

**Universidade Federal do Rio de Janeiro
Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza
Departamento de Astronomia**

***Um Estudo dos Cometas
Hale-Bopp e Chiron***

Aluno: Alberto Silva Betzler

Orientadora: Daniela Lazzaro
(Observatório Nacional, Depto. Astrofísica)

**Projeto de Final de Curso para a Obtenção do
Título de Astrônomo**

À minha mãe.

“Estava claro e fazia muito frio. Acima das ruas sujas e mal-iluminadas, acima dos telhados negros, estendia-se o céu escuro e estrelado. Só quando olhou para o céu Pedro deixou de sentir como eram sórdidas e humilhantes todas as coisas mundanas, comparadas às alturas a que sua alma acabara de elevar-se. Na entrada da Praça Arbat uma enorme extensão de céu escuro e estrelado apresentou-se aos seus olhos. Quase no centro, sobre a Avenida Prechistenka, rodeado e pontilhado de estrelas por todos os lados mas de todas se distinguindo pela proximidade em que se achava da Terra, sua luminosidade branca e sua longa cauda levantada, brilhava enorme e radiante o Cometa de 1812 – do qual se dizia que prenunciava toda sorte de desgraças e até o fim do mundo. Em Pedro, porém, o cometa com sua longa cauda luminosa não despertou nenhum sentimento de medo. Ao contrário, ele fitou jubiloso, com os olhos úmidos de lágrimas, aquele esplêndido cometa que, depois de percorrer sua órbita a uma fantástica velocidade através de um espaço incomensurável, parecia de repente – como uma seta cravada na Terra – quedar fixo num ponto escolhido, mantendo vigorosamente a cauda ereta, fulgindo e ostentando a sua claridade branca entre miríades de outros astros cintilantes. Pareceu a Pedro que o cometa respondia plenamente ao que se passava em sua alma enternecida e exaltada, agora florescendo para uma nova vida.”

Leon Tolstoi
Guerra e Paz,
VIII, 22

Agradecimentos

- . À minha paciente orientadora, Daniela Lazzaro, por acreditar em meu potencial apesar de meus “deslizes” ocasionais.
- . Aos meus amigos, Alessandro Ciapina, Sergio Pilling, Carlos Andre “Panda” de Moraes, Flavia Requeijo, Annelise Aiex Correa, Carlos Magno, Alessandra Casati, Luciana Rios, dentre outros, por seu apoio nos momentos tristes e alegres de meu curso.
- . À Marcos A. Florczak, por seus valiosos conselhos.
- . À todos os membros do grupo de planetologia que perderam noites de sono efetuando as observações discutidas neste trabalho.
- . Aos professores do departamento de Astronomia-UFRJ pelos cursos de alta qualidade ministrados.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o estudo dos cometas C/1995 O1 (Hale-Bopp) e Chiron. Estes cometas, por apresentarem características físicas muito diversas, exigiram técnicas particulares para obtenção de dados de relevância astrofísica. No capítulo 1 apresentamos uma pequena introdução sobre a ciência cometária, desde as concepções dos Chineses, no primeiro milênio antes de Cristo, até os resultados obtidos a partir de observações, com os mais sofisticados instrumentos, dos cometas Hale-Bopp e Hyakutake às portas do século XXI. No capítulo 2 discutimos os resultados obtidos a partir da ocultação de estrelas pela coma do cometa Hale-Bopp, ocorrida em 12/06/96 TU, e suas implicações sobre a dinâmica estrutural da coma e a caracterização aproximada dos grãos de poeira. Os resultados das campanhas observacionais de 1994–1996 do cometa Chiron e sua relação com a atividade cometária deste objeto “centauro” são apresentados e discutidos no capítulo 3. Algumas perspectivas futuras são apresentadas no final do trabalho.

ABSTRACT

The aim of the present work is the study of comets C/1995 O1 (Hale-Bopp) and Chiron. Specific techniques were used in order to obtain relevant astrophysical data, since these comets present very particular and distinct physical characteristics. In chapter 1 we present a small introduction to cometary sciences, since the first Chinese concepts in the first millenium before Christ, up to the results obtained at the doors of the XXIth century and with the most sophisticated techniques, on comets Hale-Bopp and Hyakutake. In Chapter 2 we discuss the results obtained from stellar occultations by the coma of comet Hale-Bopp, occured on 12/06/96 UT. The implications of these results on the structure of the coma and the characterization of its dust grains is also discussed. In Chapter 3 we present and discuss the results of the observational campaigns of comet Chiron, during 1994–1996, showing the cometary activity of this “centaur” object. Some future perspectives are given at the end.

ÍNDICE

Introdução	1
Capítulo 1 – A Natureza dos Cometas	
1.1 Introdução	4
1.2 Os primórdios	4
1.3 Observações e órbitas	5
1.4 A física cometária	6
1.5 1950–1951: a transição	9
1.5.1 O núcleo como conglomerado de gelo	9
1.5.2 A nuvem de Oort	11
1.5.3 O vento solar e os cometas	12
1.6 1985–1986: encontros com os cometas Giacobini–Zinner e Halley	13
1.7 Hale-Bopp e Hyakutake	15
Capítulo 2 – Hale-Bopp, o retorno dos “Grandes Cometas”	
2.1 Introdução	18
2.2 Ocultações estelares	20
2.3 Observações	21
2.4 Reduções	23
2.5 Discussão e conclusões	26
Capítulo 3 – Chiron, o “Centauro”	
3.1 Introdução	30
3.2 Observações e reduções	31

3.3 Evolução fotométrica	32
3.4 O parâmetro G	39
3.5 Conclusões	41
Perspectivas futuras	42
Referências	43
Apêndice – Artigos publicados	48

INTRODUÇÃO

O modelo mais aceito de formação do Sistema Solar supõe a criação dos planetas e outros corpos a partir de um disco de pequenos objetos, ou *planetésimos*, gerados por condensação e posterior acreção a partir de uma nuvem primordial composta de gás e poeira. O estudo dos processos iniciais de formação passa, portanto, pelo estudo de objetos primordiais, ou seja, aqueles que apesar de terem sofrido processos dinâmicos como colisões, não sofreram transformações importantes do ponto de vista químico tais como processos térmicos levando à fusão, condensação ou diferenciação de materiais. Os cometas e os asteróides seriam estes objetos pois, devido ao seu pequeno tamanho, devem ter guardado uma certa “memória” dos processos iniciais da formação do Sistema Solar. Seu estudo pode, portanto, nos fornecer informações importantes sobre o início do Sistema Solar como um todo.

Os cometas são objetos que se acredita terem sido formados nas regiões mais externas do Sistema Solar, alguns deles permanecendo no que é chamado de Cinturão de Edgeworth-Kuiper (entre 40 e 1000 U.A.) e outros tendo sido ejetados para a Nuvem de Oort a uma distância superior a 10^4 U.A. Estes objetos, por terem se formado e permanecido a maior parte do tempo na região mais fria do Sistema Solar, são considerados os mais primitivos, já que os materiais da formação devem ter sido mantidos congelados.

Visando uma melhor compreensão dos cometas foram estudados dois cometas muito particulares: C/1995 O1 (Hale-Bopp), provavelmente originário da Nuvem de Oort, e Chiron, originário do Cinturão de Kuiper. O primeiro, Hale-Bopp, apresentou uma atividade muito intensa sendo o cometa mais ativo das últimas décadas. O grande brilho alcançado por este cometa possibilitou estudos detalhados de sua composição e

uma caracterização dos materiais de sua formação. Por outro lado, Chiron apresenta atividade cometária a grandes distâncias heliocêntricas o que não pode ser atribuído à sublimação de água como nos demais cometas. Portanto, processos muito específicos, tais como sublimação de gelos mais voláteis como o CO, devem ser responsáveis por esta atividade.

Este trabalho é organizado em três capítulos onde no primeiro, apresentamos um resumo da ciência cometária e sua evolução ao longo dos tempos. No segundo capítulo, apresentamos um estudo do cometa Hale-Bopp, em particular os resultados obtidos da ocultação de três estrelas em junho de 1996. Estas ocultações propiciaram a caracterização física média dos grãos ejetados pelo cometa, além de certas estruturas de sua coma. Finalmente, no terceiro capítulo apresentamos e discutimos alguns resultados de nossas campanhas de observação do cometa Chiron, entre 1994 e 1996.

CAPÍTULO 1

A natureza dos cometas

1.1 - Introdução

A astronomia cometária pode ser dividida, basicamente, em 6 partes: (a) antes de 1600, quando se considerava que os cometas eram fenômenos puramente atmosféricos, (b) nos dois séculos seguintes, quando os estudos cometários se ativeram à determinação de órbitas e movimentos destes corpos utilizando as leis de Newton, (c) no século XIX, especialmente a partir de 1835 com a passagem do cometa P/Halley, quando foi inaugurada a era da física cometária, (d) após 1950, com o nascimento do conceito atual de cometa como sendo um objeto primordial do Sistema Solar, feito de poeira e gelo, geralmente possuidor de órbitas instáveis e com forte interação com a radiação eletromagnética e corpuscular solar, (e) o biênio 1985-1986, com o encontro de sondas espaciais com os cometas Giacobini-Zinner e Halley quando foram obtidas as primeiras observações *in situ* do meio cometário desvendando aspectos sutis destes objetos e ampliando nossos horizontes científicos com novas questões a serem respondidas, (f) a última fase é a atual, após as passagens dos cometas Hyakutake e Hale-Bopp, primeiros cometas brilhantes a serem observados com detectores CCD e as mais refinadas técnicas instrumentais. Tentaremos, no que se segue, efetuar um sumário destes períodos da ciência cometária.

1.2 - Os primórdios

A palavra cometa vem do grego *κωμητηζ*, significando *aquele que tem longos cabelos*. Os primeiros registros destes astros datam de ~ 1000 A.C. na China. Entretanto, as primeiras idéias sobre a verdadeira natureza dos cometas surgiram no auge da filosofia natural helenística, em torno de 550 A.C., quando os pitagóricos consideraram os cometas como um tipo especial de planeta visto sem muita frequência nas proximidades do horizonte, no amanhecer ou no pôr-do-sol. Aristoteles em seu modelo de Sistema Solar de esferas, no livro *Meteorologia* (330 A.C.), reservou aos cometas uma posição na esfera sub-lunar caracterizando-os como exalações “secas e quentes” da atmosfera superior. Por outro lado, não existem menções a cometas no famoso livro *Almagesto* de Ptolomeu, possivelmente devido ao fato do autor não considerar os cometas como objetos celestes. Ptolomeu, entretanto, os descreve em termos astrológicos no livro *Tetrabiblos*.

A visão aristotélica permaneceu como um dogma pelo milênio seguinte. As primeiras dúvidas sobre a exatidão do modelo foram levantadas por Thomas Aquino e também por Roger Bacon em seu livro *Opus Tertium* de 1267. Entretanto, apesar de discordarem da concepção aristotélica de cometa, estes autores acreditavam fervorosamente na natureza sobrenatural e maligna destes objetos. O renascimento da astronomia cometária observacional veio com Paulo Toscanelli, que observou com extrema acurácia o cometa Halley, em 1456, e vários outros cometas, entre 1433 e 1472. Outro observador, Tycho Brahe, efetuou também minuciosas observações de cometas brilhantes. Seus dados demonstraram que o cometa de 1577 (cometa que inspirou a criação do Observatório de Istanbul) teve, em certa ocasião, uma paralaxe horizontal de menos de $15'$ de arco (Brahe, 1587), ou seja, encontrava-se a mais do que quatro vezes a distância Terra-Lua.

1.3 - Observações e órbitas

A questão relativa aos movimentos dos cometas foi uma consequência das observações pioneiras citadas acima. Em 1610, Sir Willian Lower propôs que os cometas se moviam em elipses extremamente alongadas (Rigaud, 1833). Robert Hooke e Giovanni Borelli, por outro lado, sugeriram trajetórias parabólicas para os cometas. George Dörffel foi o primeiro a afirmar que o cometa de 1680 e 1681 eram o mesmo objeto antes e depois da passagem periélica e que o mesmo movia-se em uma parábola com o Sol em seu plano focal. Por sua vez, Sir Isaac Newton, em seu célebre livro *Principia* (1687), aplicou sua nova teoria gravitacional mostrando que o cometa de 1680 possuía um órbita elíptica muito próxima de uma parábola e que o mesmo tinha passado a apenas $0,01U.A.$ da “superfície solar”. Finalmente, Sir Edmond Halley (1705) computou os elementos orbitais para doze cometas bem observados e propôs que o cometa de 1682 possuía uma natureza periódica. Este cometa foi denominado Halley, sendo redescoberto em dezembro de 1758 por Johann Palitzsch, atestando a validade das leis gravitacionais de Newton. O cometa Halley tem seu afélio a uma distância de $35U.A.$, três vezes a distância média de Saturno ao Sol, representando uma significativa expansão dos limites conhecidos do Sistema Solar na época.

A astromomia cometária do século seguinte, o século XVIII, foi caracterizada pela aplicação sistemática das leis de Newton para a determinação de órbitas cometárias. No começo do século XIX, um árduo trabalho teórico foi efetuado para refinar os cálculos

orbitais levando-se em conta as perturbações geradas pelos demais corpos do Sistema Solar. Destes refinamentos surgiram as primeiras associações ou grupos de cometas isto é, corpos com características orbitais semelhantes. Alguns dos cometas observados naquele período possuíam órbitas quase que indistinguíveis de parábolas. Outros, com afélios próximos ao semi-eixo maior de Júpiter e possuidores de baixas inclinações, foram agrupados numa classe chamada de “família de Júpiter”. Lagrange (1814) sugeriu que os cometas da família de Júpiter fossem provenientes do próprio planeta. Já Laplace (1816) propôs que estes cometas teriam sofrido uma evolução dinâmica à partir de um processo de “captura” por Júpiter. A “captura” foi modelada através do problema de três corpos restrito, Sol-Júpiter-cometa, o qual oferece uma boa aproximação para o estudo deste processo.

Depois de Halley, Johann F. Encke (1820) fez a segunda previsão bem sucedida do retorno de um cometa (1822), tendo este recebido seu nome. O estudo da órbita deste cometa, possuidor do menor período orbital conhecido (3,3 anos), mostrou que existe um retrocesso de $\sim 0,1$ dias no instante previsto para o periélio, mesmo depois de se levar em conta os efeitos das perturbações planetárias. Este fenômeno foi explicado por Friedrich W. Bessel (1836a) baseado em observações de assimetrias na coma do Halley em sua passagem de 1835. Bessel sugeriu que a ação de um fluxo tipo-jato originário das partes mais internas do cometa poderia contribuir no somatório das forças que regem a cinética do corpo, modificando assim suas características orbitais.

1.4 - A física cometária

Nas décadas seguintes, uma abordagem das características físicas intrínsecas dos cometas foi levada adiante. As caudas cometárias, por exemplo, foram interpretadas por Olbers (1812) e Bessel (1836b) como sendo constituídas de partículas sólidas, nas quais age uma força repulsiva na direção anti-solar.

