



**MASARYKOVA UNIVERZITA**  
**PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**  
**ÚSTAV TEORETICKÉ FYZIKY A ASTROFYZIKY**

---



# **FOTOMETRICKÉ STUDIUM KOMET**

Bakalářská práce

**Štefan Haluza**

**Vedoucí práce: Mgr Filip Hroch, Ph.D.**

**Brno 2012**

## Bibliografický záznam

**Autor:** Štefan Haluza  
Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita  
Ústav teoretické fyziky a astrofyziky

**Název práce:** Fotometrické studium komet

**Studijní program:** Aplikovaná fyzika

**Studijní obor:** Astrofyzika

**Vedoucí práce:** Mgr. Filip Hroch, Ph.D.

**Akademický rok:** 2011/2012

**Počet stran:** 36+8

**Klíčová slova:** kometa; 17P/Holmes; C/1995 O1 (Hale-Bopp);  
C/1996 B2 (Hyakutake); fotometrický filtr; python

## Bibliographic Entry

**Author** Štefan Haluza  
Faculty of Science, Masaryk University  
Department of Theoretical Physics and Astrophysics

**Title of Thesis:** Surface photometry of comets

**Degree programme:** Applied Physics

**Field of Study:** Astrophysics

**Supervisor:** Mgr. Filip Hroch, Ph.D.

**Academic Year:** 2011/2012

**Number of Pages:** 36+8

**Keyword:** comet; 17P/Holmes; C/1995 O1 (Hale-Bopp);  
C/1996 B2 (Hyakutake); photometric filter; python

## **Abstrakt**

Ve své práci se zabývám implementací jednotlivých fotometrických filtrů a jejich následnou aplikací na snímky komet 17P/Holmes, C/1995 O1 (Hale-Bopp) a C/1996 B2 (Hyakutake). Teoretická část práce je věnována všeobecným poznatkům o kometách, CCD fotometrii, fotometrickým filtračním metodám a charakteristice pozorovaných komet. Praktická část práce zahrnuje zpracování snímků, programování fotometrických filtrů v programovacím jazyce Python, aplikací těchto filtrů na snímky komet a porovnání výsledků získaných různými softwarovými programy.

## **Abstract**

The topic of my thesis deals with the implementing of the individual photometric filters and their subsequent application to the pictures of comets 17P/Holmes, C/1995 O1 (Hale-Bopp) and C/1996 B2 (Hyakutake). The theoretical section of the thesis gives general information about comets, CCD photometry, photometric filtration methods and provides characteristics of the observed comets. The experimental section includes processing of the pictures, programming of the photometric filters in Python programming language, treatment of the pictures with these filters and the evaluation of their effectivity in comparison to the software programmes.



Masarykova univerzita  
Přírodovědecká fakulta



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student : Štefan Haluza  
Studijní program : Aplikovaná fyzika  
Studijní obor : Astrofyzika

Ředitel Ústavu teoretické fyziky a astrofyziky PŘF MU Vám ve smyslu Studijního a zkušebního řádu MU určuje bakalářskou práci s tématem:

### Fotometrické studium komet

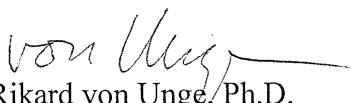
#### Surface photometry of comets

#### *Zásady pro vypracování:*

Vzhled komet je dán především fyzikálními a geologickými podmínkami vycházejícími z jejich tvaru, složení a struktury. Kometa přilétající ke Slunci uvolňuje těkavé látky, které pozorujeme jako komu a ohon komet. Detailní fotometrické studium tak může odhalit strukturu i změny v jádře komety. Cílem této práce je fotometrické studium komet. Ke úspěšnému zvládnutí práce je třeba rutina v použití základních metod zpracování dat z digitálních snímků, matematické statistiky a příslušných fyzikálních oblastí.

*Vedoucí bakalářské práce* : Mgr. Filip Hroch, Ph.D.  
*Datum zadání bakalářské práce* : září 2011  
*Datum odevzdání bakalářské práce* : dle harmonogramu ak. roku 2011/2012

V Brně dne 14. 05. 2012

  
Prof. Rikard von Unge, Ph.D.  
ředitel Ústavu teoretické fyziky a astrofyziky  
PŘF MU

Zadání bakalářské práce převzal dne:

14.05.2012

  
Podpis studenta

## **Pod'akovanie**

Rád by som pod'akoval predovšetkým vedúcemu mojej bakalárskej práce Filipovi Hrochovi za trpezlivosť, odbornú pomoc a cenné rady. Ďalej by som rád pod'akoval Matúšovi Kockovi za cenné konzultácie pri programovaní a Matejovi Žabkovi za pomoc s anglickými odbornými textami.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svoji bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím informačních zdrojů, které jsou v práci citovány.

Brno 21. května 2012

.....  
Štefan Haluza

# Obsah

Úvod .....	9
<b>1 Kométy .....</b>	<b>10</b>
1.1 Vývoj kometárnych štúdií .....	10
1.1.1 Prvotné myšlienky staroveku .....	10
1.1.2 Štúdium kometárnej orbity .....	10
1.2 Štruktúra komét .....	12
1.2.1 Jadro .....	12
1.2.2 Kóma .....	13
1.2.3 Prachový chvost .....	14
1.2.4 Plazmový chvost .....	14
<b>2 Fotometria komét .....</b>	<b>15</b>
2.1 Detekcia elektromagnetického žiarenia .....	15
2.1.1 Historický vývoj .....	15
2.1.2 CCD (charge - coupled device) .....	15
2.2 Fotometrické filtračné metódy .....	15
2.2.1 Mediánový filter .....	15
2.2.2 Larson - Sekanina filter .....	17
<b>3 Spracovanie .....</b>	<b>21</b>
3.1 Výber komét .....	21
3.1.1 17P/Holmes .....	21
3.1.2 C/1995 O1 (Hale-Bopp) .....	23
3.1.3 C/1996 B2 (Hyakutake) .....	24
3.2 Pôvod snímok .....	25
<b>4 Aplikácia filtrov .....</b>	<b>26</b>
4.1 Programovanie .....	26
4.1.1 17P/Holmes .....	26
4.1.2 C/1995 O1 (Hale-Bopp) .....	29
4.1.3 C/1996 B2 (Hyakutake) .....	31

<b>Záver .....</b>	<b>33</b>
<b>Zdroje .....</b>	<b>34</b>
Elektronické zdroje a literatúra .....	34
Obrazová literatúra .....	36
<b>Prílohy.....</b>	<b>37</b>



# Úvod

Spolu so zatmením Mesiaca a Slnka patria kométy medzi najviac obdivovaný úkaz na oblohe. Od pradávna na seba púťali pozornosť, a to nielen svojím vzhľadom, ale aj nečakanými zjaveniami a tajuplnými zmiznutiami. Niet divu, že u mnohých vzbudzovali strach a boli považované za zlú predzvesť. Postupom času sa ich poznanie začalo usmerňovať vedeckými podkladmi a dnes už je známych a skatalogizovaných viac ako 4000 komét. Analýza týchto objektov slnečnej sústavy nám pomáha pochopiť nielen kométy samotné, ale prezrádza aj časť histórie celého planetárneho systému.

Hlavným cieľom práce je priblíženie komét, ktoré pri svojich preletoch v blízkosti Zeme vykazovali výnimočné vlastnosti. Pre našu škodu, aj pri pokročilých metódach, ktorými v súčasnosti ľudstvo disponuje, je niektoré ich anomálne správanie ukryté pod rúškom tajomstva. V nasledovných kapitolách vás stručne oboznámim s vybranými kométami, problematikou spracovania ich snímok a pomocou naprogramovaných filtračných metód sa pokúsím zvýrazniť slabé, poprípade odhaliť skryté prejavy vnútornej činnosti kometárneho jadra.

# Kapitola 1

## Kométy

### 1.1 Vývoj kometárnych štúdií

V minulosti boli kométy považované za útok nebeských bytostí proti pozemšťanom. Boli im pridelené nadprirodzené vlastnosti, aj napriek tomu, že už v staroveku sa uskutočnili prvé pokusy o fyzikálne vysvetlenie kometárnej podstaty.

#### 1.1.1 Prvotné myšlienky staroveku

Prvý, všeobecne uznávaný názor na pôvod komét, ktorý ovládol myslenie takmer po 2 tisíce rokov, predložil Aristoteles (384 – 322 pr.n.l.) vo svojej prvej knihe *Meteorologica*. Odmietal názory skorších filozofov, ktorí radili kométy k javom podobným planétam. Jeho postoj pramenil zo skutočnosti, že zatiaľ čo planéty majú obmedzený pohyb okolo zvieratníka, kométy sa môžu vyskytovať v ktorejkoľvek časti nebeskej oblohy. Aristoteles delil svet na dve časti. Sublunárnu časť, ktorú tvorí svet pred hranicou sféry tvorenej Mesiacom, a supralunárnu časť, tvorenú Mesiacom a objektmi za ním. Supralunárny svet bol nemenný a obsahoval všetky nebeské telesá. Napriek tomu, že Aristoteles bol vo svojej dobe geniálny mysliteľ, na základe premenlivosti zaradil kométy chybné do sveta sublunárneho. Opísal ich ako javy vrchnej časti atmosféry, kde sa suché a horúce exhaláty spájajú a vybuchujú. Tento mechanizmus považoval za príčinu nielen u komét, ale aj u polárnej žiary, meteorov či Mliečnej cesty.

Prvé spochybnenie spomínanej teórie vyslovil rímsky filozof, politik a spisovateľ Lucius Annaeus Seneca (4 pr.n.l. – 65 n.l.). Ako uviedol vo svojom diele *Naturales questiones*, Seneca pozoroval pravidelný, vetrom nerušený pohyb komét po oblohe. Takéto správanie je typickejšie pre nebeské telesá ako pre javy vznikajúce v atmosfére. Keďže terajšie ľudské poznatky a vedomosti o nebeských otázkach boli veľmi obmedzené, nevidel dôvod, prečo by sa objekty podobné planétam nemohli vyskytovať v ktorejkoľvek časti oblohy. Napriek týmto moderným myšlienkam sa aj vďaka veľkej autorite ukázal Aristotelov názor vplyvnejší a postupom času bol až do 16. storočia prijatý ako paradigma.

#### 1.1.2 Štúdium kometárnej orbity

V roku 1577 bola po dobu niekoľkých mesiacov pozorovateľná jasná kométa. Astronóm dánskeho pôvodu Tycho Brahe (1546 – 1601) pozoroval túto kométu a na základe vlastných meraní jej polohy vyvrátil Aristotelovu myšlienku. Rovnako ako u planét totiž Brahe zistil, že kométa nemá žiadnu merateľnú paralaxu. V rámci presnosti týchto meraní to znamenalo, že musí byť aspoň štyrikrát ďalej od Zeme ako Mesiac, u ktorého v tej dobe už paralaxa merateľná bola. Týmto boli kométy správne zaradené ako objekty putujúce našou Slnecnou

sústavou a ďalšou skutočnosťou, o ktorej sa debatovalo takmer celé nasledovné storočie, bolo určenie dráhy a pohybu kométy.

Zodpovedať túto otázku sa pokúsil Johannes Kepler (1571 – 1630). V roku 1609 zistil, že planéty obiehajú okolo Slnka po eliptických dráhach, avšak neveril, že rovnakými zákonmi sa riadi aj pohyb ostatných nebeských objektov. Domnieval sa, že vo vesmíre sa nachádza obrovské množstvo komét pohybujúcich sa medzi planétami po priamočiarych dráhach, ktoré neustále vznikajú a zanikajú. Chybné tvrdenie pramenilo najmä z toho, že kométy boli pozorované len na krátkej časti svojej eliptickej dráhy, ktorá sa ľahko mohla javiť ako priamka. Návrh, že Keplerove zákony planetárnych pohybov by mali byť platné aj pre kométy, predložil v roku 1610 Sir William Lower (1570 – 1615). Nasledujúce desaťročia sa astronómovia rozdelili na dve skupiny. Zatiaľ čo prvá skupina, do ktorej patrili napríklad Christian Huygens (1629 – 1695) alebo Johannes Hevelius (1611 – 1687) podporovala tvrdenie lineárneho pohybu komét, druhá skupina, s členmi ako Robert Hooke (1635 – 1703) či Giovanni Borelli (1608 – 1679) sa prikláňala k teórii pohybu po eliptických, poprípade parabolických dráhach.

