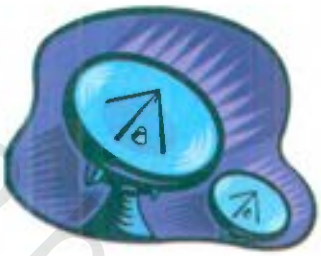
كيف يعمل الرادار؟ و كيف يتم إخفاء الطائرة الشبح عنه؟

الرادار جهاز ألكتروني يستخدم الأمواج الكهرومغناطيسية لقياس بعد وسرعة الأجسام في الهواء ومتابعة موضعها.

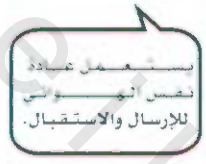
هنريش هرتز

طور العالم الإنكليزي جيمس كلارك ماكسويل James C. Maxwell المعادلات الناظمة لسلوك الأمواج الكهرطيسية في عام 1864، تضمنت هذه المعادلات قوانين انعكاس الأمواج الراديوية التي أثبتها فيما بعد عالم الفيزياء الألماني هنريش هرتز Heinrich Hertz عبر التجارب التي قام فيها في عام 1886 ، وبعده بسنوات، اقترح مهندس ألماني يدعى كريستيان هويلزماير Christian Heul-smeyer تصميم جهاز يستخدم الأصداء الراديوية لتجنب الحوادث البحرية أثناء الملاحة، وجرت التجربة الأولى الناجحة، انطلاقاً من هذا المفهوم، على يد الفيزيائي البريطاني إدوارد فيكتور أبلتون Edward V. Appletpn عام 1924 حين قاس ارتفاع طبقة الأيونسفير ionsphere، وهي الطبقة العليا من الغلاف الجوي تعكس الأمواج الراديوية الطويلة، وتم بناء جهاز الرادار العملي الأول عام 1935 من قبل العالم البريطاني روبرت واطسون واط Watson-Watt

obeikandl.com



Robert وكلمة الرادار RADAR اشتقت من أوائل الكلمات Radio Dtection And Ranging وتعني الكشف وتحديد الموضع بالأمواج الراديوية، وبنت بعدها بريطانيا عام 1939 سلسلة من محطات الرادار على امتداد سواحلها الجنوبية والشرقية لرصد قوات دول المحور المعادية من الجو والبحر، وفي العام نفسه تبعتها ألمانيا التي بنت نظاماً سمِّيَ «فريا» Freya استطاع كشف أسراب طائرات الدول الحليفة خلال الحرب العالمية الثانية على بعد 114 كم، وفي العام نفسه أيضاً حقق العالمان البريطانيان الفيزيائي هنري بوت Henry Boot والبيولوجي جون راندال John Randall الخطوة الأهم في تاريخ الرادار باختراعهما أنبوب توليد الالكترونات -الماغنترون Magnetron - الذي يولد نبضات راديوية عالية التردد ذات استطاعة كبيرة مما سمح بتطوير الرادار ذي الأمواج المايكروية.



كيف يعمل الرادار؟

يستخدم الرادار مبدأين فيزيائيين بسيطين هما الصدى echo وانزياح دوبلر Doppler shift.

الصدى هو رجع الصوت، إذا صرخنا في واد أو في بئر، عادت إلينا أصواتنا بعد هنيهة، وسبب عودتها ارتطامها بحاجز ما (جدار صخري أو قاع البئر) فانعكست عليه وعادت من حيث انطلقت، ويحدد الزمن المنقضي من

لحظة صراخنا حتى لحظة سماعنا صداه المسافة الفاصلة بيننا وبين الحاجز الذي عكس الصوت، ويمكن حسابها بتطبيق المعادلة: المسافة = السرعة (سرعة الصوت في الهواء) X 2/1 الزمن (ذهاب الصوت وإياب رجعه).

