



Argi bihurria

Roa Zubia, Guillermo / Elhuyar Zientziaren Komunikazioa

ARTXIBOKOA

Aurrera, beti aurrera; argi-izpiek, ez badute oztoporik aurkitzen, aurrera egiten dute lerro zuzen batean. Atzera egiteko, ispilu batekin egin behar dute topo, hau da, islatu egin behar dira. Baina oztopo garden batekin, izpiek aurrera jarraitzen dute; norabidea aldatuta, baina aurrera. Orain arte, behintzat, hala izan da. Dena dela, material berri batzuetan, argia bihurritu egiten da, eta atzera egiten du islatu gabe.

EDALONTZIAREN ETA ARKATZAREN ADIBIDEA ASKOTAN ERABILI DA ARGIAZ HITZ EGITEKO. Arkatza edalontzi barruan sartuta, uretan erabat murgildu gabe, argi ikusten da errefrakzioaren efektua: ematen du arkatza puskatuta dagoela uretan sartzen den tokitik. Efektu optikoa da, noski; arkatza ez dago puskatuta, baina argi-izpiek norabidez aldatzen dute puntu horretan, eta begiak argia ikusten du (ez arkatza). Oinarrizko efektua da.

Oinarrizkoa, baina garrantzi handikoa. Izan ere, edozein objektu gardenetan jokatzeko du horrela argiak, eta argiarekin lan egiten duen edozeinek kontuan hartu behar du efektua. Argia errefraktatu egiten da. Baina ez da material guztietan berdin errefraktatzen; uraren lekuan olioak jarritz gero, arkatza oraindik ere puskatuta dagoela ematen du, baina okertze-angelua ez da berdina bi kasuetan. Material

batzuek beste batzuek baino angelu handiagoa eragiten diote argiari, errefrakzio ezberdina. Fisikariek errefrakzio-indizea erabiltzen dute hori adierazteko: zenbat eta zenbaki handiagoa izan, orduan eta gehiago okertzen du argiaren norabidea materialak.

Eta, jakina, errefrakzio-indizea zenbat eta txikiagoa izan, orduan eta gutxiago okertzen du argiaren norabidea. Baina, non dago muga? Argia okertzeko gai ez den materialaren indizea zero izango da. Baina zero balioak ez du zertan muga izan, fisika teorikoan behinik behin. Zeroa ez da muga, zenbaki negatiboen eremuaren hasiera baizik. Agian, errefrakzio-indizeari aplikatu dakioke ideia hori; ez dago errefrakzio-indize negatiboa duen materialik? Argia 'beste alderantz' okertzen duen materiala izango litzateke. ➔

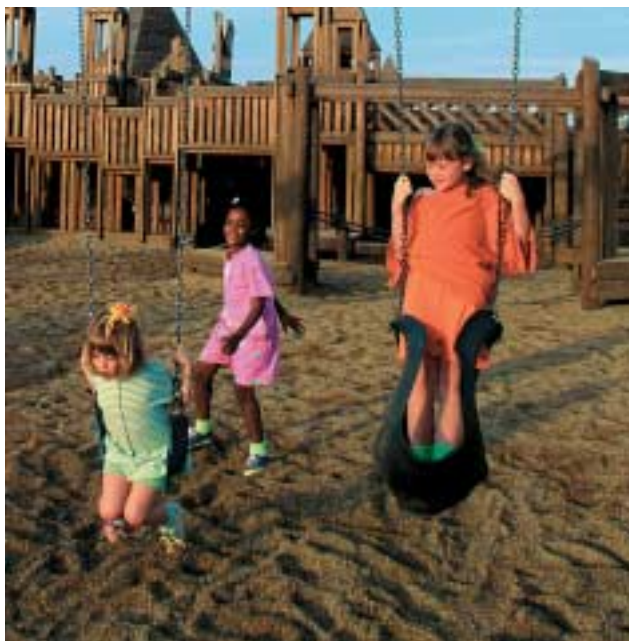
Indize negatiboa

Errefrakzio-indize negatiboa duen material batean sartzean, izpiek argiaren norabidean aurrera egin ordez, atzera egingo lukete. Horrelako materialak bilatu eta aurkitu egin zituzten. Edo, hobeto esanda, egin egin zituzten.

