

Difuzia Luminii

Difuzia luminii este un fenomen optic fundamental care descrie modul în care lumina este **împrăștiată sau răspândită în diverse direcții** atunci când interacționează cu un mediu sau o suprafață. Spre deosebire de **reflexia speculară** (ca într-o oglindă), unde lumina este reflectată într-o singură direcție predictibilă conform legii reflexiei, difuzia face ca lumina să se propage într-un mod mai uniform și "îmblânzit".

Cum se Produce Difuzia Luminii?

Difuzia luminii poate apărea prin două mecanisme principale, ambele având rădăcini în natura ondulatorie a luminii, un concept elaborat în Sears și Zemansky în capitolele despre **Natura și Propagarea Luminii** și **Unde Electromagnetice**. Lumina, fiind o undă electromagnetică, este caracterizată de un **câmp electric oscilant** care poate induce polarizarea în particulele cu care interacționează.

1. **Împrăștierea de Particule (Scattering):** Acest mecanism se produce atunci când lumina, ca undă electromagnetică, întâlnește **particule suspendate** într-un mediu (cum ar fi aerul, apa sau un material translucid). Câmpul electric oscilant al undei luminoase acționează asupra sarcinilor din particulă, determinându-le să oscileze cu aceeași frecvență. Astfel, particula devine un **mic dipol radiant**, care re-emite energie sub formă de lumină împrăștiată în diverse direcții. Sears și Zemansky, deși nu detaliază extensiv împrăștierea de particule, oferă contextul necesar în discuțiile despre **propagarea undelor și interacțiunea lor cu materia** (de exemplu, conceptul de dipol electric indus).
 - **Împrăștierea Rayleigh:** Apare atunci când lumina interacționează cu **particule mult mai mici** decât lungimea sa de undă ($d \ll \lambda$, unde d este diametrul particulei). Intensitatea luminii împrăștiată (I_s) în împrăștierea Rayleigh este descrisă de relația:
$$I_s \propto \frac{1}{\lambda^4} \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \right)^2 d^6$$
 - unde λ este lungimea de undă a luminii incidente, n este indicele de refracție al particulei, iar d este diametrul acesteia. Dependența de
 - $\frac{1}{\lambda^4}$
 - este crucială. Aceasta înseamnă că lumina cu lungimi de undă mai scurte (albastru, violet) este împrăștiată mult mai eficient decât lumina cu lungimi de undă mai lungi (roșu). Acesta este motivul pentru care **cerul este albastru** în timpul zilei (moleculele de aer împrăștie lumina albastră) și de ce apusurile/răsăriturile sunt roșii (când lumina parcurge un drum mai lung prin

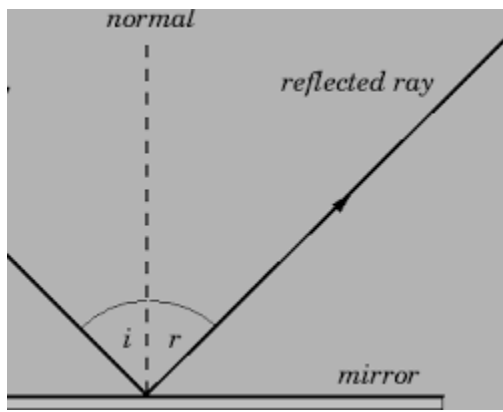
atmosferă, lumina albastră este împrăștiată predominant, lăsând lumina roșie să ajungă la ochi).



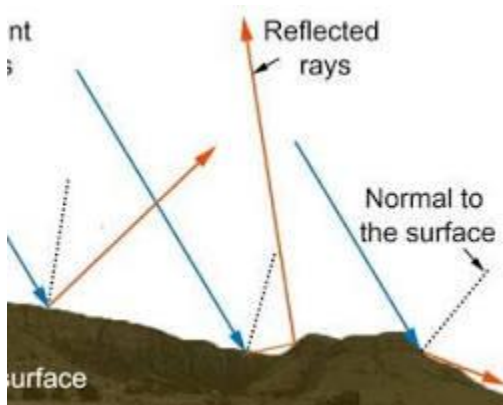
- **Împrăștierea Mie:** Se întâmplă atunci când lumina interacționează cu **particule de dimensiuni comparabile sau mai mari** decât lungimea sa de undă ($d \approx \lambda$ sau $d > \lambda$). Spre deosebire de Rayleigh, împrăștierea Mie este mult mai puțin dependentă de lungimea de undă, ceea ce înseamnă că toate culorile sunt împrăștiate aproape la fel. Acest lucru se datorează faptului că interacțiunea devine mai complexă, implicând atât difracția, cât și refracția în interiorul particulei. De aceea, **norii par albi sau cenușii**, deoarece împrăștie uniform toate culorile luminii solare.



