

DOMOKOS STEFAN

SI

DOMOKOS STEFAN EDUARD

TEORIA
RELATIVITATII
SI
LASERUL

NIVEL PREUNIVERSITAR

EDITURA SCIENTIFIC TECHNOLOGY

EDITIE ELECTRONICA ONLINE

BUZAU

2025

ISBN 978-630-6695-08-9

DOMOKOS STEFAN ȘI DOMOKOS STEFAN EDUARD, TEORIA RELATIVITĂȚII ȘI LASERUL, EDITURA SCIENTIFIC TECHNOLOGY, BUZĂU, 2025.

AUTORUL DOMOKOS STEFAN ESTE DIRECTORUL EDITURII SCIENTIFIC TECHNOLOGY, ȘI ESTE SINGURUL ANGAJAT AL EDITURII.

TEHNOREDACTARE ȘI EDITARE: DOMOKOS STEFAN, EDITURA SCIENTIFIC TECHNOLOGY, PUBLICAT, TIPĂRIT, SCRIS PE CD SAU DVD, ON LINE ȘI DISTRIBUIT DE EDITURA SCIENTIFIC TECHNOLOGY BUZĂU. CĂRȚILE EDITURII SE GĂSESC GRATUIT PE LINK-UL URMĂTOR CARE TREBUIE COPIAT ÎN BROWSER:

<https://www.dropbox.com/sh/2lvftvy1feehyze/AAAaK8Rfx6svo1RnkwKZh4S3a?dl=0>

ȘI PE WWW.LINKEDIN.COM

NR ÎN REG. COM. ROONRC.F10/91/2019 CUI 40733833, ADRESA: STR. PIETROASELE, NR. 6, BL. D3, SC. C, ET. 2, AP.6, BUZĂU, 120049, JUD. BUZĂU, ROMÂNIA TEL: +40 725243907, EMAIL: SQDOMOKOS@YAHOO.COM

ACEASTA CARTE SE ADRESEAZĂ TUTUROR CATEGORIILOR SOCIALE ȘI ESTE DISPONIBILĂ PENTRU ORICINE DOREȘTE. TOATE CĂRȚILE SCRISE ÎN PERIOADA 2018 - 2024 DE ACEȘTI AUTORI SE POT MULTIPLICA ȘI RĂSPÂNDI GRATIS PRIN ORICE MIJLOACE: TIPĂRIRE, SCRIS DE MÂNĂ, COPIERE, SAU ELECTRONICE, SCIERE CDROM SAU DVDROM, DE ORICINE. ACESTE CĂRȚI SE POT COPIA ȘI COMERCIALIZA FĂRĂ OBLIGAȚII FAȚĂ DE AUTORI ȘI FAȚĂ DE EDITURĂ, ȘI NU ARE DREPTUL NIMENI SĂ VĂ CEARĂ NICI UN FEL DE PLĂȚI.

AUTORII

EU SPRIJIN CONSTITUȚIA ROMÂNIEI ÎN FORMA ACTUALĂ.

AUTORUL DOMOKOS STEFAN

TOATĂ LUMIEA MI-A SPUS SĂ SCRIU CĂRȚI DE 100-800 PAGINI DE LA 5 ANI.

AUTORUL DOMOKOS STEFAN

Contents

1. OPTICA	6
1.1. REFLEXIA ȘI REFRACTIA LUMINII	6
1.1.1. REFLEXIA LUMINII. LEGILE REFLEXIEI.....	6
1.1.2. REFRACTIA LUMINII	7
1.2. NATURA ONDULATORIE A LUMINII.....	8
1.3. DISPERSIA LUMINII	9
1.3.1. INDICELE DE REFRACTIE AL LUMINII.....	10
1.3.2. PRISMA OPTICĂ.....	12
1.3.3. CONDIȚIA CA O RAZĂ SĂ IASĂ DIN PRISMĂ	14
1.3.4. INDICELE DE REFRACTIE ÎN FUNCȚIE DE UNGHIIUL DE DEVIATIE MINIM	15
1.3.5. DISPERSIA NORMALĂ ȘI ANOMALĂ.....	16
2. DEPENDENȚA VITEZEI LUMINII DE VITEZA SURSEI DE LUMINĂ PRIN METODE ASTRONOMICE	18
2.1. OBSERVAREA SATELIȚILOR LUI JUPITER	18
2.2. ABERAȚIILE STELELOR.....	21
3. MĂSURAREA VITEZEI LUMINII CU METODE TERESTRE	24
3.1. EXPERIMENTUL LUI WHEASTONE.....	24
3.2. EXPERIMENTUL LUI ARAGO	26
3.3. MAȘINA LUI BREUGET	29
3.4. EXPERIMENTUL 1 AL LUI FIZEAU	30
3.5. EXPERIMENTUL 2 AL LUI FIZEAU	33
3.6. DISPOZITIV PROPUȘ DE AUTORIZAȚIA ACESTE CĂRȚI PENTRU COMPARAREA VITEZEI LUMINII ÎN AER ȘI APĂ	34
4. TEORIA RELATIVITĂȚII RESTRÂNȘE.....	39
4.1. EXPERIMENTUL LUI MICHELSON ȘI MORLEY	39
4.2. TEORIA RELATIVITĂȚII RESTRÂNȘE.....	39
5. LASERUL	40
5.1. PRODUCEREA LASERULUI.....	40
5.2. ASISTENT DE PARCARE CU FASCICUL LASER CONIC MODULAT ÎN IRADIERE	
41	
5.2.1. METODA FOLOSIRII FASCICULULUI LASER	41

5.2.2.	LASERI CARE POT PRODUCERE CURENT ÎN SEMICONDUCTORII INTRINSECI DE Si ȘI Ge	44
5.2.3.	MODULAREA IRADIERII LASERULUI.....	46
5.2.4.	SCHEMA ELECTRONICĂ PENTRU AMPLIFICAREA CU TRANZISTOR PNP A TENSIUNII MODULATOARE A EXCITĂRII MEDIULUI ACTIV AL LASERULUI.....	47
5.2.5.	CACULUL GEOMETRIC AL DISTANTELOR AUTOTURISMULUI FAȚĂ DE OBIECTELE DIN JUR.....	48
6.	Index	50
7.	Tabel de ecuații.....	56
8.	Tabel cu Tabele.....	60
9.	Tabel cu figuri.....	61
	Bibliography	62

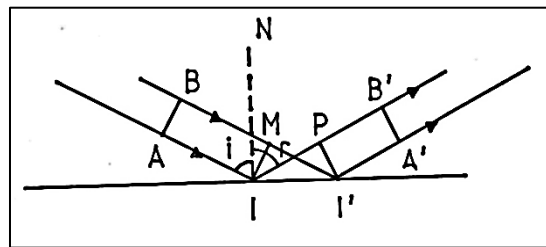
1. OPTICA

1.1. REFLEXIA ȘI REFRACTIA LUMINII

1.1.1. REFLEXIA LUMINII. LEGILE REFLEXIEI.

Când lumina întâlnește suprafața de separare a unui alt mediu, o parte din ea revine în mediul inițial, fenomen numit reflexia luminii [1].

O undă plană de lumină AB este incidentă pe suprafața de separare dintre două medii, fig. 1-1 [1]. Unghiul de incidență este i [1].



Figură 1-1 Reflexia luminii. Segmentul MI' este parcurs în același timp ca segmentul IP , cu aceeași viteză. $I'P$ este înfășurătoarea undelor sferice emise de punctele situate între I și I' .

Unda incidentă ajunge în punctul I la momentul t_1 și în punctul I' la momentul t_2 [1]. În intervalul de timp $\Delta t = t_2 - t_1$, punctele dintre I și I' vor emite unde secundare sferice sub acțiunea undelor incidente [1].

Frontul de undă IM , în intervalul de timp Δt , generează frontul de undă $I'P$, care este înfășurătoarea undelor secundare emise între punctele I și I' , și rezultă că $I'P$ este perpendicular pe direcția undei reflectate, și [1]:

Ecuatie 1-1 $\angle IMI' = \angle IPI' = 90^\circ$.

În plus, în triunghiurile $\triangle IMI'$ și $\triangle IPI'$, II' este latură comună, și în timpul Δt sunt parcurse segmentele MI' și IP , de unde [1]:

Ecuatie 1-2 $MI' = IP = v_1 \cdot \Delta t$.

Din aceste egalități rezultă că cele două triunghiuri sunt egale [1]:

Ecuatie 1-3 $\Delta IPI' = \Delta IMI'$.

Rezultă că unghiul $\angle MII'$, care este egal cu $\angle i$, și $\angle PII'$, care este egal cu $\angle r$, sunt egale, și [1]:

Ecuatie 1-4 $\angle i = \angle r$.

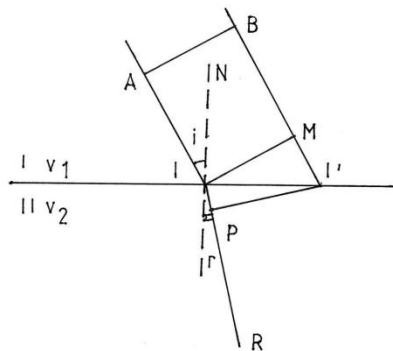
De aici rezultă legile reflexiei [1]:

1. Unghiul de incidență $\angle i$ și unghiul de reflexie $\angle r$ sunt egale;
2. Într-un singur plan se află și unda incidentă, și unda reflectată, și normala la suprafață în punctul de incidență.

Pe o suprafață lucioasă, lumina se reflectă conform legilor reflexiei, și se numește reflexie regulată [1]. Pe o suprafață neregulată, lumina se reflectă în direcții neregulate, și se numește reflexie difuză [1].

1.1.2. REFRACTIA LUMINII

O parte din lumina care cade pe suprafața de separare a două medii, trece în al doilea mediu și își schimbă direcția, fenomen numit refracție [1].



Figură 1-2 Refracția luminii. MI' este parcurs în același timp ca IP .

Din mediul I vine frontul de undă AB, fig. 1-2 [1]. Prin înfășurarea undelor secundare sferice emise între I și I' se formează noul front de undă I'P, care este perpendicular pe direcția de propagare IR din mediul II [1]. Segmentul MI' , parcurs în intervalul de timp Δt este [1]:

Ecuatie 1-5 $MI' = v_1 \cdot \Delta t.$

unde v_1 este viteza undei în mediul I [1], și în acest timp se parcurge segmentul IP [1]:

Ecuatie 1-6 $IP = v_2 \cdot \Delta t,$

unde v_2 este viteza undei în mediul II. Din sinusurile unghiurilor $\angle i$ și $\angle r$, din triunghiurile $\Delta IMI'$ și $\Delta IPI'$ rezultă [1]:

Ecuatie 1-7 $\sin i = \frac{MI'}{II'}.$

și

Ecuatie 1-8 $\sin r = \frac{PI'}{II'}.$

Raportul acestor două sinusuri se numește indicele de refracție relativ al mediului al doilea față de primul mediu [1]:

Ecuatie 1-9 $n_{21} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}.$

Această relație se numește legea refracției [1].

1.2. NATURA ONDULATORIE A LUMINII

S-a obținut teoretic și experimental că lumina este o undă, și ecuația vibrației perpendiculare pe viteza de propagare, a unei componente din cele trei direcții rectangulare, este [2]

Ecuatie 1-10 $u(x, t) = A \sin \left[2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \right],$

unde T este perioada,

Ecuatie 1-11 $\nu = 1/T$

este frecvența,

Ecuatie 1-12 $\omega = 2\pi\nu$

este pulsația,

λ este lungimea de undă,

A este amplitudinea,

t este timpul din momentul emisiei luminii de sursa de lumină,

x este distanța față de sursă,

$\pi = 3,14$,

și ecuația lungimii de undă este

$$\text{Ecuație 1-13} \lambda = vT,$$

unde v este viteza luminii.

S-a considerat că lumina este o undă plană [3]. De asemenea că propagarea ei se produce prin vibrațiile particulelor de eter situate pe direcția razei de lumină [3], asemănător cu proagarea unei sonore. Forțele care produc vibrațiile particulelor de eter sunt forțe moleculare [3]. Astfel, cea mai mare parte a acestor forțe este produsă de particulele vecine [3]. Aceste particule sunt atomii sau ionii din nodurile rețelei cristaline [1]. Aici apare asemănarea prin care aceste particule din nodurile rețelei cristaline produc cea mai mare parte a acestor forțe, la fel ca la interacțiunile dintre moleculele solidelor și lichidelor.

Experimental s-a demonstrat că vibrațiile posibile ale particulelor de eter se situează în planul frontului de undă plană a luminii, pe două direcții perpendiculare [3].

Vibrațiile luminoase, care produc senzația de lumină în ochi, sunt vibrațiile intensității câmpului electric $\vec{E}$ al câmpului electromagnetic, care se află în plan perpendicular pe viteza luminii [1]. Pentru lumina polarizată, vibrațiile luminoase sunt numai pe o direcție perpendiculară pe direcția de propagare a luminii [1].

1.3. DISPERSIA LUMINII

1.3.1. INDICELE DE REFRACTIE AL LUMINII

Dispersia luminii în toate mediile continue, solide sau lichide, demonstrează compoziția luminii albe din raze de lungimi de undă diferite [4]. Razele cu lungimi de undă diferite sunt raze de culori diferite [4]. Aceste raze de culori diferite au indici de refracție diferiți [4].

Cu prisma optică din sticlă se poate arăta experimental dispersia luminii [1]. Indicele de refracție al unui mediu, n , este dat de raportul dintre viteza luminii în vid, c , și viteza luminii în acel mediu, v [1]

$$\text{Ecuație 1-14 } n = \frac{c}{v}$$

Viteza de propagare a luminii în vid este constantă, nu depinde de lungimea de undă a radiației, și este dată de ecuația [1]

$$\text{Ecuație 1-15 } c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}},$$

unde ϵ_0 și μ_0 sunt permitivitatea absolută și permeabilitatea absolută ale vidului.

Viteza luminii într-un mediu diferit de vid este dată de ecuația [1]

$$\text{Ecuație 1-16 } v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}},$$

unde ϵ_r și μ_r sunt permitivitatea relativă și permeabilitatea relativă ale mediului.

Din ecuațiile (2-1) și (2-3) rezultă că indicele de refracție al unui mediu în raport cu vidul este dat de ecuația [1]

$$\text{Ecuație 1-17 } n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}.$$

În Tabelul 1-1 prezentăm indicii de refracție ai unor substanțe preluate dintr-un Tabel din lucrarea [1] de la Bibliografie, și viteza luminii în aceste substanțe calculate de noi cu ecuația (2-1).