Záležitosť vyriešil hviezdár berlínskeho observatória Gottfried Kirch (1639 – 1710). V novembri roku 1680 objavil jasnú kométu, ktorej poloha pred príslním a po ňom bola vzhľadom na jej obežnú dráhu pozorovateľná po dobu niekoľkých mesiacov. Viacero pozorovateľov mohlo naraz sledovať ako kométa spravila otočku okolo Slnka. Sir Isaac Newton (1643 – 1727) vo svojom diele *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* z roku 1687 dokázal, že teleso, pohybujúce sa podľa jeho zákona, musí opisovať orbitu tvaru jednej z kužeľosečiek a demonštroval parabolickú dráhu práve na spomínanej kométe. V roku 1705 anglický astronóm Edmond Halley (1656 – 1742) nadviazal na Newtonovu metódu stanovenia dráhy a aplikoval ju na 24 komét pozorovaných medzi rokmi 1337 a 1698. Zaznamenal, že tri z nich, kométa z roku 1351 sledovaná Petrom Apianom (1495 – 1552), Keplerom pozorovaná kométa z roku 1607 a kométa, ktorú v roku 1682 zaznamenal sám Halley majú veľmi podobné dráhové elementy a bol presvedčený, že ide o tri výskyty tej istej kométy. Prepočítal dráhu kométy na eliptickú a predpovedal jej návrat v roku 1758. Kométa sa žiaľ neukázala. Halleyho predpoveď bola neskôr upravená tímom troch francúzskych matematikov na čele s Alexisom Clairautom (1713 – 1765), ktorí do nej započítali gravitačné perturbácie Jupitera a Saturnu a predpovedali dátum príchodu kométy v roku 1759 s presnosťou na jeden mesiac. Prognózy boli splnené a kométa sa stala známou pod názvom Halleyho kométa, dnes oficiálne označovanou ako 1P/Halley.

Mechaniku nebeských telies detailne doladili Joseph Louis Lagrange (1736 – 1813) a Pierre Simon de Laplace (1749 – 1827), ktorý do svojho diela *Mécanique céleste* zahrnul kompletný prehľad planét, mesiacov, komét a procesov s nimi spájanými. Nemecký astronóm Johann Franz Encke (1791 – 1865) vypočítal obežné dráhy skupiny kometárnych výskytov z rokov 1786, 1795, 1805 a 1818 a vyvodil, že ide o tú istú kométu. Úspešne predpovedal jej návrat v roku 1822 a stala sa druhou kométou, u ktorej bola objavená periodická obežná dráha, dnes známou pod označením 2P/Encke.

## 1.2 Štruktúra komét

Pod slovom kométa sa zvyčajne rozumie malý, gravitačne viazaný astronomický objekt podobný asteroidu, pohybujúci sa po výrazne eliptických obežných dráhach. Tradične sa kométy skladajú z jadra, ktoré je obklopené kómou a sprevádzané dvojitým chvostom.

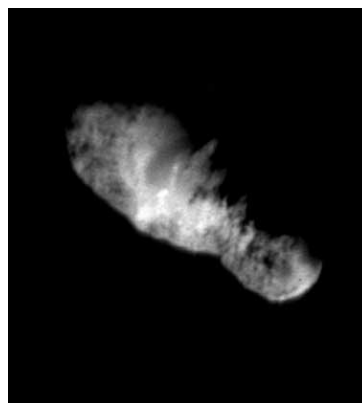
### 1.2.1 Jadro

Jadro kométy je teleso s priemerom rádovo niekoľko kilometrov. Je zložené predovšetkým zo zamrzutej vody, metánu a amoniaku s malými čiastočkami meteoritického prachu a minerálov. Prvotný koncept kometárneho jadra ako zmrznutého zlepenca alebo tiež špinavej snehovej gule predložil v roku 1950 Fred Lawrence Whipple (1906 – 2004).

Tieto objekty patria medzi najčernejšie známe nebeské objekty. Podľa kozmickej sondy Giotto odráža jadro Halleyho kométy (obr.1.1a) približne 4% dopadnutého svetla, jadro Borrellyho kométy (obr.1.1b), pozorovaného sondou Deep Space 1, dokonca len 2,5%. Tento nečakaný jav je pravdepodobne spôsobený komplexnými organickými zlúčeninami, ktoré pokrývajú väčšinu jadra.



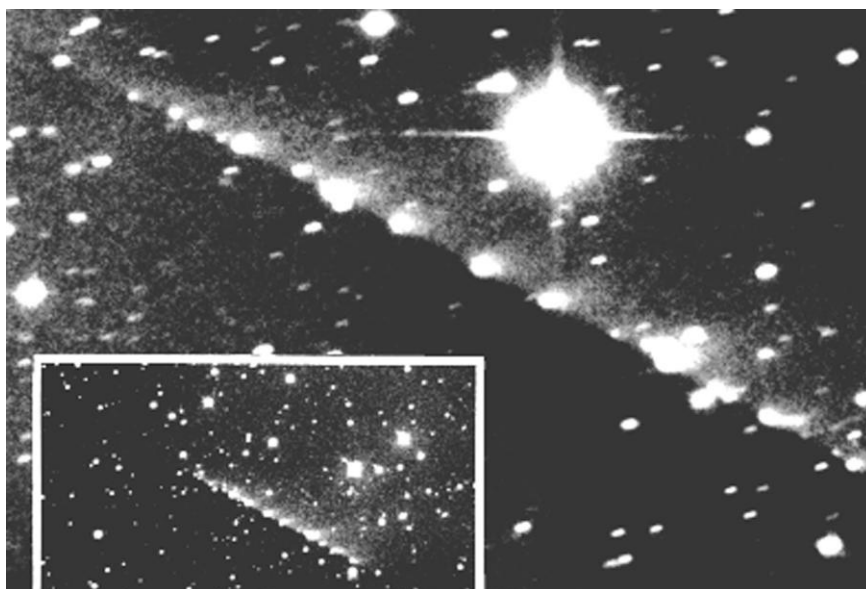
Obr.1.1a:  
Fotografia jadra kométy 1P/Halley zhotovená sondou Giotto (14.3.1986). [01]



Obr.1.1b:  
Fotografia jadra Borrellyho kométy zhotovená sondou Deep Space 1 (22.9.2001). [02]

Vo veľkých vzdialenostiach od Slnka je kométa tvorená iba jadrom. Pohybom po parabolickej dráhe bližšie k Slnku sa začína povrch jadra znateľne ohrievať, čo má za následok sublimáciu zamrznutých plynov. Vznikajú negravitačné sily, ktoré následne ovplyvňujú pohyb kométy. Jedným z faktorov, ktoré rozhodujú o tom, či bude kométa týmito silami urýchľovaná alebo naopak spomaľovaná, je smer rotácie jadra. Na strane jadra privrátenej k Slnku je zahrievanie omnoho intenzívnejšie, odplyňovanie materiálu je aktívnejšie. Smer rotácie voči orbitu kométy rozhodne, k akej zmene rýchlosti týmto unikajúcim plynom dôjde. Spomínaný efekt má za dôsledok nepresnosti v predpokladaných prechodoch niektorých krátkoperiodických komét ich perihéliom.

Stavba kometárneho jadra bola počas dlhej doby nejasná, s jej objasnením nám v júli roku 1994 pomohla kométa Shoemaker - Levy 9, formálne značená ako D/1993 F2. Slapové pôsobenie gravitačných síl Jupitera roztrhlo túto kométu na viac ako dvadsať malých fragmentov, ktoré v priebehu niekoľkých dní dopadli do Jupiterovej atmosféry (obr.1.2) Prepočty síl pôsobiacich na kométu ukázali, že celková sila na rozpad jadra je relatívne malá. Vďaka týmto výsledkom môžeme konštatovať, že kometárne jadro je pravdepodobne tvorené slabovo gravitačne viazanými ľadovými kometezimálami, teda objektmi z ľadu a prachu.



Obr.1.2: Montáž dvoch fotografií zhotovených na observatóriu La Silla, znázorňujúca fragmenty rozpadnutého jadra kométy Shoemaker - Levy 9 smerujúcich k Jupiteru (16 - 22.7.1994). [03]

## 1.2.2 Kóma

Pri priblížení kométy k Slnku na vzdialenosť približne 5 AU nastane sublimácia ľahko prchajúcich látok. Unikajúce molekuly plynu so sebou strhávajú prachové častice, keďže gravitačné pôsobenie kometárneho jadra je nedostačujúce. Pozorovania sondy Giotto ukázali, že k vyparovaniu dochádza v približne 15% povrchu kométy a prchajúca hmota uniká z krehkých miest čiernej kôry jadra. Vytvára sa kóma, ktorá má v blízkosti jadra radiačné vlastnosti. Jej modelovanie po celom povrchu jadra nie je rovnomerné, ale závisí na intenzite ožiarenia jednotlivých častí. Vzniká tak množstvo výtryskov - jetov.

Energia zo slnečného vetra a rôzne chemické procesy majú na svedomí vznik nových chemických látok. Slnečné žiarenie tiež zapríčiňuje vznik iónov a radikálov, z vody vzniká atomárny vodík a rýchlou expanziou vytvára obrovské vodíkové halo, viditeľné len v ultrafialovej časti spektra. Takýto typ kómy je známy tiež pod názvom UV kóma a jej existencia sa potvrdila v roku 1969. Bolo ju tiež možné pozorovať v roku 1997 pri kométe Hale-Bopp, kde dosiahla priemer takmer 150 miliónov kilometrov. Keďže ozónová vrstva atmosféry je pre UV žiarenie nepriepustná, môžeme ultrafialové halo pozorovať len za pomoci satelitov.

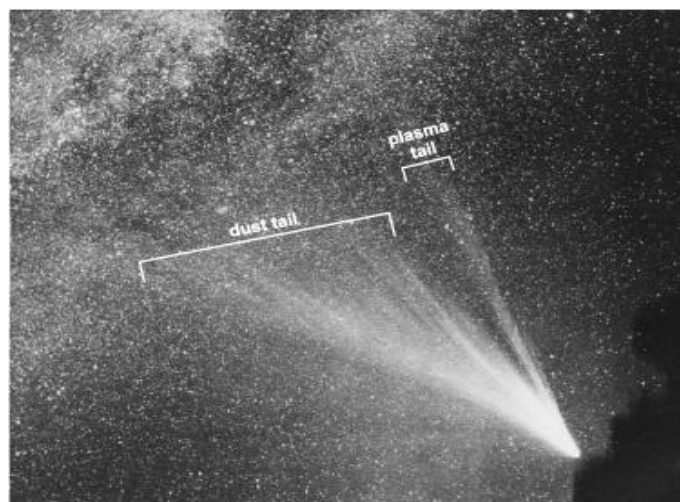
### 1.2.3 Prachový chvost

Prachový chvost, nazývaný tiež difúzny zatočený chvost, je tvorený prachovými časticami uvoľňovanými z jadra. Pohyb týchto fragmentov je zhodný s pohybom okolitého plynu a je ovplyvňovaný radiačným tlakom slnečného žiarenia. Dôsledkom toho je urýchľovanie drobných prachových častíc smerom od Slnka, ktoré sa následne pohybujú po pseudokeplerovských dráhach. Tieto dráhy sú odlišné pre častice rozdielnych rozmerov, pretože tlak slnečného žiarenia je závislý od ich veľkosti. Drobnjšie zrnká sú urýchľované v smere od Slnka rýchlejšie. Spomínaný efekt má za následok stočenie kometárneho chvostu. Vzhľadom na nepravidelnú produkciu prachových častíc z aktívnych častí jadra a občasné povrchové erózie sú štruktúry v prachovom chvoste kométy veľmi zložité. Výnimočne a len pri určitých závislostiach dráhy môžeme pozorovať protichodný chvost. Nejedná sa o chvost v pravom slova zmysle, ide o projekčný efekt. Je tvorený časticami, ktoré boli vypudené z kometárneho jadra a vytvorili štruktúru plochého prachového disku. Keď sa Zem dostane medzi Slnko a kométu, pozeráme sa na tento disk z boku. Pozorujeme teda len jeho hranu, pripomínajúcu úzky chvost smerujúci k Slnku.

