

LUMINA

OPTICA FENOMENOLOGICĂ



Nicolae Sfetcu

Lumina

Optica fenomenologică

Nicolae Sfetcu

Publicat de Nicolae Sfetcu

Copyright 2018 Nicolae Sfetcu



(Răsărit de Soare deasupra muntelui Fuji, Japonia)

Lumina este o radiație electromagnetică într-o anumită porțiune a spectrului electromagnetic. Cuvântul se referă, de obicei, la lumina vizibilă, care este vizibilă pentru ochiul uman și care este responsabilă de simțul vederii. Luminile vizibile sunt de obicei definite ca având lungimi de undă cuprinse între 400-700 nanometri (nm) sau între $4,00 \times 10^{-7}$ și $7,00 \times 10^{-7}$ m, între infraroșu (cu lungimi de undă mai lungi) și ultraviolete (cu lungimi de undă mai scurte). Această lungime de undă înseamnă o gamă de frecvențe de aproximativ 430-750 terahertz (THz).

Principala sursă de lumină de pe Pământ este Soarele. Lumina soarelui furnizează energia pe care plantele verzi o folosesc pentru a crea zaharuri în cea mai mare parte sub formă de amidon, care eliberează energia în ființele vii. Acest proces de fotosinteză furnizează practic toată energia

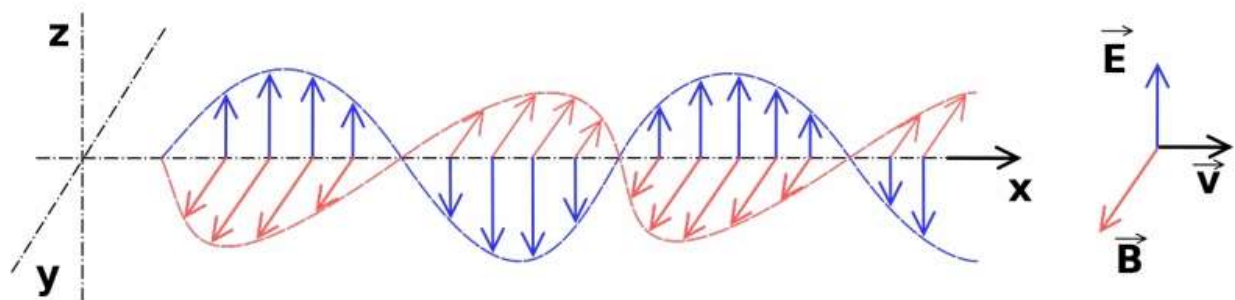
folosită de ființele vii. Din punct de vedere istoric, o altă sursă importantă de lumină pentru oameni a fost focul, de la focuri de tabără antice la lămpile moderne de kerosen. Odată cu dezvoltarea iluminării electrice și a sistemelor energetice, iluminatul electric a înlocuit efectiv focul. Unele specii de animale generează lumină proprie, un proces numit bioluminescență. De exemplu, licuricii utilizează lumină pentru a se localiza între ei, iar calmarul vampir o folosește pentru a se ascunde de pradă.

Proprietățile luminii

Proprietățile principale ale luminii vizibile sunt intensitatea, direcția de propagare, frecvența sau spectrul lungimii de undă și polarizarea, în timp ce viteza în vid, de 299.792.458 metri pe secundă, este una dintre constantele fundamentale ale naturii. Lumina vizibilă, la fel ca în cazul tuturor tipurilor de radiații electromagnetice, s-a determinat experimental că are întotdeauna această viteză în vid.

În fizică, termenul de *lumină* se referă uneori la radiația electromagnetică a oricărei lungimi de undă, fie ea vizibilă sau nu. În acest sens, razele gamma, razele X, microundele și undele radio sunt, de asemenea, lumină. Nu există limite reale între un interval de lungimi de undă și altul. Ca toate tipurile de lumină, lumina vizibilă este emisă și absorbită în mici "pachete" numite fotoni și prezintă proprietăți atât ale undelor cât și ale particulelor. Această proprietate este menționată ca dualitatea particulă-undă. Studiul luminii, cunoscut sub numele de optica, este un domeniu important de cercetare în fizica modernă. Când lungimile de undă sunt foarte mici în comparație cu dimensiunile echipamentului disponibil pentru studiul lor și energiile fotonice sunt mici în comparație cu sensibilitatea energetică a echipamentului, studiul se face printr-o aproximare numită optica geometrică. Dacă lungimile de undă sunt comparabile cu dimensiunile echipamentului și dacă energiile fotonice sunt încă neglijabile, aproximarea poate fi făcută studiind comportamentul clasic al undelor, radiațiile electromagnetice. Pentru lungimi de undă foarte scurte și fotonii au o energie foarte mare în comparație cu sensibilitatea echipamentului, se folosește aproximarea fonică.

Unde electromagnetice



(Undele electromagnetice care compun radiația electromagnetică pot fi imaginate ca unde oscilante transversal cu auto-propagare ale câmpurilor electrice și magnetice. Această diagramă arată o undă a radiației electromagnetice plană polarizată linear care se propagă de la stânga la dreapta. Câmpul electric este într-un plan vertical și câmpul magnetic într-un plan

orizontal. Câmpurile electrice și magnetice din undele radiației electromagnetice sunt întotdeauna în fază și la 90 de grade unul față de celălalt.

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Onde_electromagnetique.svg

În fizică, radiația electromagnetică se referă la undele (sau cuanta lor, fotoni) ale câmpului electromagnetic, propagându-se (radiind) prin spațiu-timp, purtând energia radiantă electromagnetică. Radiația electromagnetică este o combinație de câmpuri electrice și magnetice oscilante care se propagă prin spațiu și care transportă energie dintr-un loc în altul. În mod clasic, radiația electromagnetică constă din unde electromagnetice, care sunt oscilații sincrone ale câmpurilor electrice și magnetice care se propagă la viteza luminii printr-un vid. Oscilațiile celor două câmpuri sunt perpendiculare între ele și perpendiculare pe direcția energiei și propagării undelor, formând o undă transversală. Frontalul undelor electromagnetice emise de o sursă punctuală (cum ar fi un bec) este o sferă. Poziția unei unde electromagnetice în spectrul electromagnetic poate fi caracterizată fie de frecvența oscilației, fie de lungimea de undă. Acesta include undele radio, microundele, infraroșu, lumina (vizibilă), ultraviolete, razele X și razele gamma. Studiul teoretic al radiațiilor electromagnetice se numește *electrodinamica*, un subdomeniu al *electromagnetismului*.

Undele electromagnetice sunt produse ori de câte ori particulele încărcate sunt accelerate, iar aceste unde pot interacționa ulterior cu alte particule încărcate. Când orice fir (sau un alt obiect conductor precum o antenă) conduce curentul alternativ, radiația electromagnetică este propagată cu aceeași frecvență ca și curentul electric. În funcție de circumstanțe, se poate comporta ca undă sau ca particulă. Ca undă, aceasta este caracterizată printr-o viteză (viteza luminii), lungime de undă, și frecvență. Atunci când se consideră particulele, acestea sunt cunoscute sub numele de *fotoni*, și fiecare are o energie legată de frecvența undei dată de relația lui Planck.

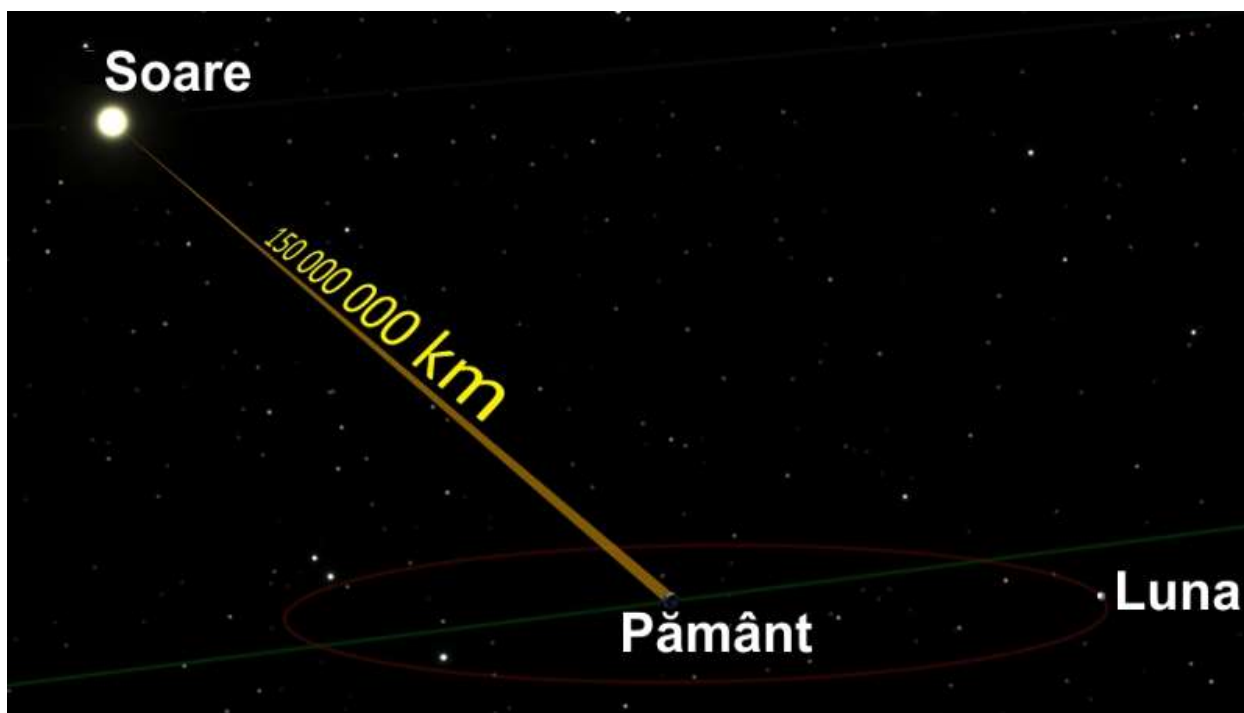
În general, radiația electromagnetică este clasificată în funcție de lungimea de undă în radio, microunde, lumina infraroșie, lumina vizibilă, lumina ultravioletă, raze X și raze gamma. Radiațiile în vid se deplasează mereu cu viteza luminii, în raport cu observatorul, indiferent de viteza observatorului. (Această observație a condus la dezvoltarea lui Albert Einstein a teoriei relativității speciale).

Efectul radiațiilor depinde de cantitatea de energie transportată per cuantă. Energiile mari corespund frecvențelor înalte și lungimilor de undă scurte, și vice-versa. Efectele radiațiilor asupra compușilor chimici și a organismelor biologice depind atât de puterea radiației, cât și de frecvența acesteia. Radiația electromagnetică la frecvențe vizibile sau mai joase (adică lumină vizibilă, infraroșu, microunde și unde radio) se numește radiație neionizantă, deoarece fotonii nu au suficientă energie individuală pentru a ioniza atomii sau moleculele. Efectele acestor radiații asupra sistemelor chimice și a țesuturilor vii sunt cauzate în primul rând de efectele de încălzire ale transferului de energie combinat al multor fotoni. În schimb, radiațiile ultraviolete, razele X și razele gama sunt denumite radiații ionizante, deoarece fotonii individuali la o astfel de frecvență înaltă au suficientă energie pentru a ioniza moleculele sau pentru a rupe legăturile chimice. Aceste radiații au capacitatea de a provoca reacții chimice și de a deteriora celulele vii dincolo de cele care rezultă din încălzirea simplă și pot constitui un pericol pentru sănătate.