أمـــا ظاهرة انزياح

دوبلر، فهي ظاهرة نمر بها في الشارع يومياً دون أن ندركها تماماً، فلنفترض أن سيارة ما في الشارع كانت تسير مقتربة منا و مطلقة العنان لبوقها، عند اجتيازها لنا مبتعدةً نلاحظ أن صوت البوق قد تغير قليلاً وخفت، فتغير تردد صوت البوق هذا ما بين اقتراب السيارة وابتعادها نسميه انزياح دوبلر، و يحدث بسبب تراكم الموجات الصوتية أثناء اقتراب السيارة منا عند أذنينا، وبتفصيل أكثر، لنفترض أن السيارة كانت واقفة (أولاً) على بعد 1 كم= 1000متر، بدأت بإطلاق بوقها وانطلقت بنفس اللحظة مقتربة منا بسرعة 60 كم/ساعة= 1 كم/دقيقة، ستسافر أمواج البوق الصوتية، لحظة انطلاق السيارة، نحونا بسرعة الصوت (340 متراً/ثانية = 1224 كم/ساعة) وبالتالي ستصل الموجة الصوتية الأولى إلى أذننا بعد 3 ثوان من انطلاق السيارة:

obeikandl.com

زمن وصول الموجة الصوتية = المسافة المقطوعة /سرعة الصوت: 1000 متر/340 (متر/ثانية) 3 ثوان.

والموجة الصوتية الأخيرة لحظة وصول السيارة بمحاذاتنا ستدخل أذننا مباشرة بدون أي تأخير، لأن المسافة أصبحت صفراً تقريباً، ولكن السيارة تكون قد سارت لمدة 60 ثانية قبل وصولها إلى محاذاتنا:

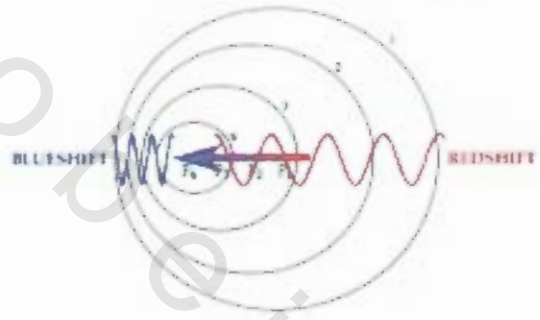
فزمن وصول السيارة = المسافة المقطوعة /سرعة السيارة: 1 (كم) /1 (كم/دقيقة) = 1د = 60 ثانية.

وهذا يعني أن أول موجة صوتية ستبدأ بالوصول بعد 3 ثوان من انطلاق السيارة ببوقها، وآخر موجة تصلنا قبل أن تجتازنا السيارة ستصل بعد 60 ثانية، أي أننا نسمع أصوات البوق على امتداد 57 ثانية، ولكن السيارة أطلقت البوق طيلة فترة مسيرها والبالغة 60 ثانية، فنقول هنا أن الأمواج الصادرة عن بوق السيارة خلال 60 ثانية سمعناه في فترة 57 ثانية، وبتعبير آخر، كافة الموجات الصوتية التي أطلقتها السيارة خلال الـ 60 ثانية قد انضغطت في أذننا خلال 57 ثانية، وانضغاطها يعني زيادة ترددها.

وبعد أن تتجاوزنا السيارة مبتعدة عنا، تحدث هنا عملية معاكسة تماماً، الموجات الصوتية التي أطلقتها السيارة خلال الـ60 ثانية من ابتعادها ستتراكم في أذننا خلال 63 ثانية، وبذا يقل تردد الصوت المسموع.

الآن، لنجمع الظاهرتين معاً، الصدى وانزياح دوبلر، ولنفترض أننا أطلقنا صرخة باتجاه سيارة مقتربة منا، فسترتطم الأمواج الصوتية لصرختنا

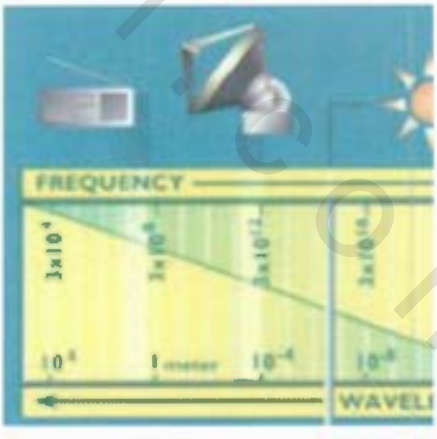
انزياح دوبلر



بالسيارة وترتد إلينا (الصدى) ولكن بما أن السيارة تقترب منا فإن الموجات الصوتية تنضغط، وبالتالي سيكون لصدى صرختنا تردد أعلى من تردد الصرخة نفسها، وبقدر ما تكون سرعة اقتراب السيارة أكبر، يكون تردد الصدى أعلى، **وبحساب فرق الترددين (تردد الصرخة - تردد صداها) يمكن حساب سرعة اقتراب السيارة منا.**

