



**Center for
Science Education
and Training**

<http://education.inflpr.ro>

Proiect susținut prin programul Parteneri pentru Educație

DESPRE LUMINA

**Mihaela Garabet
Ion Neacsu**

Liceul Teoretic "Grigore Moisil" Bucuresti

© CSET - 2008

Microsoft | Partners in Learning



Reteaua educationala
Hands-on Science - Romania
Instruire prin experiment



1. De unde vine lumina?

Corpurile cosmice emit radiații electromagnetice.

Practic singurele informații pe care le primim de la stele și alte corpuri cosmice ajung la noi o dată cu radiația pe care acestea o emit. Ceea ce percepem noi ca lumină este o mică parte din spectrul electromagnetic. Alte surse de lumină, în afară de Soare și de stele sunt filamentele încălzite ale becurilor, flăcările, tuburile de descărcare în gaz.

Aici, pe Terra, primim toată energia de care avem nevoie, în principal lumina și căldura de la Soare. Ea este esențială pentru viața de pe această planetă. Soarele trimite spre Pământ 180 000 terawati energie, în fiecare secundă. Spre comparație, în acord cu statisticile efectuate de ONU, omenirii îi sunt necesari 13 terawati per secundă pentru susținerea activității din industrie, transporturi, agricultura și a activităților casnice. Lumina soarelui conține energia necesară plantelor pentru a crește. Plantele transformă energia solară, într-o formă chimică prin procesul de fotosinteză. Petrolul, cărbunele și gazele naturale, sunt resturi de plante care au trăit cu milioane de ani în urmă. Energia din acești combustibili, eliberabilă prin ardere, este energie chimică în care a fost convertită lumina soarelui. De cele mai multe ori noi utilizăm sursele poluante precum cărbunii, petrolul, gazele naturale pentru a ne acoperi necesarul de energie. Energia furnizată acum de către aceste surse are preț mare, este epuizabilă, poluează planeta și generează conflicte între deținătorii săi.

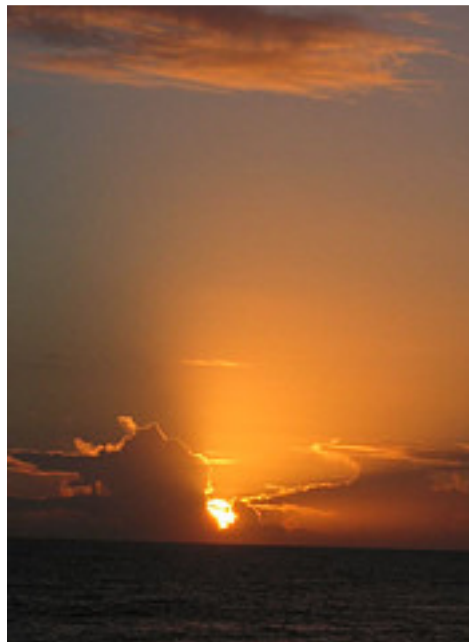


Figura 1.1– Soarele, sursa noastră de lumină și de energie, reactorul termonuclear perfect și sigur de pe cer! Energia solară oferită cu generozitate, este de înaltă calitate putând fi transformată eficient în căldură, electricitate, energie chimică. Este nepoluant, etern (pentru următoarele câteva miliarde de ani) și gratis pentru toată lumea.

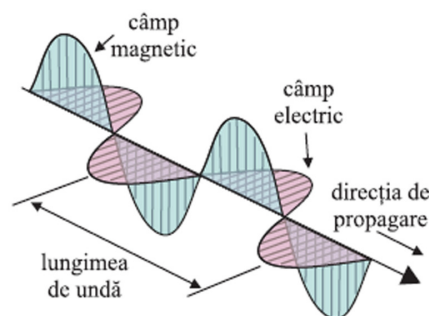


Figura 1.2– Radiația electromagnetică și propagarea sa

2. Ce este lumina?

Ceea ce numim **lumină albă** (precum cea emisă de Soare și de becul cu incandescență) reprezintă de fapt un amestec al culorilor curcubeului: **roșu**, **oranj**, **galben**, **verde**, **albastru**, **indigo**, **violet**.



Priviți lumina care vă înconjoară printr-o prismă optică! Observați irizațiile colorate care însoțesc contururile obiectelor din jurul vostru?

Prisme optice au proprietatea de a descompune lumina albă în culorile curcubeului, prin fenomenul numit **dispersia** luminii.



Figura 2.3 – Curcubeul

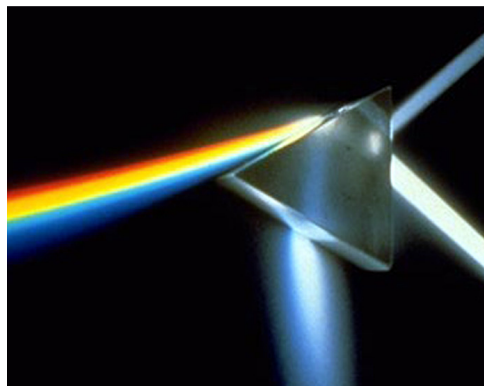


Figura 2.4 – Descompunerea luminii albe în prisma optică

Ați admirat cu siguranță curcubeul, alt fenomen natural de dispersie a luminii, unde rolul prisme este preluat de picăturile de apă existente în atmosferă după ce a plouat și apare soarele.



Apropiați degetele arătător și mijlociu de la mâna dreaptă la o distanță suficient de mică astfel încât să puteți să priviți prin spațiul creat spre o sursă de lumină!

Veți observa linii întunecate care urmează conturul degetelor, alternând cu zone luminoase. Sunt franje de difracție. Ele sunt asemănătoare cu cele care însoțesc conturul lamei din figura 2.5.



Priviți spre un bec aprins sau spre flacăra unei lumânări prin intermediul unei bucăți de perdea sau de tifon.

Veți observa inizații colorate asemănătoare cu cele din figura 2.6!

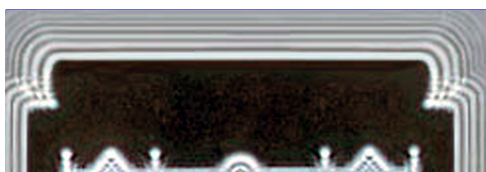


Figura 2.5 Franje de difracție



Figura 2.6 Franje de difracție

Este fenomenul de **difracție** a luminii care constă în ocolirea aparentă a obstacolelor cu dimensiuni comparabile cu lungimea de undă și apoi suprapunerea undelor secundare. Suprapunerea undelor secundare generează ceea ce numim **franje de difracție**. Forma și distribuția lor este guvernată de modul în care intensitatea luminoasă în punctele de pe ecran depinde de unghiul sub care lumina părăsește rețeaua (unghiul de difracție). Aspectul franjelor se modifică și în funcție de culoarea radiației care ocolește obstacolele.