Tabel 1-1 Tabel cu indicii de refracție ai unor substanțe preluate dintr-un Tabel din lucrarea [1] de la Bibliografie, și viteza luminii calculată de noi cu aceste date. Datele marcate cu* sunt calculate de noi.

Nr. Crt.	Substanța	t (°C)	N pentru $\lambda=589,3 \text{ nm}$	Viteza luminii (10^8 m/s)
1	Acetonă	20	1,359	2,207
2	Alcool etilic	17,5	1,362	2,203
3	Apă	20	1,333	2,250
4	Balsam de Canada	20	1,53	1,961
5	Sticlă optică		1,495* lungimea de undă necunoscută	2,007
6	Sticlă		1,5	2
7	Sticlă crown		1,55*	1,935

Din Tabelul 1-1 observăm că pentru unele lichide, unde distanța dintre molecule este mai mare decât la solide, indicele de refracție este mai mic decât la solide, și viteza luminii este mai mare decât la solide, ceea ce duce la concluzia că intensitatea câmpului electric, $\vec{E}$, al radiației electromagnetice interacționează cu moleculele și atomii substanțelor prin care trece. Într-adevăr câmpul electric interacționează cu sarcinile electrice, și atomii și moleculele conțin sarcini electrice, electronii cu sarcini negative, și nucleele cu sarcini pozitive.

Pentru cazul în care lumina trece dintr-un mediu 1, cu indicele de refracție absolut față de vid, n_1 , într-un mediu 2, cu indicele de refracție absolut față de vid, n_2 , indicele de refracție relativ al mediului 2 față de mediul 1, n_{21} , este dat de ecuația [1]

$$\text{Ecuație 1-18 } n_{21} = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1},$$

unde i este unghiul de incidență, și r este unghiul de refracție.

Dacă indicele de refracție al mediului 1 este mai mare decât cel al mediului 2, atunci $n_1 \sin i = n_2 \sin r$, și $\sin i < \sin r$ [1]. Se poate calcula un unghi de incidență i pentru care $r = \frac{\pi}{2}$ [1]. Acest unghi se numește unghi limită [1]. Acest unghi se notează cu l [1]. Pentru unghiuri

mai mari decât 1 se produce reflexia totală, și lumina nu trece în mediul 2 [1]. Prin calcul, din ec. (2-5), acest unghi limită este dat de ecuația [1]

$$\text{Ecuație 1-19} \sin l = \frac{n_2}{n_1}.$$

Experiența și ec. (2-4) nu sunt în concordanță la frecvențe mari, pentru materiale diferite de vid [1]. Pentru vid, indicele de refracție nu se modifică cu frecvența [1]. Pentru apă s-a măsurat valoarea aproximativă $n \cong 1,3$ pentru radiațiile vizibile cu lungimea de undă cuprinsă între 400 nm și 760 nm [1]. Măsurătorile permitivității relative și permeabilității relative pentru apă dau $\epsilon_r \cong 81$ și $\mu_r \cong 1$, și obținem $n \cong \sqrt{81} = 9$, care este diferită de valoarea măsurată [1]. Explicația acestui fapt constă în măsurătorile valorilor ϵ_r și μ_r efectuate în câmpuri electrice și magnetice care nu variază [1].

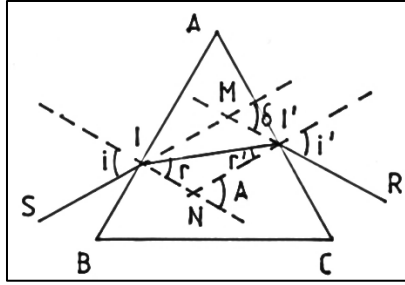
Dependența indicelui de refracție de frecvență, pentru medii diferite de vid, se numește dispersie [1].

Dispersia se produce în toate mediile transparente pentru radiațiile vizibile: apa, sticla, cuarțul etc. [1]. În cele mai multe cazuri, indicele de refracție crește cu creșterea frecvenței în mediile transparente în domeniul vizibil [1]. Există cazuri în care indicele de refracție scade cu creșterea frecvenței, numită dispersie anormală [1].

1.3.2. PRISMA OPTICĂ

Intersecția planelor prisme se numește muchia prisme [1]. Unghiul dintre aceste plane se numește unghi refringent sau unghiul prisme [1].

Analizăm o prismă din sticlă, cu mediul înconjurător aer, cu indicele de refracție relativ n , pe care cade o radiație monocromatică, fig. 1-3, [1].



Figură 1-3 Mersul unei raze monocromatice în prisma optică [1].

Pentru raza incidentă SI, care se refractă în punctul I pe fața AB, ecuația refracției este [1]

$$\text{Ecuație 1-20 } \sin i = n \sin r.$$

Ecuația refracției pe fața AC în punctul I' este [1]

$$\text{Ecuație 1-21 } n \sin r' = \sin i'.$$

Raza incidentă SI și raza emergentă I'R formează un unghi numit unghiul de deviație, care se notează cu δ [1].

Din Fig. 1-3 deducem că:

$$\text{Ecuație 1-22 } \widehat{IMI'} = 180^\circ - \delta,$$

$$\text{Ecuație 1-23 } 180^\circ - (\hat{i} - \hat{r}) - (\hat{i}' - \hat{r}') = \widehat{IMI'},$$

$$\text{Ecuație 1-24 } \delta = \hat{i} + \hat{i}' - (\hat{r} + \hat{r}').$$

Perpendicularele

$$\text{Ecuație 1-25 } IN \perp AB,$$

$$\text{Ecuație 1-26 } I'N \perp AC$$

conduc la ecuațiile

$$\text{Ecuație 1-27 } \angle INI' = 180^\circ - \angle A,$$

$$\text{Ecuație 1-28 } \angle INI' = 180^\circ - (\angle r + \angle r'),$$

$$\text{Ecuație 1-29 } \angle \delta = \angle i + \angle i' - \angle A.$$

Cu ajutorul ecuațiilor de mai sus se poate calcula unghiul de emergență i' când se cunoaște unghiul de incidență i , unghiul prisme, și indicele de refracție al prisme [1].

1.3.3. CONDIȚIA CA O RAZĂ SĂ IASĂ DIN PRISMĂ

Se poate calcula condiția ca o rază să iasă prin fața AC [1]. Aceasta înseamnă să nu se producă reflexia totală pe fața AC [1]:

$$\text{Ecuație 1-30 } \angle r' \leq \angle l,$$

unde l este unghiul limită.

Din fig. 1-3 știm că [1]

$$\text{Ecuație 1-31 } A = r + r',$$

deoarece în $\triangle INI'$ suma unghiurilor este 180°

$$\text{Ecuație 1-32 } \angle r + \angle r' + \angle INI'' = 180^\circ,$$

și unghiurile $\angle INI'$ și $\angle A$ sunt suplementare, adică au suma 180°

$$\text{Ecuație 1-33 } \angle INI' + \angle A = 180^\circ.$$

Din ecuațiile de mai sus rezultă [1]

$$\text{Ecuație 1-34 } A - r \leq l,$$

$$\text{Ecuație 1-35 } r \geq A - l,$$

$$\text{Ecuație 1-36 } \sin r \geq \sin(A - l).$$

Ținem seama de legea refracției razei SI rezultă [1]

$$\text{Ecuație 1-37 } \frac{\sin i}{n} \geq \sin(A - l).$$

i poate să ia valoarea maximă $\pi/2$, și rezultă [1]

$$\text{Ecuație 1-38 } \frac{1}{n} \geq \sin(A - l).$$

Ecuația de mai sus ne spune valoarea lui $1/n$, și obținem [1]

$$\text{Ecuație 1-39 } \sin l \geq \sin(A - l),$$

de unde rezultă [1]

$$\text{Ecuatie 1-40 } A \leq 2l,$$

Știm că pentru cazul în care lumina trece din sticlă în aer, se scrie

$$\text{Ecuatie 1-41 } \sin l = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1}{n},$$

unde n_1 este indicele de refracție absolut al aerului, și n_2 este indicele de refracție absolut al prisme.

Rezultă [1]

$$\text{Ecuatie 1-42 } A \leq 2 \arcsin \left(\frac{1}{n} \right).$$

Linia galbenă a sodiului este 589,0 nm și 589,6 nm [5], și unghiul limită pentru radiația galbenă a sodiului este $l = 40^\circ 50'$ pentru sticla crown [1]. Unghiul prisme trebuie să fie [1]

$$\text{Ecuatie 1-43 } A \leq 2 \arcsin \frac{1}{n} = 2 \cdot 40^\circ 50' = 81^\circ 40',$$

pentru ca lumina să iasă din acel material.

1.3.4. INDICELE DE REFRACTIE ÎN FUNCȚIE DE UNGIUL DE DEVIATIE MINIM

Unghiul de deviație are o valoare minimă, δ_m [1]. Unghiul de deviație variază când unghiul de incidență variază [1]. Pentru cazul în care mersul razelor este simetric în prismă, unghiul de deviație este minim [1]

$$\text{Ecuatie 1-44 } i = i'$$

$$\text{Ecuatie 1-45 } r = r',$$

$$\text{Ecuatie 1-46 } \delta_m = 2i - A,$$

$$\text{Ecuatie 1-47 } i = \frac{\delta_m + A}{2},$$

Și folosim legea refracției

$$\text{Ecuatie 1-48 } n = \frac{\sin \frac{\delta_m + A}{2}}{\sin \frac{A}{2}}.$$

Din de mai sus se poate determina indicele de refracție al materialului prisme [1].

Goniometrul este aparatul de măsură al unghiurilor [1]. Cu goniometrul se măsoară unghiul de deviație al prisme [1].

Din de mai sus rezultă că indicele de refracție al sticlei crown, pe care l-am trecut în tabelul (1-1), este:

$$\text{Ecuație 1-49 } n = \frac{1}{\sin(40^\circ 50')} = 1,55.$$

Pentru sticla optică unghiul limită este 42° [1]. Indicele de refracție pentru această sticlă este

$$\text{Ecuație 1-50 } n = \frac{1}{\sin 42^\circ} = 1,495.$$

Newton, în 1672 a studiat primul dispersia luminii prin prismă [1].

Când lumina albă provine de la o fantă dreptunghiulară, paralelă cu muchia prisme, razele, după ce ies din prismă, formează pe un ecran fâșii colorate, numită spectrul luminii albe prin prismă, și fenomenul se numește dispersie [1].

Pentru prisme cu diferite valori ale lui n , din materiale diferite, cu același unghiuri, pentru același λ , razele sunt deviate cu unghiuri diferite, și spectrele razelor albe au lungimi diferite pe un ecran [1].

Spectrul pentru prisma din sulfură de carbon este de 3-6 ori mai lat, între radiațiile roșii și violet, decât la apă, pentru același unghi al prisme [1].

Dispersia materialului din care este formată prisma se studiază prin măsurarea funcției $n = f(\lambda)$ [1].

1.3.5. DISPERSIA NORMALĂ ȘI ANOMALĂ

În general, indicele de refracție crește cu frecvența, numită dispersia normală [1].

Pentru prisme umplute cu vapori de iod, fuxină sau cianină, radiațiile albastre sunt la un unghi de deviație mai mic decât cele roșii, pentru un fasciculi alb [1]. Acest fenomen se numește dispersie anomală [1]. Acest fenomen a fost observat de Le Roux, și studiat de Kundt [1]. La dispersia anomală, dacă $\delta_{albastru}$ este unghiul de deviație al razelor albastre, și $\delta_{roșu}$ este unghiul de deviație al razelor roșii, atunci:

$$\text{Ecuație 1-51} \quad \delta_{albastru} < \delta_{roșu}.$$

Kundt a observat că substanțele care prezintă dispersie anomală, absorb puternic lumina în acel domeniu de lungimi de undă [1].

Sunt două metode de variație a unghiului de incidență pe prismă care duc la obținerea unghiului de deviație minimă:

1. Se rotește sursa de lumină, și împreună cu aceasta și fasciculi incident, în jurul unui punct de pe înălțimea prisme, cu condiția ca raza incidentă să cadă întotdeauna pe prima suprafață a prisme, și se urmărește raza emergentă până când se obține unghiul de deviație minim;
2. Se menține constantă direcția razei incidente, se rotește prisma, și din direcția razei emergente se urmărește obținerea unghiului de deviație minim.

2. DEPENDENȚA VITEZEI LUMINII DE VITEZA SURSEI DE LUMINĂ PRIN METODE ASTRONOMICE

Anticii au crezut că viteza luminii este infinită [6].

S-a emis ipoteza că lumina se mișcă cu aceeași viteză oricare ar fi corpul care-l emite: stelele, planetele sau luna [6]. Pentru a demonstra acest lucru s-a folosit refracția luminii de la stele și de la Soare într-o prismă [6].

Acest experiment se explică prin faptul că, dacă ținem cont de ecuația definiției indicelui de refracție, atunci, dacă radiațiile de diferite culori au aceeași deviație în prismă, indiferent de la care stele vin, sau care sursă le produce, chiar dacă stelele se apropie sau se depărtează de Pământ, conform determinărilor experimentale din astronomie, atunci viteza luminii este aceeași, indiferent de la ce sursă provine, și nu se compune cu viteza sursei ca în legea de compunere a vitezelor a lui Galilei [6].

S-au descoperit trei metode pentru determinarea vitezei luminii [7]. Două dintre ele sunt metode astronomice [7]. Una se bazează pe observarea eclipselor sateliților lui Jupiter, și cealaltă pe fenomenul de aberație al stelelor [7]. A treia a fost inventată de Fizeau [7].

2.1. OBSERVAREA SATELIȚILOR LUI JUPITER

Inegalitatea aparentă a perioadelor după care se produc eclipsele succesive ale sateliților lui Jupiter este una din metodele astronomice pentru determinarea vitezei luminii [7]. Primul dintre acești sateliți, cu cel mai mic volum, oferă observarea intrării și ieșirii din umbră [7]. Aceasta este o lumină care se aprinde și se stinge la intervale de timp egale, și pe care o observăm de la distanțe variabile [7].

Conjunția este poziția a doi astrii care, la acel moment, au aceeași longitudine cerească [8].

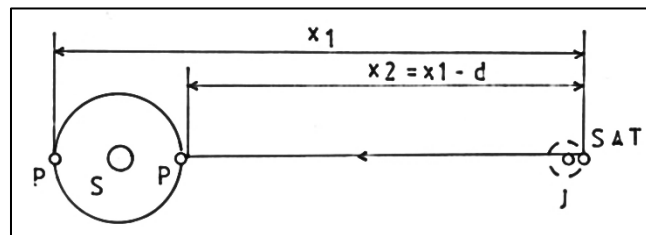
Opoziția este poziția a doi aștrii care, la acel moment, au poziții diametral opuse privite de pe pământ [8].

