



**Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică
Craiova 2016**

S

Analiza datelor

ADS. 1 Pentru identificarea elementelor ce intră în compoziția diferitelor corpuri cerești se folosește metoda spectroscopiei calitative. Metoda constă în compararea spectrului radiației electromagnetice provenite de la un corp ceresc cu spectrul de emisie sau absorbție al unor elemente /substanțe - spectru de referință - obținut în laborator. Prin comparare, se caută linii spectrale din spectrul de referință care corespund liniilor spectrale din spectrul corpului ceresc investigat.

1. Etalonarea spectrului de referință:

În figura Figura 1 este fotografia spectrului de absorbție al unei substanțe martor.

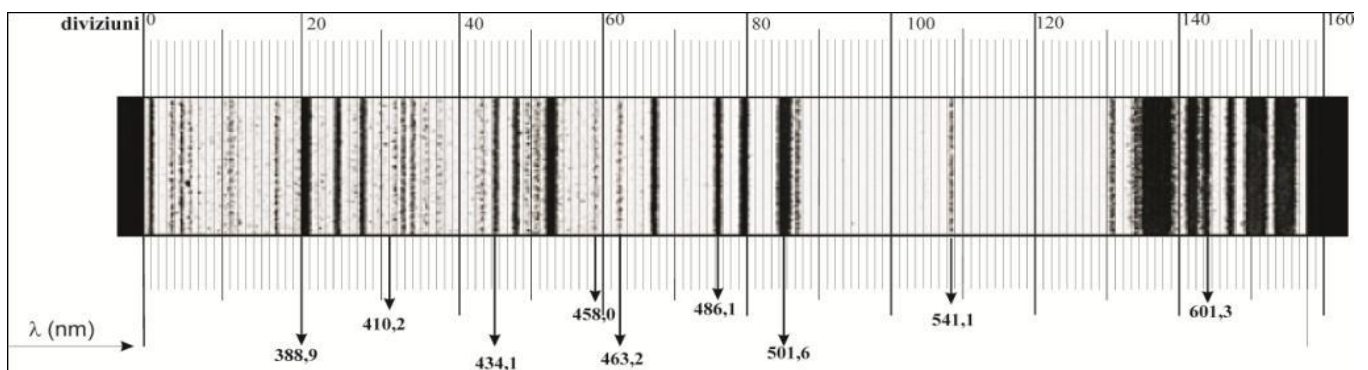


Figura 1

- a. Trasați curba de calibrare $\lambda = f(d)$ a spectrului din Figura 1.
- b. Identificați poziția fiecăreia dintre liniile spectrale ale hidrogenului, respectiv ale heliului din tabelul 1, prezente în spectrul de referință. Rezultatul va fi prezentat sub formă tabelară. Numărul de zecimale pentru valorile distanței **d** va fi conform precizie scalei de măsură – justificare.

element	d – diviziuni	Lungime de undă
---------	---------------	-----------------

Tabel 1

Linia spectrală	λ (nm)	Linia spectrală	λ (nm)
H α	656,3	He	388,9
H β	486,1	He	458,9
H γ	434,0	He	463,2
H δ	410,0	He	541,1
H ζ	396,9		

2. În figura 2 este reprezentat spectrul luminii provenite de la **Quasarul 3C273**. Spectrul a fost prelucrat cu un soft specializat, și a fost etalonat folosind aceeași grilă de măsurare ca și cea folosită pentru analiza spectrului de calibrare.
 - a. Identificați care dintre cele două elemente intră în componența quasarului și determinați lungimile de undă ale liniilor spectrale. Rezultatul va fi dat sub formă tabelară



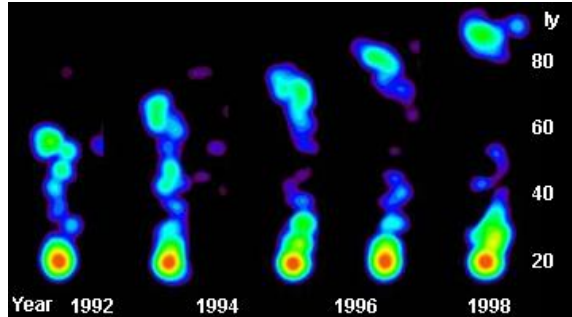
**Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică
Craiova 2016**

S

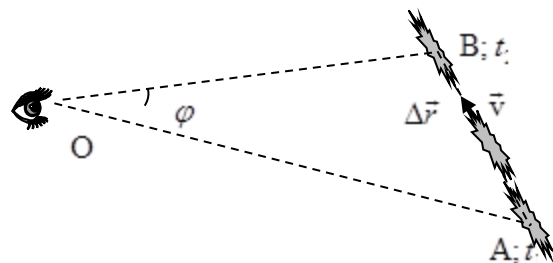
Analiza datelor

- b. Calculați viteza cu care se deplasează quasarul față de observator și indicați sensul de deplasare al acestuia relativ la observatorul de pe Pământ. Justificați răspunsul

ADS. 2 Superluminal motion. Unele radio galaxii, quasari și recent câteva surse galactice denumite microquasari prezintă fenomenul denumit **superluminal motion**. Efectul constă în ejectarea, cu viteză foarte mare, a unor mase de materie incandescentă de către AGN (Activ Galactic Nucleus) – jeturi de materie. Un jet incandescent relativist pleacă din centrul unui nucleu galactic activ, deplasându-se pe direcția AB, cu viteza v așa cum indică desenul din figura alăturată. Viteza aparentă măsurată pe Pământ a jetului este $v_{ap,max} = 3,6 \cdot c$. Observatorul de pe Pământ, vede fascicolul într-un interval de timp dat, sub unghi foarte mic $\phi = 1,5^\circ$



- Explică de ce valoarea aparentă măsurată nu reprezintă o încălcare a principiilor teoriei relativității restrânse.
- Calculează viteza reală a jetului în raport cu observatorul.