În încercarea sa de a perfecționa spectroscopul secolului al XIX-lea, Fraunhofer a creat prima **rețea de difracție** prin utilizarea unor fante paralele și echidistante. Practic, rețelele de difracție se obțin și azi prin trasarea unor zgârieturi foarte fine, drepte, paralele și echidistante pe o placă dielectrică, transparentă. Atunci când un fascicul de lumină ajunge pe o rețea de difracție, razele difractate de diferitele fante se suprapun în spațiul din spatele rețelei și interferă. Acum se suprapun difracția luminii pe fiecare fantă și interferența razelor venite de la toate fantele. Potrivit principiului lui Huygens fantele devin surse secundare de unde care interferă după ce părăsesc rețeaua ca în figura 2.7. Fasciculul incident este paralel. Atunci când se lucrează cu lumină albă se obțin franje multicolore asemănătoare celor din figura 2.7. Franja centrală numită *maxim maximorum* este albă și mai luminoasă decât celelalte franje care sunt monocromatice.

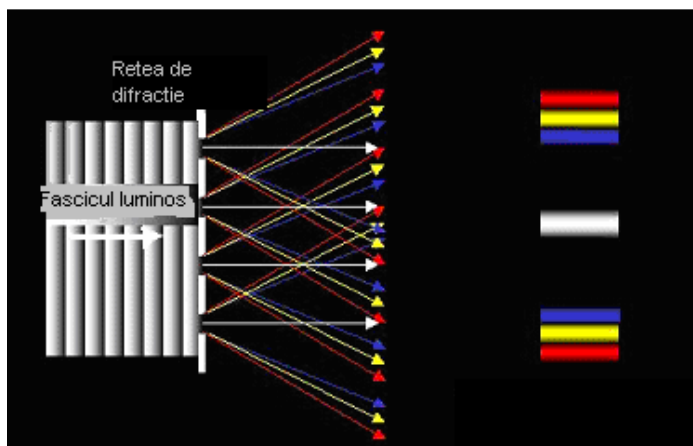


Figura 2.7 Difracția luminii albe pe rețeaua de difracție

În cazul utilizării radiației roșii emise de un laser, distribuția intensității luminoase pe ecran este indicată în figura 2.8. Tot aici puteți observa aspectul franjelor de difracție.

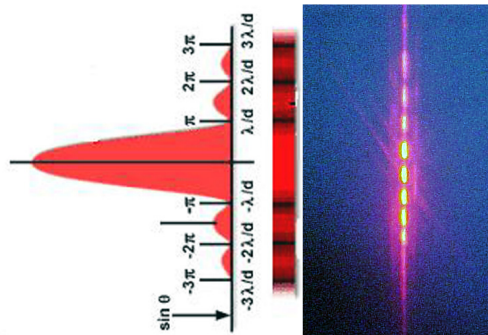


Figura 2.8 Franje de difracție în lumină monocromatică



2.1. Studiul experimental al difracției utilizând placa de achiziție National Instruments cu senzori adaptați

Vă prezentăm acum o variantă experimentală în care utilizăm o placă de achiziție National Instruments NIDAQ – 6013 echipată cu senzori adaptați pentru achiziția de semnale provenite de la o rețea de difracție.

Vom utiliza ca senzor o celulă fotovoltaică dintr-o lampă de grădină (figura 2.1.1). Ne propunem să vizualizăm pe monitor intensitatea luminoasă în punctele aflate pe zona sensibilă a celulei fotovoltaice. La bornele acesteia putem achiziționa un semnal de tensiune variabilă, în funcție de lumina care ajunge în zonele sale active. Ideea înregistrării valorilor intensității luminoase după trecerea prin rețeaua de difracție s-a bazat pe fixarea rețelei și a celulei fotovoltaice și pe baleierea rețelei cu fasciculul laser. Semnalul achiziționat de la bornele celulei arată ca în figura 2.1.1.

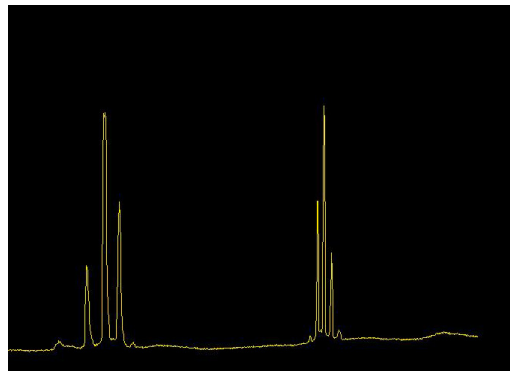


Figura 2.1.1 Montajul experimental și figura de difracție în lumină monocromatică

Fenomene precum difracția și interferența luminii confirmă caracterul ondulatoriu atribuit luminii.

Ochiul uman normal percepe cel mai bine la lumina de culoare verde cu lungimea de undă 550 nm. Întâi s-a descoperit că lumina este de fapt radiație electromagnetică. Aceasta înseamnă propagarea, din aproape în aproape, a două câmpuri care variază sinusoidal: câmpul electric și câmpul magnetic. Ele oscilează în plane perpendiculare, atât între ele cât și pe direcția de propagare a radiației, ca în figura 2.1.2 și se generează reciproc prin fenomenele de inducție electromagnetică și inducție magnetoelectrică. Ansamblul lor se numește câmp electromagnetic, iar propagarea lui este de fapt **unda electromagnetică**.

Dintre cele două câmpuri menționate, variațiile câmpului electric sunt cele care impresionează retina ochiului uman normal. Acestea sunt transformate în impulsuri electrice care atunci când ajung pe cortex pot crea senzația de lumină. Toate radiațiile care pot crea această senzație fac parte din domeniul **vizibil**. Pentru a delimita regiunile spectrului electromagnetic utilizăm mărimea fizică numită **lungime de undă** și notată cu λ . Ea măsoară distanța dintre două “creste” succesive și se măsoară în *m*. Altfel spus, lungimea de undă măsoară distanța pe care avansează unda într-un interval de timp egal cu perioada de oscilație a câmpului electric sau magnetic. Dacă lungimea de undă are valori cuprinse în intervalul $0,7 \cdot 10^{-6} - 0,4 \cdot 10^{-6} \text{m}$, ne aflăm în domeniul vizibil al spectrului electromagnetic.

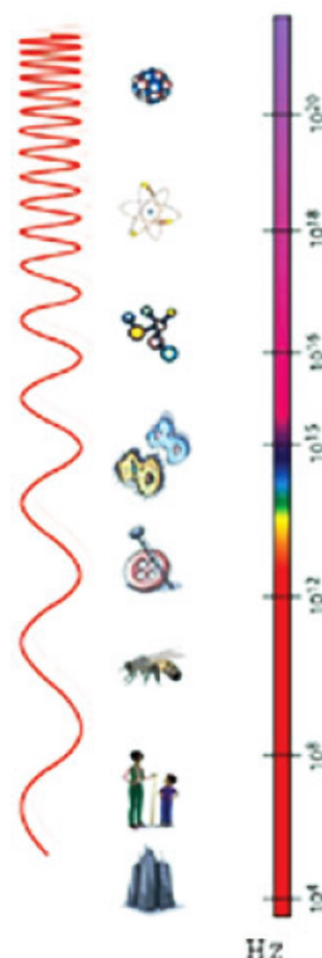


Figura 2.1.2– Spectrul electromagnetic

O altă mărime caracteristică undelor este **frecvența**, cea care măsoară numărul de creste dintr-o secundă, adică numărul de oscilații efectuate într-o secundă. Ea se notează cu ν și se măsoară în Hertz.