### 1.2.4 Plazmový chvost

Plazmový chvost je úzky, dlhý útvar pozostávajúci z molekulárnych iónov a nazýva sa tiež plynný alebo iónový. Vzniká zrážkami častíc slnečného vetra s radikálmi a molekulami v kóme kométy. Na vzniknuté ióny začne mať vplyv slnečné magnetické pole a sú radikálne urýchľované v smere od Slnka. Vzniká kometárny plazmový chvost, ktorého modré sfarbenie spôsobujú ióny oxidu uhoľnatého.

Vysvetlenie tohto sa javu sa v roku 1951 pokúsil objasniť nemecký astronóm Ludwig Biermann (1907 – 1986), ktorý vyslovil hypotézu, že musí existovať tzv. slnečné korpuskulárne žiarenie, čiže žiarenie reprezentované prúdom veľkého množstva častíc, ktoré urýchľuje ióny v kóme kométy. Častice slnečného vetra by však museli mať extrémnu hustotu, aby boli schopné vytvárať tento efekt. Dodnes uznávanú teóriu o urýchľovaní kometárnych iónov slnečným magnetickým poľom prvýkrát predniesol švédsky plazmový fyzik a inžinier Hannes Alfvén (1908 – 1995).



Obr.1.3: Fotografia kométy West zhotovená 9.3.1976 s rozlíšiteľným prachovým a plazmovým chvostom. [04]

## Kapitola 2

# Fotometria komét

## 2.1 Detekcia elektromagnetického žiarenia

### 2.1.1 Historický vývoj

Detektory elektromagnetického žiarenia prešli v priebehu histórie dlhým vývojom. Prví astronómovia sa spoliehali na svoj zrak, čo malo však výrazné obmedzenia. Ľudské oči vnímajú elektromagnetické žiarenie v rozmedzí vlnových dĺžok len 400 - 700 nm a ich rozlišovacia schopnosť je maximálne 1'. Vizuálna detekcia je nevhodná na posúdenie intenzity žiarenia, dá sa však využiť na relatívne porovnanie intenzity s iným objektom. Vynájdením fotografickej platne v roku 1839 sa spresnili metódy stanovenia jasnosti. Na jednej snímke sa dalo zaznamenať množstvo informácií a pribúda možnosť archivácie. Nevýhodou je však časová, materiálová a technická náročnosť. Ďalší krok vpred mal na svedomí fotonásobič, v ktorom dochádza k premene dopadajúceho svetla na elektrický prúd. Táto metóda je presnejšia ako to bolo u fotografickej fotometrie, avšak nemenej komplikovaná. Začiatkom 80-tych rokov sa v astronómii začala používať CCD kamera a znamenala revolúciu v detekcii svetla.

### 2.1.2 CCD (charge - coupled device)

V roku 1969 Willard Boyle (1924 – 2011) a George E. Smith (\*1930) vyvinuli polovodičové elektronické zariadenie, ktoré premieňa energiu dopadajúceho svetla na energiu elektrického signálu. Charge - coupled device, čiže zariadenie s viazanými nábojmi, je plošný detektor svetla zložený z pixelov. V nich sa nachádzajú elektróny uvoľnené fotoelektrickým javom pri dopade fotónov a následne sú pomocou elektroniky kamery prevádzané na digitálny signál. Jednoduchšie povedané, ak dopadá na CCD svetlo, vytvára sa obraz, kde jasnejšie oblasti odpovedajú pixelom, z ktorých sa uvoľnilo viac elektrónov. Oproti predošlým metódam je CCD omnoho citlivejšie a schopné zaznamenávať väčší rozsah vlnových dĺžok.

## 2.2 Fotometrické filtračné metódy

### 2.2.1 Mediánový filter

Mediánový filter prvý krát predstavil v roku 1977 americký matematik John Wilder Tukey (1915 – 2000) a do dnešnej doby prešiel mnohými optimalizáciami a zdokonaleniami.

Medián vzorky je často používaný v štatistickej analýze fyzikálnych alebo astronomických údajov, kde je potrebné nájsť centrálnu hodnotu medzi vzorkami znečistenými prvkami, ktoré nepatria k študovanej populácii. Mediánový filter nahrádza hodnotu zvoleného prvku tzv. mediánom. Jeho výpočet a aplikáciu môžeme demonštrovať na nasledujúcom príklade.

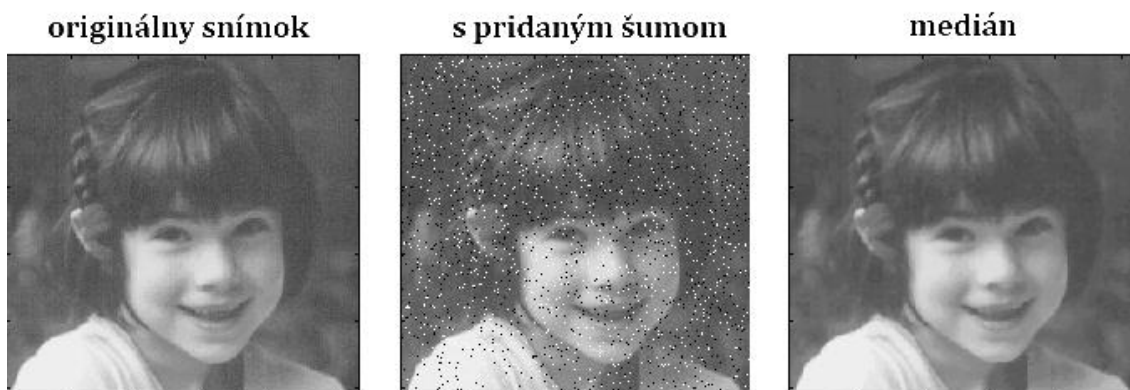
Obrázok 2.1 predstavuje dvojrozmerné pole, pričom každej jeho súradnici je priradená určitá hodnota. Pre lepšiu predstavu využitia medián v astronomickej fotometrii si obrázok môžeme predstaviť ako určitý výsek zo snímky, kde každé políčko reprezentuje jeden pixel a hodnotu jeho intenzity v patričných jednotkách.

81	87	91	85	85
84	92	95	93	106
89	103	148	102	101
101	96	104	99	89
92	86	87	86	81

Obr.2.1

Uvažujme mediánové pole<sup>1</sup> 3 x 3 v okolí stredového pixelu. Hodnoty vzostupne zoradených intenzít v oblasti tohto poľa (stredový pixel a jeho susedných pixelov) sú teda 92, 93, 95, 96, 99, 102, 103, 104 a 148. Hodnota mediánu z tejto postupnosti je 99, ktorá nahradí stredový pixel s intenzitou 148. Takto sa nám podarilo atypickú hodnotu prvku (napr. šum) vyhladiť. Čím je počet susedných prvkov väčší, tým agresívnejšie bude vyhladzovanie.

Na obrázku 2.2 je mediánový filter aplikovaný na každý jeden pixel fotografie.



Obr.2.2: Porovnanie originálnej fotografie dievčaťa, fotografie s umelo pridaným šumom a výsledný zmediánovaný snímok. [05]

Z obrázkov je vidno, že drobné biele a čierne artefakty spôsobené šumom boli po použití mediánového filtra odstránené.



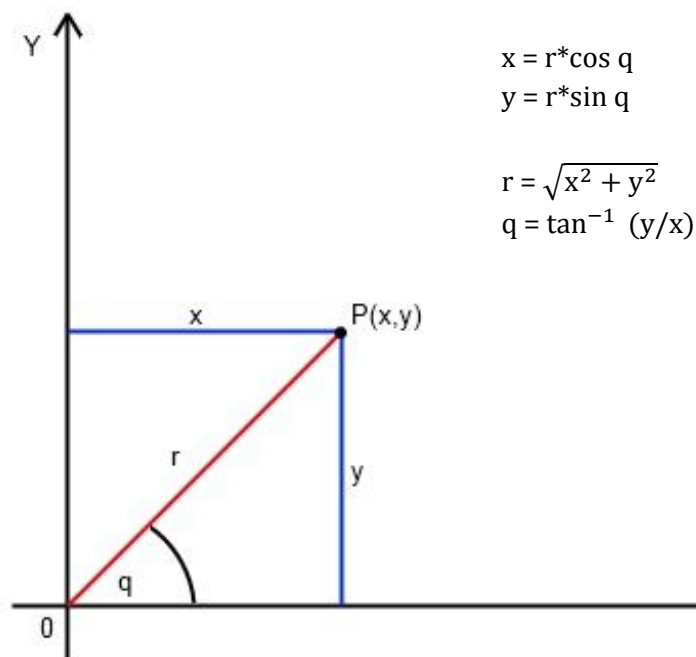
## 2.2.2 Larson - Sekanina filter

Rotačné gradientné filtre sa využívajú na zlepšenie, respektíve zviditeľnenie nízkokontrastových štruktúr, ktoré sú radiálne zoskupené okolo určitého miesta na snímke. Obzvlášť vhodné sú na zvýraznenie detailov ako sú jety (výtrysky) komét alebo ich plynných chvostov.

Existujú dva typy: filter jednoduchého odčítania, ktorý zoberie rozdiel medzi dvomi opačne otočenými kópiami snímky, a Larson-Sekanina filter, ktorý ich sčíta a odčíta výsledok od dvojnásobku pôvodného obrazu. V oboch prípadoch sa pričíta konštanta tak, aby mal najmenší pixel nulovú hodnotu.

Použitie Larson-Sekanina filtru bolo prvý krát publikované v článku *Astronomical journal* (Sekanina Z., Larson S.M. 1984), kde ho obaja vedci aplikovali na snímku Halleyovej kométy zhotovenú G.W.Ritchleyom v roku 1910.

V karteziánskom súradnicovom systéme je digitalizovaný obrázok reprezentovaný dvojdimenzionálnou funkciou  $I(x,y)$ . Každý súradnici  $x,y$ , reprezentujúcej jeden pixel, je priradená hodnota intenzity  $I$ , čo je hodnota premeny z analógového na digitálny obraz (ADU). Ak použijeme polárny súradnicový systém, môžeme funkciu obrázka zapísať ako  $B(r,q)$ , kde  $r$  je vzdialenosť bodu od počiatku a  $q$  je uhol spojnice bodu a začiatku.