Multe informații despre proprietățile fizice ale unui obiect pot fi obținute de la spectrul său electromagnetic. Acest lucru poate fi spectrul luminii fie emise, fie transmisă spre obiect. Acest aspect implică *spectroscopia*, care este utilizată pe scară largă în astrofizică. De exemplu; mulți atomi de hidrogen emit unde radio, care au o lungime de undă de 21,12 cm.

Când radiația electromagnetică trece printr-un conductor induce un flux de curent electric în conductor. Acest efect este folosit în antene. Radiațiile electromagnetice pot provoca, de asemenea, anumite molecule să oscileze și, astfel, să se încălzească. Acest lucru este exploatat în cuptorul cu microunde.

Viteza undelor electromagnetice



(Razele solare au nevoie de aproximativ 8 minute și 17 secunde pentru a traversa distanța medie de la suprafața Soarelui la Pământ.)

Orice sarcină electrică care accelerează sau orice câmp magnetic în schimbare produce radiații electromagnetice. Informațiile electromagnetice despre sarcină se deplasează cu viteza luminii. Precizia tratamentului încorporează astfel un concept cunoscut ca timp întârziat, care se adaugă expresiilor câmpului electric și câmpului magnetic electrodinamic. Acești termeni suplimentari sunt responsabili pentru radiațiile electromagnetice.

Atunci când orice fir (sau alt obiect conducător, cum ar fi o antenă) produce curent alternativ, radiația electromagnetică este propagată la aceeași frecvență ca și curentul. În multe astfel de situații este posibil să se identifice un moment dipol electric care rezultă din separarea sarcinilor datorită potențialului electric excitant, iar acest moment dipol oscilează în timp, pe măsură ce sarcinile se mișcă înainte și înapoi. Această oscilație la o anumită frecvență dă naștere la

schimbarea câmpurilor electrice și magnetice, care apoi determină radiația electromagnetică în mișcare.

La nivelul cuantic, radiația electromagnetică este produsă atunci când pachetul de unde al unei particule încărcate oscilează sau accelerează în alt mod. Particulele încărcate într-o stare staționară nu se mișcă, însă o suprapunere a unor astfel de stări poate duce la o stare de tranziție care are un moment dipol electric care oscilează în timp. Acest moment dipol oscilant este responsabil pentru fenomenul tranziției radiative între stările cuantice ale unei particule încărcate. Astfel de stări apar (de exemplu) în atomi atunci când fotonii sunt radiați pe măsură ce atomul se schimbă de la o stare staționară la alta.

Ca undă, lumina este caracterizată de o viteză (viteza luminii), lungimea de undă și frecvența. Ca particulă, lumina este un flux de fotoni. Fiecare are o energie legată de frecvența undelor date de relația lui Planck $E = hf$, unde E este energia fotonului, $h = 6,626 \times 10^{-34}$ J·s este constanta lui Planck și f este frecvența undelor .

O regulă este respectată indiferent de circumstanțe: radiația electromagnetică în vid se deplasează la viteza luminii, *în raport cu observatorul*, indiferent de viteza observatorului. (Această observație a dus la dezvoltarea de către Einstein a teoriei relativității speciale.)

Într-un mediu (altul decât vid), factorul de viteză sau indicele de refracție sunt luate în considerare, în funcție de frecvență și de aplicație. Ambele sunt raporturi ale vitezei într-un mediu la viteza în vid.

Viteza luminii

Viteza luminii în vid, notată în mod obișnuit c , este o constantă fizică universală importantă în multe domenii ale fizicii. Valoarea sa exactă este de 299.792.458 metri pe secundă (aproximativ $3,00 \times 10^8$ m/s sau 300.000 km/s). Este exactă deoarece unitatea de lungime, metru, este definită de această constantă și de standardul internațional pentru timp. Conform relativității speciale, c este viteza maximă la care toate materialele convenționale și, prin urmare, toate formele cunoscute de informații din univers pot călători. Deși această viteză este cel mai frecvent asociată cu lumina, este de fapt viteza cu care toate particulele fără masă și schimbările câmpurilor asociate se deplasează în vid (inclusiv radiația electromagnetică și undele gravitaționale). Astfel de particule și unde se deplasează cu c , indiferent de mișcarea sursei sau de cadrul de referință inerțial al observatorului. În teoria relativității, c interconectează spațiul și timpul și, de asemenea, apare în faimoasa ecuație de echivalență energetică în masă $E = mc^2$.

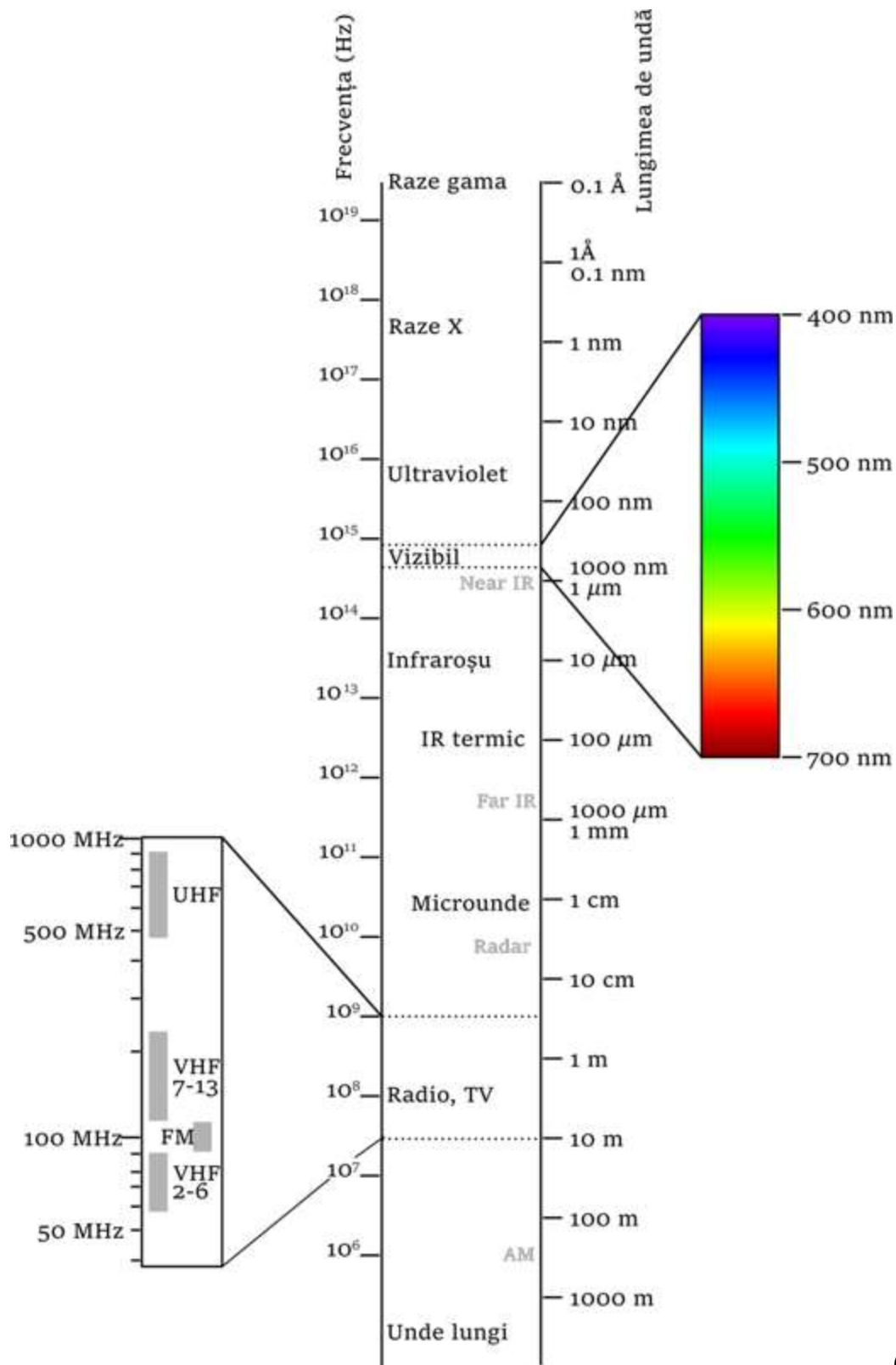
Viteza la care lumina se propagă prin materiale transparente, cum ar fi sticla sau aerul, este mai mică decât c ; în mod similar, viteza undelor electromagnetice în cablurile de sârmă este mai lentă decât c . Raportul dintre c și viteza v la care lumina se deplasează într-un material se numește indicele de refracție n al materialului ($n = c/v$). De exemplu, pentru lumina vizibilă, indicele de refracție al sticlei este în mod obișnuit de aproximativ 1,5, ceea ce înseamnă că lumina în sticlă se deplasează la $c/1,5 \approx 200,000$ km/s; indicele de refracție al aerului pentru lumina vizibilă este de aproximativ 1.0003, astfel încât viteza luminii în aer este de aproximativ 299.700 km/s (cu circa 90 km/s mai mică decât c).

În multe scopuri practice, undele luminoase și alte unde electromagnetice se vor propaga instantaneu, dar pentru distanțe lungi și măsurători foarte sensibile, viteza lor finită are efecte vizibile. În comunicarea cu sonde spațioase îndepărtate, poate dura câteva minute până la ore pentru ca un mesaj să ajungă de la Pământ la nava spațială sau invers. Lumina văzută de la stele a fost emisă cu mulți ani în urmă, permițând studiul istoriei universului, uitându-ne la obiecte îndepărtate. Viteza finită a luminii limitează, de asemenea, viteza teoretică maximă a calculatoarelor, deoarece informațiile trebuie trimise în interiorul computerului de la cip la cip. Viteza luminii poate fi utilizată cu măsurătorile timpului de zbor pentru a măsura distanțele mari la o mare precizie.

Ole Rømer a demonstrat pentru prima dată în 1676 că lumina călătorește la o viteză finită (nu instantaneu), studiind mișcarea aparentă a lunii lui Jupiter, Io. În 1865, James Clerk Maxwell a propus ca lumina să fie o undă electromagnetică și, prin urmare, se deplasează la viteza c care apare în teoria sa de electromagnetism. În 1905, Albert Einstein a afirmat că viteza luminii c în raport cu orice cadru inerțial este o constantă și este independentă de mișcarea sursei de lumină. El a explorat consecințele acestui postulat derivând teoria relativității și făcând astfel să demonstreze că parametrul c are relevanță în afara contextului luminii și electromagnetismului.

După secole de măsurători din ce în ce mai precise, în 1975 viteza luminii era cunoscută ca fiind 299792458 m/s, cu o incertitudine de măsurare de 4 părți per miliard. În 1983, metrul a fost redefinit în Sistemul Internațional de Unități (SI) ca distanța parcursă de lumină în vid în $1/299792458$ din o secundă. Ca rezultat, valoarea numerică a lui c în metri pe secundă este fixată exact prin definiția metrului.

Spectrul electromagnetic



(O diagramă a spectrului electromagnetic, care prezintă diferite proprietăți în întreaga gamă de frecvențe și lungimi de undă. <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Electromagnetic-Spectrum.svg>)

Spectrul electromagnetic este domeniul de frecvențe (spectrul) radiației electromagnetice și a lungimilor de undă respective și a energiilor fotonice.