Azi știm și acceptăm caracterul dual al luminii: în unele fenomene, precum interferența și difracția, se comportă ca o **undă**, iar în altele, cum ar fi emisia și absorbția, efectul fotoelectric, se comportă ca un flux de microparticule numite **fotoni**.

Lumina este emisă în procesele de tranziție ale electronilor care gravitează în jurul nucleului de pe un nivel energetic pe altul.

În sursele incandescente au loc coliziuni între atomi în urma cărora se transferă energie electronilor care sunt împinși astfel pe nivelele superioare. Când electronii revin pe nivelele pe care se aflau inițial ei eliberează această energie prin emisie de fotoni. Unele coliziuni sunt mai puternice, altele mai slabe, astfel fiind emiși fotoni cu energie diferită. Lumina emisă de un bec incandescent provine din excitarea atomilor constituenți ai unui fir subțire (filament), încălzit de curentul electric care trece prin el. Circa 75% din radiațiile emise filamentul incandescent sunt infraroșii.



Figura 2.1.3– Becul cu incandescență, sursă de radiații din vizibil și infraroșu

3. Ce este spectroscopia?

Spectroscopia este o ramură a fizicii care se ocupă cu studiul metodelor de obținere a spectrelor, precum și cu măsurarea și interpretarea acestora. Spectrul unei radiații electromagnetice se obține prin descompunerea ei într-un **spectrometru** și constă dintr-o succesiune de imagini ale fantei de intrare, formate de diferitele radiații monocromatice ale luminii incidente.

Pentru studiul spectrelor, spectroscopia folosește metode vizuale, fotografice și fotoelectrice. În funcție de domeniul spectral al undelor electromagnetice și de aparatura folosită, există ramurile: *spectroscopie optică* (pentru domeniul vizibil, ultraviolet și infraroșu), *spectroscopia radiației X*, *spectroscopia radiației gamma*, *spectroscopia hertziană* (pentru undele hertziene și milimetrice); *spectroscopia alfa* și *spectroscopia beta* care se ocupa cu studiul spectrelor energetice ale radiațiilor α , respectiv β . După natura sistemului cuantic emițător (atom, moleculă, nucleu), spectroscopia se clasifică în *spectroscopie atomică*, *spectroscopie moleculară* și *spectroscopie nucleară*.

Cele mai multe surse nu emit lumină monocromatică. Spectroscoapele uzuale au ca piesă principală o **prismă** sau o **rețea de difracție** care au rolul de a descompune

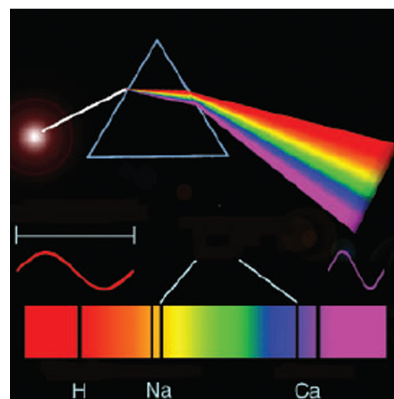


Figura 3.1– Prisma optică descompune lumina albă în radiațiile monocromatice componente. În spectrul observat apar linii de absorbție identificate ca fiind ale H, Na și Ca.

radiația electromagnetică ce urmează a fi analizată. Ele sunt dispozitive care permit descompunerea luminii în componentele sale spectrale (culorile curcubeului): **roșu, oranj, galben, verde, albastru, indigo, violet.**

Totalitatea liniilor spectrale emise de o substanță formează **spectrul de emisie**. Fiecare atom are o configurație electronică specifică (diferențele de energie între nivelele electronice sunt diferite de la un atom la altul) și va avea un anumit spectru. Liniile spectrului ocupa poziții stabile, de aceea putem identifica tipul atomilor ce le emit. Substanțele aduse în stare atomică (prin încălzire la o temperatură mult mai înaltă decât punctul de fierbere) generează spectre de linii. Acestea sunt caracteristice fiecărui element chimic și stau la baza unei metode de analiză chimică calitativă și cantitativă numită **analiza spectrală**.

În secolul a XIX-lea, au luat amploare explorarea și cercetarea spațiului extraterestru ceea ce a impulsionat dezvoltarea instrumentelor care permiteau studiul compoziției chimice stelelor prin analiza luminii emise de ele. În această perioadă, Joseph Fraunhofer a descoperit liniile întunecate ale spectrului solar. În aceeași perioadă și-a desfășurat studiile și Joseph Kirchhoff cel considerat a fi fondatorul analizei spectrale. A descoperit, împreună cu Bunsen, că un element chimic adus în stare de incandescență, emite radiații luminoase cu o anumită lungime de undă. Totodată, la



Figura 3.2– Spectrul solar

trecerea luminii prin gaz, el absoarbe aceleași lungimi de undă pe care le poate emite la încălzirea sa. Kirchhoff a identificat trei tipuri de spectre:

1. **Spectrul continuu** este emis de către corpurile solide și lichide; este neîntrerupt, emisia fiind continuă.
2. **Spectrul de linii** este emis de către corpuri gazoase; este discret.
3. **Spectrul de absorbție** este invers spectrului de linii; din spectrul continuu lipsesc anumite linii.

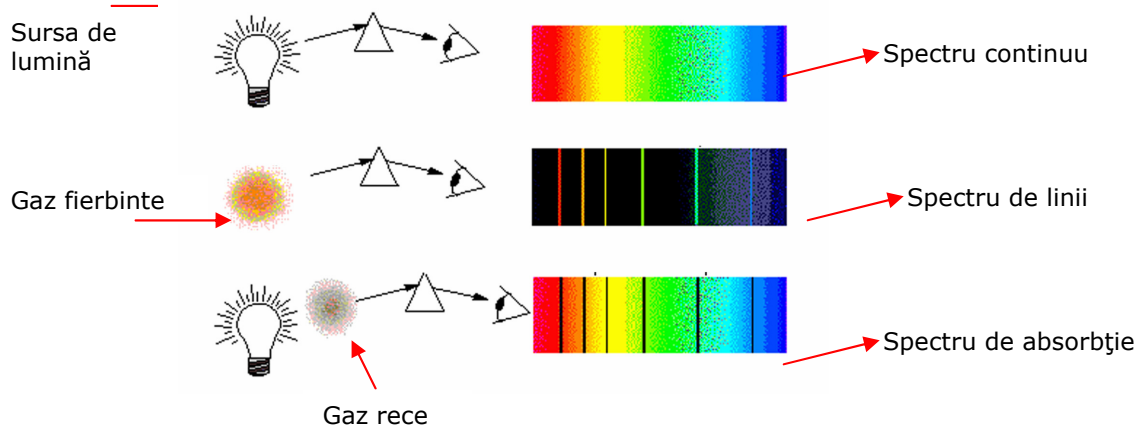


Figura 3.3– Tipuri de spectre

În cazul spectrometriei de emisie atomică proba este încălzită la temperaturi înalte pentru a o atomiza și pentru a excita atomii rezultați. La revenirea în starea fundamentală atomii emit radiație caracteristică. Concentrația atomilor în probă determină intensitatea radiației emise. Un fascicul de lumină având o anumită lungime de undă trece printr-un nor de gaz atomic. În funcție de concentrația lor, atomii probei

absorb o parte din radiația incidentă, spre exemplu spectrul de absorbție al hidrogenului din figura 3.4. Lungimea de undă a radiației absorbite sau emise depinde de speciile atomice analizate. Se poate face o analiză calitativă studiind natura radiației emise sau absorbite de probă, în timp ce o analiză cantitativă se poate face măsurând intensitatea acestei radiații.

