

Niewidzialność

Technika kamuflażu



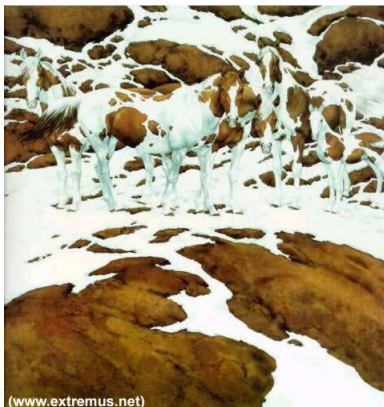
Technika kamuflażu rozwija się nieustannie:

dawniej

teraz



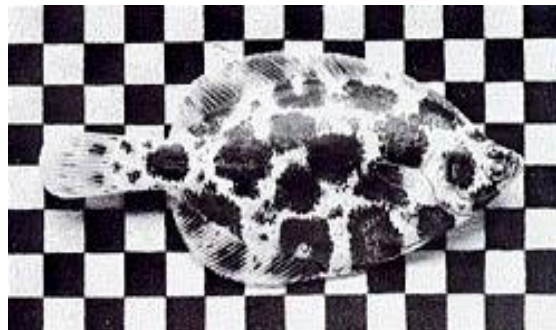
Natura mistrzem kamuflażu:



Kameleon posiada 2 warstwy wyspecjalizowanych komórek leżących poniżej przezroczystej zewnętrznej skóry.



Flądra tropikalna jest w stanie w czasie 2-8 sekund dostosować swój wygląd do podłoża.



Jak osiągnąć niewidzialność?

- Czapka niewidka: w mitologii greckiej Hades i Perseusz używali czapki niewidki (szyszak i hełm);
- Amulety i inne przedmioty: koralik - „Karolcia”, M. Krüger, pierścień - „Władca pierścieni”, „Hobbit” J.R.R. Tolkiena
- Peleryna niewidka: mitologia nordycka, Harry Potter;
- Niewidzialność „na życzenie”: chińskie smoki, na życzenie stawały się tak małe, że człowiek ich nie widział.

Czy niewidzialność to tylko fikcja literacka?



Jak ukryć samolot lub statek przed radarem?



Wbrew pozorom, prace nad poszukiwaniem sposobów ukrycia okrętów podwodnych przed radarem nie są nowe. Początki sięgają II wojny światowej. Zastosowano wówczas materiały absorbujące promieniowanie:

- gruby (7.5 cm) wielowarstwowy materiał złożony z warstw oporowych przedzielonych plastikiem o małej stałej dielektrycznej,
- warstwę gumy z cząstkami magnetycznymi (kompozyt), absorbującą promieniowanie 3 GHz.

Jak obliczyć „widzialność”: przekrój czynny?

Moc promieniowania rozproszonego przez obiekt na jednostkę kąta bryłowego (steradian) w kierunku radaru podzielona przez gęstość mocy promieniowania padającego na obiekt. Wielkość ta (RCS) ma wymiar powierzchni.

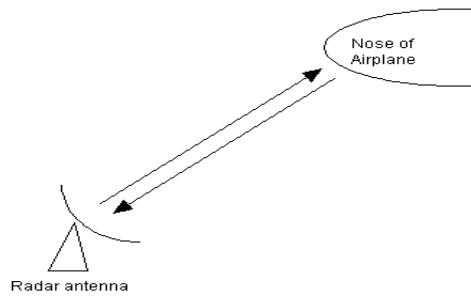
Przykłady:

Typowy RCS - Skuteczna powierzchnia odbicia (m ²)	
Ciężarówka	200
Linowiec Jumbo jet	100
Duży bombowiec	40
Duży samolot myśliwski	5-6
Dorosły mężczyzna	1
Konwencjonalne pociski	0.5
Ptaki	0.01
Insekty	0.00001

Źródło: Skolnick, Introduction to Radar Systems

Jak działa radar?

- Antena wysyła silny impuls fal radiowych.
- Impuls natrafia na samolot i odbija się.
- Odbity sygnał jest rejestrowany przez tę samą antenę.