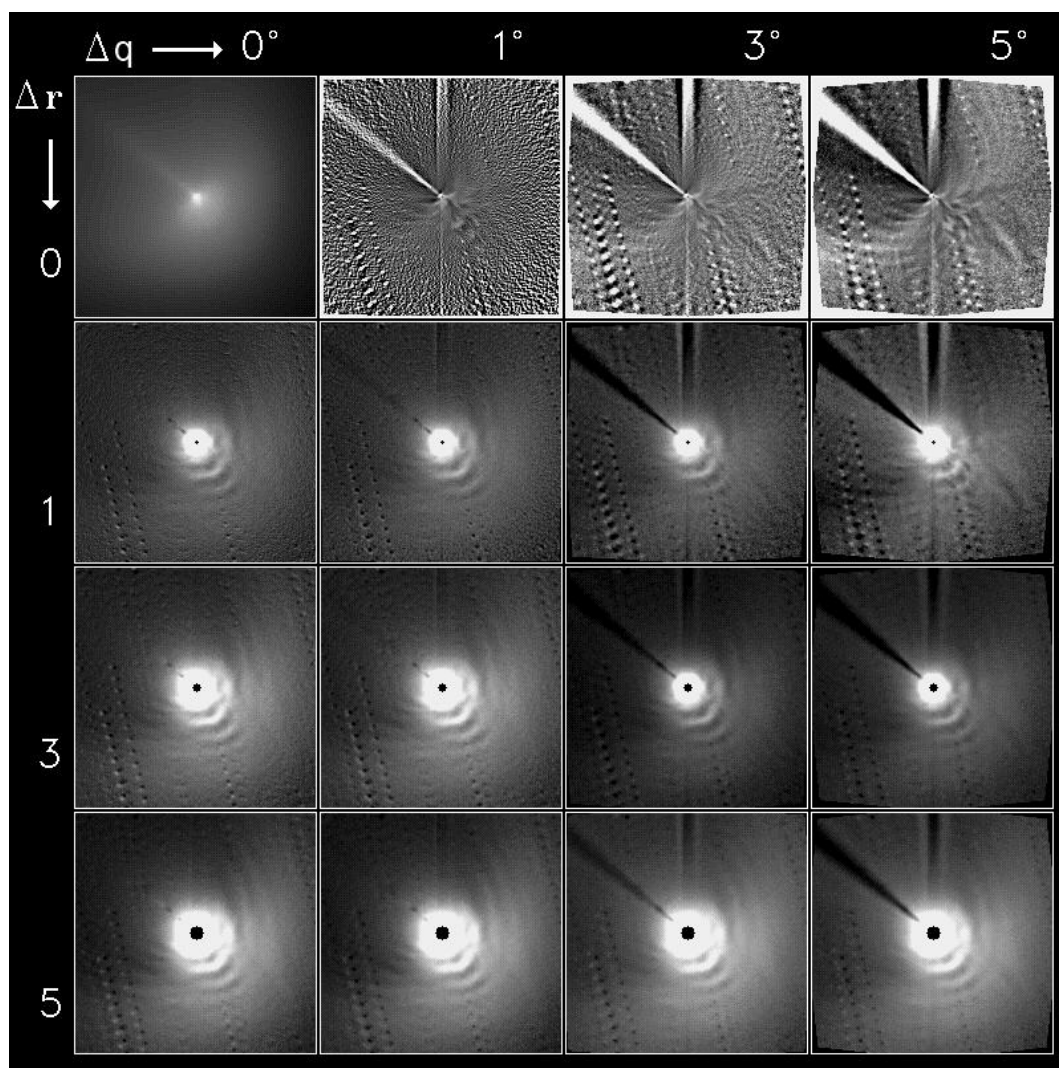


Obr.2.3: Znáozornenie prevodu medzi karteziánskym a polárnym súradnicovým systémom.

Polárny súradnicový systém je vzhľadom k symetrii kometárnej kómy vhodnejší. Za jeho počiatok si zvolíme najjasnejší pixel v strede kómy, ktorý môžeme považovať za tzv. falošné jadro. Larson-Sekanina algoritmus vyzerá v tomto prípade nasledovne:

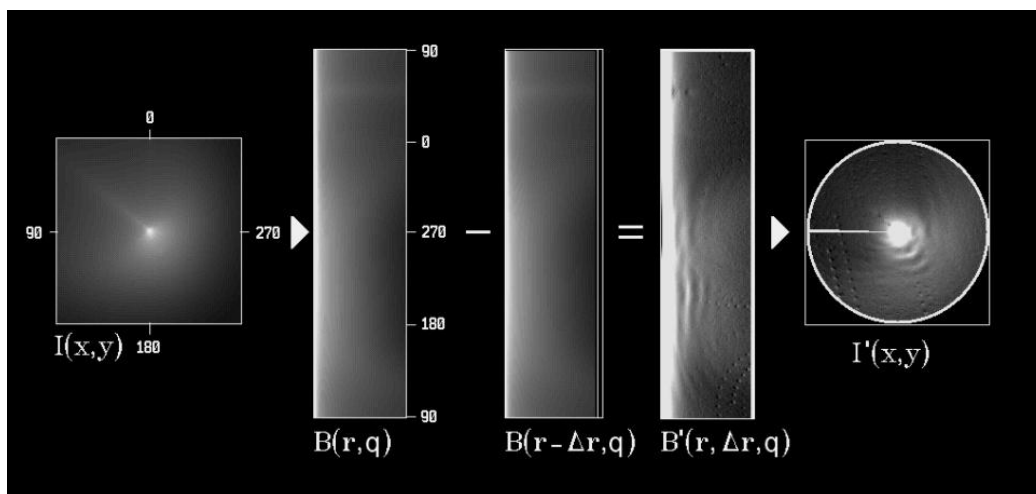
$$B'(r, q, \Delta r, \Delta q) = 2B(r, q) - B(r - \Delta r, q + \Delta q) - B(r - \Delta r, q - \Delta q). \quad (2.a)$$

Výsledný obrázok stratí všetky fotometrické informácie, ktoré mal originál, ale odhalí skryté zmeny jasnosti v kóme. Hodnoty zmien  $\Delta r$  a  $\Delta q$  závisia od celkovej škály obrázku. Obrázok 2.2 demonštruje variácie jednotlivých zmien.



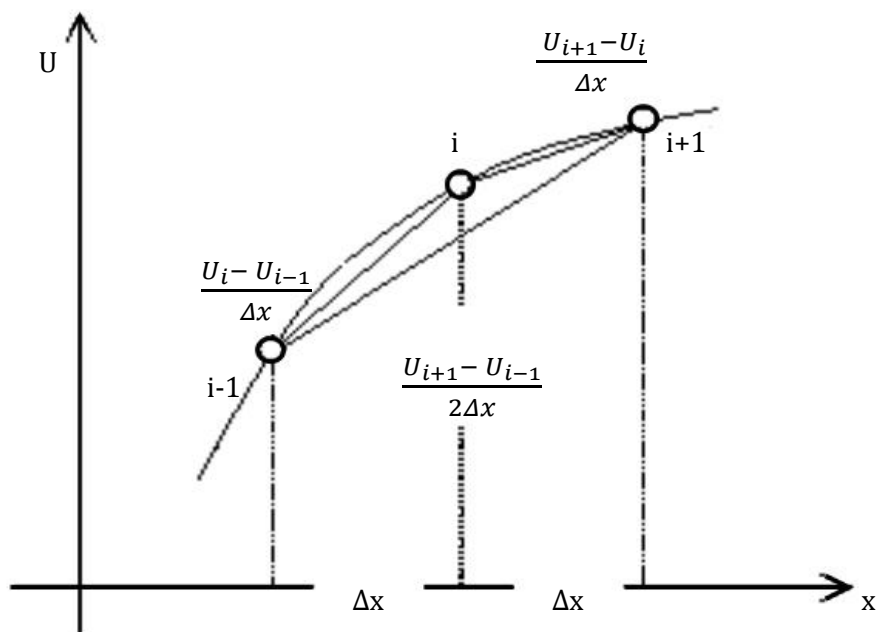
Obr.2.4: Efekt Larson-Sekanina algoritmu na komete Hyakutate (28.3.1996). [06]

Zmenou  $\Delta q$  sa zlepšuje kontrast detailov rozložených v uhlovom gradiente v okolí počiatku súradnicového systému, zviditeľnia sa prachové a plazmové jety. Pri modifikácii  $\Delta r$  sa nám ukážu detaily s radiálnym gradientom jasnosti. Tento proces dokáže odhaliť napríklad kometárne halo či rôzne prachové špirálne štruktúry.



Obr.2.5: Jednotlivé kroky aplikácie Larson-Sekanina filtru pri zmene  $\Delta r$  (28.3.1996). [07]

Z matematického hľadiska je Larson-Sekanina filter fotometrickou aplikáciou numerických derivácií. Vychádza sa z Taylorovho rozvoja v okolí bodu  $x$ , resp.  $i$  na intervale  $\Delta x$  (obr.2.6):



Obr.2.6: Aproximácia funkcie pomocou diferencií

Rovnice pre Taylorov rozvoj vyzerajú nasledovne

$$U_{i+1} = U_i + \left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_i \Delta x + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)_i \frac{\Delta x^2}{2!} + \left(\frac{\partial^3 U}{\partial x^3}\right)_i \frac{\Delta x^3}{3!} + \left(\frac{\partial^4 U}{\partial x^4}\right)_i \frac{\Delta x^4}{4!} + \dots \quad (2. b)$$

$$U_{i-1} = U_i - \left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_i \Delta x + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial x^2}\right)_i \frac{\Delta x^2}{2!} - \left(\frac{\partial^3 U}{\partial x^3}\right)_i \frac{\Delta x^3}{3!} + \left(\frac{\partial^4 U}{\partial x^4}\right)_i \frac{\Delta x^4}{4!} - \dots \quad (2. c)$$

Čím dlhší je rozvoj, tým je výsledok presnejší.

Derivácia prvého rádu z rovníc (2.b) a (2.c) je teda pre krok dopredu

$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_i = \frac{U_{i+1} - U_i}{\Delta x} \quad (2. d)$$

a pre krok dozadu

$$\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)_i = \frac{U_i - U_{i-1}}{\Delta x}. \quad (2. e)$$

Uvažujme Larson-Sekanina algoritmus pri nulovej zmene  $\Delta r$  ( $r$  - konšt.). Všeobecné označenie rovníc (2.d) a (2.e) substituujeme analogickými veličinami intenzity a polárnych súradníc.

Pre kladnú zmenu  $\Delta q$  dostaneme

$$\left(\frac{\partial B}{\partial q}\right)_i = \frac{B_{i+1} - B_i}{\Delta q} \quad (2. f)$$

pre zápornú zmenu

$$\left(\frac{\partial B}{\partial q}\right)_i = \frac{B_i - B_{i-1}}{\Delta q}. \quad (2. g)$$

Kombináciou rovníc (2.f) a (2.g) so zjednodušenou rovnicou (2.a)(pre  $\Delta r = 0$ ) získame vzťah

$$B'(r, q, \Delta q) = 2B(r, q) - \frac{B_{i+1} - B_i}{\Delta q} - \frac{B_i - B_{i-1}}{\Delta q} \quad (2. h)$$

ktorý môžeme previesť do nasledovnej podoby Larson-Sekanina algoritmu

$$B'(r, q, \Delta q) = 2B(r, q) - B(r, q + \Delta q) - B(r, q - \Delta q). \quad (2. i)$$

## Kapitola 3

# Spracovanie

### 3.1 Výber komét

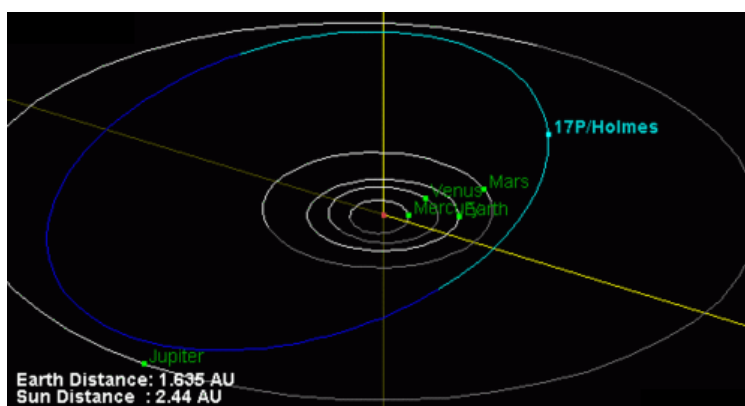
Metódy z predchádzajúcej kapitoly budem aplikovať na snímky komét 17P/Holmes, C/1995 O1 (Hale-Bopp) a C/1996 B2 (Hyakutake). Všetky tri kométy vykazovali určité atypické vlastnosti, na ktorých by sa mohla aplikácia filtrov viditeľne prejavíť.

#### 3.1.1 17P/Holmes

Periodická kométa 17P/Holmes sa svojou dráhou sa radí medzi kométy Jupiterovej rodiny. V súčasnosti je jej obežná doba 6,88 rokov.