Între opoziție și conjuncție, distanța de la Tera la Jupiter crește cu toată valoarea diametrului orbitei terestre în jurul Soarelui [7]. În această perioadă sunt vizibile numai aparițiile și sunt din ce în ce mai tardive [7]. Între conjuncție și opoziție, distanța dintre cele două planete se reduce cu diametrul orbitei terestre, și în această perioadă se văd numai disparițiile, atunci când satelitul intră în umbra lui Jupiter [7]. Suma retardărilor în timpul perioadei de depărtare este egală cu suma avansărilor în timpul perioadei de apropiere, și fiecare dintre ele este egal cu timpul ca lumina să străbată diametrul orbitei terestre în jurul Soarelui [7]. Acest timp a fost măsurat și este 16 m și 26 s [7].

Când Jupiter este în opoziție, poziția cea mai îndepărtată de Pământ, notăm cu x_1 distanța de la Pământ la Jupiter, și când satelitul lui Jupiter dispăre, calculăm timpul în care ultimul fascicul reflectat de satelit ajunge la pământ, t_1 , și nu mai vedem satelitul, fig. 2-1 [7]:

$$\text{Ecuație 2-1 } t_1 = \frac{x_1}{c},$$

unde c este viteza luminii. Notăm cu d diametrul orbitei Pământului. Știm că perioada de rotație a satelitului în jurul lui Jupiter este T . Aceasta înseamnă că dispariția satelitului se produce din nou după un timp egal cu T .



Figură 2-1 Distanța de la satelitul lui Jupiter la Pământ. Cu P am notat Pământul, cu S soarele, cu J planeta Jupiter, și cu SAT cel mai mic satelit al lui Jupiter.

În conjuncție, poziția cea mai apropiată de Pământ, când satelitul dispăre, lumina parcurge distanța de la satelit la Pământ:

$$\text{Ecuație 2-2 } x_2 = x_1 - d$$

până ajunge la Pământ, și timpul în care lumina ajunge la Pământ, t_2 , este

$$\text{Ecuație 2-3 } t_2 = \frac{x_2}{c} = \frac{x_1 - d}{c}.$$

S-a măsurat diferența dintre cei doi timpi, Δt , când Jupiter este cel mai depărtat și când este cel mai apropiat de Pământ:

$$\text{Ecuație 2-4 } \Delta t = t_1 - t_2.$$

Din calcule rezultă că, în poziția cea mai depărtată, față de poziția cea mai apropiată, satelitul dispăre cu o întârziere Δt dată de ecuația:

$$\text{Ecuație 2-5 } \Delta t = \frac{x_1}{c} - \frac{x_2}{c} = \frac{x_1}{c} - \frac{x_1 - d}{c} = \frac{d}{c}.$$

Astfel, din ecuația de mai sus s-a calculat viteza luminii:

$$\text{Ecuație 2-6 } c = \frac{d}{\Delta t}.$$

Cu această metodă, Roëmer, a obținut pentru viteza luminii valoarea [7]:

$$\text{Ecuație 2-7 } c = 318\,288\,000 \text{ m/s}.$$

Știm că distanța media a Pământului față de Soare, r_{med} , este [9]:

$$\text{Ecuație 2-8 } r_{med} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}.$$

Atunci, diametrul mediu al orbitei Pământului, d_{med} , este:

$$\text{Ecuație 2-9 } d_{med} = 2 \cdot r_{med} = 3 \cdot 10^{11} \text{ m}.$$

Rezultă că viteza luminii, cu timpul amintit anterior, și aceste date din actualitate, este dată de ecuația:

$$\text{Ecuație 2-10 } c = \frac{3 \cdot 10^{11} \text{ m}}{986 \text{ s}} = 3,04 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

Valoarea mai exactă a semiaxei mari a orbitei eliptice a Pământului în jurul Soarelui este [10]:

$$\text{Ecuație 2-11 } r_{sm} = 149,597 \cdot 10^6 \text{ km}.$$

Dacă $y_1, y_2, \dots, y_n$ sunt distanțele cu care Jupiter se depărtează de Pământ în fiecare perioadă T a satelitului, atunci apariția satelitului va fi întârziată cu timpii:

$$\text{Ecuație 2-12 } \tau_1 = \frac{y_1}{c},$$

$$\text{Ecuație 2-13 } \tau_2 = \frac{y_2}{c},$$

$$\vdots$$

$$\text{Ecuație 2-14 } \tau_n = \frac{y_n}{c}.$$

pentru că lumina trebuie să parcurgă, în plus față de distanța cea mai mică, notată cu x , distanțele $y_1, y_2, \dots, y_n$, care au apărut datorită depărtării treptate a lui Jupiter față de Pământ, în fiecare perioadă T . Știm că depărtarea maximă este:

$$\text{Ecuație 2-15 } x + d.$$

și rezultă că suma depărtărilor succesive este egală cu d :

$$\text{Ecuație 2-16 } d = \sum_{i=1}^n y_i.$$

Rezultă că suma timpilor $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ este egală cu Δt :

$$\text{Ecuație 2-17 } \Delta t = \sum_{i=1}^n \tau_i.$$

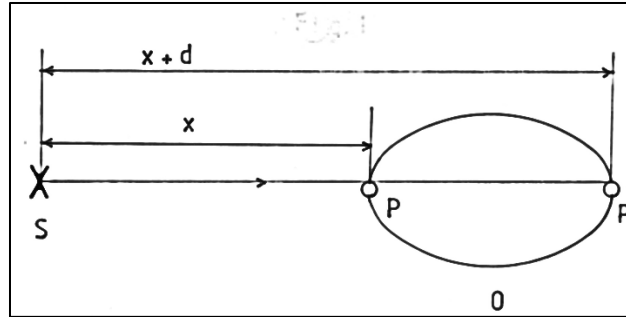
Experimental, Roëmer, a măsurat timpii $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ în decursul anilor 1675 și 1676 și a obținut rezultatul prezentat mai sus, cu care a calculat viteza luminii [7].

2.2. ABERAȚIILE STELELOR

Aberația este modificarea poziției unui astru pe cer produsă de faptul că Pământul se mișcă în jurul Soarelui, în jurul axei sale, și viteza luminii este finită [8].

Bradley, cu 50 de ani mai târziu, a obținut același rezultat prin studiul aprofundat al mișcării anuale a tuturor stelelor, care se numește aberație [7].

Când o stea răsare datorită rotației Pământului în jurul propriei sale axe, și poziția Pământului este cel mai aproape de stea, lumina parcurge distanța x de la stea la Pământ, fig. 2-2, unde cu S am notat steaua, cu P pământul, și cu d diametrul orbitei Pământului în jurul Soarelui.



Figură 2-2 Distanța parcursă de lumină de la steua care răsare la Pământ.

Timpul în care lumina ajunge de la stea la Pământ este:

$$\text{Ecuație 2-18 } t_1 = \frac{x}{c}.$$

Noi nu cunoaștem x , însă cunoaștem diametrul orbitei Pământului în jurul Soarelui, și experimental s-a măsurat că atunci când Pământul se găsește cel mai departe de stea, steaua răsare cu o întârziere Δt , deoarece steaua trebuie să răsară după perioada T de rotație a Pământului în jurul propriei sale axe [7]. Această întârziere s-a măsurat experimental [7]. Știm că în această a doua poziție lumina parcurge de la stea la Pământ distanța:

$$\text{Ecuație 2-19 } x + d.$$

Atunci, timpul în care lumina ajunge la Pământ este:

$$\text{Ecuație 2-20 } t_2 = \frac{x+d}{c}.$$

Scădem t_1 din t_2 și obținem această întârziere pe care o are lumina când străbate diametrul orbitei Terei în jurul Soarelui:

$$\text{Ecuație 2-21 } \Delta t = t_2 - t_1 = \frac{d}{c}.$$

Bradley a recomandat că aberația stelelor este datorată vitezei finite a luminii [7]. Viteza luminii și viteza Terei pe orbita ei în jurul Soarelui sunt în raport de 10 200 la 1 [7].

Dacă distanța medie a Terei față de Soare este $1,5 \cdot 10^{11} m$, și perioada de rotație a Terei în jurul Soarelui este 365 zile, atunci viteza Terei pe orbita ei este:

$$\text{Ecuație 2-22 } v = \frac{1,5 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 3,14}{365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60} \frac{m}{s} = 2,98 \cdot 10^4 \frac{m}{s}.$$

Atunci viteza luminii este:

$$\text{Ecuație 2-23C} = 10200 \cdot 2,98 \cdot 10^4 \frac{m}{s} = 3,039 \cdot 10^8 \frac{m}{s}.$$

Noi, autorii acestei cărți, propunem pentru verificarea proprietății că lumina are aceeași viteză, indiferent dacă sursa de lumină se apropie sau se depărtează de Pământ următoarea metodă: prin măsurarea unghiului de deviație minimă δ_{min} în prismă a razelor caracteristice care vin de la Soare și de la stele, și calcularea indicelui de refracție n al prisme, care trebuie să dea aceeași valoare, indiferent dacă stelele se apropie sau se depărtează de Pământ, sau orice altă sursă, de exemplu planetele care emit lumină prin reflexie de la Soare.

3. MĂSURAREA VITEZEI LUMINII CU METODE TERESTRE

3.1. EXPERIMENTUL LUI WHEASTONE

Wheastone a inventat un instrument pentru măsurarea vitezei de propagare a electricității cu oglindă rotitoare [7]. Nu se cunoștea un instrument așa de puternic pentru măsurarea intervalelor de timp foarte mici [7].

Căutările lui Wheastone, în 1835, s-au orientat pe durata scântei electrice, durata parcursului ei în aer, și durata parcursului transmisiei electricității când traversează un fir conductor, care se referă la timpul care se scurge între apariția a două scântei care apar în două puncte depărtate ale aceluiași circuit [7]. Scântele se produc prin rotația unui organ excitator în jurul unui ax [7]. Mișcarea de rotație este comunicată unei oglinzi care se află la o anumită distanță de aparatul excitator [7]. Oglinda se rotește în jurul unei linii care trece prin suprafața sa reflectătoare, și dă acestui aparat o imagine virtuală care nu este distinctă, deoarece viteza unghiulară a aparatului excitator este dublă decât a oglinzii [7]. Când scântele se aprind, durata lor scurtă este fixată, și în oglindă, imaginea lor mai mult sau mai puțin modificată, poate fi ușor sesizată [7]. Dacă, de exemplu, un circuit exterior lung, destinat pentru descărcarea buteliei Leyde a fost întrerupt în trei locuri, în mijloc și aproape de fiecare extremitate, și este poziționat astfel încât cele trei întreruperi sunt plasate pe aceeași dreaptă paralelă cu axa de rotație a oglinzii, în momentul descărcării, cele trei scântei văzute direct apar în același timp, fără ca observatorul să poată să distingă în ce ordine apar în mod real [7], pentru că ochiul are o inerție care menține senzația de lumină un timp mai lung decât diferența de timp în care apar scântele, și durata lor,

Când reflexia se produce în oglinda rotitoare, se văd simultan scântele extreme, scântea din mijloc se vede retardată, și scântele extreme se văd pe aceeași verticală, în timp ce scântea din mijloc se aprinde puțin mai târziu și este deviată în sensul de rotație al oglinzii [7].

Calculăm viteza de propagare a electricității în conductor determinată cu acest aparat prezentat mai sus. Notăm cu ω viteza unghiulară a oglinzii. Notăm cu x distanța de la oglinda rotitoare la imaginea celor două scânteii simultane din extremități. Notăm cu d distanța pe care s-a deplasat imaginea scânteii din mijloc, retardată, față de imaginile celor două scânteii retardate. Când oglinda s-a rotit cu unghiul α , și imaginea scânteii din mijloc s-a deplasat pe distanța d , care este coarda arcului de cerc cu centrul în oglinda rotitoare, atunci aproximăm lungimea arcului de cerc pe care s-a produs această deplasare a acestei imagini, cu d , și unghiul α , în radiani, este dat de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-1} \alpha = \frac{d}{2x},$$

deoarece o rotație cu unghiul α a oglinzii produce o deviație a unui fascicul care vine pe direcția normalei oglinzii nerotite, cu un unghi egal cu 2α . Știm că, dacă t este timpul în care oglinda s-a rotit cu unghiul α , atunci viteza unghiulară a oglinzii este dată de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-2} \omega = \frac{\alpha}{t}.$$

Calculăm viteza cu care s-a propagat electricitatea în conductor, v , pe lungimea L a conductorului de la scânteile din extremitate la scânteia din mijloc:

$$\text{Ecuație 3-3} v = \frac{L}{t}.$$

Înlocuim timpul din ecuația de mai sus:

$$\text{Ecuație 3-4} v = \frac{L\omega}{\alpha}.$$

Înlocuim unghiul α în funcție de deplasarea d a imaginii scânteii din mijloc din ecuația de mai sus:

$$\text{Ecuație 3-5} v = \frac{2L\omega x}{d}$$

Wheaston, în experimente de acest tip, a dedus viteza electricității în conductorii pe care le-a studiat, care nu sunt în acord cu rezultatele măsurărilor de la acel moment [7].

3.2. EXPERIMENTUL LUI ARAGO

Arago a propus un aparat pentru compararea vitezei luminii în aer și în apă [7]. În aparatul lui Arago, două surse emit simultan două raze, și sursele sunt situate pe aceeași verticală [7]. Cele două raze se propagă vertical în jos, una din ele traversează aerul, și cealaltă traversează un lichid [7]. Deoarece cele două raze au viteze diferite în cele două medii, oglinda rotitoare furnizează momente diferite ale sosirii lor pe suprafața sa reflectătoare [7].

Arago susține că atunci când alegem un sens de rotație pentru oglindă, de exemplu de la dreapta la stânga văzută de observator, și raza care pleacă de la o sursă superioară trece prin apă, iar raza care pleacă din sursa inferioară trece prin aer, dacă raza superioară produce un punct luminos la stânga punctului luminos inferior, atunci este valabilă teoria emisiei, iar dacă el apare în dreapta, atunci lumina este rezultatul vibrațiilor în mediul eter [7].

Știm că indicele de refracție este dat de ecuația 2-1, că indicele de refracție al aerului este aproximativ 1, și indicele de refracție al apei este 1,33 [1].

Atunci viteza luminii în apă este mai mică decât în aer, și punctul luminos superior, din aparatul lui Arago, apare cu întârziere, timp în care oglinda rotitoare se poate roti și produce imaginea în dreapta. Cu această observație putem să argumentăm că rezultatul acestui experiment susține că lumina este vibrație într-un eter.