Spectrul electromagnetic acoperă undele electromagnetice cu frecvențe variind de la mai puțin de un hertz la peste 10^{25} hertzi, corespunzând lungimilor de undă de la mii de kilometri până la o fracțiune din dimensiunea nucleului atomic. Această gamă de frecvențe este împărțită în benzi separate, iar undele electromagnetice din fiecare bandă de frecvențe sunt numite prin nume diferite; începând cu frecvența joasă (lungimea de undă lungă) a spectrului, acestea sunt: undele radio, microundele, infraroșu, lumina vizibilă, ultravioletele, razele X și razele gamma la capătul de frecvență înaltă (lungime de undă scurtă). Undele electromagnetice din fiecare dintre aceste benzi au caracteristici diferite, cum ar fi modul în care sunt produse, modul în care acestea interacționează cu materia și aplicațiile lor practice. Limita pentru lungimi de undă lungi este dimensiunea universului în sine, în timp ce se consideră că limita de lungime de undă scurtă este în vecinătatea lungimii Planck. Razele gama, razele X și radiațiile ultraviolete sunt clasificate drept *radiații ionizante*, deoarece fotonii lor au suficientă energie pentru a ioniza atomii, provocând reacții chimice. Expunerea la aceste raze poate fi un pericol pentru sănătate, cauzând boală prin radiații, daune ADN și cancer. Radiația lungimilor de undă ale luminii vizibile și a celor inferioare se numesc *radiații neionizante*, deoarece acestea nu pot provoca aceste efecte.

În majoritatea benzilor de frecvență de mai sus, o tehnică numită spectroscopie poate fi utilizată pentru a separa fizic undele de frecvențe diferite, producând un spectru care prezintă frecvențele constituente. Spectroscopia este folosită pentru a studia interacțiunile undelor electromagnetice cu materia.

Clasa			Frecvența	Lungimea de undă	Energia
Radiații ionizante	γ	Raze gama	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
	HX	Raze X tari	30 EHz	10 pm	124 keV
			3 EHz	100 pm	12.4 keV
	SX	Raze X moi	300 PHz	1 nm	1.24 keV

			30 PHz	10 nm	124 eV
	EUV	Ultraviolete extreme			
	NUV	Ultraviolete apropiate	3 PHz	100 nm	12.4 eV
Vizibile			300 THz	1 μ m	1.24 eV
	NIR	Infraroșii apropiate			
			30 THz	10 μ m	124 meV
	MIR	Infraroșii medii			
			3 THz	100 μ m	12.4 meV
	FIR	Infraroșii îndepărtate			
			300 GHz	1 mm	1.24 meV
	EHF	Frecvență extrem de înalte			
			30 GHz	1 cm	124 μ eV
	SHF	Frecvențe super înalte			
			3 GHz	1 dm	12.4 μ eV
	UHF	Frecvențe ultra înalte			
			300 MHz	1 m	1.24 μ eV
	VHF	Frecvențe foarte înalte			
			30 MHz	10 m	124 neV
	HF	Frecvențe înalte			

	MF	Frecvențe medii	3 MHz	100 m	12.4 neV
	LF	Frecvențe joase	300 kHz	1 km	1.24 neV
			30 kHz	10 km	124 peV
	VLF	Frecvențe foarte joase	3 kHz	100 km	12.4 peV
	ULF	Frecvențe ultra joase	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
	SLF	Frecvențe super joase	30 Hz	10 Mm	124 feV
			3 Hz	100 Mm	12.4 feV
	ELF	Frecvențe extrem de joase	3 Hz	100 Mm	12.4 feV

Legend

γ = Raze gama	MIR = Infraroșii medii	HF = Frecvență înaltă
HX = Raze X tari	FIR = Infraroșii îndepărtate	MF = Frecvență medie
SX = Raze X moi	Unde radio	LF = Frecvență joasă
EUV = Ultraviolete extreme	EHF = Frecvență extrem de înaltă	VLF = Frecvență foarte joasă
NUV = Ultraviolete apropiate	SHF = Frecvență super înaltă	VF/ULF = Frecvență vocală
Lumina vizibilă	UHF = Frecvență super înaltă	SLF = Frecvență super joasă
NIR = Infraroșii apropiate	VHF = Frecvență foarte înaltă	ELF = Frecvență extrem de joasă
		Freq = Frecvență

Intervalul spectrului

CLASS	FREQUENCY	WAVELENGTH	ENERGY
Y	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
SX	3 EHz	100 pm	12.4 keV
EUV	300 PHz	1 nm	1.24 keV
NUV	30 PHz	10 nm	124 eV
	3 PHz	100 nm	12.4 eV
NIR	300 THz	1 μm	1.24 eV
MIR	30 THz	10 μm	124 meV
FIR	3 THz	100 μm	12.4 meV
EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μeV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μeV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μeV
HF	30 MHz	10 m	124 neV
MF	3 MHz	100 m	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF/ULF	3 kHz	100 km	12.4 peV
SLF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
ELF	30 Hz	10 Mm	124 feV
	3 Hz	100 Mm	12.4 feV

(Spectrul luminii. https://en.wikipedia.org/wiki/File:Light_spectrum.svg)

Undele electromagnetice sunt în mod obișnuit descrise prin oricare dintre următoarele trei proprietăți fizice: frecvența f , lungimea de undă λ sau energia fonică E . Frecvențele observate în astronomie variază de la $2,4 \times 10^{23}$ Hz (raze gama de 1 GeV) până la frecvența plasmatică locală a mediului interstelar ionizat (~ 1 kHz). Lungimea de undă este invers proporțională cu frecvența undei, astfel încât razele gama au lungimi de undă foarte scurte care sunt fracții ale mărării atomilor, în timp ce lungimile de undă de pe capătul opus al spectrului pot de mărimea universului. Energia fonică este direct proporțională cu frecvența undei, astfel încât fotonii cu raze gama au cea mai mare energie (aproximativ un miliard de electroni volți), în timp ce fotonii cu unde radio au energie foarte mică (în jurul unui femtoelectronvolt). Aceste relații sunt ilustrate prin următoarele ecuații:

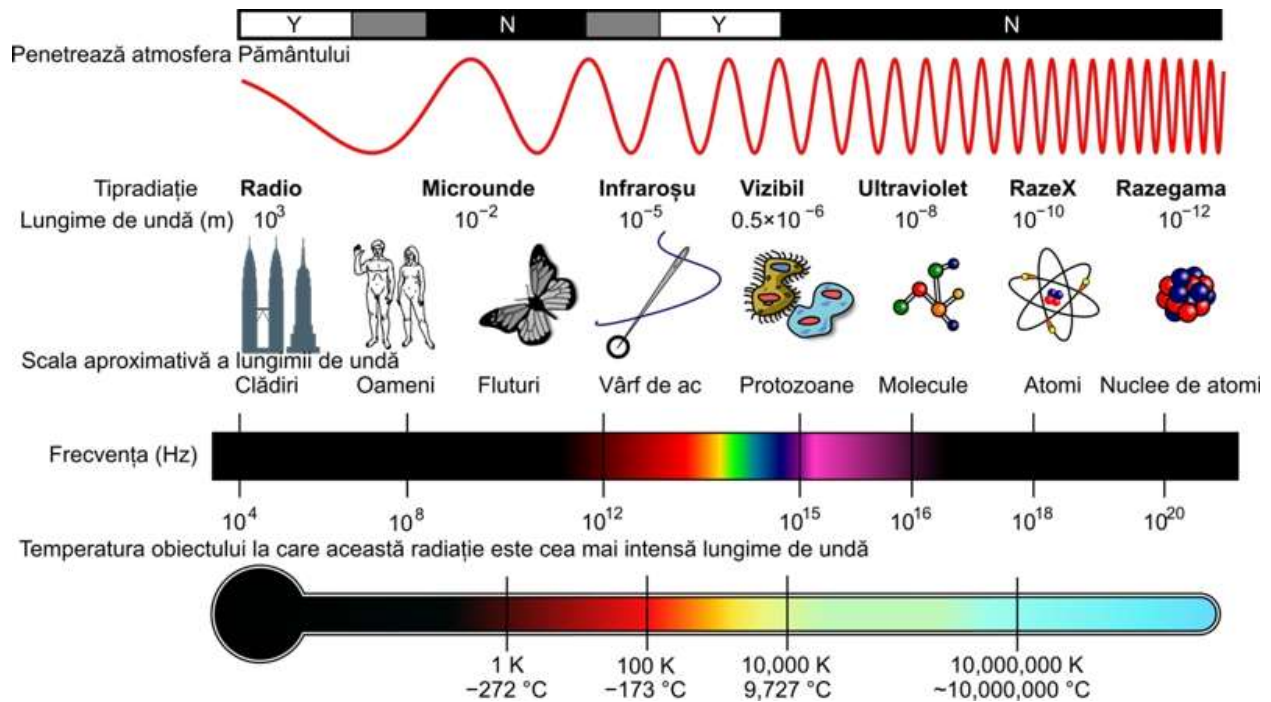
$$f = c/\lambda \text{ sau } f = E/h \text{ sau } E = hc/\lambda,$$

unde: $c = 299792458$ m/s este viteza luminii în vid, $h = 6.62606896(33) \times 10^{-34}$ J·s = $4.13566733(10) \times 10^{-15}$ eV · s este constanta lui Planck.

Ori de câte ori există unde electromagnetice într-un mediu cu materie, lungimea lor de undă scade. Lungimile de undă ale radiației electromagnetice, indiferent de mediul în care se deplasează, sunt de obicei citate în termeni de *lungime de undă în vid*, deși acest lucru nu este întotdeauna specificat explicit.

În general, radiațiile electromagnetice sunt clasificate prin lungimi de undă în radiații radio, microunde, radiații terahertz (sau submilimetrice), infraroșu, regiunea vizibilă care este percepută ca lumină, ultraviolet, raze X și raze gama. Comportamentul radiației electromagnetice depinde de lungimea de undă. Când radiația electromagnetică interacționează cu atomii și moleculele individuale, comportamentul acesteia depinde și de cantitatea de energie pe o cuantă (foton) pe care îl transportă.

Spectroscopia poate detecta o regiune mult mai largă a spectrului electromagnetic decât domeniul vizibil de 400 nm până la 700 nm. Un spectroscop de laborator comun poate detecta lungimi de undă de la 2 nm la 2500 nm. Informații detaliate despre proprietățile fizice ale obiectelor, gazelor sau chiar stelelor pot fi obținute de pe acest tip de dispozitiv. Spectroscopiele sunt utilizate pe scară largă în astrofizică. De exemplu, mulți atomi de hidrogen emit un foton cu unde radio care are o lungime de undă de 21,12 cm. De asemenea, frecvențele de 30 Hz și mai mici pot fi obținute și sunt importante în studiul anumitor nebuloase stelare, iar frecvențele de până la $2,9 \times 10^{27}$ Hz au fost detectate din surse astrofizice.



(Spectrul electromagnetic. https://en.wikipedia.org/wiki/File:EM_Spectrum_Properties_edit.svg)

Argumentare pentru denumirile regionale ale spectrului

Radiațiile electromagnetice interacționează cu materia în diferite moduri pe întreg spectrul. Aceste tipuri de interacțiuni sunt atât de diferite încât istoric diferite nume au fost aplicate la diferite părți ale spectrului, ca și cum acestea ar fi diferite tipuri de radiații. Astfel, deși aceste "tipuri diferite" de radiații electromagnetice formează un spectru cantitativ continuu de frecvențe și lungimi de undă, spectrul rămâne împărțit din motive practice legate de aceste diferențe calitative de interacțiune.