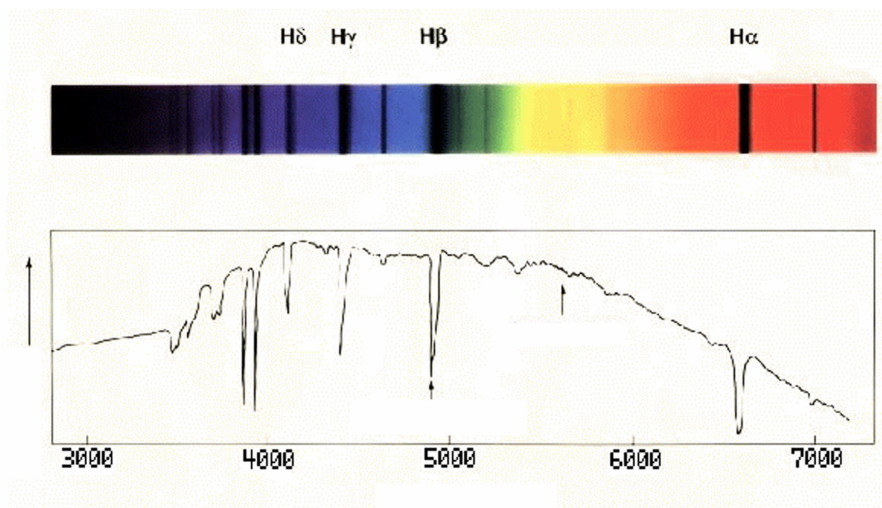


Figura 3.4– Spectrul de absorbție al hidrogenului



3.1 Spectre virtuale

Accesați applet-urile Java de la adresele:
<http://jersey.uoregon.edu/vlab/elements/Elements.html>,
<http://jf-noblet.chez-alice.fr/spectre2/index2.htm>

Aici puteți vizualiza spectrele de emisie și de absorbție ale diferitor elemente chimice.



Cum arată spectrele de emisie pentru sodiu și pentru cupru?

În figura 3.1.1 puteți observa linia galbenă de emisie a sodiului.

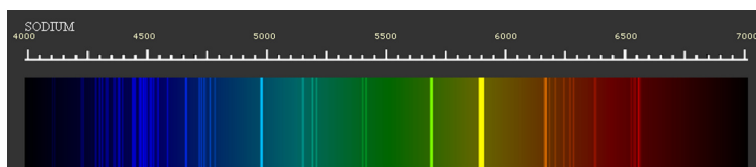


Figura 3.1.1 – Spectrul sodiului



Despre lumină

9

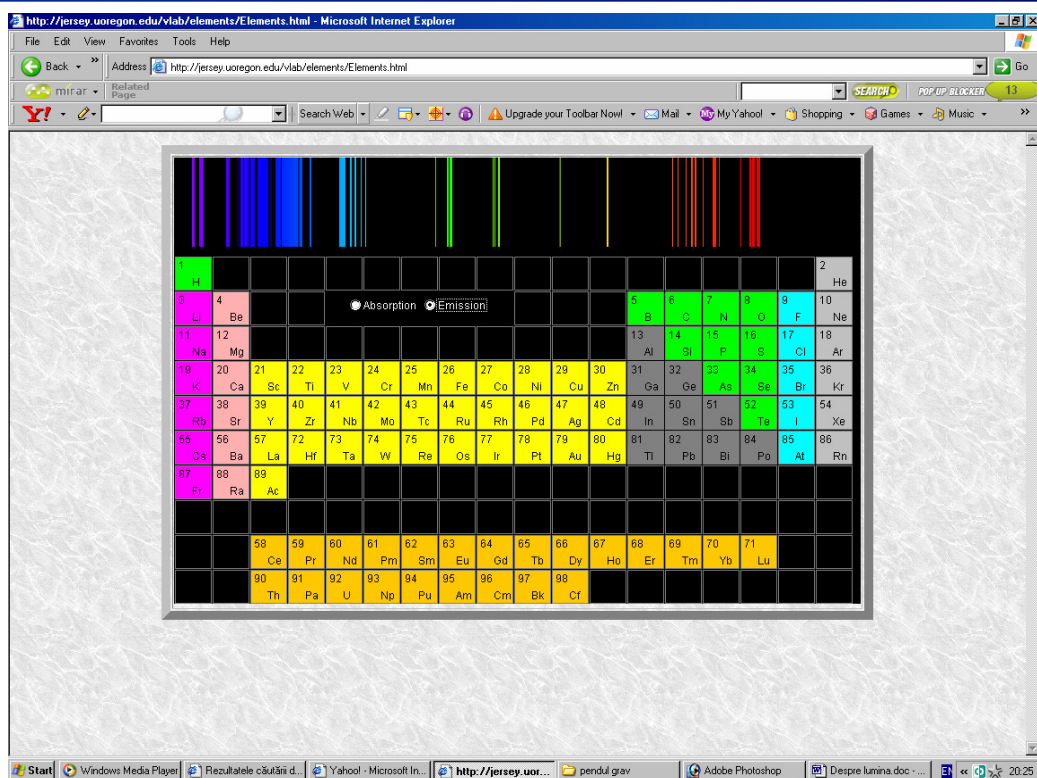


Figura 3.1.2– applet-ul Java <http://jersey.uoregon.edu/vlab/elements/Elements.html>