A conexão direta entre cometas e chuvas de meteoros foi efetuada por Giovanni Schiaparelli (1866, 1867) associando as órbitas dos enxames meteóricos Perseidas e Leonidas com as trajetórias dos cometas P/Swift-Tuttle (1862 III) e P/Tempel-Tuttle (1866 I). Por outro lado, o primeiro cometa cujas estruturas foram minuciosamente retratadas foi o Halley em especial, por John Herschel, Friedrich Bessel e Friedrich Struve que descreveram cones, jatos e arcos (figura 1). Estas observações possibilitaram a

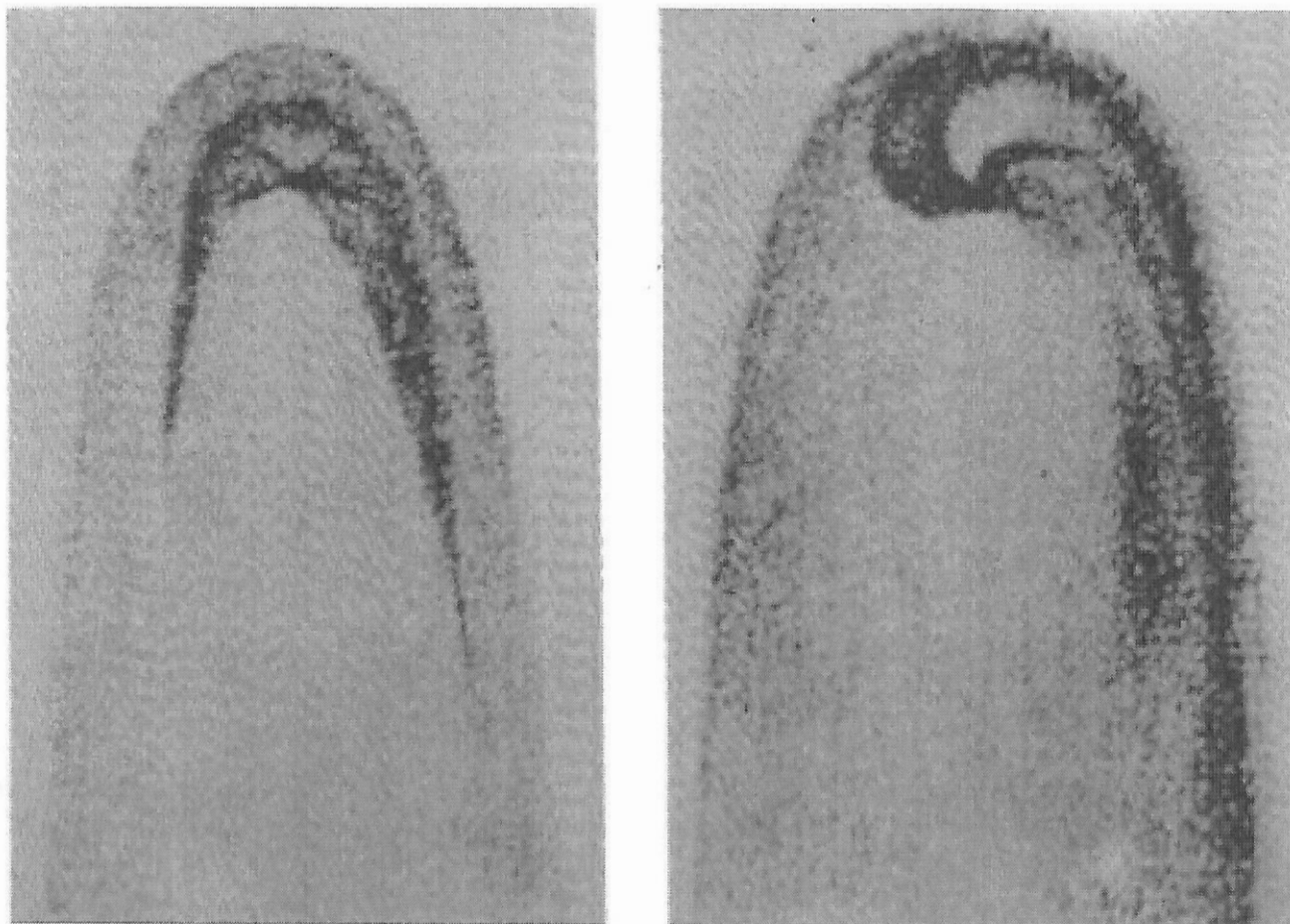


Figura 1. Duas representações da coma interior do Cometa Halley em diferentes horas do dia 5 de maio de 1910. Desenhadas por R.T.A. Innes (esquerda) e W.M. Worsell (direita).

Bessel (1836b) de postular que o material ejetado pelas regiões mais internas dos cometas é lançado inicialmente na direção solar e então, sob ação de uma força repulsiva desconhecida, se projeta para o sentido anti-solar. Fedor A. Bredikhin usou então argumentos da mecânica clássica para modelar a idéia de Bessel (Jaegermann, 1903). Este modelo

recebeu o nome de Bessel-Bredikhin e permaneceu como ferramenta teórica básica até antes da década de 1950. Dentro deste conceito, Sir Arthur Eddington (1910) sugeriu que as partículas ejetadas pelo cometa percorrem trajetórias parabólicas as quais constituem os arcos e envelopes observados nas comas. Estas estruturas, segundo Eddington, seriam provenientes da face do núcleo iluminada pelo Sol ou por superfícies de alta densidade de matéria. A força repulsiva solar presente nestes modelos foi identificada por Arrhenius (1900) como sendo originária da pressão de radiação da luz solar. A teoria correspondente foi desenvolvida por Schwarzschild (1901) para os grãos e Debye (1909) estendeu o conceito para moléculas.

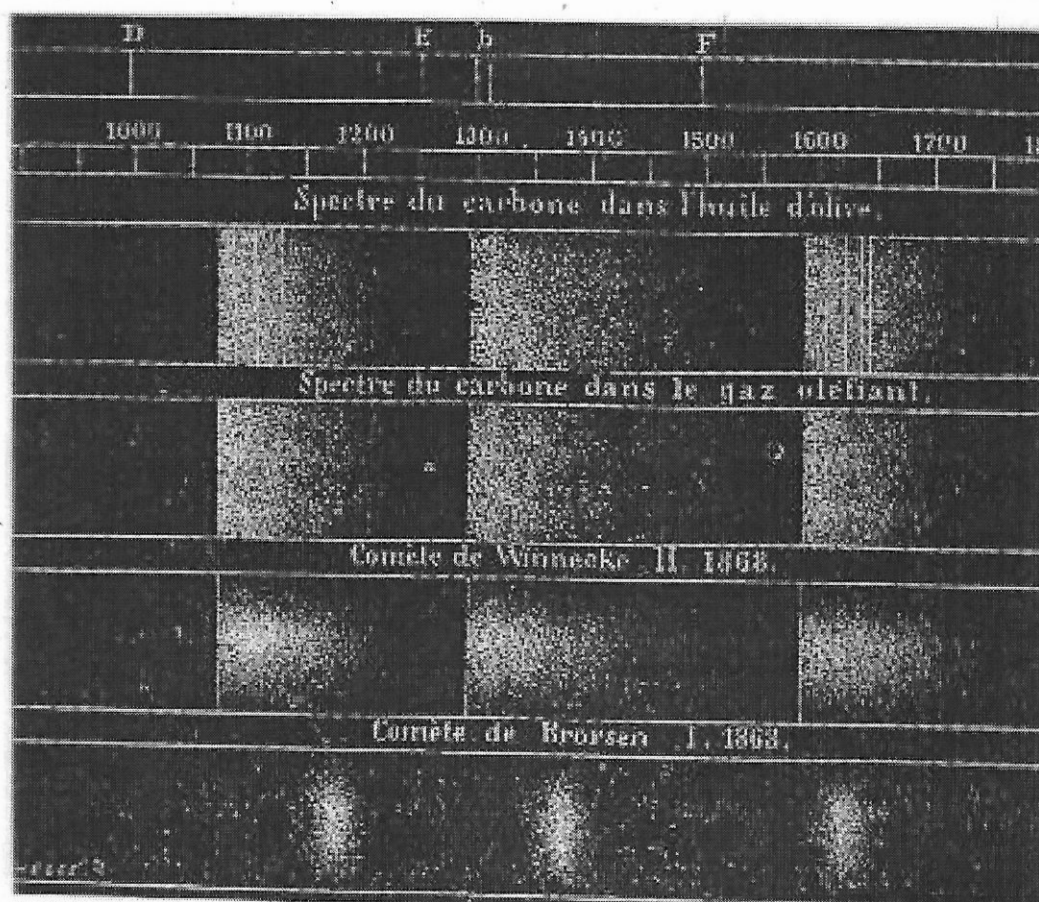


Figura 2. Espectros do século XIX de bandas de emissão em (a) azeite de oliva, (b) gás etileno, (c) cometa Winnecke II (1868) e (d) cometa Brorsen I.

As primeiras observações espectroscópicas de cometas foram feitas por Donati (1864) e Huggins (1868). Este último comparou o espectro do cometa Winnecke (1868) com o espectro de uma fonte de controle como pode ser visto na figura 2. A comparação revelou que as denominadas “bandas de Swan” eram correspondentes a emissões de associações moleculares simples do carbono. Observações posteriores, em outros cometas, revelaram a presença destas bandas o que caracterizou que o carbono é um importante componente do meio cometário. As observações espectroscópicas foram então adotadas como uma importante ferramenta para o estudo dos cometas, possibilitando a descoberta de novas emissões cometárias e sua associação com as substâncias geradoras. Finalmente, Schwarzschild & Kron (1911) estudaram a distribuição de intensidade na cauda de íons do cometa Halley sugerindo que a emissão desta estrutura cometária poderia ser originária da absorção da luz solar e sua posterior reemissão (*fluorescência*).

1.5 - 1950–1951: a transição

No biênio 1950-1951 três idéias fundamentais para nossa atual concepção de cometa foram formuladas:

- 1) O modelo do conglomerado de gelo “bola de neve suja” para o núcleo cometário, por Fred Whipple;
- 2) A identificação de um reservatório de cometas chamado de Nuvem de Oort a partir da análise estatística dos elementos orbitais cometários, por Jan Oort;
- 3) A explicação do movimento das caudas de plasma como devido à sua interação com o vento solar, por Ludwig Biermann.

É interessante notar que estas idéias não foram provenientes de nenhuma nova evidência observacional, já que parte delas se baseavam em dados já conhecidos. A seguir vamos detalhar estes modelos

1.5.1 - O núcleo como um conglomerado de gelo

Desde a metade do século XIX, a grande meta da pesquisa cometária era identificar a origem do gás e poeira observados nos cometas. Evidências observacionais da época levaram à conclusão de que os cometas eram objetos pequenos, de pouca massa e, possivelmente, sem qualquer parte sólida significativa como centro de atividade. Estas idéias surgiram da inexistência de qualquer silhueta em trânsitos de cometas pelo disco solar,

da não observação de qualquer alteração da órbita terrestre após a passagem próxima do cometa Lexell, em 1770, e da não detecção de atração mútua entre os fragmentos do cometa Biela em 1846. Estes últimos dados, por outro lado, forneceram um limite inferior para a massa cometária, ou seja, entre $10^{12} - 10^{17} kg$ (Whipple, 1961). Outro fato observacional era a não observação de qualquer corpo resolvível nas partes internas das comas de cometas em passagens próximas da Terra. Estas observações, limitadas pelo *seeing**, forneceram um intervalo entre 10 e 100km para o diâmetro do núcleo cometário (vide o trabalho de Nicolaus B. Richter, 1963). Sob estas circunstâncias, o núcleo deveria ter um densidade média extremamente baixa, próxima à de um gás.

Até o final da década de 1940, a natureza do núcleo dos cometas era assunto de muita especulação e nenhum consenso. Trabalhos pioneiros baseados em observações espectroscópicas, como os de Wurn publicados entre 1932 e 1939 (Festou et al., 1993), sugeriam que as moléculas, os radicais e os íons observados nos cometas não seriam grupos quimicamente estáveis. Por esta razão, estas espécies deveriam ser criadas por uma fotoquímica de moléculas mais estáveis residentes em um núcleo sólido.

Dentro deste contexto, Swing (1942) sugeriu que moléculas similares aquelas encontradas em meteoritos poderiam estar guardadas em um núcleo sólido dos cometas por oclusão. O desenvolvimento qualitativo desta idéia foi feito por Levin (1943) propondo um modelo de absorção e liberação de radiação termal solar agindo sob um conglomerado pouco coeso de meteoros denominado de “banco de areia”. Este modelo para o núcleo cometário é congruente com a taxa média de liberação de calor (~ 6000 cal/mole) dos cometas com sua distância heliocêntrica e com resultados de laboratório para as moléculas mais comuns no meio cometário. Por outro lado, a quantidade de matéria que seria necessária ao núcleo para absorver energia suficiente para justificar a presença de comas persistentes após vários meses antes e/ou depois das passagens periélicas, deveria ser maior do que os valores observados.

Whipple (1950, 1951) forneceu as bases para o modelo do conglomerado de gelo ou seja, um núcleo sólido. Vale ressaltar que esta idéia já havia sido sugerida por Laplace

* Parâmetro observacional que indica a capacidade de se discernir estruturas e/ou separações em objetos astronômicos, o qual depende, fundamentalmente, das condições ambientais e instrumentais.

(1813) e Bessel (1836a). Whipple descreveu o núcleo como uma mistura de gelos os quais gerariam os gases presentes na coma em quantidades crescentes a medida que o cometa aproximasse do Sol. A poeira observada nas comas, segundo o modelo, estaria residente no núcleo sendo liberada junto com a volatilização do gelo. O modelo de Whipple tem a propriedade de explicar uma série de fatos observacionais:

- a) as grandes taxas de produção molecular, não justificáveis pelo modelo do “banco de areia”;
- b) as estruturas de jato na coma e sua atividade errática, impossíveis se o núcleo fosse uma nuvem de partículas meteóricas;
- c) a força não-gravitacional que se caracteriza pela transferência de momento da ejeção eruptiva de gás para o núcleo;
- d) a sobrevivência de cometas razantes solares frente a tremenda ação desagregadora da pressão de radiação como, por exemplo, os cometas do grupo de Kreutz que aparentemente, podem sobreviver sem muitos danos a encontros próximos com o Sol.
- e) a origem cometária das chuvas de meteoros.

O modelo de “bola de neve suja” foi sofrendo refinamentos para justificar certas particularidades físicas tais como a grande diferença entre os calores latentes para as espécies observadas nos cometas que poderiam resultar em uma rápida perda de materiais voláteis do núcleo muito antes de sua passagem periélica. Entretanto, a observação dos radicais CH e CH^- nas cercanias solares contradizem esta hipótese. A solução deste impasse foi proposta por Delsemme & Swing (1952) supondo que todas as moléculas presentes no núcleo (menos o NH_3) estariam na forma de hidratos clatratos do tipo $A.nH_2O$. Neste caso, a molécula volátil A estaria associada a uma formação do cristal de gelo com n moléculas de água. Este conceito pode explicar como os materiais voláteis não desaparecem tão rapidamente e porque os espectros cometários são sempre mais ou menos similares a cada passagem periélica.

1.5.2 - A Nuvem de Oort

Estudos orbitais de cometas, em particular aqueles que consideraram as perturbações planetárias, foram efetuados por diversos observatórios durante as primeiras décadas do século XX. Destes trabalhos surgiram as primeiras idéias sobre a distribuição

estatística dos elementos orbitais. Para órbitas hiperbólicas ($1/a_{orig} \lesssim 0$, onde a_{orig} é o semi-eixo maior original do cometa antes de entrar na região planetária do Sistema Solar) o trabalho de Strömgren (1914, 1947) demonstrou que estas trajetórias não eram originais do cometa ao adentrar no Sistema Solar e sim resultado de perturbações planetárias.