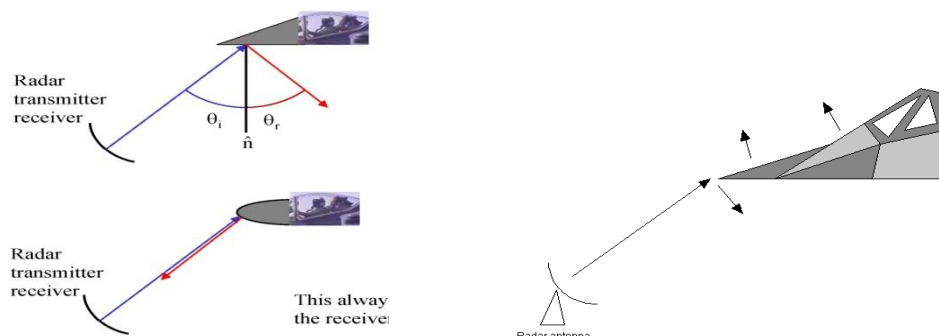
Jak oszukać radar?

- Tak odbić promieniowanie, że nie trafi ono do detektora (kształt, struktura powierzchni);
- Pochłonąć promieniowanie padające i zamienić je na ciepło (materiały absorbujące promieniowanie).

Piotr Ufimtsev w 1966 roku opublikował “Method of Edge Waves in the Physical Theory of Diffraction”. Obliczył przekroje czynne różnych obiektów 2D oraz opracował program komputerowy Echo 1 do obliczania optymalnych kątów dla samolotów F-117A. Samolot powinien składać się z wielu płaskich powierzchni. Łatwo to zrozumieć patrząc na bieg promienia światła po przejściu np. przez taki żyrandol jak na rysunku obok.



Gdy kształt samolotu jest zaokrąglony, wówczas zawsze część promieniowania odbitego dotrze do detektora. Gdy jest wiele, różnie nachylonych płaskich powierzchni, jest jeszcze lepiej.

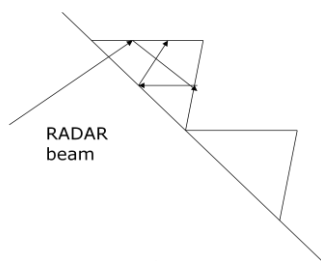




W latach 1980-tych rozpoczęto komputerowe projektowanie kształtu samolotu. Pozwoliło to na bardziej aerodynamiczne kształty.

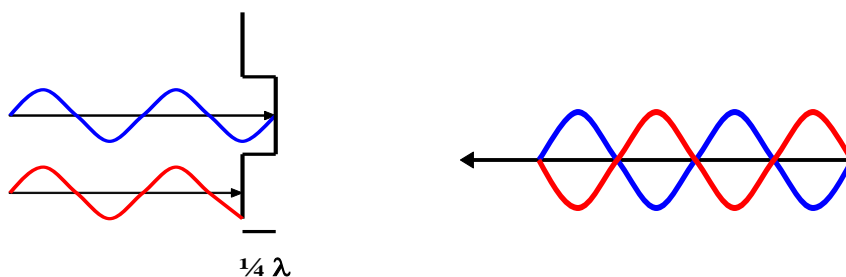


Struktura powierzchni samolotu:

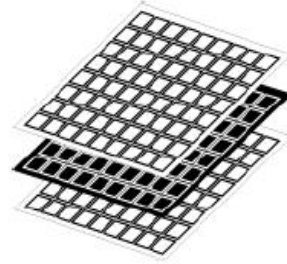
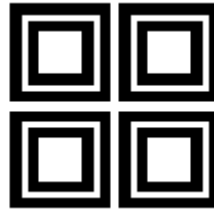
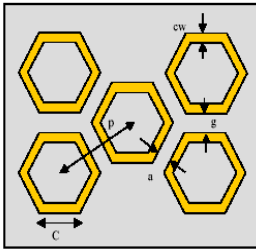


Wielokrotne odbicia w różnych kierunkach

Struktura powierzchni samolotu może być taka, że padające promieniowanie odbija się, ale tak, że fala padająca i odbita wygaszają się.