Horretarako, argiaren eta materiaren arteko harremana ulertu behar izan zuten. Material batzuek pasatzen uzten diote argiari –beirak, urak edo aireak– eta beste batzuek ez –zurak, esneak edo ur-lurrunik–. Material batzuk gardenak dira eta beste batzuk, berriz, opakuek. (Eta beste batzuk tartekoak dira, argiari neurri batean uzten diotelako pasatzen). Kontua da zergatik gertatzen den hori.

Argia uhin elektromagnetiko bat da. Horrek esan nahi du bi osagai dituela: eremu elektriko bat eta eremu magnetiko bat. Bi eremu horiei pasatzen uztea da argiari pasatzen uztea. Hor dago gakoa.

Bi ezaugarri dira: eremu elektrikoak alde batetik, eta magnetikoa bestetik. Galdera da zenbateko erraztasunez zeharkatzen duen horietako bakoitzak materiala. Hori neurtzen



Kulunkaren ereduak azaltzen du sistema fisiko batek nola izan dezakeen 'alderantzizko' erreakzioa indar baten aurrean. Maiztasunen kontua da; kulunkaren berezko maiztasuna baino azkarrago bultza eginez gero, kulunkaren erantzuna kontra egitea da.

ARTIBOKOA

“errefrakzio-indizea zenbat eta txikiagoa izan, orduan eta gutxiago okertzen du argiaren norabidea, baina zero balioak ez du zertan muga izan”

duten bi parametro erabiltzen dituzte fisikariek: permitibitate elektriko eta iragazkortasun magnetikoa, hurrenez hurren.

Permitibitate elektrikoak adierazten du nolako erantzuna duen material batek eremu elektriko batekin topo egiten duenean. Positiboa bada, materialaren elektroiz guztiak eremuak bultzatzen dituen alderantz mugitzen dira; eta, negatiboa bada, kontrako alderantz. Material gehienetan, positiboa



G. RDA

John Pendry eta errefrakzio negatiboa

Londresko Imperial College-ko fisikaria da John Pendry. Gaur egun, errefrakzio negatiboa ikertzen dutenen ereduak da; izan ere, Pendry izan zen lehena metamaterial bat diseinatzen.

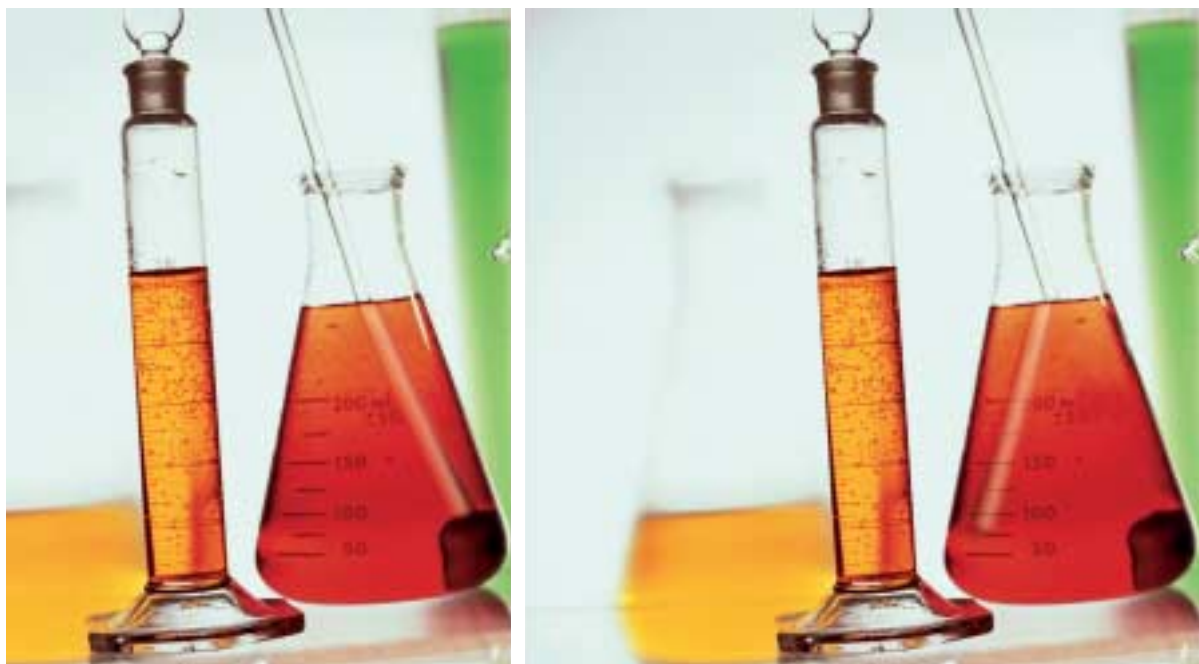
Metamaterialen ezaugarri nagusia uhin elektromagnetikoekin duten interakzioa da. Hain zuzen ere, elektrizitateari eta magnetismoari erantzun 'negatiboa' ematen diete metamaterialek.

