

Urszula A. Laudyn

Wydział Fizyki

Politechnika Warszawska

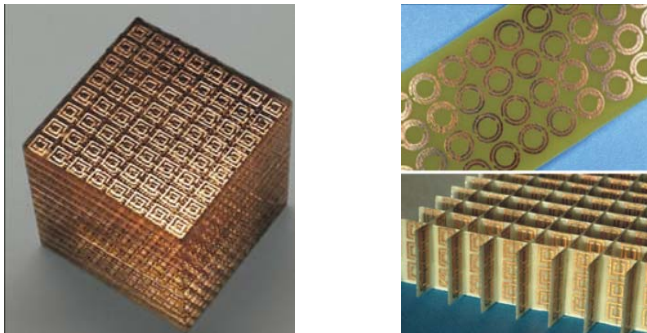
Od supersoczewki do niewidzialności?

Czy możliwe jest wytworzenie soczewki bez aberracji, działającej poza ograniczeniami dyfrakcyjnymi?

Czy można sprawić, żeby światło obiegło przedmiot i wróciło na swój dotychczasowy tor, jak gdyby niczego w tym miejscu nie było?

Czy za 10,-20,-30 lat w sklepie z zabawkami dla dzieci powszechnie dostępna będzie peleryna niewidka Harry'ego Pottera, a może dodawana będzie jako prezent do kolorowych magazynów z supermarketu?

Jeszcze niedawno była to czysta fikcja opisywana czasem przez optyków z bujną wyobraźnią lub autorów książek science-fiction. Tymczasem tworzywa, dzięki którym wytworzenie supersoczewki czy osiągnięcie niewidzialności, już powstają, nie ma więc technicznych przeszkód ku temu. Jak donosi Science [1], magiczna peleryna niewidka Harry'ego Pottera jest w zasięgu ręki naukowców. A spróbujmy sobie wyobrazić życie na Ziemi, gdy będzie można zniknąć w dogodnym dla siebie momencie.



Rys. 1. Przykładowa struktura metamateriału

J. B. Pendry, D.R.Smith,
„Reversing Light: Negative Refraction”

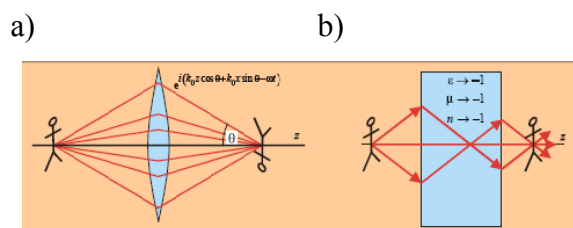
Hipotetyczna niewidzialność możliwa jest dzięki tzw. metamateriałom. Są to sztucznie wytwarzane materiały o niespotykanych dotąd właściwościach elektromagnetycznych.

Jak wiadomo światło (i inne fale elektromagnetyczne) rozchodzi się w każdym ośrodku z określoną prędkością - zawsze mniejszą niż w próżni. Spowolnienie światła opisywane jest poprzez współczynnik załamania danego materiały, dla próżni $n = 1$, dla innych materiałów jest zwykle większy. Czy tak jest jednak zawsze? Jeszcze do niedawna uważano, że tak. Dzieci w szkołach uczyły się, że współczynnik załamania osiąga wartość minimalną dla

próżni i wynosi 1. Okazuje się jednak, że ów współczynnik może być mniejszy, a w szczególności nawet i ujemny!. Prawa optyki klasycznej ulegają w takim przypadku odwróceniu - światło odbija się, zamiast załamywać, i załamuje, zamiast ulec odbiciu. W dodatku pokonuje dłuższe trasy, powstaje więc wrażenie, jakby poruszało się szybciej niż w próżni. Nic więc dziwnego, że po dzień dzisiejszy fizycy z całego świata spierają się, a metamateriały mają tyleż samo zwolenników co wrogów. Wszak nikt nie lubi, gdy okazuje się, iż jego dotychczasowa wiedza nie będzie przydatna w tych nowych strukturach. Oczywiście jest to powiedziane w bardzo dużym uproszczeniu i zaokrągleniu. Niemniej jednak, zagadnienie metamateriałów i ujemnego współczynnika załamania rodzi szereg zaciętych dyskusji i sporów.

Zastanówmy się pokrótce jednak jak do tego doszło?