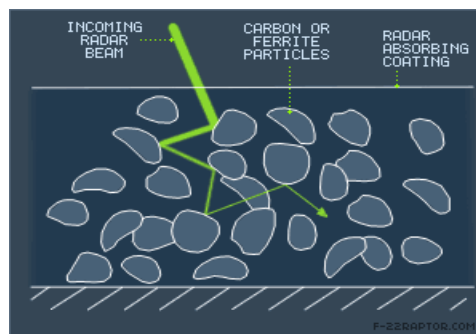
Również efekty dyfrakcyjne mogą być wykorzystane w tzw. powierzchniach selektywnych (frequency-selective surfaces), zbudowanych w postaci równomiernie rozłożonych struktur pełniących funkcję anten.



Materiałami absorbującymi promieniowanie są tak zwane kompozyty, czyli drobiny materiału magnetycznego lub elektrycznego w matrycy dielektrycznej.

Jak materiał absorbuje promieniowanie?

- Materiały magnetyczne- promieniowanie elektromagnetyczne oddziałuje z materiałem magnetycznym: powoduje przemagnesowanie, ruch domen magnetycznych itd., a to w konsekwencji straty energii promieniowania padającego i zamianę jej na ciepło.
- Materiały przewodzące- zmienne pole elektryczne indukuje prąd w materiale. Materiał ma opór, pojemność, indukcyjność, z przepływem prądu wiążą się straty energii, tzn. energia fali elektromagnetycznej zamienia się w ten sposób na ciepło.



Obecność fazy magnetycznej (przewodzącej) powoduje oddziaływanie promieniowania z materiałem i straty energii. Obecność fazy niemetalicznej powoduje, że promieniowanie wnika do wnętrza materiału.

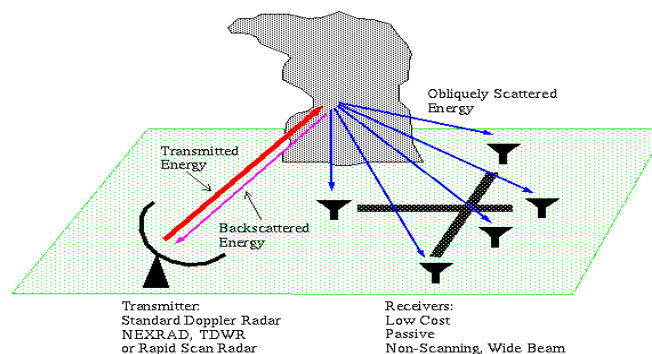
Radary najczęściej pracują impulsowo: emitują silny impuls promieniowania i następnie mierzą impuls odbity od przeszkody. W rezultacie, łatwo je wykryć. Obecne tendencje są takie, aby radar emitował promieniowanie ciągłe, odpowiednio modulowane, a detekcja odbywała się za pomocą innych anten.

Pierwsze radary emitowały falę ciągłą i były bistatyczne. Dużym problemem było tło i rozmaite zakłócenia z ziemi. Dlatego rozwinięto techniki impulsowe.

Obecnie, wskutek rozwoju cyfrowych technik obróbki sygnału stał się możliwy rozwój technik nieimpulsowych.

Pierwszy praktycznie stosowany radar ciągły (tylko Dopplerowski) to radar policyjny.

W przypadku bi- i multistatycznych radarów jest więcej niż jedna antena odbiorcza. Takie radary mają większą czułość, większy zasięg, a wyniki są bardziej jednoznaczne. Zasięg praktycznie zależy jedynie od ilości anten odbiorczych.



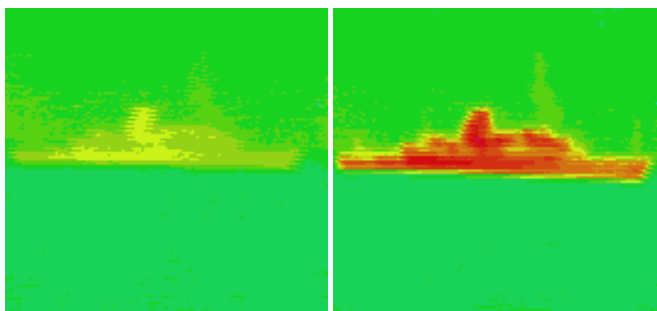
Kamuflaż termiczny

Każdy człowiek, każdy obiekt, urządzenie, pojazd itd. emituje promieniowanie cieplne o intensywności i zakresie długości fali zależnym od temperatury powierzchni ciała i jej zdolności emisyjnej. Obiekty o temperaturze około 500°C emitują promieniowanie o długości $\lambda \approx 1 - 2$ mm, 50-200°C: $\lambda \approx 3 - 5$ mm, 20 - 100°C: $\lambda \approx 8 - 12$ mm.