Sinding (1948) determinou valores de $1/a_{orig} \lesssim 0$ para 21 cometas de longo período os quais, somados ao trabalho de Van Woerkom (1948), formaram a base para o trabalho de Oort (1950) sobre a existência de um reservatório de cometas além dos limites do Sistema Solar conhecido. A idéia de uma hipotética nuvem de cometas distantes com trajetórias estáveis frente às perturbações estelares é necessária para justificar cometas com $a_{orig} > 10.000 U.A.$ Esta teoria foi formulada antes de Oort, por Öpik (1932).

Oort deduziu a existência desta nuvem pelo grande número de cometas de longo período com $1/a_{orig} < 10^{-4} U.A.^{-1}$ dentro de uma amostra de 19 cometas. Seus afélios estariam, deste modo, a pelo menos 20.000 $U.A.$ do Sol. Oort concluiu que haveria órbitas estáveis a aproximadamente 200.000 $U.A.$ as quais, de tempos em tempos, poderiam ser perturbadas por passagens estelares próximas. Admitindo que as passagens estelares poderiam tornar randômica a distribuição orbital da nuvem Oort propôs que, em vista da idade do Sistema Solar, a nuvem deveria conter cerca de 2×10^{11} cometas. Como a massa cometária média é da ordem de $10^{13} kg$, a massa total da nuvem seria da ordem de 0,3 massas terrestres ou $2 \times 10^{24} kg$.

Considerando-se a teoria da difusão orbital de Van Woerkom (1948) para as perturbações planetárias, o número de cometas com $1/a_{orig} < 10^{-4} U.A.^{-1}$ deveria ser maior que o observado. Isto motivou que, em um estudo posterior, Oort & Schmidt (1951) afirmassem que muitos cometas poderiam não ser observáveis em sua primeira passagem pelo Sistema Solar interior. Deste trabalho surgiu a noção de cometas “novos”, ricos em poeira e brilhantes, originários da nuvem de Oort e cometas “velhos”, aqueles que retornam após completar órbitas elípticas com períodos orbitais curtos.

1.5.3 - O vento solar e os cometas

As caudas cometárias, suas formas variadas e o fato de serem extremamente retilíneas foram, antes do século XX, entendidas como resultado da ação de uma força

desconhecida agindo na direção anti-solar. Idéias pioneiras sobre a interação eletromagnética entre objetos astronômicos foram propostas por Richard Carrington (1859) tentando ligar os fenômenos eruptivos solares (*flares*), observados na manhã de 1 de setembro de 1859, com o aumento da atividade magnética da Terra horas depois. Esta possível conexão estaria materializada através de um fluxo de partículas solares que, no caso dos cometas, serviriam como fonte de excitação dos íons e radicais observados nas comas cometárias. Esta interação existe na forma das caudas de íons (tipo I), formadas muito mais próximas do Sol que as de poeira (tipo II). Uma evidência deste fenômeno é o ângulo de aberração (ângulo entre a direção anti-solar e a cauda de íons) de $\sim 6^\circ$ determinado por Hoffmeister (1943). Este ângulo foi interpretado por Biermann (1951) em termos de uma interação eletromagnética entre o vento solar (fluxo de partículas carregadas com velocidades da ordem de centenas de km/s) e os íons cometários presentes na cauda.

O problema do modelo acima reside nos valores não realísticos da densidade deste plasma (supondo ser composto de elétrons) necessários para justificar a aceleração dos íons cometários. Este impasse foi solucionado por Alfvén (1957) com a introdução do conceito de campo magnético interplanetário transportado ao longo do vento solar. A existência deste campo foi comprovada no início da era espacial, em 1957, com as sondas *Explorer X*, *Mariner II*, *Lunik I e II*, etc. Outro importante resultado de Alfvén é de que as caudas de íons podem ser consideradas como parte integrante do cometa se elas estiverem conectadas magneticamente à sua condensação central (coma e núcleo).

1.6 - 1985–1986: encontros com os cometas Giacobini–Zinner e Halley

Após o encontro de seis sondas espaciais com o cometa Halley em 1986, muitos astrônomos começaram a utilizar o termo “pré-Halley” e “pós-Halley” para definir períodos da ciência cometária. Isto devido ao grande volume de dados obtidos *in situ* e por observadores na Terra. Tal esforço gerou cerca de 2,5 *Gbytes* de informações acessíveis a toda a comunidade científica a partir de 1992. Antes do encontro destas sondas com o Halley, a ISSE III, destinada inicialmente a monitorar os cinturões de radiação terrestres, foi rebatizada de *International Cometary Explorer* (I.C.E) e, após complicadas manobras orbitais, passou através da cauda do cometa Giacobini-Zinner a uma distância de cerca de 8000 km de seu núcleo. Os principais resultados foram a

confirmação do modelo de cauda de plasma sob a interação do vento solar, além de indicativos sobre a composição dos íons e da detecção de uma corrente neutra no centro da cauda. A I.C.E também registrou os efeitos da magnetosfera do Halley no meio interplanetário a uma distância de $28 \times 10^6 km$. As demais sondas tiveram seus encontros com o Halley em 1986 como pode ser visto na tabela I abaixo.

Tabela I - Encontros com o cometa Halley

Sonda	Data	Distância mínima ao núcleo (km)
Vega I	06/03	8890
Suisei	08/03	150000
Vega II	09/03	8030
Sakigaki	11/03	7000000
Giotto	14/03	600

Estas observações, somadas às da Terra, cobriram uma ampla faixa espectral desde o ultravioleta (UV) até o rádio. Com estes dados, os modelos cometários vigentes foram, em geral, confirmados possibilitando uma visão mais concisa e precisa do fenômeno cometário. Visão esta não só válida para o Halley mas também para outros cometas. Os principais resultados podem ser resumidos como:

- O núcleo foi observado pela primeira vez sendo maior, raio equivalente a cerca de $5.5 km$, e mais escuro do que o esperado com um albedo de ~ 0.04 . Foram identificadas estruturas superficiais tais como crateras, rachaduras, montanhas, etc., mostrando que o núcleo não é inteiramente ativo;
- A coma é altamente estruturada apresentando jatos, envoltórios concêntricos, correntes iônicas, etc. Foram analisadas as componentes gasosas tais como moléculas-mãe, radicais, íons e espécies atômicas. H_2O foi confirmada como sendo a molécula mais abundante ($\sim 85\%$ do total), apresentando-se mais no estado gasoso do que na forma de cristais livres. Foi também detectada uma cavidade no campo magnético a cerca de $5000 km$;

- A poeira foi estudada em termos de suas dimensões e composição. A coma se mostra abundante em grãos de pequenas dimensões, tendo sido detectados poucos grãos com massas superiores ao limite de sensibilidade do detector ($\sim 10^{-19}kg$). Em adição a isto, existe a possibilidade de que a poeira seja composta por materiais carbonáceos dada a observação da molécula *CHON*, cuja fonte se acredita ser originária da sublimação de poeira. Foram observadas massas atômicas entre 1 e 100 *u.m.a.**, sendo indicativas da presença de cadeias orgânicas polimerizadas;
- A taxa de emissão máxima foi maior do que 10^4 e cerca de $3 \times 10^4 kg/s$ para a poeira e o gás, respectivamente, levando a uma razão poeira/gás maior do que 0,3. A massa integrada perdida pelo Halley nesta passagem pelo Sistema Solar interior foi portanto de $4 \times 10^{11}kg$, sendo aproximadamente 0,5% da massa total do núcleo, estimada entre 1 e $3 \times 10^{14}kg$;
- O brilho da condensação central apresentou variações com períodos de 2 e 7 dias indicativos de uma rotação complexa do núcleo;
- Vários efeitos previstos relacionados com o plasma foram confirmados. A existência de uma frente de choque no meio interplanetário adjacente ao cometa foi determinada. Determinou-se também que o meio interplanetário é extremamente turbulento magneticamente e cineticamente. Efeitos de desconexão, ou seja, a separação da cauda de íons, foram observados e sua origem pode residir, parcialmente, na mudança de polaridade do vento solar.

1.7 - Hale-Bopp e Hyakutake

Estes dois objetos, sendo os cometas mais brilhantes dos últimos 20 anos, foram observados a partir de uma rede mundial de observadores munida de telescópios equipados com os mais sofisticados instrumentos como detectores CCD, sistemas de óptica adaptativa, espectroscopia de alta resolução, etc. Deste modo, foi possível efetuar uma caracterização muito precisa com relação à detecção de estruturas nas comas e identificação de grupos químicos nestes objetos. Os principais resultados desta campanha observacional foram:

* Unidade de massa atômica, um doze avos da massa do átomo de carbono $Z = 12$.

- A detecção de moléculas orgânicas, $HCOOH$ e CH_3CHO , em abundâncias semelhantes às presentes em nebulosas interestelares. Deve ser lembrado que estas últimas são consideradas o berçário de estrelas e sistemas planetários como o nosso. Esta detecção reforça, portanto, a hipótese de que os cometas são os resquícios da formação do Sistema Solar.
- As emissões de raios-X, descobertas no cometa Brádfeld 1979X, foram observadas no Hyakutake e Hale-Bopp e em outros oito cometas. Sua origem pode residir em um, ou na combinação, dos seguintes mecanismos:
 - a) trocas de cargas entre íons pesados;
 - b) espalhamento de raios-x solares por pequenos grãos de poeira não detectáveis nas imagens no visível;
 - c) Bremsstrahlung;
 - d) interações plasma-poeira;
 - e) impactos em hipervelocidade entre grãos cometários e interplanetários.
- Outra particularidade é a cauda de sódio neutro, detectada anteriormente apenas nos cometas 1910 A1 e cometa Mrkos, em 1957 (Cremonese et al., 1997). Como o sódio interage de forma muito eficiente com os fótons solares (as emissões deste átomo são observáveis mesmo em meios muito tênues), este átomo é um excelente indicador de processos físicos nos cometas.

CAPÍTULO 2

Hale-Bopp,
o retorno dos “Grandes Cometas”

2.1 - Introdução

O cometa C/1995 O1 (Hale-Bopp) foi descoberto quando se encontrava a 7.15 U.A. do Sol no dia 23 de julho de 1995, ou seja, 21 meses antes de seu periélio, e apresentava uma luminosidade incomum para cometas a esta distância. Nesta época, uma extrapolação da evolução do brilho do Hale-Bopp determinou que este chegaria a um pico de magnitude da ordem de -4 (Kidger, 1996) em março-abril de 1997. Isto o classificaria como o objeto mais brilhante visível da Terra, depois do Sol e da Lua. Outro fator que reforçou esta hipótese foi a similaridade de sua órbita e brilho, em distância equivalente, ao cometa Fleugergues (1811 F1) (Marsden, 1995), o qual foi um objeto espetacular, visível a olho nu (Kronk, 1984), e tão impressionante a ponto de ser citado no livro "Guerra e Paz". Observações posteriores revelaram que o cometa Hale-Bopp apresentava-se, na ocasião de sua descoberta, em um período eruptivo regido possivelmente pela volatilização explosiva de bolsões de CO semelhantes aos apresentados pelo cometa 29P/Schwassmann-Wachmann I (Sekanina, 1996) ocasionando um salto de brilho. Considerando esta circunstância, sua magnitude deveria atingir o máximo de -1. Devido a seu grande brilho e sua distância relativamente pequena da Terra, 1.3 U.A. em 01 de abril de 1997, foram efetuadas extensivas observações deste objeto, em diversas faixas espectrais. Os principais resultados podem ser resumidos como:

- O Hale-Bopp é o cometa mais produtivo, em poeira e gás, jamais observado. Suas taxas de produção de gás e poeira são, respectivamente, 20 e 100 vezes maiores do que as do Halley (Schleicher et al. 1997);
- Análises da órbita atual do Hale-Bopp sugerem que este objeto já tenha visitado o Sistema Solar interior a pelo menos 4000 anos atrás. As perturbações planetárias sobre a atual passagem alteraram sua órbita de modo que seu próximo retorno deverá ocorrer dentro de 2800 anos;
- Observações espectroscópicas revelaram a presença de bandas de emissão características de moléculas de CN, C₂, C₃, NH e OH, que são comuns na grande maioria dos cometas na faixa do visível e do UV próximo. Observações em cerca de 100 cometas (A'Hearn et al., 1995) mostraram a existência de dois grupos quimicamente distintos de cometas: os originários da nuvem de Oort, com abundâncias de C₂ e C₃ "típicas" em relação as de OH e CN, e os do cinturão de Kuiper que apresentam apreciáveis reduções nestas razões. O cometa Hale-Bopp possui valores "típicos"

destas abundâncias, sendo portanto indicativos de sua procedência da nuvem de Oort;

- Espectros obtidos da Terra, na faixa de 8 a $13\mu m$, revelaram uma forte absorção em $9.7\mu m$ ligada à molécula de SiO provavelmente associada aos grãos de poeira da coma. Outras linhas associadas ao SiO₂ foram identificadas em comprimentos de onda mais longos. O Hale-Bopp apresentou também evidências da presença de silicatos tais como a olivina (Hayward & Hanner, 1998). Dentro deste contexto, Woodem et al. (1998) identificaram a presença de piroxênio em 9.3 e $10.5\mu m$, provavelmente uma espécie rica em magnésio (MgSiO₃);
- O núcleo do Hale-Bopp se apresentou invisível dada a presença de sua abundante coma. Diversas técnicas foram empregadas para a determinação do diâmetro do núcleo. Weaver & Lamy (1998), Sekanina (1998) e Weaver et al. (1997) utilizaram imagens HST e, através da subtração de uma distribuição modelada da coma, obtiveram um intervalo entre 40 e 80 km para o diâmetro nuclear. Uma estimativa baseada em observações no infravermelho entre 10 e $20\mu m$ da Terra (Fernandez et al., 1997) e em imagens ISO (Lamy et al., 1998) forneceram limites superiores entre 100 e 120 km. Observações rádio-interferométricas indicaram um diâmetro entre 30 e 100 km (Fernandez et al., 1998; Wink et al., 1998). O problema destas observações reside na diversidade de valores estimados do núcleo, em distâncias heliocêntricas menores do que 3 U.A., pelos vários autores. Este efeito pode estar vinculado à influência de erros sistemáticos nas observações. De qualquer modo, estas observações indicam que o núcleo do Hale-Bopp deve possuir um diâmetro considerável, o que é consistente com seu brilho;
- A área ativa do núcleo necessária para gerar as taxas de emissão de matéria observadas deve ser entre 5% e 10% da área total do corpo.

Dadas as singularidades deste objeto, empreendemos um programa de observações fotométricas de banda larga com o objetivo de estudar as propriedades físicas médias dos grãos de poeira e efetuar mapeamentos de estruturas de jatos nas regiões mais internas da coma do Hale-Bopp, além de determinar o período de rotação nuclear do cometa (Neckel & Münch, 1987; Rodriguez et al., 1997).

Objetivamos, neste capítulo, discutir os resultados obtidos através de nossas observações, em particular através de ocultações estelares, suas implicações em relação

às estruturas da coma do Hale-Bopp, e a caracterização física aproximada dos grãos ejetados pelo núcleo.

2.2 - Ocultações Estelares

Dados obtidos de ocultações estelares podem ser utilizados no estudo das propriedades físicas da poeira cometária. Neste método, o fluxo da estrela é medido enquanto o cometa se move à sua frente relativamente à linha de visada do observador. A extinção do fluxo fornece então uma medida direta da opacidade da região da coma cruzada pela luz da estrela (um limite inferior seria a ausência de extinção). Esta quantidade possibilita inferir valores da profundidade óptica (τ), do albedo dos grãos de poeira e de sua taxa de emissão (Combes et al., 1983; Lecacheaux et al., 1984).