ADS. 3 În cursul observațiilor radio a galaxiei Cygnus A, efectuate în banda radio $\Delta\nu = 1\text{Hz}$, radiația cu frecvența $\nu_0 = 10^3\text{ Hz}$ are valoarea măsurată a densității fluxului de radiație $\Phi = 2,18 \cdot 10^{-27} \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Hz}^{-1}$. Factorul de deplasare către roșu are valoarea: $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = 0,170$.

- Care este valoare frecvenței măsurate în raport cu sistemul de referință legat de Cygnus A corespunzătoare radiației observate
- Care este luminozitatea radio per bandă de frecvență la frecvența $\nu_0 = 10^3\text{ Hz}$ dacă distanța până la galaxia Cygnus A este $d = 240\text{ Mpc}$?
- Pentru a calcula luminozitatea radio a lui Cygnus A, trebuie multiplicat rezultatul de la punctul precedent cu lărgimea de bandă a detectorului pe care o presupunem $\Delta\nu' = 10^4\text{ Hz}$. Calculează energia radiată în domeniul radio-frecvențelor de către galaxie.
- Care este masa minimă de hidrogen de care este nevoie pentru ca prin conversie în heliu să se obțină aceeași valoare a luminozității.



Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică Craiova 2016

S

Analiza datelor

ADS. 4 Activitatea solară. Numărul petelor solare care apar într-un anumit interval de timp este o măsură a activității solare. Acest număr se calculează folosindu-se un indicator denumit *numărul lui Wolf*, definit prin relația:

$$R = k(10 \cdot g + f),$$

unde: g – numărul total al grupurilor de pete vizibile pe discul solar; f – numărul total de pete (atât izolate cât și cuprinse în grupuri); k – coeficient ales astfel încât să unifice toate măsurătorile de la diferiți observatori. Se constată că există o anumită periodicitate (denumită ciclu) a acestei activități, exprimabilă prin variația numărului de pete (medie pe o săptămână, pe o lună sau pe un an) în timp, așa cum se poate vedea în graficele din figurile alăturate. Datele au fost mediate pentru a putea urmări mai ușor variația semnificativă în timp.

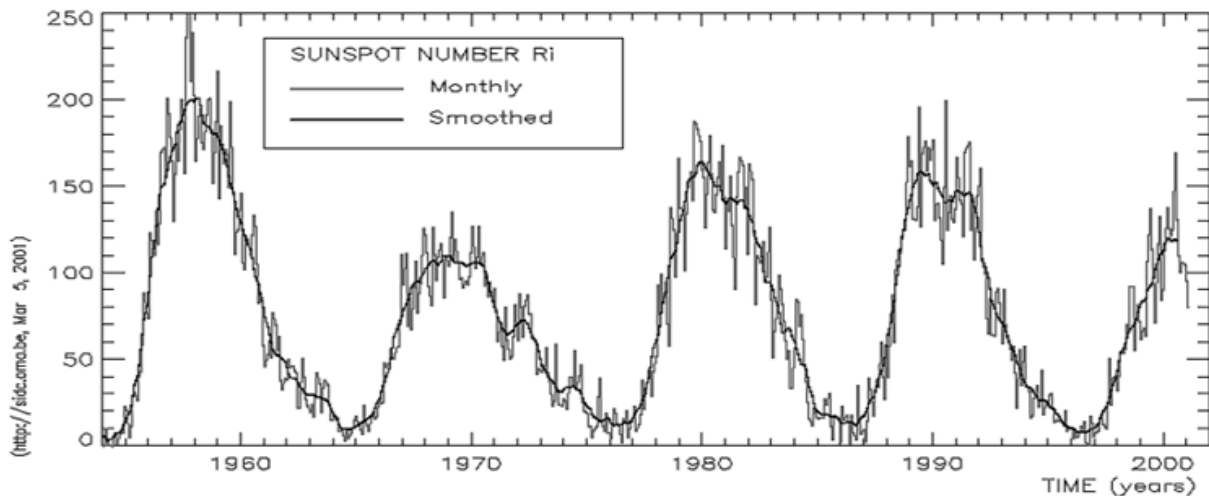


Fig.

