



Problema V – Materiale cu proprietăți optice neuzuale (10 puncte)

Proprietățile optice ale unui mediu material sunt determinate de valorile permitivității electrice relative ($\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$) și a permeabilității magnetice relative ($\mu_r = \mu/\mu_0$). Pentru materialele uzuale (sticlă, apă, etc.), care sunt transparente (neabsorbante), atât ϵ_r cât și μ_r sunt cantități adimensionale pozitive și, la trecerea luminii din aer în aceste materiale, este valabilă cunoscuta lege Snell-Descartes a refracției. În anul 1964, fizicianul rus V. Veselago a demonstrat riguros că dacă ar exista materiale cu ϵ_r și μ_r negative simultan, acestea ar avea multe proprietăți optice stranie, aproape incredibile. În ultimii ani, în multe laboratoare din lume, astfel de materiale au putut fi produse în mod artificial. Un material cu $\epsilon_r < 0$ și $\mu_r < 0$ simultan are următoarea proprietate importantă: **când o undă luminoasă, cu lungimea de undă λ , înaintează, pe distanța Δ , într-un astfel de mediu, faza undei va scădea (în loc să crească) cu cantitatea $+\sqrt{\epsilon_r \mu_r} (k\Delta)$, unde $k = 2\pi/\lambda$. În cele ce urmează ne vom referi la astfel de medii și vom presupune că, pentru aer, $\epsilon_r = +1$ și $\mu_r = +1$.**

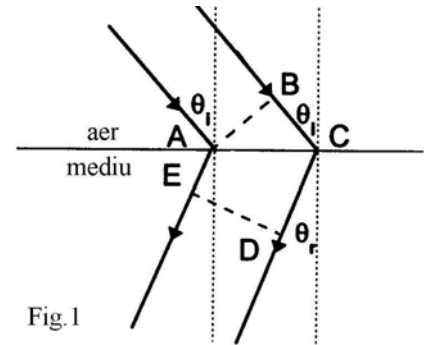


Fig.1

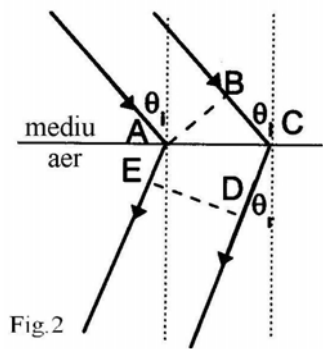


Fig.2

- I. **A).** Considerând că mediul din figura 1 are $\epsilon_r < 0$ și $\mu_r < 0$ arătați că direcția fascicului refractat este plauzibilă;
B). Stabiliți relația dintre $\sin \theta_i$ și $\sin \theta_r$ ($\theta_i =$ unghi de incidență; $\theta_r =$ unghi de refracție);
C). În figura 2 fasciculul de lumină trece din mediul neuzual cu ϵ_r și μ_r simultan negativi în aer. Este plauzibil traiectul fascicului refractat? Argumentați răspunsul și, în caz afirmativ, precizați legătura dintre $\sin \theta_i$ și $\sin \theta_r$.

II. În figura 3 avem de-a face cu o lamă cu fețe plan-paralele cu grosimea d , confecționată dintr-un material neuzual cu $\epsilon_r = \mu_r = -1$, în exteriorul căreia se află aer. Trasați mersul razelor de lumină 1, 2 și 3, ce pornesc dintr-o sursă punctiformă situată la distanța $0,75d$ față de lamă. Veți presupune că la nivelul celor două interfețe se produc doar fenomene de refracție (nu și fenomene de reflexie).

