

Difracţia luminii. Experiment numeric asistat de calculator.

Nicolae BALMUŞ, Ion ANDRONIC
Universitatea Pedagogică de Stat "Ion Creangă"
n_balmus@mail.md

Abstract — În lucrare se propune un algoritm de tip Monte Carlo pentru studierea asistată de calculator a fenomenului de difracţie a luminii de la diferite aperturi. Rezultatele experimentului numeric se compară cu imagini obţinute în experimente reale.

Cuvinte cheie — model matematic; algoritm; experiment numeric; imagini difracţie;

INTRODUCERE

În cursurile universitare de optică [1,2] se acordă o atenţie deosebită studierii experimentale şi explicării teoretice a fenomenului de interferenţă şi difracţie a luminii. În condiţii de laborator pentru studierea cantitativă a acestor fenomene sunt necesare instalaţii suficient de sofisticate şi costisitoare, care necesită o ajustare fină în procesul de exploatare. Din această cauză în multe laboratoare aceste instalaţii lipsesc sau în cazul când există, sunt exploatate în mod limitat de către studenţi deoarece activitatea lor este frecvent restricţionată de personalul tehnic al laboratoarelor. Foarte frecvent întâlnim în laboratoarele de optică inscripţia: „**ATENŢIE!, NU DEREGLAŢI INSTALAŢIA**”. În aceste condiţii sunt binevenite laboratoarele virtuale în care dispozitivele virtuale pot fi manipulate fără risc de deteriorare. Laboratoarele virtuale se implementează pe calculator prin intermediul experimentelor numerice, realizate în baza modelelor matematice ale fenomenelor studiate. Calitatea experimentului numeric depinde de performanţele calculatorului, fidelitatea modelului matematic şi precizia metodele numerice de calcul utilizate.

În lucrarea dată prezentăm

I. MODELUL MATEMATIC AL EXPERIMENTULUI NUMERIC

Modelul matematic al experimentului virtual pentru studierea difracţiei luminii de la orificii plane de formă arbitrară a fost realizat în baza principiului Huygens-Fresnel.

Considerăm o undă plană care ajunge la suprafaţa orificiului. În conformitate cu principiul Huygens-Fresnel, pe suprafaţa orificiului se generează coordonatele (x_s, y_s) pentru N_s surse secundare coerente de lumină, repartizate uniform pe suprafaţa orificiului. În continuare, conform schemei din fig.1, se calculează amplitudinea complexă a oscilaţiei rezultante în punctul $P(x,y)$ obţinută în rezultatul compunerii tuturor oscilaţiilor parvenite de la sursele secundare din planul orificiului.

$$\hat{A}(x, y) = \sum_{k=1}^{N_s} \exp\left(i \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{(x - x_{s_k})^2 + (y - y_{s_k})^2 + h^2}\right), (1)$$

unde N_s este numărul de surse secundare, λ - lungimea de undă, h -distanţa de la orificiu până la ecran.

Intensitatea luminii în punctul $P(x,y)$ se calculează după

formula

$$I(x, y) = \left(\left(\operatorname{Re}(A(x, y)) \right)^2 + \left(\operatorname{Im}(A(x, y)) \right)^2 \right) / N_s^2 (2)$$

Aceste calcule realizate pentru coordonatele (x,y) ale fiecărui pixel din planului de difracţi, reprezintă tabloul de difracţie al experimentului numeric.

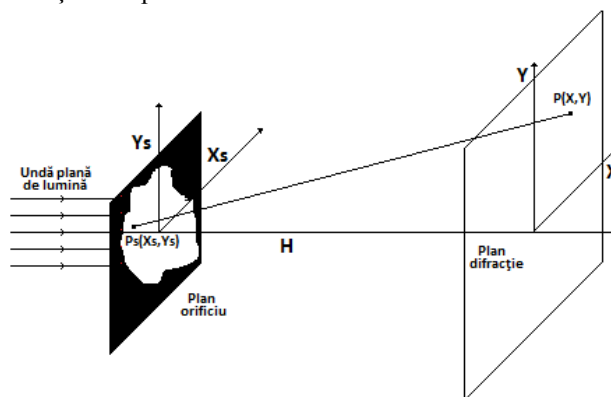


Fig.1. Schema experimentului numeric.