Nafarroako Unibertsitate Publikoan emandako hitzaldi batean, Pendry berak azaldu zigun zer esan nahi duen horrek:

“Eguneroko bizimoduan ikusten da; esaterako, umeekin parkera joan, eta kulunkan esertzen direnean. Bultza egiten badituzu kulunkari, maiztasun naturalez hasiko da balantzaka. Oso mantso bultzatzen baduzu,

kulunka bultzadaren noranzkoan mugituko da. Baina oso azkar bultzatzen baduzu (ez dakit horrelakorik probatu duzun!), kulunkak ezin du 'erantzun' behar bezain azkar, eta, beraz, bultzadaren kontrako noranzkoan mugituko da. Hori gertatzen da berez duen balantza baino azkarrago bultzatzen baduzu kulunka.

Horrelaxe lortzen da erantzun negatiboa elektromagnetismoan. Kulunka batean bezala gertatzen da erresonantzia materialen molekuletan eta atomoetan. Eta azaldu dugun fenomeno ere gertatzen da. Molekulek berezko bibrazio bat dute, baina, bibrazio hori baino maiztasun handiago batez kitzikatzen baditugu, materialaren erantzuna negatiboa izango da, kontrako noranzkoko alegia.”



Ohiko errefrakzio-indizea positiboa da. Indize hori duen likido baten gainazalean (ezkerrean) argi-izpiak aurrerantz okertzen dira. Baina likido batek indize negatiboa izango balu (eskuinean), atzerantz okertuko lituzke argi-izpiak.

izaten da, baina badira permitibitate negatiboa duten materialak, baita naturan ere.

Gauza bera gertatzen da iragazkortasun magnetikoarekin. Parametro horrek adierazten du nolako erantzuna duen material batek eremu magnetiko baten aurrean. Positiboa bada, erantzun magnetikoa eremuarekin batera lerrokatzen da, hau da, eremuaren araberrako norabidean eta noranzkoan jartzen da; eta, negatiboa bada, eremuaren norabidean, baina kontrako noranzkoan.

“argiari pasatzen uztea da eremu elektriko bati eta eremu magnetiko bati pasatzen uztea”

Matematika pixka bat

Bi parametro horiek kontuan hartuta ulertzen da zer gertatzen zaion argiari material batekin topo egiten duenean.

