

CAPITOLUL 6 - REZULTATE

6.1. PREGĂTIREA OBSERVAȚILOR

6.1.1. Catalogul PPM pentru determinarea orientării

După cum s-a văzut în par. 5.2.2.1, determinarea orientării camerei față de planul fundamental poate fi făcută prin utilizarea unei perechi de stele PPM aflată în vecinătatea obiectului studiat. Pentru a folosi această metodă, trebuie să dispunem de un catalog de stele PPM cu separații suficient de mici pentru a fi vizibile simultan în câmpul camerei.

Folosind valoarea de 5' pentru separația maximă, am rezolvat această problemă pentru $\delta \in [-30^\circ, 90^\circ]$ și am găsit un număr de perechi surprinzător de mare. Un rezultat similar a fost obținut, selectând lista obținută, la valoarea maximă a separației de 4'. Din motive de comoditate, am preferat dezvoltarea unui pachet de programe de selecție, în locul unui singur program. Pachetul este scris în colaborare cu Dr. Gh. Vass în limbajul FORTRAN, și rezolvă problema propusă în mai multe etape. Principiul de selecție împarte baza de date (Roeser și Bastian, 1989) în benzi de declinație de câte $10^\circ 10'$, și ordonează rezultatele obținute după ascensie (utilizând gestionarul dBASE). În acest caz, algoritmul de selecție folosește observația că perechile au componentele în aceeași bandă, poziționate la înregistrări relativ de apropiate (datorită ordonării în α).

Catalogul dubletelor conține 12 fișiere text (în total 5Mb), reprezentând zone de declinație ordonate în α . Fiecare înregistrare conține: numărul stelei, α , δ (J2000), μ_α , μ_δ , F , eroarea în α , eroarea în δ și separația de perechea sa (care se află pe înregistrarea următoare).

Am întreprins un studiu similar, utilizând catalogul dubletelor, pentru a pune în evidență configurațiile mai interesante (triplete sau lanțuri) cu separații $< 5'$ și $4'$, și am găsit un total de 4313 și respectiv 1979 de astfel de cazuri. Cunoașterea acestor configurații este importantă din două motive: determinarea mai exactă a orientării camerei (folosind trei stele de reper) și găsirea zonelor mai dens populate, importante în astrometria de câmp mic.

Rezultatele celor două studii sunt sintetizate în tabelul 1. Acestea demonstrează densitatea dubletelor și tripletelor (numărate în funcție de benzile de declinație). Figura 1 reprezintă distribuția tripletelor $< 4'$ pe sfera cerească (ultima coloană a tabelului).

Banda δ ($^{\circ}$)	Număr dublete PPM		Număr triplete PPM	
	sep < 5'	sep < 4'	sep < 5'	sep < 4'
80,90	695	476	116	53
70,80	1150	815	158	59
60,70	2064	1517	273	118
50,60	3241	2466	491	241
40,50	3311	2380	471	205
30,40	3288	2437	398	257
20,30	4028	3007	633	308
10,20	3955	2992	526	243
0,10	4749	3555	636	278
-10,0	1828	1290	190	80
-20,-10	1473	987	127	51
-30,-20	2569	1732	291	86

Tabelul 1 - Repartiția dubletelor și tripletelor PPM pe benzile de declinație

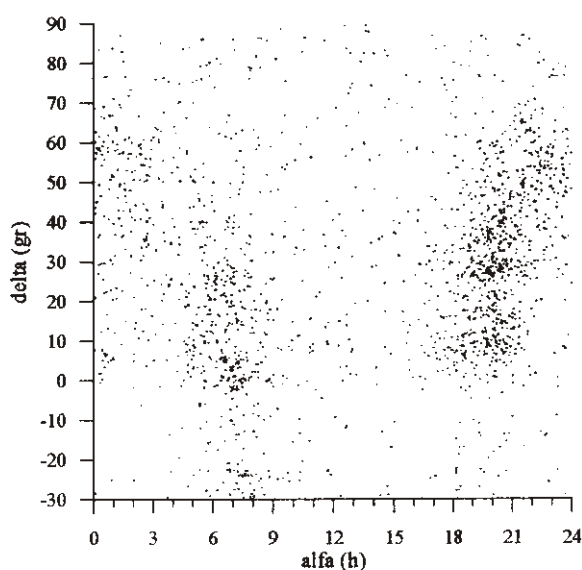


Figura 1 - Distribuția tripletelor PPM pe sfera cerească

6.1.2. Programe pentru realizarea hărților cerești

După cum am menționat deja în 5.2.3.2, în anul 1992 am început lucrul unui pachet de programe care realizează hărți cerești (Văduvescu și Bîrlan, 1992). Dezvoltat în mediul Turbo Pascal (v.6.0), pachetul CELESTIAL MAPS utiliza în prima sa versiune catalogul FK5, și era conceput să lucreze în trei tipuri de proiecții (în funcție de centrul hărții): ecuatorial polară, centrală și zenitală. În 1993, a doua versiune a programului (v.3.1) era înzestrat cu opțiunea de aducere la epoca observației a pozițiilor stelare (corecții de precesie, nutație și mișcări proprii), măbind numărul proiecțiilor la 5 și introducând încă două tipuri de proiecție centrală: conică și gnomonică (par. 5.1.1). În 1994, a treia versiune (v.4.5) introducea alte două baze de date: PPM și SAO (Văduvescu și Bîrlan, 1996). În 1996, ultima versiune (v.5.0) îmbunătățește

6.1.3. Programe pentru calculul de efemeridă

După cum am amintit, am studiat problema calculului efemeridelor corpurilor Sistemului Solar în anii studenției (Văduvescu, 1991). Am implementat atunci problema propusă în limbaj FORTRAN pe un calculator FELIX C-256, obținând abateri O-C de ordinul a 1'. Ulterior, am dezvoltat această problemă și în limbaj Pascal pe PC, obținând trei variante, care calculează efemeridele cometelor, asteroizilor, planetelor, Soarelui și Lunii.

Deși aceste programe calculează poziții aproximative (1'), ele sunt instrumente importante în efectuarea de observații. În acest sens, aceste softuri au fost folosite la planificarea observațiilor, furnizând, în unele cazuri, date pentru *Anuarul Astronomic*. Un alt caz în care unul dintre programe a fost utilizat (Vass, 1995) a apărut la IAAR în cadrul campaniei de observații PHESAT (par.6.3.3), când pe o imagine CCD a apărut un obiect necunoscut, în vecinătatea planetei Saturn ($V=10-11$), cu evoluție aparentă diferită de sateliți. După reducerea pozițiilor, în încercarea de identificare a obiectului cu un potențial asteroid, am calculat, folosind elementele orbitale publicate (Batrakov, 1994), efemeridele primelor 50 de planete mici la data observației. Rezultatul a fost negativ, obiectul fiind identificat ulterior chiar cu unul dintre sateliți, cu ajutorul unui program de configurații (par. 6.1.4).

6.1.4. Configurațiile sistemelor de sateliți planetari

Începând cu anul 1996, *Anuarul Astronomic* editat de IAAR publică configurațiile aparente ale sateliților galileeni ai lui Jupiter (Stavinschi et al, 1996). Aceste grafice sunt furnizate de programul MAPSAT, elaborat de autor în mediul Turbo C++, care figurează configurațiile sistemelor de sateliți pentru orice planetă și oricâți sateliți. Softul utilizează, ca date de intrare, pozițiile relative furnizate de programul *Satellite Almanac* dezvoltat la *Observatorul Naval din Washington* (USNO, 1992).

Pentru a figura în mod continuu, în cursul unei luni, pozițiile aparente ale celor patru sateliți față de planetă, am ales varianta clasică, considerând expresiile $(\alpha_{sat} - \alpha_{pl}) \cos \delta_{pl}$ pe orizontală, și neglijând diferențele $(\delta_{sat} - \delta_{pl})$ foarte mici. Utilizând aceste configurații, trecerea sateliților prin fața sau prin spatele planetei se poate determina cu ușurință. Un exemplu de grafic, în care MAPSAT a fost utilizat pentru pregătirea observațiilor în cadrul campaniei PHESAT 95, este prezentat în figura 3 (identificarea celor șase sateliți se face în conformitate cu semiaxele orbitelor lor).

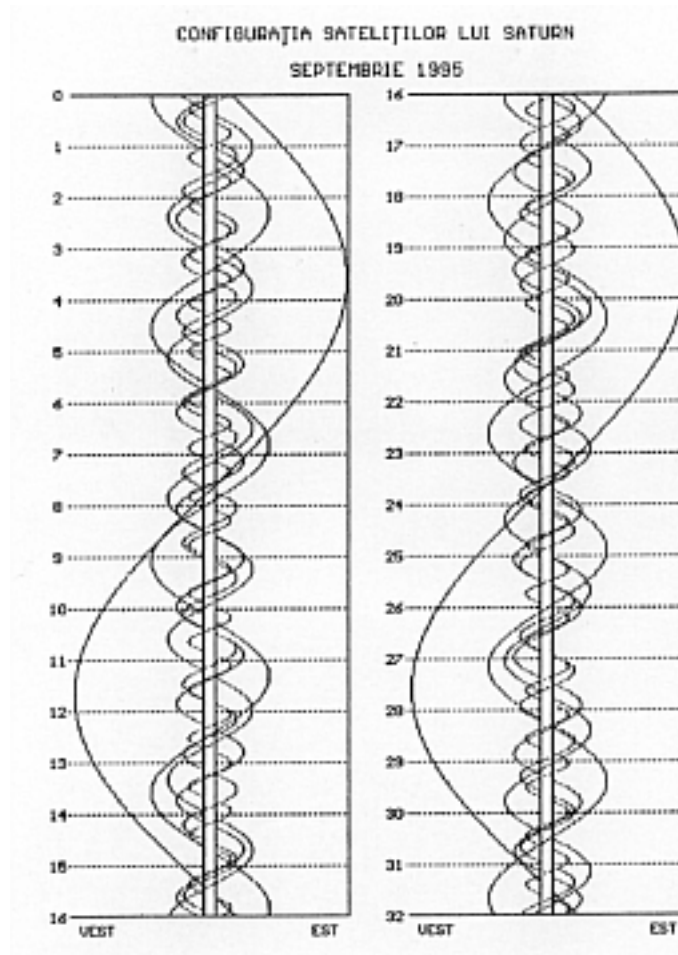


Figura 3 - Configurațiile primilor șase sateliți ai lui Saturn - septembrie 1995, furnizate de programul MAPSAT

6.1.5. Predicția apropiierilor strânse și a ocultațiilor

După cum s-a văzut în par. 5.2.3, existența stelelor de reper în câmpul mic al camerei CCD constituie principala problemă a astrometriei CCD. Această problemă poate fi rezolvată prin planificarea observațiilor, una dintre posibilități fiind metoda grafică, prezentată în par. 5.2.3.2.

Un rezultat în acest sens este o listă conținând predicții de apropieri $<5'$ ale cometei 1995 O1 (Hale-Bopp) de stele PPM, în intervalul 1 septembrie 1996 - 9 februarie 1997 (Văduvescu 1996a), listă care a fost publicată și în pagina WEB de pe INTERNET destinată cometei, alcătuită de *International Occultation Timing Association (IOTA)* (Văduvescu, 1996b). Deși efemerida folosită în cadrul acestui studiu (Yeomans, 1996) era furnizată până în 17 octombrie 1997, mișcarea aparentă rapidă făcea imposibilă determinarea prin metoda grafică a apropiierilor după data de 9 februarie 1997.

Un instrument automat de calcul al apropiierilor strânse și al ocultațiilor stelelor PPM de către corpurile Sistemului Solar este programul APRPPM, dezvoltat recent de autor în mediul

Turbo C++. Folosind ca date de intrare efemerida obiectului (care trebuie să conțină un număr impar de înregistrări ≥ 3), principiul de funcționare al softului constă în trei etape: construcția polinoamelor de grad doi $\alpha = \alpha(t), \delta = \delta(t)$ prin interpolarea a trei poziții consecutive ale corpului la momentele t_i ($i = 1, 2, 3$), selectarea unei baze de date PPM „locală” (bazată pe variația uniformă a acestor funcții), și calcularea separațiilor obiectului față de stelele din baza locală, pe nodurile $(t_1 + p, t_1 + 2p, \dots, t_3)$, unde p este pasul de timp, ales în funcție de precizia dorită. Folosind poziții J2000 geocentrice sau topocentrice, APRPPM furnizează pozițiile relative în momentul apropiierii (în sensul stea-obiect), separațiile minime, momentele corespunzătoare acestora, și informații asupra stelelor. În cazurile în care separația minimă este inferioară semidiametrului aparent al obiectului, programul poate fi folosit în predicția ocultațiilor.