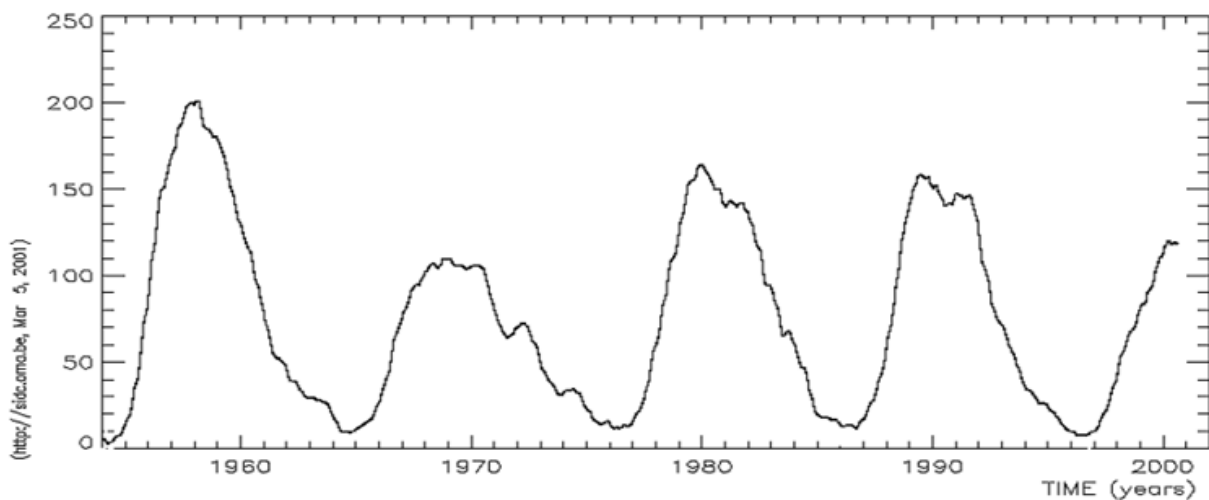


Fig.



Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică
Craiova 2016

S

Analiza datelor

- a) *Să se localizeze* momentele de timp cu maxime de activitate solară, indicând trei surse de erori în determinarea acestora.
- b) *Să se calculeze* intervalul de timp de revenire a maximului numărului de pete (periodicitatea activității solare). *Să se precizeze* modalitatea prin care se identifică maximul unui ciclu de activitate, *argumentând* alegerea.
- c) *Să se estimeze* valoarea medie a temperaturii suprafeței Soarelui, dacă valoarea medie a temperaturii suprafeței Pământului este $t_p = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, iar raza Soarelui reprezintă aproximativ $\eta = 0,00464$ din distanța medie Soare – Pământ, $R_S = \eta d_{S-P}$.
- d) *Să se calculeze* lungimile de undă ale radiațiilor emise de Soare, asociate temperaturilor următoarelor regiuni ale Soarelui: 1 – petele solare ($T = 4.500 \text{ K}$); 2 – fotosfera ($T = 6.000 \text{ K}$). Se cunosc: constanta lui Planck, $k = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$; constanta lui Boltzmann, $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$; viteza luminii în vid, $c = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

