

Model experimental pentru atenuarea fotonilor

Un fasciculul de lumină, de radiație X sau gama, este reprezentat printr-un fascicul de mici corpusculi rapizi, asemenea unei salve de gloanțe. În acest model lumina constă din unități discrete numite *fotoni*.

Un astfel de fascicul care pătrunde într-o substanță va face ca fiecare foton să interacționeze direct cu un atom din acea substanță, la întâmplare. Ciocnirile pot să apară la întâmplare, în întreg fasciculul, pe parcursul traversării substanței. Această imagine descrie modul în care lumina (sau orice fascicul de undă electromagnetică, X sau gama) se atenuează la traversarea unei substanțe.

Bazându-ne pe aceste aspecte ale interacției radiației electromagnetice, putem modela simplu procesul de atenuare.

Modul de lucru

Să realizăm pentru această modelare următorul experiment:

1. Luăm o coală milimetrică pe care trasăm două linii paralele, verticale AA' și BB'), și care indică marginile corpului prin care se presupune că trece radiația (notăm cu D „grosimea corpului”, de ex. 10 cm).
2. Desenăm la întâmplare un număr de cerceulețe de aceeași rază (d- diametrul cerceulețului, de ex. 6mm) folosind o monedă, un nasture sau un șablon. De exemplu așezăm la întâmplare $N_0 = 20-25$ cerceulețe (dacă hârtia este mai mare se pun mai multe cerceulețe, dacă este mai mică se pun mai puține, în ideea ca ele să nu fie prea dese).
3. Se trasează apoi un „fasciculul de fotoni” (de lărgime L, de ex. 10cm) simbolizat prin linii paralele orizontale trasate din 5 în 5 mm, până întâlnește un cerceuleț. Dacă linia nu întâlnește nici un cerceuleț, înseamnă că „fotonul” a traversat obiectul fără a interacționa.
4. Numărăm câte linii orizontale (traectorii ale „fotonilor”) ajung până la o distanță dată (x) de la intrarea în corp (x=0). În acest scop numărăm aceste traectorii rămase din 5 în 5mm (intersecții ale traectoriilor cu o linie verticală). Numărul acesta simbolizează intensitatea I a fasciculului la distanța x de la intrare, I(x).

5. Se alcătuieste un tabel care să reprezinte modul în care variază I – intensitatea „fasciculului de fotoni” cu grosimea stratului de substanță străbătut $I = f(x)$ ca în exemplul de mai jos

Tabelul 1

x	0,5 cm	1cm	1,5cm	2cm	2,5 cm	3 cm	3,5 cm		
$I(x)$.	21	19	17	14	13	12	8		
$\ln I(x)$	...								

6. Reprezentăm grafic pe o coală milimetrică $I=f(x)$. Observăm caracterul scăderii intensității cu distanța și încercăm să găsim expresia funcției care descrie această scădere (figura 1). Se folosește în acest scop un calculator și un program de fitare (ORIGIN, EasyPlot, etc) și se încearcă un fit liniar, parabolic, polinomial, exponențial, etc și se vede care anume funcție descrie mai bine scăderea observată (figura 2).