Un exemplu de utilizare a acestui soft este o listă care conține circa 500 de apropieri ($\leq 5'$) ale cometei C/1995 O1 (Hale-Bopp) de stele PPM, în perioada 6.09.1996 - 12.10.1997, comunicată de autor (Văduvescu, 1996c) pe baza efemeridei geocentrice J2000 alcătuită de D.Yeomans (1996). Tabelul 3 furnizează o selecție ($\text{sep} \leq 0'.2$) a acestei liste.

an	Data			Sep ($^{\circ}$)	Poz	PPM	Mag	Sp	α			δ		
	lu	zi	TU						h	m	s	$^{\circ}$	'	"
1997	1	24	4.3524	0.03	NV	136201	9.8	F5	19	22	58.788	+12	1	43.39
1997	2	12	17.0430	0.18	NV	110678	9.6	G5	20	13	11.379	+21	51	0.66
1997	2	16	5.1558	0.10	SE	111088	9.5	A3	20	25	8.409	+24	4	45.25
1997	2	21	16.1089	0.11	NV	111847	10.5	K0	20	46	19.458	+27	49	49.45
1997	3	3	16.5253	0.02	NE	86806	7.8	K0	21	37	21.523	+35	19	40.14
1997	3	4	14.3114	0.18	SE	86939	9.1	K0	21	42	58.469	+36	0	38.80
1997	3	23	12.3780	0.02	SV	42898	11.1	K2	0	24	12.680	+45	45	34.71
1997	3	31	1.1326	0.02	SV	44252	10.0	G0	1	38	22.858	+44	53	44.14
1997	4	3	6.0334	0.05	NE	44777	7.6	B8	2	7	18.999	+43	38	31.01
1997	4	21	20.0551	0.07	SV	69085	11.4	F8	4	5	39.966	+32	0	19.48
1997	5	21	3.7989	0.05	SV	121096	10.5	F2	5	33	21.209	+15	1	1.50
1997	5	25	3.3044	0.13	SV	121269	8.9	A	5	41	28.968	+13	8	53.77
1997	6	4	15.1801	0.03	SV	149768	9.2	K0	6	0	50.380	+8	34	3.36
1997	7	25	9.3518	0.11	NE	519315	9.1	G0	7	12	19.329	-10	30	54.82
1997	8	26	3.7580	0.10	SV	541113	9.0	A0	7	45	8.397	-22	38	19.44
1997	8	26	9.5376	0.12	NE	541121	9.4	F0	7	45	19.980	-22	44	9.04
1997	9	6	13.3698	0.18	NE	541429	8.7	B8	7	54	23.736	-27	14	45.00
1997	9	15	19.4479	0.05	SV	565932	8.3	K5	8	0	41.904	-31	4	33.04
1997	9	18	18.0231	0.00	NE	565968	8.1	B9	8	2	25.739	-32	18	29.21
1997	9	26	9.4223	0.20	SV	566037	9.1	G8	8	6	16.015	-35	31	54.40

Tabelul 3 - Selecție de apropieri ($\leq 0'.2$) ale cometei C/1995 O1 (Hale-Bopp) de stele PPM, calculate cu programul APRPPM pentru intervalul 6.09.1996 - 12.10.1997

În cazul apropierii din 5.10.1996, calculată pentru J2000 la geocentru ($\text{sep}=0'.27$) atât prin metoda grafică (Văduvescu, 1996b) cât și prin programul APRPPM (Văduvescu, 1996c), comparația cu rezultatele obținute de alt autor folosind poziții mijlocii 1996.8 (Wasserman, 1996) indică o diferență de 3^h (metoda grafică) și $0^h.7$ (APRPPM).

O altă aplicație a softului de predicții este în curs de a fi dezvoltată de autor, pentru determinarea fenomenelor de apropieri strânse cu asteroizi (Văduvescu, 1997). Aceasta va îmbunătăți predicțiile, prin reducerea pozițiilor la epoca mijlocie a observațiilor (aplicând corecții de mișcări proprii, aberație a luminii și paralaxă).

6.1.6. Determinarea ecuației personale în cazul observației vizuale

Este binecunoscută importanța cronometrării cât mai precise a ocultațiilor stelelor și corpurilor din Sistemul Solar, de către asteroizi sau Lună, pentru determinarea dimensiunilor corpurilor implicate. În cazul în care observatorul nu dispune de un instrument fotometric rapid, una dintre alternative este observația vizuală, caz în care estimarea timpului de reacție al observatorului (ecuația personală) este foarte importantă. În acest sens, am scris în mediul Turbo Pascal programele TOP și INTTOP, care monitorizează ceasul PC în momentul semnalării unor topuri, respectiv simulează ocultația, calculând ecuația personală a observatorului (la imersiune și emersiune).

După un antrenament prealabil, valorile medii găsite într-un experiment, pentru ecuația personală și pentru durata observației, pot scădea la circa $0^s.3-0^s.4$ și respectiv la $0^s.1$. Aceste cifre regăsesc un rezultat anterior (O'Leary et al, 1975) de $0^s.4-0^s.6$ pentru timpul de reacție și $0^s.12-0^s.15$ pentru durata ocultației, deși în condiții naturale ecuația personală poate merge până la circa 1s (Dunham et al, 1990).

6.2. REDUCEREA OBSERVAȚIILOR

6.2.1. Determinarea orientării camerei

În par. 5.2.2.1 am demonstrat posibilitatea teoretică de a determina orientarea camerei CCD față de planul fundamental, folosind două stele de reper PPM. Pentru reducerea observațiilor, am implementat acest rezultat în mediul Turbo Pascal, obținând programul ORIENT, care determină coeficienții (a,b) de rotație ai camerei față de paralelul ceresc, cunoscând coordonatele standard (X,Y) și pozițiile măsurate (x,y) , relative, ale unei stele în reperul celeilalte.

6.2.2. Determinarea pozițiilor astronomice absolute

Odată cunoscuți coeficienții de orientare a camerei, după cum s-a arătat în par. 5.2.1, reducerea observației CCD se poate face în reperul unei stele de catalog. Am algoritmizat

această problemă, obținând programele RELCCD și ABSCCD, care calculează pozițiile relative ale unui obiect în reperul unei stele PPM, respectiv calculează pozițiile absolute, ecuatoriale, ale obiectului, cunoscând pozițiile relative și coordonatele stelei de reper.

6.2.2.1. Poziții aparente și astrometrice

În cazul în care coordonatele (α_0, δ_0) ale reperului reprezintă poziții astrometrice J2000, pozițiile absolute calculate cu programul ABSCCD vor fi, de asemenea, astrometrice J2000. Pozițiile astrometrice J2000 sunt utilizate în scopul reducerii observațiilor la aceeași epocă și echinocțiu, și de asemenea în calculul valorilor O-C, pentru ameliorarea orbitei.

În cazul în care coordonatele stelei de reper sunt poziții aparente, pozițiile reduse vor fi, de asemenea, aparente. Am folosit pozițiile aparente în cazul reducerii ocultațiilor stelelor de catalog de către asteroizi (par. 6.6).

6.2.2.2. Poziții topocentrice și geocentrice

Atât în cazul reducerii pozițiilor aparente, cât și în cel al pozițiilor astrometrice, coordonatele absolute calculate vor fi raportate la locul de observație (topocentrice). Din această cauză, analiza comparativă a rezultatelor obținute în mai multe locuri de observație nu poate fi făcută fără a raporta pozițiile la geocentru. În acest sens, am scris în limbajul Turbo Pascal programul PARGEO, care transformă pozițiile topocentrice în poziții geocentrice, folosind ca date de intrare epoca observației, coordonatele observatorului și paralaxa obiectului. Două exemple în care acest soft a fost utilizat (în cazul observațiilor corpurilor mici) vor fi date în par. 6.4.

6.2.2.3. Influența refracției în reducerea pozițiilor absolute

În cazul determinării pozițiilor absolute, datorită câmpului foarte mic al camerei, ar fi de așteptat ca influența refracției în determinarea pozițiilor să fie destul de mică. Cu toate acestea, folosind un eșantion de 19 observații de cupluri de stele PPM, am demonstrat că acest fenomen trebuie luat în calcul, pentru o reducere riguroasă a pozițiilor. În acest sens, programul ABSCCD a fost prevăzut cu o rutină de transformare a pozițiilor aparente (afectate de refracție) în poziții adevărate (Oproiu et al, 1989), folosind formula clasică a corecției de refracție (Dinulescu, 1967):

$$R = 58'' .294 \tan z - 0'' .0668 \tan^3 z + 0'' .000222 \tan^5 z - 0'' .00000123 \tan^7 z \quad (1)$$

Pe eșantionul de 19 cupluri, am redus poziția uneia dintre stele (considerată necunoscută) în reperul celeilalte, calculând diferențele O-C fără a ține seama de refracție. Rezultatul acestui experiment indică diferențe O-C sistematice în δ , cu valori maxime pentru

înălțimi mici ale astrilor deasupra orizontului. Reluând calculul diferențelor O-C prin introducerea corecțiilor de refracție, am obținut rezultate diferite față de primul caz, în funcție de înălțimea astrilor deasupra orizontului. Astfel, pentru înălțimi $h > 40^\circ$, reziduurile calculate cu refracție sunt inferioare celor din primul caz (cu valori maxime $(O-C)_\alpha = 0^s.004$, $(O-C)_\delta = 0''.02$). Un rezultat opus este obținut pentru înălțimi $< 40^\circ$, când abaterile sunt mai mari în cazul corecțiilor de refracție, din cauza modificării constantelor din membrul drept (din motive atmosferice).

6.2.3. Determinarea orbitei preliminare

După cum am menționat deja, având ca punct de plecare o lucrare a regretatului Prof. Matei Alexescu, în anii facultății m-a preocupat problema calculului de orbită, în încercarea de a scrie un program care să verifice dacă o observație a unui obiect (presupus de natură cometary) are loc asupra unei comete înregistrate sau nu (Văduvescu, 1991). În acest sens, lucrarea citată aduce în actualitate două metode clasice de calculul orbitelor: Gauss și Laplace (par. 1.3). Ulterior lucrării de licență, am rescris metoda Gauss pentru PC, utilizând mediul de programare Turbo Pascal.

Astăzi, metoda lui Laplace este pusă din nou în lumină, de precizia observațiilor CCD, coroborată cu posibilitatea de a stabili o orbită preliminară, utilizând fenomenele cu dinamică rapidă, într-un timp foarte scurt (de ordinul zecilor de minute), cu aplicație imediată în prioritatea comunicării unei orbite, în cazul unei posibile noi descoperiri. Utilizând mediul Turbo C++, am implementat algoritmul metodei Laplace pe PC, dezvoltând programul LAPLACE de determinare a elementelor orbitei preliminare. Acest soft utilizează, ca date de intrare, fie poziția (α, δ) observată la momentul t și derivatele ei $(\dot{\alpha}, \dot{\delta}), (\ddot{\alpha}, \ddot{\delta})$, fie trei poziții (α, δ) , observate la momentele t_i (din care rezultă de fapt aceste derivate).

6.2.4. Reducerea apropiierilor strânse și a ocultațiilor

După cum este cunoscut, cronometrarea ocultațiilor stelelor de către asteroizi conduce la determinări foarte exacte ale dimensiunilor planetelor mici. Din nefericire, aceste fenomene sunt foarte rare, iar predicția lor este foarte dificilă, din cauza inexactității efemeridelor (par. 6.6). Totuși, în unele cazuri, determinarea unor parametri ai fenomenului poate să aducă informații importante în legătură cu forma asteroidului sau cu caracterul binar al acestuia. Numim reducere a apropiierii strânse determinarea separației minime, a separației la conjuncție și a momentelor corespunzătoare acestora.

În cazul cunoașterii mai multor poziții ale asteroidului în vecinătatea stelei (cum este cazul observațiilor CCD), se pot propune două metode de reducere a observației (Văduvescu, 1996d), care folosesc coordonatele măsurate (pixeli) ale asteroidului relative la stea, respectiv coordonatele absolute (α, δ) ale planetei mici.

6.2.4.1. Metoda pozițiilor relative

Să considerăm evoluția aparentă a asteroidului în reperul stelei de catalog (posibil de a fi ocultată). Din cauza traiectoriei aparente aproape liniară (în câmpul mic din vecinătatea stelei, în intervalul de timp de câteva zeci de minute), coordonatele relative măsurate (x, y) ale corpului și timpul t sunt legate prin relații liniare de forma:

$$\begin{cases} y = y(x) \\ x = x(t), y = y(t) \end{cases} \quad (2)$$

care pot fi obținute prin metoda celor mai mici pătrate din observațiile disponibile.

Folosind un pas de 0.001 pixeli în x în prima ecuație, se calculează separațiile stea-planetă, obținând astfel coordonatele (x_*, y_*) corespunzătoare apropierii minime. Introducând aceste coordonate în ultimele ecuații (2), rezultă momentul apropierii minime.

Utilizând algoritmul descris, am implementat în limbajul Turbo Pascal programul SEPXY, care determină separația minimă și momentul corespunzător acesteia. Câteva aplicații ale acestui soft vor fi date în par. 6.6.5.

6.2.4.2. Metoda pozițiilor absolute

În par. 5.2.1 am arătat modul de reducere al coordonatelor absolute în observațiile CCD. Din aceleași considerente cu cele expuse anterior, coordonatele absolute și timpul sunt legate prin funcții liniare:

$$\begin{cases} \delta = \delta(\alpha) \\ \alpha = \alpha(t), \delta = \delta(t) \end{cases} \quad (3)$$

ai căror coeficienți se determină prin metoda celor mai mici pătrate. Mai departe, analiza este identică cu metoda pozițiilor relative, cu deosebirea că, în afară de separația minimă și momentul corespunzător acesteia, metoda furnizează poziția absolută a asteroidului în momentul apropierii maxime.

O analiză similară în poziții absolute determină momentul conjuncției ($\alpha_{stca} = \alpha_{ast}$) și separația $\Delta\delta$ în acest moment. Un alt avantaj al acestei metode este aplicabilitatea sa în cazul pozițiilor geocentrice (reduse din cele topocentrice, ca în par. 6.2.2.2).

Utilizând metoda pozițiilor absolute, am implementat în limbajul Turbo Pascal programul SEPAD, care reduce apropierea. Câteva aplicații ale acestui soft (și comparația rezultatelor cu cele obținute prin metoda pozițiilor relative) vor fi date în par. 6.6.5.

6.2.4.3. Racordarea cu alte observații

Reducerea apropierii (ocultației) la un același sistem de coordonate permite determinarea formei corpului, sau cel puțin a unor constrângeri asupra acestei forme (de obicei eliptice), într-un plan perpendicular pe direcția stea-astu. În par. 6.5.1 vom descrie geometria unei ocultații a unei stele de către un corp oarecare (asteroid, planetă, Lună etc), iar în par. 6.6.5 vom încerca racordarea unei observații efectuată la IAAR cu alte câteva observații ale aceleiași apropieri.

6.2.5. Reducerea ocultațiilor lunare

Spre deosebire de ocultațiile de către asteroizi, ocultațiile stelelor și planetelor de către Lună au o frecvență foarte ridicată, dat fiind diametrului aparent mare al acesteia (circa 31'), și mișcarea proprie mare (13°/zi). Ca și în cazul asteroizilor, cronometrarea unei ocultații lunare constă în determinarea momentelor de imersiune și emersiune (în cazul stelelor), sau a momentelor contactelor interioare și exterioare (în cazul planetelor).

