

Subiectul I: Natura cuantică a radiației și a electronului ...

Într-un laborator se investighează natura cuantică a radiației și a electronului, prin trei experimente independente.

În primul experiment se studiază o celulă fotoelectrică. Pentru diferite radiații monocromatice, de lungime de undă λ , incidente normal pe catodul metalic al celulei, au fost obținute tensiunile de stopare a fotoelectronilor emiși (vezi Tabelul I.1). Din cauza particularităților constructive ale celulei fotoelectrice, între electrozi poate exista o diferență de potențial intern (potențial de contact) care se manifestă prin modificarea valorilor tensiunilor măsurate cu un termen aditiv constant. Această diferență este independentă de frecvența radiației. S-a constatat că pentru lungimea de undă $\lambda' = 620,00$ nm nu apare curent fotoelectric.

Se consideră:

- valorile tensiunii de stopare măsurate, U_s , sunt afectate de o constantă aditivă, U_c , independentă de lungimea de undă, care deplasează toate valorile măsurate cu aceeași cantitate;
- viteza luminii în vid, $c = 3,00 \cdot 10^8$ m/s;
- sarcina electrică elementară, $e = 1,60 \cdot 10^{-19}$ C;
- masa electronului, $m_e = 9,10 \cdot 10^{-31}$ kg.

Precizare:

Pentru a evita erorile de rotunjire, în calculele intermediare păstrați un număr suficient de zecimale pentru ca numărul scris în formă științifică să aibă cel puțin cinci zecimale. Scriere în formă științifică înseamnă $A \cdot 10^k$, unde k este un număr întreg, iar $A \in [1; 10)$. Numărul de zecimale se referă la A . Rezultatele finale se rotunjesc în acord cu precizia datelor din problemă.

Tabelul I.1 Date experimentale obținute pentru catodul metalic al celulei fotoelectrice

Nr. măsurătorii	λ / nm	U_s / V
1	248,00	2,68
2	275,56	2,18
3	310,00	1,68
4	330,67	1,43
5	354,29	1,18
6	381,54	1,05
7	413,33	0,68
8	442,86	0,48
9	476,92	0,28
10	516,67	0,08

a) Folosind toate datele din Tabelul I.1, să se stabilească variabilele x și y astfel încât dependența teoretică dintre ele să fie liniară și să permită determinarea constantei Planck, iar apoi să se determine constanta Planck printr-o ajustare liniară de forma $y = ax + b$, calculând a și b astfel încât suma: $\sum_{i=1}^N (y_i - ax_i - b)^2$ să fie minimă (unde i reprezintă numărul măsurătorii). Poți folosi faptul că:

$$a = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^N y_i - a \sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

b) Să se calculeze abaterea fiecărei valori experimentale față de dependența liniară obținută la cerința a) și să se identifice eventualele măsurători incompatibile cu modelul fizic, ținând seama că incertitudinea absolută a fiecărei măsurări de tensiune este $\Delta U_0 = \pm 0,02 \text{ V}$, iar apoi să se determine valoarea corectată a constantei Planck.

c) Să se identifice intervalele posibile pentru lucrul mecanic de extracție al metalului și pentru constanta U_c , utilizând rezultatele obținute la cerința b).

În al doilea experiment, electronii accelerați, printr-o diferență de potențial U' , sunt incidenți pe un cristal cu distanța interplanară $d = 2,13 \cdot 10^{-10} \text{ m}$, iar pentru unghiul $\alpha = \pi/6 \text{ rad}$, măsurat între direcția fasciculului incident și planul rețelei cristaline, se observă un maxim de interferență de ordinul I.

d) Să se demonstreze că mișcarea electronilor este nerelativistă și să se determine tensiunea de accelerare, utilizând rezultatele obținute la cerința b).