2. **Difuzia de Suprafețe Rugoase (Reflexia Difuză):** Când lumina lovește o suprafață care nu este perfect netedă (adică are imperfecțiuni sau rugozități la scară microscopică), razele de lumină incidente sunt reflectate în **direcții multiple și aleatorii**, în loc de o singură direcție coerentă. Acest tip de reflexie se numește **reflexie difuză**. Sears și Zemansky tratează **reflexia luminii** în capitolele introductive despre optica geometrică. Legea reflexiei afirmă că **unghiul de incidență este egal cu unghiul de reflexie** ($\theta_i = \theta_r$), și că raza incidentă, normala la suprafață și raza reflectată se află în același plan.



În cazul unei suprafețe rugoase, la nivel macroscopic, suprafața este percepută ca fiind mată deoarece fiecare punct microscopic al suprafeței are o **orientare diferită a normalei locale**. Astfel, deși fiecare rază individuală respectă legea reflexiei ($\theta_i = \theta_r$) la nivel microscopic, totalitatea razelor reflectate este împrăștiată într-un spectru larg de unghiuri. Un model ideal pentru o suprafață difuză perfectă este cel al unui **reflector Lambertian**, care presupune că intensitatea luminii reflectate este independentă de unghiul de vizualizare și variază doar cu **cosinusul unghiului de incidență** al sursei de lumină. Textura suprafeței, forma și orientarea micro-asperităților determină modul în care lumina este împrăștiată. De exemplu, o foaie de hârtie albă, un perete mat sau o suprafață de beton difuzează lumina, făcându-le să pară opace sau mate.



diffuse reflection on a rough surface

Efectele și Aplicațiile Difuziei Luminii

Difuzia luminii, un rezultat al interacțiunilor complexe ale luminii cu mediul, are numeroase efecte și aplicații în viața de zi cu zi și în tehnologie. Conceptele fundamentale din Sears și Zemansky, cum ar fi **legea lui Snell** (pentru refracție) și **legea reflexiei**, contribuie la înțelegerea modului în care lumina interacționează inițial cu materialele înainte de a fi difuzată.

- **Illuminare Uniformă:** Difuzoarele de lumină (de exemplu, abajururile lămpilor, panourile translucide pentru LED-uri) sunt folosite pentru a transforma o sursă de

lumină concentrată într-o iluminare mai moale și uniformă, reducând umbrele dure și strălucirea orbitoare.



LED light panel with diffuser

- **Aspectul Obiectelor:** Culoarea și aspectul multor obiecte pe care le vedem sunt rezultatul reflexiei difuze selective (corpul absoarbe anumite lungimi de undă și difuzează altele).
- **Fotografie:** Difuzia este esențială în fotografie pentru a crea lumini softbox-uri și umbre blânde, oferind un aspect mai natural subiectelor.



- **Ecran de Proiecție:** Suprafețele mate ale ecranelor de proiecție difuzează lumina de la proiector, permițând vizualizarea imaginii dintr-o gamă largă de unghiuri.
- **Fibre Optice (Difuzie în unele cazuri):** Deși majoritatea fibrelor optice sunt proiectate pentru reflexie internă totală (un concept bine explicat în Sears și Zemansky în contextul refracției și al condițiilor pentru reflexia totală internă), în anumite aplicații de detectare sau iluminare, controlul difuziei poate fi util.
- **Vizibilitate în Condiții Atmosferice:** Cețurile, ploile și fumul reduc vizibilitatea prin împrăștierea intensă a luminii, un exemplu al împrăștierii Mie.

Proiect in HTML si Java SDK:

<https://informaticasite.com/simulator-de-difuzie/>

Explicatie: Vei vedea un cerc luminos și un buton. Când apeși butonul, cercul se va extinde și se va estompa, simulând efectul unui difuzor. Este o demonstrație simplificată a efectului de difuzie.