O estudo das propriedades dos grãos de poeira é de grande importância por duas razões. Primeiro, estes grãos são os grandes responsáveis pelo espalhamento da luz solar nas comas de modo a influenciar as formas básicas observadas dos cometas. Segundo, os grãos são provavelmente inalterados termicamente desde a época da formação do Sistema Solar. Sendo assim, estas partículas são fontes de informações sobre as condições de formação de cometas e planetas, bem como dos grãos interestelares dos quais presumivelmente são derivados.

Observações visuais de ocultações estelares por um cometa foram descritas por Dossin (1962), o qual observou a extinção do fluxo de várias estrelas ($V \sim 10$) quando estas se encontravam em suas distâncias projetadas mínimas do centro do cometa Burnham (1960 II). Ele concluiu que o fluxo destas estrelas apresentou uma redução de 1/4 em relação ao fluxo original a uma distância de 600 km do centro do cometa Burnham que é pobre em produção de poeira. Podemos citar também a ocultação prevista de uma estrela ($V = 10,47$) pela coma do cometa Schwassmann-Wachmann I (Dunham et al., 1991), ocorrida em 01/01/1992, a ocultação de uma estrela de magnitude ~ 15 pelo cometa Grigg-Skjellerup, ocorrida em 08/07/1992 (Ninkov, 1994), e as duas ocultações, ocorridas em 18/09/1990 pelo cometa Levy (1990 XX) (Rosenbush et al., 1994), o que evidencia a frequência deste fenômeno.

Este tipo de observação possibilita também a identificação de estruturas de jato nas cercanias dos núcleos através da comparação da distribuição de profundidades ópticas baseadas em observações *in situ* e na Terra (Lamy et al., 1987; Ninkov, 1994; Elliot

et al., 1995). Estas estruturas, por sua vez, fornecem uma estimativa do período de rotação nuclear, devido à mudança de ângulo de posição no decorrer das observações (Larson & Sekanina, 1984).

A maior dificuldade na obtenção deste tipo de dado é a alta resolução temporal necessária para a constituição de mapas de profundidades ópticas com uma completeza suficiente para a identificação de jatos. Para um eficiente mapeamento com detectores CCD é necessária a observação da estrela em uma banda espectral onde o pico de sensibilidade e emissividade do detector e objeto, respectivamente, se encontrem. Deste modo, um maior número de imagens pode ser obtido em virtude do menor tempo de integração necessário. No nosso caso, como as observações das ocultações estelares não haviam sido planejadas com antecedência, se mostraram pouco eficientes para a composição de mapeamentos unívocos dado o pequeno número de pontos obtidos durante os períodos de ocultação das estrelas com os filtros B, V e R. O filtro R foi escolhido para a obtenção da profundidade óptica em razão do sinal/ruído obtido (> 100) para as estrelas, do fato de termos mais imagens durante a fase oculta neste filtro e de que o pico de emissividade no visível dos grãos se encontrar aproximadamente na faixa espectral R (Jewitt & Meech, 1986)

2.3 - Observações

Nossa campanha de observação correspondeu à fase pré-periélica, entre ago/95 e set/96. Em 12/06/1996, o cometa Hale-Bopp cruzou um campo estelar denso na região do plano galáctico, tendo sua coma ocultado três estrelas que constam do *Hubble Space Telescope Guide Star Catalogue* e cujas características são apresentadas na tabela I. Nesta tabela, *GSC-ID* representa o número da estrela no catálogo GSC, *Mag* é a magnitude fotográfica em uma banda próxima de V e *AP(t)* é o ângulo de posição das estrelas nos instantes 05:40 TU (ocultação de C3 e C4) e 08:00 TU (ocultação de C2). Este ângulo é contado a partir da direção norte no sentido norte-oeste-sul-leste.

As observações CCD foram efetuadas através do telescópio Boller & Chivens de 0.6 m do Observatório do Pico-dos-Dias (LNA/Brasil). As circunstâncias relativas à obtenção das imagens e os aspectos geométricos da posição previstos do cometa estão resumidos na tabela II. Na tabela, r e Δ são, respectivamente, a distância heliocêntrica e geocêntrica, α é o ângulo de fase definido entre os raios-vetores Sol-cometa-Terra, T_{exp}

é o tempo de exposição no filtro R, N é o número total de imagens obtidas durante o período observacional e $\bar{R}$ é a magnitude média da coma interna do Hale-Bopp.

Tabela I - Características das estrelas do G.S.C. observadas.

Objeto	GSC-ID	Asc. Reta (J2000.0) (hh.mm.ss)	Dec (gg.mm.ss)	Mag	AP(t) (graus)
C1	0572100862	19:17:53,19	-13:49:04,1	$11,64 \pm 0,35$	347-13
C2	0572100083	19:17:53,82	-13:42:16,6	$11,04 \pm 0,36$	288-112
C3	0572101027	19:17:59,98	-13:42:43,4	$12,48 \pm 0,36$	105-108
C4	0572100770	19:18:01,18	-13:42:20,0	$12,39 \pm 0,36$	76-98

Tabela II - Aspectos geométricos e observacionais do cometa Hale-Bopp.

Instante	Asc. Reta	Dec	r (U.A.)	Δ (U.A.)	α (graus)	T_{exp} (s)	N	$\bar{R}$
05:40	19:17:57,39	-13:42:33,4	4,117	3,197	6,80	15	18	$11,15 \pm 0,01$

Nestas observações, nos valem de um detector CCD EEV-385x576 com *readout* (ruído de leitura) de 8 elétrons/RMS e um ganho aproximado de 10 ADU*. O redutor focal forneceu ao telescópio um campo de visão de $7,2' \times 5,5'$ e uma escala de imagem de $1.12''/\text{pix}$. Os filtros de banda larga utilizados correspondem, aproximadamente, aos designados B, V e R do sistema fotométrico Johnson. As observações foram feitas sob um *seeing* aproximado de $3''$, sendo consideradas de qualidade razoável dada a extinção de primeira ordem aferida (0.19 R mag/massa de ar).

* Analogue Digital Unity: relação entre o número de fotoelétrons produzidos pelo feixe luminoso no CCD e sua correspondente digital na imagem resultante

2.4 - Reduções

Todas as imagens foram reduzidas sob o ambiente IRAF. As calibrações iniciais para atenuar efeitos cosiméticos do CCD foram executadas através das rotinas *flatcombine* e *zerocombine* resultando nas imagens médias *Bias* e *Flat-Field*. Estas imagens médias de calibração foram, respectivamente, subtraídas e usadas como divisor das imagens do Hale-Bopp. O passo seguinte, a fotometria de abertura, foi efetuada através da rotina *phot* do pacote *DAOPHOT*. O programa *phot* se vale de um arquivo com as posições aproximadas dos centros das estrelas e da condensação central do Hale-Bopp criado com o auxílio da rotina *tvmark*. As magnitudes instrumentais R_{instr} obtidas foram resultado da leitura de fluxo sob uma abertura poligonal equivalente ao dobro do FWHM* do perfil estelar vigente no intervalo das observações. Esta abertura foi utilizada para a determinação tanto das magnitudes instrumentais da estrelas de campo quanto do cometa, segundo definição de Sekanina (1996). Entretanto, dado o espalhamento da luz solar pelos grãos e os processos de emissão dos componentes gasosos da coma na faixa espectral coberta pelos filtros (West, 1990), as três estrelas ocultadas (C2, C3 e C4) apresentaram um aumento de brilho durante as ocultações (figura 1). Para superar este problema, foi obtida uma imagem média do cometa baseada em imagens obtidas antes da ocultação (B. Sicardy, comunicação privada) e com esta se efetuou a subtração da contribuição da coma nas imagens da fase oculta (figura 2).

Com as magnitudes instrumentais obtidas passamos então à determinação do coeficiente de extinção da noite, K_R , através do uso de estrelas padrão fotométricas Landolt (Landolt, 1983) e da estrela C1, presente no campo do cometa, observadas em diferentes massas de ar, X . O valor da magnitude fora da atmosfera, R_{fatm} é obtido então da equação:

$$R_{fatm} = R_{inst} - K_R X \quad (1)$$

Após a determinação destas magnitudes, passamos ao cálculo dos fluxos seguindo os procedimentos descritos por Léna (1988). O fluxo estelar na banda espectral com comprimento de onda central λ_0 , $F(\lambda_0)$, é uma função da magnitude R_{fatm} e do fluxo referencial F_0 dado pela expressão:

* Largura à meia altura.

$$F(\lambda_0) = F_0 10^{-2R_{f\text{atm}}/5} \quad (2)$$

Para o filtro R, $\lambda_0 = 0,70\mu m$ e $F_0 = 1,76 \times 10^{-8} W m^{-2} \mu m^{-1}$.

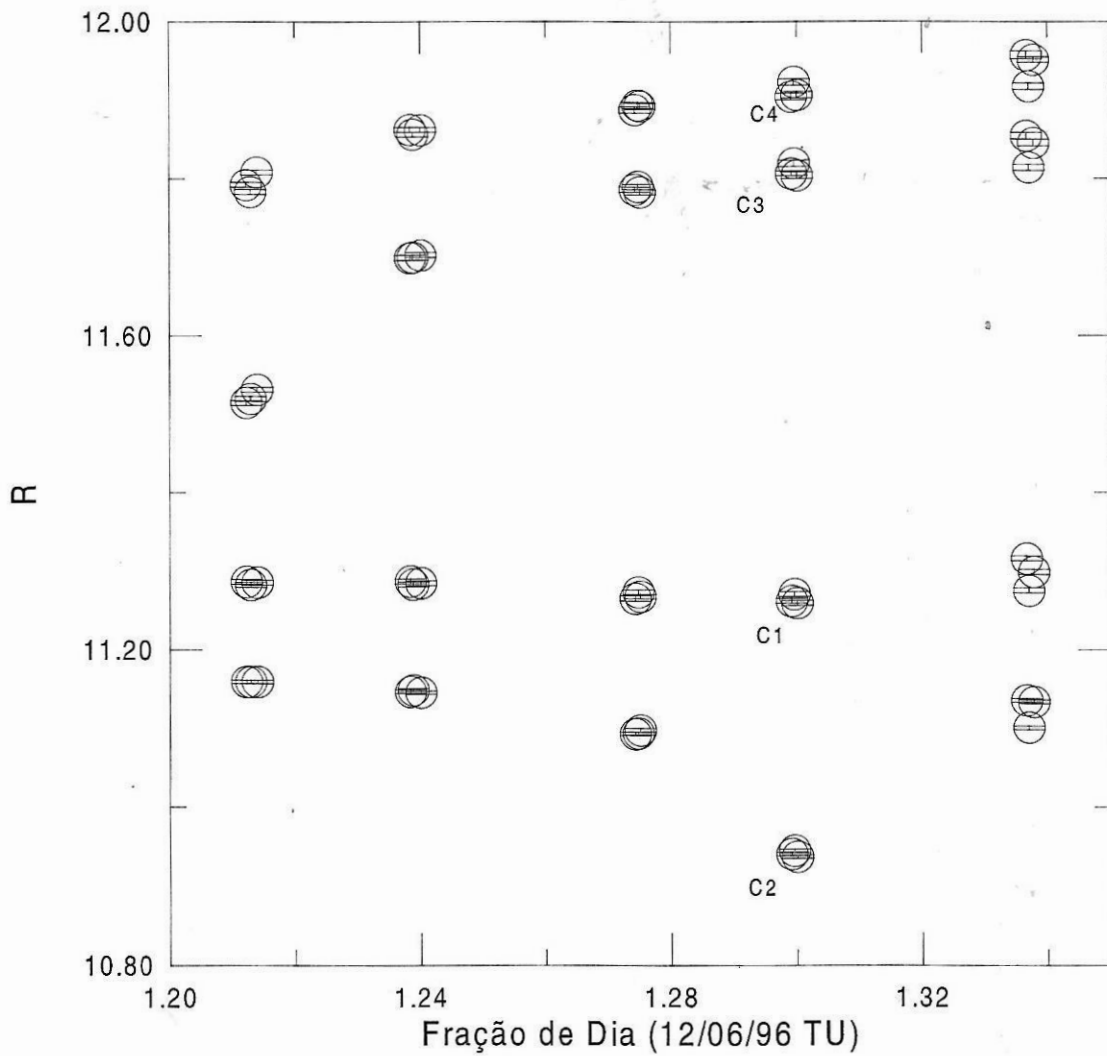


Figura 1 - Curvas de luz das estrelas ocultadas C2, C3, C4 e da estrela de comparação C1, antes da correção de fluxo.

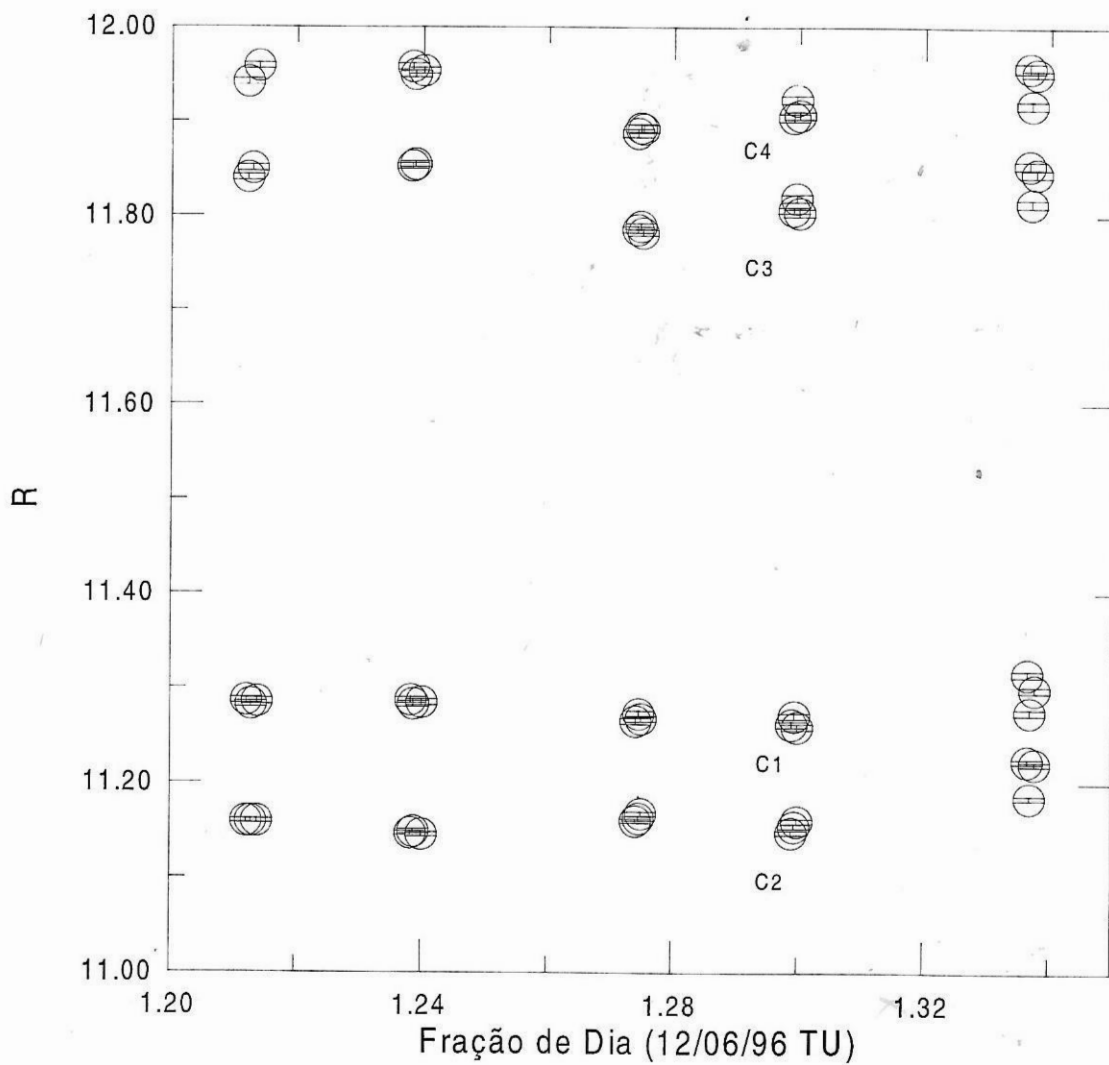


Figura 2 - Curvas de luz de C2, C3, C4 e C1, após a correção do efeito aditivo da coma do Hale-Bopp.