Interacțiunea radiației electromagnetice cu materia

Regiunea spectrului	Principalele interacțiuni cu materia
Radio	Oscilația colectivă a purtătorilor de sarcină în material (oscilație în plasmă). Un exemplu ar fi călătoriile oscilante ale electronilor dintr-o antenă.
Cuptor cu microunde prin infraroșu	Oscilația plasmei, rotația moleculară
Infraroșu apropiat	Vibrații moleculare, oscilații în plasmă (numai în metale)
Vizibil	Excitație electronică moleculară (inclusiv molecule de pigment găsite în retina umană), oscilații plasmatice (numai în metale)
Ultraviolet	Excitarea electronilor de valență moleculară și atomică, inclusiv ejectarea electronilor (efect fotoelectric)
Razele X	Excitare și ejecție a electronilor atomici de bază, împrăștiere Compton (pentru numere atomice scăzute)

Raze gama	Ejectarea energetică a electronilor de bază în elemente grele, împrăștierea Compton (pentru toate numerele atomice), excitarea nucleelor atomice, inclusiv disocierea nucleelor
Razele gama de mare putere	Crearea de perechi de particule-antiparticule. La energii foarte înalte un singur foton poate crea o avalanșă de particule de energie înaltă și antiparticule la interacțiunea cu materia.

Materiale transparente

În ceea ce privește absorbția luminii, considerațiile de material primare includ:

- La nivel electronic, absorbția în porțiunile ultraviolete și vizibile (UV-Vis) ale spectrului depinde de faptul dacă orbitele electronilor sunt distanțate (sau "cuantificate") astfel încât să poată absorbi o cantitate de lumină (sau foton) de o anumită frecvență și nu încalcă regulile de selecție. De exemplu, la majoritatea ochelarilor, electronii nu au nivele de energie disponibile deasupra lor în raza de lumină vizibilă sau, dacă se întâmplă, ele încalcă regulile de selecție, ceea ce înseamnă că nu există o absorbție apreciabilă în sticlele pure (nedopate), făcându-le materiale transparente ideale pentru ferestre în clădiri.
- La nivel atomic sau molecular, absorbția fizică în porțiunea infraroșie a spectrului depinde de frecvențele vibrațiilor atomice sau moleculare sau de legăturile chimice și de regulile de selecție. Azotul și oxigenul nu sunt gaze cu efect de seră, deoarece nu există o absorbție deoarece nu există un moment dipol molecular.

În ceea ce privește împrăștierea luminii, cel mai important factor este scara de lungime a oricăruia sau a tuturor acestor caracteristici structurale în raport cu lungimea de undă a luminii care este împrăștiată. Considerațiile primare privind materialele includ:

- Structura cristalină: indiferent dacă atomii sau moleculele prezintă sau nu "ordinea de interval mare" evidențiată în solidele cristaline.
- Structura sticloasă: centrele de dispersie includ fluctuațiile densității sau compoziției.
- Microstructura: centrele de dispersie includ suprafețe interne cum ar fi granițele granulelor, defectele cristalografice și porii microscopici.
- Materiale organice: centrele de împrăștiere includ fibrele și structurile celulare și limitele.

Ceramica transparentă

Transparența optică a materialelor policristaline este limitată de cantitatea de lumină care este împrăștiată de caracteristicile lor microstructurale. Difuzarea luminii depinde de lungimea de undă a luminii. În consecință, apar limite la scară spațială a vizibilității (folosind lumina albă), în funcție de frecvența undei luminoase și de dimensiunea fizică a centrului de împrăștiere. De exemplu, deoarece lumina vizibilă are o scară de lungime de undă de ordinul unui micrometru, centrele de dispersie vor avea dimensiuni la o scară spațială similară. Centrele de dispersie primară în materiale policristaline includ defecte microstructurale, cum ar fi porii și limitele

granulelor. În plus față de pori, majoritatea interfețelor dintr-un obiect metalic sau ceramic obișnuit sunt sub forma granițelor de granule care separă mici regiuni de ordin cristalin. Atunci când mărimea centrului de împrăștiere (sau granița granulelor) este redusă sub dimensiunea lungimii de undă a luminii care este împrăștiată, împrăștierea nu mai are loc în nici o măsură semnificativă.

În formarea materialelor policristaline (metale și ceramice) mărimea granulelor cristaline este determinată în mare măsură de mărimea particulelor cristaline prezente în materia primă în timpul formării (sau presării) obiectului. În plus, mărimea granițelor granulelor au aproximativ aceeași scală cu dimensiunea particulelor. Astfel, o reducere a dimensiunii originale a particulelor cu mult sub lungimea de undă a luminii vizibile (aproximativ $1/15$ din lungimea de undă a luminii sau aproximativ $600/15 = 40$ nanometri) elimină o mare parte din împrăștierea luminii, rezultând un material translucid sau chiar transparent.

Modelarea computerizată a transmisiei de lumină prin intermediul aluminei ceramice translucide a arătat că porii microscopici prinși în apropierea granițelor granulelor acționează ca centre primare de dispersie. Frațiunea de volum a porozității a trebuit să fie redusă sub 1% pentru transmisia optică de înaltă calitate (99,99% din densitatea teoretică). Acest obiectiv a fost rapid realizat și demonstrat amplu în laboratoarele și instalațiile de cercetare la nivel mondial, folosind metodele de procesare chimică emergente, cuprinzând metodele de chimie sol-gel și nanotehnologie.



*(Translucența unui material utilizat pentru a evidenția structura unui subiect fotografiat.
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Backlit_mushroom.jpg)*

Ceramica transparentă a devenit interesantă pentru aplicațiile sale pentru lasere cu energie înaltă, ferestre transparente pentru armuri, conuri pentru rachete cu ghidaj IR, detectoare de radiații pentru testare nedistructivă, fizica energiilor înalte, explorare spațială, aplicații de securitate și imagistică medicală. Elementele laser mari fabricate din ceramică transparentă pot fi produse la un cost relativ scăzut. Aceste componente nu prezintă stres intern sau birefrință intrinsecă și permit nivele de dopaj relativ mari sau profiluri de dopaj optimizate personalizate. Acest lucru face ca elementele ceramice cu laser să fie deosebit de importante pentru laserele cu consum mare de energie.

Dezvoltarea de produse din panouri transparente va avea alte aplicații potențiale avansate, inclusiv materiale rezistente la impact, care pot fi utilizate pentru ferestre și luminatoare de uz casnic. Poate că este mai important ca pereții și alte aplicații să aibă o rezistență generală îmbunătățită, în special pentru condițiile de forfecare ridicată, care se regăsesc în expunerile seismice și de vânt. Dacă îmbunătățirile preconizate ale proprietăților mecanice confirmă, limitele tradiționale văzute pe suprafețele de geam din codurile de astăzi ale clădirii ar putea deveni rapid depășite dacă suprafața ferestrei contribuie efectiv la rezistența la forfecare a peretelui.

Materialele transparente în infraroșu disponibile în prezent prezintă în mod tipic un compromis între performanța optică, rezistența mecanică și preț. De exemplu, safirul (alumina cristalină) este foarte puternic, dar este costisitor și nu are o transparență completă pe întreaga gamă de infraroșu de 3-5 micrometri. Ytriu este complet transparent de la 3-5 micrometri, dar nu are rezistență suficientă, duritate și rezistență la șoc termic pentru aplicațiile aerospațiale de înaltă performanță. Nu este surprinzător că o combinație a acestor două materiale sub formă de granat de ytriu din aluminiu (YAG) este unul dintre cei mai de seamă performanți din domeniu.

Transparența în izolatori

Un obiect poate să nu fie transparent fie pentru că reflectă lumina care intră, fie pentru că absoarbe lumina care intră. Aproape toate solidele reflectă o parte și absorb o parte din lumina care intră.

Când lumina cade pe un bloc de metal, el întâlnește atomi care sunt împachetați bine într-o rețea obișnuită și o "mare de electroni" care se mișcă aleatoriu între atomi. În metale, cei mai mulți dintre electroni sunt electroni nelegați (sau electroni liberi), spre deosebire de electronii de legătură, care se găsesc în mod tipic în solide ne-metalice (izolate) cu legături covalente sau ionice. Într-o legătură metalică, orice electroni de legătură potențiali pot fi cu ușurință pierduți de atomi într-o structură cristalină. Efectul acestei delocalizări este pur și simplu de a exagera efectul "mării de electroni". Ca urmare a acestor electroni, cea mai mare parte a luminii de intrare din metale este reflectată înapoi, motiv pentru care vedem o suprafață metalică lucioasă.

Cele mai multe izolatoare (sau materiale dielectrice) sunt ținute împreună prin legături ionice. Astfel, aceste materiale nu au electroni de conducție liberi, iar electronii de legătură reflectă doar o mică parte din unda incidentă. Frecvențele rămase (sau lungimile de undă) sunt libere să se propage (sau să fie transmise). Această clasă de materiale include toate ceramicele și sticlele.

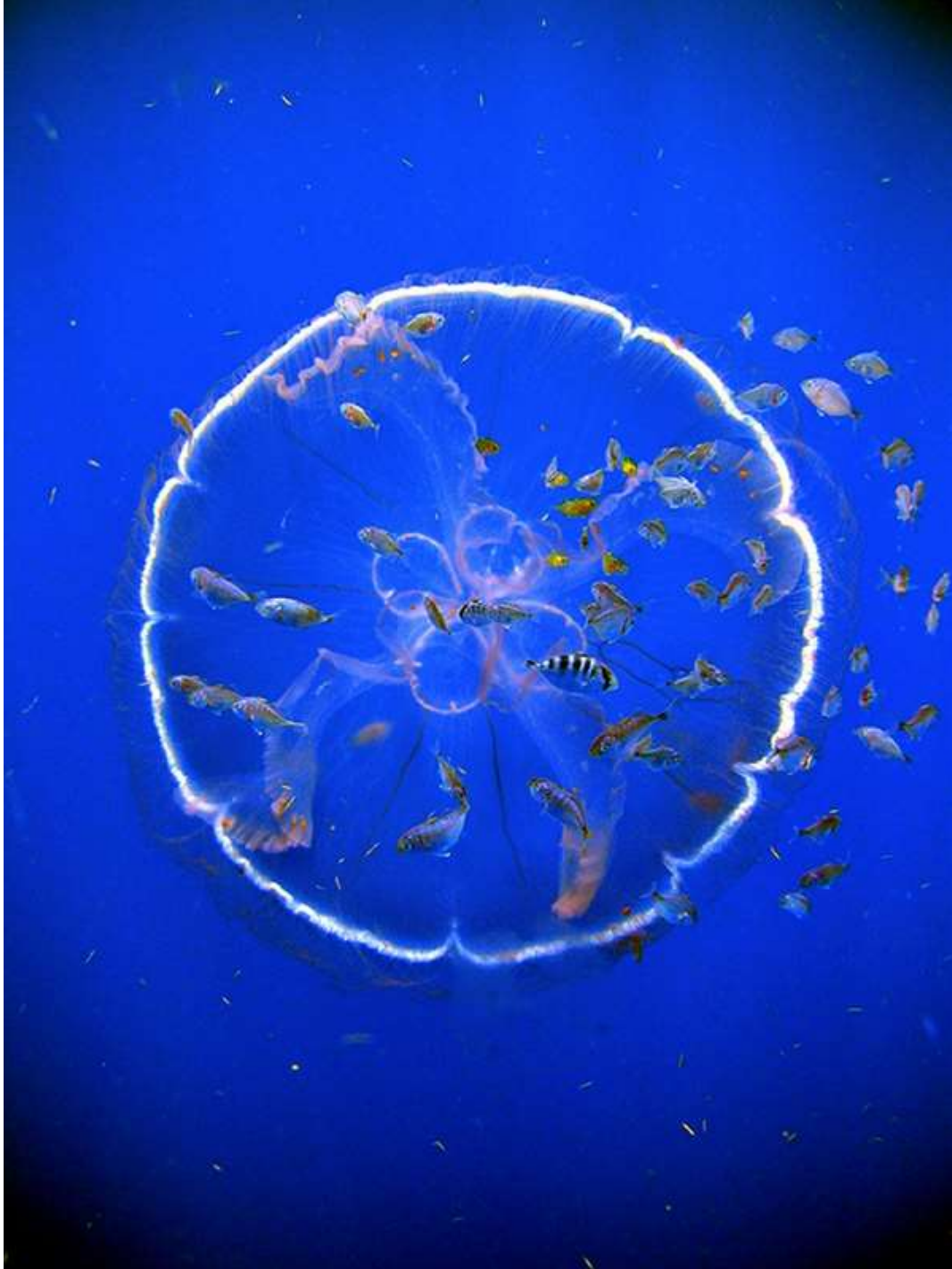
Dacă un material dielectric nu include molecule aditive absorbante de lumină (pigmenți, vopseluri, coloranți), este de obicei transparent pentru spectrul luminii vizibile. Centrele de culoare (sau moleculele colorante sau "dopanții") într-un dielectric absorb o porțiune a luminii care intră. Frecvențele rămase (sau lungimile de undă) sunt libere să fie reflectate sau transmise. Acesta este modul în care se produce sticla colorată.