În ultimul experiment se utilizează radiații cu lungimea de undă $\lambda'' = 2,48 \cdot 10^{-10} \text{ m}$. Un foton din aceste radiații cade pe un electron aproape liber și este împrăștiat sub unghiul $\theta = \pi/2 \text{ rad}$. Sistemul de detecție poate evidenția o variație relativă a lungimii de undă de cel puțin $1,00 \cdot 10^{-4}$.

e) Să se determine lungimea de undă maximă pentru care deplasarea Compton poate fi detectată experimental, utilizând rezultatele obținute la cerința b).

Subiectul II: Fotoni, Rachete, Atomi și Viteza Relativă Relativistă

Un punct material mobil, M, se deplasează, așa cum indică desenul din Figura II.1, de-a lungul axei $O'Y'$, în sensul pozitiv al acesteia, cu viteza $\vec{v}' = \text{constant}$, în raport cu observatorul O' din originea O' a sistemului mobil, S' , iar translația, cu viteza $\vec{v}_0 = \text{constant}$, a sistemului mobil, S' , față de sistemul fix, S , se face de-a lungul axelor comune $O'Y'$ și OY , în sensul pozitiv al acestora, în timp ce axele $O'X'$ și OX sunt paralele și coplanare și cu sensuri identice, iar axele $O'Z'$ și OZ sunt paralele și coplanare și cu sensuri identice.

La momentul inițial originile O și respectiv O' ale celor două SRI au coincis, moment în care cei doi observatori, aflați în cele două origini, coincid, și-au sincronizat ceasornicele proprii, astfel încât indicațiile acestora să fie identice, $t = t' = 0$. După momentul inițial indicațiile celor două ceasornice sunt diferite, și anume $t > t'$.

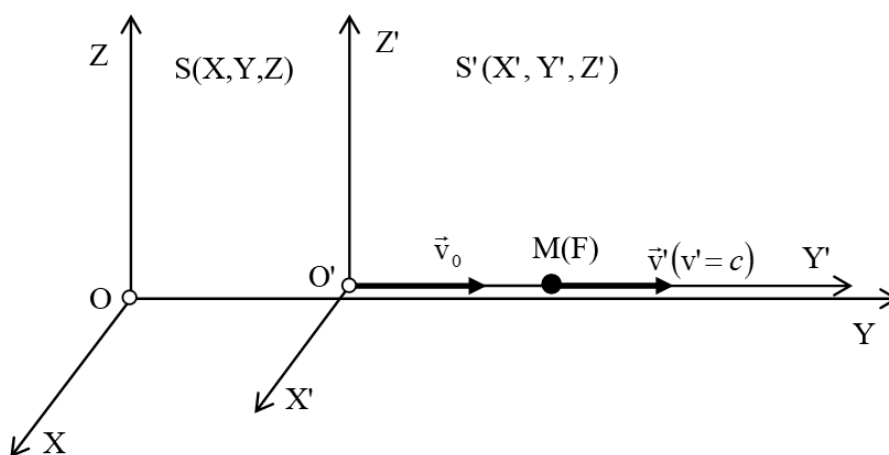


Figura II.1

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

a) Considerând că $v' = c$, adică mobilul M este un Foton, F, a cărei viteză, față de observatorul O' din originea sistemului mobil, S' , este viteza luminii în vid, **să se determine**, utilizând legea de compunere a vitezelor, viteza mobilului M (viteza Fotonului F), v , față de observatorul O din originea sistemului fix, S.

Se cunosc *transformările Lorentz speciale directe*:

$$x = x'; \quad y = \frac{y' + v_0 t'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}}; \quad z = z'; \quad t = \frac{t' + \frac{v_0}{c^2} y'}{\sqrt{1 - \frac{v_0^2}{c^2}}},$$

adică relațiile care permit calculul coordonatelor de poziție, spațiale și temporală, ale unui punct material, M, în raport cu sistemul fix, S, cunoscând coordonatele de poziție, spațiale și temporală, ale aceluiași punct material, M, în raport cu sistemul mobil, S' , aflat în mișcare rectilinie și uniformă, cu viteza \vec{v}_0 , în raport cu sistemul fix, S, așa cum indică desenul din Figura II.1.