Pentru experimentul lui Arago de mai sus, s-au făcut următoarele observații despre dificultățile întâmpinate [7]:

- Ce viteză de rotație trebuie comunicată oglinzii?
- Ce lungime trebuie să aibă traiectoria razei de lumină în apă și în aer pentru ca să producă imagini distincte?
- Ce sursă de lumină produce vivacitatea și intensitatea cerute?

Dacă se presupune că s-a observat, într-o lunetă, o deviație de o jumătate de minut, pentru o coloană de apă de 14 m lungime, este nevoie de o rotație de mii de rotații pe secundă pentru oglinda rotitoare [7].

În aer, timpul necesar parcurgerii acestei lungimi, este:

$$\text{Ecuație 3-6 } t_1 = \frac{14m}{3 \cdot 10^8 m/s} = 4,667 \cdot 10^{-8} s.$$

În apă, dacă notăm cu $n_{ap\grave{a}}$ indicele de refracție al apei, și cu $c_{ap\grave{a}}$ viteza luminii în apă, atunci această viteză este:

$$\text{Ecuație 3-7 } c_{ap\grave{a}} = \frac{c}{n_{ap\grave{a}}},$$

și știm că, indicele de refracție al apei din măsurători de refracție al razelor de lumină, are valoarea:

$$\text{Ecuație 3-8 } n_{ap\grave{a}} = 1,33,$$

Atunci, valoarea vitezei luminii în apă este:

$$\text{Ecuație 3-9 } c_{ap\grave{a}} = 2,256 \cdot 10^8 m/s.$$

Atunci, în apă, această lungime este parcursă în timpul dat de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-10 } t_2 = \frac{14m}{2,256 \cdot 10^8} = 6,206 \cdot 10^{-8} s.$$

Diferența dintre timpii de sosire al fasciculelor prin apă și prin aer, Δt , este:

$$\text{Ecuație 3-11 } \Delta t = t_2 - t_1 = 1,539 \cdot 10^{-8} s.$$

O rotație are:

$$\text{Ecuație 3-12 } 1 \text{rot} = 360^\circ.$$

Un grad corespunde la:

$$\text{Ecuație 3-13 } 1^\circ = \frac{1}{360} \text{rotații}.$$

Un grad are un număr de minute dat de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-14 } 1^\circ = 60'.$$

Un minut corespunde la un număr de grade dat de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-15 } 1' = \left(\frac{1}{60}\right)^\circ.$$

O jumătate de minut corespunde la un număr de grade dat de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-16} \left(\frac{1}{2}\right)' = \left(\frac{1}{2 \cdot 60}\right)^{\circ}.$$

Deviația de o jumătate de minut corespunde la o rotație cu un unghi dat de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-17} \left(\frac{1}{4}\right)'.$$

Această deviație corespunde la un număr de rotații dat de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-18} \frac{1}{4 \cdot 60 \cdot 360} \text{ rotații.}$$

Această deviație se produce în intervalul de timp Δt calculat de noi, și atunci turația oglinzii rotitoare care produce această rotație a oglinzii este dată de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-19} \omega = \frac{1}{4 \cdot 60 \cdot 360} \cdot \frac{1}{\Delta t}.$$

Înlocuim valoarea calculată de noi pentru intervalul de timp Δt și obținem:

$$\text{Ecuație 3-20} \omega = \frac{1}{4 \cdot 60 \cdot 360} \cdot \frac{1}{1,539 \cdot 10^{-8}} \text{ rot/s.}$$

Calcululele dau pentru turația oglinzii rotitoare valoarea:

$$\text{Ecuație 3-21} \omega = 752 \text{ rot/s.}$$

Calculăm dimensiunea deviației de $\left(\frac{1}{2}\right)'$ pe un ecran aflat la distanța de 1 m de oglinda rotitoare. Distanța d dintre două puncte, care se văd sub unghiul α , la distanța D de oglinda rotitoare, sursa de lumină, pentru unghiuri mici, se poate calcula cu ecuația:

$$\text{Ecuație 3-22} d = D \cdot \sin \alpha.$$

Prin înlocuirea unghiului de $\left(\frac{1}{2}\right)'$ obținem pentru sinus valoarea:

$$\text{Ecuație 3-23} \sin \left(\frac{1}{2}\right)' = \sin(0,00834^{\circ}) = 1,455 \cdot 10^{-4}.$$

La distanța de 1 m, rezultă o distanță între două puncte distincte dată de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-24} d = 1,455 \cdot 10^{-4} \text{ m} = 0,1455 \text{ mm} = 145,5 \mu\text{m}.$$

Deoarece puterea de separare a lupei ajunge la 3 μm [1], rezultă că deviația d dintre punctele luminoase, calculată de noi, se poate vedea cu o lupă.

Pentru a mării diferența deviațiilor celor două fascicule, Arago a multiplicat numărul oglinzilor [7].

Când pe o oglindă plană cad 2 fascicule de lumină, una sub unghiul α , și a doua sub unghiul $\alpha + \beta$, atunci prima este deviată cu unghiul α față de normală, a doua cu unghiul $\alpha + \beta$, și deviația dintre cele două fascicule rămâne β . Înseamnă că Arago nu a folosit în plus oglinzi statice, ci oglinzi rotitoare.

Pentru a mări precizia, Arago a folosit în loc de apă, un mediu mai refringent, sulfură de carbon, care este la fel de transparent [7].

Sulfura de carbon are formula chimică [11]:

Ecuatie 3-25 CS_2 ,

este toxic și este un lichid. Acesta conține legăturile [11]:

Ecuatie 3-26 $S = C = S$.

Sulfura de carbon este o substanță inflamabilă și prezintă pericol de explozie [12].

Prin introducerea a 4 oglinzi, căutarea unei deviații de o jumătate de minut, și schimbarea apei cu sulfură de carbon, s-a găsit o lungime necesară a tubului de 2,2 m [7].

Sulfura de carbon are indicele de refracție [13]:

Ecuatie 3-27 $n = 1,627$.

3.3. MAȘINA LUI BREUGET

O mașină care să producă rotația a fost construită de Breguet [7]. Pe axa ei s-a fixat o oglindă cu diametrul de 1 cm [7]. Această mașină executa 1 500 de rotații/s [7]. Această mașină era compusă din roți cu dinți oblici [7]. Prin detașarea oglinzii, Breguet o obținut de la 6 la 8 000 de rotații pe secundă [7].

În aparatul lui Arago, direcția razei reflectate a fost lăsată hazardului [7]. Din această cauză trebuie făcute multe experimente, și trebuie mulți observatori, până când fasciculul reflectat să fie dirijat pe direcția uneia din numeroasele lunete orientate pe direcția oglinzii [7].

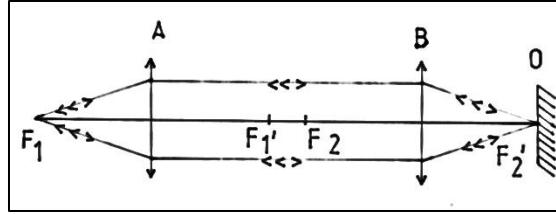
3.4. EXPERIMENTUL 1 AL LUI FIZEAU

Fizeau a efectuat un experiment prin care un fizician poate să măsoare, prima dată, viteza luminii care se propagă în aer între două stații de pe suprafața Terei [7].

Aparatul lui Fizeau se compune din două părți: un sistem de două lunete orientate una către cealaltă, la distanță mare una față de cealaltă, în care razele luminoase sunt întoarse în punctul lor de plecare; și un disc care se rotește, cu dinți pe circumferința ei, la intervale egale, alternativ goale și pline, care se poate roti cu o viteză variabilă prin acțiunea unui motor [7].

Imaginea obiectului fiecărei lunete se formează în focarul celeilalte lunete [7]. Lumina provine lateral de la o sursă și este dirijată în axa sistemului de o sticlă înclinată la 45° față de axă, plasată între ocularul și focarul lunetei A [7]. Lumina care cade pe obiectivul lunetei A, după ce traversează focarul său, unde se formează imaginea foarte mică, și unde se formează imaginea obiectivului unei alte lunete B, este dirijată de aceasta conform legii focarelor conjugate [7]. În virtutea aceleiași legi, razele se vor întâlni în focarul celei de a doua lunete B, într-o imagine care reprezintă, în dimensiuni foarte mici, obiectivul primeia [7]. Pe urmă această imagine cade pe o oglindă normală, fasciculul care o formează se reflectă sub ea înseși, traversează succesiv cele două obiective, oricare este distanța dintre ele, trece exact prin focarul obiectivului lunetei A, care a fost punctul lui de plecare [7].

Un astfel de sistem de lentile, propus de autorii acestei cărți, se poate realiza din două lentile convergente, în care prima lentilă corespunde lunetei A, transformă un fascicul, care vine din focarul unei lentile, într-un fascicul paralel cu axa optică, care cade pe a doua lentilă, care corespunde lunetei B, care transformă acest fascicul paralel într-un fascicul convergent în focarul ei, fig. 3-1.



Figură 3-1 Sistem de lentile propus de autorii acestei cărți pentru experimentul lui Fizeau. Lentilele A și B sunt convergente și corespund la lunetele A și B, sursa de lumină este proiectată în focarul F_1 al lentilei A.

Atunci, lumina provine din focarul lentilei convergente care corespunde obiectivului lunetei A, acest fascicul este transformat de această lentilă într-un fascicul paralel cu axa optică, cade pe lentila convergentă care corespunde lunetei B, care îl transformă într-un fascicul convergent în focarul F_2' al acestei lentile, fasciculul este reflectat de o oglindă plană poziționată în acest focar, este transformat într-un fascicul paralel cu axa optică de această lentilă, se întoarce la lentila obiectiv a lunetei A, care îl transformă într-un fascicul convergent în focarul ei F_1 , fig. 4-1.

Conform principiului reversibilității razelor de lumină, sensul razelor de lumină se poate inversa, și ele se vor propaga în sens invers pe drumul pe care au venit [1]. Dacă în focarul F_2' al lentilei lunetei B punem o oglindă plană, perpendiculară pe axa optică, această oglindă funcționează în dispozitivul de mai sus ca o sursă de lumină punctiformă, de la care raze de lumină se propagă pe drumul pe care au venit razele incidente.

Timpul în care fasciculul de lumină parcurge de două ori distanța dintre cele două lunete se poate măsura cu roata dințată rotitoare, când distanța dintre cele două lunete este destul de mare și celelalte lungimi se neglijează [7].

Axa de rotație a discului cu dinți este paralelă cu axa optică comună a celor două lunete [7].

Lumina se vede prin ocular ca un punct luminos [7].

Discul este așezat astfel încât dinții de pe circumferința lui stau în calea razelor, care se concentrează în focarul lunetei A înainte și după parcurgerea aparatului [7].

Discul este rotit astfel încât să lase și să oprească periodic razele care pleacă și revin, cu același obstacol [7].

Deoarece viteza luminii este finită, o rază care pleacă se întoarce într-un timp finit [7]. Într-o anumită situație, raza care pleacă poate să treacă printre doi dinți, însă în timpul în care se întoarce roata se poate roti, și la sosire raza poate să întâlnească un dinte [7]. Prin mărirea turației discului în mod continuu se poate obține ca raza care pleacă printre doi dinți să întâlnească la întoarcere următorul interval dintre doi dinți, și observatorul să vadă, în focarul ocularului lunetei A, un punct luminos [7].

Pentru prima eclipsă, discul se rotește cu unghiul la centru corespunzător unui dinte fără spațiul dintre dinți, pe care-l notăm cu α .

Considerăm d distanța dintre cele două lunete A și B, și calculăm timpul în care se întoarce raza cu ecuația:

$$\text{Ecuație 3-28 } t = \frac{2d}{c},$$

unde c este viteza luminii.

Considerăm că roata are n dinți, și calculăm unghiul α corespunzător unui dinte fără spațiul dintre dinți cu ecuația:

$$\text{Ecuație 3-29 } \alpha = \frac{360^\circ}{2n}.$$

Cu cele două ecuații de mai sus, viteza unghiulară a roții este dată de ecuația:

$$\text{Ecuație 3-30 } \omega = \frac{\alpha}{t}.$$

Știm distanța d , numărul de dinți n , viteza unghiulară ω , și cu ecuațiile de mai sus se poate calcula că viteza luminii este:

$$\text{Ecuație 3-31 } c = \frac{4d\omega n}{360}.$$

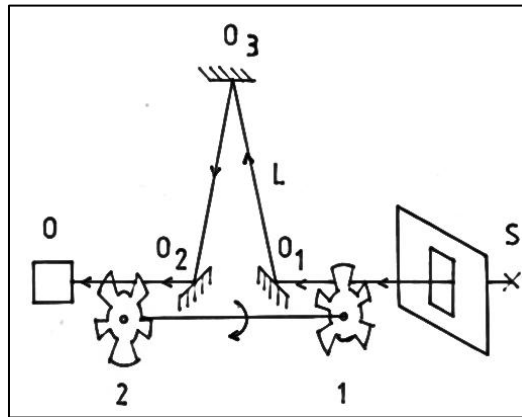
Cu acest aparat Fizeau a obținut pentru viteza luminii valoarea:

$$\text{Ecuație 3-32 } c = 2,83792 \cdot 10^8 \text{ m/s}.$$

3.5. EXPERIMENTUL 2 AL LUI FIZEAU

În continuare prezentăm o altă metodă de măsurare terestră a vitezei luminii tot a lui Fizeau [1]. Ideea lui Fizeau este folosită în majoritatea metodelor de determinare a vitezei luminii [1].

Două roți dințate sunt fixate rigid pe un ax astfel încât golul dintre doi dinți a unei roți să corespundă cu dintele celeilalte roți, și lumina care vine de la sursa S, trece prin golul dintre doi dinți ai primei roți, și cu trei oglinzi, O_1 , O_2 , și O_3 este obligată să parcurgă distanța $2L$, înainte să ajungă la a doua roată, timp în care a doua roată trebuie să se rotească cu un unghi corespunzător unui dinte fără golul dintre dinți, pentru ca lumina să treacă prin intervalul a doi dinți ai celei de a doua roți, ca să ajungă la un observator O, fig. 3-2 [1].



Figură 3-2 Experimentul 2 al lui Fizeau [1]. Lumina este oprită de roata dințată 1 și trece printre dinții roții dințate 2.