Cele mai multe lichide și soluții apoase sunt foarte transparente. De exemplu, apa, uleiul de gătit, alcoolul, aerul și gazele naturale sunt clare. Absența defectelor structurale (goluri, crăpături etc.) și structura moleculară a majorității lichidelor sunt în principal responsabile de transmisia lor optică excelentă. Abilitatea lichidelor de a "trata" defectele interne prin fluxul vâcos este unul dintre motivele pentru care unele materiale fibroase (de exemplu, hârtie sau țesătură) își sporesc transparența aparentă când sunt umectate. Lichidul umple numeroase goluri, făcând materialul mai omogen din punct de vedere structural.

Lipsa de dispersie a luminii într-un solid cristalin (non-metalic) fără defecte care nu oferă centre de dispersie pentru lumina care intră se va datora în primul rând oricărui efect al anarmoniciei în cadrul rețelei ordonate. Transmisia de lumină va fi foarte direcționată datorită anizotropiei tipice a substanțelor cristaline, care include grupul lor de simetrie și rețeaua Bravais. De exemplu, cele

șapte forme cristaline diferite de silice de cuarț (dioxid de siliciu, SiO_2) sunt toate materiale clare, transparente.

Camuflaje



(Multe animale din mării, precum această meduză *Aurelia labiata*, sunt în mare măsură transparente.)

Multe animale marine care plutesc aproape de suprafață sunt foarte transparente, oferindu-le camuflajul aproape perfect. Cu toate acestea, transparența este dificilă pentru corpurile realizate din materiale care au indici de refracție diferiți de apa de mare. Unele animale marine, cum ar fi meduzele, au corpuri gelatinoase, compuse în principal din apă; mezogulele lor groase sunt acelulare și foarte transparente. Acest lucru le face în mod obișnuit să plutească, dar le face și mari pentru masa musculară, astfel încât acestea nu pot înota rapid, făcând din această formă de camuflaj un compromis costisitor pentru mobilitate. Animalele planctonice gelatinoase sunt transparente între 50 și 90%. O transparență de 50% este suficientă pentru a face un animal invizibil unui prădător cum ar fi codul la o adâncime de 650 de metri; o mai mare transparență este necesară pentru invizibilitatea în apa mai puțin adâncă, unde lumina este mai strălucitoare și prădătorii pot vedea mai bine. De exemplu, un cod poate vedea prada care este transparentă în proporție de 98% în iluminatul optim în apă puțin adâncă. Prin urmare, transparența suficientă pentru camuflaj este realizată mai ușor în apele mai adânci. Din același motiv, transparența în aer este chiar mai greu de realizat, dar un exemplu parțial se găsește la broaștele de sticlă ale pădurii tropicale din America de Sud, care au pielea translucidă și membrele verzui palide. Mai multe specii din America Centrală de fluturi (ithomiine) și multe libelule și insecte înrudite au de asemenea aripi care sunt în mare parte transparente, o formă de cripsă care oferă o anumită protecție împotriva prădătorilor.

Materiale opace (Opacitatea)



(Ferestrele opace de la Turnul și Hotelul Trump International oglindesc orizontul de-a lungul râului Chicago, în centrul orașului Chicago.

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Trump_International_Hotel_and_Tower,_Chicago,_Illinois,_Estados_Unidos,_2012-10-20,_DD_05.jpg

Opacitatea este măsura impenetrabilității la radiații electromagnetice sau alte tipuri de radiații, în special la lumina vizibilă. În cazul transferului radiativ, se descrie absorbția și împrăștierea radiației într-un mediu, cum ar fi plasma, dielectrice, materiale de protecție, sticlă etc. Un obiect opac nu este nici transparent (nu permite trecerea completă a luminii) nici translucid (permițând trecerea doar a unei părți a luminii). Când lumina atinge o interfață între două substanțe, în general, o parte poate fi reflectată, alta absorbită, alta împrăștiată și restul transmisă. Reflecția poate fi difuză, de exemplu, lumina care reflectă un perete alb, sau o imagine speculară, de exemplu o lumină care se reflectă pe o oglindă. O substanță opacă nu transmite lumină și, prin urmare, reflectă, împrăștie sau absoarbe toată lumina. Atât oglinzile cât și negrul de fum sunt opace. Opacitatea depinde de frecvența luminii luată în considerare. De exemplu, unele tipuri de sticlă, în timp ce sunt transparente în domeniul vizual, sunt în mare măsură opace la lumina ultravioletă. Mai multă dependență de frecvență extremă este vizibilă în liniile de absorbție a gazelor reci. Opacitatea poate fi cuantificată în mai multe moduri.

Diferitele procese pot duce la opacitate, inclusiv absorbția, reflexia și împrăștierea.

Radioopacitatea

Radioopacitatea este utilizată preferențial pentru a descrie opacitatea razelor X. În medicina modernă, substanțele dense radioactiv (radiodense) sunt cele care nu vor permite razelor X sau radiațiilor similare să treacă. Imagistica radiografică a fost revoluționată de mediile de contrast radiodense, care pot fi transmise prin fluxul sanguin, în tractul gastro-intestinal sau în fluidul cerebral al coloanei vertebrale și utilizate pentru a evidenția scanarea CT sau imaginile cu raze X. Radioopacitatea este unul dintre principalele considerente în proiectarea diferitelor dispozitive, cum ar fi ghidurile de undă sau stenturile care sunt utilizate în timpul intervenției radiologice. Radioopacitatea unui dispozitiv endovascular dat este importantă, deoarece permite ca dispozitivul să fie urmărit în timpul procedurii de intervenție.

Definiție cantitativă

Cuvintele "opacitate" și "opac" sunt adesea folosite ca termeni colocviali pentru obiecte sau medii cu proprietățile descrise mai sus. Cu toate acestea, există o definiție specifică, cantitativă a "opacității", utilizată în astronomie, în fizica plasmei și în alte domenii, dată aici.

În această utilizare, "opacitatea" este un alt termen pentru coeficientul de atenuare a masei (sau, în funcție de context, coeficientul de absorbție a masei, diferența este descrisă aici) κ_ν la o frecvență specifică ν a radiației electromagnetice.

Mai precis, dacă un fascicul de lumină cu frecvența ν se deplasează printr-un mediu cu opacitate κ și densitate de masă ρ , ambele constante, atunci intensitatea va fi redusă cu distanța x conform formulei

$$I(x) = I_0 e^{-\kappa \rho x}$$

unde x este distanța parcursă de lumină prin intermediul mediului, $I(x)$ este intensitatea luminii rămase la distanța x , I_0 este intensitatea inițială a luminii, la $x = 0$.

Pentru un mediu dat la o anumită frecvență, opacitatea are o valoare numerică care poate varia între 0 și infinit, cu unități de lungime²/masă.

Opacitatea în activitatea de poluare a aerului se referă la procentul de lumină blocat în loc de coeficientul de atenuare (cunoscut și drept coeficient de extincție) și variază de la 0% lumină blocată la 100% lumină blocată:

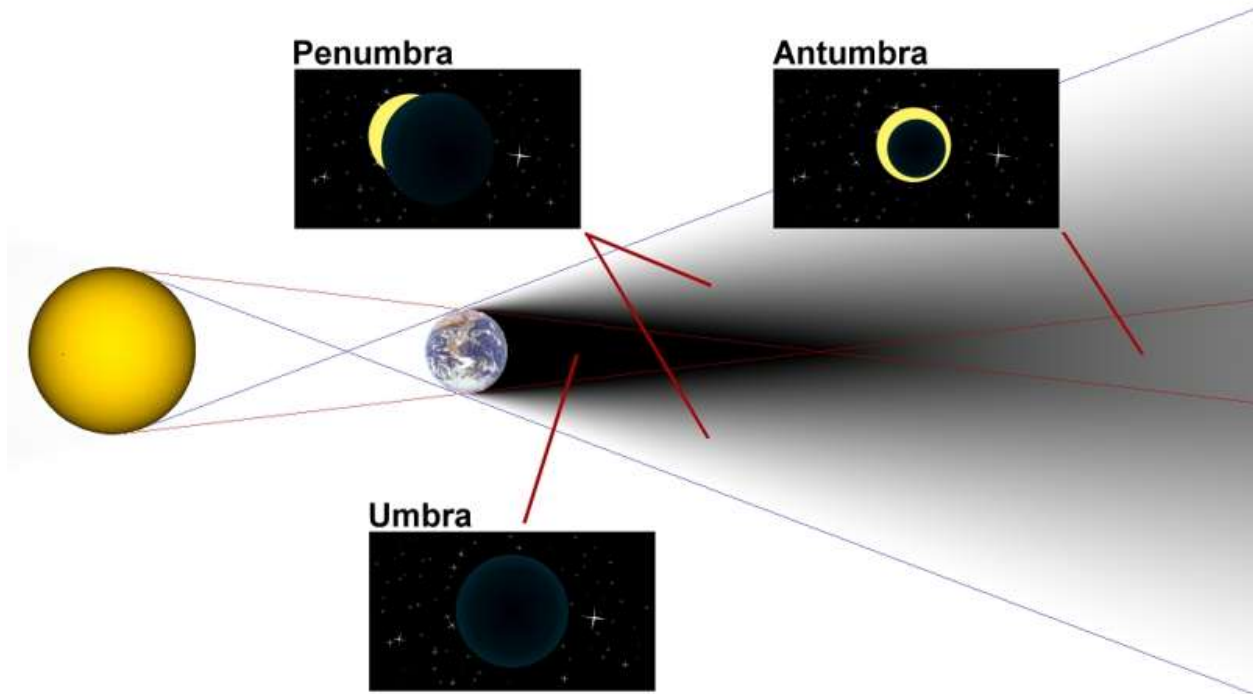
$$\text{Opacitatea} = 100\% (1 - I(x)/I_0)$$

Umbra



Umbra este o zonă întunecată în care lumina de la o sursă de lumină este blocată de un obiect opac. Aceasta ocupă tot volumul tridimensional din spatele unui obiect cu lumina în fața acestuia. Secțiunea transversală a unei umbre este o siluetă bidimensională sau o proiecție inversă a obiectului care blochează lumina.

Surse de lumină punctuale și non-punctuală



(Umbra, penumbra și antumbra.)

O sursă punctuală de lumină aruncă doar o umbra simplă, numită "umbra". Pentru o sursă de lumină non-punctuală sau "extinsă", umbra este împărțită în umbra, penumbra și antumbra. Cu cât este mai largă sursa de lumină, cu atât mai mult se estompează umbra. Dacă două penumbre se suprapun, umbrele par să se atragă și să se îmbine. Acest lucru este cunoscut sub numele de *efect blister* al umbrii.