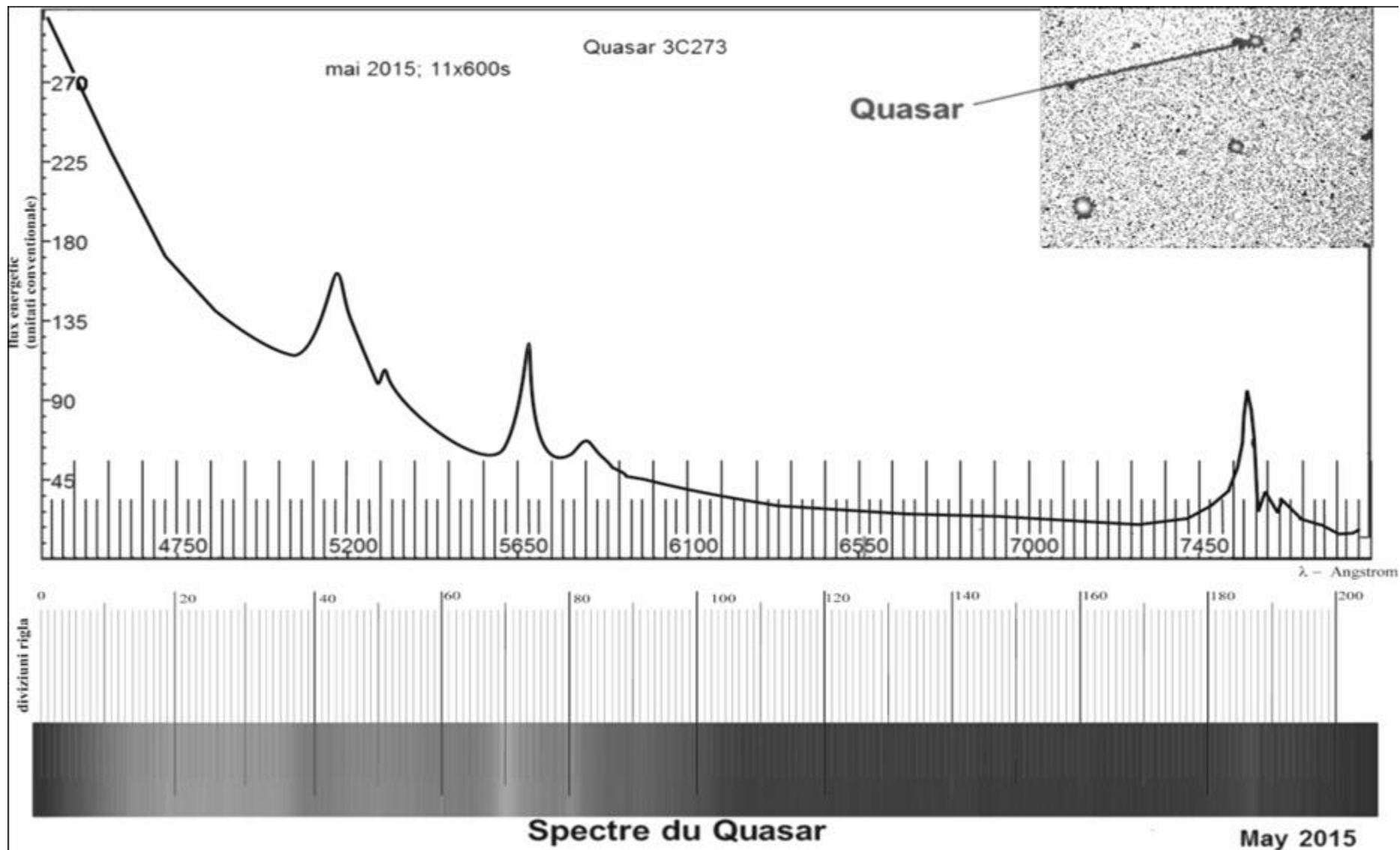


Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică
Craiova 2016

S

Analiza datelor

ADS 1 Figura 2





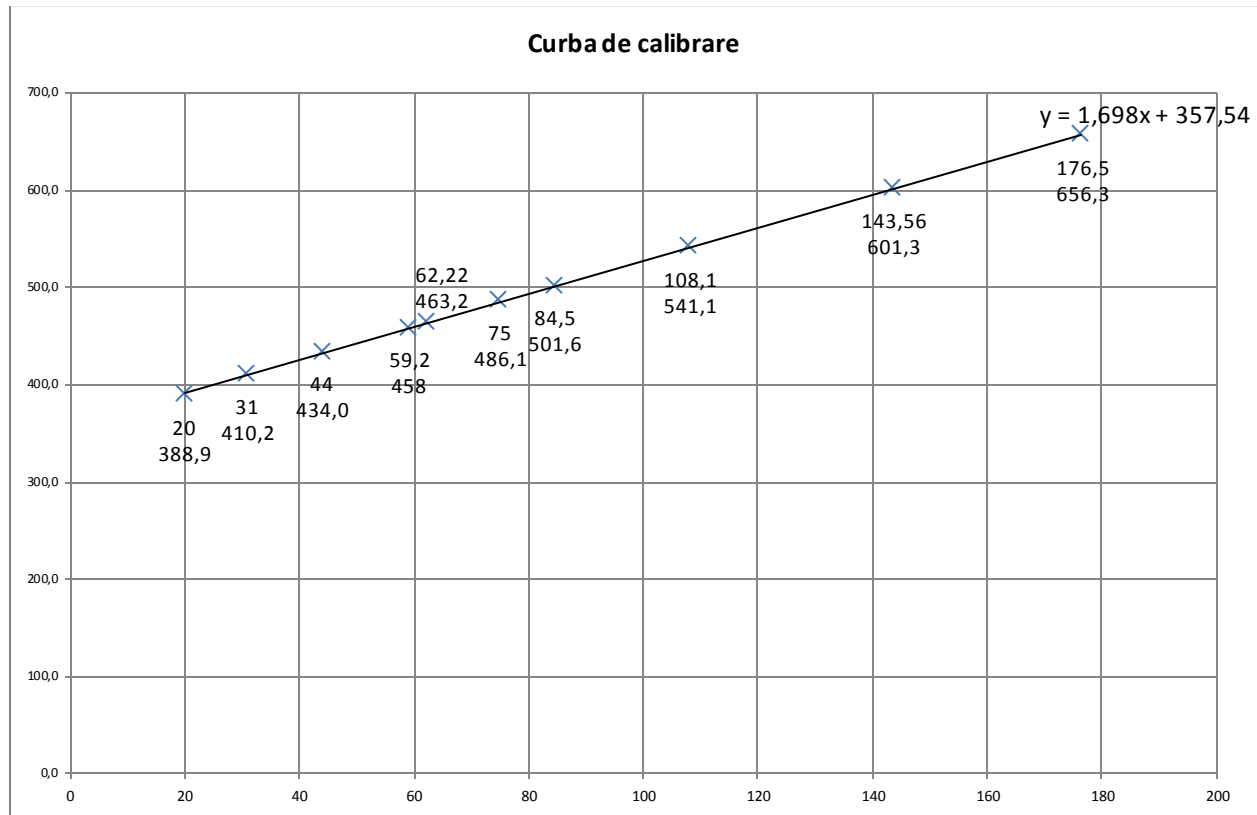
Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică Craiova 2016

Analiza datelor

Rezolvare:

1a Curba de calibrare

2,5 p



Curba de calibrare este o dreaptă având ecuația $y = 1,698x + 357,54$

1b. Pe curba de calibrare se identifică următoarele linii

2,5 p

	d - diviziuni	λ_0 - nm
He	20,0	388,9
H δ	31,0	410,2
H γ	44,0	434,0
HE	59,0	458
He	62,0	463,2
H β	75,0	486,1
	84,5	501,6
HE	108,0	541,1
	143,5	601,3



Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică Craiova 2016

Analiza datelor

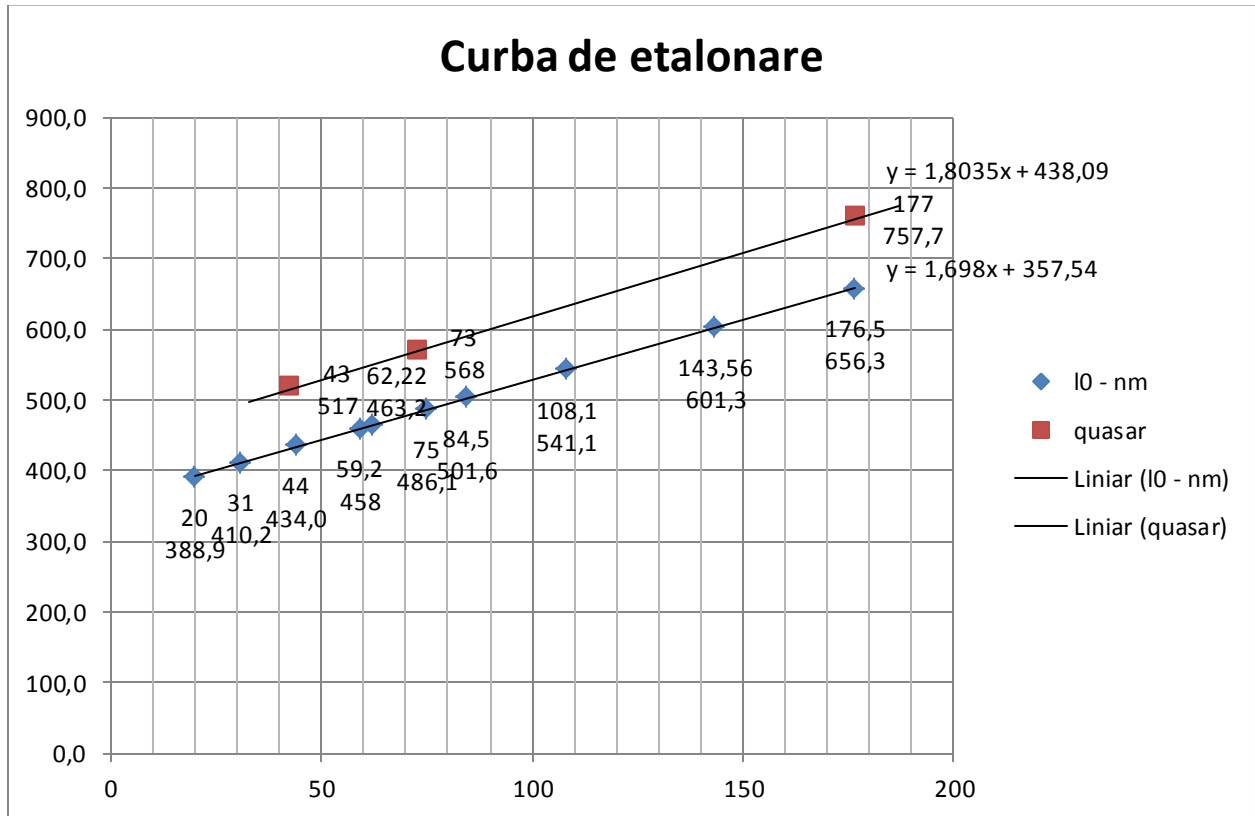
$H\alpha$ | 176,5 | 656,3

Pentru d numărul de zecimale este 1. putând fi estimată jumătate din diviziune

2.a Spectrul quasarului 2,5 p

Pentru identificarea liniilor se reprezintă pe graficul de calibrare $\lambda = f(d)$

Se observă că cele trei linii spectrale sunt aproximativ la aceeași poziție pe grafic cu trei linii ale hidrogenului din graficul de calibrare. Cele trei puncte sunt pe aceeași dreaptă deplasată către roșu, deci quasarul se depărtează cu viteza calculată în tabel



2b. 2,5 p

	d	λ - nm	$\Delta\lambda$	$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0}$	$v = c \cdot z$ Km/s	v mediu
$H\gamma$	43	517,0	83,0	0,191244	57373,27	51423,06
$H\beta$	73	568,0	81,9	0,168484	50545,16	
$H\alpha$	177	757,7	101,4	0,154503	46350,75	

