زدن، حرکت کند، امواج صوتی چون سرعتی معادل همان سرعت خودرو را دارند، لذا نه از آن جلو زده و نه عقب می مانند، لذا در کل

مدت حرکت خودرو شما صدایی را نخواهید شنید. اما در لحظه‌ای که خودرو به شما می‌رسد، تمام امواج صوتی جمع شده و یکجا شما آنها را می‌شنوید. صدای بسیار بلند و با فرکانس بسیار بالا.

این صدا توسط هواپیمایی که قادرند با سرعتی معادل با سرعت صوت حرکت کنند می‌تواند موجبات وحشت بسیاری از افرادی که در زیر مسیر این هواپیما قرار دارند بوجود آورده قدرت این صدا به قدری است که می‌تواند شیشه‌ها را بشکند.

چنین اتفاقی برای قایقها نیز رخ می‌دهد. منتهی در این میان تجمع امواج آب که سرعتی در حدود سرعت این قایقها دارند. این موج متمرکز بصورت  $V$  شکل از جلو قایق به طرفین حرکت می‌کند که زاویه این موج توسط سرعت قایق کنترل می‌شود. در واقع تجمع امواجی که قایق در هر لحظه تولید می‌کند و هر لحظه بر آن می‌افزاید نیز توسط پدیده داپلر قابل توضیح است.

شما می‌توانید با استفاده از ترکیبی از پژواک و پدیده داپلر بصورتی که در زیر می‌آید استفاده کنید. در محلی که ایستاده‌اید به سمت خودرویی که در حال حرکت (به سمت شما یا در خلاف جهت) صوتی را بفرستید. بعضی از این اصوات پس از برخورد با خودرو به سمت شما باز می‌گردند. (پژواک) از آنجایی که خودرو در حال حرکت است لذا اصوات منعکس شده یا به هم فشرده می‌شوند (در حالی که خودرو به سمت شما می‌آید) و یا از هم باز می‌شوند. در حالت حرکت مخالف در هر دو صورت شما می‌توانید با مقایسه موج فرستاده شده و بازگشته سرعت خودرو را بدست آورید.

### مفهوم رادار:

دیدیم که می‌توان با استفاده از مفهوم پژواک به فاصله اجسام دور پی برد و همین طور با استفاده از تغییر پدیده داپلر به سرعت این جسم پی ببریم. با

توجه به این مفاهیم می‌توان فهمید که رادار صوتی چیست؟ این گونه رادار در زیردریایی‌ها و کشتی‌ها کاربرد دارد و همیشه در حال کار است. می‌توان از رادار صوتی در محیط آزاد نیز استفاده کرد، اما بخاطر چند اشکال ریز این گونه رادار در هوا استفاده نمی‌شود.

- صدا در هوا مسافت زیادی را نمی‌تواند بپیماید.... شاید در حدود ۱/۵ کیلومتر و یا کمی بیشتر

- هرکسی می‌تواند صدا را بشنود لذا استفاده از صدا در محیط آزاد موجب آزار دیگران می‌شود که البته می‌توان با بالا بردن فرکانس صدای سمت چپ: آنتن‌های مجموعه مخابراتی فضایی گلدستون (بخشی از شبکه ارتباطی فضایی ناسا) که به ارتباطات مخابراتی رادیویی فضاپیماهای میان سیاره‌ای ناسا کمک می‌کند.

سمت راست: رادار جست و جوی سطح و هوا که بر روی نوک دکل یک موشک هدایت شونده قرار گرفته است.

حال بیایید در مورد یک نمونه واقعی راداری که برای شناسایی هواپیماهای در حال پرواز بکار می‌رود صحبت کنیم. سیستم رادار در ابتدا با روشن کردن فرستنده قوی‌اش یک دسته موج رادیویی متراکم در آسمان و در جهات مختلف پخش می‌کند. این ارسال برای چند میکروثانیه صورت می‌پذیرد، حال فرستنده خاموش شده و گیرنده سیستم رادار مترصد دریافت پژواک امواج که به همراه اطلاعات حاصل از پدیده داپلر نیز هستند می‌ماند.

امواج رادیویی با سرعتی معادل سرعت نور حرکت می‌کنند، تقریباً در هر میکروثانیه ۳۰۰ متر را در فضای می‌کنند؛ حال اگر سیستم رادار مذکور دارای یک ساعت بسیار دقیق و قوی باشد، می‌تواند با دقت بسیار بالایی موقعیت هواپیما را مشخص کند، با استفاده از روشهای خاص پردازش

سیگنال برای تحلیل پدیده داپلر بر روی موجهای برگشتی می‌توان به دقت سرعت هواپیما را مشخص کرد.

آنتن رادار یک دسته کوچک اما قدرتمند پالس امواج رادیویی از یک فرکانس مشخص را در فضا می‌فرستند. هنگامی که امواج به یک جسم برخورد می‌کنند منعکس شده و در اثر پدیده داپلر فشرده‌تر یا گسسته‌تر می‌شوند. همان آنتن وظیفه دریافت امواج منعکس شده را که البته بسیار کمتر از امواج ارسالی هستند بر عهده دارد.