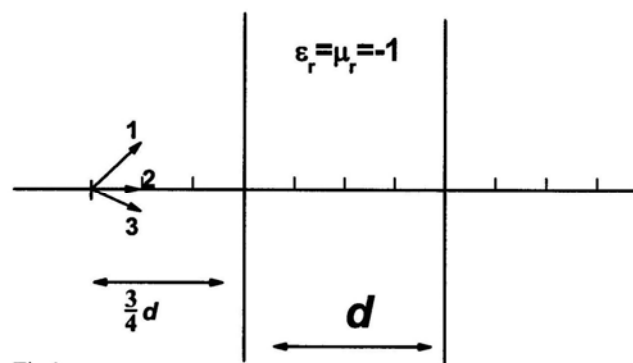


Fig.3

III. În figura 4, o lamelă confecționată dintr-un material neuzual cu $\epsilon_r = \mu_r = -0,5$, având grosimea $0,4d$, este introdusă într-o cavitate rezonantă, cu aer, formată din două plăci paralele (placa 1 și placa 2) situate la distanța d una față de cealaltă. Placa 1 are reflectanța egală cu $+1$ (reflectă total) iar placa 2 are o reflectanță subunitară, destul de mare (reflectă doar parțial). Presupunem că o sursă luminoasă cvasipunctiformă, localizată în interiorul cavității, pe placa 1, emite o undă plană care, străbătând înainte și înapoi mediul neuzual, suferă reflexii multiple la nivelul celor două plăci, așa cum se arată în figură. La nivelul plăcii 2, cu reflectanță subunitară, există și unde transmise 1, 2, 3, ... care, în anumite condiții, pot interfera constructiv.

Determinați toate lungimile de undă, emise de sursă, pentru care undele transmise interferă constructiv, presupunând că, la fiecare reflexie pe plăcile 1 și 2, unda câștigă o fază suplimentară de π radiani. Incidențele luminii pe plăci se vor considera cvasinormale. Intregul sistem optic este plasat în aer.

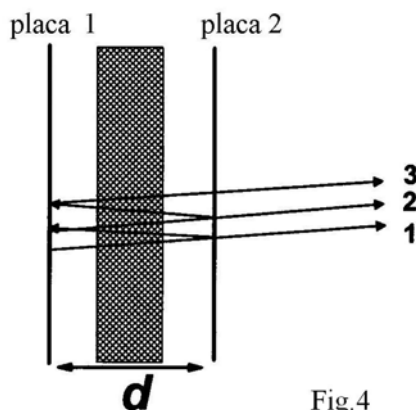


Fig.4

IV. Un cilindru circular cu raza R , infinit de lung, este confecționat dintr-un material neuzual cu $\epsilon_r = \mu_r = -1$. El se află în aer. În figura 5 se arată o secțiune transversală prin acest mediu (axa Oz a sistemului de referință este paralelă cu axa cilindrului; centrul secțiunii circulare se află pe axa Oy). O sursă laser punctiformă, situată pe axa Ox și localizată prin abscisa x , emite un fascicul luminos foarte îngust (rază de lumină) pe o direcție paralelă cu axa Oy (vezi figura). Știind că fasciculul luminos nu atinge nicăieri „planul receptor” infinit de extins, de deasupra cilindrului, paralel cu planul xOz , determinați în ce interval de valori se află abscisa x a sursei de lumină.

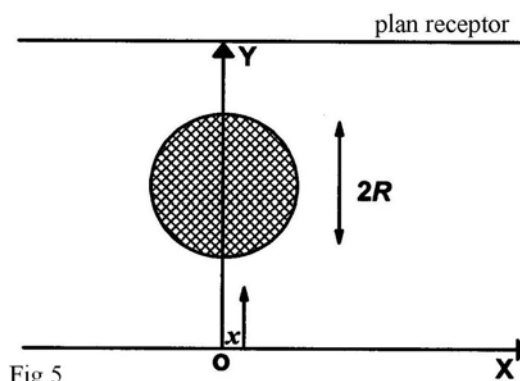


Fig.5

Prof. univ. dr. Uliu Florea
Facultatea de Fizică
Universitatea din Craiova

Notă: Se acordă un punct din oficiu.
i

Foaie de Răspunsuri

I.A. Argumentul plauzibilității direcției fasciculului refractat este :

B. Relația dintre $\sin \theta_i$ și $\sin \theta_r$ este:

C. Bifați în căsuța corespunzătoare :

Traiectul fasciculului refractat este plauzibil

Traiectul fasciculului refractat nu este plauzibil

Dacă este cazul, relația dintre $\sin \theta_i$ și $\sin \theta_r$ este:

II. Desenul *la scară* al mersului razelor de lumină 1, 2 și 3 este:

III. Formula generală pentru lungimea de undă a radiațiilor care interferă constructiv la dreapta plăcii 2 este:

$\lambda =$

IV. Abscisa x a sursei de lumină pentru fasciculele luminoase care nu ating nicăieri “planul receptor” satisface relația

$\leq |x| \leq$