

## PROBLEME DE FIZICĂ ATOMICĂ

1. Puterea emisă de Soare sub formă de radiație luminoasă este aproximativ  $4 \cdot 10^{26}$  W. a) Să se calculeze cu cât scade masa Soarelui pe secundă? b) Știind că lungimea de undă medie a radiației emise este de 550 nm, să se calculeze numărul de fotoni emiși pe secundă.

2. Pe suprafața unui metal de arie  $3 \text{ cm}^2$ , cade o radiație luminoasă care în intervalul de 5 minute transportă energia  $W=20 \text{ J}$ .

a) Determinați presiunea radiației asupra metalului în cazul: i) absorbție totală a luminii, ii) reflexiei totală a luminii.

b) Determinați numărul de fotoni care cad pe unitatea de suprafață și în unitatea de timp, dacă radiația este monocromatică cu  $\lambda=490 \text{ nm}$ .

c) Să se exprime relația care dă presiunea exercitată de radiație în funcție de coeficientul de reflexie,  $r$ , al suprafeței ( $r=\text{intensitatea radiației reflectate}/\text{intensitatea radiației incidente}$ ).

3. Să se calculeze puterea necesară unui fascicul laser ce emite radiații cu  $\lambda=690 \text{ nm}$  ca să permită mișcarea uniformă, în susul unui plan inclinat (de unghi  $30^\circ$ ), a unui obiect paralelipipedic de masă  $10 \text{ g}$ , coeficientul de frecare fiind  $\mu=0,05$ .

4. Iluminând un metal cu  $\lambda=180 \text{ nm}$  rezultă un fotoelectron cu viteza de  $9,1 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ .

a) Cunoscând valorile constantelor  $h$ ,  $m$  și  $c$  să se determine lucrul de extracție din metal și lungimea de undă a pragului fotoelectric corespunzător. Este sau nu necesară o tratare relativistă în acest caz?

b) Calculați masa și impulsul fotonului incident.

5. Într-un experiment pentru verificarea efectului fotoelectric s-au obținut următoarele valori pentru potențialul de stopare:

$\lambda$ (nm)	200	300	400	500
U (V)	4,11	2,05	1,03	0,41

Reprezentați grafic aceste date cu scopul a) de a verifica legea lui Einstein pentru efectul fotoelectric, b) de a deduce din aceste date valoarea constantei lui Planck, cunoscând  $e$  și  $m$ .

6. Atomii de hidrogen sunt bombardați cu electroni. Când tensiunea de accelerare ajunge la  $12,2 \text{ V}$ , atomii încep să emită lumină (fotoni).

a) Care este energia de ionizare a atomului de hidrogen?

b) Poate fi considerat sau nu procesul de mai sus ca un efect fotoelectric?

7. Un foton de energie  $100 \text{ eV}$  este absorbit de un atom de hidrogen în repaus. Ca urmare apare un fotoelectron emis pe aceeași direcție cu fotonul incident. Energia de legătură a electronului în atomul de hidrogen fiind  $13,6 \text{ eV}$  se cere:

a) energia și impulsul electronului emis din atom;

b) energia și impulsul protonului.

**8.** Potențialul de stopare a unor electroni Compton emiși la  $\varphi=0$  față de direcția fotonilor incidenti este de 60 kV. Să se calculeze: a) energia, b) impulsul, c) viteza, d) masa fotonilor incidenti.

**9.** Să se demonstreze că între unghiul  $\phi$  al fotonului împrăștiat și unghiul  $\varphi$  al electronului Compton (de recul) există următoarea relație:

$$\operatorname{ctg} \varphi = \left(1 + \frac{h\nu}{mc^2}\right) \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$$

$\nu$  fiind frecvența radiației incidente.

**10.** Să se arate că dacă energia fotonilor incidenti este mult mai mare ca energia de repaus a electronului ( $h\nu \gg mc^2$ ), atunci energia maximă a electronilor Compton este:

$$E_{\max} = h\nu - \frac{mc^2}{2}$$

**11.** Un fascicul de fotoni monoenergetici, de frecvență  $\nu$ , străbate un strat subțire de substanță.

a) Să se determine spectrul de frecvențe a fotonilor ce rezultă în urma trecerii fotonilor monoenergetici prin strat;

b) Să se gasească expresia raportului între energia fotoelectronilor și energia electronilor Compton ce rezultă în cursul acestei treceri.