Utilizando a equação (1) para as magnitudes das estrelas C2, C3 e C4, obtemos a profundidade óptica através da expressão:

$$\tau = -\ln \left(\frac{F_{ocult}}{F_{nocult}} \right) \quad (3)$$

onde F_{ocult} é o fluxo da estrela oculta na faixa espectral do filtro enquanto F_{nocult} é o fluxo desta mesma estrela durante a fase não oculta. Os valores de τ obtidos são dados na tabela III, onde No é o número da imagem na sequência da observação.

Tabela III - Profundidades ópticas e suas distâncias nucleocêntricas.

Objeto	$r_{nc} \pm 3$ ($10^3 km$)	TU	No	$\tau \pm \delta\tau$ (10^{-2})
C2	87	08:04:42.7	16	6 ± 2
C3	61	05:06:35.0	5	4 ± 3
C3	85	05:43:10.6	7	4 ± 3
C4	132	05:05:35.4	4	3 ± 3
C4	153	05:43:10.6	7	3 ± 3

2.5 - Discussão e Conclusões

Os valores de τ da tabela III são bastante elevados se considerarmos que o cometa Halley, em uma linha de visada semelhante, teria, segundo o modelo introduzido por Lamy et al. (1987), um valor de $\sim 10^{-5}$. Tal diferença poderia ser atribuída, em parte, ao fato do Halley e do Hale-Bopp terem características físicas muito diversas como, por exemplo, uma razão desproporcional entre as taxas de emissão de poeira. Outra razão para este valor de τ poderia estar vinculada a variações aleatórias da transparência atmosférica, como pode ser sugerido por uma comparação das curvas de luz de C3 e C4 com C1 (a estrela de comparação não ocultada) mostradas na figura 2. Por outro lado, um valor de τ dentro da margem de erro em uma distância próxima foi obtido, horas mais tarde, através da ocultação de C2.

Uma terceira possibilidade sugerida (J. Licandro, comunicação privada) seria a de um jato nuclear, estrutura identificada em uma observação feita simultaneamente, mas sem planejamento prévio, pelo grupo de pesquisa do cometa Hale-Bopp, nas ilhas Canárias. Este jato estava situado num ângulo de posição semelhante aquele do ponto onde ocorreu a ocultação de C2 e C3. Dentro deste contexto, nosso resultado nos

proporcionou um limite superior de $\tau_{sup} = 0.08$ para uma distância nucleocêntrica, r_{nc} , de $9 \times 10^4 km$.

Usando os procedimentos descritos por Larson & A'Hearn (1984) foi então possível calcular o albedo médio, A , dos grãos. O albedo, neste caso, é uma função do ângulo de espalhamento θ ($\theta = \pi - \alpha$) e do comprimento de onda λ da observação (ou faixa espectral $\Delta\lambda$), sendo definido como a razão entre a luz solar total refletida e a parcela da luz absorvida pelas partículas cometárias. O cálculo de $A(\theta, \lambda)$ passa pelo conceito de que a ocultação de C2 forneceu uma medida direta do produto da densidade numérica de partículas por área (a uma distância de r_{nc}), $\bar{N}$, com a seção reta dos grãos, σ (admitimos neste modelo que os grãos são esféricos com raios iguais a R_g , de maneira que sua seção reta tem área igual a πR_g^2). Esta grandeza teria como limite superior o valor de τ_{sup} , de modo que:

$$\bar{N}(r_{nc})\sigma \leq \tau_{sup} \quad (4)$$

onde

$$\bar{N}(r_{nc}) = \frac{N(r_{nc})}{\pi r_{nc}^2} \quad (5)$$

Sendo que:

$$\frac{N(r_{nc})\sigma}{\pi r_{nc}^2} \leq \tau_{sup} \quad (6)$$

logo,

$$N(r_{nc}) \leq \frac{\tau_{sup}\pi r_{nc}^2}{\sigma} \quad (7)$$

Para o cálculo do albedo, vamos utilizar o parâmetro $Af\rho$ o qual foi introduzido por A'Hearn et al. (1984) para uniformizar observações do cometa Bowell (1980b) feitas em diferentes circunstâncias instrumentais e geométricas. Esta grandeza é dada por:

$$Af\rho = \frac{(2\Delta r)^2}{\rho} \frac{F_c}{F_S} \quad (8)$$

onde F_c e F_S são, respectivamente, os fluxos do cometa e do Sol na banda R, ρ é o raio de abertura fotométrica projetada na distância geocêntrica do cometa e f é o fator de

obturação do fluxo estelar devido aos grãos ou seja, se admitirmos uma distribuição de brilho superficial da coma na forma de r_{nc}^{-1} , este é igual a:

$$2\bar{N}(r_{nc})\sigma \quad (9)$$

Portanto,

$$A = A(\theta, \lambda) = \frac{C}{2\bar{N}(r_{nc})\sigma\rho} \quad (10)$$

onde C , neste caso, é o valor máximo de $Af\rho$ que é de $960m$. O albedo obtido pelo uso da equação (10) é de $8,6 \times 10^{-4}$. Como os grãos não são tão pouco reflexivos, podemos entender este resultado se admitirmos que um fóton incidente seja refletido pelo menos uma vez na superfície do grão. O albedo global, sob esta circunstância é de $A^{\frac{1}{2}} = 0,03$, o que é um resultado razoável quando comparado com os valores entre 0,02 e 0,10 obtidos para os albedos dos grãos nos cometas periódicos Encke, Stephan-Oterma e Chernykh (Degewij & Tedesco, 1982)

Outro resultado de nossas observações é o limite superior da taxa de emissão de poeira em 12/06/96. Esta quantidade pode ser obtida da expressão:

$$\dot{M}_{poeira} = \frac{N(r_{nc})\bar{m}}{\Delta T} \quad (11)$$

onde

$$\Delta T = \frac{r_{nc}}{V(r)} \quad (12)$$

$$V(r) = 0,58r^{-0.5} \quad (12)$$

$\bar{m}$ é a massa média por partícula e $N(r_{nc})$ é considerado constante. Como as partículas, que são espalhadores mais eficientes da luz solar nas comas, têm raios entre $1\mu m$ e $10\mu m$ e a densidade da poeira é de aproximadamente $1g/cm^3$ (Grün & Jessberger, 1992), o valor de $\bar{m}$ é igual a $4 \times 10^{-9}g$. A expressão para $V(r)$ corresponde à velocidade de expansão da molécula de água com a distância heliocêntrica. Se admitirmos que o núcleo do Hale-Bopp seja composto basicamente de água, o que é coerente frente à abundância

desta substância aferida em outros cometas, e que os grãos adquirem cerca de $\sim 75\%$ da velocidade do gás (Delsemme, 1982), então esta expressão pode ser utilizada como estimador de velocidade. Para nossas observações, $\dot{M}_{poeira} = 8 \times 10^{10} g/s$. Este valor é bastante elevado, sendo outro forte indicativo de que os valores de τ foram coletados em um zona de alta densidade, como um jato.

CAPÍTULO 3

Chiron, o “Centauro”

3.1 - Introdução

Através de estudos dinâmicos de trajetórias de cometas e graças ao avanço tecnológico de telescópios e detectores hoje sabemos que o Sistema Solar está envolvido por um vasto disco de planetésimos. Este disco, presumivelmente, começa um pouco depois da órbita de Netuno e se estende muito além, até a esférica nuvem de Oort, da qual uma grande parte dos cometas hipoteticamente se origina. Esta estrutura, conhecida como cinturão de Kuiper, foi sugerida por K.E. Edgeworth em 1949 e por G. Kuiper em 1951. Eles propuseram a existência de uma região, em forma de disco, que deveria se encontrar a pelo menos 36 UA do Sol. Em 1980, J. Fernandez propôs que este disco seria o reservatório de onde se originariam os cometas que, após perturbações planetárias são injetados em órbitas de curto período. Esta hipótese foi confirmada com a descoberta (Jewitt & Luu, 1993) de um corpo de magnitude 22 situado além da órbita de Netuno. Este objeto foi designado de 1992QB1 e após sua descoberta se seguiram diversas outras de modo que atualmente se conhecem cerca de 66 destes corpos. Como estas descobertas foram decorrentes de uma varredura em uma região pequena do céu, se estima que existam cerca de 160 000 objetos como 1992QB1, o qual deve possuir um diâmetro maior que 100Km . O disco deve conter bilhões de outros núcleos cometários com dimensões inferiores à 100km e alguns tão grandes quanto Plutão (2360km) e Caronte (1200km).

Devido às perturbações planetárias dos planetas gigantes, objetos do disco de Kuiper são transferidos de órbitas remotas quase circulares, que percorriam desde sua formação, para trajetórias mais elípticas, cruzadoras da órbita de Netuno. Inevitavelmente, quando ocorrem encontros próximos com Netuno estes objetos são injetados em regiões mais internas ou externas do Sistema Solar adquirindo semi-eixos maiores próximos de Júpiter, Saturno ou Urano. Estes objetos são denominados “Centauros”, dada sua ligação mitológica com Jupiter e Saturno. Um dos membros desta população é 2060 Chiron (Hahn & Bailey, 1990) que foi considerado o asteróide mais distante na época de sua descoberta (Kowal, 1979). Sua classificação como asteróide foi questionada a partir de indícios de atividade cometária evidenciados em 1988 (Tholen et al., 1988; Bus et al., 1988; Hartmann et al., 1990). Esta atividade foi detectada quando Chiron se encontrava a uma distância heliocêntrica de 13U.A., o que implica que esteja baseada na volatização de gelos tipo CN, CO ou CO₂ (Stern, 1989; Meech & Belton, 1990). Sendo que as moléculas de CN e CO foram de fato detectadas (Bus et al., 1991;

Womack & Stern, 1995), isto implicando na presença de mecanismos muito particulares de formação e manutenção da coma de Chiron.

A ocultação de uma estrela pela coma de 2060 Chiron em 1994 revelou a presença de estruturas de jato discretas próximas ao núcleo, sugerindo várias regiões ativas (Elliot et al., 1995). Estas observações possibilitaram ainda estimar que as partículas que compõem a coma têm raios superiores a $0,25\mu m$. A dimensão de Chiron é outro aspecto interessante. Com o uso de diversas técnicas o diâmetro de 2060 Chiron foi estimado em $372km$ (Sykes & Walker, 1991), $173km$ (Lebofsky et al., 1984) e entre 182 e $189km$ (Campins et al., 1994; Marcialis et al., 1994). Estes valores, apesar de incongruentes, sugerem que Chiron seja um dos maiores núcleos cometários observados até hoje.

Com a finalidade de obter mais informações relativas à evolução de brilho de longo período, efetuamos observações fotométricas no período anterior e durante a passagem periélica de Chiron. Os resultados obtidos nesta campanha observacional estão resumidos neste capítulo.

3.2 - Observações e Reduções

As observações fotométricas de 2060 Chiron foram efetuadas com o mesmo instrumental e técnicas de redução de fotometria de abertura já apresentadas nos tópicos 2.2 e 2.3 do capítulo II. Entretanto, deve ser feita uma menção quanto ao uso da técnica de "Linking Night". Este método permite a utilização de estrelas de comparação (presentes no campo da imagem do cometa) como estrelas padrões fotométricas desde que estas tenham sido observadas, e devidamente calibradas com o referencial de estrelas Landolt, em uma noite considerada fotométrica. Deste modo, podemos utilizar as magnitudes de Chiron obtidas em noites não fotométricas. Na tabela I é dada a relação das observações, na qual figuram as distâncias heliocêntricas e geocêntricas (R and Δ), o ângulo de fase solar (α), o fator de qualidade da noite, Q , e o telescópio utilizado. Os valores do fator Q indicam se a noite foi (1) fotométrica, (2) com cirros mas "linked" a uma noite fotométrica, ou (3) com cirrus. Na última coluna OPD $0.6m$ e OPD $1.6m$ indicam, respectivamente, os telescópios Boller & Chivens e Perkin-Elmer do Observatório do Pico-dos Dias, enquanto OHP $1.2m$ representa o telescópio de $1.2m$ do Observatoire de Haute-Provence (França).

Tabela I - Aspectos geométricos e observacionais para 2060 Chiron.

Data TU	R	Δ	α	Q	"linking-night"	Telescópio
1994/02/08	8.865	7.927	2.09	3		OPD 1.6m
1995/03/25	8.538	7.557	1.22	3		OPD 0.6m
1995/04/26	8.521	7.791	4.86	3		OHP 1.2m
1995/04/27	8.521	7.802	4.95	3		OHP 1.2m
1995/06/03	8.505	8.316	6.79	3		OPD 0.6m
1995/06/04	8.505	8.332	6.80	3		OPD 0.6m
1995/06/05	8.504	8.347	6.82	3		OPD 0.6m
1995/06/16	8.500	8.520	6.84	1		OPD 0.6m
1995/07/01	8.495	8.749	6.54	1		OPD 0.6m
1995/07/02	8.494	8.764	6.51	1		OPD 0.6m
1996/01/27	8.454	8.033	6.19	3		OPD 0.6m
1996/01/29	8.454	8.004	6.10	3		OPD 0.6m
1996/01/31	8.454	7.972	6.00	2	01/29	OPD 0.6m
1996/02/01	8.454	7.957	5.94	2	01/29	OPD 0.6m
1996/02/17	8.454	7.740	4.84	2	02/18	OPD 0.6m
1996/02/18	8.454	7.728	4.75	3		OPD 0.6m
1996/02/29	8.454	7.611	3.72	1		OPD 0.6m
1996/03/27	8.455	7.463	0.64	3		OPD 0.6m
1996/04/23	8.455	7.528	2.75	3		OPD 0.6m
1996/04/24	8.455	7.535	2.86	3		OPD 0.6m
1996/06/12	8.465	8.133	6.60	3		OPD 0.6m

3.3- Evolução Fotométrica

Para estudar a evolução de longo período do brilho de 2060 Chiron foram determinadas suas magnitudes absolutas no sistema H-G (Bowell et al., 1989) utilizado no estudo de asteróides. A magnitude $H(\alpha)$ é estimada como se o objeto se encontrasse a uma distância de 1 U.A. da Terra e do Sol e sob um dado ângulo de fase, H é a magnitude absoluta corrigida dos efeitos de distância e sob um ângulo de fase $\alpha = 0$ e G é o denominado "*slope parameter*" e representa as propriedades globais de espalhamento da luz solar pela superfície do corpo. A equação que relaciona estas tres grandezas é dada pela expressão:

$$H(\alpha) = H - 2,5 \log[(1 - G)\Phi_1(\alpha) + G\Phi_2(\alpha)] \quad (1)$$

Os parâmetros H e G são determinados a partir da introdução do conceito de magnitude reduzida (corrigida de distância), $M(\alpha)$. Esta magnitude é dada pela equação:

$$M(\alpha) = M_{obs}(\alpha) - 5\log(r\Delta) \quad (2)$$

onde r e Δ são as distâncias heliocêntrica e geocêntrica e M_{obs} é a magnitude observada. $M(\alpha)$ é substituída na equação:

$$10^{-0,4M(\alpha)} = a_1\Phi_1(\alpha) + a_2\Phi_2(\alpha) \quad (3)$$

e utilizada junto com o sistema de equações

$$H = -2,5\log(a_1 + a_2) \quad (4)$$

$$G = \frac{a_1}{a_1 + a_2} \quad (5)$$

Inicialmente, adotamos o valor comumente utilizado do parâmetro G de Chiron, ou seja, $0,70 \pm 0,15$ determinado por Bus et al. (1989). Assumindo este valor, nosso problema é reduzido às equações (3), (4) e (5) com incógnitas H , a_1 , a_2 . A equação (3) é expressa em termos das funções de Φ_i que são dadas pelo conjunto:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Phi_i = W\Phi_{iS} + (1 - W)\Phi_{iL} \\ W = \exp(-90,56 \tan^2 \frac{1}{2}\alpha) \\ \Phi_{iS} = 1 - \frac{C_i \sin \alpha}{0,119 + 1,341 \sin \alpha - 0,754 \sin^2 \alpha} \\ \Phi_{iL} = \exp[-A_i (\tan \frac{1}{2}\alpha)^{B_i}] \end{array} \right. \quad (6)$$

Onde:

$$\begin{array}{ll} A_1 = 3,332 & A_2 = 1,862 \\ B_1 = 1,218 & B_2 = 1,218 \\ C_1 = 0,986 & C_2 = 0,238 \end{array}$$

Os valores médios $H(\alpha)$ obtidos através destas relações, para os períodos observacionais em questão, são apresentados na tabela II.