40 lat temu rosyjski fizyk Wiktor Wiesielago wymyślił, iż można stworzyć materiał, który postawiłby na głowie całą dotychczasową optykę. W ośrodku tym światło zachowywałoby się w sposób sprzeczny z naszą intuicją. Wiesielago wykazał, że jeśli przenikalność elektryczna ϵ i przenikalność magnetyczna μ są ujemne to współczynnik załamania n także musi być ujemny [2]. A zatem mamy ośrodek o ujemnym współczynniku załamania, określanym w literaturze również jako materiał lewoskrętny (z ang. *left handed material*). Ujemna wartość ϵ lub μ oznacza, że elektrony, które są wewnątrz ośrodka, poruszają się w przeciwną stronę niż zwrot działającej na nie siły wytworzonej przez pole elektryczne i magnetyczne. Jedynym problemem do pokonania było znalezienie takiej substancji. Większość znanych i badanych dotychczas materiałów charakteryzowała się dodatnimi współczynnikami przenikalności, a co za tym idzie dodatnim współczynnikiem załamania. Wydawało się początkowo, że materiały o ujemnym współczynniku załamania nie mogą istnieć w praktyce i badania pozostaną na etapie symulacji numerycznych i przewidywań „zwariowanego naukowca”. Oczywiście, w nauce nie ma rzeczy niemożliwych, a jak historia pokazuje wynalazca musi często czekać kilkadziesiąt lat aby jego pomysł doczekał się uznania i realizacji, tak i w tym przypadku w kilkadziesiąt lat po pierwszej teorii Wiesielago okazało się, że takie materiały można wytworzyć sztucznie w laboratorium. Dokładne wytłumaczenie fenomenu metamateriałów można znaleźć w pozycjach [1-3].



Rys. 2 a) klasyczna soczewka; b) soczewka z metamateriału
J. B. Pendry, D.R.Smith, „Reversing Light: Negative Refraction”

Jedną z „najdziwniejszych” własności metamateriałów jest zdolność do charakterystycznego skupiania światła. Skupianie światła odbywa się bez aberracji i wszystkie promienie wychodzące ze źródła są dwukrotnie skupiane – raz w materiale i ponownie poza nim. Soczewka zbudowana z takiego metamateriału charakteryzuje się zerową aberracją i nie ma ograniczeń dyfrakcyjnych, powinna ogniskować zarówno pole dalekie jak i bliskie (*J. Pendry*) jest więc bez porównania lepsza niż stosowane obecnie zwykłe soczewki i zwierciadła. Taka soczewka nazwana została supersoczewką. Okazuje się, że nawet najlepiej wykonana supersoczewka ma pewną określoną zdolność rozdzielczą ograniczoną przez jakość metamateriału. Najlepsze parametry uzyskuje się wybierając materiał o $\epsilon = -1$ i $\mu = -1$.

Jeszcze niedawno naukowcy twierdzili, iż wykonanie soczewki bezaberracyjnej i obrazującej jednocześnie pole dalekie i bliskie jest nieosiągalne. Skoro i ta trudność została pokonana to czemu nie mówić o możliwej niewidzialności? Zwłaszcza, iż ostatnie przewidywania teoretyczne i badania doświadczalne nie zaprzeczają temu.

Czasopismo naukowe *Science* zamieściło niedawno dwie prace brytyjskich naukowców na temat niewidzialności. Autorzy pracujący niezależnie nad tym problemem zgadzają się, że trik polega tylko na „dostrojeniu” struktury materiału do długości fali.

A zatem stworzenie peleryny niewidki już wkrótce może zostać osiągnięte.

Najprawdopodobniej jednak peleryna będzie mogła zagwarantować niewidzialność związaną z jednym tylko typem fal. Niewidzialność działa jednak w obie strony. Osoba schowana, aby „widzieć”, będzie musiała użyć noktowizora, sonaru lub detektora mikrofal. Cała przestrzeń pokryta tak przygotowanym materiałem nie będzie istnieć dla promieniowania o określonej częstotliwości. Promienie nie wnikną do środka, prześlizgną się po ukrytym człowieku i nie pozostawią nawet cienia. Wszystko pod peleryną będzie tym samym osłonięte przed oddziaływaniem z zewnątrz. Można w ten sposób stworzyć zabezpieczenia przed szkodliwym promieniowaniem albo zapewnić sobie doskonały kamuflaż – „niewidzialność”.

Do czego niewidzialność może się nam przydać?

Takimi technologiami interesuje się między innymi wojsko. Mogą one być również wykorzystane w przemyśle, telekomunikacji, do budowy aparatury naukowej kolejnej generacji, a także w dziedzinie ROZRYWKI.

Oczywiście do niewidzialności jeszcze długa droga. Niemniej jednak niespotykane dotąd własności metamateriałów są niezwykle obiecujące i dają pole do popisu wielu zespołom badawczym z całego świata. A jak wiadomo im więcej zespołów, tym więcej pomysłów, im więcej pomysłów tym większe prawdopodobieństwo ich realizacji i osiągnięcia celów.

1. D.R. Smith, J. B. Pendry, M. C. K. Wiltshire, “Metamaterials and negative refractive index,” *Science*, **305**, 788 – 792 (2004)
2. J. B. Pendry, “Negative refraction”, *Contemporary Phys.*, **45**, 191-202 (2004)
3. J. B. Pendry, “Manipulating the near field with metamaterials”, *Opt.&Phot. News*, Septemeber 2004
4. J. B. Pendry, D. R. Smith, “Reversing light: Negative refraction”, *Phys. Today*, December 2003