Dacă t este timpul în care roata se rotește cu jumătate din unghiul α care corespunde unui dinte și un gol, și roata are n dinți, atunci unghiul α este dat de ecuația [1]:

$$\text{Ecuație 3-33 } \alpha = \frac{360^\circ}{n}.$$

Viteza unghiulară a roții este [1]:

$$\text{Ecuație 3-34 } \omega = \frac{\alpha}{2t}.$$

Timpul t este [1]:

$$\text{Ecuație 3-35 } t = \frac{\alpha}{2\omega}.$$

Acest timp este egal cu parcurgerea distanței $2L$ de lumină:

$$\text{Ecuație 3-36 } t = \frac{2L}{c}.$$

Rezultă că viteza luminii este [1]:

$$\text{Ecuație 3-37 } C = \frac{4L\omega}{\alpha}.$$

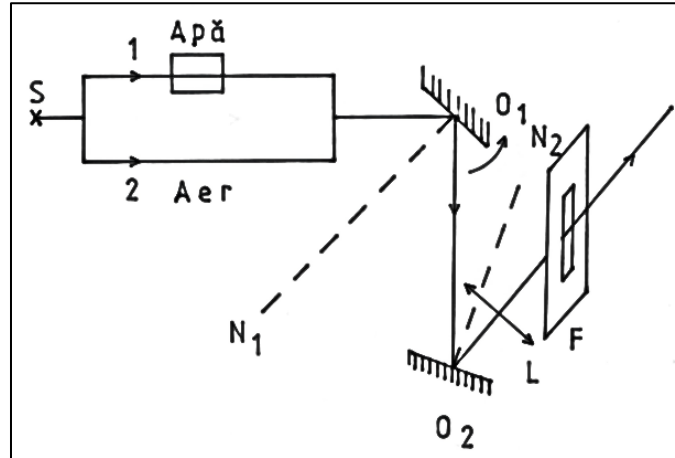
Înlocuim α și obținem ecuația [1]:

$$\text{Ecuație 3-38 } C = \frac{4L\omega n}{360}.$$

3.6. DISPOZITIV PROPUȘ DE AUTORII ACESTE CĂRȚI PENTRU COMPARAREA VITEZEI LUMINII ÎN AER ȘI APĂ

În fig. 3-3 prezentăm o metodă propusă de autorii acestei cărți, pentru compararea vitezei luminii în aer, apă, sticlă, sau CS₂, în care se calculează deviațiile celor două raze pentru o turație dată a oglinzii rotitoare, și se poziționează o fantă pe direcția razei care trece prin apă, care se poate deplasa lateral pentru a se potrivi cu raza, sau se poziționează două fante reglabile lateral, câte una pentru fiecare rază. Deoarece deviația dintre cele două raze este mică, pentru care s-a calculat o valoare de $\frac{1}{2}^\circ$, pentru care am calculat mai sus o distanță între cele două puncte luminoase de 0,145 mm la distanța de 1 m, trebuie folosită o lentilă convergentă pentru mărirea acestei distanțe, pentru că fantă cu dimensiune așa de mică nu se poate realiza. De la două surse de lumină, sau de la o sursă, de la care fasciculul se împarte în două fascicule, un fascicul trece prin apă, fasciculul 1, și al doilea trece prin aer, fasciculul 2, se emite lumină cu frecvența de rotație a oglinzii rotative. Ambele fascicule ajung pe oglinda rotativă O₁ sub unghiurile de incidență α și α' , care pot fi de exemplu în jur de 45° , deoarece fasciculul care trece prin apă are o întârziere datorită vitezei mai mici a luminii în apă, timp în care oglinda rotativă se rotește. Fixarea unghiului de incidență a fasciculului 2 pe oglinda rotitoare se poate face prin sincronizarea emisiei semnalului luminos cu viteza unghiulară de rotație a oglinzii O₁, astfel frecvența de emisie a semnalelor luminoase va fi egală cu frecvența de rotație a oglinzii, se face o legătură între poziția oglinzii astfel încât contactul electric pentru emisia semnalului luminos să fie închis exact în momentele în care oglinda va avea unghiul de incidență fixat, oglinda începe

să fie rotită când unghiul de incidență al fascicului 2 este cel stabilit, cu legătura la contactul electric pentru emisia scântei, și creșterea frecvenței de rotație a oglinzii se face continuu până la valoarea dorită.



Figură 3-3 Dispozitiv propus de autorii acestei cărți pentru compararea vitezei luminii în aer și apă.

Fasciculul 2, care trece prin aer, după ce se reflectă în oglinda rotitoare O_1 , se reflectă în oglinda O_2 , trece pe lângă fanta F , și produce un punct luminos pe ecran. Fascicului 1, care trece prin apă, se reflectă în oglinzile O_1 și O_2 , și va trece prin fanta F exact atunci când frecvența de rotație a oglinzii O_1 are valoarea pentru care unghiul sub care reflectă fasciculul 1 produce în oglinda O_2 un unghi de reflexie care permite acestui fascicul să treacă prin fanta F , deoarece aceste unghiuri se calculează în prealabil din frecvența de rotație a oglinzii rotitoare O_1 , și fanta F este poziționată exact în calea fascicului 1 pe baza acestor calcule. Ambele fascicule trec prin lentila L care mărește deviația dintre cele două fascicule. Oglinda O_2 împreună cu lentila L , care este fixată de această oglindă, la o anumită distanță de ea, se pot roti în jurul punctului de incidență al fascicului 1 pe această oglindă, și rotesc fasciculele pentru ca, în cazul în care fasciculul 1 nu trece prin fanta F , să găsească unghiul potrivit ca acest fascicul să treacă prin fanta F , și mărește precizia aparatului. Lentila L sau luneta prin care sunt privite cele două puncte luminoase poate să fie prevăzută cu o scală gradată ca microscopul moderne, în loc de fanta F . Astfel, se poate determina cu exactitate frecvența de rotație a oglinzii O_1 și unghiul fixat dinainte de reflexie al fascicului 1. Unghiul de reflexie al fascicului 2 se determină din poziția punctului luminos pe care-l produce pe ecran. Se poate calcula un aranjament al unei fante

corespunzătoare și fascicului 2. Atunci cele două fascicule vor produce puncte luminoase când trec prin cele două fante.

Pentru dispozitivul propus de autorii acestei cărți, din fig. 3-3, calculăm lentila L cu mărirea mare. Considerăm o lentilă biconvexă cu razele celor două suprafețe sferice:

$$\text{Ecuație 3-39 } R_1 = -R_2 = 4 \text{ cm.}$$

Distanța focală a lentilei va fi [1]:

$$\text{Ecuație 3-40 } f = \frac{1}{(n-1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)},$$

unde:

$$\text{Ecuație 3-41 } n = 1,5,$$

este indicele de refracție pentru sticlă, și obținem:

$$\text{Ecuație 3-42 } f = 4 \text{ cm.}$$

Relația fundamentală a lentilelor convergente este [1]:

$$\text{Ecuație 3-43 } \frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} = \frac{1}{f}.$$

unde:

$$\text{Ecuație 3-44 } x_1 < 0,$$

și:

$$\text{Ecuație 3-45 } x_2 > 0,$$

sunt distanțele de la obiectul din stânga la lentilă, și de la imaginea din dreapta la lentilă, și f este distanța focală a lentilei. Obținem:

$$\text{Ecuație 3-46 } x_2 = \frac{x_1 \cdot f}{x_1 + f},$$

și mărirea lentilei este:

$$\text{Ecuație 3-47 } \beta = \frac{x_2}{x_1} = \frac{f}{x_1 + f}.$$

Pentru:

Ecuatie 3-48 $-x_1 = 4,3 \text{ cm},$

obținem:

Ecuatie 3-49 $\beta = 13,33,$

și

Ecuatie 3-50 $x_2 = 57,33 \text{ cm}.$

Pentru razele suprafețelor cilindrice:

$$R_1 = -R_2 = 3 \text{ cm},$$

$$f = 3 \text{ cm},$$

$$-x_1 = 3,3 \text{ cm},$$

$$x_2 = 33 \text{ cm}.$$

În Tabelul 3-1 am trecut calculele pentru lentilele studiate.

Tabel 3-1 Tabel cu lentilele calculate pentru dispozitivul din fig. 4-3 calculat de autorii acestei cărți. Distanța până la imagine pentru lentila 1 și distanța până la obiect de la punctul 2 și pentru lentila 2, sunt prea mari.

Nr. Crt.	R_1 (cm)	R_2 (cm)	f (cm)	x_1 (cm)	β	x_2 (cm)
1	4	-4	4	-4,3	13,33	57,33
2	4	-4	4	-4,2	20	84
3	10	-10	10	-10,3	33,33	343,33
4	3	-3	3	-3,3	10	33

Dacă notăm cu d distanța finală dintre punctele luminoase obținută cu lentila L pe un ecran, când distanța de la oglinda O_1 la oglinda O_2 este 1 m, când distanța dintre punctele luminoase pe oglinda O_1 este 0,145 mm, atunci cu lentila cu distanța focală de 4 cm cu distanța până la obiect de -4,3 cm obținem:

Ecuatie 3-51 $d = \beta \cdot 0,145 \text{ mm} = 1,93 \text{ mm},$

și pentru lentila cu $f=3 \text{ cm}$, cu $x_1=-3,3 \text{ cm}$ obținem:

Ecuatie 3-52d=1,45 mm.

Aceste distanțe se pot vedea cu ochiul liber.

Observăm că distanța de 343,33 cm din Tabelul 4-1 este mare. O distanță convenabilă este de 33 cm obținută cu lentila cu $f=3$ cm.

4. TEORIA RELATIVITĂȚII RESTRÂNSE

4.1. EXPERIMENTUL LUI MICHELSON ȘI MORLEY

Michelson și Morley au efectuat un experiment în 1881, în care au presupus că lumina se propagă în eterul în repaus cu viteza c , și dispozitivul experimental se deplasează cu viteza Pământului v , față de eter [5]. Ei au considerat că eterul este în repaus, și toate corpurile pot fi în mișcare față de eter [5].

Cu un sistem de oglinzi, ei au desfăcut un fascicul de lumină în două fascicule I_1 și I_2 , care în ater parcurg distanțe diferite [5]. Cu ipoteza din acest experiment, prezentată mai sus, viteza luminii față de Pământ se calculează cu ecuația de transformare a vitezelor a lui Galilei pentru Sisteme de Referință Inerțiale [5]. Timpii în care cele două fascicule parcurg cele două distanțe sunt diferiți [5]. Cele două fascicule produc o deplasare a franjelor de interferență [5].

Rezultatele acestor experimente nu au arătat o diferență între cei doi timpi [5].

4.2. TEORIA RELATIVITĂȚII RESTRÂNSE

Einstein, în 1905 a creat teoria relativității restrânse, în care a rezolvat această problemă [5].

Postulatele acestei teorii sunt [5]:

1. În toate sistemele de referință inerțiale, legile fizicii sunt aceleași;
2. În orice SR inerțial, viteza luminii în vid este același, și este valoarea maximă.

5. LASERUL

5.1. PRODUCEREA LASERULUI

Laserul este o radiație monocromatică, și numele ei vine de la inițialele cuventilor din engleză Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation [5].

Emisia stimulată a unui atom, care se află pe o stare excitată E_2 , se produce când un foton cu energia:

Ecuatie 5-1 $h\nu = E_2 - E_1$.

ciocnește atomul, are ca efect tranziția atomului de pe nivelul E_2 pe nivelul E_1 , și emisia unui foton cu energia $h\nu$ [5]. Astfel, fotonul incident de propagă mai departe, și vor fi doi fotoni cu această energie [5].

Lumina emisă are direcția luminii incidente [5].

Timpul cât un atom rămâne pe o stare excitată este aproximativ [5]:

Ecuatie 5-2 $\sim 10^{-8} s$.

În echilibru termic, numărul atomilor în stare excitată datorită energiei de agitație termică, descrește exponențial cu creșterea energiei stării excitate [5]. Starea fundamentală este ocupată de majoritatea atomilor [5].

Pentru a produce excitarea mai multor atomi pe starea excitată, se iradiază mediul activ format din mai mulți atomi de acest tip, cu o rază intensă de radiație cu energiile fotonilor egale cu $h\nu$, și acest proces se numește inversie de populație [5]. Durata de viață a stării excitate a acestor atomi este aproximativ [5]:

Ecuatie 5-3 $\sim 10^{-3} s$.

Când un foton este emis de acest mediu activ cu inversie de populație, el provoacă dezexcitarea prin avalanșă a atomilor, adică provoacă emisia încă a unui foton, cei doi fotoni provoacă emisia altor doi fotoni, și astfel se multiplică dezexcitățile, și se emite laserul [5].

5.2. ASISTENT DE PARCARE CU FASCICUL LASER CONIC MODULAT ÎN IRADIERE

5.2.1. METODA FOLOSIRII FASCICULULUI LASER

Laserul este format din mai multe unde electromagnetice, care poate fi pulsată cu durata pulsului de la ps la μ s, cu putere cuprinsă de la 5 mW la 3000 W, și direcțională, cu un unghi de emisie care poate fi de 1 mrad [5].

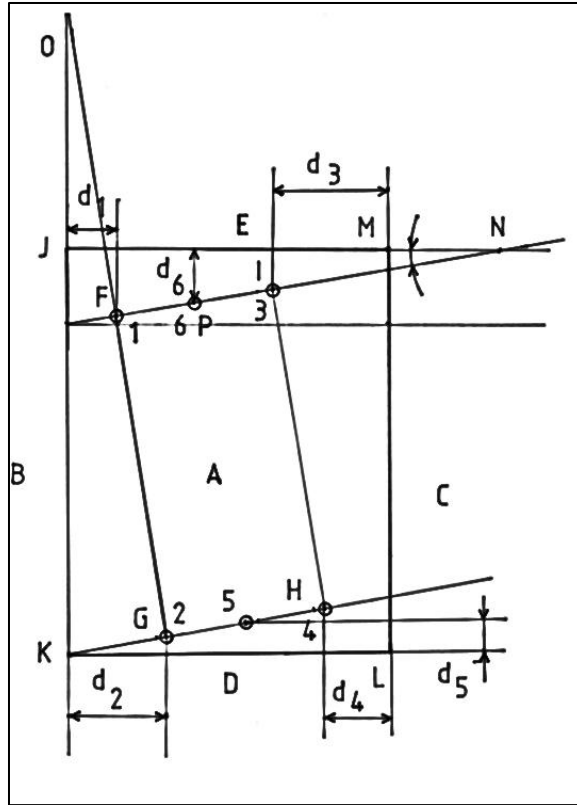
Distanțele autoturismului față de obstacolele din jurul lui se măsoară cu șase laseri. Lângă fiecare laser este un detector laser. Detectorul produce un curent sub influența fascicului laser reflectat de obstacol.

Dispunerea laserilor este următoarea: câte un laser plasat pe mijloacele părților din față și din spate al autoturismului, cercurile notate cu 5 și 6, respectiv în fig. 5-1, și emit fascicule laser în lungul axei longitudinale a autoturismului, câte un laser plasat în colțurile din spate și din față al unei părți laterale al autoturismului, în pozițiile cercurilor 1 și 2 din fig. 5-1, care emit fascicule laser perpendicular pe axa longitudinală a autoturismului, și alți doi laseri sunt plasați simetric cu aceștia în partea laterală opusă, cercurile 3 și 4 din fig. 5-1.