Tabela II - Valores médios das magnitudes reduzida e absoluta.

Data TU	Filtro	M_{obs}	$H(\alpha)$
1994 Fevereiro 08.270	V	16.03 ± 0.03	6.642
1995 Março 25.167	V	15.85 ± 0.01	6.702
1995 Abril 26.922	V	16.0 ± 0.1	6.789
1995 Abril 27.931	V	15.9 ± 0.1	6.733
1995 Junho 03.948	V	16.23 ± 0.01	6.986
1995 Junho 04.643	V	16.2 ± 0.1	7.097
1995 Junho 05.901	V	16.21 ± 0.01	6.950
1995 Junho 16.956	V	16.29 ± 0.02	7.003
1995 Julho 01.936	V	16.19 ± 0.04	6.830
1995 Julho 02.933	V	16.23 ± 0.02	6.863
1996 Janeiro 27.231	V	16.06 ± 0.02	6.714
1996 Janeiro 29.205	V	16.03 ± 0.01	6.698
1996 Janeiro 29.216	R	15.65 ± 0.01	6.313
1996 Janeiro 29.242	B	16.60 ± 0.02	7.263
1996 Janeiro 31.267	V	15.99 ± 0.01	6.663
1996 Janeiro 31.249	R	15.64 ± 0.01	6.310
1996 Fevereiro 01.250	V	16.00 ± 0.01	6.674
1996 Fevereiro 17.250	V	16.0 ± 0.1	6.796
1996 Fevereiro 18.284	V	16.01 ± 0.01	6.779
1996 Fevereiro 18.221	R	15.61 ± 0.01	6.381
1996 Fevereiro 29.177	V	15.93 ± 0.02	6.756
1996 Março 27.113	V	15.67 ± 0.01	6.623
1996 Março 27.096	R	15.22 ± 0.01	6.180
1996 Abril 23.057	V	15.75 ± 0.01	6.623
1996 Abril 23.086	R	15.35 ± 0.01	6.223
1996 Abril 23.065	B	16.40 ± 0.02	7.267
1996 Abril 24.062	V	15.79 ± 0.01	6.658
1996 Abril 24.078	R	15.37 ± 0.01	6.240
1996 Junho 12.002	V	16.13 ± 0.01	6.744
1996 Junho 12.032	R	15.69 ± 0.01	6.311
1996 Junho 12.037	B	16.95 ± 0.02	7.528

Com estes dados podemos notar que Chiron, no período 1994–1995, teve sua magnitude V variando entre 6,6 em fevereiro de 1994 e 6,8 em junho de 1995. No ano de 1996, a variação detectada na magnitude V foi entre 6,79 em fevereiro e 6,22 em março.

Com estes dados podemos notar que Chiron, no período 1994–1995, teve sua magnitude V variando entre 6,6 em fevereiro de 1994 e 6,8 em junho de 1995. No ano de 1996, a variação detectada na magnitude V foi entre 6,79 em fevereiro e 6,22 em março. Uma variação equivalente foi detectada nas magnitudes absolutas R, entre 6,28 e 6,18, para o mesmo período. Para 1996 este fenômeno pode ser visualizado na figura 1 (a) e (b) para as magnitudes médias absolutas $H(\alpha)$ e as magnitudes reduzidas $M(\alpha)$ para os filtros B, V e R. Estes diagramas mostram que Chiron teve um mínimo de brilho em janeiro e fevereiro, um máximo em março e um novo mínimo em junho. Um aumento próximo de 20% em magnitude na banda UV foi igualmente detectado por Parker et al. (1996) a partir de dados obtidos com o *Hubble Space Telescope* em janeiro e abril de 1996.

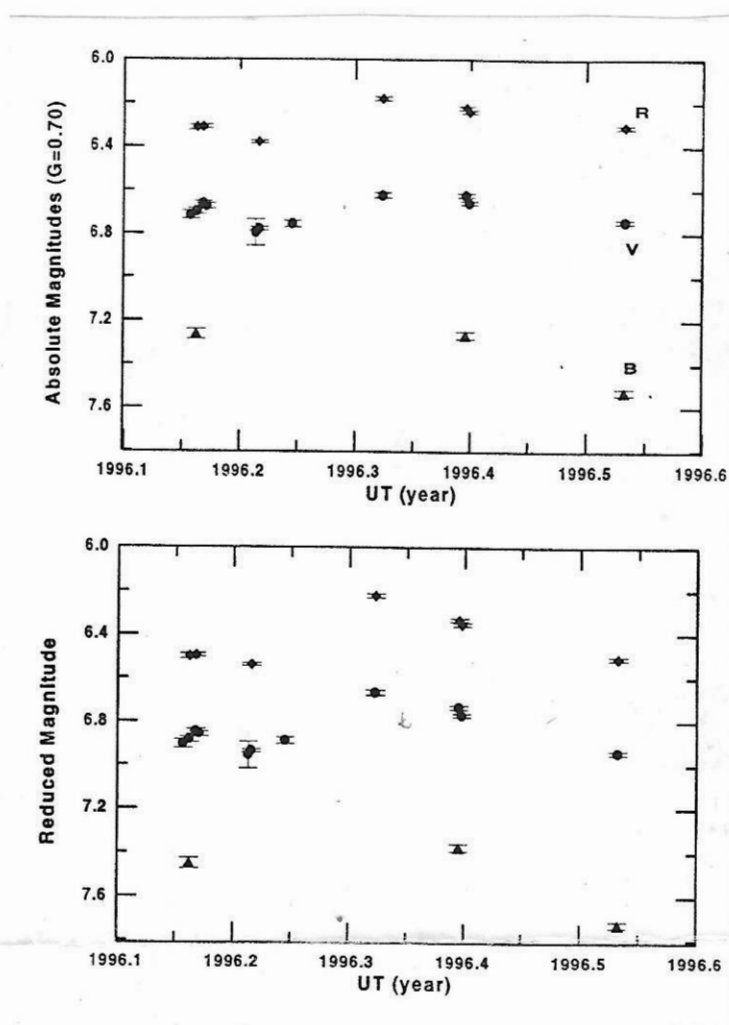


Figura 1 - Magnitudes médias absolutas e reduzidas de Chiron em 1996.

magnitude pode ser atribuída tanto a um pico de brilho característico da oposição do objeto à Terra quanto à atividade nuclear de Chiron. Nos resultados já publicados sobre Chiron, somente Bus et al. (1989) efetuaram observações extensivas sob pequenos ângulos de fase revelando uma variação positiva em luminosidade com a aproximação da oposição. Embora em nossas imagens não tenha sido detectada qualquer evidência de coma, não podemos excluir qualquer uma destas possibilidades.

Variações de luminosidade na escala de horas também foram detectadas durante o intervalo de uma noite. Na figura 2(a) e (b), são mostradas as magnitudes observadas de Chiron juntamente com a razão entre as magnitudes de duas estrelas de campo. Em contraste com esta razão que se mantém relativamente constante, temos uma curva de luz complexa associada à atividade nuclear de Chiron.

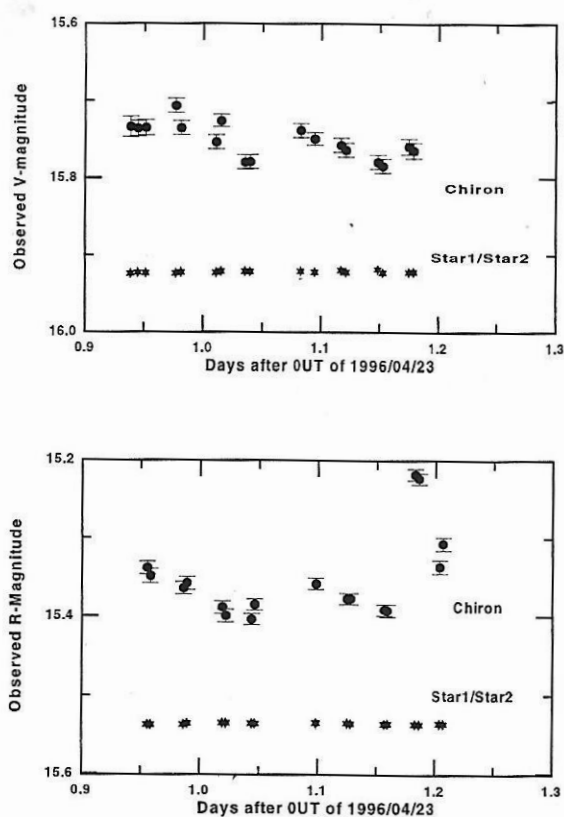


Figura 2 - Variações de curto período nas magnitudes de Chiron.

Com esta evidência observacional podemos considerar que a curva de luz de Chiron é o resultado da soma de três componentes. A primeira destas é periódica, possivelmente devida à rotação do objeto. A segunda é secular e associada ao decréscimo de brilho após o pico de março. A terceira é randômica, provavelmente correspondente à atividade nuclear de curto período. Uma atividade de curto período similar foi detectada em 1989 por Luu & Jewitt (1990) e por Buratti & Dunbar (1991).

Todos os dados de 2060 Chiron já publicados são apresentados na figura 3, onde sua evolução secular de brilho é mostrada através de magnitudes V reduzidas.

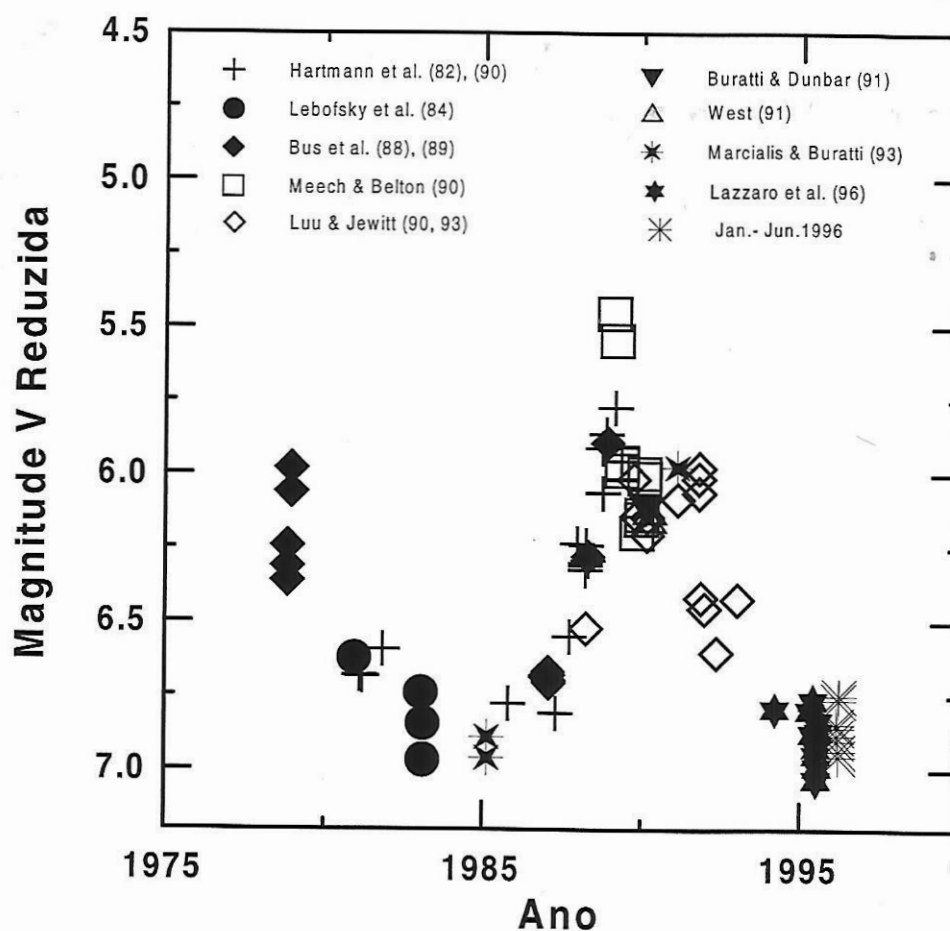


Figura 3 - Evolução secular do brilho de Chiron.

Nesta figura fica claro que 2060 Chiron está agora em um mínimo de luminosidade. Este mínimo, entretanto, não implica em uma inatividade nuclear. Isto também sugere que o mínimo de 1984/1986 não necessariamente se constituiu como uma fase de inatividade. Uma pequena atividade poderia estar presente mas, certamente, abaixo do limite observacional. A identificação destas fases de inatividade ou atividade mínima real do núcleo é crucial para uma correta modelagem dos mecanismos que regem a atividade de Chiron.

Uma análise de Fourier da curva de luz composta foi efetuada através do método descrito por Harris et al. (1989) fornecendo um período de $5,918 \pm 0,002h$ em concordância com o valor obtido por Marcialis & Buratti (1993). A curva de luz composta é mostrada na figura 4 juntamente com seu ajuste por um polinômio de quinta ordem (linha contínua). Cada símbolo representado no gráfico corresponde a uma diferente noite de observação. A alta dispersão nesta curva de luz, cerca de 3σ , pode ser atribuída à atividade nuclear e ao fato destas observações terem sido feitas em um intervalo de vários meses.