در رادارهای زمینی قضیه خیلی پیچیده‌تر از رادارهای هوایی است، هنگامی که یک رادار پلیس به ارسال پالس موج رادیویی می‌پردازد بخاطر وجود اجسام بسیار در سر راهش مانند نرده‌ها، پلها، تپه‌ها و ساختمانها پژواکهای بسیاری را دریافت می‌دارد، اما از آنجایی که تمام این اجسام ثابت هستند به جزء خودروها مورد نظر، لذا سیستم رادار خودروهای پلیس از میان امواج منعکس شده، فقط آنهایی را انتخاب می‌کند که در آنها پدیده داپلر قابل شناسایی است، آن هم به اندازه‌ای که جسم متحرک اضافه سرعت داشته باشد، در ضمن آنتن این رادارها بسیار دهانه تنگی دارند، چرا که فقط بر روی یک خودرو تنظیم می‌شوند.

البته امروزه پلیسها در برخی کشورها از جمله کشور خودمان از تکنولوژی لیزر برای تعیین سرعت خودروها در بزرگراهها استفاده می‌کنند. تکنولوژی به نام «لیدار» شناخته می‌شود. در این مدل بجای امواج رادیویی از اشعه نوری متمرکز (یا همان لیزر) استفاده می‌شود

مورد استفاده و استفاده از امواج «فراصوت» این مشکل را حل کرد.

- صدای منعکس شده حاصل از پدیده پژواک بسیار ضعیف می‌باشد به طوری که دریافت آن بسیار سخت است.

لیزر مخفف عبارت light amplification by stimulated emission radiation of می باشد و به معنای تقویت نور توسط تشعشع تحریک شده است.

اولین لیزر جهان توسط تئودور مایمن اختراع گردید و از یاقوت در آن استفاده شده بود در سال ۱۹۶۲ پرو فسورعلی جوان اولین لیزر گازی را به جهانیان معرفی نمود و بعدها نوع سوم و چهارم لیزرها که لیزرهای مایع و نیمه رسانا بودند اختراع شدند. در سال ۱۹۶۷ فرانسویان توسط اشعه لیزر ایستگاههای زمینی شان دو ماهواره خود را در فضا تعقیب کردند بدین ترتیب لیزر بسیار کار بردی به نظر آمد. نوری که توسط لیزر گسیل می گردد در یک سو و بسیار پر انرژی و درخشنده است که قدرت نفوذ بالایی نیز دارد بطوریکه در الماس فرو میرود. امروزه استفاده از لیزر در صنعت بعنوان جوش آورنده فلزات و بعنوان چاقوی جراحی بدون درد در پزشکی بسیار متداول است. لیزرها سه قسمت اصلی دارند:

- ۱- پمپ انرژی یا چشمه انرژی: که ممکن است این پمپ اپتیکی یا شیمیایی و یا حتی یک لیزر دیگر باشد
- ۲- ماده پایه و فعال که نام گذاری لیزر بواسطه ماده فعال صورت می گیرد
- ۳- مشدد کننده اپتیکی: شامل دو آینه بازتابنده کلی و جزئی می باشد

### طرز کار یک لیزر یاقوتی:

پمپ انرژی در این لیزر از نوع اپتیکی میباشد و یک لامپ ماریچی تخلیه است (flash tube) که بدور کریستال یاقوت مدادی شکلی پیچیده شده (ruby) کریستال یاقوت ناخالص است و ماده فعال آن اکسید برم و ماده پایه آن اکسید آلومینیم است.

بعد از فعال شدن این پمپ انرژی کریستال یاقوت نور باران می شود و بعضی از اتمها را در اثر جذب القایی-stimulated absorption برانگیخته کرده و به ترازهای بالاتر می برد.



پدیده جذب القایی:  $\text{اتم برانگیخته} = \text{اتم} + \text{فوتون}$

با ادامه تشعشع پمپ تعداد اتمهای برانگیخته بیشتر از اتمهای با انرژی کم میشود به اصطلاح وارونی جمعیت رخ می دهد طبق قانون جذب و صدور انرژی پلانک اتمهای برانگیخته توان نگهداری انرژی زیادتر را نداشته و به تراز با انرژی کم بر میگردند و انرژی اضافی را به صورت فوتون آزاد می کنند که به این فرایند گسیل خودبخودی گفته می شود ولی از آنجایی که پمپ اپتیکی مرتب به اتمها فوتون می تاباند پدیده دیگریزودتر اتفاق می افتد که به آن گسیل القایی-stimulated emission گفته می شود همانطور که در شکل انیمیشن زیر می بینید وقتی یک فوتون به اتم برانگیخته بتابد آن را تحریک کرده وزودتر به حالت پایه خود بر می گرداند.

گسیل القایی:  $\text{اتم} + \text{دو فوتون} = \text{اتم برانگیخته} + \text{فوتون}$

این فوتونها دوباره بعضی از اتمها را برانگیخته میکنند و واکنش زنجیر وار تکرار می شود.

بخشی از نور ها درون کریستال به حرکت در می آیند که توسط مشددهای اپتیکی درون کریستال برگرداننده می شوند و این نورها در همان راستای نور اولیه هستند بتدرج با افزایش شدت نور لحظه ای می رسد که نور لیزر از جفتگر خروجی با روشنایی زیاد بطور مستقیم خارج می شود .

منابع:

لیزر تکنولوژی جدید نور نوشته: چارلن بیلینگر

کتاب پیش دانشگاهی سکسل.راب. استریروویتس

و سایت hyperphysics.