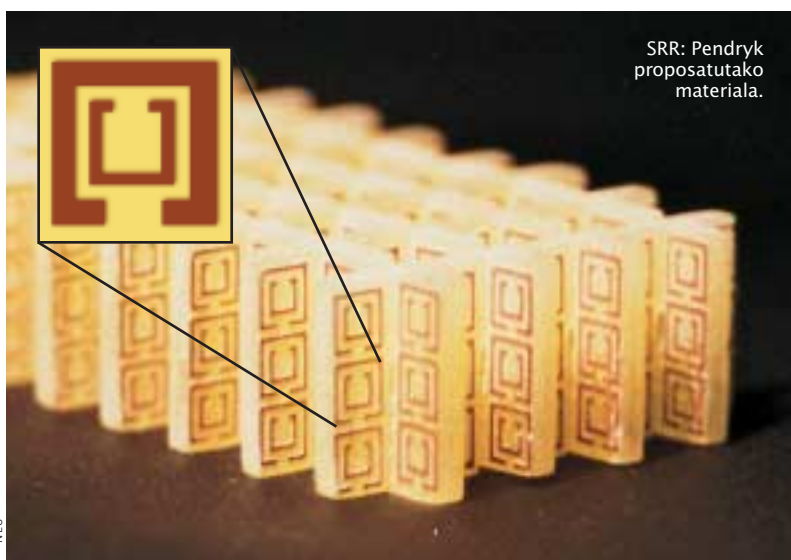
Errefrakzio-indizea erraz kalkula daiteke bi parametro horietatik honako formula simple honen bitartez:

$$n = \sqrt{\epsilon\mu}$$

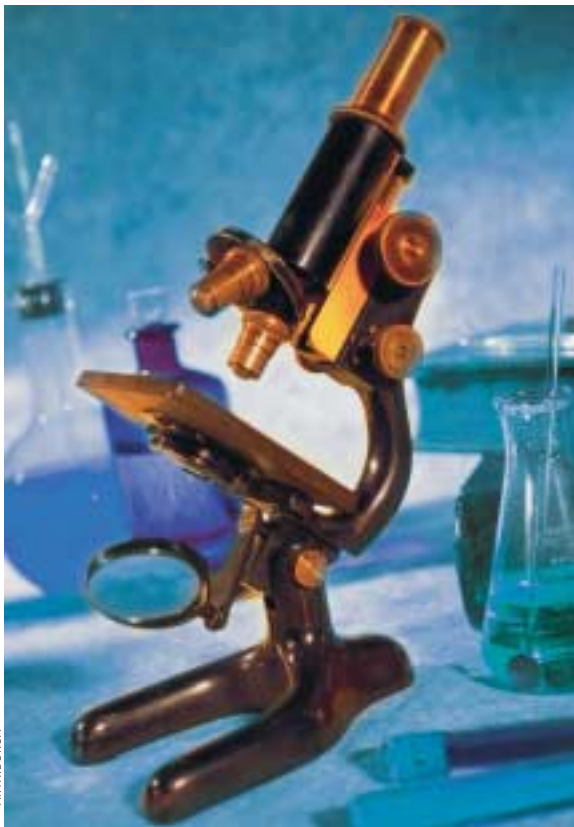
n , ϵ eta μ ikurrek errefrakzio-indizea, permitibitate elektrikoa eta iragazkortasun magnetikoa adierazten dituzte, hurrenez hurren.

Formula sinplea da; biderketa baten erro karratua da; hain zuzen ere, erro karratu horretan dago indizearen gora-beheren gakoa. Erro karratuak zenbaki erreal bat ematen duenean, errefrakzio-indizea positiboa edo negatiboa izan daiteke; eta erro karratuak zenbaki irudikaria ematen duenean, errefrakzio-indizearen kontzeptuak ez du zentzurik, hau da, material hori opakua da.

Azken batean, bi parametroen ikurren ikuspuntutik, lau aukera daude, bi parametro direlako eta parametro bakoitza positiboa edo negatiboa izan daitekeelako. Nolanahi ere, argiaren erantzunari dagokionez, hiru taldetan sailka daitezke materialak. ➔



Leiar perfektuek iraultza ekar dezakete mikroskopioen diseinuan; baita beturrekoen, teleskopioen eta beste tresna optiko batzuen diseinuetan ere.



ARTIBIDOKOA

Lehen taldeko materialek bi parametro positiboak dituzte. (Beraz, erro karratuaren barrukoa ere positiboa da, eta esanahi fisikoa duen erroketa ere, errefrakzio-indizea, positiboa da.) Horren ondorioz, argiari pasatzen uzten diote, hau da, gardenak dira. Beira, ura eta airea dira adibide errazena (lehenago azaldu diren adibideak). Ez dira adibide bakarrak, noski; polimetakrilatoa, adibidez, oso arrunta da gaurko teknologian objektu gardenak egiteko. Eta azpimarratu behar da hutsa bera ere talde honetan dagoela, espazio hutsa alegia; argiaren transmisioaren ikuspuntutik materializat har daiteke, permitibitate eta iragazkortasun positiboak ditu —ez dira zero—, eta horregatik da gardena. Besteak beste, horregatik ikusten ditugu Eguzkia eta izarrak.