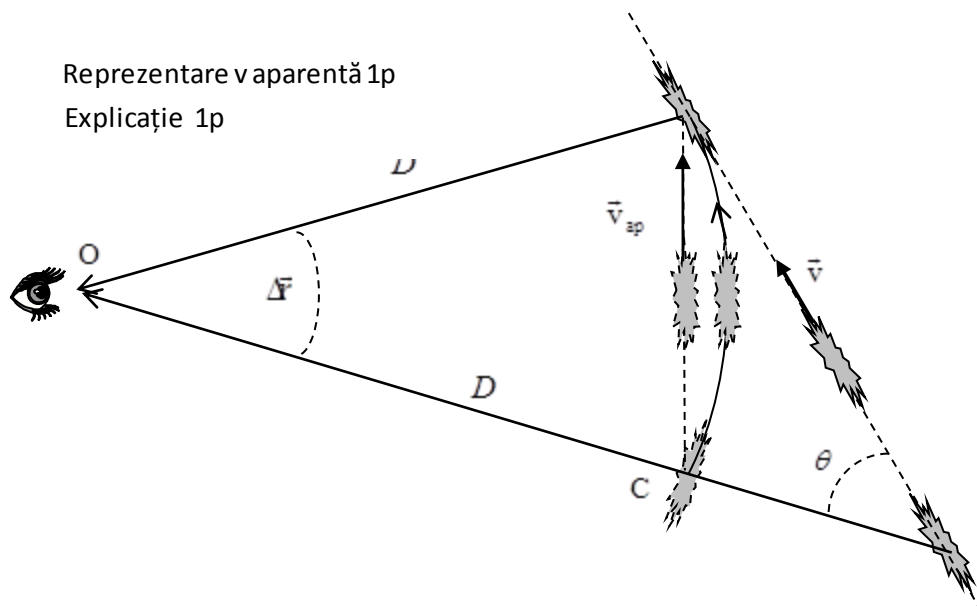


**Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică
Craiova 2016**

Analiza datelor

ADS 2.

a. Un jet incandescent relativist pleacă din centrul unui nucleu galactic activ, deplasându-se pe direcția AB, cu viteza v așa cum indică desenul din figura alăturată. Să admitem că la momentul t_1 o rază de lumină părăsește jetul în punctul A și o altă rază de lumină părăsește jetul la momentul t_2 în punctul B, astfel încât:



$$\Delta t = t_2 - t_1;$$

$$AB = \Delta r = v \Delta t.$$

Observatorul din punctul O nu poate aprecia mișcarea reală a jetului. El apreciază mișcarea aparentă a jetului, în proiecție pe sfera cerească, de-a lungul arcului de cerc CB.

b. Dacă unghiul φ este foarte mic, atunci $BC \approx \perp AC$, astfel încât:

$$BC = AB \cdot \sin \theta = v \cdot \Delta t \cdot \sin \theta;$$

$$AC = AB \cdot \cos \theta = v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta; \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 0,5 \text{ p}$$

$$BC \approx D \cdot \varphi;$$

$$BC = v \cdot \Delta t \cdot \sin \theta = D \cdot \varphi = CB. \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 0,5 \text{ p}$$

La observatorul din punctul O, cele două semnale luminoase ajung la momentele τ_1 și respectiv τ_2 , astfel încât:



Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică Craiova 2016

Analiza datelor

$$\tau_1 = t_1 + \frac{AO}{c} = t_1 + \frac{AC+CO}{c} = t_1 + \frac{v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta + D}{c};$$

$$\tau_2 = t_2 + \frac{BO}{c} = t_2 + \frac{D}{c};$$

$$\Delta \tau = \tau_2 - \tau_1 = \Delta t - \frac{v \cdot \Delta t \cdot \cos \theta}{c};$$

$$\Delta \tau = \left(1 - \frac{v}{c} \cos \theta\right) \Delta t; \quad \beta = \frac{v}{c};$$

$$\Delta \tau = (1 - \beta \cos \theta) \Delta t;$$

$$\Delta t = \frac{\Delta \tau}{1 - \beta \cos \theta} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 2 \text{ p}$$

Observatorul nu poate aprecia mișcarea reală a jetului. În proiecție pe sfera cerească, observatorul apreciază mișcarea aparentă a jetului pe direcția BC, cu viteza transversală:

$$v_{\text{ap}} = \frac{BC}{\Delta \tau} = \frac{D \cdot \varphi}{\Delta \tau} = \frac{v \cdot \Delta t \cdot \sin \theta}{\Delta \tau} = \frac{v \cdot \Delta t \cdot \sin \theta}{(1 - \beta \cos \theta) \Delta t};$$

$$v_{\text{ap}} = \frac{v \cdot \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta}; \quad \beta_{\text{ap}} = \frac{v_{\text{ap}}}{c}; \quad v_{\text{ap}} = \beta_{\text{ap}} \cdot c;$$

$$\frac{v \cdot \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta} = \beta_{\text{ap}} \cdot c; \quad \beta_{\text{ap}} = \frac{v \cdot \sin \theta}{c(1 - \beta \cos \theta)}; \quad \beta = \frac{v}{c};$$

$$\beta_{\text{ap}} = \frac{\beta \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta} = f(\theta), \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 3 \text{ p}$$

astfel încât, impunând condiția de maxim pentru această funcție, rezultă:

$$\frac{d\beta_{\text{ap}}}{d\theta} = \frac{d}{d\theta} \left(\frac{\beta \sin \theta}{1 - \beta \cos \theta} \right) = 0;$$

$$\frac{\beta \cos \theta}{1 - \beta \cos \theta} - \frac{(\beta \sin \theta)^2}{(1 - \beta \cos \theta)^2} = 0;$$

$$\beta \cos \theta (1 - \beta \cos \theta)^2 = (1 - \beta \cos \theta) (\beta \sin \theta)^2;$$

$$\cos \theta (1 - \beta \cos \theta) = \beta \sin^2 \theta;$$

$$\cos \theta = \beta, \quad \underline{\hspace{10em}} \quad 1 \text{ p}$$

astfel încât:

$$\beta_{\text{ap,max}} = \frac{\beta \sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \beta^2} = \frac{\beta}{\sqrt{1 - \beta^2}};$$



**Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică
Craiova 2016**

Analiza datelor

$$v_{\text{ap,max}} = c\beta_{\text{ap,max}} = \frac{c\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}; v_{\text{ap,max}} = \frac{c \frac{v}{c}}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}};$$

$$v = \frac{v_{\text{ap,max}}}{\sqrt{1+\frac{v_{\text{ap,max}}^2}{c^2}}}; v_{\text{ap,max}} = 3,6 \cdot c; v \approx 0,96 \cdot c, \quad \underline{\hspace{10em}} \quad \text{1 p}$$

reprezentând viteza reală a jetului incandescent relativist.

ADS 3 Rezolvare

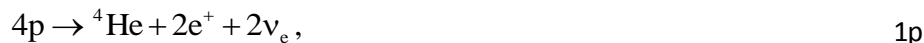
a. $z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0}}{\frac{1}{v_0}} = 0,170$ 2 p

$v_0 = v \cdot (z+1) = 1,17 \cdot 10^3 \text{ MHz}$ _____

b. $\delta L = 4 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \Phi$ 1p
 $\delta L = 1,51 \cdot 10^{28} \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{Hz}}$ 1p
_____ 2 p

c. $L = \delta L \cdot \Delta v$ 1p
 $L = 1,51 \cdot 10^{32} \text{ W}$ 1p
_____ 2 p

d. Reacția de transformare H în He este:



Energia degajată fiind $w_1 = 26,73 \text{ Mev}$

Energia degajată per atom de H

$w_H = \frac{w_1}{4} = \frac{26,73 \cdot 10^6 \text{ eV}}{4} \cdot 1,60^{-19} \text{ J/eV} = 1,07 \cdot 10^{-12} \text{ J / atom de H}$ 1p

Rata de combinare a atomilor de H va fi:

$\frac{L}{w_H} = \frac{1,51 \cdot 10^{32} \text{ W}}{1,07 \cdot 10^{-12} \text{ J / (H)}} = 1,41 \cdot 10^{40} \frac{\text{atomi H}}{\text{s}}$ 1p

$m_{\text{minim/s}} = 1,41 \cdot 10^{40} \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} = 2,35 \cdot 10^{13} \text{ Kg / s}$ 1p



Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică Craiova 2016

Analiza datelor

ADS 4

a) maximele activității Soarelui se pot localiza, așa cum indică desenul din figura alăturată, în anii: 1958; 1969,5; 1980; 1990; 2001.

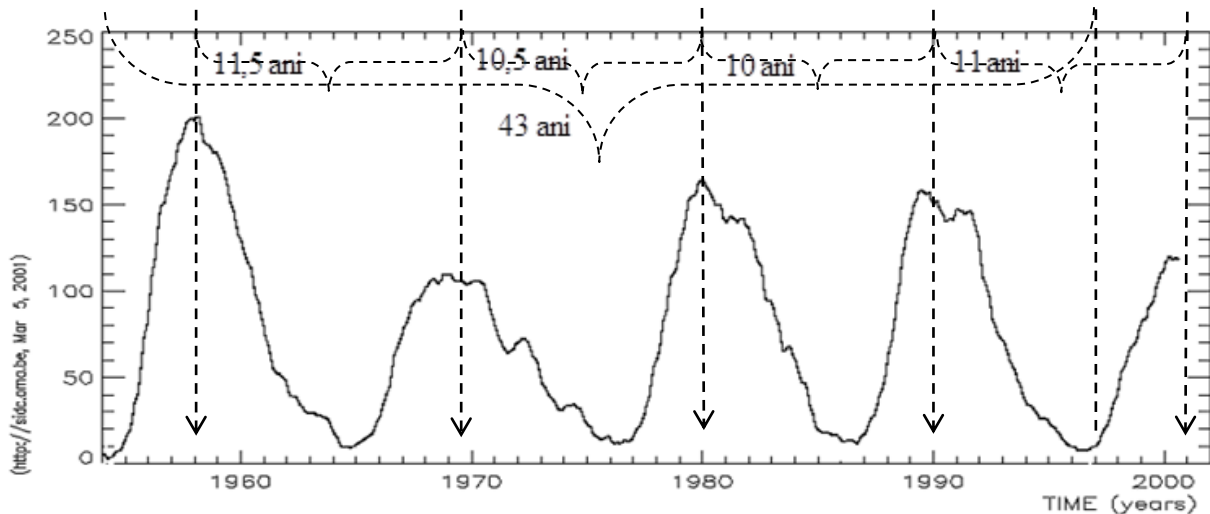


Fig.