Dacă în cazul ocultațiilor stelelor, metoda cea mai simplă observație este cea vizuală, determinarea momentelor de contact în cazul ocultațiilor planetelor este mai dificilă. Am comunicat recent (Văduvescu și Vass, 1996) o metodă de reducere a ocultațiilor lunare observate cu camera CCD, aplicând teoria în cazul a două ocultații stelare (α Tau = Aldebaran și 58 Leonis = SAO118610) și în cel al ocultației planetei Venus (observată în plină zi).

Principiul metodei de reducere a unei ocultații lunare observată cu camera CCD se bazează pe mișcarea uniformă a Lunii în vecinătatea fenomenului (pe parcursul câtorva minute). În prima etapă se achiziționează mai multe imagini în care apare steaua alături de limbul lunar (numărul acestora depinde de câmpul camerei și de timpul de achiziție și lectură al unei imagini). În a doua etapă se prelucrează imaginile obținute, determinându-se distanța stea-limb. În a treia etapă se exprimă distanța stea-limb ca o funcție de timp (liniară sau de gradul doi), și se extrapolează această funcție pentru determinarea momentelor de contact.

Dacă presupunem, în cazul imersiunii, viteza liniară a Lunii v , R raza acesteia, și că apropierea maximă stea-centrul Lunii are loc la momentul t_0 , atunci, ecuația care exprimă distanța stea-limb, x , este:

$$(R + x)^2 = v^2(t_0 - t)^2 + d^2 \quad (4)$$

Considerând tot atâtea ecuații (4) câte observații, se determină parametrii R , v , t_o și d , cu care, momentul de contact este dat de formula:

$$t = t_o - \sqrt{\frac{R^2 - d^2}{v^2}} \quad (5)$$

În cazul reducerii ocultațiilor planetelor de către Lună, limbul lunar și cel planetar trebuie modelate prin arce de cerc sau elipsă. În acest caz, metoda de reducere a ocultației se bazează pe determinarea lungimii coardei comune lunar-planetare. Această lungime va fi exprimată printr-o funcție pătratică de timp, care va fi extrapolată, pentru determinarea momentelor contactelor exterior și interior.

Lungimea corzii comune se calculează rezolvând sistemul de ecuații ale limbului planetar și lunar (care se deplasează cu viteza constantă $v(v_x, v_y)$ în sistemul de coordonate planetocentric):

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R_p^2 \\ [x - v_x(t - t_o)]^2 + [y - v_y(t - t_o)]^2 = R_l^2 \end{cases} \quad (6)$$

unde indicele „l” se referă la Lună, iar „p” la planetă.

6.3. ASTROMETRIA SATELIȚILOR PLANETARI

Cercetarea astrometrică a sistemelor de sateliților planetari (în special cei ai planetelor gigante) este astăzi foarte importantă, atât pentru dinamicieni, cât și pentru planetologi. Creșterea numărului sateliților cunoscuți ai planetelor mari (la 16 pentru Jupiter, 18 pentru Saturn, 15 pentru Uranus și 8 pentru Neptun) și existența sistemelor lor de inele, fac din aceste planete veritabile sisteme solare în miniatură, al căror studiu dinamic poate fi comparat cu cel al Sistemului Solar sau cu centura de asteroizi.

6.3.1. Astrometria sistemelor de sateliți planetari

Nu fără legătură cu descoperirea primilor sateliți ai lui Jupiter de către Galilei în 1610, primele teorii de mișcare a sistemelor de sateliți planetari au fost cele ale sateliților lui Jupiter. Conform altor autori consacrați (e.g. Ferraz de Mello, 1967), primul autor care a dezvoltat o teorie completă a sateliților lui Jupiter a fost Laplace. Delambre a fost primul care a construit tabele pe baza unei teorii analitice de mișcare, ale cărei constante erau calculate folosind analiza a 6000 de eclipse observate. Ne face deosebită plăcere să amintim evocarea contribuțiilor astronomului român *G. Petrescu* (1939), elogiata chiar în capitolul introductiv al lucrării

suscitate a autorului brazilian. Lucrarea lui G. Petrescu, prezentată ca teză de doctorat la *Facultatea de Științe din Cluj*, reduce observații realizate la Paris, la Yerkes, și la București, cu luneta ecuatorială de 6m (folosită astăzi de autor), construind teoriile de mișcare ale primilor patru sateliți galileeni ai lui Jupiter (Io, Europa, Ganimede și Callisto).

Nu vom dezvolta aici ecuațiile dinamice ale sistemelor de sateliți planetari, ele fiind expuse în lucrările clasice (e.g. Ferraz de Mello, 1979; Arlot, 1982). În 6.3.3 vom prezenta contribuțiile colectivului IAAR în cadrul campaniei PHESAT95.

6.3.2. Fenomene mutuale în sistemele de sateliți planetari

Ca și în cazul ocultațiilor de asteroizi, fenomenele aparente între sateliții planetari oferă informații astrometrice foarte exacte ($\pm 0''.02$) asupra acestor dinamicii acestor corpuri. În acest paragraf vom enunța câteva rezultate, ale unor autori consacrați, în legătură cu fenomenele mutuale observate în ultimele două decenii.

În funcție de corpurile implicate, Arlot (1982) clasifică fenomenele aparente din sistemele planetare, în două categorii:

- fenomenele clasice: eclipsele (când un satelit trece în umbra planetei), ocultațiile (când un satelit trece în spatele planetei), tregerile (când satelitul trece în fața lui Jupiter) și tregerile umbrei (când umbra unui satelit trece pe discul lui Jupiter);
- fenomenele mutuale: eclipsele mutuale (când un satelit trece în umbra altuia) și ocultațiile mutuale (când un satelit trece în spatele altuia);

Conform Arlot și Thuillot (1996), primele campanii de observare a fenomenelor mutuale între sateliții galileeni a avut loc în 1973, grație predicțiilor efectuate de computerele moderne și utilizării fotometrelor fotoelectrice, care permit înregistrarea căderii de magnitudine aparentă în timpul acestor fenomene. Rezultatele analizei curbelor de lumină fotoelectrice înregistrate în timpul a 91 de eclipse și ocultații (Aksnes și Franklin, 1976) au permis deducerea razelor sateliților J2, J3 și J4 cu precizii de 27, 32 și 75km.

Câteva treceri în revistă ale campaniilor anterioare de observare a fenomenelor mutuale au fost făcute cu ocazia simpozionului PHESAT 95, organizat de BDL și IAAR la București în septembrie 1994, și destinat pregătirii campaniei din 1995 de observare a fenomenelor mutuale în sistemul lui Saturn.

Blanco (1996) prezintă o analiză a rezultatelor a patru campanii de observare a fenomenelor mutuale între sateliții lui Jupiter, și a câte unei campanii în sistemele lui Saturn și Pluto-Charon. În Statele Unite, un program de observații astrometrice a sateliților puțin strălucitori a fost inițiat la USNO (Pascu, 1996). În prezent, 25 de sateliți nu pot fi observați de la sol. Dintre aceștia, circa 15 pot fi detectați de *Camera II de Câmp Larg* instalată la bordul *Telescopului Spațial Hubble*. Un alt rezultat interesant (Morando și Descamps, 1993, Descamps, 1996) este determinarea detaliilor topografice ale satelitului Io, prin observarea în infraroșu a ocultației de către satelitul Europa a doi vulcani de pe Io, *Loki* și *Pele*.

În România, Stavinschi și Bocșa (1996) evocă tradiția în observarea sistemelor de sateliți ai lui Jupiter și Saturn, prezentând câteva rezultate din 1982, 1984 și 1985. Oprescu (1996) analizează rezultatele a opt fenomene mutuale înregistrate la București, Cluj și Timișoara, în campania PHEMU91 în sistemul lui Jupiter.

6.3.3. Participare în cadrul campaniei internaționale PHEMAT95

După cum este cunoscut, Pământul trece prin planul ecuatorial al lui Saturn odată la 17 ani. Acest fenomen favorizează, pe de o parte, observarea sateliților (situați în vecinătatea planetei), datorită invizibilității sistemului de inele al planetei. Pe de altă parte, această conjunctură mărește posibilitatea de producere a fenomenelor mutuale, Pământul, planeta și sistemul de sateliți și inele aflându-se practic în același plan.

Campania PHEMAT95 a fost destinată observării fenomenelor mutuale între sateliții lui Saturn, cu ocazia trecerii Pământului prin planul ecuatorial al planetei, în 1995. PHEMAT95 a fost pregătită de BDL și IAAR, prin organizarea simpozionului cu același nume, desfășurat în perioada 19-25 septembrie 1994 la București, cu participare internațională.

În cadrul campaniei de observații, în perioada iunie-decembrie 1995 s-au efectuat la IAAR 30 de nopți de observații, în care s-au achiziționat peste 4000 de imagini CCD ale sateliților (Vass et al, 1996b). Tabelul 4 oferă o imagine de ansamblu asupra acestor observații. Cel mai observat au fost satelitul Titan (23 observații), urmat de Dione și Rhea (câte 21), Tethys (19), Enceladus (7) și Hyperion și Iapetus (câte 3 observații).

Unul dintre fenomenele mutuale (între sateliții III și IV) a fost înregistrat la IAAR la 13 iulie 1995, când IV Dione l-a ocultat pe III Tethys. Analiza fotometrică a datelor primare, măsurate pe cele peste 90 de imagini achiziționate în timpul acestui fenomen, conduce la curba de lumină reprodusă în figura 4 (Vass et al, 1996b).

Data 95	Observ	Prepr	Măsur	Stele	Fenom	Nr.IF	Nr.IP	Nr.IO	Sateți
06 26	GV OV	GV	GV				71	15	5 4 3 - 6
06 27	GV GS	GV	GV				58	5	6 - 3 5
06 28	GV	GV	GV				98	5	6 3 - 4 5
06 29	GV SS	GV	GV				63	9	6 4 2 5 - 3
07 01	GV GS	GV	GV				125		6 5 3 - 4
07 03	GS SS	GV	GS				45	7	6 - 5 3 4
07 05	GV GS	GV	GV				72	5	5 - 3
07 07	GV	GV	GV	1			75		4 - 5 6
07 13	GV GS	GV	GV		403	100	21	10	5 3 4 -
07 15	GV GS	GV GS	GV GS		3E4	103	22	3	6 3 4 - 5
07 20	GV GT	GV	GV	1			85	5	6 - 3 5
07 24	GV	GV	GV				85	4	4 - 3 5 6
07 28	GV GT	GV	GV		203	151			
08 06	GV GS	GV	GV	1	504	125	52	5	6 3 - 4 5
08 07	GV GS	GV GS	GV GS		3E1	100	33	5	3 - 2 5 6
08 11	GV GS	GV GS	GV		204	81	35		2 - 5 6
08 13	GV GS	GV GS	GV GS	1	406	400	20		3 - 5 4 6
08 22	GV	GV	GV				150	10	3 - 6 2 8
08 23	GS OV	GS	GV GS				126	5	5 4 2 - 3 6
08 24	GV	GV	GV		302	220	60	5	5 3 - 4 6 8
08 28	GV OV	GV	GV		301	140	40	5	5 4 - 6
09 01	GV	GV	GV	3			380	5	6 5 - 3 4 8
09 03	GV	GV	GV	3			150	5	6 4 - 5
09 13	GS PS	GS	GS				178	3	4 - 4 3 5 6
10 03	GS	GS	GS				130	4	8 7 6 5 4 -
10 14	GS	GS	GS	1			80	5	4 3 2 - 6 7
10 23	GV GS	GV GS	GV GT	2			90	4	8 7 3 - 2 4
10 30	GV	GV	GV				45		5 4 - 2 3 6
11 02	GV OV	GV	GV		3E6	240	20		8 4 6 3 - 5
11 25	GV	GV	GV		4E2	133		16	

Tabelul 4 - Situația generală a observațiilor CCD efectuate în cadrul campaniei PHESAT95

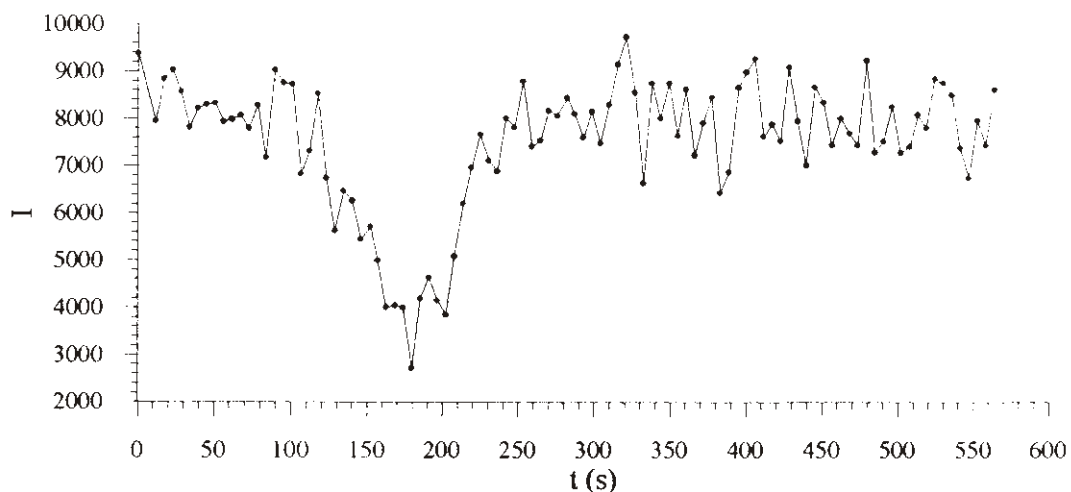


Figura 4 - Curba de lumină înregistrată la IAAR în timpul ocultației satelitelui III Tethys de către IV Dione la 13 iulie 1995

6.4. ASTROMETRIA CORPURILOR MICI

Spre deosebire de observațiile fotografice, în cazul observațiilor CCD, timpul de expunere mic conferă observației un caracter dinamic, ceea ce reprezintă un avantaj important d.p.d.v. astrometric. De exemplu, în locul câtorva poziții, reduse din 3-5 imagini fotografice

efectuate într-o noapte de observație, se pot determina câteva zeci sau sute de poziții, folosind tot atâtea imagini CCD. Utilizând aceste date reduse la geocentru, se poate efectua o analiză a dinamicii corpurilor pe perioade scurte de timp, prin determinarea dependențelor $\alpha = \alpha(t), \delta = \delta(t)$ ca polinoame de gradul al doilea (suficient de exacte pe perioade mici). Această tehnică prezintă, în comparație cu metoda astrometrică clasică, două avantaje importante :

- pozițiile „mediate” de reprezentarea prin polinoame înlătură erorile de măsură (existente în cazul câtorva observații independente);
- din reprezentarea coordonatelor ca funcții de timp rezultă variațiile $(\dot{\alpha}, \dot{\delta}), (\ddot{\alpha}, \ddot{\delta})$, care pot fi utilizate, de exemplu, la determinarea orbitei preliminare prin metoda Laplace (în cazul descoperirii de corpuri noi).