باختصار شديد، نستطيع باستخدام ظاهرة الصدى معرفة بعد جسم ما، ونستطيع باستخدام ظاهرة انزياح دوبلر معرفة سرعة اقتراب أو ادبار هذا الجسم.

ما هو الفرق بين الرادار والسونار؟ وما هو الليدار؟



طيف الأمواج الكهرطيسية مبين عليه موقع الأمواج الرادارية.

تستخدم الرادارات لكشف الأجسام في الهواء، أما داخل الماء، فيستخدم جهاز يسمى السونار SONAR والكلمة اختصار لأوائل كلمات الجملة Sound Navigation Ranging، وهو جهاز يتبع مبدأ عمل الرادار تماماً، يرسل الأمواج فترتد ويستقبلها، ثم يحلل النتائج باعتماد ظاهرتي الصدى وانزياح دوبلر، فيعرف بعد الجسم المستهدف وسرعته، ولكن الفرق الوحيد بينهما هو أن

obeikandl.com

السونار يستخدم الأمواج الصوتية فقط بينما يستخدم الرادار الأمواج الكهرومغناطيسية، ولا يمكن استخدام الأمواج الصوتية في تطبيقات الرادار كالسونار لأن سرعة الصوت في الهواء بطيئة، (340 متر/ثانية مقابل 300000 كم/ثانية للأمواج الكهرومغناطيسية بما فيها الضوء أيضاً) كما أن الصدى الناتج عن الصوت في الهواء ضعيف مما يصعب كشفه والتقاطه، بينما يسهل التقاط الأمواج الكهرومغناطيسية مهما ارتدت ضعيفة.

الآن لنتابع عمل رادار يحاول كشف جسم ما، طائرة في السماء مثلاً، يشغل عامل الرادار هوائيات إرساله و يطلق حزمة من الأمواج الراديوية عالية التردد بكثافة عالية باتجاه الهدف و لمدة قصيرة جداً لا تتجاوز بضعة من المايكروثانية (المايكروثانية جزء من مليون جزء من الثانية)، بعدها يطفئ هوائيات الإرسال و يشغل هوائيات الاستقبال التي تصغي بدورها إلى صدى الأمواج المرسلة وتلتقطها، ثم تقوم أجهزة الرادار الأخرى بتحليل المعلومات التي تم التقاطها، فيتم حساب بعد الطائرة الهدف بمعرفة الزمن الذي استغرقته الأمواج من لحظة إرسالها من هوائيات الإرسال حتى لحظة التقاط صداها من هوائيات الاستقبال (ظاهرة الصدى)، ويتم حساب سرعة اقتراب أو ادبار الطائرة الهدف بمعرفة قيمة تردد الأمواج المستقبلة وحساب انزياحها عن تردد الأمواج المرسلة (ظاهرة انزياح دوبلر).

تستخدم الشرطة أيضاً الرادار لحساب سرعة السيارات على الطرقات السريعة، ولكن مشكلتها هنا أعقد من مشكلة الرادار مع الطائرات، لأنه، ببساطة، يوجد على الأرض الكثير من التفاصيل الأخرى غير السيارة، مثل

الجدران والحواجز والجسور والأسيجة، وكلها ستعكس إشارة الرادار أيضاً وتنتج صدى فكيف يميز الرادار السيارة عما سواها، ببساطة أيضاً، لنتذكر بأن **ظاهرة انزياح دوبلر تتعلق بالأجسام المتحركة فقط**. أما الأجسام الثابتة فلا تغير تردد صداها ولا تبدي بالتالي هذه الظاهرة، وبناءً على هذه الفكرة البسيطة تجهز رادارات الشرطة بمرشح (فلتر) يحذف كافة الأصداء ذات التردد المساوي لتردد الموجة الأصلية، أي غير المترافقة بانزياح في التردد (إشارة كل جسم ثابت) وبذلك يبقى فقط إشارة السيارة المتحركة الهدف.