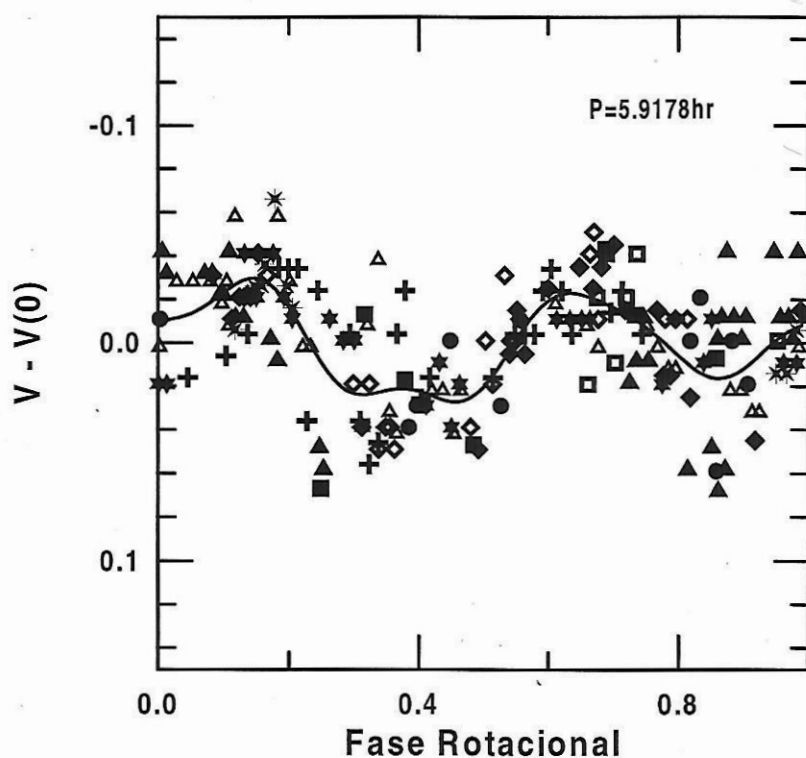


Figura 4 - Curva de luz composta.

A variação de amplitude da curva de luz é de $(6 \pm 1) \times 10^{-2}$. Este valor é proporcional à dispersão dos dados mas, por outro lado, próximo do valor de 8×10^{-2} , obtido por Bus et al. (1989) quando Chiron se encontrava em outro mínimo de brilho. Um fato interessante a ser citado é que estes valores são maiores que os obtidos por Luu & Jewitt (1990), $4,5 \times 10^{-2}$, e por Buratti & Dunbar (1991), $2,0 \times 10^{-2}$, quando Chiron estava em um máximo de brilho. A evolução da amplitude na curva de luz de Chiron pode ser compreendida se assumirmos que 2060 Chiron possui uma forma levemente alongada e que, devido à presença de uma coma esférica, esta variação seja suprimida durante as fases de máxima atividade. Por outro lado, quando Chiron se encontra em baixa atividade a coma desaparece resultando em um aumento da amplitude. Outra hipótese, é de que as diferenças em amplitude sejam devidas a variações da disposição espacial do eixo de inclinação durante as diferentes observações.

Os dados obtidos permitiram também efetuar uma análise colorimétrica de banda larga para 2060 Chiron em 1996. O índice de cor V-R variou de $0,38 \pm 0,01$ em janeiro para $0,42 \pm 0,01$ em abril enquanto o índice B-V variou de $0,57 \pm 0,03$ para $0,64 \pm 0,02$. Os erros associados são, em geral, grandes devido ao pequeno número de pontos obtidos, principalmente nos filtros R e B. Outro fator importante na composição dos erros é a influência da extinção de segunda ordem no cálculo do índice B-V (Jablonski, 1996). No LNA, este fator deve ser levado em consideração dadas as condições ambientais que regem o sítio. Sob este aspecto, nosso valor possui confiabilidade na ordem de 10^{-1} pontos em magnitude diferencial. Considerando que os índices de cor solares V-R e B-V são respectivamente da ordem de 0,36 e 0,66 (Hardorp, 1979), podemos dizer que Chiron possuía uma cor neutra em abril. A razão para o menor índice B-V em janeiro não tem uma explicação clara baseada num aumento ou diminuição da produção de grãos. Esta variação, por outro lado, é coincidente com a diminuição do ângulo de fase.

3.4 - O parâmetro G

O parâmetro G introduzido por Bowell et al. (1989) representa as propriedades de espalhamento da superfície de um corpo asteroidal. Como 2060 Chiron foi classificado inicialmente como um asteroide, este parâmetro foi calculado por Bus et al. (1989) como tendo um valor de $0,70 \pm 0,15$. As observações efetuadas por estes autores têm uma amostragem limitada a um pequeno intervalo de ângulos de fase, o que compromete

sua precisão na determinação de G . Mesmo assim, todos os trabalhos sobre Chiron publicados posteriormente adotaram este valor para o estudo de sua variação secular em brilho.

Em vista da atividade nuclear de Chiron, a utilização do sistema H-G é questionável, já que este sistema de magnitudes absolutas foi concebido para representar corpos que não possuam envelopes gasosos, tais como os asteróides. Como 2060 Chiron estava provavelmente em uma fase de mínima atividade semelhante aquela registrada por Bus et al. (1989), um novo valor de G foi calculado a partir de nossos dados de 1994–1995. O valor obtido foi de $0,71 \pm 0,15$, confirmando o valor de Bus e co-autores. Este resultado seria um indicativo de que as características da superfície de Chiron poderiam ser efetivamente representadas por um G com valores entre 0,70 e 0,71.

Como o brilho de Chiron em 1996 manteve-se num mínimo, um novo valor de G foi determinado combinando nossos dados obtidos entre 1994 e 1996 com os de Bus et al. (1989). Este ajuste forneceu um valor muito diferente para G , ou seja, de $0,42 \pm 0,01$. Esta nova determinação, entretanto, é questionável devido à atividade nuclear de Chiron detectada no ano de 1996. Como não podemos descartar a possibilidade de que Chiron possuísse atividade em 1986 e 1995, os valores de 0,70–0,71 também devem ser utilizados com ressalvas. De qualquer forma, para uma boa determinação de G é necessária uma cobertura mínima de ângulos de fase entre 0° e 10° , e os pontos obtidos em 1986 e 1994–1996 (figura 5) não se constituem em uma boa amostragem.

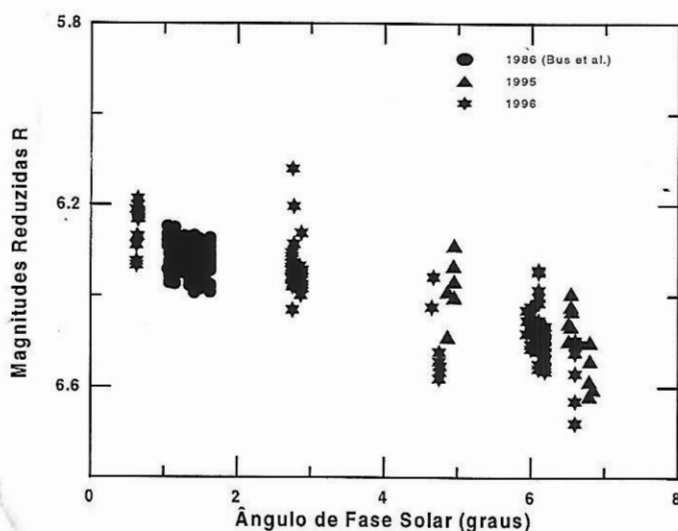


Figura 5 - Variação da magnitude reduzida com o ângulo de fase

Devido à sua atividade cometária acreditamos portanto que as magnitudes reduzidas são as mais apropriadas para este objeto, assim como já é feito para qualquer outro cometa.

3.5 - Conclusões

Os principais resultados obtidos neste trabalho podem ser resumidos como:

- Observações fotométricas de 2060 Chiron no período 1994–1996 mostram que seu brilho se manteve em um mínimo mesmo estando nas imediações de seu periélio;
- Apesar deste mínimo, 2060 Chiron apresentou atividade cometária representada por variações de luminosidade de médio período, na faixa de meses, e de curto período, na faixa de horas;
- O “slope parameter”, G , é uma ferramenta útil para homogeneizar dados fotométricos obtidos em diferentes ângulos de fase. Entretanto, esta grandeza, sendo um coeficiente macroscópico de espalhamento da luz solar pela superfície do objeto, não pode ser utilizado no caso de Chiron, dada sua atividade cometária;
- A curva de luz composta de Chiron confirmou um período de rotação de $5,918h$, e uma variação pico-a-pico de $0,06$ magnitudes. Este último valor é muito próximo do obtido por Bus et al. (1989) quando Chiron se encontrava em um mínimo de brilho como agora. Por outro lado, é diferente do valor obtido por outros autores durante seu máximo brilho. A diferença entre as amplitudes da curva de luz nas fases de mínimo e máximo pode sugerir uma superfície levemente alongada para Chiron, a qual seria mascarada na presença de uma coma. Por outro lado, não podemos excluir a possibilidade de que este efeito esteja relacionado com diferentes disposições espaciais de seu eixo de rotação em relação a Terra;
- Da colorimetria de banda larga determinamos que Chiron apresentou-se com uma cor neutra, dada sua semelhança com os índices de cor solares.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Neste trabalho foram estudados alguns aspectos de dois cometas bem particulares, os cometas Hale-Bopp e Chiron. Pretendemos dar continuidade a este trabalho analisando estes e outros cometas com o propósito de contribuir para uma melhor compreensão destes objetos.

Inicialmente pretendemos continuar a análise dos dados do cometa Hale-Bopp obtidos em nossas campanhas observacionais, visando uma melhor determinação de seu estado rotacional.

Também devem ser estudados os períodos de rotação de um número significativo de cometas. Vale salientar que esta grandeza pode refletir o momento cinético primordial da nebulosa que originou o Sistema Solar. Estes períodos, quando colocados num contexto de população, podem então fornecer indícios importantes sobre o processo de formação do nosso Sistema Solar.

Outro aspecto importante que deve ser estudado é quanto os jatos são importantes na composição do estado rotacional dos cometas. Isto pode ser analisado através da comparação entre os valores obtidos para cometas de curto período (com muitas passagens periélicas) e de longo período.

Os cometas, embora objetos muito antigos do ponto de vista de descoberta, apresentam características muito diversas entre si dificultando uma modelagem única. Serão necessárias ainda muitas observações e modelagens teóricas para aprimorarmos nossa visão do fenômeno cometário.

REFERÊNCIAS

- A'Hearn, M. F., Schleicher, D. G., Millis, R. L., Feldman, P. D., Thompson, D. T.: 1984, *AJ* **89**, 579A.
- A'Hearn, M.F., Millis, R.L., Schleicher, D.G., Osip, D.J., Birch, P.V.: 1995, *Icarus* **118**, 223.
- Alfvén, H.: 1957, *Tellus* **9**, 92.
- Arrhenius, S.A.: 1900, *Phys. Zeitschr.* **2**, 81.
- Bergeron, D. & Vanouplines, P.: 1995, *M.P.C.* **25405-25406**, .
- Bessel, F.W.: 1836a, *Astron. Nachr* **13**, 345.
- Bessel, F.W.: 1836b, *Astron. Nachr* **13**, 185.
- Biermann, L.: 1951, *Z. Astrophys.* **29**, 274.
- Bowell, E., Hapke, B., Domingue, D., Lumme, K., Peltoniemi, J., Harris, A.W.: 1989, in *Asteroids II*, (R.P. Binzel, T. Gehrels and M.S. Matthews eds.), Univ. of Arizona Press, Tucson, p. 524-556.
- Brahe, T.: 1578, *Manuscrito (em alemão; Codex Vind. 10689)*, 1986 Transl. Astron. J. (Brager and N. Henningsen eds.), Eilertsen Publ., Copenhagen.
- Buratti, B.J. & Dunbar, R.S.: 1991, *ApJ* **366**, L47-L49.
- Bus, S.J., Bowell, E., French, L.M.: 1988, *IAU Circular* **4684**, .
- Bus, S.J., Bowell, E., Harris, A.W., Hewitt, A.V.: 1989, *Icarus* **77**, 223.
- Bus, S.J., A'Hearn, M.F., Schleicher, D.G., Bowell, E.: 1991, *Science* **251**, 774.
- Campins, H., Telesco, C.M., Osip, D.J., Rieke, G.H., Reike, M.J., Schulz, B.: 1994, *AJ* **108**, 2318.
- Carrington, R.C.: 1859, *MNRAS* **20**, 13.

- Combes, M., Lecacheux, J., Encrenaz, T., Sicardy, B. Zeau, Y., Malaise, D.: 1983, *Icarus* **56**, 229.
- Cremonese, G., Boehnhardt, H., Crovisier, J., Rauer, H., Fitzsimmons, A., Fulle, M., Licandro, J., Pollaco, D., Tozzi, G.P., West, R.M.: 1997, *ApJ* **490L**, 199C.
- Crovisier, J., Brooke, T.Y., Hanner, M.S., Keller, H.U., Lamy, P.L., Altieire, B., Bockelée-Morvan, D., Jorda, L., Leech, K., Lellouch, E.: 1996, *A&A* **315**, L385.
- Debye, P.: 1909, *Ann. Phys. Leipzig* **30**, 57.
- Degewij, J. & Tedesco, E.F.: 1982, in *Comets*, (L.L. Wilkening ed.), Univ. of Arizona Press, Tucson, p. 637.
- Delsemme, A.H. & Swing, P.: 1952, *Ann. Astrophys.* **15**, .
- Delsemme, A.H.: 1982, in *Comets*, (L.L. Wilkening ed.), Univ. of Arizona Press, Tucson, p. 85.
- Donati, G.: 1864, *Astron. Nachr* **62**, 378.
- Dossin, F.: 1962, *Annales de l'Observatoire de Haute-Provence* **45**, 30.
- Dunham, D.W., Mink, D., Wasserman, L., Klemola, A.R.: 1991, *IAU Circ.* **5417**, .
- Eddington, A.S.: 1910, *MNRAS* **70**, 442.
- Edgeworth, K.E.: 1949, *MNRAS* **109**, 600.
- Elliot, J.L., Olkin, C.B., Dunham, E.W., Ford, C.H., Gilmore, D.K., Kurtz, D., Lazzaro, D., Rank, D.M., Temi, P., Bandyopadhyay, R.M., Barroso, J., Barruci, A., Bosh, A.S., Buie, M.W., Bus, S.J., Dahn, C.C., Foryta, D.W., Hubbard, W.B., Lopes, D.F., Marcialis, R.L., McDonald, S.W., Millis, R.L., Reitsema, H., Schleicher, D.G., Sicardy, B., Stone, R.P.S., Wasserman, L.H.: 1995, *Nature* **373**, 46.
- Encke, J.F.: 1820, *Berliner Astr. Jahrbuch für* **1823**, 211.
- Fernandez, J.A.: 1980, *MNRAS* **192**, 481.
- Fernandez, Y.R., A'Hearn, M.F., Kundu, A., Lisse, C.M., Weaver, H.A., Dayal, A., Hanner, M.S., Ressler, M. E., Hoffmann, W.F., Deustch, L.K., Fazio, G.G., Hora, J.L., Kaufl, H.U.: 1997, *American Astrono. Soc. Meeting* **191**, #72.10.
- Fernandez Y.R. et al. 1998, in *First International Conference on Comet Hale-Bopp*, Tenerife, Spain, Feb. 2-5, 1998.
- Festou, M.C., Rickman, H., West, R.M.: 1993, *A&A Review* **4**, 363.
- Fitzsimmons A., Dahlgren M., Lagerkvist C.-I., Magnusson, P., Williams, I.P.: 1994, *A&A* **282**, 634.