6.4.1. Observații CCD de mici planete

La 26 februarie 1996, în circa o jumătate de oră, am achiziționat 104 imagini ale asteroidului **(2) Pallas** ($V=8.6, t_i=10s$). Aceste imagini au fost reduse în reperul J2000 al stelei PPM 161027 ($Ph=11.2$), furnizând tot atâtea poziții care au fost reduse la geocentru. Folosind pozițiile geocentrice rezultate, am găsit următoarele dependențe de timp:

$$\begin{cases} \alpha^s = 1.0366 \cdot t^2 + 24.5496 \cdot t + 22.2262; \Sigma^2 = 0^s.0008 \\ \delta'' = -241.458 \cdot t^2 + 1313.07 \cdot t - 716.636; \Sigma^2 = 0'' .25 \\ \alpha = 14^h 51^m \times^s; \delta = 5^\circ 37' \times''; t = 2450139.\times \end{cases}$$

În cele ce urmează, vom demonstra eficacitatea metodei de reducere a pozițiilor sub formă de polinoame, analizând în cele ce urmează abaterile O-C înregistrate atât față de pozițiile observate efectiv, cât și față de cele calculate prin polinoame. Pentru aceasta, am comparat rezultatele cu efemerida calculată (Batrakov et al, 1996) la trei momente de timp. Rezultatele obținute sunt conținute în tabelul 5:

TU (26 feb 1996)			O-C (poziții observate)		O-C (poziții calculate prin polinoame)	
h	m	s	α (s)	δ (")	α (s)	δ (")
3	17	59.6	0.018	1.07	0.014	0.96
3	32	50.5	0.009	1.05	0.012	1.04
3	50	34.2	0.010	1.07	0.010	1.06

Tabelul 5 - Abaterile O-C în cazul pozițiilor calculate prin polinoame de timp sunt inferioare celor referitoare la pozițiile observate.

La 21 mai 1996, am obținut la IAAR, în circa 90m, 150 de imagini CCD ale micii planete **(5) Astraea** ($V=10.4, t_i=5s$), ale cărei poziții au fost reduse în sistemul stelei PPM 526695 ($Ph=8.9$). Dependențele geocentrice J2000 sunt următoarele:

$$\begin{cases} \alpha^s = 23.7513 \cdot t^2 - 75.7252 \cdot t + 47.3163; \Sigma^2 = 0^s.0199 \\ \delta'' = 93.1093 \cdot t^2 - 185.666 \cdot t + 82.7951; \Sigma^2 = 2''.82 \\ \alpha = 16^h 36^m \times^s; \delta = -13^\circ 35' \times''; t = 2450224 \times \end{cases}$$

6.4.2. Observații de comete

Într-o lucrare recentă (Văduvescu et al, 1997) publicam rezultatele reducerii a circa 200 de imagini CCD și fotografice ale cometei C/1996 B2 - Hyakutake, achiziționate la IAAR la 20, 24, 25 martie și 1 aprilie 1996.

Din cauza distanței minime la perigeu a cometei (și deci a mișcării aparente foarte rapide - 1'/m), noaptea de 24/25 martie a fost cea mai fructuoasă d.p.d.v. astrometric. În par. 5.2.3.2 s-a reprodus metoda grafică de predicție a apropiierilor cometei de stele de catalog. Folosind această metodă, au fost prevăzute cinci apropiieri de stele PPM, din care patru au fost observate (cu abateri în momente de ordinul secundelor), ceea ce a demonstrat, pe de o parte, precizia efemeridei (Marsden, 1996), iar pe de alta pe cea a programului grafic (Văduvescu și Bîrlan, 1996). Cele patru stele de reper, momentele corespunzătoare calculate ale apropiierilor și numărul de imagini achiziționate sunt: PPM 34602 (22^h0^m TU, 15 cadre), PPM 34601 (22^h34^m, 22 de imagini), PPM 34595 (0^h36^m, 20 de imagini) și PPM 34582 (1^h39^m, 26 de imagini).

Data de 1 aprilie 1996 a furnizat alte 112 imagini CCD ale cometei, care au fost reduse în sistemul unei stele GSC ($V=9.6$, $\alpha_{J2000}=3^h 11^m 44^s.894$, $\delta_{J2000}=52^\circ 30' 56''.95$). Reprezentarea pozițiilor aparente geocentrice prin dependențe de timp (ca și în cazul primei nopți de observație) a fost făcută în lucrarea citată (Văduvescu et. al, 1997).

În afară de aceste observații CCD, trei poziții fotografice ale cometei au fost reduse în sistemul J2000 atât pentru București, cât și pentru geocentru (în 20 și 24/25 martie). Reproducem aceste poziții în tabelul 6 :

Data	București		Geocentru	
	α_{J2000}	δ_{J2000}	α_{J2000}	δ_{J2000}
1996 3 20.930716	14 52 21.956	4 40 13.04	14 52 20.330	4 40 47.93
1996 3 20.950107	14 52 20.179	4 47 27.77	14 52 18.776	4 48 2.66
1996 3 24.951746	14 35 33.646	53 4 50.37	14 35 30.493	53 6 30.85

Tabelul 6 - Poziții fotografice ale cometei Hyakutake observată la București

Folosind efemerida cometei (Marsden, 1996), am calculat diferențele O-C atât în cazul observațiilor CCD, cât și în cazul observației fotografice. Rezultatele indică valori de 0^s.3 (α) și

-1" (δ) - fotografic, și sunt inferioare în general valorilor de 0^s.1 (α) și 1" (δ) - CCD. Figura 5 reproduce cele 83 de poziții CCD aparente obținute la 24/25 martie, alături de poziția fotografică înregistrată la acea dată. Se poate observa o bună concordanță între pozițiile obținute prin cele două tehnici.

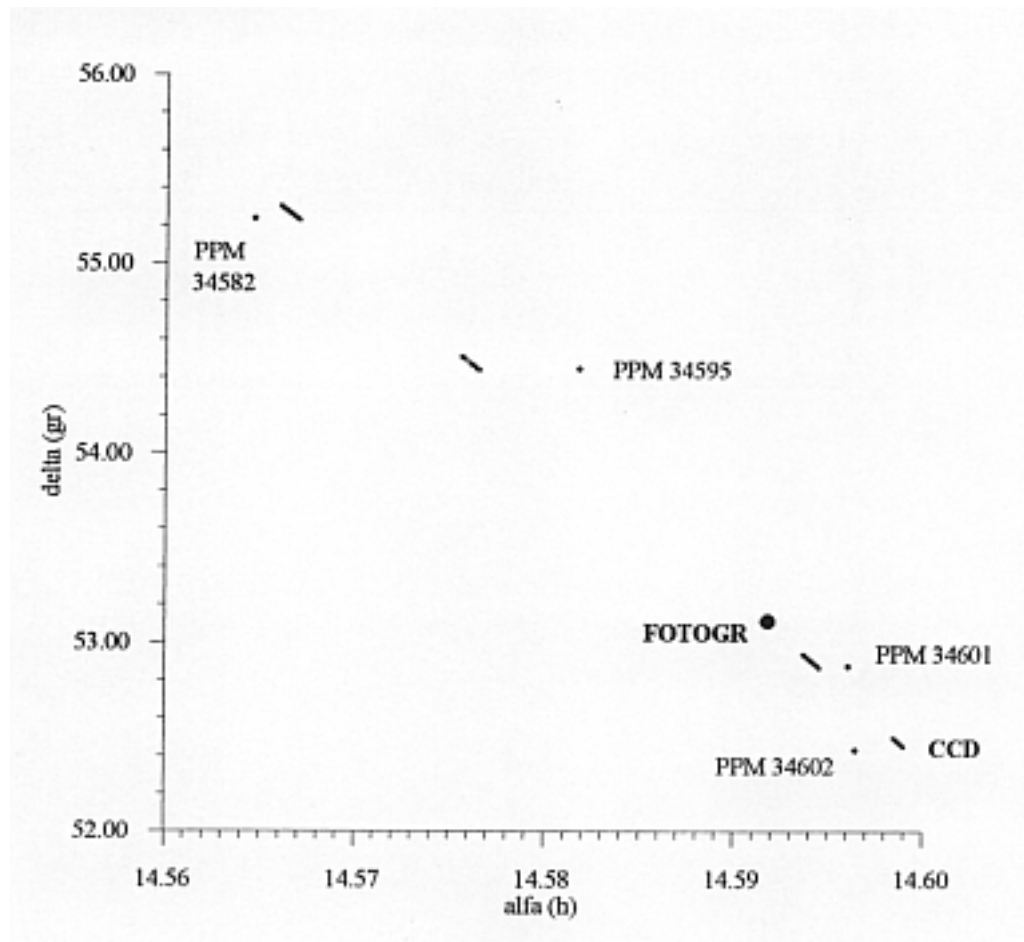


Figura 5 - 83 de poziții CCD și o poziție fotografică ale cometei C/1996 B2 - Hyakutake, obținute la IAAR la 24/25 martie 1996

Un rezultat interesant redus din observațiile CCD din 24/25 martie asupra cometei Hyakutake (Văduvescu et al, 1997) se referă la calculul variației orientării cozii față de planul ecuatorial, în funcție de timp. Aceasta a putut fi realizată folosind prelucrări ale imaginilor cometei în izofote (par.4.5.6), pe care s-au măsurat câte 10 poziții în direcția cozii, pe fiecare imagine. Rezultatele sunt reproduse în tabelul 7:

Data	TU (h,m)	Unghiul cozii (°)	Σ^2
24 03 1996	22 00	129.9	0.4
24 03 1996	22 31	129.7	0.2
25 03 1996	00 35	128.9	0.3
25 03 1996	01 36	128.5	0.5

Tabelul 7 - Variația orientării cozii cometei C/1996 B2 - Hyakutake la 24/25 martie 1996

La data de 4 octombrie 1996 au fost achiziționate 50 de imagini CCD ($t_i = 10, 30$ și $60s$) ale cometei **C/1995 O1 - Halle-Bopp** ($V=5.8$). Alte observații asupra cometei au fost realizate la 29 februarie 1996 ($t_i = 4, 5$ și $7s$). La această dată, 20 de imagini ale acesteia au fost reduse în reperul PPM, folosind două stele de catalog prezente în câmp (PPM 86065 și PPM 86068). Aceste poziții au fost reduse la geocentru și raportate dr. Brian Marsden la *Central Bureau for Astronomical Telegrams*. Figura 6 reprezintă o imagine a nucleului și coamei cometei, vizualizată în izofote.

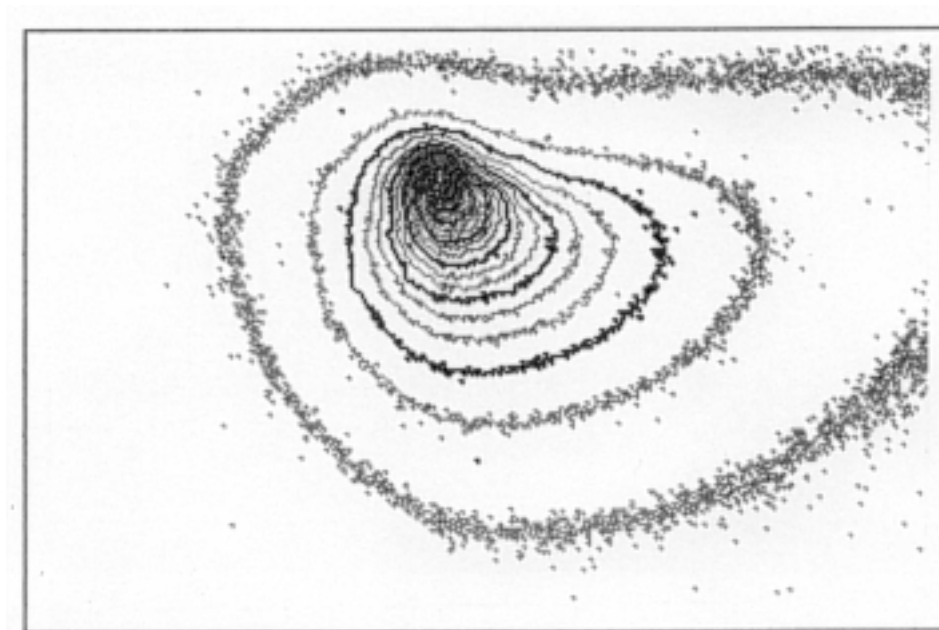


Figura 6 - Imagine a nucleului cometei Hale-Bopp vizualizată în izofote, achiziționată la 25 februarie 1996 la IAAR.

6.5. OBSERVAȚII CCD ALE OCULTAȚILOR LUNARE

6.5.1. Geometria unei ocultații

Convenim să înțelegem prin reducerea ocultațiilor stelelor de către corpuri ale Sistemului Solar (Lună, asteroizi, planete), calculul formei acestora, folosind datele provenite din aceste fenomene. Toate lucrările referitoare la reducerea ocultațiilor folosesc geometria sistemului propusă de Bessel (Smart, 1947), utilizată și în cazul eclipselor.