**12.** Un fascicul de fotoni monoenergetici traversează un gaz și produc atât fotoelectroni cât și electroni de recul (Compton).

a) Știind că diferența dintre energia fotoelectronilor și a electronilor Compton este de 200 keV, să se determine energia și lungimea de undă a fotonilor incidenti.

b) Cum depinde această diferență de tipul de atomi ai gazului?

**13.** La trecerea printr-un strat subțire de substanță, un fascicul de fotoni monoenergetici suferă procese de interacțiune fotoelectrică și Compton.

a) Să se arate că legea de atenuare a intensității fasciculului este cea exponențială:

$$I(x) = I(0) \cdot e^{-\mu x}$$

unde  $x$  este grosimea stratului străbătut de fascicul, iar  $\mu$  este coeficientul de atenuare corespunzător ;

b) Să se verifice modul în care variază intensitatea fasciculului (fără a recurge la calculul direct al exponențialei) utilizând o expresie (aproximativă) derivată din cea de mai sus și care are un caracter de recurență (metoda diferențelor finite):

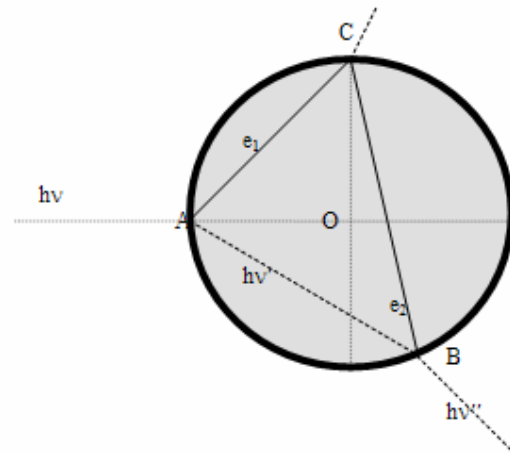
$$I(x_{n+1}) = I(x_n) \cdot (1 - \mu \Delta x)$$

unde  $\Delta x = x_{n+1} - x_n$ , distanța între două plane succesive, transversale pe fascicul, interval constant în care este împărțit întregul strat (în felii);  $n$  număr întreg,  $n \in \left[0, \frac{x}{N}\right]$ , iar  $N$  numărul de felii.

**14.** Într-o cameră cu ceață a fost surprinsă o succesiune de evenimente care se reprezintă în figură. Un foton X a pătruns prin peretele subțire al camerei (punctul A) unde a produs un efect Compton. Electronul de recul produs în A (vizibil în camera cu ceață din cauza ionizării puternice) atinge peretele camerei cilindrice (de rază R) în punctul C. De asemenea se observă traiectoria unui alt electron de recul ce se produce în B (la ieșirea fotonului din cameră) și care atinge tot în C peretele camerei.

Se știe că fasciculul din care a provenit fotonul responsabil de evenimentele observate a fost pe direcția centrului O al camerei și că unghiul ADC este drept.

- Să se descrie calitativ înlănțuirea de fenomene surprinse în cameră;
- Să se determine frecvența (energia) fotonului care a părăsit camera prin punctul C funcție de frecvența (energia) fotonului incident și de raza camerei, R.



**15.** Un foton cu lungimea de undă  $\lambda_0$  interacționează cu un electron aflat în repaus. Fotonul rezultat interacționează cu un proton aflat la mică distanță de electron. Știind că după ciocnire electronul și protonul se mișcă pe direcții paralele și în sensuri opuse și că fotonul final, având lungimea de undă  $\lambda$  se mișcă pe o direcție paralelă cu fotonul incident, să se determine:

- unghiul sub care se mișcă fotonul intermediar;
- lungimea de undă a electronului intermediar;
- unghiul sub care se deplasează protonul.

**16.** De ce se spune că fotonul este întotdeauna relativist pe când electronul la energie mică este nerelativist, iar la energie mare este relativist? Găsiți un criteriu eficient pentru a ști dacă o particulă în mișcare trebuie tratată relativist sau nu.

**17.** Să se afle în ce condiții un electron liber poate prelua în întregime energia unui foton incident.

**18.** Să se demonstreze că un electron liber nu poate emite spontan un foton.

**19.** Să se deducă relația ce dă variația lungimii de undă a unui foton la o împrăștiere Compton, pentru cazul în care electronul împrăștiator este în mișcare.

**20.** Există vreo legătură între efectul fotoelectric și procesul general de ionizare a unui atom prin interacțiune cu un foton?