Czułość detektorów termicznych jest obecnie taka, że mogą one zmierzyć różnicę temperatur między obiektem a otoczeniem 0.1°C i mniej. Ukrycie np. czołgu na tle otoczenia, które ma np. 20°C jest ekstremalnie trudne. W dodatku temperatura otoczenia się zmienia.

Warstwy (np. farby) zmniejszające współczynnik odbicia promieniowania IR zawierają zazwyczaj drobiny metalu, które muszą być tak przygotowane, aby nie odbijały zbyt silnie promieniowania widzialnego. Może to być też materiał warstwowy (tkanina, folia metalowa, tkanina).

Poniższe rysunki przedstawia: statek pokryty warstwą ochronną (lewy) i bez warstwy oraz czołg pokryty warstwą ochronną (lewy) i bez warstwy.

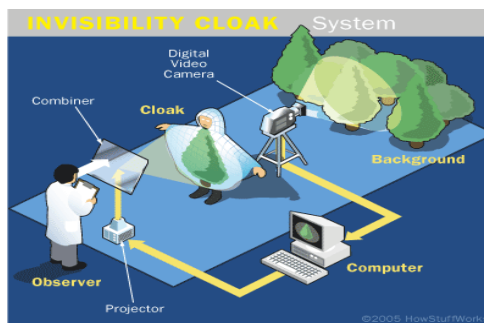


Niewidzialność optyczna

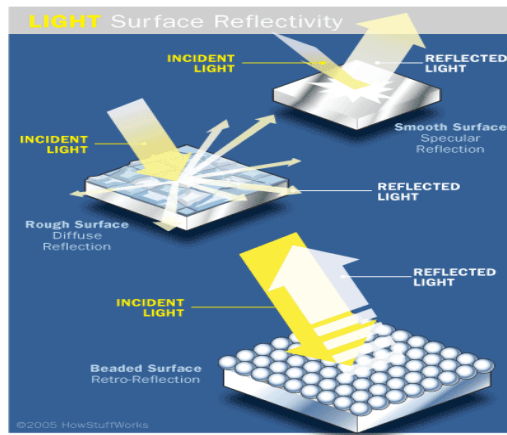
Kamuflaż optyczny za pomocą urządzeń optoelektronicznych dostosowuje się do warunków otoczenia. Optoelektroniczne układy, sensory i ekrany zbudowane tak, aby niektóre obiekty wydawały się wręcz przezroczyste.



Układ składa się z elastycznych wyświetlaczy tworzących płaszczyznę osłaniającą wszystkie powierzchnie ukrywanego obiektu. Każdy ekran jest wyposażony w sensory, które rejestrują obraz przed sobą. Obraz ten jest przekazywany do wyświetlacza z drugiej strony obiektu i tam wyświetlany (każdy ekran wyświetla to, co jest ZA NIM).

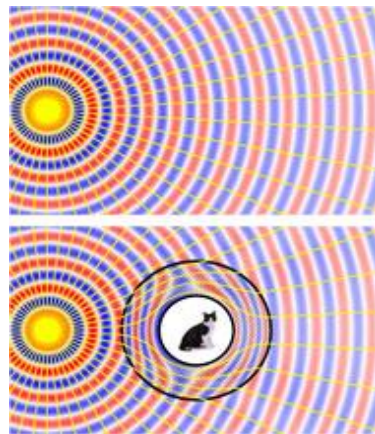


Materiał peleryny niewidki jest pokryty tysiącami kuleczek, które odbijają światło idealnie do tyłu. Taki materiał jest idealnie nieprzezroczysty - pełni funkcję ekranu.



Nie jest to, niestety, prawdziwy i idealny kamuflaż. Jest właściwie jednokierunkowy, wymaga wyposażenia technicznego i nie likwiduje cienia.

Prawdziwa niewidzialność?



Prawdziwą niewidzialność można osiągnąć tylko, jeśli światło będzie ugiąć się wokół obiektu.