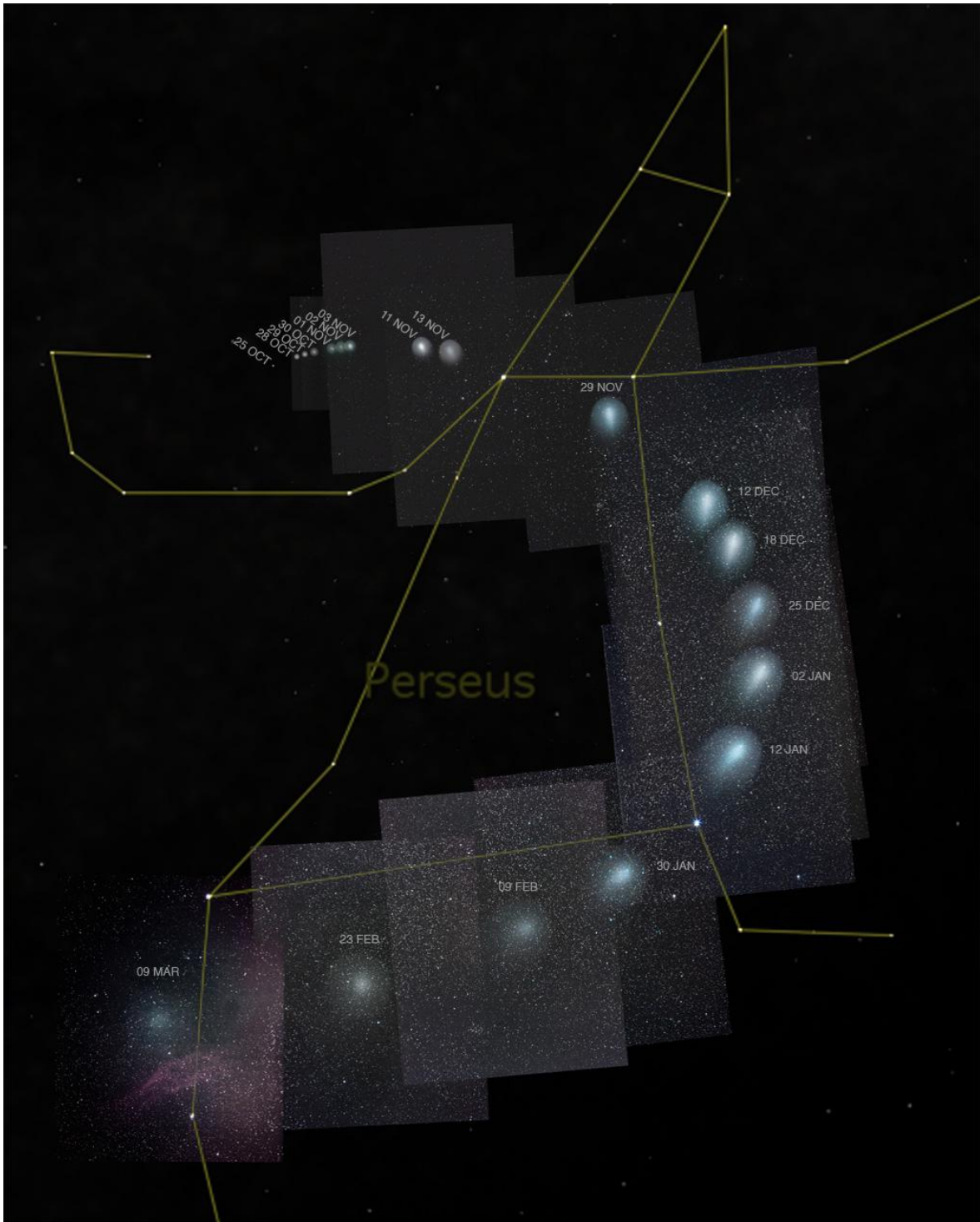
Za objavením tejto kométy stál 6. novembra 1892 amatérsky astronóm anglického pôvodu Edwin Holmes (1842 – 1919). Pri prechode perihéliom<sup>1</sup> došlo k jej výraznému zjasneniu, v čase objavu mala jasnosť 4 - 5 mag. Kométa sa po návrate v roku 1906 stratila a opäť bola objavená až v roku 1964, kedy britský astronóm Brian G. Marsden (1937–2010) spresnil jej obežnú dráhu. Posledný prechod perihéliom prebehol 4. mája 2007, nasledujúci predpokladaný prelet by mal nastať 27. marca 2014.

Viac ako 5 mesiacov po prelete perihéliom, 24. októbra 2007, opäť nečakane a výrazne zjasnela, v priebehu 42 hodín sa zvýšila jej jasnosť zo 17 mag na asi 2,5 mag. Jedná sa o rekordný záznam zvýšenia jasnosti kométy v doterajšej histórii. Kométa sa stala ľahko viditeľnou voľným okom ako jasná žltá "hviezda" v súhvezdí Perzea. Príčiny tohto zjasnenia sú zatiaľ len v štádiu teórií. Vysvetlenie výbuchu a únik enormného mraku prachu a plynu podal americký astronóm Fred Lawrence Whipple (1906 – 2004). Ako príčinu zjasnenia udal zrážku s hypotetickým satelitom. Dnes sa však vedci prikláňajú k teórii erupčívneho uvoľnenia nahromadeného plynu vo vnútri kométy.



Obr.3.1: Poloha Holmesovej kométy na svojej obežnej dráhe (25. 10. 2007). [08]

<sup>1</sup>Súčasná vzdialenosť perihélia 17P/Holmes od Slnka je 2,05 AU.



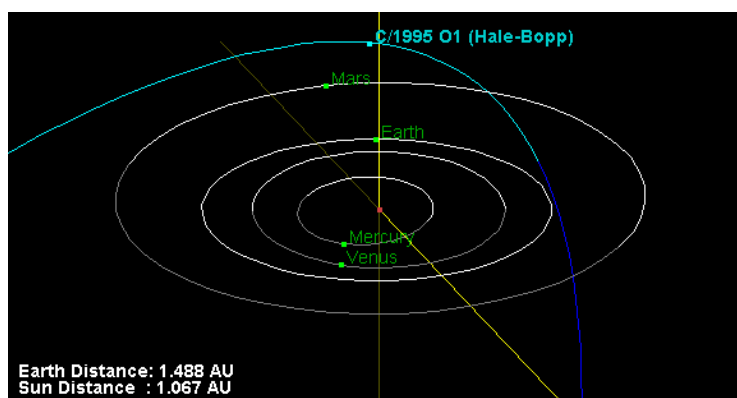
Obr.3.2: Kompozícia fotografií ukazujúca zmeny jasnosti kométy 17P/Holmes (25. 10. 2007 - 9. 3. 2008). [09]

### 3.1.2 C/1995 O1 (Hale-Bopp)

Kométy Hale-Bopp, nesúcu označenie C/1995 O1, objavili 23. júla 1995 nezávisle od seba americký astronómia Alan Hale (\*1958) a Thomas J. Bopp (\*1949) a v 20. storočí bola pravdepodobne najpozorovanejšou kométou. Voľným okom bola viditeľná až 19 mesiacov, z čoho až 8 týždňov bola jasnejšia ako 0 mag. Kométa mala nielen zakrivený prachový a o niečo dlhší plazmový chvost, ale taktiež vzácny, neviditeľný chvost z čistého sodíka. Dňa 22. marca 1997 sa kométa najviac priblížila k Zemi, len na vzdialenosť 1,315 AU. Do perihélia, vzdialeného 0,914 AU, sa dostala 1. apríla 1997. Jedná sa o dlhoperiodickú kométu s periódou 3800 rokov.



Obr.3.3: Fotografia kométy C/1995 O1 (Hale-Bopp) zhotovená Geraldom Rhemannom (27. 3.1997). [010]



Obr.3.4: Poloha kométy C/1995 O1 (Hale-Bopp) na svojej obežnej dráhe (1. 3. 1997). [011]

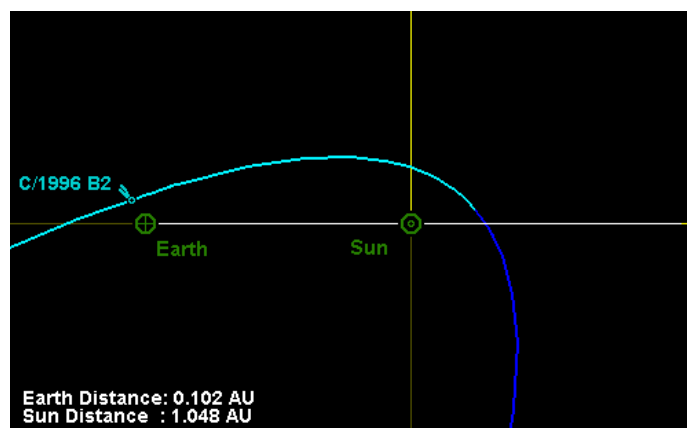


### 3.1.3 C/1996 B2 (Hyakutake)

Kométy C/1996 B2 (Hyakutake) objavil 31. januára 1996 japonský astronóm Yuji Hyakutake a v dobe objavu mala jasnosť 11 mag. Pohybuje sa proti pohybu planét a jej dráha má voči ekliptike vysoký sklon. Najbližšie k Zemi sa dostala 25. marca 1996, kedy bola vzdialená 15 miliónov kilometrov, jej jasnosť sa pohybovala okolo 0mag a dĺžka chvosta dosahovala 80°. Nasledujúci deň astronómovia v Arizone uvádzajú predĺženie chvosta až na rekordných 100°. Perihéliom prešla 1. mája 1996.



Obr.3.5: Fotografia C/1996 B2 (Hyakutake) zhotovená v Nemecku počas 20 minútovej expozičnej doby. (S. Binnewies, P. Riepe, D. Sporenberg, 28.3.1966) [012]



Obr.3.6: Poloha kométy C/1995 B2 (Hyakutake) na svojej obežnej dráhe (25. 3. 1996). [013]



## 3.2 Pôvod snímok

Snímky kométy 17P/Holmes boli zhotovené M. Kockom v dňoch od 30. októbra do 1. novembra 2007. Priestory a čas k pozorovaniu poskytla budova Hvezdárne a planetária v Brne. (Vtedy ešte Hvezdáreň a planetárium Mikuláša Kopernika)

Parametre Newtonovho ďalekohľadu, ktorý sa používal pri práci:

- priemer primárneho zrkadla 40cm
- ohnisková vzdialenosť primárneho zrkadla 1,75m
- zorné pole ďalekohľadu cca 14' x 9'
- CCD kamera ST-7 Santa Barbara Instrumental Group
- maximálne rozlíšenie 765 x 510 pixelov (1,082"/pixel)

Snímky komét C/1995 O1 (Hale-Bopp) a C/1996 B2 (Hyakutake) som získal z databázy Hubble Space Telescope. Boli zhotovené širokouhlou kamerou WFPC2 (Wide Field Planetary Camera 2), ktorá v roku 1993 nahradila starší model. Dnes je na jej mieste umiestnená Wide Field Camera 3.

Parametre pozorovacieho inštrumentu:

- priemer primárneho zrkadla 2,4m
- ohnisková vzdialenosť primárneho zrkadla 57,6m
- 4 x CCD kamera
- maximálne rozlíšenie 800 x 800 pixelov (0,05"/pixel)

WFPC2 sa skladá zo štyroch identických CCD detektorov, každý s rozlíšením 800 x 800 pixelov. Tri z nich sú spojené do tzv. L – formácie a tvoria širokoplošnú kameru (WFC). Do spoločného stredu je zapojený štvrtý detektor, zastávajúci funkciu planetárnej kamery (PC). Oproti predošlým trom má menšie zorné pole a poskytuje viac detailnejší pohľad do menšieho regiónu. Ako dôsledok týchto vlastností majú snímky zhotovené pomocou WFPC2 typickú, "schodovitú" štruktúru (obr.3.7).