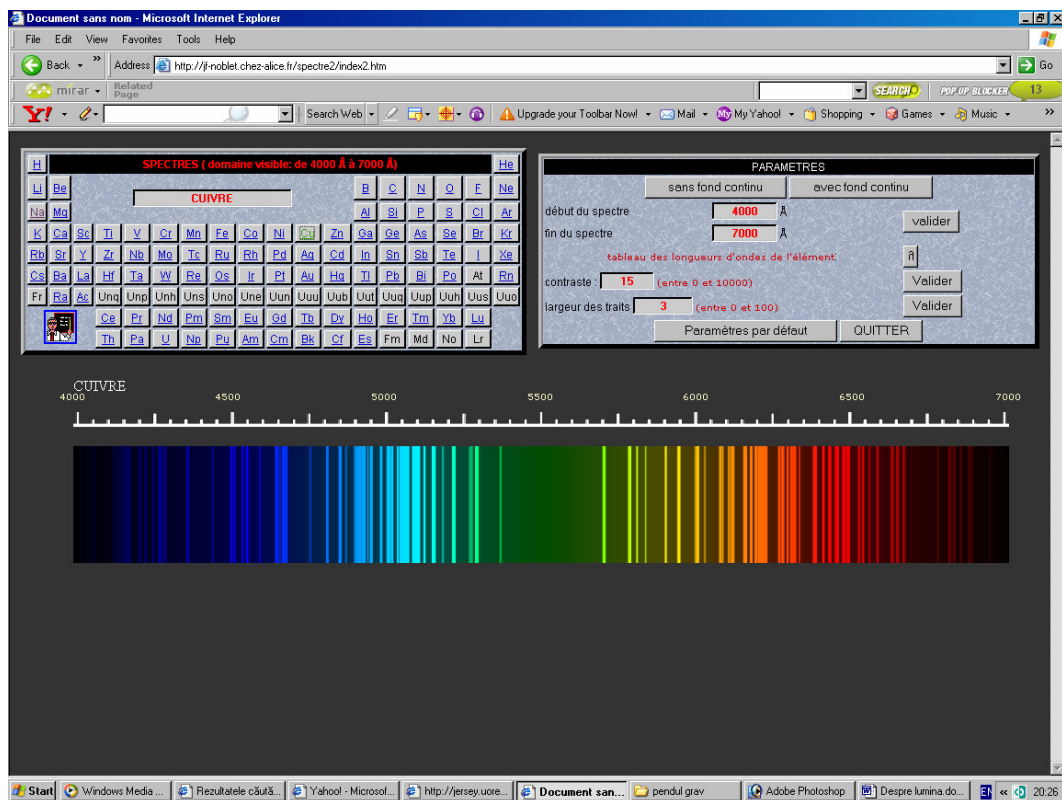


Figura 3.1.3 – applet-ul Java <http://jf-noblet.chez-alice.fr/spectre2/index2.htm>

3.2 Cum funcționează un spectrometru digital?

Pentru studiul unor surse spectrale la care am avut acces am utilizat un spectrometru Ocean Optics instalat într-un computer. Piesa sa principală este o rețea de difracție pe care ajunge lumina provenită de la surse. Diferența dintre el și spectrometrele clasice este faptul că are incorporat un convertor analog-digital numit CCD sau Charge Coupled Device, care este de fapt o matrice de pixeli, având de la 200 x 300 pixeli până la 3000 x 5000 de pixeli și mai mult, prin intermediul unor voltaje aplicate pe chip. Funcționarea lor se bazează pe efectul fotoelectric extern care constă în emisia de electroni de către metalele supuse acțiunii luminii. Când un flux de fotoni atinge pixelii delimitați pe suprafața chip-ului

CCD acesta va smulge electroni din fiecare pixel. În CCD, acești electroni sunt stocați și acumulați într-un mic condensator creat pentru fiecare pixel în procesul de fabricare a chipului. Prin expunerea chip-ului de siliciu la lumină, el captează fotonii generând așa-numiții fotoelectroni care duc la acumularea de sarcină electrică în pixelul respectiv. Citirea informației astfel acumulate în CCD presupune scanarea pixelilor numai câte unul odată. Astfel se citește sarcina acumulată în primul pixel din colțul din dreapta jos a chipului, apoi sarcina de pe linia de jos este mutată un pixel mai la dreapta, al doilea pixel la rand este citit și tot așa, până se termina cu primul rând. La terminarea primului rând, toate sarcinile sunt mutate cu o linie mai jos, linia doi de jos devenind linia unu și fiind citită pixel cu pixel ca mai sus, până la epuizarea liniilor.

În figura. 3.2.2 puteți urmări ce se întâmplă cu radiația în interiorul spectrometrului, de la colimarea inițială, la filtrarea și descompunerea în radiații monocromatice incidente pe CCD, de unde va rezulta un semnal care poate fi interpretat cu software adecvat.



Figura 3.2.1 – Spectrometrul PC 2000, Ocean Optics

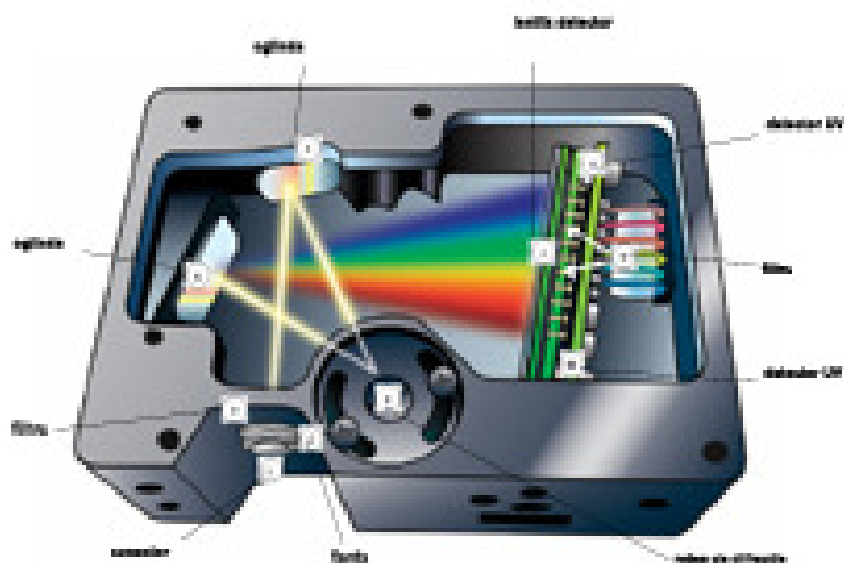


Figura 3.2.2 – Interiorul spectrometrului PC 2000

3.3 Spectre de emisie

Sursele spectrale uzuale sunt Soarele, becurile și tuburile fluorescente, flăcările. În general flacăra are un spectru continuu format dintr-o mulțime de linii și benzi ale moleculelor gazului care arde în flăcăra. Toate sursele care luminează prin incandescență (Soarele, becurile cu incandescență) au spectre asemănătoare cu flacăra, după cum puteți observa în imaginile din figurile 3.3.1 -3.3.2.