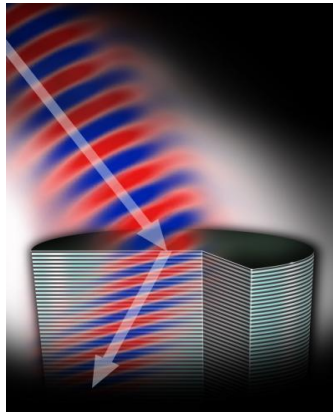
Jak ugiąć światło?



Aby światło rozchodzące się w powietrzu, napotykając materiał ugięło się wokół niego, musi on mieć **ujemny współczynnik załamania**. Współczynnik

$$n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon\mu}$$

załamania światła materiału jest ujemny gdy jego przenikalność elektryczna i magnetyczna są jednocześnie ujemne.



Czy istnieje materiał o ujemnym n ?

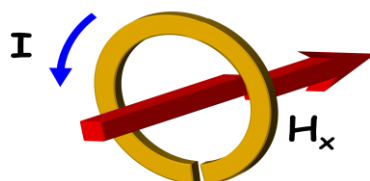
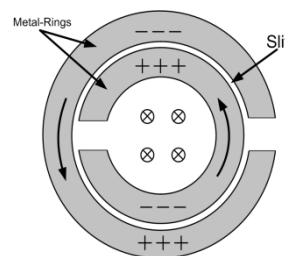
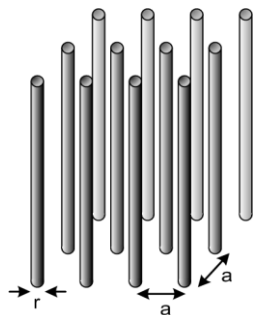
Nie istnieje! Trzeba go zbudować. Jest to tak zwany METAMATERIAŁ.

Jak zrobić metamateriał?

Potrzebny jest materiał z ujemnym ϵ i μ w tym samym (najlepiej optycznym) zakresie częstotliwości.

Rezonans elektryczny w układzie cienkich drutów prowadzi do ujemnego ϵ .

Rezonans magnetyczny w przeciętym pierścieniu prowadzi do ujemnego μ .

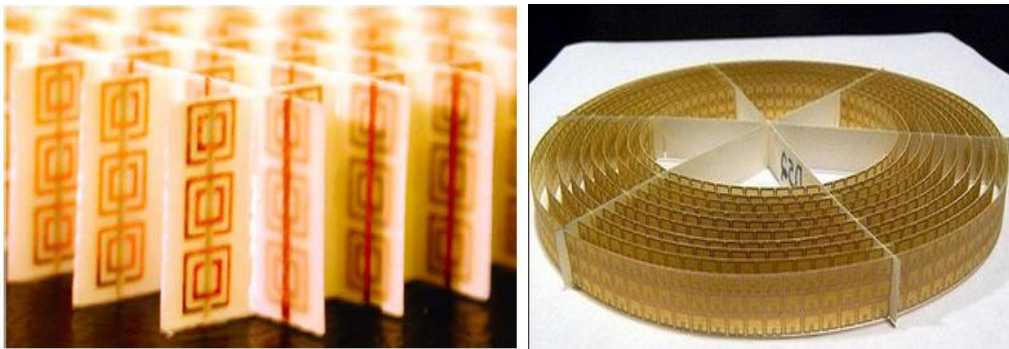


Rezonans magnetyczny
(ujemne μ)



Rezonans elektryczny
(ujemne ϵ)

Pierwszy materiał o ujemnym współczynniku załamania otrzymano w 2000 roku (w zakresie mikrofal: $\lambda = 6$ cm).



Wyniki doświadczalne (2000-2006):

- Pierwsze wyniki (2000-2002) – mikrofałe (5 GHz -20 GHz)
- Później (2002-2005) – podczerwień GHz, THz,
- Obecnie – promieniowanie widzialne.

W ciągu 6 lat długość fali zmniejszyła się od 6 cm do 750 nm.

W sierpniu 2008 w Nature i Science opublikowano dwa doniesienia o **trójwymiarowych materiałach o ujemnym współczynniku załamania w zakresie widzialnym.**

Metamateriał zbudowany z nanodrutów srebrnych umieszczonych w matrycy Al_2O_3 .