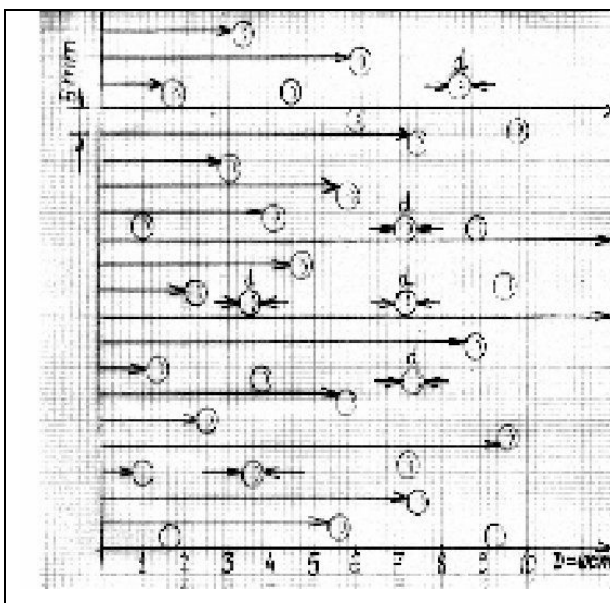


Figura 1

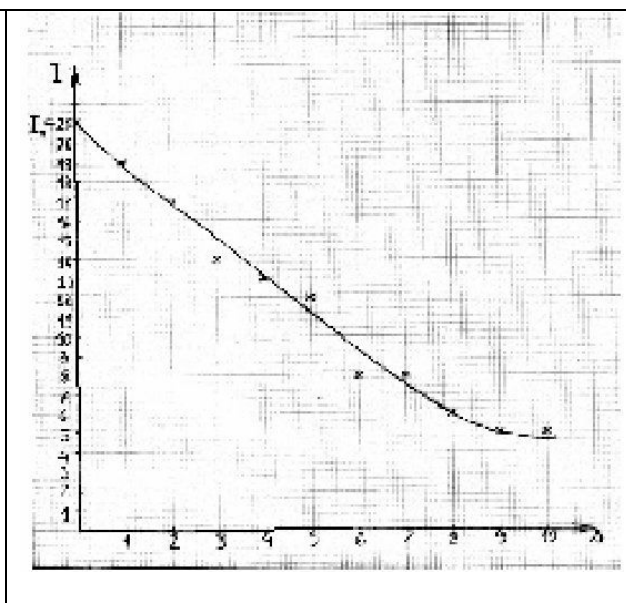


Figura 2

7. O metodă care uneori poate simplifica găsirea celei mai bune funcții este reprezentarea într-un grafic semilogaritm sau dublu logaritm. În cazul de față o reprezentare semilogaritmă este convenabilă, după cum se va vedea. În acest scop se introduce încă o linie, prezentă în (tabelul1) în care se trec valorile logaritmulor naturali ai intensității.

8. Se reprezintă grafic acum, $\ln I(x) = f(x)$. Dacă scăderea intensității în graficul $\ln I(x)$ este liniară, atunci ea este descrisă de o lege de tipul (formula (2)):

$$I(x) = I(0) \exp(-ax) \quad (1)$$

$$\ln I(x) = \ln I(0) - ax \quad (2)$$

unde a este o constantă și este panta dreptei ce indică scăderea intensității. Dacă datele experimentale indică în adevăr o scădere liniară, atunci se validează o lege exponențială pentru scăderea intensității radiației.

9. Un raționament și un calcul simplu ne permite determinarea chiar și a diametrului „atomilor” (adică a cerculețelor) care au determinat fenomenul de atenuare, presupunând că fiecare foton care ciocnește un atom dispare din fascicul. Următoarele relații indică modul în care se calculează d . Verificați corectitudinea acestui raționament:

$$\begin{aligned} \frac{I}{I_0} &= \frac{d \cdot N_0}{L} \\ d &= \frac{L}{N_0} \cdot \frac{I}{I_0} \end{aligned} \quad (3)$$

Încercați să reproduceți raționamentul care a condus la relațiile (3). Verificați dacă în adevăr în acest fel puteți determina dimensiunea d a cerculețelor utilizate în modelare.

Întrebări:

1. Puteți argumenta de ce legea de atenuare de mai sus are o expresie exponențială?
2. Ce s-ar întâmpla dacă cerculețele ar fi aranjate ordonat. Cum ar arăta legea de atenuare? Efectuați un astfel de experiment modelat după exemplul de mai sus, dar cu cerculețe distribuite ordonat.
3. Ce s-ar întâmpla dacă în modelarea de mai sus folosiți cerculețe de tot felul de diametre. Cum ar arăta legea de atenuare? Verificați printr-o nouă modelare.

ANEXA 1

Noțiunea de secțiune eficace

Figurile 3 și 4 schițează procesul de interacție a unui fascicul de fotoni cu o folie de substanță. Folia este compusă din atomi și dacă acești atomi interacționează cu fotonii incidenti, fotonii vor fi scoși din fascicul și nu vor mai fi regăsiți în fasciculul care părăsește folia (ținta) pe direcția incidentă. Pot avea loc mai multe procese (considerate elementare) care micșorează – atenuază – fasciculul incident. Două sunt importante și anume a) absorbția lor și b) împrăștierea lor. Din figura 4 se poate observa că vor dispărea din fasciculul incident acei fotoni care au întâlnit în drumul lor atomi cu care au interacționat. Raționamentul prezentat prin formulele (3) poate fi extins la cazul real 3-dimensional.