b) Considerând că sistemul mobil S' , în care se află observatorul O' , se deplasează, față de observatorul O din originea sistemului fix, S, de-a lungul axei OY, în sensul pozitiv al acesteia, rectiliniu și uniform, cu viteza $v_0 = c$ și că mobilul M, care se deplasează față de observatorul O' din originea sistemului mobil, S' , de-a lungul axei $O'Y'$, în sensul pozitiv al acesteia, este un Foton, F, a cărei viteză față de observatorul O' din originea sistemului S' este $v' = c$, **să se determine**, utilizând legea de compunere a vitezelor, viteza v a Fotonului F față de observatorul O din sistemul fix S.

c) Considerând că sistemul mobil S' este o Rachetă (R), plasată în originea O' a sistemului mobil S' , de-a lungul axei $O'Y'$, Rachetă în care se află observatorul O' și care se deplasează, față de observatorul O din originea sistemului fix, S, așa cum indică desenul din Figura II.2, de-a lungul axei OY, în condițiile precizate, adică rectiliniu și uniform, cu viteza \vec{v}_0 , și că mobilul M, care se deplasează față de observatorul O din originea sistemului fix, S, de-a lungul axei OY, în sensul pozitiv al acesteia, este un Foton, F, a cărei viteză față de observatorul O din originea sistemului fix, S, este \vec{v} , pentru care $v = c$, **să se determine**, utilizând legea de compunere a vitezelor, viteza v' a Fotonului F față de observatorul O' din sistemul mobil S' .

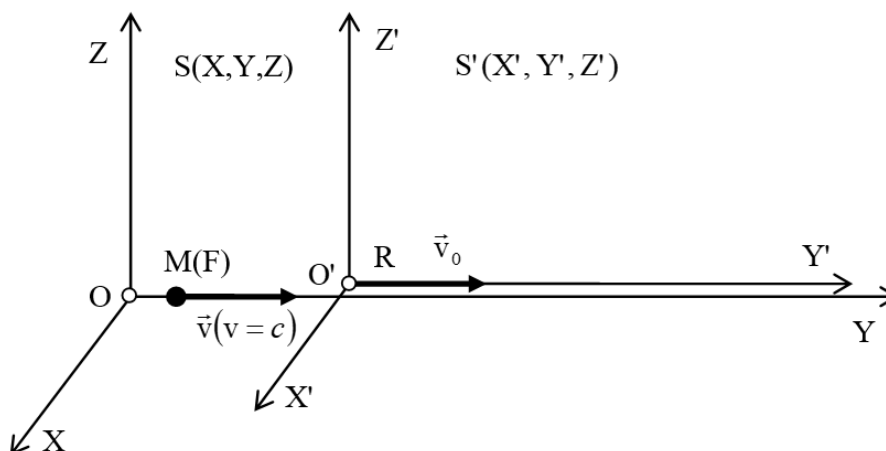


Figura II.2

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

d) Știind că modulul vectorului viteză relativă relativistă, al unui punct material P_2 , în raport cu un punct material P_1 , $\vec{v}_{21,relativist}$, puncte materiale care se deplasează cu vitezele \vec{v}_2 și respectiv \vec{v}_1 , în raport cu sistemul inerțial fix, S, pe două direcții concurente, care formează între ele un unghi α , este dat de expresia:

$$v_{21,relativist} = \frac{\sqrt{(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)^2 - \frac{1}{c^2} (\vec{v}_2 \times \vec{v}_1)^2}}{1 - \frac{\vec{v}_1 \cdot \vec{v}_2}{c^2}},$$

și admițând că cele două puncte materiale considerate, P_1 și respectiv P_2 , sunt doi Fotoni, F_1 și respectiv F_2 , astfel încât $v_1 = v_2 = c$, **să se determine** viteza relativă relativistă, $v_{21,relativist}$, a Fotonului F_2 , în raport cu Fotonul F_1 .

e) Caz particular: Considerând că cele două puncte materiale amintite la cerința d), P_2 și respectiv P_1 , nu sunt doi Fotoni, F_2 și F_1 , ci sunt doi Atomi, A_2 și respectiv A_1 , ale căror viteze, în raport cu sistemul inerțial fix, S, sunt $v_2 \ll c$ și respectiv $v_1 \ll c$, **să se determine** viteza relativă clasică, $v_{21,clasic}$, a atomului A_2 , în raport cu atomul A_1 .