Obr.3.7: Snímka špirálovitej galaxie M100 zhotovená s HST-WFPC2 (26.10.1994). [O14]

## Kapitola 4

# Aplikácia filtrov

### 4.1 Programovanie

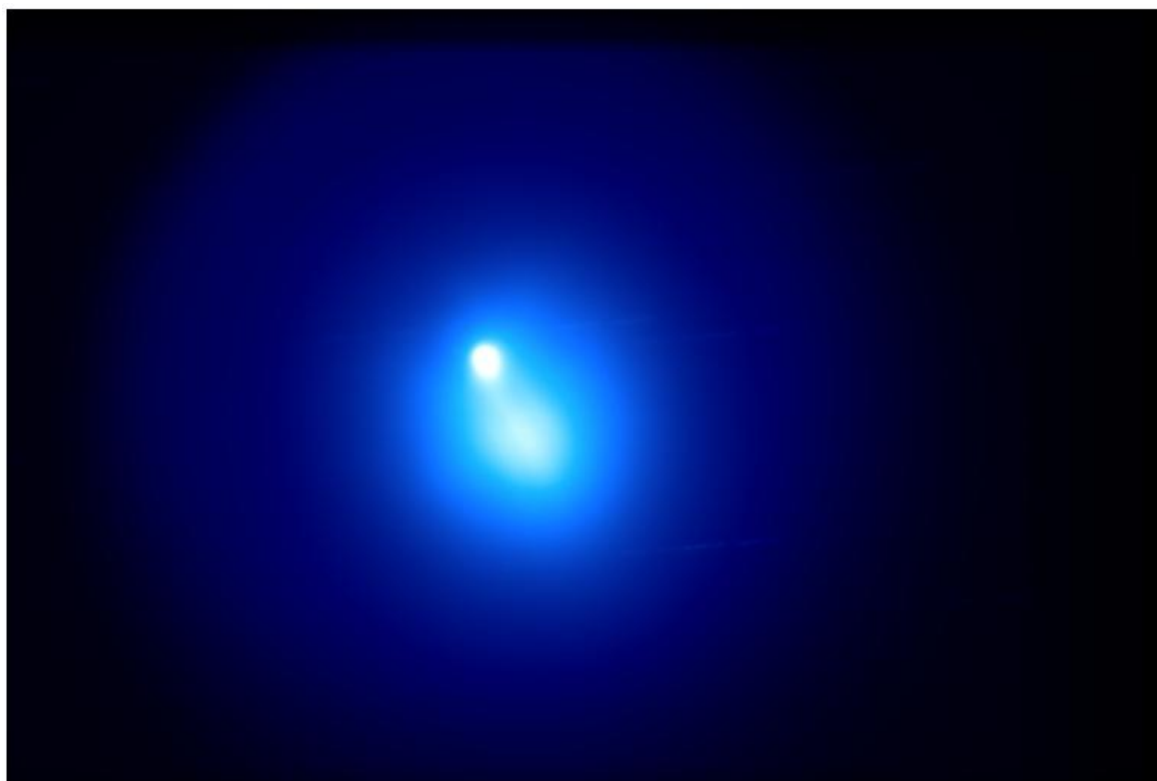
Jednotlivé filtre som naprogramoval v programovacom jazyku Python s použitím fyzikálnych a matematických knižníc PyFITS v3.0.7, SciPy, NumPy, Math a sys.

Pri aplikovaní mediánu som musel vhodne zvoliť veľkosť mediánového poľa. Príliš malé pole (5 x 5 pixelov a menej) nemalo na pôvodné snímky výraznejší vplyv, naopak, pole s veľkými rozmermi (50 x 50 pixelov a viac) malo už deformačné účinky. Najoptimálnejšie výsledky som dostal použitím mediánovho poľa 20 x 20 pixelov.

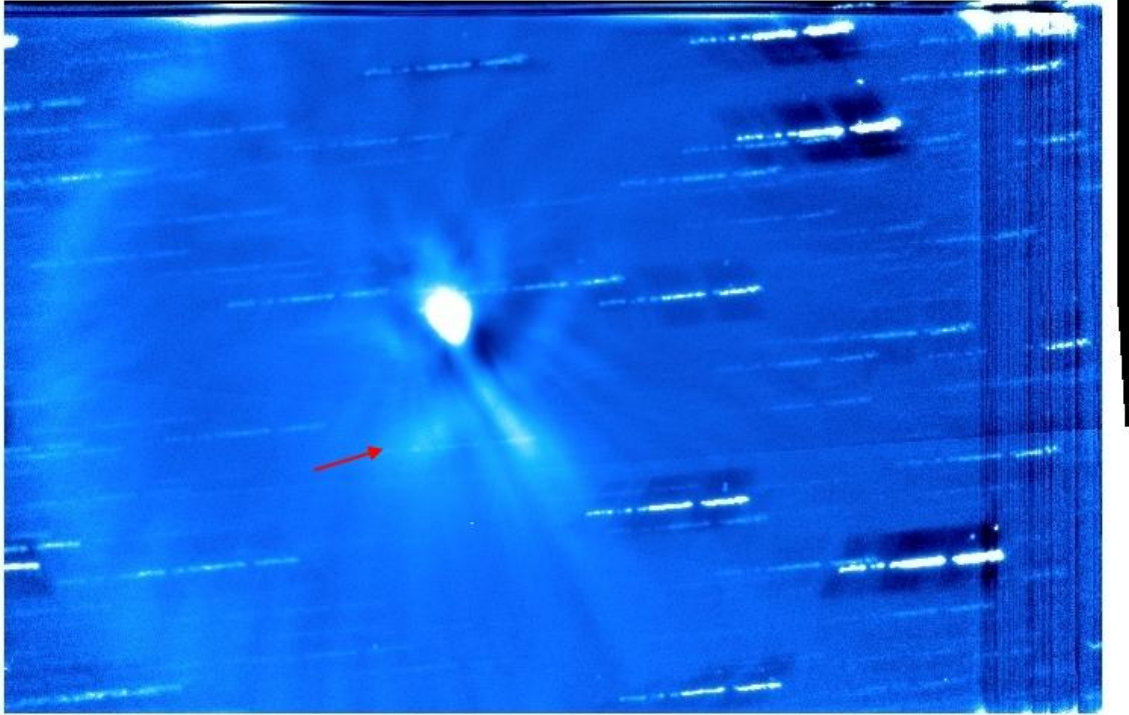
Najväčším problémom pri písaní Larson-Sekanina algoritmu bol prevod z kartézskych súradníc na polárne a naspäť na kartézske. Pri zmene súradnicového systému totiž dochádza k stratám informácií a výsledný obraz bol nekvalitný. Tento nedostatok som odstránil pridaním škálovacích funkcií.

Kompletné zdrojové kódy sa nachádzajú v prílohách. [A1-A2]

#### 4.1.1 17P/Holmes

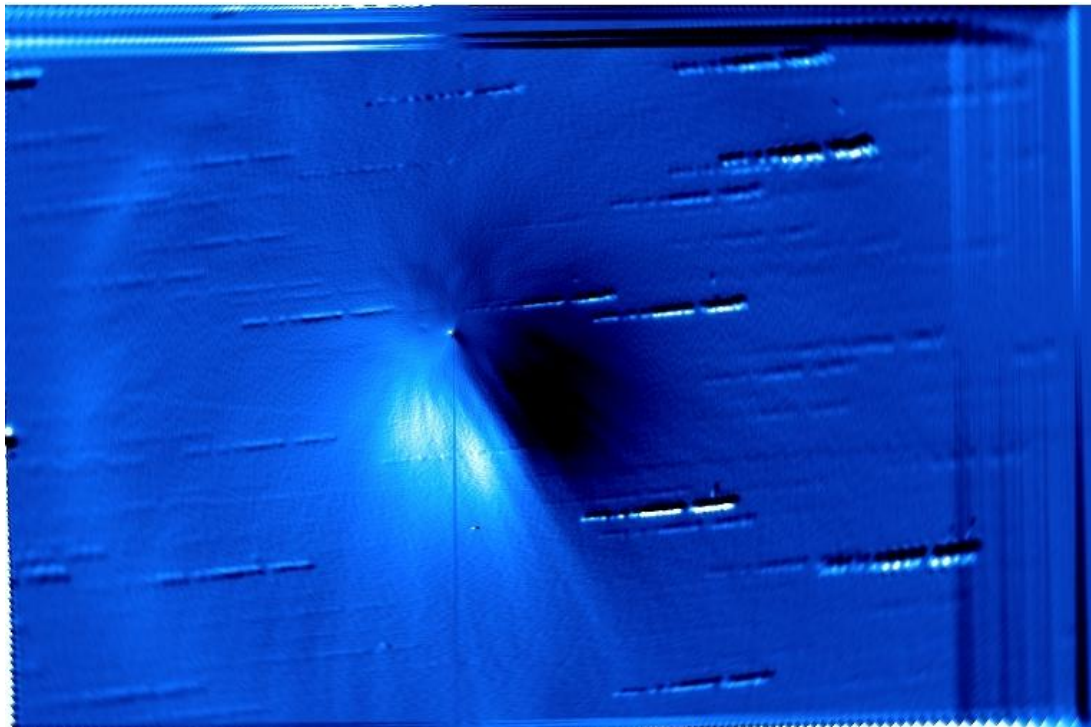


Obr.4.1:  
Pôvodný snímok 17P/Holmes (31.10.2007).  
Jedná sa o zloženie 141 snímok vo filtri R Johnson-Morganovho fotometrického UBV systému počas expozičnej doby 30s.



Obr.4.2:

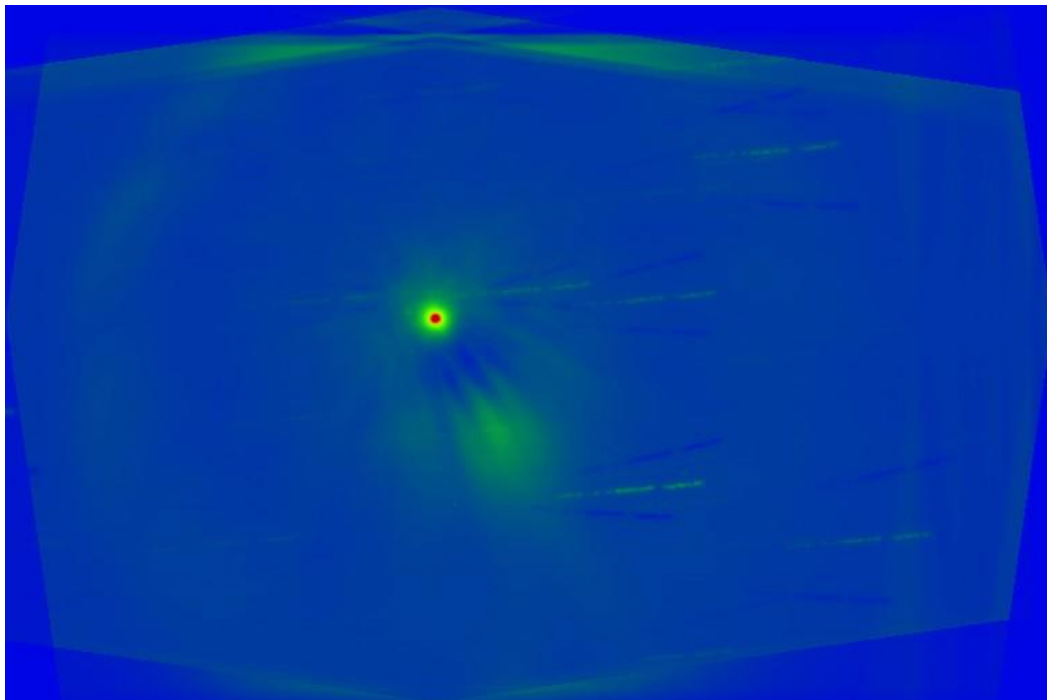
Snímok 17P/Holmes po aplikácii mediánového filtra. Jadro kométy je vidieť zreteľnejšie a odhalilo sa mnoho skrytých jetov. Červenou šípkou je znázornená rázová vlna spôsobená pravdepodobne erupciou pod povrchom jadra. V pravej časti obrázku vidno posun pri skladaní snímkou. Tento posun je spôsobený centrovaním obrázku na stred kométy.



Obr.4.3:

Snímka 17P/Holmes po aplikácii Larson-Sekanina filtra. ( $\Delta r = 0\text{pix}$ ,  $\Delta q = 2\text{pix}$ ).