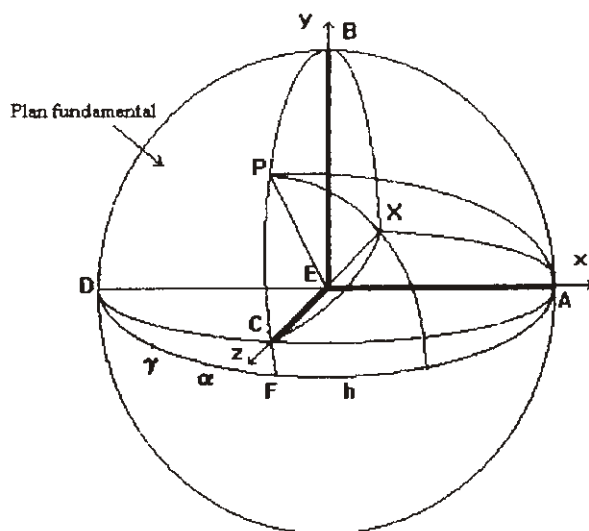


Figura 7 - Elementele geometriei unei ocultații

Să considerăm (în figura 7) sfera cerească geocentrică (cu E centrul Pământului) și direcția EC paralelă cu dreapta stea-corp. Să notăm această axă, de direcție variabilă în timp, prin z . Numim plan fundamental (Bessel) planul ce trece prin E , și este perpendicular pe axa z . Fie EP axa lumii, iar P polul nord. Cercul mare al sferei cerești care trece prin C și P definește un plan perpendicular pe planul fundamental. Intersecția celor două plane (semidreapta EB) definește axa y , orientată spre emisfera nordică. Să considerăm intersecția arcului BPC cu ecuatorul, în punctul F și să alegem axa x ca fiind direcția EA , normală la planul $BPCF$ și orientată spre est. Din construcția axei z rezultă că punctul C are coordonatele ecuatoriale (α, δ) egale cu cele ale steii. Deci punctul A va fi situat pe ecuatorul ceresc, și va avea ascensia egală cu $90 + \alpha$. De asemenea, arcul $FC = \delta$.

Fie EX direcția geocentrică ale corpului, cu $X(x, y, z)$ coordonatele rectangulare, exprimate în termeni de rază ecuatorială mijlocie, în sistemul de coordonate descris, xyz . Dacă r_1 este distanța geocentrică a corpului și (α_1, δ_1) coordonatele acestuia, au loc relațiile:

$$\begin{cases} x = r_1 \cos \delta_1 \sin(\alpha_1 - \alpha) \\ y = r_1 [\sin \delta_1 \cos \delta - \cos \delta_1 \sin \delta \cos(\alpha_1 - \alpha)] \end{cases} \quad (7)$$

Fie acum coordonatele (ξ, η) ale unui observator în raport cu planul fundamental. Dacă ρ este distanța geocentrică a observatorului, φ' latitudinea sa geocentrică, iar h unghiul orar al steii, avem următoarele relații:

$$\begin{cases} \xi = \rho \cos \varphi' \sin(h) \\ \eta = \rho [\cos \delta \sin \varphi' - \sin \delta \cos \varphi' \cos(h)] \end{cases} \quad (8)$$

Coordonatele (x, y) și (ξ, η) din formulele de mai sus dau poziția corpului, respectiv cea a observatorului, în planul fundamental Bessel. Diferențele $(x - \xi)$ și $(y - \eta)$ reprezintă

coordonatele corpului relative la observator. Considerate în momentele de imersiune și de emersiune, aceste coordonate definesc puncte pe marginea umbrei. Din construcția axei z , rezultă că această formă coincide cu forma corpului.

Pentru momentele de imersiune și emersiune, relația:

$$(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2 = k^2 \quad (9)$$

definește raza k a corpului, în unități de rază ecuatorială mijlocie.

Pentru o precizie mai bună, în practică se calculează diferențe $(x-\xi)$, $(y-\eta)$ pentru mai mulți observatori, după care se reprezintă punctele corespunzătoare în același sistem de axe. Aceste puncte definesc câte o coardă corespunzătoare traseului aparent de invizibilitate al stelei în spatele corpului, pentru fiecare din observatorii în cauză. Astfel, se obține cu precizie forma căutată, care se modelează prin metoda celor mai mici pătrate, în funcție de numărul de observații, printr-un cerc sau printr-o elipsă.

6.5.2. Probleme ale observației CCD

O primă problemă care apare în observația CCD a unei ocultații lunare se referă la alegerea timpului de integrare (t_i), astfel încât să fie îndepliniți trei factori: ambele obiecte să fie vizibile în câmp, nici unul să nu fie saturat, și imaginea bordului lunar să nu apară mișcată (din cauza timpului mare de integrare).

De exemplu, cazul contactului cu limbul luminat al Lunii este favorabil observațiilor de ocultații de stele de până la $V=6$, un t_i de 1-2 secunde fiind suficient. Contactul cu limbul invizibil necesită un t_i mai mare (de circa 5s), care însă ar putea influența negativ, pe de o parte imaginea stelei (prin supraexpunere), iar pe de alta imaginea limbului lunar (care ar putea ieși mișcat).

O altă problemă se referă la corelația dintre timpul de achiziție al unei imagini și durata în care ambele obiecte sunt prezente în câmp. Evident, o cadență de achiziție uniformă este de preferat, pentru o bună reprezentare a funcției distanță.

6.5.3. Probleme de procesare și măsurare a imaginilor

Pentru a pune în evidență limbul lunar, după ce au fost preprocesate (par.4.3), imaginile se prelucrează prin aplicarea unui filtru de contur de tip Laplace, Sobel, sau „trece-sus” (par. 4.5.4, 4.5.5). Mai departe, problema cea mai importantă în reducerea ocultațiilor lunare rămâne măsurarea limbului lunar. Aceasta se poate face prin două metode (Văduvescu și Vass, 1996):

Prima metodă determină profilului lunar din cât mai multe puncte, prin fitarea acestora printr-o curbă (cerc, parabolă, elipsă). Alegerea acestei curbe depinde de câmpul camerei CCD. În

cazul instrumentului IAAR, modelarea limbului lunar printr-o dreaptă sau parabolă este suficient de exactă, dat fiind câmpul de $2'.5$ în declinație foarte mic în comparație cu diametrul lunar de $31'$. Această metodă necesită programe adecvate de extragere a conturului lunar, în lipsa cărora o punctare manuală (pixel cu pixel) ar fi mare consumatoare de timp.

A doua metodă determină distanța stea-limb cu ajutorul unei funcții astrometrice prevăzute de programul de prelucrare (Colas și Serrau, 1991).

6.5.4. Observații CCD de ocultații lunare

La 1 octombrie 1996, Luna (etatea=18zile) a occultat steaua α Tau (Aldebaran, $V=1.1$) (Stavinschi et al, 1995). Fenomenul a fost înregistrat de autor la IAAR, atât cu camera CCD, cât și în mod vizual, și se pare că reprezintă prima cronometrare a unei ocultații cu Aldebaran din 1982 (Dunham, 1996), momentul imersiunii devansând cu 1^m38^s o observație din Cehia.

Din cauza scintilației puternice produse de înălțimea mică deasupra orizontului (circa 18°) și a strălucirii mari a stelei, pentru achiziție am folosit un *ti* foarte scurt ($0^s.02$). Înainte de momentul imersiunii au fost achiziționate 80 de imagini CCD conținând steaua și limbul luminat al Lunii.

Folosind prima metodă expusă în par. 6.5.3, modelarea liniară a profilului lunar din câteva puncte măsurate pe 16 imagini și interpolarea liniară a momentului imersiunii dau valoarea acestuia de $20^h46^m13^s.57$.

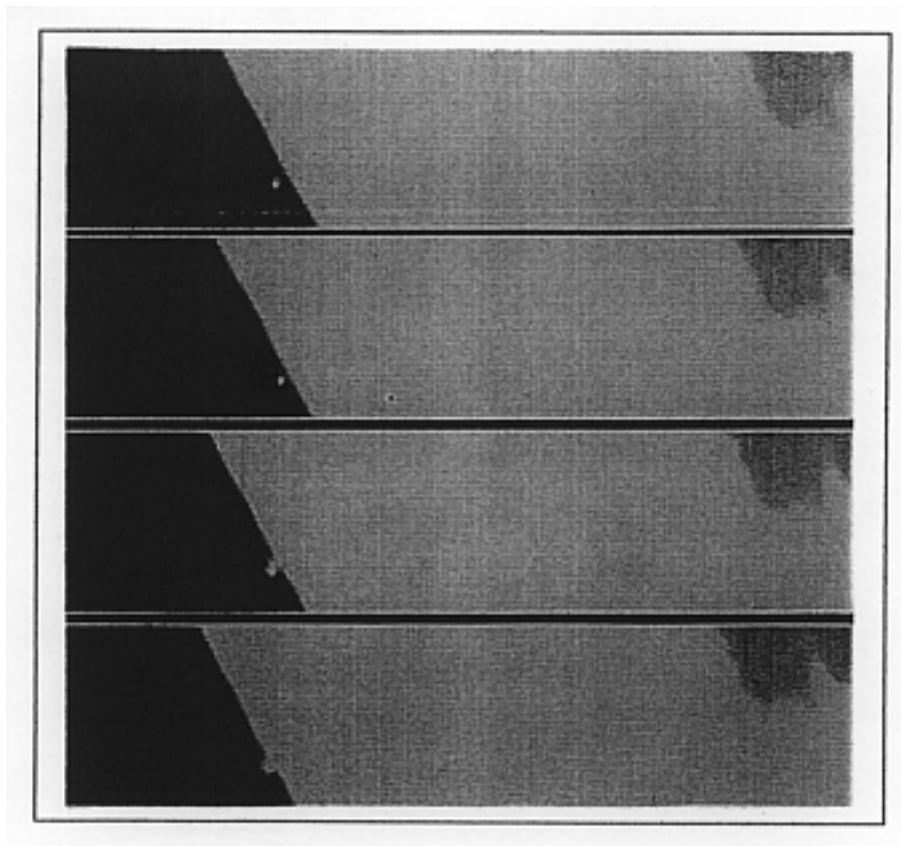


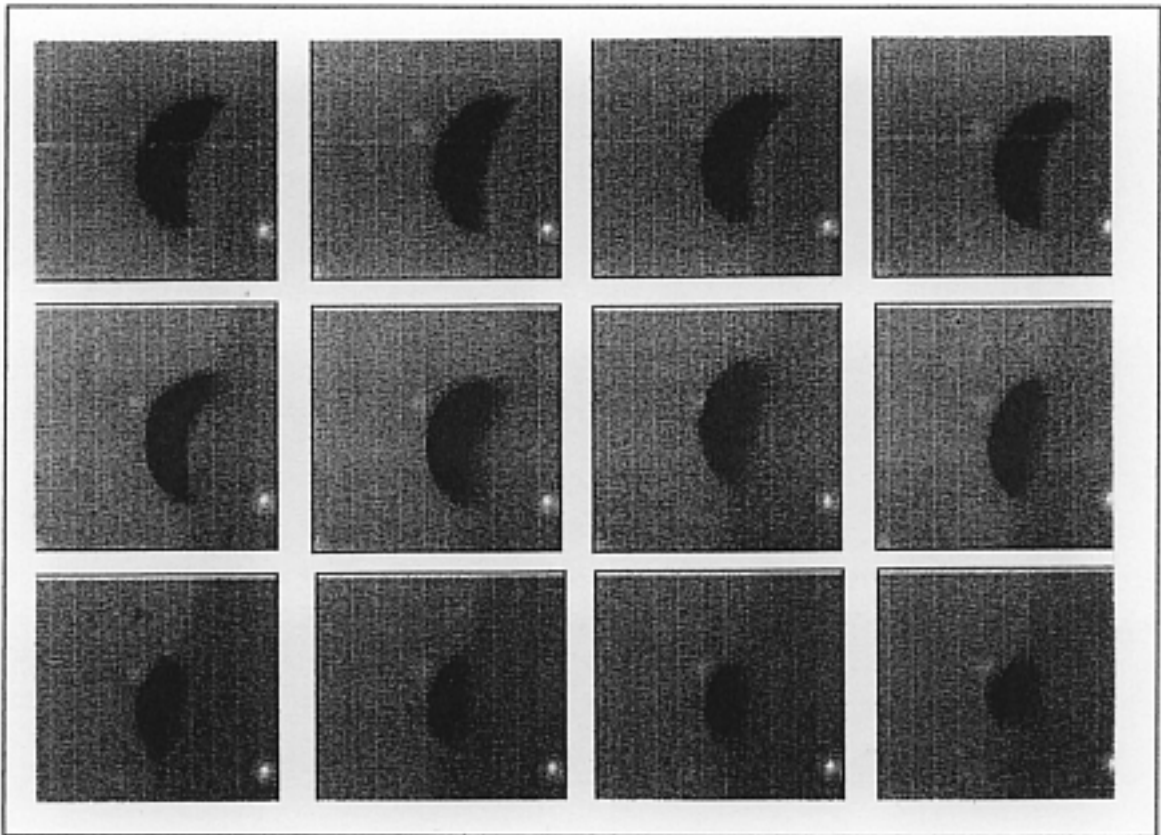
Figura 8 - Ocultația Lună-Aldebaran, observată cu camera CCD la IAAR, la 1 octombrie 1996

Figura 8 prezintă cele patru imagini precedente momentului imersiunii, dintre care ultima reprezintă o constrângere inferioară a acestui moment, la valoarea de $20^{\text{h}}46^{\text{m}}12^{\text{s}}.21$ UT.