- 21.** De ce în majoritatea cazurilor efectul fotoelectric poate fi tratat nerelativist pe când cel Compton nu?
- 22.** Poate fi interpretată refracția luminii ca fiind urmarea unui efect Compton pe electronii materialului? Dacă da, explicați fenomenul și încercați să obțineți legile cunoscute pentru refracție.
- 23.** Există vreo legătură între lungimea de undă a fotonului ce produce un efect fotoelectric și lungimea de undă asociată (de Broglie) a electronului produs?
- 24.** Puteți să dați o explicație simplă (un model) pentru lucrul de extracție al electronului din metal în cadrul efectului fotoelectric?
- 25.** Cum depinde energia electronului de recul (în efectul Compton) de numărul atomic  $Z$  al atomului ce a interacționat cu fotonul?
- 26.** Se poate face afirmația: "efectul fotoelectric este un caz limită al efectului Compton, și care corespunde limitei pentru care fotonul împrăștiat Compton are energie nulă" ?
- 27.** Se poate construi o "celulă fotoelectrică" care să funcționeze pe baza efectului Compton? Imaginați dispozitivul și studiați-i proprietățile.
- 28.** Cum depinde (calitativ) energia fotoelectronului scos dintr-o placă de metal de unghiul de incidență a fotonului pe placă? Dar de temperatura plăcii ?
- 29.** Între două plăci ale unui condensator, dintr-un dispozitiv Millikan, aflate la o distanță de 0,5 cm una de alta și puse la o tensiune de 500 V se află în echilibru static o picătură de ulei încărcată cu patru sarcini electrice elementare. Să se calculeze cu cât trebuie să se modifice tensiunea pe plăci pentru a menține picătura în echilibru dacă ea va pierde sau va câștiga o sarcină elementară ?
- 30.** Care va fi lungimea de undă asociată (de Broglie) a unui electron, dintr-un tub electronic, care se mișcă sub influența unei tensiuni de 250 V ?
- 31.** Să se găsească direcțiile maximelor de împrăștiere pentru un fascicul omogen de electroni, cu vitezele de  $1 \cdot 10^7$  m/s incidente normal pe o rețea de difracție de constantă 0,2 nm ?
- 32.** Care vor fi nivelele energetice și razele orbitelor staționare pentru un atom hidrogenoid, cu masa nucleului  $M=200 m_e$  ?
- 33.** Să se compare frecvențele radiațiilor emise de un atom de hidrogen, pentru primele linii din seria Lyman în modelul lui Bohr, cu frecvențele de rotație ale electronilor pe nivelele respective. Discuție.
- 34.** Să se calculeze intensitatea curentului electric echivalent corespunzător mișcării electronului pe a  $n$ -a orbită Bohr precum și inducția câmpului magnetic generat de acest curent în centrul orbitei.

35. Care sunt unghiurile de cuantificare ale unui electron 4f ?
36. Să se calculeze momentul cinetic al unui electron ce se mișcă pe o orbita 3p.
37. Să se calculeze momentul magnetic orbital, în magnetoni Bohr, pentru electronii 2s, 2p și 3p ai atomului de hidrogen.
38. Un atom de hidrogen se găsește în stare fundamentală și absoarbe un foton cu lungimea de undă  $\lambda=102,6$  nm. Să se determine cu cât variază momentul magnetic orbital al atomului.
39. Să se calculeze frecvențele radiațiilor X pentru prima linie spectrală din primele două serii ( $K_{\alpha}$  și  $L_{\alpha}$ ), știind că  $\sigma=1$  și respectiv  $\sigma=7,4$ .
40. Frecvențelor liniilor  $L_{\alpha}$  ale erbiului, wolframului și platinei în spectrul radiațiilor X caracteristice sunt:

	<i>erbiu</i>	<i>wolfram</i>	<i>platina</i>
Z	68	74	78
$\nu(\text{Hz})$	$1.5848 \cdot 10^{18}$	$2.0249 \cdot 10^{18}$	$2.2899 \cdot 10^{18}$

Linia  $L_{\alpha}$  a unui element necunoscut a fost găsită la frecvența de  $1,8170 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$ . Reprezentați grafic dependența  $Z \approx \sqrt{\nu}$  și deduceți de aici Z-ul elementului necunoscut prin interpolare.