- Grün, E. & Jessberger, E.: 1992, in *Physics and Chemistry of Comets*, (W.F. Huebner ed.), Springer-Verlag, Heidelberg, p. 113.
- Hahn, G., Bailey, M. E.: 1990, *Nature* **348**, 132.
- Hayward, T.L. & Hanner, M.S.: 1998, *Science* **275**, 1907.
- Halley, E.: 1705, *Astronomiae Cometicae Synopsis*, Oxford, (Transl. as *A Synopsis of the Astronomy of Comets*, 1705, London).
- Hardorp, J.: 1979, *A&A* **63**, 383.
- Harris, A.W., Young, J.W., Bowell, E., Martin, L.J., Millis, R.L., Poutanen, M., Scaltriti, F., Zappalà, V., Dchober, H.-J., Debehogne, H., Zeigler, K.W.: 1989, *Icarus* **77**, 171.
- Hartmann, W.K., Tholen, D.J., Meech, K.J., Cruikshank, D.P.: 1990, *Icarus* **83**, 1.
- Hoffmeister, C.: 1943, *Z. Astrophys* **23**, 1.
- Huggins, W.: 1868, *Phil. Trans.* **158**, 559.
- Jaegermann, R.: 1903, *Prof. Th. Bredikhin's mechanische Untersuchungen über Cometenformen in system-atischer Darstellung. Zusammengestellt v., R.J., St. Petersburg.*
- Jablonski, F.: 1996, in *Home Page do Laboratório Nacional de Astrofísica*, (<http://www.lna.br/opd/extinc.html>).
- Jewitt, D. & Meech, K.J.: 1986, *ApJ* **310**, 937.
- Jewitt, D.C. & Luu, J.X.: 1990, *A.J.* **100**, 933.
- Jewitt, D. & Luu, J.: 1993, *Nature* **362**, 730.
- Kidger, R.M.: 1996, *Earth, Moon and Planets* **73**, 15.
- Kowal, C.T.: 1979, in *Asteroids*, (T. Gehrels ed.), Univ. of Arizona Press, Tucson, p. 436.
- Kronk, G.: 1984, *Comets : a descriptive catalog*, Enslow Publishers, Hillside, N.J.
- Kuiper, G.P.: 1951, in *Astrophysics: A Topical Symposium*, (J.A. Hynek ed.), McGraw-Hill, N.Y., 357.
- Lagrange, J.L.: 1814, *Additions à La Connaissance des Temps* **211**, .
- Lamy, P.L., Grün, E., Perrin, J.M.: 1987, *A&A* **187**, 767.
- Lamy, P.L., Jorda, L., A'Hearn, M.F., Toth, I., Weaver, H., Gruen, E.: 1998, in *First International Conference on Comet Hale-Bopp*, Tenerife, Spain, Feb. 2-5, 1998.
- Landolt, A.U.: 1983, *AJ* **88**, 439.

- Laplace P.S.: 1813, *Exposition du Système du Monde*, 4th ed., Paris, 131.
- Laplace, P.S.: 1816, *Additions à La Connaissance des Temps* **213**, .
- Larson, S.M. & Sekanina, Z.: 1984, *AJ* **89**, 571.
- Larson, S.M. & A'Hearn, M.F.: 1984, *Icarus* **58**, 446.
- Lebofsky, L.A., Tholen, D.J., Rieke, G.H., Lebofsky, M.A.: 1984, *Icarus* **60**, 535.
- Lecacheux, J., Thuillot, W., Encrenaz, T., Laques, P., Rouan, D., Despiau, R.: 1984, *Icarus* **60**, 386.
- Léna, P.: 1988, *Observational Astrophysics*, (M. Harwit, R. Kippenhahn and J.-P. Zahn eds.), Spring-Verlag; Heidelberg, p. 58.
- Levin, B.J.: 1943, *Soob. Acad. Nauk SSSR (N.S.)* **38**, 82 (Russ. Astron. J. 20, 48).
- Luu, J.X. & Jewitt, D.C.: 1990, *A.J.* **100**, 913.
- Luu, J.X.: 1993, *Icarus* **104**, 138.
- Marcialis, R.L. & Buratti, B.J.: 1993, *Icarus* **104**, 234.
- Marcialis, R.L., Hubbard, W.B., Hill, R., Bus, S.J., Elliot, J.L., Olkin, C., McDonald, S., Foust, J., Sopata, L., Bandyopadhyay, R., Meserole, R., Buie, M.W., Spencer, J.R., Wasserman, L.H., Millis, R., Dunham, E., Beichman, C.A., Jarrett, T.H., Young, J., Ford, C. and Herter, T.: 1994, *BAAS* **26**, 1153.
- Marsden, B.G.: 1995, *MPEC* **P01**, .
- Meech, K.J. & Belton, M.J.S.: 1990, *A.J.* **100**, 1323.
- Millis, R.L. & Schleicher, D.G.: 1986, *Nature* **324**, 624.
- Neckel, V. & Münch, G.: 1987, *A&A* **187**, 581.
- Newton, I.: 1687, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, London.
- Ninkov, Z.: 1994, *AJ* **107**, 1182.
- Olbers, H.W.M.: 1812, *Mon. Corr. Z. Beföed. d. Erd u. Himmels-Kunde*, ed. F. V. Zach **25**, 3.
- Oort, J.H.: 1950, *Bull. Astron. Inst. Netherl.* **11**, 91.
- Oort, J.H. & Schmidt, M.: 1951, *Bull. Astron. Inst. Netherl.* **11**, 259.
- Öpik, E.J.: 1932, *Proc. Amer. Acad. Astr. Sci.* **67**, 199 .
- Parker, J.M., Stern, A.S., Festou, M.C.: 1996, in *ACM96*, Abstracts, Versailles, France, 6.
- Rigaud, S.P.: 1833, *Supplement to Dr. Bradley's miscellaneous work*, Oxford (Reprint in *Sources of Science Ser*, Johnson Reprint Corp, New York, No. 97).

- Richter, N.B.: 1963, *The Nature of Comets*, Methuen, London.
- Rodriguez, E., Ortiz, J.L., Lopez-Gonzales, M.J., Rolland, A., Hobart, M.A., Sanchez-Blanco, E., Gutierrez, P.J., Lopez-Moreno, J.J.: 1997, *A&A* **324**, 61.
- Rosenbush, V.K., Rosenbush, A.E., Dement'ev, M.S.: 1994, *Icarus* **108**, 81.
- Schiaparelli, J.V.: 1866, *Bull. Meteor. Obs. Coll. Rom.* **5**, .
- Schiaparelli, J.V.: 1867, *Astron. Nachr* **68**, 331.
- Schleicher, D.G., Lederer, A.S.M., Millis, R.L., Farnham, T.L.: 1997, *Science* **275**, 1913.
- Schwarzschild, K.: 1901, *Sitz. Ber. Akad. München* **31**, 293.
- Schwarzschild, K. & Kron, E.: 1911, *ApJ* **34**, 342.
- Sekanina, Z.: 1996, *A&A* **314**, 957.
- Sekanina, Z.: 1998, *ApJ* **494L**, 121S.
- Sinding, E.: 1948, *Publ. Obs. Copenhagen* **146**, .
- Sykes, M.V. & Walker, R.G.: 1991, *Science* **251**, 777.
- Stern, A.: 1989, *Pub. Astron. Soc. Pacific* **101**, 126.
- Strömgren, E.: 1914, *Publ. Obs. Copenhagen* **19**, .
- Strömgren, E.: 1947, *Publ. Obs. Copenhagen* **144**, .
- Swing, P.: 1942, *Rev. Mod Phys.* **14**, 190.
- Tholen, D., Hartmann, W.K., Chuikshank, D.P.: 1988, *IAU Circular* **4554**, .
- Van Woerkom, A.J.J.: 1948, *Bull. Astron. Inst. Nederl.* **10**, 445.
- Weaver, H.A., Feldman, P.D., A'Hearn, M.F., Arpigny, C., Brandt, J.C., Festou, M.C., Mcphate, J.B., Stern, S.A., Tozzi, G.P.: 1997, *Science* **275**, 1900.
- Weaver, H.A. & Lamy, P.: 1998, in *First International Conference on Comet Hale-Bopp*, Tenerife, Spain, Feb. 2-5, 1998.
- West, R.M.: 1991, *A&A* **241**, 635.
- Whipple, F.L.: 1950, *ApJ* **111**, 375.
- Whipple, F.L.: 1951, *ApJ* **113**, 464.
- Whipple, F.L.: 1961, *AJ* **66**, 375.
- Wink, J.E. et al.: 1998, in *First International Conference on Comet Hale-Bopp*, Tenerife, Spain, Feb. 2-5, 1998.
- Womack, M. & Stern, S.A.: 1995, *BAAS* **27**, 1143
- Wooden, D.H., Harker, D.E., Woodward, C.E., Butner, H.M., Kioke, C.: 1998, in *First International Conference on Comet Hale-Bopp*, Tenerife, Spain, Feb. 2-5, 1998.

APÊNDICE

Artigos publicados

- [Find Similar Abstracts](#) (with [default settings below](#))
- [Electronic Refereed Journal Article \(HTML\)](#)
- [References in the article](#)
- [Citations to the Article \(7\)](#) ([Citation History](#))
- [Refereed Citations to the Article](#)
- [Also-Read Articles](#) ([Reads History](#))
-
- [Translate This Page](#)

Title: 2060 Chiron back to a minimum of brightness

Authors: [Lazzaro, Daniela](#) ; [Florczak, Marcos A.](#) ; [Betzler, Alberto](#) ; [Winter, Othon C.](#) ;
[Giuliatti-Winter, Silvia M.](#) ; [Angeli, Claudia A.](#) ; [Foryta, Dietmar W.](#)

Affiliation: AA(Observatório Nacional, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AB(Observatório Nacional, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AC(Observatório Nacional, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AD(UNESP, Grupo de Dinâmica Orbital e Planetologia, Guaratinguetá, Brazil), AE(UNESP, Grupo de Dinâmica Orbital e Planetologia, Guaratinguetá, Brazil), AF(Observatório Nacional, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AG(Universidade Federal do Paraná, Dep. Física, 80000 Curitiba, Brazil)

Publication: Planetary and Space Science, Volume 44, Issue 12, p. 1547-1550. ([P&SS Homepage](#))

Publication 12/1996

Date:

Origin: [ELSEVIER](#)

Abstract (c) 1996 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

Copyright:

DOI: [10.1016/S0032-0633\(96\)00111-0](#)

Bibliographic [1996P&SS...44.1547L](#)
Code:

Abstract

The results of photometric observations of comet/asteroid 2060 Chiron at the Observatório do Pico dos Dias (Brazil-OPD) and the Observatoire de Haute-Provence (France-OHP) during 1994 and 1995 are presented. The analysis of the data shows a decrease of 2060 Chiron brightness from its peak values of 1988-1991. The absolute magnitude, H_V , varies from a maximum of 6.6 in February 1994 up to a minimum of 6.8 in June 1995. Therefore 2060 Chiron is back to a minimum of activity close to that of 1983-1985. The slope parameter G is found to be $G = 0.71 \pm 0.15$. It is suggested that the $H-G$ magnitude system, generally adopted to present 2060 Chiron brightness, is not the most appropriate due to the cometary activity of this object.

[Bibtex entry for this abstract](#) [Preferred format for this abstract](#) (see [Preferences](#))

Add this article to private library

Remove from private library

Submit corrections to this record

View record in ADS Bumblebee

NEW!

- [Find Similar Abstracts](#) (with [default settings below](#))
- [Electronic Refereed Journal Article \(HTML\)](#)
- [References in the article](#)
- [Citations to the Article \(18\)](#) ([Citation History](#))
- [Refereed Citations to the Article](#)
- [Also-Read Articles](#) ([Reads History](#))
- [Translate This Page](#)

Title: Photometric monitoring of 2060 Chiron's brightness at perihelion

Authors: [Lazzaro, D.](#) ; [Florczak, M. A.](#) ; [Angeli, C. A.](#) ; [Carvano, J. M.](#) ; [Betzler, A. S.](#) ; [Casati, A. A.](#) ;
[Barucci, M. A.](#) ; [Doressoundiram, A.](#) ; [Lazzarin, M.](#)

Affiliation: AA(ON/CNPq, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AB(ON/CNPq, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AC(ON/CNPq, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AD(ON/CNPq, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AE(ON/CNPq, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AF(ON/CNPq, Dep. Astrofísica, 20921 Rio de Janeiro, Brazil), AG(Observatoire de Paris, 92195 Meudon Principal Cedex, France), AH(Observatoire de Paris, 92195 Meudon Principal Cedex, France), AI(Università di Padova, Dip. di Astronomia, 35122 Padova, Italy)

Publication: Planetary and Space Science, Volume 45, Issue 12, p. 1607-1614. ([P&SS Homepage](#))

Publication Date: 12/1997

Origin: [ELSEVIER](#)

Abstract Copyright: (c) 1998 Elsevier Science B.V. All rights reserved.

DOI: [10.1016/S0032-0633\(97\)00124-4](#)

Bibliographic Code: [1997P&SS...45.1607L](#)

Abstract

The results of photometric and spectroscopic observations of comet/asteroid 2060 Chiron carried on at the Observatório do Pico-dos-Dias (Brazil), at the European Southern Observatory (Chile) and at the Mauna Kea Observatory (Hawaii) during 1996 are presented. The analysis of the photometric data shows that even at a minimum of brightness 2060 Chiron presents some activity. The absolute magnitude, H_V , varied from 6.79 in February to 6.22 in March. Therefore 2060 Chiron is still in a minimum of activity close to that of 1983-1985 and of 1994-1995.

[Bibtex entry for this abstract](#) [Preferred format for this abstract](#) (see [Preferences](#))

Add this article to private library

Remove from private library

Submit corrections to this record

View record in ADS Bumblebee

NEW!

- [Find Similar Abstracts](#) (with [default settings below](#))
- [Electronic Refereed Journal Article \(HTML\)](#)
- [References in the article](#)
- [Also-Read Articles](#) ([Reads History](#))
- [Translate This Page](#)

Title: Observations of Three Stellar Occultations by Comet Hale-Bopp

Authors: [Betzler, A. S.](#) ; [Betzler, L. B. S.](#)

Affiliation: AA(Centro de Formação de Professores, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia), AB(Centro de Formação de Professores, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia)

Publication: Earth, Moon, and Planets, Volume 120, Issue 1, pp.1-14 ([EM&P Homepage](#))

Publication Date: 06/2017

Origin: [SPRINGER](#)

Keywords: Comets: individual:C/1995 O1 (Hale-Bopp), Occultations, Techniques: photometric, Opacity

Abstract Copyright: (c) 2017: Springer Science+Business Media Dordrecht

DOI: [10.1007/s11038-017-9503-z](#)

Bibliographic Code: [2017EM&P..120....1B](#)

Abstract

On June 12 1996 UT, three 11-12 R magnitude stars were occulted by comet Hale-Bopp. The passage of these stars through the cometary atmosphere was monitored at the Observatorio do Pico dos Dias (Brazil) using a 0.6 m telescope. We detected an absorption of starlight by the comet dust implying in a drop of $(6 \pm 1) \times 10^{-2}$ magnitude of occulted star XPM 152-0898466 at a minimum distance of $(4.3 \pm 0.2) \times 10^4$ km from the central condensation. This result, combined with magnitude variations of other stars, suggests the detection of a jet in the coma. From our measurement of extinction, we infer that the opacity of the nucleus surface was $\tau \sim 3$. The mean geometric albedo p of dust grains is $(4.5 \pm 0.7) \times 10^{-3}$. This low albedo may suggest a difference in the grain population associated to coma and jets.

[Bibtex entry for this abstract](#) [Preferred format for this abstract](#) (see [Preferences](#))

Add this article to private library

Remove from private library

Submit corrections to this record

View record in ADS Bumblebee

NEW!

Find Similar Abstracts:

Use: ☐ Authors