Aceste valori trebuie să fie comparate cu observația vizuală, care a înregistrat momentul imersiunii la $20^{\text{h}}46^{\text{m}}15^{\text{s}}.7 \pm 0^{\text{s}}.3$. Eroarea de $0^{\text{s}}.3$ este ecuația personală a autorului, măsurată cu programul INTTOP de simulare a ocultațiilor (par. 6.1.6).

La 12 iulie 1996, Luna (etatea=26zile) a ocultat planeta Venus ($V=-4.5$). Deși fenomenul a avut loc la amiază, el a putut fi observat cu camera CCD, la IAAR. Au fost achiziționate 25 de imagini în timpul imersiunii și 5 la emersiune.

Figura 9 prezintă 12 cadre ($\Delta t=0^{\text{s}}.02$) ce surprind contactul interior al planetei cu Luna la imersiune. În 4.5.5 s-a arătat modul în care se poate extrage cele două limburi, prin filtrarea imaginilor preprocesate cu operatori Laplace și Sobel.



Un exemplu de imagine în care profilul planetar a fost modelat printr-un cerc, iar cel lunar printr-o parabolă (dată fiind latura ferestrei mică în comparație cu diametrul Lunii), este prezentat în figura 10.

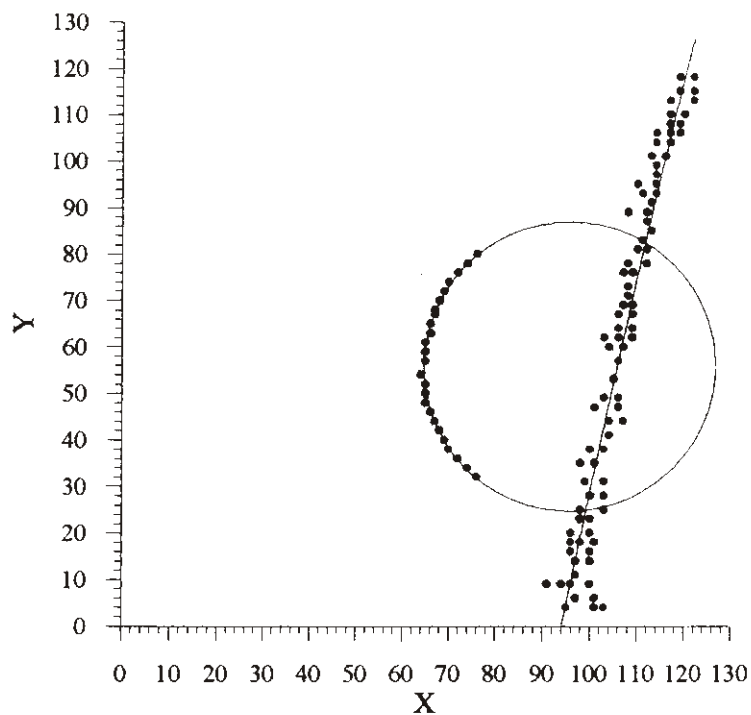


Figura 10 - Aproximarea limbului lunar (parabolă) și a celui venusian (cerc), măsurate la IAAR în cazul ocultației din 12 iulie 1996

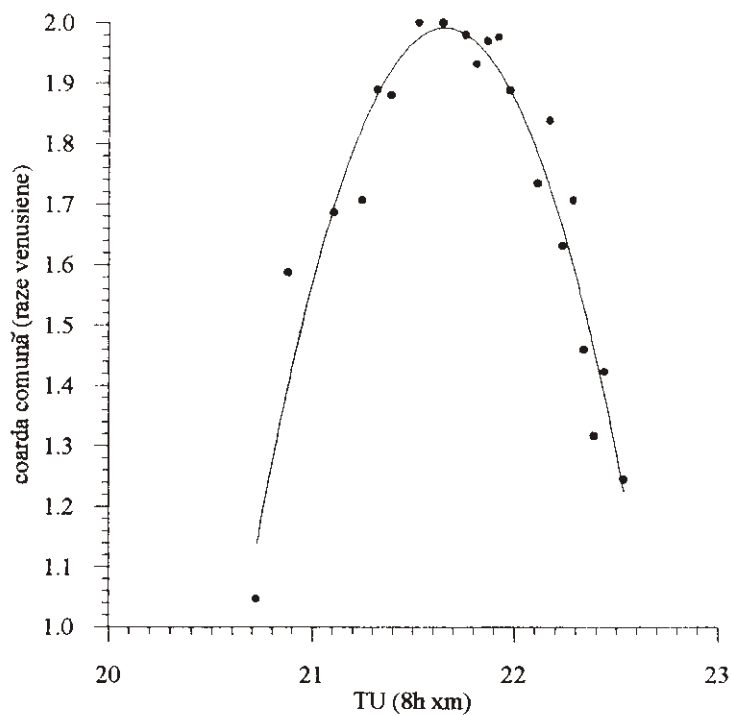


Figura 11 - Reducerea momentelor de contact în cazul ocultației Lună-Venus

Reducerea momentului de imersiune, (prin metoda expusă în par. 6.5.3) furnizează reprezentarea grafică a corzii comune în funcție de timp, în figura 11. În par. 6.2.5 am demonstrat

că lungimea corzii comune Lună-planetă este o funcție de gradul doi de timp (sistemul 6.5). Modelând rezultatele obținute printr-o funcție de gradul doi, rezultă momentele celor două contacte: $8^{\text{h}}20^{\text{m}}13^{\text{s}}.83$ (exterior) și $8^{\text{h}}23^{\text{m}}4^{\text{s}}.45$ UT (interior).

6.6. DIMENSIUNI ALE ASTEROIZILOR DEDUSE DIN OCULTAȚII

Observarea ocultațiilor stelelor de către corpurile mici ale Sistemului Solar (și în particular de către asteroizi) au implicații importante, atât d.p.d.v. astrometric (poziții exacte de ordinul a $0''.01$), cât și planetologic (structură, formă și vecinătate a corpurilor).

Prima observație a unei ocultații de către un asteroid a fost făcută în anul 1958, de către Bjorklund și Müller, în Suedia. Ea a stabilit, în conformitate cu durata de $7^{\text{s}},2$, un diametru minim al lui (3) Juno de 110km. Al doilea succes parțial a fost obținut la 2 octombrie 1961, când (2) Pallas a ocultat steaua BD-5°5863 (Taylor, 1962). O înregistrare fotoelectrică a ocultației a fost făcută la observatorul din Naini Tal (India), în timp ce alte două observatoare din Africa au efectuat observații fotografice și micrometrice la trecerea apropiată a asteroidului pe lângă stea. Din cele trei observații a rezultat o poziție exactă a asteroidului ($\pm 0''.1$) și un diametrul minim de 430km.

6.6.1. Ocultații și apropieri strânse

După cum vom vedea în par. 6.6.2, datorită dimensiunilor aparente foarte mici ale asteroizilor, probabilitatea de producere a ocultațiilor este foarte scăzută. Deoarece distanța stea-observator este practic infinită în raport cu distanța observator-asteroid, proiecția umbrei planetei pe planul Bessel are practic aceeași mărime ca și planeta mică. Din această cauză, lățimea benzii de vizibilitate a ocultației este sub 100km pentru majoritatea asteroizilor. În timp ce observatorii situați în interiorul benzii de vizibilitate vor înregistra ocultația, cei situați în afara benzii vor înregistra o apropiere strânsă.

6.6.2. Frecvența ocultațiilor

Datorită dimensiunilor aparente extrem de reduse ale micilor planete (pentru (1) Ceres inferioară valorii de $0''.8$), pentru elaborarea predicțiilor sunt necesare efemeride foarte exacte, în limita zecimii de secundă de arc. Presupunând acest fapt realizabil pentru asteroizi (cei mai

mari având orbite bine determinate), să ne oprim puțin atenția asupra principalelor cataloage stelare.

Un studiu probabilist de producere a ocultațiilor (O'Leary, 1972) include, între obiectele cu diametre aparente $>0''.1$, și primii patru asteroizi. Frecvențele de producere a fenomenelor sunt calculate considerând produsul dintre aria „măturată“ de obiecte în decursul unei perioade și numărul stelelor de magnitudine inferioară unei valori limită, calculat pentru o latitudine galactică medie. În studiul citat, autorul analizează două cazuri: ocultațiile observabile pe cerul nopții unui loc terestru fixat și cele vizibile oriunde pe Pământ. Tabelul 8 furnizează rezultatele în timpul unei decade:

Aster.	Magn mijl.	Diam. med. (")	Obs.dintr-un loc		Obs.de pe Pământ		Mag. fot. lim stea ocut	Diam. min instr. (cm)
			Nr.ocult. bune	Nr.ocult. accept.	Nr.ocult. bune	Nr.ocult. accept.		
Ceres	+8.5	0.3	0.02	0.2	2	20	11	8
Pallas	+9.7	0.2	0.04	0.6	6	80	12	13
Vesta	+8.1	0.2	0.008	0.1	1	14	11	8
Juno	+10.8	0.1	0.07	0.8	17	200	13	17

Tabelul 8 - Frecvența ocultațiilor primilor patru asteroizi (nr. ocut/10 ani), (O'Leary, 1972);
Ocut. „bune” - 50% reducere în intensitate; ocut. „acceptabile” - 10% reducere în intensitate

Millis și Elliot (1979) calculează frecvența anuală medie a ocultațiilor pentru 13 asteroizi. Cifrele sunt prezentate în tabelul 9. Magnitudinea limită a fost aleasă astfel încât să se obțină o modificare de cel puțin 5% în strălucirea stelei și a asteroidului în momentul ocultației.

Asteroid	Nr. ocultații anuale	Limită magn. stele
1 Ceres	2.0	10.2
2 Pallas	4.4	11.0
4 Vesta	0.6	9.1
10 Hygiea	13.8	12.2
31 Euphrosyne	16.6	12.4
704 Interamnia	18.2	12.5
511 Davida	20.5	12.6
65 Cybele	29.6	13.0
52 Europa	22.4	12.7
451 Patientia	9.6	11.8
15 Eunomia	7.1	11.5
16 Psyche	13.8	12.2
3 Juno	7.8	11.6

Tabelul 9 - Frecvența anuală medie a ocultațiilor de asteroizi (Millis și Elliot, 1979)

Un alt studiu al frecvenței ocultațiilor asteroizilor poate fi făcut considerând principalele caracteristici ale cataloagelor stelare, prezentate în tabelul 10. În ceea ce privește precizia medie a pozițiilor stelare, din tabel se observă că doar *Hipparcos* și *Tycho* satisfac condiția necesară efectuării de predicții de ocultații ($\varepsilon < 0''.1$), *PPM* și *AGK3* fiind doar candidate. Presupunând cifra medie de $0''.8$ pentru diametrul aparent al lui (1) Ceres și o mișcare medie

diurnă de $0^{\circ}.2/\text{zi}$, rezultă o arie „măturată” zilnic de $576''^2$. Cunoscând densitatea stelelor în principalele cataloage, rezultă probabilitatea ca asteroidul să oculteze o stea de catalog. Se observă că doar *GSC* asigură o densitate confortabilă (o ocultație la două luni), celelalte cataloage oferind în medie o ocultație cu (1) Ceres la cel puțin șapte ani!

Catalog	Precizia (")	Densit. $\cdot \rho^2$	Interv. occult. (1) Ceres (zile)
Hipparcos	0.002	2.4	9375
AGK3	0.28	4.4	5114
SAO	2.0	6.3	3571
PPM	0.27	8.2	2744
Tycho	0.02	9.7	2320
GSC	1.7	363	62

Tabelul 10 - Media ocultațiilor cu (1) Ceres în principalele cataloage stelare

6.6.3. Predicția fenomenelor

Pentru a valorifica oportunitățile deschise de fenomenele de ocultații și apropieri strânse, două metode de predicție sunt folosite de autori în literatura de specialitate.

6.6.3.1. Studii de cataloage stelare

Odată cu dezvoltarea puterii tehnicii de calcul, metoda cea mai comodă de predicție a ocultațiilor este compararea efemeridei asteroizilor cu pozițiile stelelor, obținute din cataloagele stelare (Millis și Dunham, 1989). Metoda a fost inițiată de către Taylor, fiind aplicată la început manual, o muncă dificilă și consumatoare de timp. Odată cu dezvoltarea extraordinară a tehnicii de calcul, procesul a putut fi automatizat și cercetarea a putut fi extinsă la asteroizi mai mici și la cataloage stelare mai bogate.

Un studiu destinat „să alerteze comunitatea astronomică în privința ocultațiilor stelare de către asteroizi” (Wasserman et al, 1987) ia în considerație toți asteroizii catalogați cu diametre aparente de minimum $0''.08$ și 326000 de stele compilate din opt cataloage. Rezultatul este o listă bogată în evenimente (peste 100 de fenomene în anii 1988-1989). De exemplu, Ceres, Pallas și Juno figurează cu câte un fenomen, în timp ce Vesta se detașază cu opt fenomene în doi ani (cifrele se apropie mai bine de lucrarea lui Millis și Elliot, 1979). Tabelele conțin, alături de parametri obișnuiți referitori la perechile asteroid-stea, parametrul Q (Millis și Elliot, 1979) care exprimă probabilitatea ca poziția umbrei unei ocultații să fie prevăzută cu o precizie adecvată planificării observațiilor:

$$Q = 2\sigma \cdot \frac{\Delta}{D}, \quad (10)$$

unde Δ este distanța asteroid-Pământ, D diametrul estimat al asteroidului, iar σ este nesiguranța în separarea unghiulară asteroid-stea la momentul apropierii minime.

Wasserman et al. (1992) furnizează o listă pentru anul 1992, ce conține 169 de ocultări de durată minimă 5s cu asteroizi de diametre aparente mai mari decât $0",08$ și elongații $> 45^\circ$.