41. Pe ce proprietăți ale radiațiilor X se bazează radioscopia și radiografia ?



42. Cât de mare ar trebui să fie masa unei particule de energie  $W=1 \text{ MeV}$  ca să "încapă", conform principiului de nedeterminare, într-o sferă de rază  $R=10^{-13} \text{ cm}$ ?
43. Cum se vor modifica soluțiile ecuației Schrodinger, dacă fundul gropii de potențial cu pereți infiniți se deplasează de la  $U_0=0$  la  $U_0>0$  ?
44. Să se calculeze masa în grame a atomului de mercur.
45. Să se calculeze mărimea forțelor electrostatice și a celor gravitaționale ce se exercită între un proton și un electron care se află la o distanță de  $10^{-10} \text{ m}$  unul de altul (în vid).

**46.** Să se găsească soluția corespunzătoare mișcării (clasice) a unui electron liber ce se găsește sub influența unei unde electromagnetice de pulsație  $\omega$  (se neglijează radiația), dată de relația:

$$E(t) = E_0 \cdot e^{i\omega t}$$

(Problema corespunde în primă aproximație cu cea a absorbției de energie a electronilor liberi din metale alcaline la iradierea cu unde electromagnetice).

**47.** Să se rezolve problema **46.** în cazul unui electron legat (obligat să rămână în jurul unei poziții de echilibru de către o forță cuasielastice de constanta  $k$ ) și a cărui mișcare se face cu "frecare" proporțională cu viteza de mișcare a lui, coeficientul de frecare fiind  $\mu$ .

**48.** Știind că pentru o mișcare oscilatorie armonică de amplitudine  $A$  și pulsație  $\omega$ , energia emisă și deci transportată de către unda electromagnetică, are expresia:

$$\bar{I} = C \cdot A^2 \cdot \omega^4$$

unde  $C$  este o constantă, să se calculeze variația în timp a energiei oscilatorului în cazul  
a) oscilații neîntreținute, b) oscilații întreținute.

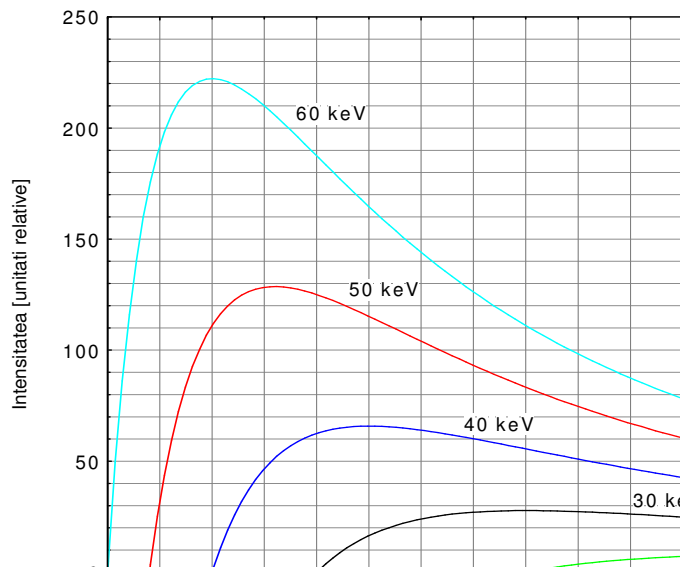
**49.** Să se stabilească formula care descrie distribuția spectrală a radiației emise de către oscilatorul descris în problema **48.** și să se stabilească lărgimea naturală a liniei spectrale (Vezi și *Fizică Atomică* vol.1, de E.V. Spolschi, paragrafele 62-70, cap.5, 1954).

**50.** Care este tensiunea necesară accelerării unui electron care prin frânare să producă radiații de 3 cm lungime de undă (microunde) ?

**51.** "Cavitățile" existente într-un foc de cărbuni par a fi mai strălucitori decât carbunii înșiși. Este temperatura în aceste cavități mai mare decât a porțiunilor neacoperite a cărbunilor ?

**52.** Care este lungimea de undă pentru care radiația unui corp negru la temperatura de 6000 K este pe unitate de lungime de undă cea mai intensă ? Dar dacă ne referim la radiația emisă pe unitate de interval de frecvență ?

**53.** În figură se prezintă spectrul continuu al radiațiilor X produse prin frânarea electronilor de 20, 30, 40 și 50 keV energie. Utilizând aceste date experimentale să se deducă o lege empirică care să exprime dependența maximului spectrului de energie a electronilor frânați.