1p b) Din desen rezultă:

- intervalele de timp după care Soarele revine la activitatea maximă;

$$T_1 = 11,5 \text{ ani}; T_2 = 10,5 \text{ ani}; T_3 = 10 \text{ ani}; T_4 = 11 \text{ ani};$$

- pe durata a 43 de ani se succed 4 cicluri de activitate, astfel încât durata unui ciclu este:

$$T = \frac{43}{4} \text{ ani} = 10,75 \text{ ani} \approx 11 \text{ ani};$$

$$T = \frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{4} = \frac{11,5 \text{ ani} + 10,5 \text{ ani} + 10 \text{ ani} + 11 \text{ ani}}{4} = 10,75 \text{ ani} \approx 11 \text{ ani}.$$

1p Erorile sunt numeroase, deoarece datele (așa cum se văd pe grafic) fluctuează puternic. Maximele (vârfulurile graficului) nu sunt simetrice, adică panta din dreapta și panta din stânga ale unui maxim (vârf), nu sunt simetrice. De asemenea, maximele pot fi "despicate" ceea ce crează dificultăți în a poziționa maximul. Este necesar să se stabilească ce se înțelege printr-un maxim: vârful graficului; mijlocul ariei pe care o subîntinde vârful graficului; axa de simetrie a vârfului graficului.

c) Corespunzător temperaturii suprafeței sale exterioare, energia (căldura) eliberată de un corp, în unitatea de timp, prin unitatea de arie a suprafeței sale, este direct proporțională cu puterea a patra a temperaturii absolute a suprafeței corpului (legea lui Stefan – Boltzmann):

$$q = \frac{Q}{tS} = \sigma T^4,$$

unde σ este o constantă de proporționalitate (constanta lui Stefan – Boltzmann), aceeași pentru orice corp.



Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică Craiova 2016

Analiza datelor

În aceste condiții, pentru energiile eliberate de Soare și respectiv de Pământ, în unitatea de timp, prin unitatea de arie a suprafeței fiecăruia, avem:

$$q_{\text{Soare}} = \sigma T_{\text{Soare}}^4 = \frac{Q_{\text{emis de Soare}}}{t S_{\text{Soare}}};$$

0,5p

$$q_{\text{Pământ}} = \sigma T_{\text{Pământ}}^4 = \frac{Q_{\text{emis de Pământ}}}{t S_{\text{Pământ}}};$$

$$0,5p \quad w_{\text{Soare}} = \frac{Q_{\text{emis de Soare}}}{t} = \sigma T_{\text{Soare}}^4 S_{\text{Soare}} = \sigma T_{\text{Soare}}^4 4\pi R_{\text{Soare}}^2;$$

$$0,5p \quad w_{\text{Pământ}} = \frac{Q_{\text{emis de Pământ}}}{t} = \sigma T_{\text{Pământ}}^4 S_{\text{Pământ}} = \sigma T_{\text{Pământ}}^4 4\pi R_{\text{Pământ}}^2.$$

Din fericire, pentru noi, nu toată energia emisă de Soare este absorbită de Pământ. Putem considera că procentul p al energiei absorbite de Pământ, în unitatea de timp, din energia emisă de Soare, în unitatea de timp:

$$0,5p \quad \frac{Q_{\text{absorbit de Pământ}}}{t} = p \frac{Q_{\text{emis de Soare}}}{t},$$

este aproximativ egal cu procentul pe care îl reprezintă aria din suprafața Pământului, la distanța razei orbitei sale, din aria suprafeței sferice cu raza egală cu raza orbitei Pământului:

$$0,5p \quad \pi R_{\text{Pământ}}^2 \approx p 4\pi d_{\text{Soare-Pământ}}^2.$$

Rezultă:

$$0,5p \quad \frac{\frac{Q_{\text{absorbit de Pământ}}}{t}}{\frac{Q_{\text{emis de Soare}}}{t}} = \frac{\pi R_{\text{Pământ}}^2}{4\pi d_{\text{Soare-Pământ}}^2}.$$

Având în vedere formula bilanțului energetic al Pământului:

$$0,5p \quad \frac{Q_{\text{absorbit de Pământ}}}{t} = \frac{Q_{\text{emis de Pământ}}}{t},$$

obținem:

$$0,5p \quad \frac{\frac{Q_{\text{emis de Pământ}}}{t}}{\frac{Q_{\text{emis de Soare}}}{t}} = \frac{\pi R_{\text{Pământ}}^2}{4\pi d_{\text{Soare-Pământ}}^2} = \frac{\sigma T_{\text{Pământ}}^4 4\pi R_{\text{Pământ}}^2}{\sigma T_{\text{Soare}}^4 4\pi R_{\text{Soare}}^2};$$

$$0,5p \quad \left(\frac{T_{\text{Pământ}}}{T_{\text{Soare}}}\right)^4 = \frac{R_{\text{Soare}}^2}{4d_{\text{Soare-Pământ}}^2}; R_{\text{Soare}} = \eta d_{\text{Soare-Pământ}};$$

$$0,5p \quad \left(\frac{T_{\text{Pământ}}}{T_{\text{Soare}}}\right)^4 = \frac{\eta^2}{4}; T_{\text{Soare}} = T_{\text{Pământ}} \sqrt[4]{\frac{2}{\eta}} \approx 6.083 \text{ K}.$$



Olimpiada Națională de Astronomie și Astrofizică Craiova 2016

Analiza datelor

$$d) \varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = k_B T;$$

2 p

$$\lambda = \frac{hc}{k_B T};$$

$$\lambda_1 = 3,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}; \quad \lambda_2 = 2,4 \cdot 10^{-6} \text{ m}.$$