Bigarren taldean dauden elementuek parametro bakarra dute positiboa; bestea negatiboa da. Permitibitatea edo iragazkortasuna izan daiteke, berdindu. Bietako bat negatiboa izanik, matematikaren ikuspuntutik, zenbaki negatibo baten erro karratua da errefrakzio-indizea. Horrek ez du esanahi fisikorik, eta, hain zuzen ere, material

“gaur egun existitzen dira metamaterialak, baina, 2000. urtera arte, aspaldiko kontzeptu teoriko bat besterik ez ziren”

hori opakua da; argiari ez dio pasatzen uzten. Jakina, natura horrelako materialiez beteta dago. Zilarrak, urreak eta

beste metal askok, adibidez, permitibitate negatiboa eta iragazkortasun positiboa dute. Opakuak dira.

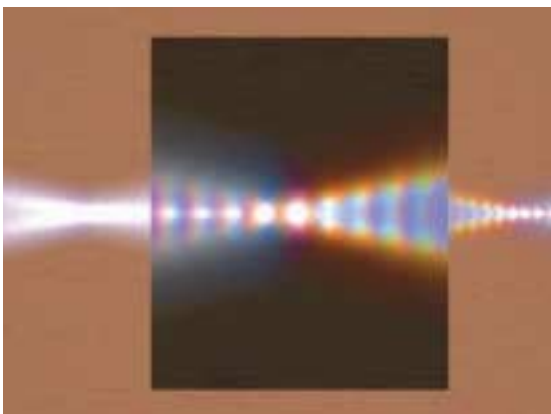
Azken taldeko materialetan, bi parametroak dira negatiboak, permitibitatea eta iragazkortasuna. Azken batean, ‘alderantzizko’ jokaera dute eremu elektriko eta magnetikoekin. Biekin. Material horientzat, esanahi fisikoa duen erroketa, errefrakzio-indizea, negatiboa da. Material horietan bihurritzen da argia, nolabait esateko, ‘atzerantz’. Kontua da horrelako materialik ez dagoela naturan. Baina artifizialki egin dituzte; metamaterialak dira.

Metamaterialak

Gaur egun existitzen dira, baina, duela gutxi arte, aspaldiko kontzeptu teoriko bat besterik ez ziren. Permitibitate elektriko eta iragazkortasun magnetiko negatiboa dituen materialik ez dago naturan.

1968an, Victor Veselago fisikari errusiarrak iragarri zuen nola jokatuko zuten material horiek existituz gero. Errefrakzio-indize negatiboaren kontzeptua iragarri zuen, alegia. Hala ere, ez zekien nola egin zitezkeen material horiek. John Pendry britainiarrak proposamen bat egin zuen 2000n.

Pendryren ideia zen itxi gabeko kobrezko bi eraztun elkartzea, bata bestearen barruan jarrita eta hari eroale batez lotuta. Bi dimentsioko egitura da, baina, horren kopia asko hiru dimentsioko sare batean antolatuz gero, emaitza metamaterial bat izan daiteke.



Errefrakzio negatiboaren ondorioz, argi-izpien ibilbideak konbergentzia-puntu bat izan dezake metamaterialen barruan.