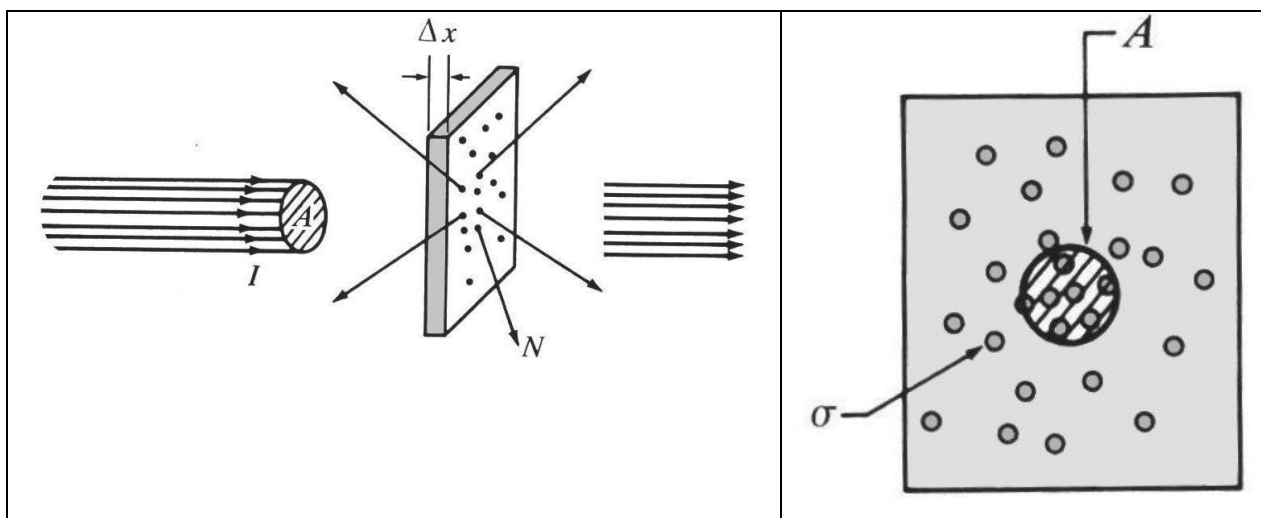


Figura 3

Figura 4

Să presupunem că avem un fascicul omogen și monoenergetic de fotoni care sunt incidenti pe o folie (țintă) formată din atomi identici. Intensitatea fasciculului incident se măsoară în I_0 fotoni incidenti în unitate de timp pe o arie A a țintei (figurile 3 și 4). Deoarece interacțiunea foton-atom este un proces local (fiecare interacțiune este independentă de alta), se poate vorbi de o probabilitate de interacțiune a unui foton cu un atom din țintă. Presupunem că toți fotonii care au nimerit pe direcția unui atom de „rază” r , interacționează. Atunci aria „eficace” de interacțiune a unui atom este $\sigma = \pi r^2$, adică orice foton care nimereste în această arie suferă o interacție (este absorbit sau este împrăștiat pe o altă direcție) și deci este scos din fascicul. Mărimea σ poartă numele de *secțiune eficace microscopică* (în engleză *cross section*).

În general această arie nu are o legătură directă cu aria geometrică a atomului; este o arie echivalentă pentru probabilitatea de interacțiune.

Acum facem supoziția că folia de substanță este suficient de subțire pentru ca să nu avem atomi care să se „umbrească” unul pe altul, adică să nu existe doi atomi unul în spatele celuilalt în direcția fasciculului incident. În acest caz imaginea din figura 4 ar reprezenta ceea am „vedea” dacă ne-am uita spre țintă, în direcția fasciculului incident. Grosimea țintei nu va conta; va conta doar de numărul n de atomi care se vor „vedea” în proiecție, pe direcția fasciculului incident (figura 4). Spațiul liber (pentru ca fotonii să nu întâlnească atomi în cale) va fi dat de: $A - n\sigma$.

Date experimentale obținute efectuând acest model:

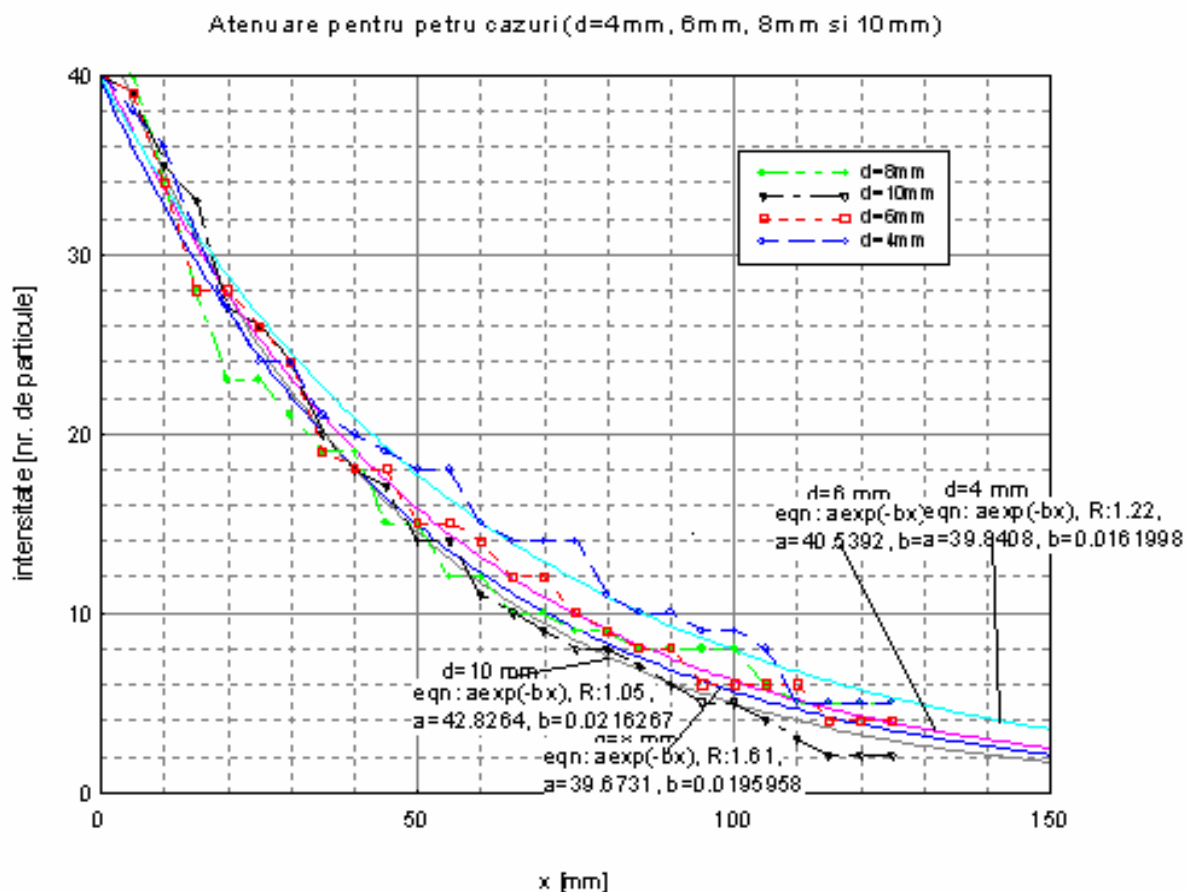
Experimentele au fost conduse pentru patru diametre de “atomi” și anume $d = 4\text{mm}$, 6mm , 8mm și 10mm .

x =	diametru d			
	4mm	6mm	8mm	10mm
0	40	40	40	40
5	38	39	39	40
10	36	34	35	34
15	31	28	33	28
20	27	28	27	23
25	24	26	26	23
30	24	24	24	21
35	21	19	20	19
40	20	18	18	19
45	19	18	17	15
50	18	15	14	15
55	18	15	14	12
60	15	14	11	12
65	14	12	10	10
70	14	12	9	10
75	14	10	8	9
80	11	9	8	9
85	10	8	7	8
90	10	8	6	8
95	9	6	5	8
100	9	6	5	8
105	8	6	4	6
110	5	6	3	5
115	5	4	2	5
120	5	4	2	5
125	5	4	2	5

Rezultatele obținute după prelucrarea datelor experimentale sunt prezentate în tabelul de mai jos

diametru (mm)	coeficientul a	coeficientul b	eroarea de fitare
4	39,8408	0,01619	1,22
6	40,5392	0,01879	0,999
8	39,6731	0,01959	1,61
10	42,8264	0,02160	1,05

Se poate observa că coeficientul b care joacă rol de “coeficient de atenuare” a radiațiilor este cu atât mai mare cu cât diametrul “atomilor” este mai mare. Acest lucru se poate observa și din graficul de dependență a coeficientului b de diametrul d al “atomilor”.



În concluzie, acest experiment simplu dovedește faptul că atenuarea exponențială a radiațiilor electromagnetice are la bază acest fenomen de “obturare” a zonelor traversate de radiație, de către atomii “opaci” prezenți pe traiectoria fotonilor. Procesul fiind total aleator, legea rezultată este o exponențială.