Aplicația pentru acest experiment numeric a fost realizată în mediul de programare Delphi 7.0. Fereastra principală a aplicației este reprodusă în fig.2. În meniul „Orificiu”, utilizatorul alege forma orificiului (cerc, semicerc, sfert de cerc, dreptunghi, triunghi, etc). După apariția orificiului, utilizatorul stabilește lungimea de undă a luminii, distanța până la ecran și dimensiunile orificiului. Apăsând butonul „Start”, utilizatorul demarează experimentul numeric care calculează și desenează pe ecran tabloul de difracție, măbind treptat numărul de surse secundare generate în interiorul orificiului. În acest mod utilizatorul observă ameliorarea calității tabloului de difracție în funcție de numărul de surse secundare utilizate. În momentul când calitatea tabloului de difracție devine suficient de clară, utilizatorul finalizează experimentul, acționând butonul „Stop”. Rezultatul experimentului numeric reprezintă imaginea cu tabloul de difracție în care este indicată scala cu ajutorul căreia se realizează măsurători cantitative ale tabloului de difracție.

În fig.2 se reproduce rezultatul experimentului numeric pentru difracția luminii ($\lambda=5000 \text{ \AA}$) de la un orificiu circular în care se conține o zonă Fresnel. Imaginea respectivă pentru $N_s=1250$ surse a fost procesată la un calculator cu frecvența procesorului 2Ghz pe parcursul a 45 secunde.