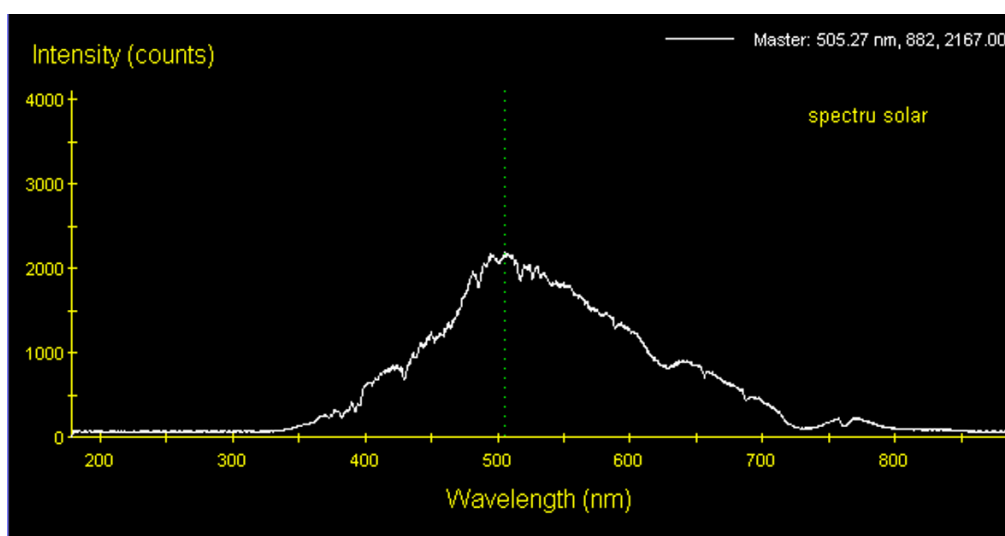


Figura 3.3.1– Spectrul solar



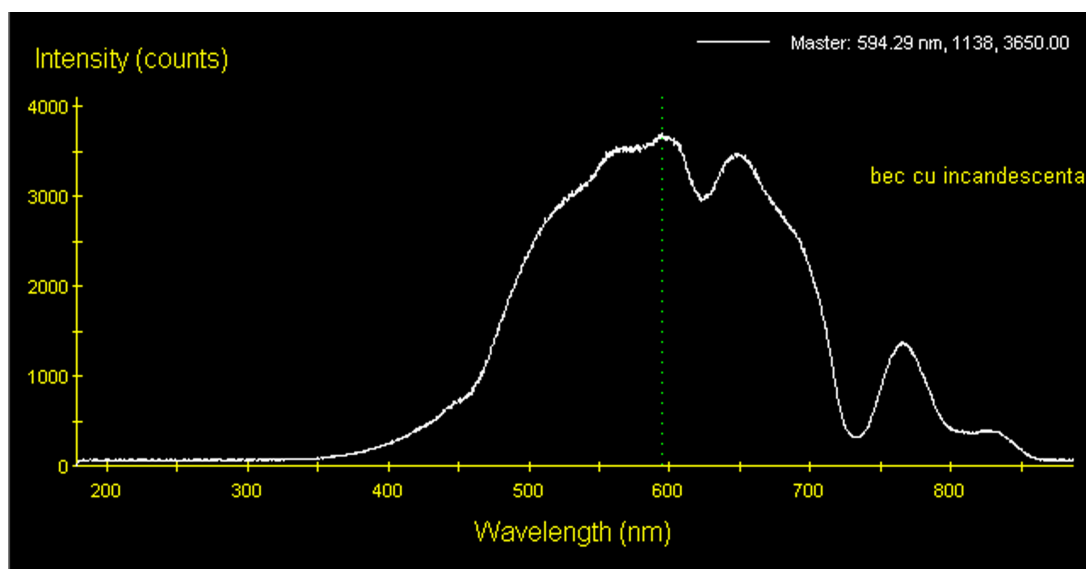


Figura 3.3.2 –Spectrul unui bec cu incandescentă

Dacă radiația provenită de la o sursă care emite spectru continuu, trece printr-un mediu absorbant, în spectrul său vor apărea linii sau benzi întunecate care caracterizează substanța care absoarbe. Curba albă din figura 3.3.3 reprezintă spectrul lămpii spectrale, iar curbele roșu, verde și albastru reprezintă spectrele de absorbție ale filtrelor colorate în roșu, verde și respectiv albastru. Curba gri deschis reprezintă spectrul obținut prin plasarea combinației celor trei filtre în fața sursei.

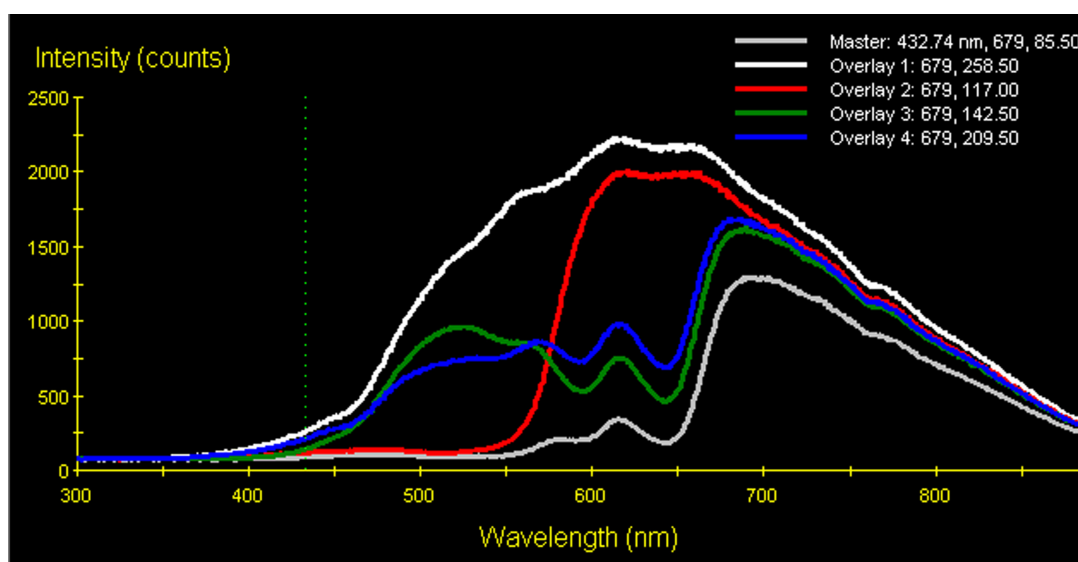


Figura 3.3.3 –Spectrul unei lămpi spectrale la utilizarea diferitor filtre



La introducerea unor particule fine de sare de bucătărie în flăcără, aceasta se colorează în galben, iar spectrul de emisie înregistrat capătă alura albă din figura.3.3.4. Clorura de sodiu disociază din cauza intensificării mișcării de agitație termică în flăcără, ceea ce duce la apariția liniilor spectrale de emisie ale sodiului. *Comparați spectrul înregistrat cu spectrele obținute în mediu virtual! În limita erorilor experimentale, dubletul sodiului apare la 587,78 nm. Teoretic valorile sunt 589 și respectiv 589,6nm.*