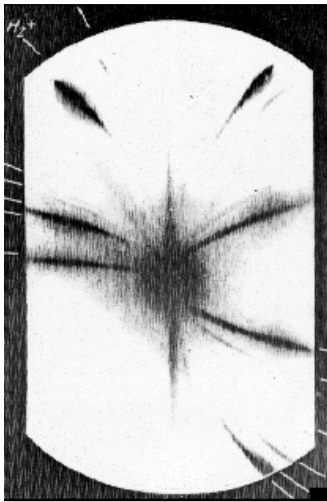


- 54.** Într-o explozie termonucleară, temperatura gazelor poate atinge  $10^7$  K. Determinați lungimea de undă respectivă frecvenței maximului de radiație termică emisă.
- 55.** Determinați maximul frecvenței radiației termice emise de corpul omenesc în ipoteza că radiază ca un corp negru. Ce consecințe puteți trage privind domeniul de sensibilitate al ochiului cunoscând valoarea acestui maxim de radiație ?
- 56.** Știind că temperatura în zona petelor solare este de aproximativ 4000 K (față de celelalte zone în care este aproximativ 6000 K), să se explice de ce apar ca pete întunecate?
- 57.** Spectrul continuu al radiației luminoase emise de Steaua Polară are un maxim situat la  $\lambda=350$  nm. Presupunând că Steaua Polară emite ca un corp negru, să se determine temperatura la suprafața ei.
- 58.** Maximul radiației gazului cosmic se situează la aproximativ 0,1 cm lungime de undă. Să se determine temperatura acestui gaz în ipoteza că emite ca un corp negru.
- 59.** Una din liniile spectrale de mare importanță în astronomie este cea a hidrogenului pe 21 cm lungime de undă. Care este energia fotonului corespunzător?
- 60.** Cum poate fi energia fotonului egală cu  $E = h\nu$  când aceasta implică faptul că lumina este o undă de frecvență  $\nu$  ?
- 61.** Cum este posibil ca lungimea de undă asociată unui electron să fie dată de relația  $\lambda = h/p$  când prezența impulsului  $p$  în formulă indică tocmai că electronul este particulă ?

62. Care ar fi temperatura necesară unei "colecții" de neutroni ca ei să aibă o lungime de undă asociată medie, egală cu 15 cm? Cum s-ar comporta acești neutroni dacă ar fi închiși într-o cutie cubică cu latura 30cm ? Dar într-o cutie cu latura de 5 cm ?

63. Un fascicul de electroni accelerați la 54 V cade pe un monocristal de plumb. Știind că o familie de plane din cristal au distanța interplanară de  $d = 0,91 \text{ \AA}$  să se calculeze unghiul primului maxim de difracție electronică.

64. Sarcina specifică a electronului este de  $e/m = -1,76 \cdot 10^{11} \text{ C/Kg}$ . Dacă se ia în considerare variația masei cu viteza înseamnă că valoarea sarcinii specifice se modifică. Este ea într-adevăr variabilă sau se modifică în aceeași măsură și sarcina electronului astfel încât raportul să rămână constant ? Gândiți-vă la această problemă și în contextul mișcării electronilor pe orbite diferite în atom.



65. Să presupunem ca aveți o imagine pe placă fotografică a parabolilor lui Thomson pentru diferiți ioni formați dintr-o descărcare în gaze (vezi figura). Știind constantele de câmp și cele geometrice, puteți identifica ionii care au produs imaginea ?

Parabolele lui J.J.Thomson

Pata mare centrală este dată de razele nedeviate. În dreapta, parabolele obținute cu un sens al câmpului electric și ambele sensuri ale câmpului magnetic. În stânga arcuri de parabolă obținute cu câmp electric inversat și un singur sens al câmpului magnetic.

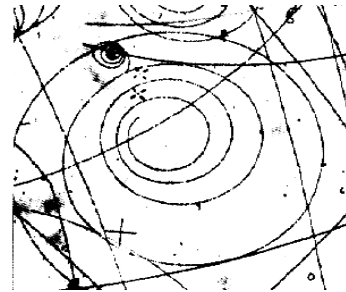
120 În figură se prezintă un eveniment la scară atomică care are ca rezultat apariția a două traiectorii dintr-un singur punct. Să se explice fenomenul și să se arate cum pot fi determinate caracteristicile și parametrii particulelor implicate în procesul prezentat în figură. (fotografie în camera cu ceață, în câmp magnetic omogen, perpendicular pe figură).