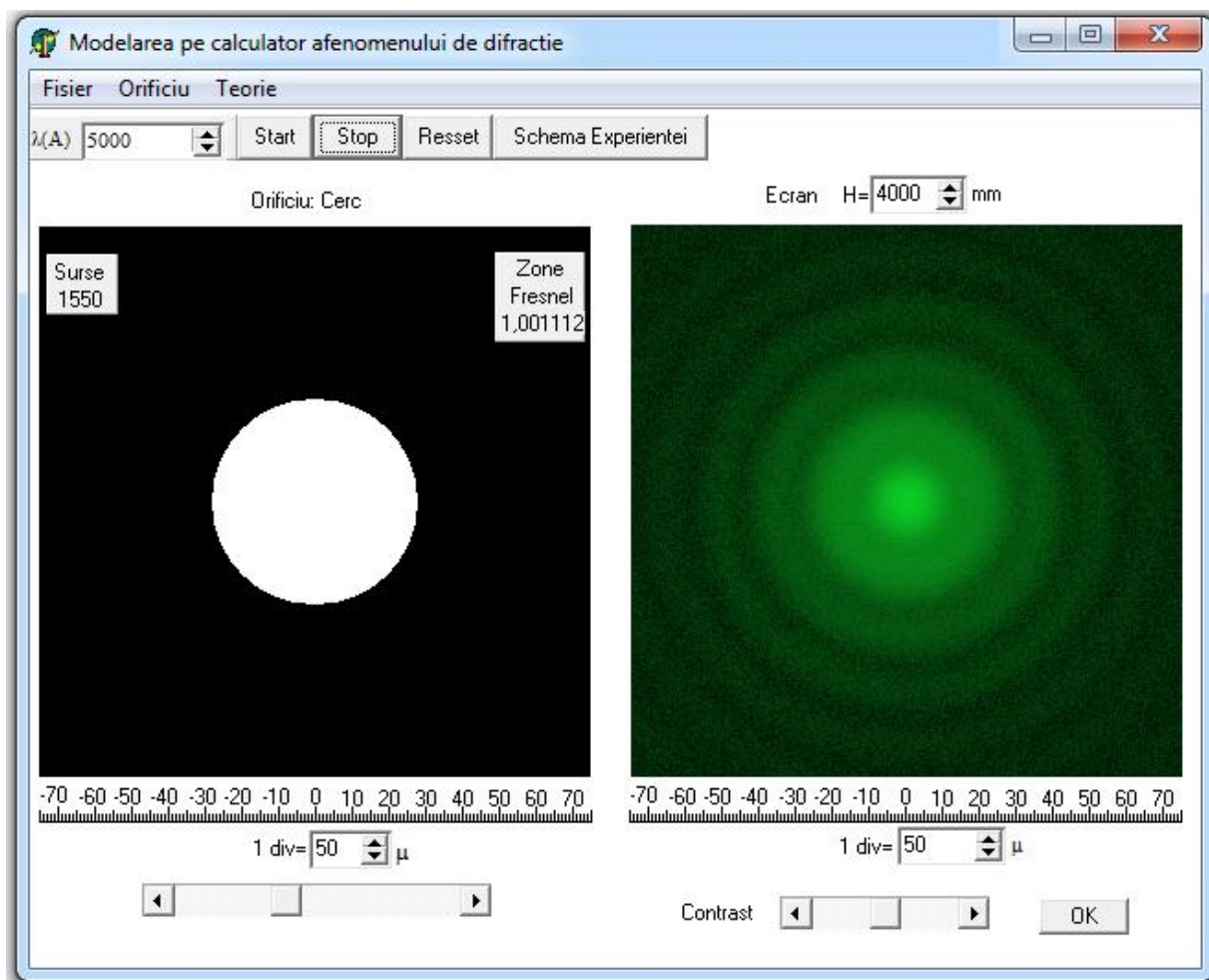


Fig.2. Exemplu de experiment numeric al fenomenului de difracție de la un orificiu circular.

Un experiment numeric se consideră validat dacă reproduce suficient de fidel rezultatele experimentelor reale. În cazul dat teoria difracției luminii de la un orificiu circular este bine dezvoltată în aproximația Fresnel și Fraunhofer pentru care există formule în baza cărora se calculează intensitatea luminii în punctele tabloului de difracție [3]. Formulele respective au fost verificate experimental și sunt considerate corecte. Pentru validarea indirectă a rezultatelor experimentului numeric din lucrarea dată, reproducem în fig.3 tabloul de difracție de la un orificiu circular în care se conțin 2

zone Fresnel: b) calculat numeric și c) reprodus în baza formulelor teoretice și algoritmului din [3]. Conform teoriei în centrul tabloului de difracție trebuie să se observăm un minim de intensitate. În fig.3 constatăm un grad foarte înalt de coincidență. Diferența constă numai în contrastul imaginilor. Asemenea rezultate se observă și în cazul altor orificii pentru care se cunosc formulele teoretice pentru calcularea intensității tabloului de difracție. Aceste rezultate ne permit să considerăm că gradul de fidelitate al experimentului numeric realizat este suficient de înalt.