تتشتت أشعة الرادار المنعكسة عن الأسطح المتكسرة في كافة الاتجاهات ولا يعود منها شيء إلى الرادار.

وجدير بالذكر أن تجهيزات قياس سرعة السيارات الحديثة أصبحت تعتمد على أشعة الليزر لدقتها العالية. ويسمى الجهاز الليزري هذا الليدارlidar، وله تطبيقات عديدة في مجال الأرصاد الجوية أيضاً (والمبدأ لم يتغير، الصدى وانزياح دوبلر).

بإيجاز شديد، يستطيع الرادار بالأمواج الكهرومغناطسية في الجو والسونار بالأمواج الصوتية في الماء والليدار بأشعة الليزر على الأرض معرفة بعد جسم ما ومعرفة سرعة إقباله أو إدباره باستخدام مبدأين اثنين، الصدى وانزياح دوبلر.

حسناً، كيف تختفي الطائرة الشبح عن الرادار؟

دأب العسكريون منذ اختراع الرادار على التفكير بطريقة تخفي طائراتهم عن رادارات العدو، إذ كان للرادار تأثير كبير على مجريات المعارك، وخصوصاً بعد تطوره الكبير وحساب بعد أهدافه وسرعتها بدقة كبيرة جداً.

obeikandl.com

الطائرة الشبح F117

تعتبر المعادن أكثر المواد قدرة على رد الأمواج الكهرومغناطيسية، لذلك كان من السهل على الرادارات اكتشاف الطائرات، لأنها مصنوعة من المعدن، كما أن شكل الطائرة له تأثير على كمية الصدى المرتدة إلى الرادار، و أشكال الطائرات عموماً دائرية وانسيابية (أيروديناميكية) لتخفيف مقاومة الهواء لها وتسهيل حركتها وتسريعها (راجع مقال طيران الطائرات ضمن هذا الكتاب)، ولكن هذا الشكل الايروديناميكي ارتد سلباً عليها إذ جعلها عرضة للكشف من الرادارات المعادية. فالشكل الدائري يعكس أشعة الرادار في كل الاتجاهات وبذلك يصل جزء من هذه الأشعة المنعكسة إلى الرادار، لذلك ركزت الدراسات والأبحاث على هاتن النقطتين (المعدن والشكل) في محاولة إنتاج الطائرة الشبح، فتمت تغطية الطائرة بمادة تمتص أشعة الرادار ولا تعكسها، وتم كذلك تغيير شكل الطائرة بحيث لا يكون هناك أسطح دائرية ومنحنية، بل أسطح مستوية متقاطعة، بحيث تتشتت أشعة الرادار في اتجاهات بعيدة عن مصدرها.

بدأت فكرة تصنيع الطائرة الشبح عام 1975 عندما فكر مهندسو قسم المشاريع المتطورة في شركة لوكهيد Lockheed الأمريكية بتغيير شكل الطائرة

obeikandl.com

من الشكل المنحني إلى أسطح مستوية تميل بزاوية كي تعكس الأشعة الكهرومغناطيسية باتجاه مغاير لمنبعها، استطاعت بعدها هذه الشركة تأمين تمويل حكومي لتصنيع نموذجين بالحجم الطبيعي لتجريبهما تحت الاسم السري have blue، وطار النموذج التجريبي الأول من قاعدة سرية في لاس فيغاس في عام 1978، ولكنه لم يكن ناجحاً تماماً، وعانى من مشاكل عديدة و لم يستطع طياره الهبوط به في مطار القاعدة مما دعاه للتوجه إلى صحراء نيفادا والقفز من الطائرة على علو 3000 متر و تركها تتحطم في الصحراء.

النموذج الثاني للطائرة الخفية كان ناجحاً جداً، وبرهن على قدرة الطائرة على الاختفاء عن أشعة الرادار، إذ ظَهَرَ على شاشة الكشف الراداري وميض ضبابي خفيف، لا يمكن تمييزه عن الكسرات (التضاريس) الأرضية الأخرى، إلا أنها لم تكن مثالية تماماً، إذ استطاع كشفها رادار طائرة أنظمة التحكم و الإنذار المحمول جواً، والمعروفة باسم أواكس AWACS، بالإضافة إلى بعض الرادارات الأرضية منخفضة التردد وعالية التردد جداً وغير المخصصة للعمليات العسكرية بسبب كبر حجمها.