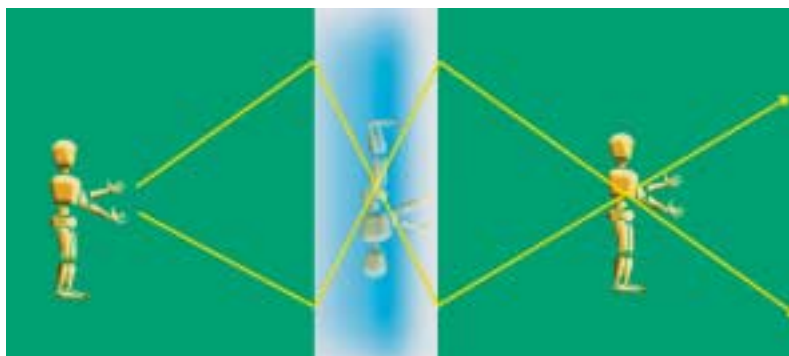
JENA UNIBERTSITATEA

Permitibitate eta iragazkortasun negatiboak ditu. John Pendryk izan zuen ideia, Kaliforniako Unibertsitatean egin zuten materiala, San Diegon, eta baieztatu ahal izan zuten Veselagok iragarritakoak gertatu egiten direla errealitatean.

Praktikan, zer?

Metamaterialen teknologia hasierako urratsetan dago. Oraingoz, fisikako laborategietan besterik ez da probatu. Gainera, argi ikusgaiarekin ez dute lortu efektu hori, mikrouhinak baino uhin handiagoentzat galtzen baitira permitibitate edo iragazkortasun negatiboa. Errefrakzio negatiboaren efektua lortzeko, beste metamaterial batzuk egin beharko dituzte.

Nolanahi ere, emaitzak ez dira txarrak. Adibide bat: leiar perfektuak egin daitezkeela baieztatu dute. Leiar perfektuek ohiko leiarrek egiten dutena



Leiar perfektu batek era berezi batean fokutzen du irudia; besteak beste, leiarraren barruan ere fokatuta dago.

“argi ikusgaiarekin ez dute lortu errefrakzio negatiboaren efektua; hala ere, leiar perfektuak egin daitezkeela baieztatu dute”

egino lukete, baina argiaren aberrazioak eragin gabe. Leiar lauak eta finak izango liriateke, ez bailukete kurbarik behar argi-izpia bideratzeko. Beraz, pisuz oso arinak egin litezke, eta horrek esan nahi du betaurrekoen, teleskopioen eta abarren munduan iraultza ekarriko luketela. Hori bai, horretarako, argi ikusgaiarekin funtzionatzen duten metamaterialak aurkitu behar dira. □

egin zaitez
harpidedun
EZ GALDU AUKERA

Nueva Gestión

Empresarial Euskadi-Navarra

kalitatezko enpresa kazetaritza berria



Negozio eta enpresentzako kalitatezko enpresa kazetaritza berria zure bulegora helduko da Nueva Gestión-en eskutik, negozioak egiten lagunduko dizun Euskal Herriko enpresa buru eta profesionalentzako hamabostekaria.

URTEAN 65 EURO BESTERIK EZ.

Nueva Gestión-en harpidedunek bere enpresa arloan eragina duten abste eta informazio berriak ezagutu ahal izango dituzte, enpresa proiektu, inbertsio, heziketa, ingurumen, enpresa sortu berri, marketin, diru-laguntza eta administrazioei buruzkoak, baita elkarrizketak eta enpresentzat benetako interesa duten iritzi-artikuluak.

El Mirador gehigarria, euskal ekonomian sektore bakoitzaren gure behatokia.

Nueva Gestión-ek edizio bi ditu, "Euskadi Edizioa" eta "Navarra Edizioa" eta ISO 9001:2000 arauaren eta EFQM ereduaren araberako kalitatezko agiria duen prentsa idatziko lehen komunikabide da eta bakaria.



www.nuevagestion.com

NUEVA GESTIÓN argitalpenaren urte baterako harpidetza egin nahi dut behaldez adierazitako pertsonaren izenean.

Ekarria 65€ Euskadi 45€ Navarra 45€ (Salneurriak BEZA bari)

Enpresa _____
 Helbidea _____ Hiri/Herria _____
 PK _____ Probintzia _____ I.F.K. _____
 Telefonoa _____ Faxa _____ H. al. _____
 Jarduera _____
 Izena _____
 Data _____

ORDAINKETA ERA Banku helbideratzea

Sinadura

Berridazteko zuzendaritza: 94 416 06 95 fax zerbakiria: 94 416 06 95

Fotokopia ezazu kupoi hau eta bidai ezazu zure datuekin 94 416 06 95 fax zerbakira.