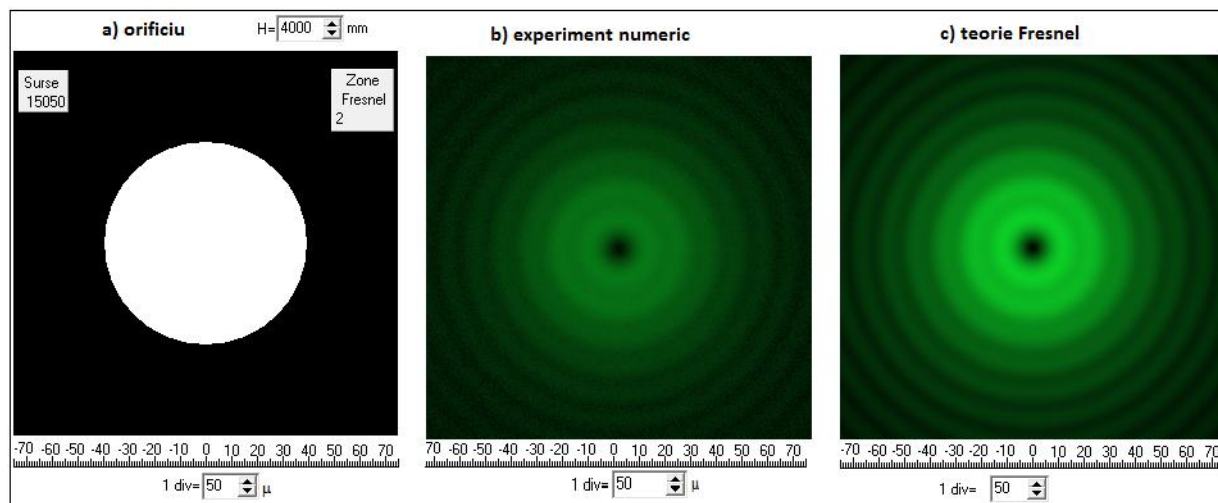


Fig.3. Difracția de la un orificiu circular: experiment numeric și teorie

Opțiunea cea mai sofisticată a aplicației este realizarea experimentului numeric pentru un orificiu plan de formă arbitrară. În acest caz utilizatorul, cu ajutorul instrumentelor de trasare a liniilor, ovalelor etc, redactează forma dorită a orificiului în culori alb/negru. După apăsarea butonului „Start” în fereastra alăturată apare tabloul de difracție, calitatea căruia se ameliorează în decursul timpului. În fig. 4 prezentăm tabloul de difracție de la un orificiu care are forma unui triunghi echilateral pentru două distanțe 4m și 10m. Din fig.4 se vede că

tabloul de difracție este suficient de calitativ și corespunde suficient de bine cu rezultatul experimental din [5]. În fig.5 prezentăm rezultatul experimentului numeric pentru difracția de la o apertură cu două componente (două fante). Primul tablou de difracție, la distanța 2m are structură caracteristică aproximației Fresnel. Al doilea tablou, pentru distanța 6m are structură caracteristică aproximației Fraunhofer. Distanța dintre minimurile de intensitate pentru acest caz corespunde cu precizie înaltă experimentului Young.