E. Goffin (1996) alcătuiește de câțiva ani predicții de ocultări, distribuite de organizația *European Asteroidal Occultation Network* (EAON). Predicțiile sunt efectuate folosind un catalog de stele obținut prin fuzionarea a nouă cataloage: *FK5 Basic*, *FK5 Extension*, *FK5 Supplement*, *PPM North*, *PPM South*, *PPM 90000 Star Supplement*, *PPM Bright Star*, *ACRS*, *CMC 4-8*, *ZZ87* și *Lick-Voyager Supplement*. Hărțile de identificare includ stelele selectate până la magnitudinea fotografică 13 din *Guide Star Catalogue for Hubble Space Telescope* (v.1.1). Studiul este condus pentru asteroizi cu diametru $>200\text{km}$ și pentru alte circa 50 de planete mici de interes special, și conține 57 de predicții vizibile pe tot globul în anul 1997 (Goffin, 1996).

Un alt program de predicție de apropieri și ocultări a câteva mii de asteroizi este dezvoltat recent de J. Berthier (1996) în cadrul unei teze de doctorat. Pentru anul 1997, pentru București, autorul prevede 942 de apropieri $<1'$ de stele de catalog ACR, dintre care nici o ocultare (Berthier, 1997).

Un studiu similar de predicții de apropieri strânse ale câtorva asteroizi de stele de catalog PPM, folosind programul APRPPM (par.6.1.5), este în curs de a fi efectuat (Văduvescu, 1997).

6.6.3.2. Studii fotografice

Millis et al. (1983) îmbunătățesc o metodă anterioară, care studiază posibilitatea ca asteroizii să oculteze stele, folosind plăci fotografice ce conțin chiar zonele ce urmează să fie traversate de asteroizi. Fasciculul unui microdensitometru, condus de un computer, trasează calea pe care asteroidul urmează să se miște în câmpul stelar. Un operator care observă ecranul întrerupe scanarea, ori de câte ori o stea cu $V < 15$ se află la mai puțin de $30''$ de centrul fascicolului. Steaua este apoi centrată manual, coordonatele ei fiind măsurate și păstrate ca referință. Pentru o mai bună acuratețe a pozițiilor stelelor „pretendente”, autorii scanează între două și patru plăci pentru fiecare asteroid studiat. Rezultatul este o listă ce conține 33 de ocultări de către 7 asteroizi pentru anul 1983. Totuși, nesiguranța predicțiilor zonelor de vizibilitate de pe Pământ este de câteva ordine de mărime lărgimea umbrei (ceea ce impune efectuarea de astrometrie suplimentară asupra asteroidului și stelelor, cu câteva săptămâni înaintea fiecărui eveniment). Un studiu similar celui expus anterior, efectuat de către Millis et al. (1984) pentru o perioadă de circa nouă luni, determină 26 de fenomene (dintre care ocultarea din 13 noiembrie 1984 cu (1) Ceres a fost observată).

6.6.4. Participare în cadrul rețelei europene EAON

În anul 1994 am fost acceptat ca membru observator în cadrul Rețelei Europene de Observare a Ocultațiilor de Asteroizi (EAON). Prin bunăvoința acestei organizații, în fiecare an am primit fișele de observație, elaborate de E. Goffin (1993, 1994, 1995, 1996). În cadrul EAON, începând cu anul 1995, am observat opt fenomene de apropiere strânsă, ale căror rezultate au fost raportate organizației (Văduvescu, 1996f). Dintre apropierile observate la IAAR, în patru cazuri au fost achiziționate imagini CCD care conțin steaua și planeta mică (înainte sau/și după apropierea maximă). Reducerea acestor patru fenomene o vom prezenta în par. 6.6.5, comparând rezultatele obținute cu predicțiile lui Goffin. Beneficind de alte observații raportate la EAON asupra acestor fenomene, în ultima parte a tezei vom racorda măsurătorile astrometrice efectuate de autor la IAAR, în încercarea de a determina constrângeri asupra diametrelor acestor asteroizi.

6.6.5. Aplicații în cazul apropierilor strânse

6.6.5.1. Rezultate observaționale obținute la București

Primele rezultate de observație și reducere a apropierilor strânse au fost publicate recent (Văduvescu, 1996c,d). Alte rezultate observaționale au fost comunicate (Văduvescu, 1996e) și publicate de EAON (Văduvescu, 1996f). Vom expune în continuare rezultatele acestor observații, comparând momentul apropierii maxime, calculat pentru geocentru, cu predicțiile efectuate de Goffin.

La data de 29 august 1995, EAON prevedea ocultația stelei PPM 92838 de către asteroidul (7) Iris. Condițiile erau deosebit de favorabile observației CCD, dat fiind strălucirea mare a asteroidului ($V=9.06$) și prezența în câmp a încă unei stele PPM (92829). Cu acest prilej, în mai puțin de o oră, la IAAR am înregistrat peste 100 de imagini CCD ce conțin asteroidul și cele două stele PPM. Reducerea observațiilor (par. 6.2.2) a furnizat tot atâtea poziții absolute ale planetei mici în raport cu sistemul PPM, permițând reducerea apropierii. Din păcate, probleme tehnice au făcut imposibilă înregistrarea de imagini la momentul preconizat al ocultației (pentru a permite o analiză fotometrică). Totuși, din valoarea calculată a separației minime, comparată cu valoarea estimată a diametrului aparent al asteroidului ($0'',19$), rezultă că pentru București ocultația nu a avut loc. Figura 12 reproduce două dintre imaginile surprinse înainte și după apropiere. Figura 13 reprezintă cele 80 de poziții aparente topocentrice ale asteroidului, reduse în sistemul PPM 92838.

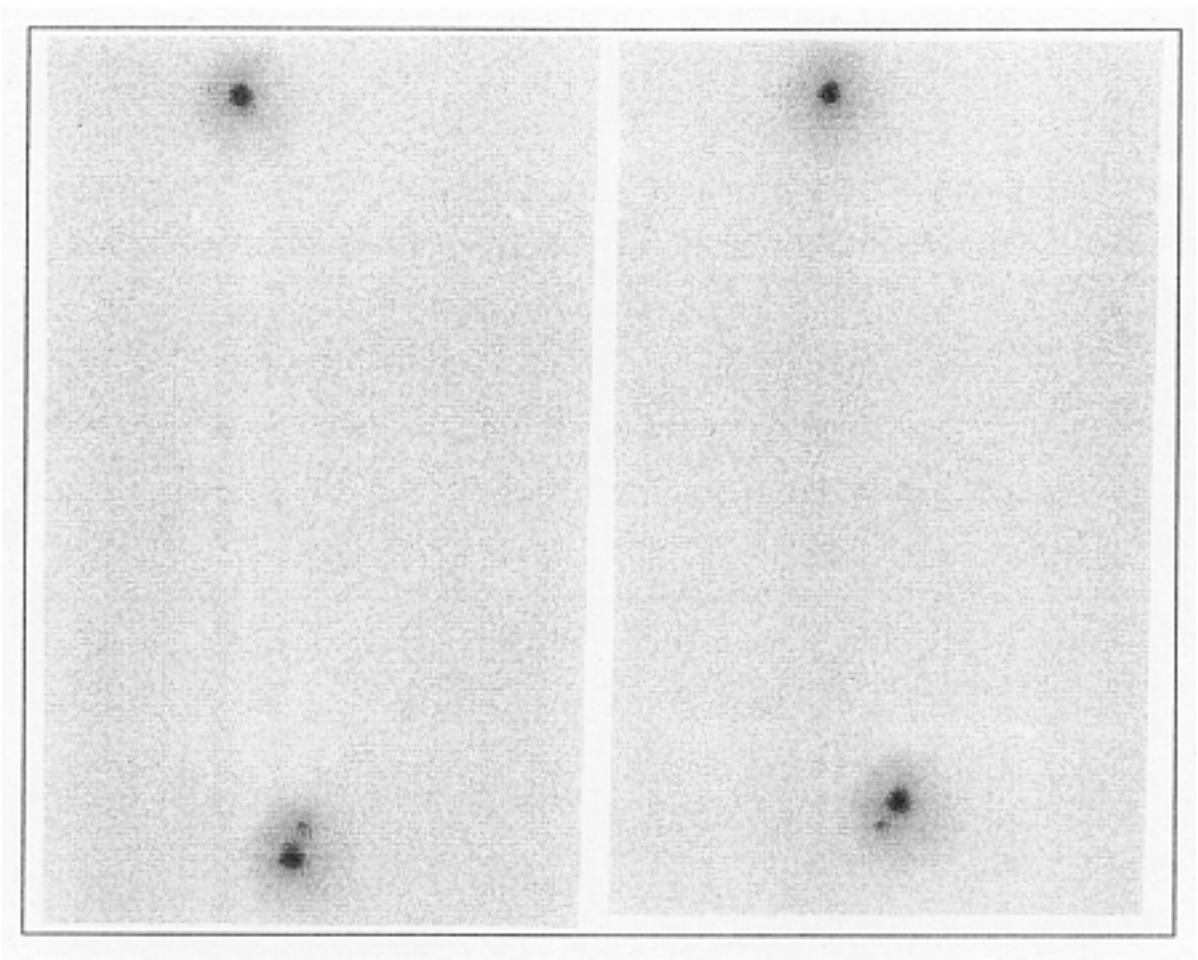


Figura 12 - Două imagini ale asteroidului (7) Iris înainte și după apropierea maximă ($1''.21$) de steaua PPM 92838. În câmp mai apare steaua PPM 92829 (jos).

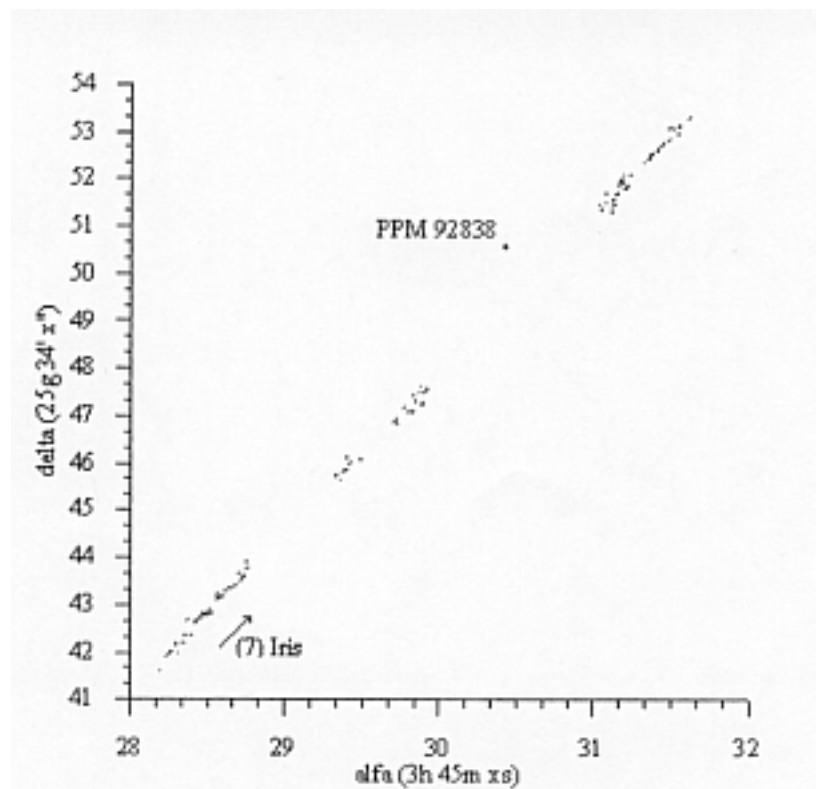


Figura 13 - 80 de poziții aparente ale micii planete (7) Iris reduse la IAAR cu ocazia ocultației stelei PPM 92838 din 29 august 1995

Rezultatele reducerii fenomenului, folosind programele prezentate în par. 6.2.4 și valoarea O-C referitoare la momentul separației minime geocentrice (comparate cu predicțiile lui Goffin) sunt următoarele:

(7) *Iris* - PPM 92838

Sep. min. (București) = 1" .20; *TU sep. min.* = 0^h17^m44^s .8

Sep. min. (geocentru) = 4" .10; *TU sep. min.* = 0^h19^m45^s .5; *O - C* = -32^s

$\Delta\delta$ *conj. (București)* = -1" .24 (*Iris la Sud*); *TU conj.* = 0^h17^m26^s .9

$\Delta\delta$ *conj. (geocentru)* = 4" .22 (*Iris la Nord*); *TU conj.* = 0^h20^m46^s .0

A doua observație a fost efectuată la IAAR la 16 aprilie 1996, asupra asteroidului (297) *Caecilia* ($V=14.3$), care a trecut foarte aproape de steaua PPM 227359 ($F=9.8$). Analiza celor 140 de poziții rezultate din imagini ($t_i=15s$), folosind ambele metode prezentate în par. 6.2.4, definesc aceeași separație unghiulară pentru București (fără ocultație). Figura 14 reproduce pozițiile aparente topocentrice ale asteroidului, alături de steaua PPM.