Detectorul de radiație laser poate fi o fotorezistență dintr-un semiconductor intrinsec, extrinsec, o fotodiodă, sau un fototranzistor [1].

Dacă laserul emite energia W într-un puls de durată t atunci fluxul de energie radiantă în conul în care este emis laserul, notat cu Φ_e , este dat de ecuația [1]:

Ecuație 5-4 $\Phi_e = \frac{W}{t}$.



Figură 5-1 Detector pentru parcare autoturismului cu laseri.

Definiția iluminării energetice [1]:

Iluminarea energetică a unei suprafețe elementare este raportul dintre fluxul de energie radiantă, sau fluxul de radiație, și aria proiecției perpendiculare pe direcția radiației a suprafeței elementare, pe care o notăm cu ΔA , și este definită de ecuația [1]:

$$\text{Ecuație 5-5 } E_e = \frac{\Phi_e}{\Delta A}.$$

Cantitatea E_e se mai numește iradiere [1].

Iradierea unui fascicul laser care străbate o substanță de grosime d , scade exponențial în funcție de d [1]:

$$\text{Ecuație 5-6 } E_e(d) = E_0 \cdot e^{-k \cdot d}.$$

unde E_0 este iradierea la suprafața de intrare în substanță, k este coeficientul de absorbție, și $e=2,7182$ este baza logaritmului natural.

Absorbția laserului în aer este foarte redusă [1]. Atunci [1]:

Ecuatie 5-7 $E_e(d) \approx E_0.$

Radiația laser este reflectată de obstacol în proporția c [1]. Atunci iradierea produsă de fasciculul laser reflectat pe detector, $E_r(d)$, este dată de ecuația [1]:

Ecuatie 5-8 $E_r(d) \approx c \cdot E_0.$

Curentul produs de fasciculul laser reflectat, într-un fotorezistor, este proporțional cu produsul dintre iradierea fotorezistorului și suprafața activă a fotorezistorului, deoarece o parte din fotonii din fasciculul laser produc excitarea electronilor de pe nivelul impurităților donoare din banda interzisă în banda de conducție [1]:

Ecuatie 5-9 $i_f(d) \approx b \cdot E_r(d) \cdot S \approx b \cdot c \cdot E_0 \cdot S,$

unde b este factorul de proporționalitate.

Din ecuațiile de mai sus obținem:

Ecuatie 5-10 $i_f(d) = b \cdot c \cdot \frac{\Phi_e}{\pi \cdot (2 \cdot r)^2} \cdot S,$

unde r este raza cercului bazei conului radiației laser formată la distanța d pe obstacol [14], S este suprafața activă a fotorezistorului, deoarece conul reflectat de obstacol are baza un cerc cu raza $2r$. De laser se atașează o lentilă divergentă care transformă fasciculul laser într-un fascicul conic cu vârful în focarul lentilei, pentru a mări raza r a cercului format de fasciculul laser conic, pentru a mări variația curentului $i_f(d)$ cu variația distanței d .

Pentru fasciculul reflectat la distanța $d/2$, raza cercului bazei conului radiației laser pe obstacol este $r/2$, și curentul produs de fotorezistor este:

Ecuatie 5-11 $i_f(d/2) = b \cdot c \cdot \frac{\Phi_e}{\pi \cdot (r)^2} \cdot S.$

De aici, raportul celor doi curenți este:

Ecuatie 5-12 $\frac{i_f(d)}{i_f(\frac{d}{2})} = \frac{1}{4}.$

Rezultă că din intensitatea curentului produs de detector se poate determina distanța până la obstacol prin etalonarea detectorului cu măsurarea, în prealabil, a curentului în funcție de distanță.

5.2.2. LASERI CARE POT PRODUCERE CURENT ÎN SEMICONDUCTORII INTRINSECI DE Si ȘI Ge

Pentru un fotorezistor din Si, grosimea benzii interzise este de 1,1 eV, și pentru unul din Ge este 0,72 eV [5].

Cu relația energiei unui foton [5]:

$$\text{Ecuație 5-13 } \varepsilon = h \cdot \nu,$$

unde $h=6,625 \cdot 10^{-34} J \cdot s$ este constanta lui Planck, putem calcula frecvența ν și lungimea de undă λ a laserului care produce excitarea electronilor din BV în BC:

Frecvența este:

$$\text{Ecuație 5-14 } \nu = \frac{\varepsilon}{h},$$

Perioada este:

$$\text{Ecuație 5-15 } T = \frac{h}{\varepsilon}$$

și lungimea de undă este:

$$\text{Ecuație 5-16 } \lambda = c \cdot T = c \cdot \frac{h}{\varepsilon}.$$

Lărgimea benzii interzise pentru Si în J este:

$$\text{Ecuație 5-17 } \varepsilon_{Si} = 1,1 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} J = 1,76 \cdot 10^{-19} J,$$

și pentru Ge este:

$$\text{Ecuație 5-18 } \varepsilon_{Ge} = 0,72 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} J = 1,2 \cdot 10^{-19} J,$$

unde:

$$\text{Ecuație 5-19 } 1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} J.$$

Lungimea de undă a radiației care produce excitarea unui electron din BV în BC pentru Si este:

$$\text{Ecuație 5-20 } \lambda_{Si} = 3 \cdot 10^8 \cdot 6,625 \cdot \frac{10^{-34}}{1,76 \cdot 10^{-19}} = 1,13 \mu m.$$

și pentru Ge este:

$$\text{Ecuație 5-21 } \lambda_{Ge} = 1,65 \mu m.$$

Laserii ca dioda cu Ga-Al-As cu:

$$\text{Ecuație 5-22 } \lambda_{Ga-Al-As} = 0,87 \mu m,$$

sau:

$$\text{Ecuație 5-23 } \lambda_{Ga-Al-As} = 835 nm,$$

Laserul cu He-Ne cu:

$$\text{Ecuație 5-24 } \lambda_{He-Ne} = 0,6328 \mu m,$$

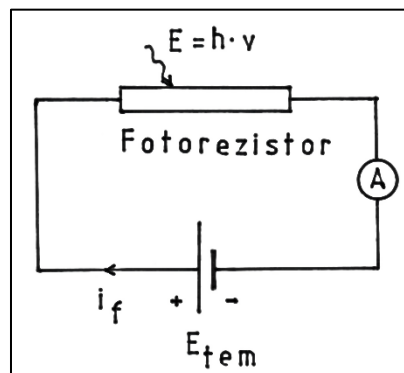
și laserul cu ioni de argon cu:

$$\text{Ecuație 5-25 } \lambda_{Ar} = 0,488 \mu m,$$

sau

$$\text{Ecuație 5-26 } \lambda_{Ar} = 0,5145 \mu m,$$

au lungimea de undă mai mică și energia fotonului mai mare decât lărgimea benzii interzise și pot produce curent în fotorezistorul intrinsec legat la o sursă de tensiune și un ampermetru ca în fig. 5-2.



Figură 5-2 Fotorezistorul legat la o baterie de curent continuu cu tensiunea electromotoare E_{tem} , la un ampermetru A, prin care trece curentul i_f , și pe care cade incident un foto cu energia $\varepsilon = h \cdot \nu$.

Laserul cu CO₂ are:

Ecuatie 5-27 $\lambda_{CO_2} = 10,6 \mu m,$

și nu poate excita electronii din BV din fotorezistorii de Si și Ge pentru că are energia mai mică decât lărgimea benzii interzise.

Avantajul folosirii laserului în această aplicație este că acesta este radiație electromagnetică monocromatică, are iradiere pulsată mare, și lumina provenită de la Soare, stele, planete, farurile autoturismelor, și de la iluminatul public, care ar putea să producă în detectorii de laser curenți electrici, au iradierii mici, care se pot neglija față de aceea a laserului la lungimea de undă a laserului care produce curent în fotorezistor.

5.2.3. MODULAREA IRADIERII LASERULUI

Asemănător cu modularea undelor electromagnetice de radiofrecvență [1], se poate separa radiația laser de alte surse de lumină cu aceeași frecvență prin modularea iradierii laserului de o oscilație cu frecvență mai mică. În această aplicație un laser pulsant este radiația purtătoare, care poate avea o frecvență a pulsațiilor:

Ecuatie 5-28 $f_0 = 100 \text{ kHz},$

produsă prin excitarea mediului activ cu această frecvență, adică a amplificatorului care excită mediul activ. Iradierea laserului este modulată prin excitarea mediului activ la o putere care urmează o oscilație cu frecvență mai mică, de exemplu:

Ecuatie 5-29 $f_m = 1 \text{ kHz}.$

Oscilația modulatorie poate să conțină un cod care separă laserul de celelalte radiații de aceeași lungime de undă.

În acest dispozitiv, oscilația purtătoare este dată de o funcție de pulsuri, de forma unor picuri, care se descrie cu o funcție de tipul:

Ecuatie 5-30
$$f(t) = \begin{cases} 1, & \frac{t}{T_0} \in N, \\ 0, & \frac{t}{T_0} \notin N. \end{cases}$$

unde :

$$\text{Ecuație 5-31 } T_0 = \frac{1}{f_0},$$

N este mulțimea numerelor naturale, și t este timpul. Cu funcția f(t) de mai sus, iradierea laserului este:

$$\text{Ecuație 5-32 } E_e'(t) = E_e \cdot f(t)$$

unde E_e este iradierea maximă a laserului emis. Cu modularea iradierii laserului, ecuația iradierii este:

$$\text{Ecuație 5-33 } E_e''(t) = E_e \cdot (1 + m \cdot \cos(\omega_m \cdot t)) \cdot f(t).$$

unde m este un număr între 0 și 1.

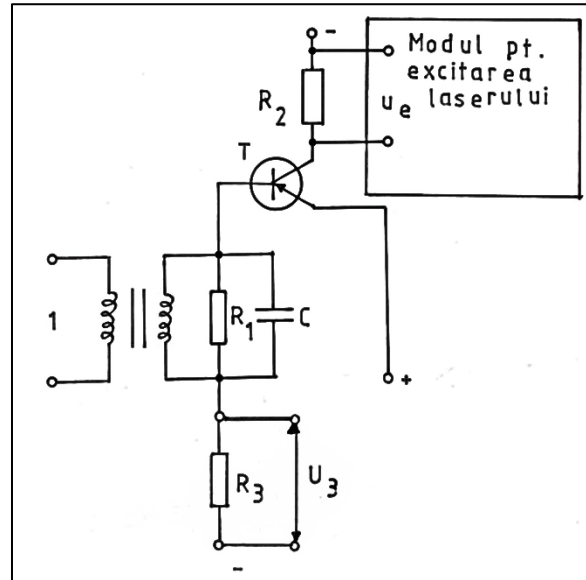
5.2.4. SCHEMA ELECTRONICĂ PENTRU AMPLIFICAREA CU TRANZISTOR PNP A TENSIUNII MODULATOARE A EXCITĂRII MEDIULUI ACTIV AL LASERULUI

Asemănător cu schema etajului amplificator de RF modulat pe bază [1], autorii acestei cărți am realizat schema electronică pentru amplificarea cu tranzistor pnp a tensiunii modulatorie a excitării mediului activ al laserului, pe care-l reprezentăm în fig. 5-3. Sursa de tensiune modulatorie u_e este ieșirea din acest amplificator realizat de noi, care are ca efect variația excitării mediului activ al laserului, și variația iradierii laserului după această tensiune modulatorie. Am polarizat tranzistorul T de tip pnp conform cu lucrarea [1]. Pe intrarea 1 din fig. 5-3 a acestui amplificator se aplică tensiunea modulatorie de frecvență f_m . Pe rezistorul R_2 se culege tensiunea de ieșire modulatorie propriu-zisă u_e , care este amplificarea tensiunii de pe intrarea 1, și această tensiune alimentează modulul pentru excitarea mediului activ al laserului.

Tensiunea de polarizare a bazei tranzistorului T din fig. 5-3 trebuie să aibă valoarea minimă în modul mai mare decât tensiunea de deschidere a tranzistorului, pentru ca la ieșire u_e să fie de forma unei funcții sinusoidale, sau o valoare constantă la care se adună o funcție

sinusoidală. Pentru aceasta circuitul oscilant se leagă la borna – prin rezistorul R_3 . Astfel, dacă tensiunea furnizată de circuitul oscilant este:

$$\text{Ecuație 5-34 } u_{os} = U_{os \max} \cos(\omega_m t).$$



Figură 5-3 Schema electronică pentru amplificarea cu tranzistor pnp a tensiunii modulatorie a excitării mediului activ al laserului.

și tensiunea pe rezistorul R_3 este U_3 , baza tranzistorului va fi legată la tensiunea:

$$\text{Ecuație 5-35 } u_B = U_3 + U_{os \max} \cos(\omega_m t),$$

cu condiția:

$$\text{Ecuație 5-36 } |U_3 - U_{os \max}| > U_{polarizare \text{ tranzistor}}.$$

5.2.5. CACULUL GEOMETRIC AL DISTANȚELOR AUTOTURISMULUI FAȚĂ DE OBIECTELE DIN JUR

Când se cunosc distanțele d_1 , d_2 , și d_6 , ale colțurilor F și G față de obiectul lateral B, și al laserului 6 față de obiectul din spate E, atunci se poate calcula distanța colțului I față de obiectul E, cel mai apropiat de acest colț, fig. 5-1.