Contururile zonelor umbrite pot fi găsite prin urmărirea razelor de lumină emise de regiunile ultraperiferice ale sursei de lumină extinse. Regiunea *umbrei* nu primește nici o lumină directă din nici o parte a sursei de lumină și este cea mai întunecată. Un observator situat în regiunea umbrei nu poate vedea direct nicio parte a sursei de lumină.

Prin contrast, *penumbra* este iluminată de unele părți ale sursei de lumină, dându-i un nivel intermediar de intensitate a luminii. Un observator aflat în regiunea penumbrei va vedea sursa de lumină, dar aceasta este parțial blocată de obiectul care umbrește.

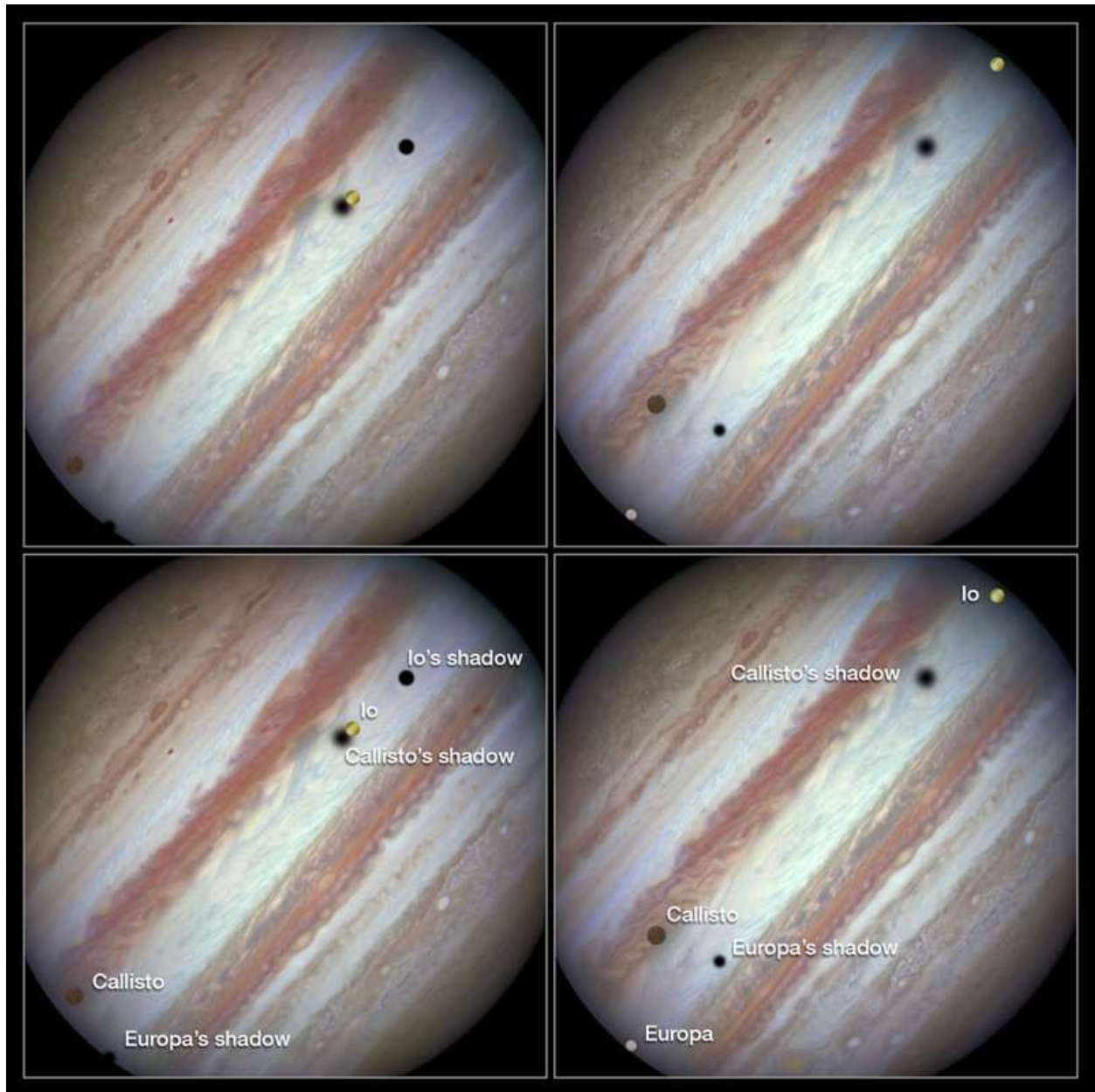
Dacă există mai multe surse de lumină, vor exista mai multe umbre, părți suprapuse mai întunecate și diferite combinații de luminozitate sau chiar culori. Cu cât iluminarea este mai difuză, cu atât umbrele devin mai slabe și mai de nedistins, până când dispar. Iluminarea unui cer acoperit produce câteva umbre vizibile.

Absența efectelor atmosferice de difuzie în vidul spațiului exterior produce umbre care sunt accentuate și puternic delimitate la margine de contrastul foarte mari dintre lumină și întuneric.

Pentru o persoană sau un obiect care atinge suprafața unde este proiectată umbra (de exemplu, o persoană care stă pe pământ sau un stâlp înfipt în sol), umbrele converg în punctul de contact.

O umbră arată, pe lângă distorsiune, aceeași imagine ca și silueta când privim la obiect din partea soarelui, de unde și imaginea în oglindă a siluetei văzute de cealaltă parte.

Astronomie



(Trei luni (Callisto, Europa și Io) și umbrele lor pe Jupiter.

*https://en.wikipedia.org/wiki/File:Three_moons_and_their_shadows_parade_across_Jupiter.jpg
)*

Numele de umbra, penumbra și antumbra sunt adesea folosite pentru umbrele aruncate de obiecte astronomice, deși ele sunt uneori folosite pentru a descrie nivelele de întuneric, cum ar fi petele solare. Un obiect astronomic aruncă umbre vizibile pentru om atunci când magnitudinea aparentă este egală sau mai mică de -4. În prezent, singurele obiecte astronomice capabile să producă umbre vizibile pe Pământ sunt soarele, luna și, în condițiile optime, Venus sau Jupiter.

O umbră aruncată de Pământ pe Lună este o *eclipsă lunară*. În schimb, o umbră aruncată de Lună pe Pământ este o *eclipsă solară*.

Variația în timpul zilei

Soarele aruncă umbre care se schimbă mult în timpul zilei. Lungimea unei umbre aruncată pe pământ este proporțională cu cotangenta unghiului de înălțare a soarelui - unghiul θ față de orizont. Aproape de răsărit și apus, când $\theta = 0^\circ$ și $\cot(\theta) = \infty$, umbrele pot fi extrem de lungi. Dacă soarele trece direct pe deasupra capului, atunci $\theta = 90^\circ$, $\cot(\theta) = 0$ și umbrele sunt proiectate direct sub obiecte.

Astfel de variații au ajutat mult călătorii în drumurile lor, în special în regiunile deșertice, cum ar fi deșertul arab.

Viteza de propagare



(Erupția în faza de abur a Gheizerului Castelului din Parcul Național Yellowstone aruncă o umbră pe propriul său abur, iar razele crepusculare sunt de asemenea vizibile.)

https://en.wikipedia.org/wiki/File:Steam_phase_eruption_of_Castle_Geyser_with_crepuscular_rays_and_shadow.jpg

Cu cât distanța de la obiectul care blochează lumina la suprafața proiecției este mai mare, cu atât silueta este mai mare (ele sunt considerate proporționale). De asemenea, dacă obiectul se mișcă, umbra lăsată de obiect va proiecta o imagine cu dimensiuni (lungime) care se extinde proporțional mai repede decât viteza proprie de mișcare a obiectului. Creșterea mărimii și a vitezei mișcării sunt valabile și în cazul în care distanța dintre obiectul de interferență și sursa de lumină este mai mică. Acest lucru nu înseamnă însă că umbra se poate mișca mai repede decât lumina, chiar și atunci când se proiectează la distanțe uriașe, de ani lumină. Lipsa luminii, care proiectează umbra, se va deplasa spre suprafața proiecției cu viteza luminii.

Deși marginea unei umbre pare să se "miște" de-a lungul unui perete, în realitate creșterea lungimii umbrei face parte dintr-o nouă proiecție care se propagă cu viteza luminii de la obiectul de interferență. Deoarece nu există comunicare reală între punctele dintr-o umbră (cu excepția reflexiei sau interferenței luminii, la viteza luminii), o umbră care se proiectează pe o suprafață de distanțe mari (ani lumină) nu poate transmite informații între aceste distanțe cu marginea umbrei.

Culoare

Artiștii vizuali sunt de obicei foarte conștienți de lumina colorată emisă sau reflectată din mai multe surse, care poate genera umbre multicolore complexe. Chiaroscuro, sfumato și silueta sunt exemple de tehnici artistice care folosesc în mod deliberat efectele umbrelor.

În timpul zilei, o umbră aruncată de un obiect opac iluminat de lumina soarelui are o nuanță albăstruie. Acest lucru se întâmplă din cauza împrăștierii Rayleigh, aceeași proprietate care face ca cerul să apară albastru. Obiectul opac este capabil să blocheze lumina soarelui, dar nu lumina ambientală a cerului, care este albastră, deoarece moleculele de atmosferă împrăștie lumina albastră mai eficient. Ca urmare, umbra apare albastră.

Umbre tridimensionale



*(Umbra ceții turnului de sud al Podului Golden Gate.
https://en.wikipedia.org/wiki/File:Fog_shadow_of_GGB.jpg)*

O umbră ocupă un volum tridimensional în spațiu, dar acesta nu este de obicei vizibil până când nu se proiectează pe o suprafață reflectorizantă. O ceață ușoară, burniță sau norul de praf poate dezvălui prezența 3D a modelelor volumetrice în lumini și umbre.

Umbrele ceții pot părea ciudate pentru observatorii care nu sunt obișnuiți să vadă umbre în trei dimensiuni. O ceață subțire este suficient de densă pentru a fi iluminată de lumina care trece prin golurile dintr-o structură sau copac. Ca rezultat, calea umbrei unui obiect prin ceață devine vizibilă ca volum întunecat. Într-un sens, aceste benzi umbrite sunt inversul razelor crepusculare cauzate de fluxurile de lumină, dar sunt cauzate de umbrele obiectelor solide.

O ceață scenică și fascicule puternice de lumină sunt uneori folosite de designeri în iluminat și de artiștii vizuali care încearcă astfel să evidențieze aspectele tridimensionale ale operei lor.

Cartea

O introducere în fenomenologia opticii geometrice (reflexia, refracția, principiul lui Fermat, oglinzi, miraje, dispersia, lentile), opticii fizice (unde luminoase, principiul Huygens–Fresnel, difracția, interferența, polarizarea, vederea tridimensională, holografia), opticii cuantice (fotoni,

efectul fotoelectric, dualitatea undă-particulă, principiul incertitudinii, complementaritatea) și culorilor (transparența, translučența, amestecul culorilor, culori complementare, pigmenți), în conexiune cu teoriile fundamentale ale luminii. Despre proprietățile luminii (unde electromagnetice, spectrul electromagnetic, materiale transparente și opace, umbra, sistemul vizual uman, lumina Soarelui) și emisia luminii (stări excitate, spectrele de emisie și absorbție, incandescența, fluorescența, fosforescența, LED, laser).

Cartea explică bazele fizice pentru înțelegerea fenomenelor optice, cu accent pe fenomenele naturale și aplicațiile specifice.