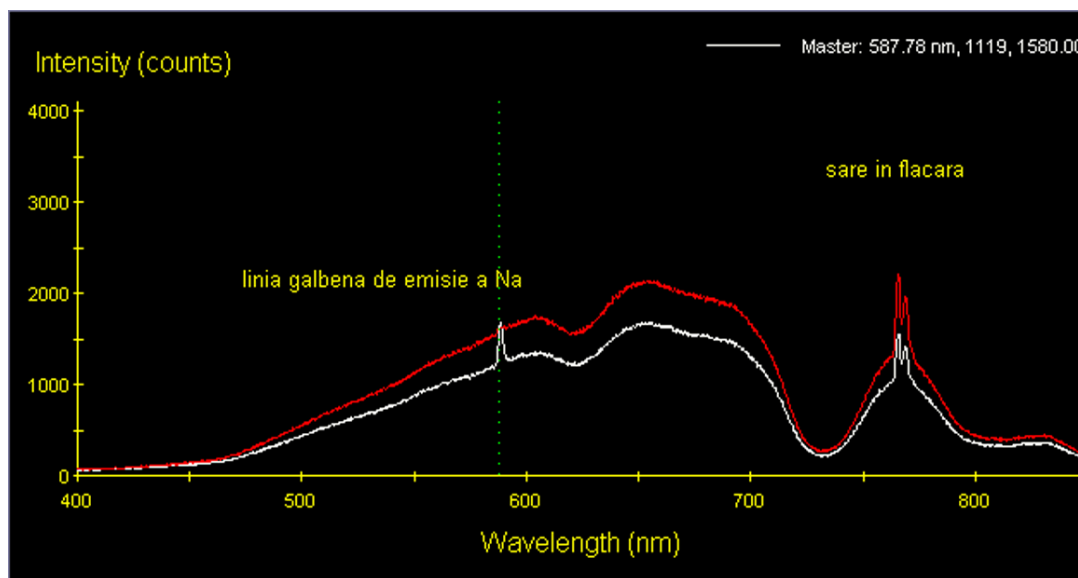


Figura 3.3.4 – Spectrul unei flăcări în care se presară sare de bucătărie

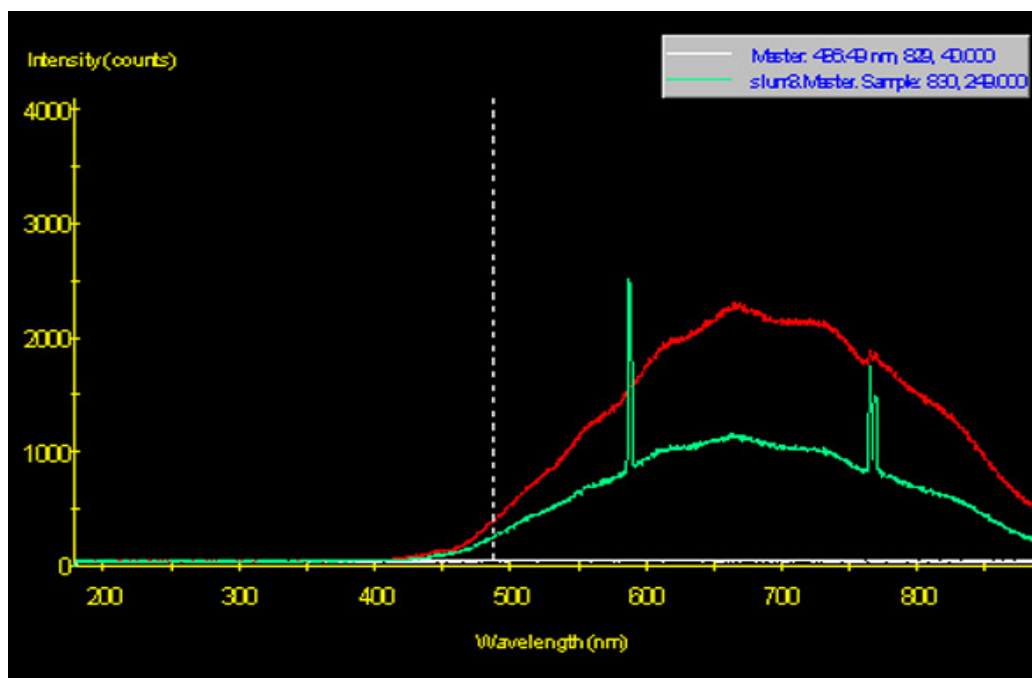


Figura 3.3.5 – Spectrul unei flăcări de lumânare în care se presară sare de bucătărie



Am transferat semnalele obținute în ultima încercare experimentală de acest tip, figura 3.3.5, într-un fișier Excel, pentru a putea să le analizați și să calculați singuri valoarea obținută pentru lungimea de undă a radiației emise de sodiul din sarea de bucătărie. Accesați fișierul [sare_flacara.xls](#) și efectuați următoarele operații:

- ✓ Reprezentați grafic cele două amplitudini ale semnalului, în funcție de lungimea de undă λ exprimată în **nm**, ca serii pe același grafic. Utilizați tipul de grafic XY Scatter!
- ✓ Identificați diferențele dintre spectrul lumânării și cel în care apare sarea de bucătărie.
- ✓ Calculați lungimea de undă a primului pic (vârf de amplitudine obținut). Ea aparține sodiului din sarea de bucătărie!



Găsiți o metodă de identificare a elementului care a generat cel de-al doilea pic din spectrul lumânării care arde sare de bucătărie!

3.4 Spectre de reflexie

Am încercat să surprindem radiația reflectată de către o frunză de ficus iluminată de la o sursă de lumină albă, precum sursa spectrometrului. Se știe că plantele absorb radiații din zonele albastru și respectiv roșu ale domeniului vizibil, pentru a realiza procesul de fotosinteză. Am captat pe rând radiația emisă de sursă și radiația reflectată de către frunza de ficus, apoi am transferat semnalele obținute într-un fișier Excel, pentru a putea să le analizați.

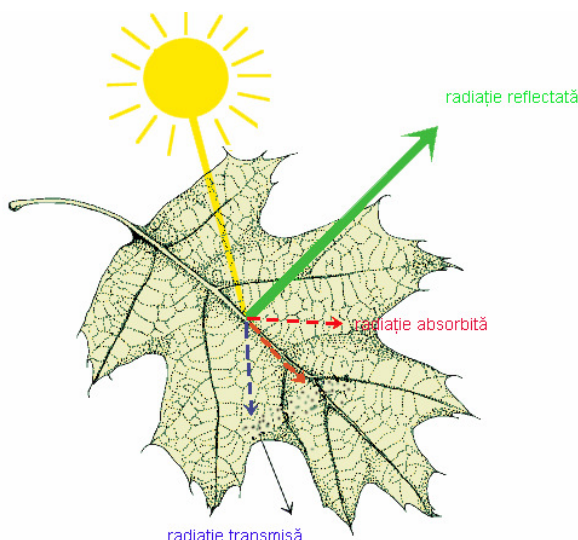


Figura 3.4.1 Frunza și interacțiunea sa cu radiația din vizibil

Accesați fișierul [reflexie_frunza_ficus.xls](#) și efectuați următoarele operații:

- ✓ Reprezentați grafic cele două amplitudini ale semnalului, în funcție de lungimea de undă λ exprimată în **nm**, ca serii pe același grafic. Utilizați tipul de grafic XY Scatter!
- ✓ Analizați semnalele și decideți din ce zone ale spectrului vizibil absorb frunzele verzi ale plantelor.



Care zone ale spectrului vizibil sunt reflectate de către frunzele verzi ale plantelor?



4. Variația intensității luminoase cu distanța față de sursă

Intensitatea luminoasă scade direct proporțional cu pătratul distanței față de sursa de lumină. Vom verifica această lege!



Verificare experimentală utilizând placa de achiziție National Instruments cu senzori adaptați

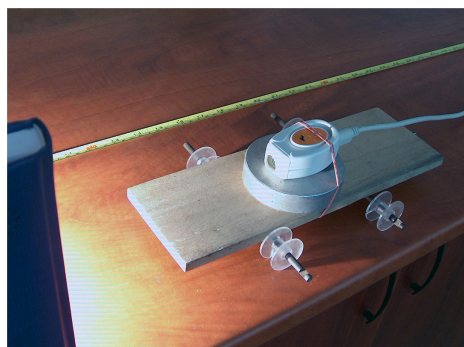


Figura 4.1 -- Montaj experimental pentru studiul dependenței intensității luminoase de distanță

În prima variantă experimentală am utilizat drept sursă un bec puternic de 150 W alimentat la 220 V curent alternativ, iar pentru monitorizarea intensității luminoase în funcție de distanța față de sursă am utilizat un senzor de lumină. Prin îndepărtarea cu viteză constantă a senzorului de lumină față de sursă am obținut semnalul din figura 4.2. Convertorul analog-digital utilizat a fost placa de achiziție NIDAQ 6013, iar software-ul utilizat a fost creat în LabVIEW.