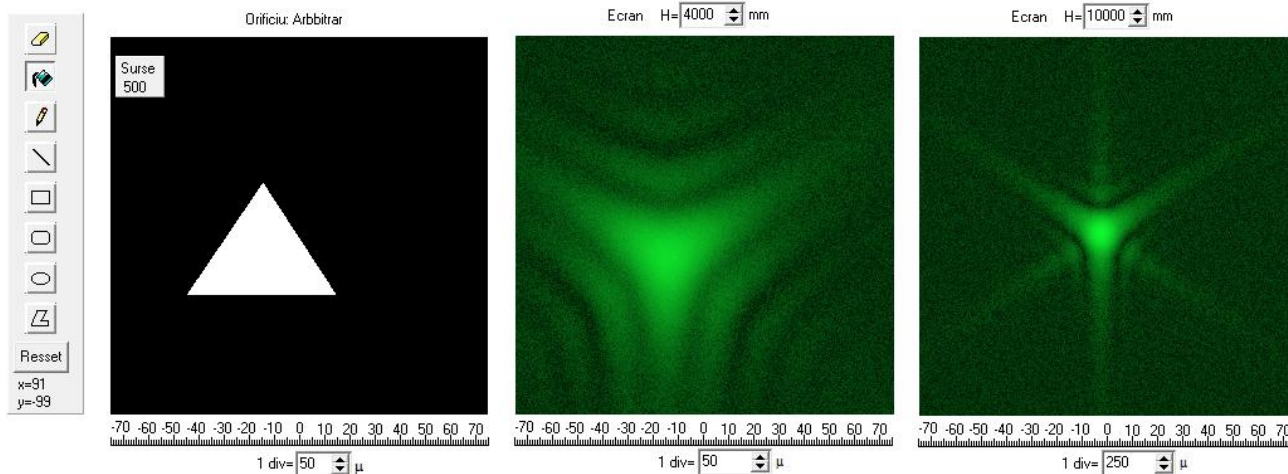


Fig.3. Difracția de la un orificiu triunghi echilateral

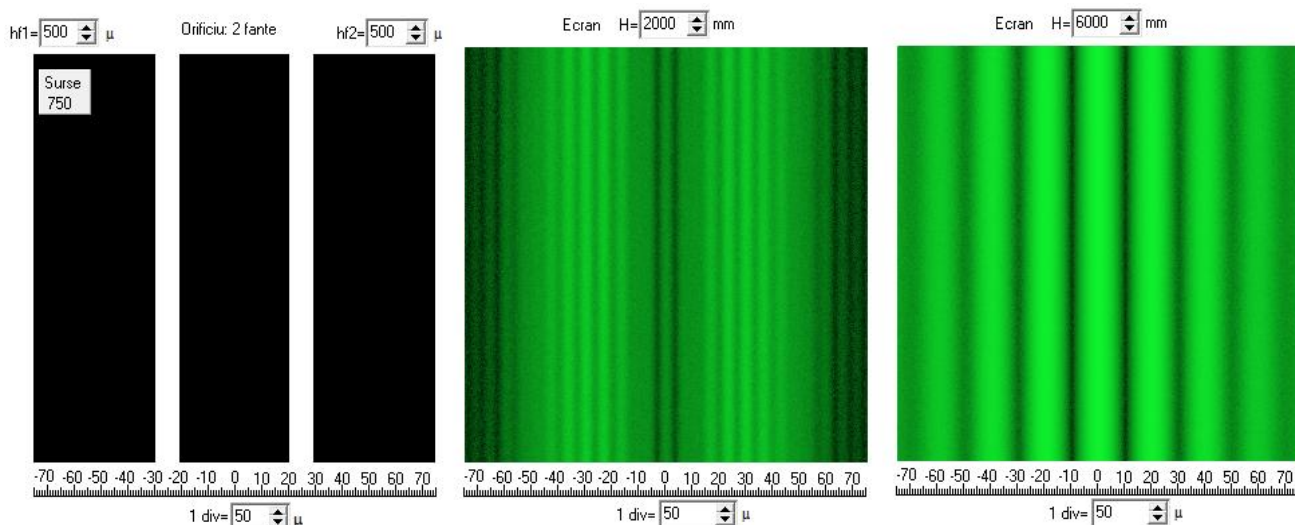


Fig. 5. Difracția de la un paravan cu două fante.

2. CONCLUZII

Lucrarea dată reprezintă o încercare de demonstrare a posibilităților experimentului numeric pentru studierea fenomenului de difracție. Imaginile prezentate mai sus demonstrează cert corectitudinea algoritmului utilizat și posibilitatea mari pentru studierea asistată de calculator a fenomenului de difracție.

REFERENCES

[1] Pop V. -/Bazele opticii. Iași: Editura Universității A.I.Cuza, 1988.

- [2] Ландсберг Г.С.б Оптика, Москва, Наука, 1977.
 [3] Klaus D. Mielenz, J. Res. Algorithms for Fresnel Diffraction at Rectangular and Circular Apertures, Natl. Inst. Stand. Technol. **103**, 497 (1998)
 [4] A. J. Campillo, J. E. Pearson, S. L. Shapiro, and N. J. Terrell, Fresnel diffraction effects in the design of high - power laser systems, Appl. Phys. Lett. 23, 85 (1973).
 [5] <http://www.lac.u-psud.fr/experiences-optique/fig-diffraction/Figdediff.html>