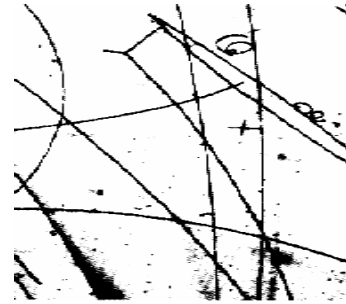
121. Încercați să descrieți cum ar arăta fotografiile traiectoriilor în camera cu ceață a unor particule de natură diferită: electron, proton, pozitron, neutron, particule alfa, foton X, mezon pi, radiație gama, ioni grei (cum ar fi  $C^{+5}$ ), etc.



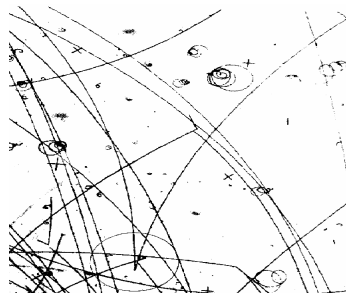
**122** Fotografia prezintă urma în spirală a unei particule într-o cameră cu bule plasată în câmp magnetic omogen. Să se explice calitativ cauzele mișcării în spirală. În fotografie se mai văd și fragmente din alte traiectorii. Care sunt motivele posibile care determină ca aceste traiectorii să aibă raze de curbură și alură diferită una față de alta ?



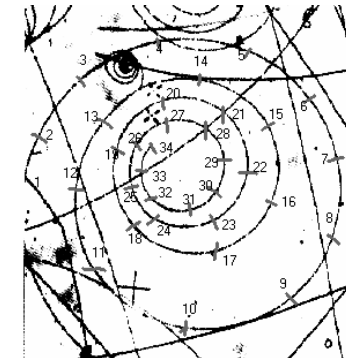
**123.** În figură se prezintă o ciocnire surprinsă pe o fotografie într-o cameră cu bule plasată în câmp magnetic omogen. Să se identifice ciocnirea și să se explice cum anume se pot verifica legile ciocnirii utilizând această imagine. Ce parametrii ar trebui să mai cunoașteți pentru a putea rezolva complet problema ?



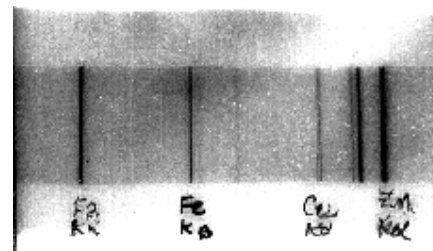
**124.** În figură se prezintă o serie de evenimente la scară atomică care au fost surprinse într-o cameră cu bule. Să se explice natura evenimentului care s-a produs în punctul încercuit. Argumentați răspunsul și explicați cum s-ar putea determina parametrii particulelor observate?



**125.** În imagine se vede fotografia unei urme spirale a unei particule de mare energie ce a pătruns într-o cameră cu bule. Punctele indicate pe traiectorie pot fi folosite pentru a determina energia particulei în diferite porțiuni ale traiectoriei. Să se arate cum se face această determinare și să se argumenteze (calitativ) tipul de particulă care a descris această traiectorie.



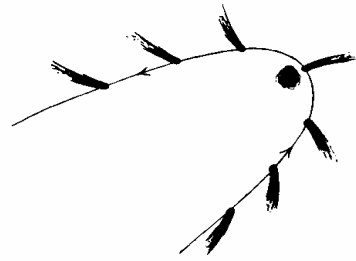
**126.** În fotografie se vede un spectru al radiațiilor X caracteristice produse de un anticatod ce conține elementele indicate (Fe, Cu, Zn). Fotografia a fost realizată pe o placă fotografică de către profesorul H. Hulubei, cu ajutorul unui spectrograf cu cristal curb. Să se verifice legea lui Moseley știind că pentru fotografia prezentată, dispersia este constantă.



Fe(K<sub>α</sub>); Fe(K<sub>β</sub>); Cu(K<sub>α</sub>); Zn(K<sub>α</sub>).

**127.** O cometă este de cele mai multe ori caracterizată printr-o coadă luminoasă, uneori vizibilă și cu ochiul liber. Explicați de ce coada este întotdeauna îndreptată în sens opus Soarelui ?

(Soarele se află în focarul elipsei alungite prezentate în schiță, iar cometa se mișcă pe traiectorie după cum indică sageata)



**128.** În figură se prezintă dependența radiației emise de către o stea, funcție de frecvență. Presupunând că acest spectru de radiație este cel al unui corp negru, să se determine temperatura echivalentă a stelei. (ambele scări sunt logaritmice!)