Ediția MultiMedia Publishing <https://www.setthings.com/ro/e-books/lumina-optica-fenomenologica/>

Digital: EPUB (ISBN 978-606-9016-05-3), Kindle (ISBN 978-606-9016-07-7), PDF (ISBN 978-606-9016-06-0)

Data publicării: 30 mai 2018

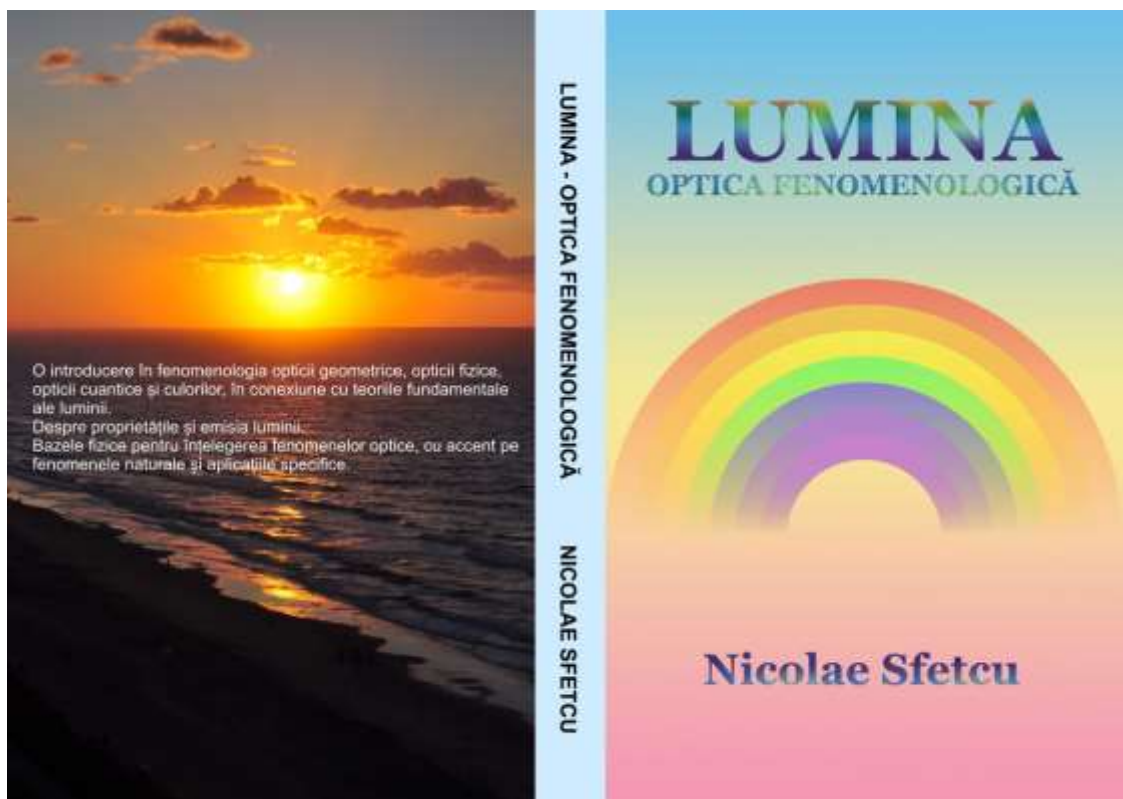
Amazon (Print, Kindle): Ediția ilustrată: <https://www.amazon.com/dp/1720642826/> , Ediția alb-negru: <https://www.amazon.com/dp/1720683794/>

Smashwords (EPUB): <https://www.smashwords.com/books/view/835172>

Google (EPUB, PDF): <https://books.google.ro/books?id=-RleDwAAQBAJ>

eMag.ro (Print, PDF, EPUB, Kindle): <https://www.emag.ro/lumina-optica-fenomenologica-multimedia-publishing-pdf-pbro116p/pd/DW2TRVBBM/>

Facebook: <https://www.facebook.com/Lumina-Optica-2116528428629620/>



Cuprins

Lumina

- Optica fenomenologică
- Proprietățile luminii
 - Unde electromagnetice
 - Viteza undelor electromagnetice
 - Viteza luminii
 - Spectrul electromagnetic
 - Intervalul spectrului
 - Argumentare pentru denumirile regionale ale spectrului
 - Materiale transparente
 - Ceramica transparentă
 - Transparența în izolatori
 - Camuflaje
 - Materiale opace (Opacitatea)
 - Radioopacitatea
 - Definiție cantitativă
 - Umbra
 - Surse de lumină punctuale și non-punctuală
 - Astronomie
 - Variația în timpul zilei
 - Viteza de propagare
 - Culoare
 - Umbre tridimensionale
 - În fotografie
 - Sistemul vizual uman (Ochiul)
 - Ochiul uman
 - Retina
 - Vedere binoculară
 - De ce este apusul de Soare roșu?
 - De ce sunt norii colorați?
 - Ce culoare are apa?
 - Culoarea intrinsecă
 - Culoarea lacurilor și a oceanelor
 - Culoarea ghețarilor
 - Culoarea probelor de apă

Culori

- Reflexia selectivă (Culoarea unui obiect)
- Culoarea obiectelor
- Difuzia culorilor
- Transmiterea selectivă (Transparența și translučența)
 - Împrăștierea luminii în solide
 - Absorbția luminii în solide
- Amestecul luminii colorate (Amestecul culorilor)

- - Amestecul aditiv
- - Amestecul substractiv
- Culori complementare
- - Culori complementare
- - În diferite modele de culori
- - - Model tradițional de culoare
- - Culorile produse de lumină
- - Imprimarea culorilor
- - Persistența imaginii
- - Aplicații practice
- Amestecul pigmentilor colorați (Pigmenți)
- - RYB
- - Procese de imprimare CMY și CMYK
- - Amestecarea substractivă a straturilor de cerneală
- - Amestecarea vopselelor în palete limitate
- De ce e cerul albastru?
- - Radiația difuză a cerului
- - Împrăștierea Rayleigh
- - De ce e cerul albastru

Reflexia și refracția (Optica geometrică)

- Istorie
- Reflexia
- - Reflexia luminii
- Principiul timpului cel mai scurt (Principiul lui Fermat)
- - Derivare
- - Istorie
- Legea reflexiei
- - Formula vectorială
- - Reflectivitate
- - Consecințe
- - - Reflecția internă
- - - Polarizare
- - - Imagini reflectate
- - Exemple
- Oglinzi plane (Oglinzi)
- - Efecte
- - - Forma suprafeței unei oglinzi
- - - Imagine în oglindă
- - Oglinzi plane
- - - Preparare
- - - Relația cu oglinzile curbate
- Reflexia difuză
- - Mecanism
- - Obiecte colorate
- - Importanța pentru vedere
- - Interreflexia

- Refracția
- - Explicație
- Mirajul
- - Mirajul inferior
- - - Încețoșarea
- - Mirajul superior
- - - Fata Morgana
- - Miraje de noapte
- - - Miraje ale obiectelor astronomice
- Dispersia
- - Exemple
- - Dispersia materialelor
- Curcubeul
- - Presentare generală
- - Numărul de culori în spectru sau curcubeu
- - Explicație
- Reflexia internă totală
- - Explicația optică
- - Unghiul critic
- - Reflexia internă totală eșuată
- - Schimbarea de fază la reflexia internă totală
- Lentile
- - Construcția lentilelor simple
- - - Tipuri de lentile simple
- - Ecuația lui Lensmaker
- - - Convenția de semn pentru razele de curbură R_1 și R_2
- - - Aproximarea lentilelor subțiri
- - Lentile compuse
- Formarea imaginilor prin lentile
- - Mărirea
- Defecte ale lentilelor
- - Aberații sferice
- - Coma
- - Aberația cromatică
- - Alte tipuri de aberații
- - Difracția diafragmei
- Undele luminoase (Optica fizică)
- Principiul Huygens–Fresnel
- - Istorie
- - Teoria lui Huygens și funcția de undă fonică modernă
- - Principiul lui Huygens și teoria câmpului cuantic
- - În alte dimensiuni spațiale
- Difracția luminii
- - Exemple
- - Mecanism
- - Difracția luminii

- - - Difrakția printr-o singură fantă
- Interferența optică
- - Cerințele sursei de lumină
- - Dispozitive optice
- - Interferometria optică
- Interferența pe straturi subțiri
- - Teorie
- - Sursă monocromatică
- - Sursa de bandă largă
- - Interacțiunea de fază
- - Aplicații
- Polarizarea
- - Propagarea și polarizarea undelor
- - - Unde electromagnetice transversale
- - - Unde netransversale
- - Starea de polarizare
- - - Elipsa de polarizare
- - Polarizarea fotonilor
- Vederea tridimensională (Percepția în adâncime)
- - Indicii monoculare
- - Indici binoculare
- - Percepția tridimensională în artă
- Holografia
- - Cum funcționează
- - - Laser
- - - Aparatura
- - - Procesul
- - - Vs. fotografie
- - Fizica holografiei
- - - Fronturile de undă plane
- - - Surse punctuale
- - - Obiecte complexe
- Emisia luminii (Surse de lumină)
- Excitarea (Stări excitate)
- Spectrul de emisie al luminii
- - Emisie
- - Origini
- - Radiații din molecule
- Incandescența
- - Observații și utilizare
- Spectrul de absorbție (Spectroscopia de absorbție)
- - Teorie
- - Relația cu spectrul de transmisie
- - Relația cu spectrul de emisie
- - Relația cu spectrul de dispersie și reflecție
- - Spectroscopia de absorbție

- Fluorescența
- - Principii fizice
- - - Fotochimie
- - - Randament cuantic
- - - Durata de viață
- - - Diagrama Jablonski
- - Anizotropia fluorescenței
- - - Fluorența
- - Reguli
- - - Regula lui Kasha
- - - Regula imaginii în oglindă
- - - Deplasarea Stokes
- Lămpi fluorescente
- - Principiile de funcționare
- - - Construcție
- - - Aspecte electrice ale funcționării
- - - Efectul temperaturii
- - Fosforul și spectrul luminii emise
- Fosforescența
- - Explicații
- - - Mecanica cuantică
- - - Ecuația
- - Chimiluminescență
- - Materiale
- LED
- - Istorie
- - Principiul de funcționare
- - Tehnologie
- - Fizica
- - - Indicele de refracție
- Lămpi cu LED
- - Istorie
- - Tehnologia
- - Eficiența
- Laser
- - Concepte de bază
- - - Terminologie
- - Construcția unui laser
- - Fizica laserilor
- - Aplicații
- - - Științifice
- - - Spectroscopie
- - - Tratament termic
- - - Reflector lunar cu laser
- - - Fotochimie
- - - Scanere de coduri de bare laser

- - - Răcire cu laser
- - - Fuziunea nucleară
- - - Microscopie
- Extreme Light Infrastructure
- - Istorie
- - Centrul de cercetare ELI NP
- Cuanta de lumină (Fotoni)
- Proprietăți fizice
- Optica cuantică
- Nașterea teoriei cuantice (Optica cuantică)
- - Istoria opticii cuantice
- - Concepte ale opticii cuantice
- - Electronica cuantică
- Cuantificarea și constanta lui Planck
- - Metode de cuantificare
- - - Cuantificarea canonică
- - Constanta lui Planck
- - - Valoare
- - - Semnificația valorii
- Efectul fotoelectric
- - Mecanismul de emisie
- - Observații experimentale ale emisieii fotoelectrice
- - Descrierea matematică
- - Utilizări și efecte
- - - Fotomultiplicatori
- - - Senzori de imagine
- - - Electroscop cu frunză de aur
- - - Spectroscopie fotoelectronică
- - - Nave spațiale
- - - Praful lunar
- - - Dispozitive de vedere pe timp de noapte
- Dualitatea undă-particulă
- - Tratamentul în mecanica cuantică modernă
- - Vizualizare
- - Aplicarea la modelul Bohr
- Experimentul celor două fante
- - Prezentare generală
- - Interpretările experimentului
- - - Interpretarea de la Copenhaga
- - - Formularea integrală a căii
- - - Interpretarea relațională
- - - Interpretarea multiplelor-lumi
- Difracția electronilor
- - Proprietăți cuantice
- - Difracția electronilor
- - Interacțiunea electronilor cu materia

- - Microscop cu electroni de transmisie
- Principiul incertitudinii
- - Definire
- - Utilizare
- Complementaritatea
- - Conceptul
- - Natura
- - Considerații suplimentare
- - Experimente
- Referințe
- Despre autor
- Nicolae Sfetcu
- - De același autor
- - Contact
- Editura
- MultiMedia Publishing

Despre autor

Nicolae Sfetcu

Asociat și manager MultiMedia SRL și Editura MultiMedia Publishing.