Subiectul III: Efectul Debye-Sears

Fenomenul de difracție a luminii la trecerea prin lichide parcurse de unde ultrasonore a fost confirmat experimental de Debye și Sears în 1932. În dispozitivul experimental a cărui schemă este prezentată în Figura III.1, în lichid se generează unde ultrasonore care se propagă într-o singură direcție; capătul vasului este prevăzut cu un absorbant acustic, astfel încât undele ultrasonore nu sunt reflectate. Ultrasunetele produc variații periodice ale indicelui de refracție al lichidului, prin alternanța zonelor comprimate diferit. Atunci când un fascicul de lumină este trimis prin lichid, perpendicular pe direcția de propagare a ultrasunetelor, lichidul se comportă ca o rețea de difracție care se deplasează cu viteza undelor mecanice. Constanta rețelei de difracție corespunde distanței dintre două zone consecutive de comprimare maximă a lichidului. Datorită vitezei mult mai mici a ultrasunetelor în lichid, în comparație cu viteza luminii, deplasarea „rețelei de difracție” poate fi neglijată.

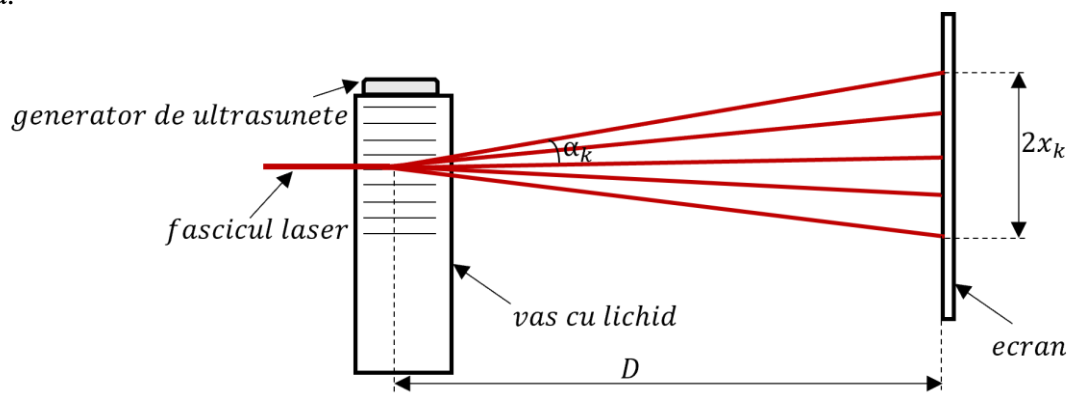


Figura III.1

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

a) Se utilizează dispozitivul anterior pentru a determina viteza de propagare a ultrasunetelor în alcool etilic la temperatura de 20 °C. Lungimea de undă a radiației laser este $\lambda_l = 650$ nm, iar distanța de la rețeaua de difracție la ecran este $D = 105$ cm. Măsurând distanțele $2x_2$ în funcție de frecvența generatorului de ultrasunete s-au obținut valorile din Tabelul III.1.

a1) Dedu relațiile care permit calcularea lungimii de undă și a vitezei ultrasunetelor în funcție de datele cunoscute.

a2) Completează, pe fișa de răspuns, coloanele libere din Tabelul III.1, reprezintă grafic, pe fișa de răspuns, lungimea de undă a ultrasunetelor în lichid (λ_{us}) în funcție de perioada de oscilație a generatorului și, din grafic, determină valoarea vitezei ultrasunetelor.