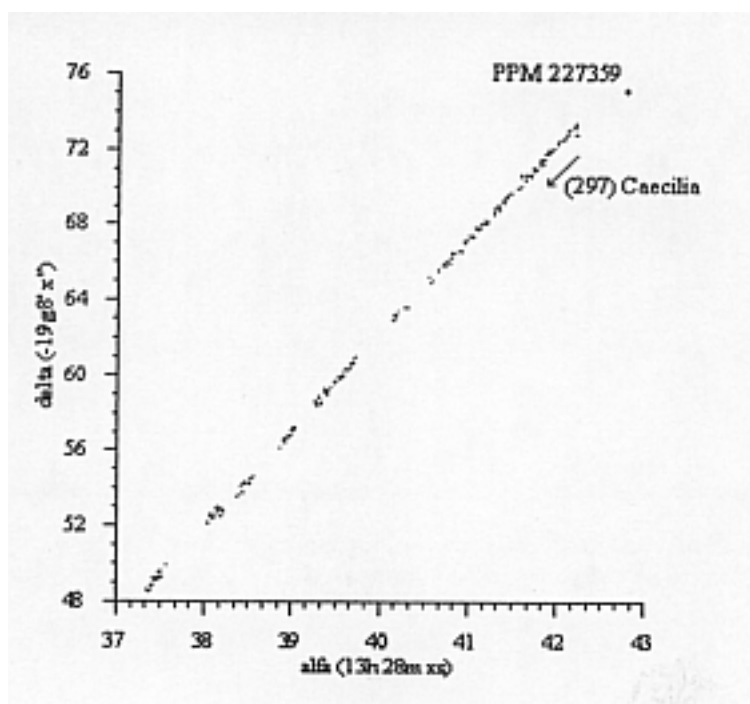


Figura 14 - 140 de poziții aparente topocentrice ale planetei mici (297) *Caecilia*, reduse la IAAR cu ocazia ocultației stelei PPM 227359 din 26 aprilie, 1996

Rezultatele reducerii fenomenului sunt următoarele:

(297) *Caecilia* - PPM 227359

Sep. min. (București) = 1" .22; *TU sep. min.* = 19^h9^m7^s .7

Sep. min. (geocentru) = 0" .86; *TU sep. min.* = 19^h4^m12^s .0; *O - C* = -84^s

$\Delta\delta$ *conj. (București)* = -1" .29 (*Caecilia la Sud*); *TU conj.* = 19^h8^m14^s .8

$\Delta\delta$ *conj. (geocentru)* = 0" .92 (*Caecilia la Nord*); *TU conj.* = 19^h4^m51^s .2

A treia observație a avut loc la IAAR la 21 iunie 1996, și a înregistrat trecerea apropiată a micii planete **(824) Anastasia** ($V=14.07$) pe lângă steaua PPM 706340 ($F=9.3$). Datorită unor probleme tehnice, au fost înregistrate doar 17 imagini CCD în intervalul a $2^h.5$, folosind t_i de 10 și 20s. Deoarece căderea de magnitudine în cazul ocultației ar fi fost de $4^m.5$, ar fi fost posibil de înregistrat în mod vizual momentele de imersiune și emersiune. Observația vizuală în intervalul $20^h45^m-21^h15^m$ (UT) nu a înregistrat nici o extincție în luminozitatea stelei. Figura 15 prezintă cele 17 poziții aparente, reduse la topocentru, alături de steaua PPM.

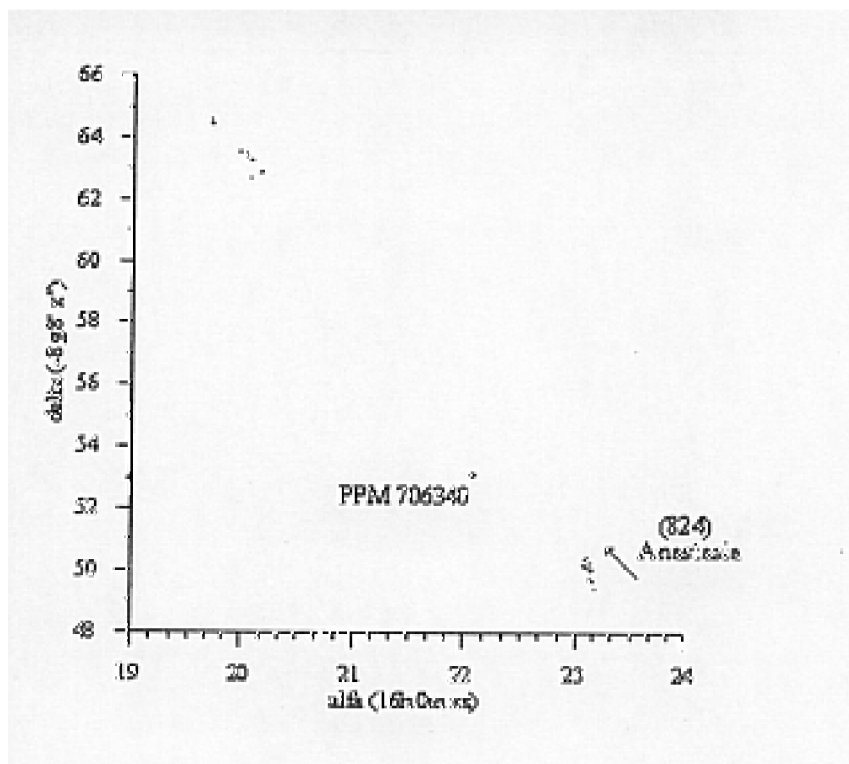


Figura 15 - 17 poziții aparente topocentrice ale planetei mici (824) Anastasia, reduse la IAAR cu ocazia ocultației stelei PPM 706340 din 21 iunie, 1996

Rezultatele reducerii fenomenului sunt următoarele:

(824) Anastasia - PPM 706340

Sep.min.(Bucuresti) = $1''.34$; TU sep.min. = $21^h10^m43^s.1$

Sep.min.(geocentru) = $2''.25$; TU sep.min. = $21^h16^m31^s.8$; O - C = 10^m

$\Delta\delta$ conj.(Bucuresti) = $-1''.40$ (Anastasia la Sud); TU conj = $21^h11^m45^s.9$

$\Delta\delta$ conj (geocentru) = $2''.35$ (Anastasia la Nord); TU conj = $21^h14^m36^s.0$

A patra observație CCD a unei apropierii strânse a fost efectuată la IAAR asupra asteroidului **(382) Dodona** ($V=14.10$) și a stelei PPM 117315 ($F=9.30$). Cu această ocazie au fost achiziționate 68 de imagini CCD ($t_i=40s$), într-un interval de aproape trei ore. Observația vizuală în intervalul $21^h0^m-21^h30^m$ (UT) nu a înregistrat nici o extincție în luminozitatea stelei.

În figura 16 sunt prezentate pozițiile aparente ale asteroidului, reduse la topocentru în reperul stelei PPM.

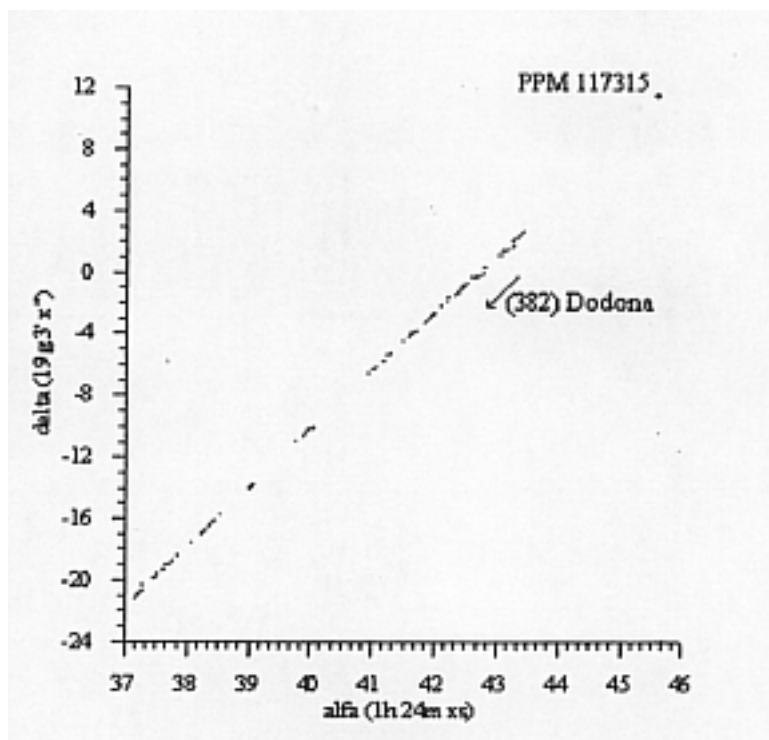


Figura 16 - 68 de poziții aparente topocentrice ale micii planete (382) Dodona, observată la IAAR cu ocazia ocultației stelei PPM 117315 din 2 octombrie 1996

Rezultatele reducerii fenomenului sunt următoarele:

(382) Dodona - PPM 117315

Sep.min.(Bucuresti) = 0" .59; TU sep.min. = 21^h17^m38^s.4

Sep.min.(geocentru) = 2" .02; TU sep.min. = 21^h17^m7^s.1; O - C = 1^m37^s

$\Delta\delta$ conj.(Bucuresti) = -0" .62 (Dodona la Sud); TU conj. = 21^h17^m58^s.7

$\Delta\delta$ conj (geocentru) = 2" .09 (Dodona la Nord); TU conj. = 21^h15^m55^s.6

6.6.5.2. Racordarea cu alte observații

Beneficind de rezultatele raportate la EAON ale altor observatori europeni asupra a trei dintre observațiile prezentate mai sus, am încercat racordarea pozițiilor prezentate mai sus la aceste observații, în scopul determinării unor constrângeri asupra diametrelor asteroizilor implicați. Din păcate, în cele trei cazuri toate observațiile au fost realizate de aceeași parte a benzii de vizibilitate, fapt care nu permite stabilirea acestor constrângeri. Totuși, în unul din cazuri (824 Anastasia - PPM 706340) am obținut un rezultat contradictoriu cu una dintre observațiile raportate la EAON, pentru care avansăm, în cele ce urmează, două posibile explicații.

Să considerăm graficul din figura 17, în care linia continuă reprezintă banda foarte îngustă de vizibilitate a ocultației (Goffin, 1996), în proiecție pe planul Bessel. Pe această figură, cele două linii punctate reprezintă posibilele deplasări ale benzii de vizibilitate datorate unei erori în efemeridele asteroidului și a stelei de 1". Potrivit predicției lui Goffin, se observă că România se situează foarte puțin deasupra benzii de vizibilitate, ca și întreaga Europă, ceea ce ar însemna - în cazul că efemeridele folosite pentru predicție ar fi fost suficient de exacte - că toate observațiile nu ar fi înregistrat ocultația.

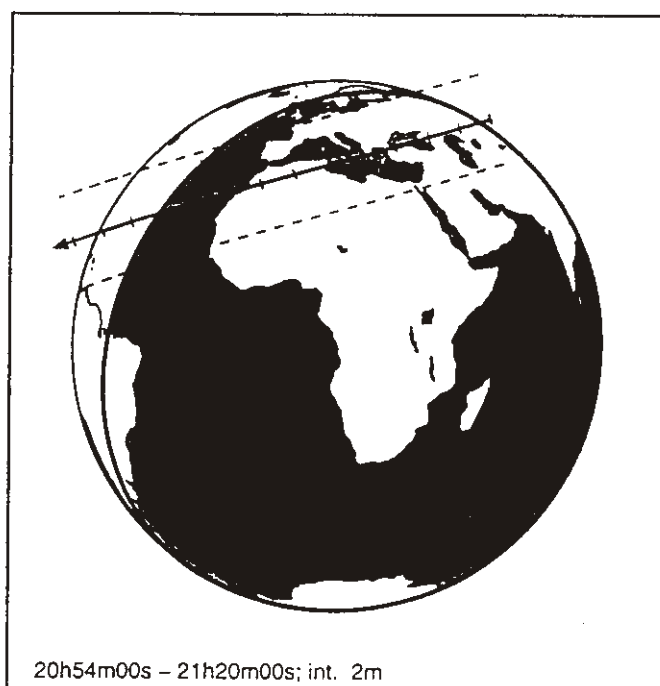


Figura 17 - Banda de vizibilitate a ocultației (824) Anastasia - PPM 706340 (Goffin, 1996)

Tabelul 11 reproduce nouă observații raportate la EAON asupra fenomenului în cauză. Cu o singură excepție, din penultima coloană se observă că opt observatori nu au înregistrat ocultații. În ultima coloană am calculat (par. 6.1.5) separațiile topocentrice minime stea-asteroid, folosind o efemeridă geocentrică determinată prin interpolarea celor 17 poziții CCD obținute la București (figura 15) și transformate la geocentru (par. 6.2.2.2).

Observator	Localitate	Latitudine	Longitudine	Observ.	Sep. calculată
Erades J.P.	Aspe, SP	38°21'02" N	00°46'35" V	POZ	1".48 SE
Iliev I.	Gabrovo, BL	42°52'28" N	25°20'30" E	NEG	1".28 SE
Cucarella F.	Vallirama, SP	41°23'07" N	01°56'12" E	NEG	1".64 SE
Goncalves R.	Carcavelos, PO	38°42'03" N	09°19'34" V	NEG	1".69 SE
Pinana R.	Castello de la Plana, SP	40°08'06" N	00°00'42" V	NEG	1".60 SE
Gomez D.	Gandia, SP	38°58'33" N	00°10'52" V	NEG	1".52 SE
Mattei A.	Salern, IT	40°42'10" N	14°46'30" E	NEG	1".33 SE
Schnabel C.	Barcelona, SP	41°22'57" N	02°08'14" V	NEG	1".73 SE
Văduvescu O.	București, RO	44°24'50" N	26°05'47" E	NEG	1".38 SE

Tabelul 11 - Nouă observații ale ocultației (824) Anastasia - PPM 706340 raportate la EAON

În sprijinul verificării predicțiilor separațiilor calculate în ultima coloană, aducem două argumente. Primul se referă la diferența de doar $0''.02$ între predicția pentru București și observația propriu-zisă (par. 6.6.5.1). Pe de altă parte, potrivit pozițiilor asteroidului față de stea reproduse în ultima coloană la momentele apropiierilor (sud-est), se observă că toate localitățile au fost situate la nord față de linia de vizibilitate, ceea ce verifică și predicțiile lui Goffin (figura 17).

Tot din tabelul 11 rezultă faptul că cea mai mică separație minimă a fost calculată pentru o localitate din Bulgaria, ceea ce reprezintă o nouă confirmare a predicției lui Goffin, dar care este în contradicție cu observația autorului spaniol. Pentru a explica această contradicție, avansăm două ipoteze, și anume posibila lipsă de experiență a observatorului spaniol sau posibilitatea existenței unui satelit al asteroidului (824) Anastasia.

Alte observații CCD ale ocultațiilor stelelor de către asteroizi sunt programate a fi efectuate de autor în anii care urmează. Prin racordarea pozițiilor obținute cu alte observații comunicate de EAON, suntem optimiști că vom putea obține noi rezultate, atât în legătură cu caracterul binar al unor asteroizi, cât și referitoare la unele constrângeri asupra diametrelor micilor planete implicate.