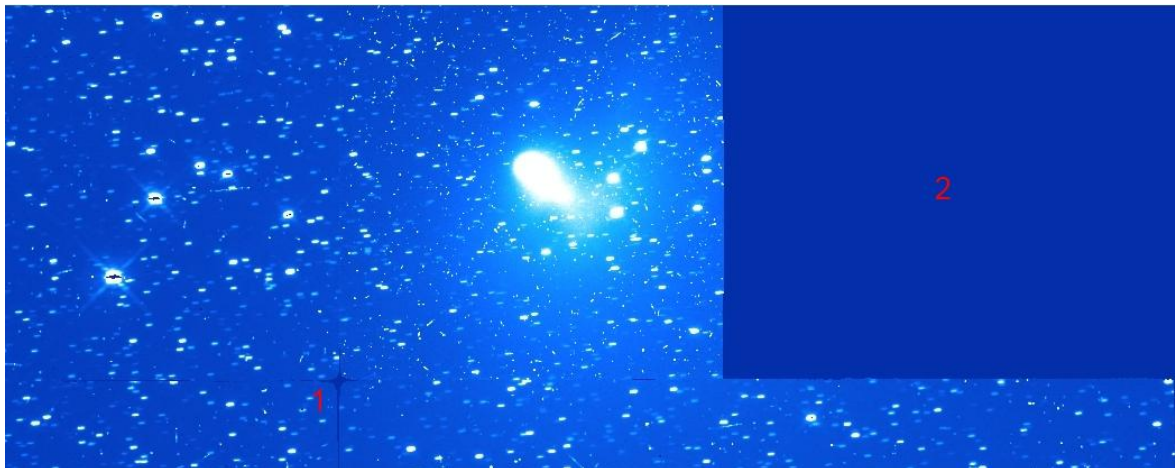
Oproti mediánovému filtru sa zvýraznili viac jety, rázová vlna je rozpoznateľná horšie. Jednotlivé artefakty sú spôsobené odčítavaním oproti sebe otočených obrázkov.



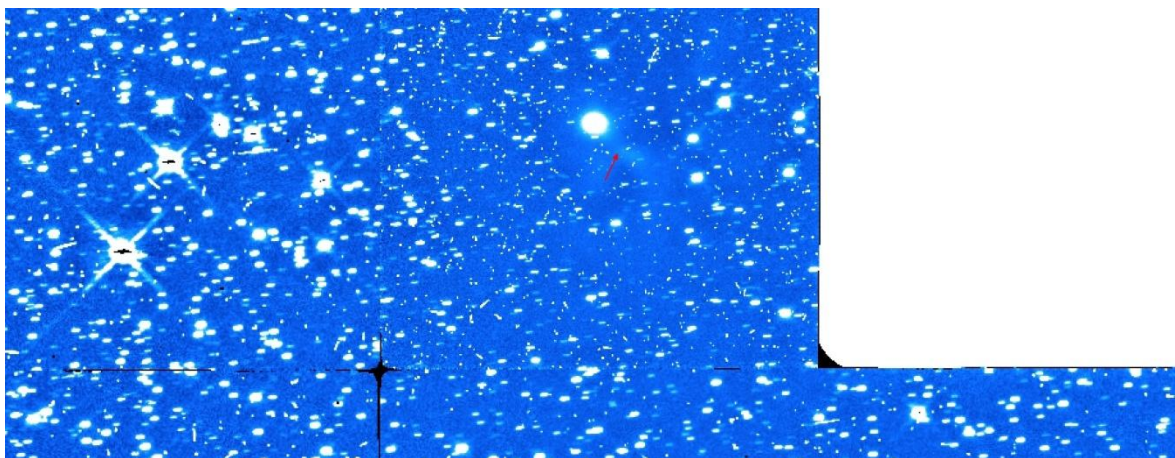
Obr.4.4:  
Snímka 17P/Holmes po aplikácii Larson-Sekanina filtru a grafickej úprave v programe *Fitswork*.  
( $\Delta r = 2\text{pix}$ ,  $\Delta q = 6^\circ$ ).



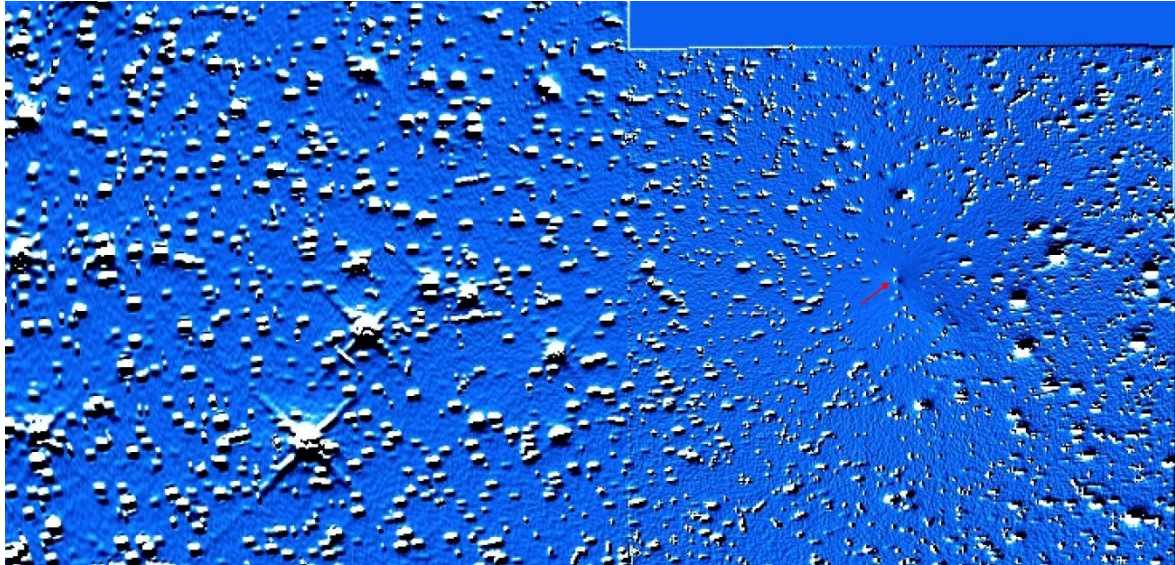
## 4.1.2 C/1995 O1 (Hale-Bopp)



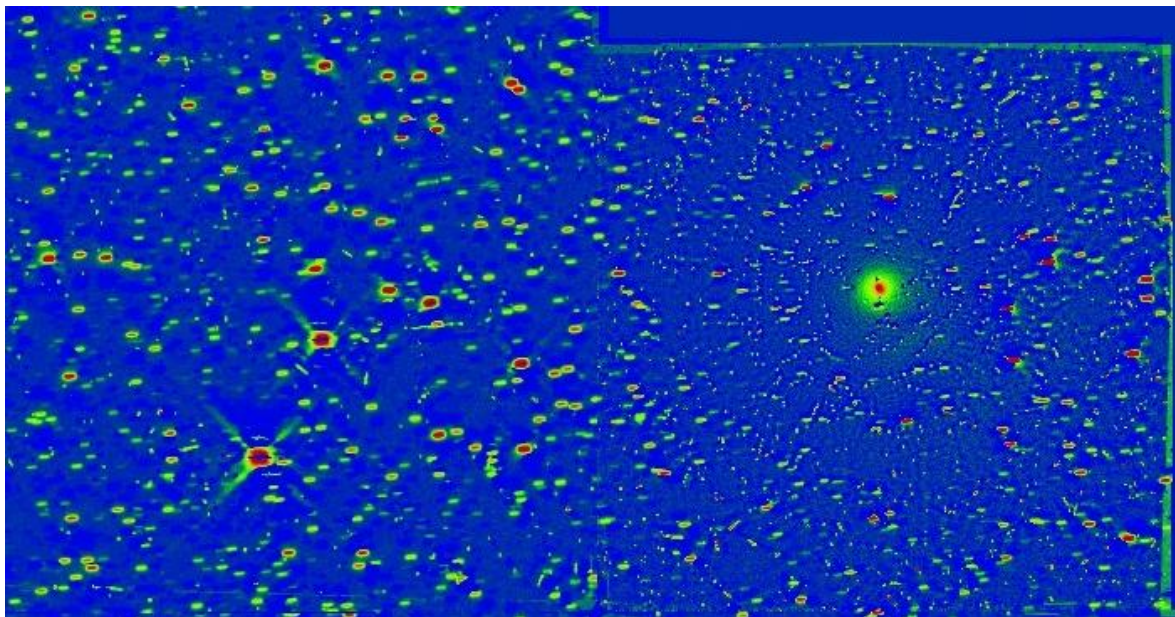
Obr.4.5:  
Pôvodná fotografia kométy C/1995 O1 (Hale-Bopp) získaná z databáze HST s expozičnou dobou 300s. Ide o približenie snímky zhotovenej pomocou WFPC2, artefakt (1) je spoločný stred štyroch CCD detektorov, plocha (2) je oblasť nepokrytá planetárnou kamerou. (orig. názov snímky je u2xc5102t\_drz.FITS)



Obr.4.6:  
Snímka C/1995 O1 (Hale-Bopp) po aplikácii mediánového filtra. Neboli odhalené žiadne skryté štruktúry, červenou šípkou je znázornený chvost kométy.



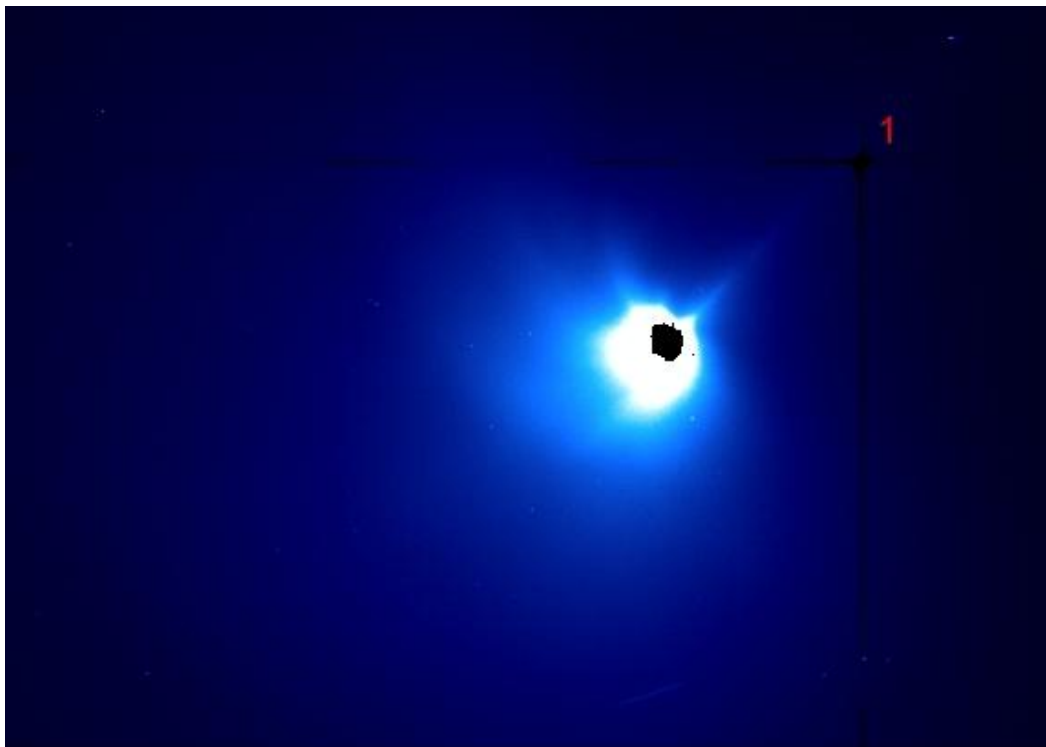
Obr.4.7:  
 Snímka C/1995 O1 (Hale-Bopp) po aplikácii Larson-Sekanina filtra. ( $\Delta r = 0\text{pix}$ ,  $\Delta q = 2\text{pix}$ ). Šípkou je znázornený stred kométy, bohužiaľ sa nám touto metódou nepodarilo zvýrazniť akékoľvek štruktúry.