În fig. 5-1 unghiurile $\angle FNJ$ și $\angle GOK$ sunt unghiuri cu laturile perpendiculare, sunt egale, și le notăm cu α :

$$\text{Ecuație 5-37 } \widehat{FNJ} = \widehat{GOK} = \alpha.$$

Din triunghiul dreptunghic format de segmentul d_2-d_1 cu ipotenuza FG rezultă valoarea sinusului unghiului α :

$$\text{Ecuație 5-38 } \sin \alpha = \frac{d_2-d_1}{FG}.$$

Din triunghiul dreptunghic format de segmentul d_6-EI cu ipotenuza $PI=FI/2$ rezultă tot sinusul unghiului α :

$$\text{Ecuație 5-39 } \sin \alpha = \frac{d_6-EI}{\frac{FI}{2}}.$$

Din această ecuație rezultă EI :

$$\text{Ecuație 5-40 } EI = d_6 - \frac{FI}{2} \sin \alpha.$$

Din ecuațiile de mai sus, prin înlocuirea lui $\sin \alpha$ în ecuația precedentă rezultă:

$$\text{Ecuație 5-41 } \sin \alpha = d_6 - \frac{FI}{2} \cdot \frac{d_2-d_1}{FG}.$$

6. Index

A

Aberația stelelor

Bradley, 21

Definiție, 21

C

Câmpul electric

Interacționează cu sarcinile electrice, 11

compararea vitezei luminii în aer, apă,

dispozitiv propus de autorii acestei cărți, 34

compunerea vitezei luminii cu viteza sursei de lumină

măsurarea unghiului de deviație minim în prismă a radiațiilor caracteristice ale stelelor și Soarelui, 23

Culori diferite

Indici de refracție diferiți, 10

D

Diferența dintre cei doi timpi în care lumina ajunge de la satelit la Pământ

Ecuație, 20

Dispersia

Definiție, 16

Se produce în toate mediile transparente pentru radiația vizibilă, 12

Dispersia luminii

Compoziția luminii albe din raze cu lungimi de undă diferite, 10

Dispersia luminii, 10

Newton, 16

Se poate arăta cu prisma optică din sticlă, 10

Dispersia normală

Indicele de refracție crește cu frecvența, 16

Dispersie anomală

Cianină, 17

Fuxină, 17

Indicele de refracție scade cu frecvența, 12

Unghiul de deviație pentru fasciculul abastu mai mic decât pentru roșu, 17

Vapori de iod, 17

Distanța de la stea la Pământ

Conjunție, 21

distanța dintre molecule

mai mare la lichide decât la solide, 11

Distanța media de la Pământ la Soare

Ecuație, 20

E

Experimentul 1 a lui Fizeau

Roată dințată, 30

Ecuatia luminii

Distanța față de sursă, 9

Ecuatia luminii

Amplitudinea, 9

Ecuatia lungimii de undă, 9

Pulsația, 8

Timpul de propagare, 9

Viteza luminii, 9

Experimentul 1 a lui Fizeau

Două lunete față în față la distanță mare, 30

Experimentul 2 al lui Fizeau

două roți dințate, 33

Experimentul lui Arago

Distanța dintre punctele luminoase la distanța de 1 m de oglinda rotitoare, 28

Oglinda rotitoare, 26

Experimentul lui Arago

Compararea vitezei luminii în aer și în apă, 26

Experimentul lui Michelson și Morley

Pământul se mișcă cu o viteză față de eterul în repaus, 39

Experimentul lui Wheaton

scânteia din mijloc se aprinde mai târziu, 24

Experimentul lui Wheatstone

trei scânteii, 24

F

Forțe moleculare

Cea mai mare parte produse de particulele vecine, 9

Forțe moleculare

Asemănător ca la solide și lichide, 9

G

Goniometru

Aparat de măsură a unghiurilor, 16

I

În conjuncție

Distanța parcursă de lumină de la satelit, 19

indicele de refracție

la lichide mai mic decât la solide, 11

Indicele de refracție

Definiție, 10

Depinde de frecvență, numită dispersie, 12

Ecuatia, 10

- În funcție de unghiul de deviație minim, 15
- Indicii de refracție ai unor substanțe, 10
- indicele de refracție relativ
 - Definiție, 11
- Întârzierile apariției satelitului
 - Ecuatii, 20
- Între conjuncție și opoziție
 - Distanța dintre cele două planete se reduce cu diametrul orbitei Pământului, 19
 - Se văd numai disparițiile satelitului, 19
- Între opoziție și conjuncție
 - Distanța de la Tera la Jupiter crește cu diametrul orbitei terestre, 19
 - Vizibile numai aparițiile satelitului lui Jupiter, 19

L

- laserul
 - producerea emisiei stimulate de un atom, 40
- Laserul
 - Caracteristicile laserului, 40
 - Numle Laser, 40
- Linia galbenă a sodiului
 - Lungime de undă, 15
- Lumina
 - Ecuatia luminii, 8
 - Frecvența, 8
 - Lumina ca undă, 8
 - Lumina ca undă plană, 9
 - Lungimea de undă, 9
 - Perioada, 8
 - Sursa de lumină, 9
- Lumină polarizată
 - Vibrațiile luminoase numai pe o direcție perpendiculară pe viteza luminii, 9

M

- Mașina lui Breguet
 - mașină care produce rotații, 29
- Măsurarea vitezei de propagare a electricității în conductori
 - Oglinda rotativă, 24
- Metode astronomice pentru determinarea vitezei luminii
 - Inegalitatea aparentă a perioadelor după care se produc eclipsele sateliților lui Jupiter, 18
- Metode astronomice pentru măsurarea vitezei luminii
 - Aberația stelelor, 18
 - Două metode astronomice, 18
 - Observarea eclipselor sateliților lui Jupiter, 18
- Metode terestre pentru măsurarea vitezei luminii
 - Metoda lui Fizeau, 18
- Muchia prisme
 - Intersecția planelor prisme, 12

O

Opoziție

Distanța de la stea la Pământ, 22

P

Particulele vecine

Atomii sau ionii din nodurile rețelei cristaline, 9

Poziția astrilor

Conjunția, 18

Opoziția, 19

Primul satelit al lui Jupiter

Timpul cel mai scurt de apariție și dispariție, 18

Prisma

Pentru aceeași lungime de undă, n diferit, deviația diferită, 16

Spectrul pentru sulfură de carbon de 3-6 ori mai lat ca la apă, 16

Prismă

Condiția ca raza să iasă din prismă, 14

Ecuția celei de a doua refracții, 13

Ecuția primei refracții, 13

Pentru n diferit, spectrele au lungimi diferite, 16

Unghiul de deviație, 13

Unghiul de deviație minim, 15

Unghiul de emergență, 13

Unghiul prisme ca raza să iasă din prismă, 14

Propagarea luminii

Asemănător cu unda sonoră, 9

Vibrațiile particulelor de eter, 9

R

Razele cu lungimi de undă diferite

Au culori diferite, 10

reflexia luminii

legile reflexiei luminii, 6

refracția luminii

legile refracției luminii, 7

S

Semi-axa mare

A orbitei Pământului, 20

Sticla crown

Indicele de refracție al sticlei crown, 16

Unghiul limită, 15

Sticla optică

Indicele de refracție, 16

Unghiul limită, 16

Suma depărtărilor succesive, 21

Suma întârzierilor

Ecuație, 21

Suma ratardărilor

Prin măsurători rezultă 16 m și 26 s, 19

Suma retardărilor

Suma retardărilor este egală cu suma avansărilor, 19

T

Teoria relativității restrânse

Einstein, 39

Postulatele, 39

timpul în care lumina ajunge de la stea la Pământ

Conjunție, 22

Timpul în care lumina ajunge de la stea la Pământ

Ecuație, 22

Timpul în care lumina ajunge la Pământ

Ecuație, 19

Timpul în care ultimul fascicul reflectat de satelit ajunge la pământ

Ecuație, 19

U

unghi limită

Ecuația, 12

unghiul de refracție este 90 de grade, 11

Unghiul prisme

Ca raza să iasă din prismă, 15

Unghiul dintre planele prisme, 12

V

Vibrații luminoase

Care produc senzația de lumină în ochi, 9

Vibrațiile luminoase

Perpendiculare pe viteza luminii, 9

Vibrațiile câmpului electric al câmpului electromagnetic, 9

Vibrațiile particulelor de eter

În planul frontului de undă plană a luminii, 9

Pe direcții perpendiculare pe direcția razei de lumină, 9

Produse de forțe moleculare, 9

Viteza de propagare a electricității în conductori

Experimentul lui Wheatstone, 24

Măsurarea vitezei de propagare a electricității în conductori, 24

viteza luminii

experimentul lui Bradley, 22

experimentul lui Roemer cu satelitul lui Jupiter, 21

timpul în care lumina străbate diametrul orbitei Terei, 22

valoare din raportul vitezei luminii la viteza Terei, 23

Viteza luminii

Antichitate, 18

Calculată din diferențe de timp în care lumina ajunge de la satelit la Pământ, 20
 experimentul 1 a lui Fizeau, 32
 Nu corespunde cu definiția pentru materiale diferite de vid, 12
 Nu se adună cu viteza sursei de lumină, 18
 Permitivitatea relativă și permeabilitatea relativă sunt măsurate cu câmpuri statice, 12
 raportul vitezei luminii și vitezei Terei, 22
 Refracția luminii de la stele într-o prismă, 18
 Trei metode pentru măsurarea vitezei luminii, 18
 Valoarea obținută de Roemer, 20
 Viteza luminii este aceeași indiferent dacă stelele care o emit se apropie sau se depărtează de Pământ, pentru că razele de
 diferite culori au aceeași deviație în prismă, 18
 Viteza luminii în vid
 Ecuația, 10
 Viteza luminii într-un mediu
 Ecuație, 10
 viteza Terei
 viteza Terei, 22

7. Tabel de ecuații

ECUAȚIE 1-1 $\angle IMI' = \angle IPI' = 90^\circ$	6
ECUAȚIE 1-2 $MI' = IP = v1 \cdot \Delta t$	6
ECUAȚIE 1-3 $\Delta IPI' = \Delta IMI'$	7
ECUAȚIE 1-4 $\angle i = \angle r$	7
ECUAȚIE 1-5 $MI' = v1 \cdot \Delta t$	8
ECUAȚIE 1-6 $IP = v2 \cdot \Delta t$	8
ECUAȚIE 1-7 $\sin i = MI' / II'$	8
ECUAȚIE 1-8 $\sin r = PIII'$	8
ECUAȚIE 1-9 $n21 = \sin i \sin r = v1 v2$	8
ECUAȚIE 1-10 $ux, t = A \sin 2\pi t T - x\lambda$	8
ECUAȚIE 1-11 $v = 1/T$	8
ECUAȚIE 1-12 $\omega = 2\pi v$	8
ECUAȚIE 1-13 $\lambda = vT$	9
ECUAȚIE 1-14 $n = cv$	10
ECUAȚIE 1-15 $c = 1/\epsilon_0 \mu_0$	10
ECUAȚIE 1-16 $v = c \epsilon \mu r$	10
ECUAȚIE 1-17 $n = \epsilon \mu r$	10
ECUAȚIE 1-18 $n21 = \sin i \sin r = n2 n1$	11
ECUAȚIE 1-19 $\sin l = n2 n1$	12
ECUAȚIE 1-20 $\sin i = n \sin r$	13
ECUAȚIE 1-21 $n \sin r' = \sin i'$	13
ECUAȚIE 1-22 $\angle IMI' = 180^\circ - \delta$	13
ECUAȚIE 1-23 $180^\circ - i - r - i' - r' = \angle IMI'$	13
ECUAȚIE 1-24 $\delta = i + i' - r + r'$	13
ECUAȚIE 1-25 $IN \perp AB$	13
ECUAȚIE 1-26 $I'N \perp AC$	13
ECUAȚIE 1-27 $\angle INI' = 180^\circ - \angle A$	13
ECUAȚIE 1-28 $\angle INI' = 180^\circ - \angle r + \angle r'$	13
ECUAȚIE 1-29 $\delta = \angle i + \angle i' - \angle A$	13
ECUAȚIE 1-30 $\angle r' \leq \angle l$	14
ECUAȚIE 1-31 $A = r + r'$	14
ECUAȚIE 1-32 $\angle r + \angle r' + \angle INI'' = 180^\circ$	14
ECUAȚIE 1-33 $\angle INI' + \angle A = 180^\circ$	14
ECUAȚIE 1-34 $A - r \leq l$	14
ECUAȚIE 1-35 $r \geq A - l$	14
ECUAȚIE 1-36 $\sin r \geq \sin A - l$	14
ECUAȚIE 1-37 $\sin i n \geq \sin A - l$	14
ECUAȚIE 1-38 $1n \geq \sin A - l$	14
ECUAȚIE 1-39 $\sin l \geq \sin A - l$	14

ECUAȚIE 1-40	$A \leq 2l$	15
ECUAȚIE 1-41	$\sin l = n_1 n_2 = 1n$	15
ECUAȚIE 1-42	$A \leq 2 \arcsin 1n$	15
ECUAȚIE 1-43	$A \leq 2 \arcsin 1n = 2 \cdot 40^\circ 50' = 81^\circ 40'$	15
ECUAȚIE 1-44	$i = i$	15
ECUAȚIE 1-45	$r = r'$	15
ECUAȚIE 1-46	$\delta m = 2i - A$	15
ECUAȚIE 1-47	$i = \delta m + A2$	15
ECUAȚIE 1-48	$n = \sin \delta m + A2 \sin A2$	15
ECUAȚIE 1-49	$n = 1 \sin 40^\circ 50' = 1,55$	16
ECUAȚIE 1-50	$n = 1 \sin 42^\circ = 1,495$	16
ECUAȚIE 1-51	$\delta albastru < \delta ro\text{șu}$	17
ECUAȚIE 2-1	$t1 = x1c$	19
ECUAȚIE 2-2	$x2 = x1 - d$	19
ECUAȚIE 2-3	$t2 = x2c = x1 - dc$	20
ECUAȚIE 2-4	$\Delta t = t1 - t2$	20
ECUAȚIE 2-5	$\Delta t = x1c - x2c = x1c - x1 - dc = dc$	20
ECUAȚIE 2-6	$c = d \Delta t$	20
ECUAȚIE 2-7	$c = 318\,288\,000\text{ m/s}$	20
ECUAȚIE 2-8	$r_{med} = 1,5 \cdot 10^{11}m$	20
ECUAȚIE 2-9	$d_{med} = 2 \cdot r_{med} = 3 \cdot 10^{11}m$	20
ECUAȚIE 2-10	$c = 3 \cdot 10^{11}m / 986s = 3,04 \cdot 10^8 m/s$	20
ECUAȚIE 2-11	$r_{sm} = 149,597 \cdot 10^6 km$	20
ECUAȚIE 2-12	$\tau 1 = y1c$	21
ECUAȚIE 2-13	$\tau 2 = y2c$	21
ECUAȚIE 2-14	$\tau n = ync$	21
ECUAȚIE 2-15	$x + d$	21
ECUAȚIE 2-16	$d = i = 1nyi$	21
ECUAȚIE 2-17	$\Delta t = i = 1n\tau i$	21
ECUAȚIE 2-18	$t1 = xc$	22
ECUAȚIE 2-19	$x + d$	22
ECUAȚIE 2-20	$t2 = x + dc$	22
ECUAȚIE 2-21	$\Delta t = t2 - t1 = dc$	22
ECUAȚIE 2-22	$v = 1,5 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 3,14365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60ms = 2,98 \cdot 10^4 ms$	22
ECUAȚIE 2-23	$c = 10200 \cdot 2,98 \cdot 10^4 ms = 3,039 \cdot 10^8 ms$	23
ECUAȚIE 3-1	$\alpha = d2x$	25
ECUAȚIE 3-2	$\omega = \alpha t$	25
ECUAȚIE 3-3	$v = Lt$	25
ECUAȚIE 3-4	$v = L\omega \alpha$	25
ECUAȚIE 3-5	$v = 2L\omega x d$	25
ECUAȚIE 3-6	$t1 = 14m3 \cdot 10^8 m/s = 4,667 \cdot 10 - 8s$	27
ECUAȚIE 3-7	$cap\check{A} = cnap\check{A}$	27
ECUAȚIE 3-8	$nap\check{A} = 1,33$	27
ECUAȚIE 3-9	$cap\check{A} = 2,256 \cdot 10^8 m/s$	27
ECUAȚIE 3-10	$t2 = 14m2,256 \cdot 10^8 = 6,206 \cdot 10 - 8s$	27