Partener cu MultiMedia în mai multe proiecte de cercetare-dezvoltare la nivel național și european

Coordonator de proiect European Teleworking Development Romania (ETD)

Membru al Clubului Rotary București Atheneum

Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți al Asociației Române pentru Industrie Electronica și Software Oltenia

Inițiator, cofondator și președinte al Asociației Române pentru Teleducă și Teleactivități

Membru al Internet Society

Cofondator și fost președinte al Filialei Mehedinți a Asociației Generale a Inginerilor din România

Inginer fizician - Licențiat în fizică, specialitatea Fizică nucleară. Masterand în Istoria și filosofia științei.

De același autor

Alte cărți scrise sau traduse de același autor:

- A treia lege a lui Darwin - O parodie reală a societății actuale (RO)
- Ghid Marketing pe Internet (RO)
- Bridge Bidding - Standard American Yellow Card (EN)
- Teleducru (Telework) (RO)
- Harta politică - Dicționar explicativ (RO)
- Beginner's Guide for Cybercrime Investigators (EN)
- How to... Marketing for Small Business (EN)
- London: Business, Travel, Culture (EN)
- Fizica simplificată (RO)
- Ghid jocuri de noroc - Casino, Poker, Pariuri (RO)
- Ghid Rotary International - Cluburi Rotary (RO)
- Proiectarea, dezvoltarea și întreținerea siturilor web (RO)
- Facebook pentru afaceri și utilizatori (RO)
- Întreținerea și repararea calculatoarelor (RO)
- Corupție - Globalizare - Neocolonialism (RO)
- Traducere și traducători (RO)
- Small Business Management for Online Business - Web Development, Internet Marketing, Social Networks (EN)
- Sănătate, frumusețe, metode de slăbire (RO)
- Ghidul autorului de cărți electronice (RO)
- Editing and Publishing e-Books (EN)
- Pseudoștiință? Dincolo de noi... (RO)
- European Union Flags - Children's Coloring Book (EN)
- Totul despre cafea - Cultivare, preparare, rețete, aspecte culturale (RO)
- Easter Celebration (EN)
- Steagurile Uniunii Europene - Carte de colorat pentru copii (RO)
- Paști (Paște) - Cea mai importantă sărbătoare creștină (RO)
- Moartea - Aspecte psihologice, științifice, religioase, culturale și filozofice (RO)
- Promovarea afacerilor prin campanii de marketing online (RO)
- How to Translate - English Translation Guide in European Union (EN)
- ABC Petits Contes (Short Stories) (FR-EN), par Jules Lemaître
- Short WordPress Guide for Beginners (EN)
- ABC Short Stories - Children Book (EN), by Jules Lemaître
- Procesul (RO), de Franz Kafka
- Fables et légendes du Japon (Fables and Legends from Japan) (FR-EN), par Claudius Ferrand
- Ghid WordPress pentru începători (RO)
- Fables and Legends from Japan (EN), by Claudius Ferrand
- Ghid Facebook pentru utilizatori (RO)
- Arsène Lupin, gentleman-cambrioleur (Arsene Lupin, The Gentleman Burglar) (FR-EN), par Maurice Leblanc
- How to SELL (eCommerce) - Marketing and Internet Marketing Strategies (EN)
- Arsène Lupin, The Gentleman Burglar (EN), by Maurice Leblanc
- Bucharest Tourist Guide (Ghid turistic București) (EN-RO)

- Ghid turistic București (RO)
- Ghid WordPress pentru dezvoltatori (RO)
- French Riviera Tourist Guide (Guide touristique Côte d'Azur) (EN-FR)
- Guide touristique Côte d'Azur (FR)
- Ghid pagini Facebook - Campanii de promovare pe Facebook (RO)
- Management, analize, planuri și strategii de afaceri (RO)
- Guide marketing Internet pour les débutants (FR)
- Gambling games - Casino games (EN)
- Death - Cultural, philosophical and religious aspects (EN)
- Indian Fairy Tales (Contes de fées indiens) (EN-FR), by Joseph Jacobs
- Contes de fées indiens (FR), par Joseph Jacobs
- Istoria timpurie a cafelei (RO)
- Londres: Affaires, Voyager, Culture (London: Business, Travel, Culture) (FR-EN)
- Cunoaștere și Informații (RO)
- Poker Games Guide - Texas Hold 'em Poker (EN)
- Gaming Guide - Gambling in Europe (EN)
- Crăciunul - Obiceiuri și tradiții (RO)
- Christmas Holidays (EN)
- Introducere în Astrologie (RO)
- Psihologia mulțimilor (RO), de Gustave Le Bon
- Anthologie des meilleurs petits contes français (Anthology of the Best French Short Stories) (FR-EN)
- Anthology of the Best French Short Stories (EN)
- Povestea a trei generații de fermieri (RO)
- Web 2.0 / Social Media / Social Networks (EN)
- The Book of Nature Myths (Le livre des mythes de la nature) (EN-FR), by Florence Holbrook
- Le livre des mythes de la nature (FR), par Florence Holbrook
- Misterul Stelelor Aurii - O aventură în Uniunea Europeană (RO)
- Anthologie des meilleures petits contes françaises pour enfants (Anthology of the Best French Short Stories for Children) (FR-EN)
- Anthology of the Best French Short Stories for Children (EN)
- O nouă viață (RO)
- A New Life (EN)
- The Mystery of the Golden Stars - An adventure in the European Union (Misterul stelelor aurii - O aventură în Uniunea Europeană) (EN-RO)
- ABC Petits Contes (Scurte povestiri) (FR-RO), par Jules Lemaître
- The Mystery of the Golden Stars (Le mystère des étoiles d'or) - An adventure in the European Union (Une aventure dans l'Union européenne) (EN-FR)
- ABC Scurte povestiri - Carte pentru copii (RO), de Jules Lemaitre
- Le mystère des étoiles d'or - Une aventure dans l'Union européenne (FR)
- Poezii din Titan Parc (RO)
- Une nouvelle vie (FR)
- Povestiri albastre (RO)
- Candide - The best of all possible worlds (EN), by Voltaire
- Șah - Ghid pentru începători (RO)

- Le papier peint jaune (FR), par Charlotte Perkins Gilman
- Blue Stories (EN)
- Bridge - Sisteme și convenții de licitație (RO)
- Retold Fairy Tales (Povești repovestite) (EN-RO), by Hans Christian Andersen
- Povești repovestite (RO), de Hans Christian Andersen
- Legea gravitației universale a lui Newton (RO)
- Eugenia - Trecut, Present, Viitor (RO)
- Teoria specială a relativității (RO)
- Călătorii în timp (RO)
- Teoria generală a relativității (RO)
- Contes bleus (FR)
- Sunetul fizicii - Acustica fenomenologică (RO)
- Teoria relativității - Relativitatea specială și relativitatea generală (RO), de Albert Einstein
- Fizica atomică și nucleară fenomenologică (RO)
- Louvre Museum - Paintings (EN)
- Materia: Solide, Lichide, Gaze, Plasma - Fenomenologie (RO)
- Căldura - Termodinamica fenomenologică (RO)
- Lumina - Optica fenomenologică (RO)
- Poems from Titan Park (EN)
- Mecanica fenomenologică (RO)
- Solaris (Andrei Tarkovsky): Umanitatea dezumanizată (RO)
- De la Big Bang la singularități și găuri negre (RO)
- Schimbări climatice - Încălzirea globală (RO)
- Electricitate și magnetism - Electromagnetism fenomenologic (RO)
- Știința - Filosofia științei (RO)
- La Platanie - Une aventure dans le monde à deux dimensions (FR)
- Climate Change - Global Warming (EN)
- Poèmes du Parc Titan (FR)
- Mecanica cuantică fenomenologică (RO)
- Isaac Newton despre acțiunea la distanță în gravitație - Cu sau fără Dumnezeu? (RO)
- The singularities as ontological limits of the general relativity (EN)
- Distincția dintre falsificare și respingere în problema demarcației la Karl Popper (RO)
- Buclele cauzale în călătoria în timp (RO)
- Epistemologia serviciilor de informații (RO)
- Evoluția și etica eugeniei (RO)
- Filosofia tehnologiei blockchain - Ontologii (RO)
- Imre Lakatos: Euristica și toleranța metodologică (RO)
- Controversa dintre Isaac Newton și Robert Hooke despre prioritatea în legea gravitației (RO)
- Singularitățile ca limite ontologice ale relativității generale (RO)
- Filmul Solaris, regia Andrei Tarkovsky – Aspecte psihologice și filosofice (RO)
- Tehnologia Blockchain - Bitcoin (RO)
- Carte: Fizica fenomenologică - Compendiu - Volumul 1 (RO)
- Reconstrucția rațională a științei prin programe de cercetare (RO)
- Causal Loops in Time Travel (EN)

- Chinese Fables and Folk Stories (Fables et histoires populaire chinoises) (EN-FR)
- Isaac Newton on the action at a distance in gravity: With or without God? (EN)
- Isaac Newton vs Robert Hooke sur la loi de la gravitation universelle (FR)
- Epistemology of Intelligence Agencies (EN)
- The distinction between falsification and refutation in the demarcation problem of Karl Popper (EN)
- Isaac Newton vs. Robert Hooke on the law of universal gravitation (EN)
- Evolution and Ethics of Eugenics (EN)
- Solaris, directed by Andrei Tarkovsky - Psychological and philosophical aspects (EN)
- La philosophie de la technologie blockchain - Ontologies (FR)
- Philosophy of Blockchain Technology - Ontologies (EN)
- Isaac Newton sur l'action à distance en gravitation : Avec ou sans Dieu ? (FR)

Contact

Email: nicolae@sfetcu.com

Skype: nic01ae

Facebook/Messenger: <https://www.facebook.com/nicolae.sfetcu>

Twitter: <http://twitter.com/nicolae>

LinkedIn: <http://www.linkedin.com/in/nicolaesfetcu>

YouTube: <https://www.youtube.com/c/NicolaeSfetcu>

Editura

MultiMedia Publishing

*web design, comerț electronic, alte aplicații web * internet marketing, seo, publicitate online, branding * localizare software, traduceri engleză și franceză * articole, tehnoredactare computerizată, secretariat * prezentare powerpoint, word, pdf, editare imagini, audio, video * conversie, editare și publicare cărți tipărite și electronice, isbn*

Tel./ WhatsApp: 0040 745 526 896

Email: office@multimedia.com.ro

MultiMedia: <http://www.multimedia.com.ro/>

Online Media: <https://www.setthings.com/>

Facebook: <https://www.facebook.com/multimedia.srl/>

Twitter: <http://twitter.com/multimedia>

LinkedIn: <https://www.linkedin.com/company/multimedia-srl/>