Tabelul III.1

Nr. det.	ν /MHz	$2x_2$ /cm	$\lambda_{us}/\mu\text{m}$	$T/\mu\text{s}$
1	1,00	0,24		
2	2,00	0,48		
3	3,00	0,73		
4	4,00	0,97		
5	5,00	1,21		
6	6,00	1,45		
7	7,00	1,69		
8	8,00	1,94		
9	9,00	2,19		
10	10,00	2,42		

b) Folosind configurația anterioară vom studia dependența vitezei ultrasunetelor în apă în funcție de parametrii cei mai importanți: salinitate și temperatură. Folosim același laser cu $\lambda_l = 650$ nm, aceeași distanță de la dispozitiv la ecran $D = 105$ cm și generatorul de ultrasunete fixat pe frecvența $\nu = 4,00$ MHz.

b1) Dependența vitezei ultrasunetelor de salinitate. Rezultatele măsurătorilor se găsesc în Tabelul III.2.

Tabelul III.2

Nr. det.	Salinitate (‰)	$2x_2$ /cm	$v_{us}/(\text{m/s})$
1	0	0,738	
2	10	0,731	
3	20	0,725	
4	30	0,719	
5	40	0,713	

Completează, pe fișa de răspuns, coloanele libere din tabel, reprezintă grafic, pe fișa de răspuns, dependența vitezei ultrasunetelor de salinitate și găsește, din grafic, valoarea vitezei ultrasunetelor în apa de ocean care are salinitatea de 35 ‰.

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.



b2) Dependența vitezei ultrasunetelor de temperatură. Rezultatele măsurătorilor se găsesc în Tabelul III.3.

Tabelul III.3

Nr. det.	$t/^{\circ}\text{C}$	$2x_2/\text{cm}$	$v_{us}/(\text{m/s})$
1	15	0,745	
2	20	0,737	
3	25	0,729	
4	30	0,724	
5	35	0,718	

Completează, pe fișa de răspuns, coloanele libere din tabel.

În practică se consideră că în intervalul analizat dependența vitezei ultrasunetelor de temperatură este liniară. Având în vedere acest lucru reprezintă grafic, pe fișa de răspuns, dependența vitezei ultrasunetelor de temperatură și determină, din grafic, variația medie a vitezei care corespunde unei variații a temperaturii cu 1°C .

Subiectele au fost propuse de:

prof. Liviu BLANARIU, CNCE, București - coordonator

prof. dr. Gabriel FLORIAN – Colegiul Național „Carol I”, Craiova, Dolj

prof. dr. Mihail SANDU – Societatea Română de Fizică, Călimănești, Vâlcea

prof. Viorel SOLSCHI, Colegiul Național „Mihai Eminescu”, Satu Mare

1. Fiecare dintre subiectele I, II, respectiv III se rezolvă pe o foaie separată care se secretizează.
2. În cadrul unui subiect, elevul are dreptul să rezolve cerințele în orice ordine.
3. Durata probei este de 3 ore din momentul în care s-a terminat distribuirea subiectelor către elevi.
4. Elevii au dreptul să utilizeze calculatoare de buzunar, dar neprogramabile.
5. Fiecare subiect se punctează de la 0 la 30. Punctajul final reprezintă suma acestora, punctajul maxim fiind de 100 puncte, din care 10 puncte se acordă din oficiu.

SUBIECTUL III

pagina 1 din 2

a2)

Nr. det.	ν/MHz	$2x_2/\text{cm}$	$\lambda_{us}/\mu\text{m}$	$T/\mu\text{s}$
1	1,00	0,24		
2	2,00	0,48		
3	3,00	0,73		
4	4,00	0,97		
5	5,00	1,21		
6	6,00	1,45		
7	7,00	1,69		
8	8,00	1,94		
9	9,00	2,19		
10	10,00	2,42		