بعد النجاح المعقول للنموذج الثاني، طلبت القوات الجوية الأمريكية كميات من هذه الطائرة لإدخالها حيز العمل، و تم تلافي بعض العيوب التي ظهرت في النموذج الأولي، فزيدت استطاعة المحركات، و تمت معالجة فتحات الهواء والعادم

obeikandl.com

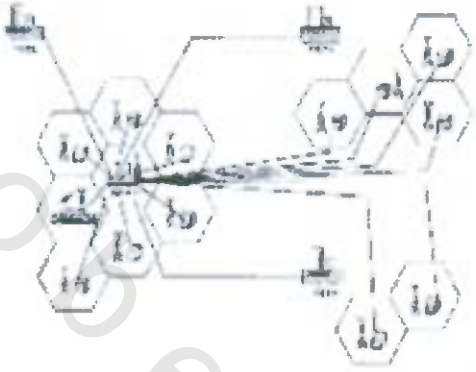
بطريقة خاصة تمنع صدور أصوات المحركات منها، وخلافاً لكافة الطائرات المقاتلة، لم تكن الطائرة الشبح تحمل راداراً، لأنه عاكس جيد لإشارات رادار الخصم، كما تم تصغير حجم خزانات الوقود إلى أدنى سعة مما أدى إلى اعتماد الطائرة الشبح على الصهاريج الجوية لإعادة ملئها جواً عندما تتطلب مهمتها قطع مسافات طويلة، وعوضاً عن تسليحها بأطنان القنابل التقليدية، زودت بقنبلتين فعالتين ذكيتين Smart bombs دقيقتين جداً تسيران بأشعة الليزر.

وأخيراً، أعلن عن وجودها ابتداءً من عام 1980 تحت اسم المقاتلة الخفية stealth fighter، واستعملت للمرة الأولى عام 1989 أثناء غزو بنما، وبلغت كلفة الطائرة الواحدة منها حوالي 1.5 مليار دولار (1 مليار= 1000 مليون).

وتم فيما بعد خلال عقد التسعينيات تصميم طراز متقدم من الطائرة الشبح تستفيد من تكنولوجيا الإخفاء المتطورة للطائرة F117، وتستفيد من التقدم الكبير الذي طرأ في العقدين الأخيرين على صناعة الألكترونيات والحواسب المتقدمة، واعتبرت الطائرة F22، والتي بدأت التجارب العملية عليها في عام 1997، طائرة القرن الواحد والعشرين.

ولكن، هل ألغت هذه الطائرة دور الرادار فعلاً؟

الحقيقة هذا هو الاعتقاد الذي ساد لسنوات خلت، ولكن فوجئ العسكريون منذ فترة قريبة بأن شبكة الهاتف الخليوي قادرة على رصد تحركات الطائرات الشبح، ورغم أن المعلومات العلمية التي رشحت إلى الآن قليلة في هذا الصدد، إلا أنه من المؤكد أن الطائرة الشبح لم تعد خفية، ولم



تعد عصية على الرادارات، إذ أعلنت شركة بريطانية أن شبكة أبراج اتصالات الهاتف الخليوي تستطيع تحديد مكان الطائرة الشبح، إذ تشكل هذه الأبراج شبكة إشعاعات تضطرب عند مرور الطائرة الشبح في أجوائها، وباستخدام برامج خاصة على حواسب محمولة متصلة بأبراج الهاتف الخليوي، وبالاستعانة بالأنظمة الملاحية المعتمدة على الأقمار الصناعية GPS Global Positioning Systems، يمكن تحديد مكان الطائرة الشبح بدقة تبلغ 10 أمتار.

شبكة الهاتف الخليوي

وتظل التقنية في تسارع مضطرد، ويبقى علماء الدول المتقدمة في سباق دائم مع أنفسهم وتبقى شعوب أخرى في سبات دائم في غفوتها.

obeikandl.com