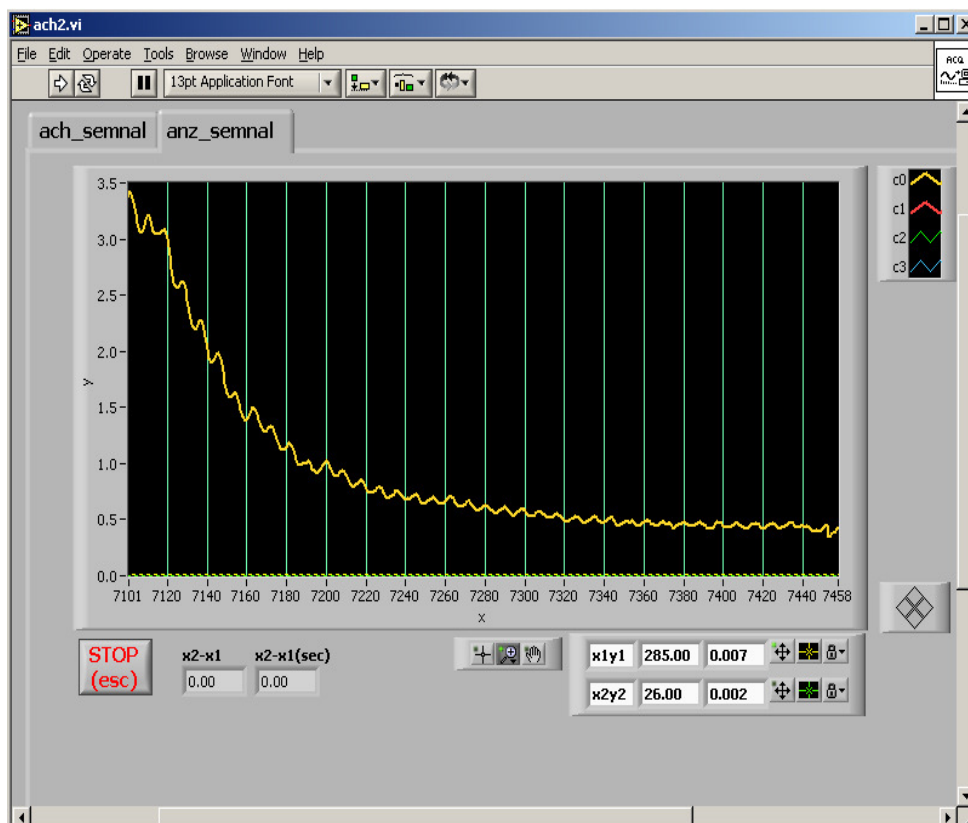


Figura 4.2 —Semnalul înregistrat pentru dependența intensității luminoase de distanță





Explicați apariția undulațiilor (fluctuațiilor) semnalului achiziționat de senzorul de lumină!



4.1 Verificarea experimentală utilizând senzorul de lumină Vernier

În altă variantă experimentală am utilizat un senzor de lumină Vernier pe care l-am fixat pe masă și o lanternă de buzunar alimentată de la două baterii de buzunar, pe care am îndepărtat-o cu viteză aproximativ constantă de senzor. Senzorul de lumină Vernier constă dintr-o fotodiodă de siliciu care generează semnal în tensiune direct proporțional cu intensitatea luminoasă pe fereastra activă.



Figura 4.1.1 – Senzorul de lumină Vernier

Semnalul obținut în experimentul descris poate fi observat în figura 4.1.2.

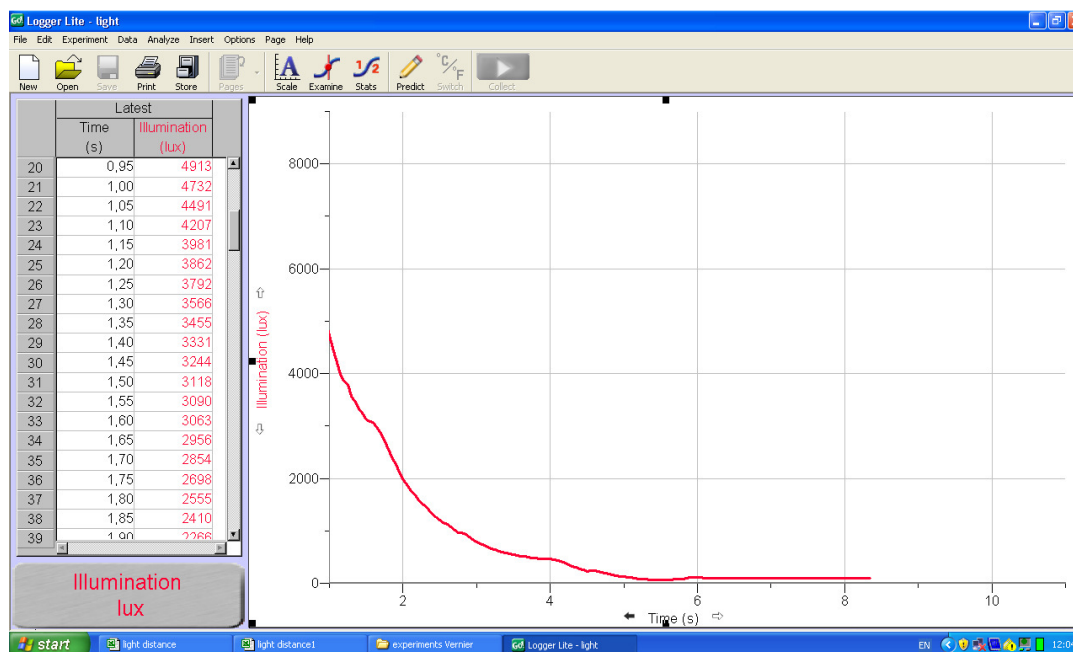


Figura 4.1.2 -- Semnalul înregistrat

Noi am transferat semnalul generat astfel într-un fișier xls pentru ca să îl puteți analiza și interpreta. Accesați acum fișierul [light_distance.xls](#) și efectuați următoarele operații:



Despre lumină

17

- ✓ Reprezentați grafic iluminarea exprimată în **Ix**, în funcție de timpul **t** exprimat în s. Utilizați tipul de grafic XY Scatter!
- ✓ Reprezentați grafic iluminarea exprimată în **Ix**, în funcție de inversul pătratului timpului **t** exprimat în $1/s^2$. Utilizați tipul de grafic XY Scatter!



Argumentați verificarea legii invers proporționalității intensității luminoase cu pătratul distanței în acest experiment!

LabVIEW și NIDAQ – 6013 sunt mărci înregistrate ale companiei National Instruments, SUA.