ECUAȚIE 3-11 $\Delta t = t_2 - t_1 = 1,539 \cdot 10 - 8s$.	27
ECUAȚIE 3-12 $1rot = 360^\circ$.	27
ECUAȚIE 3-13 $1^\circ = 1360rota\tilde{ii}$.	27
ECUAȚIE 3-14 $1^\circ = 60'$.	27
ECUAȚIE 3-15 $1' = 160^\circ$.	27
ECUAȚIE 3-16 $12' = 12 \cdot 60^\circ$.	28
ECUAȚIE 3-17 $14'$.	28
ECUAȚIE 3-18 $14 \cdot 60 \cdot 360rota\tilde{ii}$.	28
ECUAȚIE 3-19 $\omega = 14 \cdot 60 \cdot 360 \cdot 1\Delta t$.	28
ECUAȚIE 3-20 $\omega = 14 \cdot 60 \cdot 360 \cdot 11,539 \cdot 10 - 8rot/s$.	28
ECUAȚIE 3-21 $\omega = 752rot/s$.	28
ECUAȚIE 3-22 $d = D \cdot \sin\alpha$.	28
ECUAȚIE 3-23 $\sin 12' = \sin 0,00834^\circ = 1,455 \cdot 10 - 4$.	28
ECUAȚIE 3-24 $d = 1,455 \cdot 10 - 4m = 0,1455 mm = 145,5 \mu m$.	28
ECUAȚIE 3-25 CS_2 .	29
ECUAȚIE 3-26 $S = C = S$.	29
ECUAȚIE 3-27 $n = 1,627$.	29
ECUAȚIE 3-28 $t = 2dc$.	32
ECUAȚIE 3-29 $\alpha = 360^\circ 2n$.	32
ECUAȚIE 3-30 $\omega = \alpha t$.	32
ECUAȚIE 3-31 $c = 4d\omega n 360$.	32
ECUAȚIE 3-32 $c = 2,83792 \cdot 108m/s$.	32
ECUAȚIE 3-33 $\alpha = 360^\circ n$.	33
ECUAȚIE 3-34 $\omega = \alpha 2t$.	33
ECUAȚIE 3-35 $t = \alpha 2\omega$.	33
ECUAȚIE 3-36 $t = 2Lc$.	34
ECUAȚIE 3-37 $c = 4L\omega\alpha$.	34
ECUAȚIE 3-38 $c = 4L\omega n 360$.	34
ECUAȚIE 3-39 $R_1 = -R_2 = 4 cm$.	36
ECUAȚIE 3-40 $f = 1n - 1 \cdot 1R_1 - 1R_2$.	36
ECUAȚIE 3-41 $n = 1,5$.	36
ECUAȚIE 3-42 $f = 4 cm$.	36
ECUAȚIE 3-43 $1x_2 - 1x_1 = 1f$.	36
ECUAȚIE 3-44 $x_1 < 0$.	36
ECUAȚIE 3-45 $x_2 > 0$.	36
ECUAȚIE 3-46 $x_2 = x_1 \cdot fx_1 + f$.	36
ECUAȚIE 3-47 $\beta = x_2x_1 = fx_1 + f$.	36
ECUAȚIE 3-48 $-x_1 = 4,3 cm$.	37
ECUAȚIE 3-49 $\beta = 13,33$.	37
ECUAȚIE 3-50 $x_2 = 57,33 cm$.	37
ECUAȚIE 3-51 $d = \beta \cdot 0,145 mm = 1,93 mm$.	37
ECUAȚIE 3-52 $D=1,45 MM$.	38
ECUAȚIE 5-1 $h\nu = E_2 - E_1$.	40
ECUAȚIE 5-2 $\sim 10 - 8s$.	40
ECUAȚIE 5-3 $\sim 10 - 3s$.	40

ECUAȚIE 5-4 $\Phi e = Wt$	41
ECUAȚIE 5-5 $Ee = \Phi e \Delta A$	42
ECUAȚIE 5-6 $Eed = E0 \cdot e - k \cdot d$	42
ECUAȚIE 5-7 $Eed \approx E0$	43
ECUAȚIE 5-8 $Erd \approx c \cdot E0$	43
ECUAȚIE 5-9 $ifd \approx b \cdot Erd \cdot S \approx b \cdot c \cdot E0 \cdot S$,.....	43
ECUAȚIE 5-10 $ifd = b \cdot c \cdot \Phi e \pi \cdot 2 \cdot r2 \cdot S$,.....	43
ECUAȚIE 5-11 $ifd/2 = b \cdot c \cdot \Phi e \pi \cdot r2 \cdot S$	43
ECUAȚIE 5-12 $ifd ifd2 = 14$	43
ECUAȚIE 5-13 $\varepsilon = h \cdot v$,.....	44
ECUAȚIE 5-14 $v = \varepsilon h$,.....	44
ECUAȚIE 5-15 $T = h\varepsilon$	44
ECUAȚIE 5-16 $\lambda = c \cdot T = c \cdot h\varepsilon$	44
ECUAȚIE 5-17 $\varepsilon Si = 1,1 \cdot 1,6 \cdot 10 - 19 J = 1,76 \cdot 10 - 19 J$,.....	44
ECUAȚIE 5-18 $\varepsilon Ge = 0,72 \cdot 1,6 \cdot 10 - 19 J = 1,2 \cdot 10 - 19 J$,.....	44
ECUAȚIE 5-19 $1 eV = 1,6 \cdot 10 - 19 J$	44
ECUAȚIE 5-20 $\lambda Si = 3 \cdot 108 \cdot 6,625 \cdot 10 - 341,76 \cdot 10 - 19 = 1,13 \mu m$	45
ECUAȚIE 5-21 $\lambda Ge = 1,65 \mu m$	45
ECUAȚIE 5-22 $\lambda Ga - Al - As = 0,87 \mu m$,.....	45
ECUAȚIE 5-23 $\lambda Ga - Al - As = 835 nm$,.....	45
ECUAȚIE 5-24 $\lambda He - Ne = 0,6328 \mu m$,.....	45
ECUAȚIE 5-25 $\lambda Ar = 0,488 \mu m$,.....	45
ECUAȚIE 5-26 $\lambda Ar = 0,5145 \mu m$,.....	45
ECUAȚIE 5-27 $\lambda CO2 = 10,6 \mu m$,.....	46
ECUAȚIE 5-28 $f0 = 100 kHz$,.....	46
ECUAȚIE 5-29 $f m = 1 kHz$	46
ECUAȚIE 5-30 $ft = 1, tT0 \in N, 0, tT0 \notin N$	46
ECUAȚIE 5-31 $T0 = 1f0$,.....	47
ECUAȚIE 5-32 $Ee't = Ee \cdot ft$	47
ECUAȚIE 5-33 $Ee''t = Ee \cdot 1 + m \cdot \cos \omega m \cdot t \cdot ft$	47
ECUAȚIE 5-34 $uos = Uos \max \cos \omega m t$	48
ECUAȚIE 5-35 $uB = U3 + Uos \max \cos \omega m t$,.....	48
ECUAȚIE 5-36 $U3 - Uos \max > Upolarizare tranzistor$	48
ECUAȚIE 5-37 $FNJ = GOK = \alpha$	49
ECUAȚIE 5-38 $\sin \alpha = d2 - d1FG$	49
ECUAȚIE 5-39 $\sin \alpha = d6 - E1F12$	49
ECUAȚIE 5-40 $EI = d6 - F12 \sin \alpha$	49
ECUAȚIE 5-41 $\sin \alpha = d6 - F12 \cdot d2 - d1FG$	49

8. Tabel cu Tabele

TABEL 1-1 TABEL CU INDICII DE REFRAȚIE AI UNOR SUBSTANȚE PRELUATE DINTR-UN TABEL DIN LUCRAREA [1] DE LA BIBLIOGRAFIE, ȘI VITEZA LUMINII CALCULATĂ DE NOI CU ACESTE DATE. DATELE MARCATE CU* SUNT CALCULATE DE NOI.	10
TABEL 3-1 TABEL CU LENTILELE CALCULATE PENTRU DISPOZITIVUL DIN FIG. 4-3 CALCULAT DE AUTORII ACESTEI CĂRȚI. DISTANȚA PÂNĂ LA IMAGINE PENTRU LENTILA 1 ȘI DISTANȚA PÂNĂ LA OBIECT DE LA PUNCTUL 2 ȘI PENTRU LENTILA 2, SUNT PEA MARI.	37

9. Tabel cu figuri

FIGURA 1-1 REFLEXIA LUMINII. SEGMENTUL MI' ESTE PARCURS IN ACELAȘI TIMP CA SEGMENTUL IP, CU ACEEAȘI VITEZA. I'P ESTE ÎNFĂȘURĂTOAREA UNDELOR SFERICE EMISE DE PUNCTELE SITUATE ÎNTRE I ȘI I'.	6
FIGURĂ 1-2 REFRAȚIA LUMINII. MI' ESTE PARCURS ÎN ACELAȘI TIMP CA IP.	7
FIGURĂ 1-3 MERSUL UNEI RAZE MONOCROMATICE ÎN PRISMA OPTICĂ [1].	13
FIGURA 2-1 DISTANȚA DE LA SATELITUL LUI JUPITER LA PĂMÂNT. CU P AM NOTAT PĂMÂNTUL, CU S SOARELE, CU J PLANETA JUPITER, ȘI CU SAT CEL MAI MIC SATELIT AL LUI JUPITER.	19
FIGURA 2-2 DISTANȚA PARCURSĂ DE LUMINĂ DE LA STEUA CARE RĂSARE LA PĂMÂNT.	22
FIGURĂ 3-1 SISTEM DE LENTILE PROPUSE DE AUTORIZAȚIA ACESTEI CĂRȚI PENTRU EXPERIMENTUL LUI FIZEAU. LENTILELE A ȘI B SUNT CONVERGENTE ȘI CORESPUND LA LUNETELE A ȘI B, SURSA DE LUMINĂ ESTE PROIECTATĂ ÎN FOCARUL F1 AL LENTILEI A.	31
FIGURĂ 3-2 EXPERIMENTUL 2 AL LUI FIZEAU [1]. LUMINA ESTE OPRITĂ DE ROATA DINȚATĂ 1 ȘI TRECE PRINTRE DINȚII ROȚII DINȚATE 2.	33
FIGURĂ 3-3 DISPOZITIV PROPUSE DE AUTORIZAȚIA ACESTEI CĂRȚI PENTRU COMPARAREA VITEZEI LUMINII ÎN AER ȘI APĂ.	35
FIGURĂ 5-1 DETECTOR PENTRU PARCAREA AUTOTURISMULUI CU LASERI.	42
FIGURĂ 5-2 FOTOREZISTORUL LEGAT LA O BATERIE DE CURENT CONTINUU CU TENSIUNEA ELECTROMOTOARE E_{TEM} , LA UN AMPERMETRU A, PRIN CARE TRECE CURENTUL I_F , ȘI PE CARE CADE INCIDENT UN FOTO CU ENERGIA $\epsilon = h \cdot \nu$.	45
FIGURĂ 5-3 SCHEMA ELECTRONICĂ PENTRU AMPLIFICAREA CU TRANZISTOR PNP A TENSIUNII MODULATOARE A EXCITĂRII MEDIULUI ACTIV AL LASERULUI.	48

Bibliography

- [1] N. GHERBANOVSKI și ET AL., FIZICĂ MANUAL PENTRU CLASA A XI - A, BUCUREȘTI: EDITURA DIDACTICĂ ȘI PEDAGOGICĂ, 1982.
- [2] Verdet_51_377, „Note sur la interference de la lumiere polarisée,” *Ann. chim. phys.*, vol. 31, p. 377, 1851.
- [3] Beer_34, „Sur le Calcul de la Surface de l'onde de Fresnel,” *Ann. chim. phys.*, vol. 34, pp. 347-354, 1852.
- [4] Biot_36, „Sur l'application de la théorie de l'achromatisme ...,” *Ann. chim. phys.*, vol. 36, pp. 405-489, 1852.
- [5] R. Ionescu-Andrei și et al., Fizică F1/F2 manual pentru clasa a XII-a, București: Grup Editorial Art, 2010.
- [6] Arago_37_180, „Mémoire sur la vitesse de la lumière,” *Ann. chim. phys.*, vol. 37, pp. 180-196, 1853.
- [7] L. Foucault, „Sur la vitesses relatives de la lumière dans l'air et dans l'eau,” *Ann. chim. phys.*, vol. 41, pp. 129-164, 1854.
- [8] dex_online, „dex_online,” dex_online, 2025. [Interactiv]. Available: www.dex.ro.
- [9] M. Mansfield și C. O'Sullivan, Understanding Physics, 2 ed., WILEY, Ed., CHICHESTER: Wiley, 2011.
- [10] A. Ducrocq, Romanul materiei cibernetica și universul, București: Editura Științifică, 1966.
- [11] Tehno-Science.net, „Sulfure de carbone,” Techno-science.net, [Interactiv]. Available: www.techno-science.net. [Accesat 30 12 2024].
- [12] V. Daniel, „Sulfure de carbon,” Société Française de Médecine d'Urgence, [Interactiv]. Available: www.sfm.org/toxom/RISKCHIM/SULFCARBON.HTM. [Accesat 30 12 2024].
- [13] Wikipedia, „Carbon disulfide,” Wikipedia The Free Encyclopedia, [Interactiv]. Available: www.wikipedia.org.
- [14] I. CUCULESCU, I. M. POPESCU, F. CORNEA, O. STĂNĂȘILĂ, D. IORDACHE, I. BACIU, V. BRÂNZĂNESCU, C. CRISTESCU, C. PODINĂ și C. IONESCU-BUCUR, CULEGERE DE

PROBLEME REZOLVATE PENTRU ADMITEREA ÎN ÎNVĂȚĂMÂNTUL SUPERIOR
MATEMATICĂ-FIZICĂ-CHIMIE, BUCUREȘTI: EDITURA ȘTIINȚIFICĂ ȘI
ENCICLOPEDICĂ, 1984.