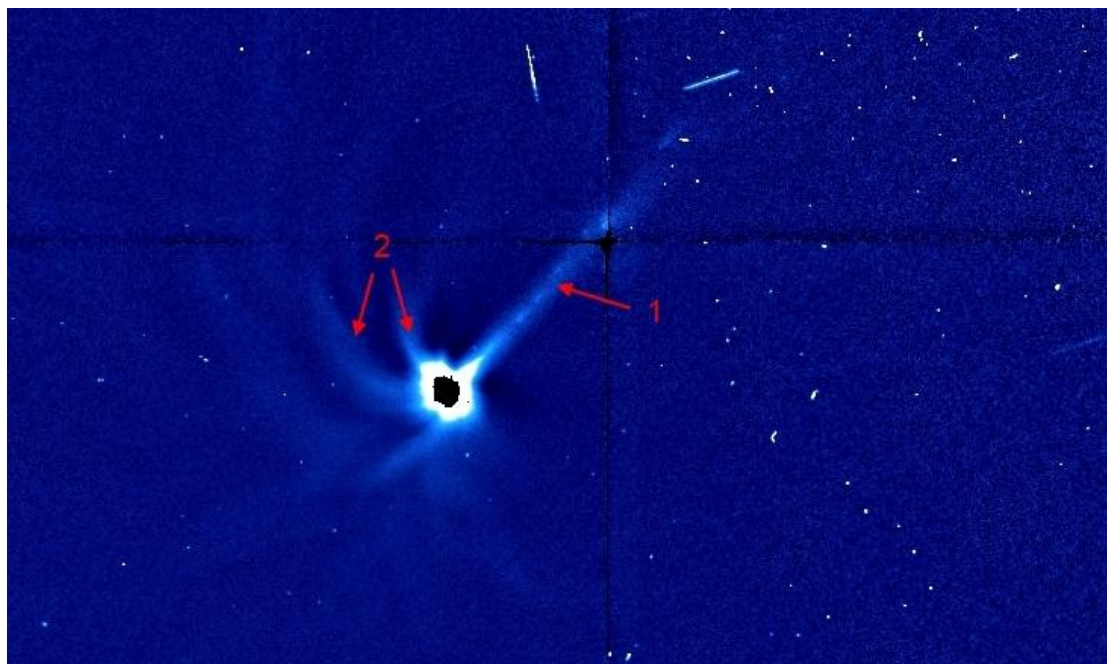
Obr.4.8:  
 Snímka C/1995 O1 (Hale-Bopp) po aplikácii Larson-Sekanina filtra a grafickej úprave v programe *Fitswork*. ( $\Delta r = 0\text{pix}$ ,  $\Delta q = 3^\circ$ ). Táto metóda taktiež neukazuje výraznejšie zmeny oproti originálu, pôvodná snímka zrejme nenesie žiadne skryté informácie.



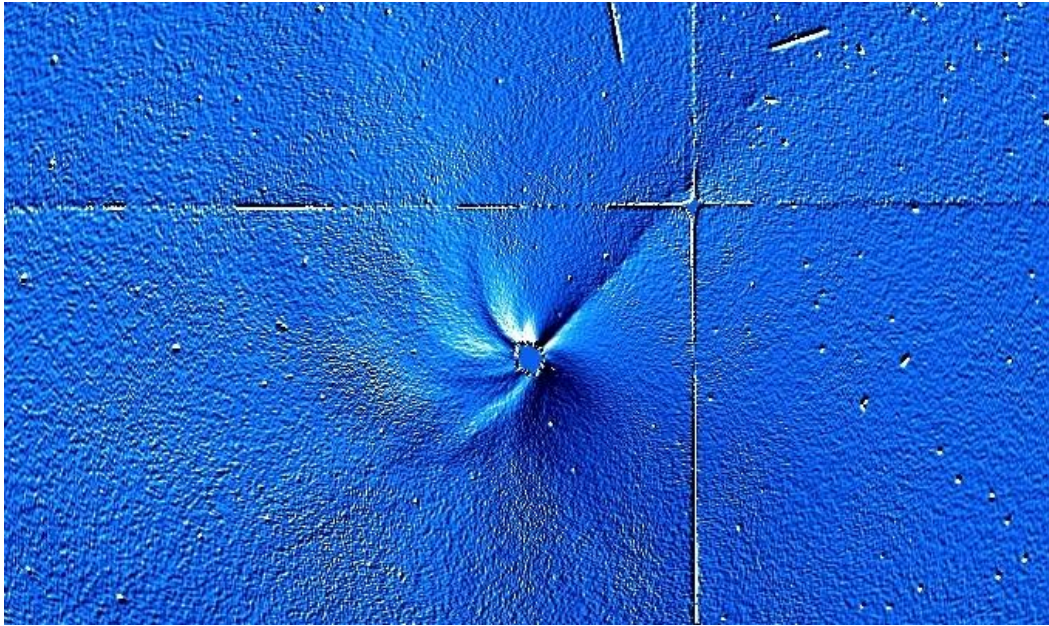
### 4.1.3 C/1996 B2 (Hyakutake)



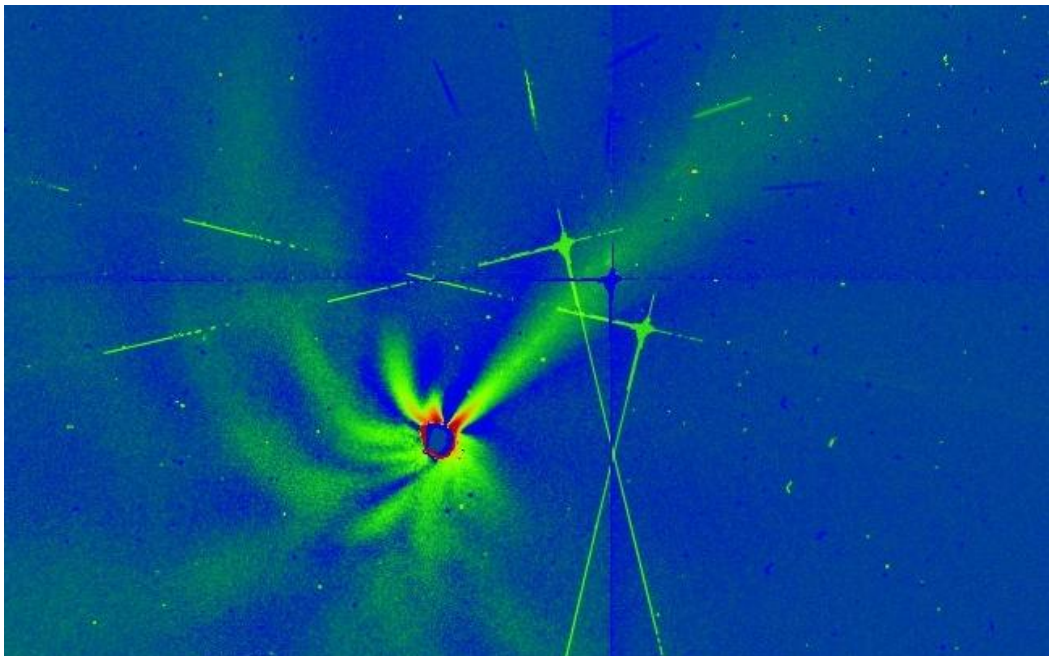
Obr.4.9:  
Pôvodná snímka kométy C/1996 B2 (Hyakutake) získaná z databáze HST s expozičnou dobou 300s.  
Artefakt (1) je spoločný stred štyroch CCD detektorov. Čierna oblasť v jadre nenesie žiadnu informáciu.  
(orig. názov snímky je u35pan0at\_drz.FITS)



Obr.4.10:  
Snímka kométy C/1996 B2 (Hyakutake) po aplikácii mediánového filtra. Šípka (1) poukazuje na zviditeľnený, rovný kometárny chvost. Z obrázku je vidieť, že kométa pri svojej rotácii vypúšťala do okolia materiál na viacerých miestach (2).



Obr.4.11:  
Snímka C/1996 B2 (Hyakutake) po aplikácii Larson-Sekanina filtra. ( $\Delta r = 0\text{pix}$ ,  $\Delta q = 2\text{pix}$ ). Jety aj chvost sú opäť viditeľnejšie.



Obr.4.12:  
Snímka C/1996 B2 (Hyakutake) po aplikácii Larson-Sekanina filtra a grafickej úprave v programe *Fitswork*. ( $\Delta r = 2\text{pix}$ ,  $\Delta q = 10^\circ$ ).



# Záver

Cieľom mojej bakalárskej práce bolo fotometrické štúdium komét. Možností spracovania danej témy sa naskytuje viac, spomedzi ktorých som sa rozhodol zamerať na zvýrazňovanie slabých, poprípade odkrývanie skrytých kometárnych štruktúr aplikovaním naprogramovaných fotometrických filtrov.

V práci boli ošetrované snímky komét 17P/Holmes, C/1995 O1 (Hale-Bopp) a C/1996 B2 (Hyakutake). Ide o kométy, ktoré boli v dobách ich najväčšej slávy výrazne jasné, poprípade vykazovali anomálne správanie. Naprogramovaním a následnou aplikáciou mediánového filtra a Larson-Sekanina filtra som sa pokúsil z originálnych snímok komét odstrániť rušivý šum či falošné intenzity spôsobené rotáciou komét v medziplanetárnom priestore. Pri ich správnej účinnosti by sa mali zviditeľniť prachové a plazmové jety, kometárne halo či rôzne difúzne špirálne štruktúry komét.

Kométa 17P/Holmes nám po ošetrovaní mediánovým filtrom ukázala nielen prachové jety, ale aj rázovú vlnu, pravdepodobne spôsobenú erupciou vo vnútri kometárneho jadra. Účinok Larson-Sekanina filtra je zreteľnejší čo sa týka kometárnych výtryskov, rázová vlna je viditeľná o niečo slabšie.

C/1995 O1 (Hale-Bopp) sa na originálnych snímkach javila ako veľmi jasná kométa, avšak mediánový filter nám vykreslil len chvost kométy ukrytý vo výraznom hale a Larson-Sekanina filter nemal na kométu žiadny výrazný vplyv. Pôvodná snímka zrejme neniesla žiadne skryté informácie.

Najviditeľnejšie zvýraznenie jetov sa prejavilo na kométe C/1996 B2 (Hyakutake). Ako medián, tak aj Larson-Sekanina filter krásne zviditeľnili priamy kometárny chvost a mnohopočetné jety, špirálovito zahnuté vďaka rotácii kométy. Po zistení ich polohy som z pôvodnej snímky určil, že hustota látky v jetoch je približne dvakrát väčšia ako hustota látky v okolitej kóme.

Jednotlivé snímky komét som upravil v programe Fitswork, ktorý je určený na prácu s astronomickými snímkami formátu FITS a používa profesionálne metódy astronomickej fotometrie. Je vidieť, že takto ošetrované dáta podávajú v porovnaní s obrázkami získanými aplikáciou naprogramovaných filtrov veľmi podobnú informáciu.

# Zdroje

## Elektronické zdroje a literatúra

### Kapitola 1:

ESO - European Southern Observatory

<http://www.eso.org/public/events/astro-evt/DeepImpact/Background/comets.html>

All About Comets

<http://www.physics.purdue.edu/astr263l/SStour/comets.html>

Wikipédia - otvorená online encyklopédia, Comet

<http://en.wikipedia.org/wiki/Comet>

B.Hlava. Plošná fotometria komét, bakalárska práca.

Masarykova Univerzita, Brno, 2009.

### Kapitola 2:

Ben Weiss. Fast Median and Bilateral Filtering. Shell & Slate Software Corp., 2006.

C.D.Mackay, Charge-coupled devices in astronomy, 1986.

<http://articles.adsabs.harvard.edu/full/1986ARA&A..24..255M>

Wikipédia - otvorená online encyklopédia, Charge-coupled\_device

[http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled\\_device](http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device)

Wikipédia - otvorená online encyklopédia, Median\_filter

[http://en.wikipedia.org/wiki/Median\\_filter](http://en.wikipedia.org/wiki/Median_filter)

HIPR2 - Image processing learning resources:

<http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIPR2/median.htm>

Sekanina Z., Larson S. M. The Astronomical Journal 89,571., 1984.

M.Nicolini, M.Facchini. The Larson-Sekanina algorithm.

[http://www.lacanada.es/Docs/LarsonSekanina\\_Eng.htm](http://www.lacanada.es/Docs/LarsonSekanina_Eng.htm)

MaxIm DL - astronomical imaging software

[http://www.cyanogen.com/help/maximdl/Rotational\\_Gradient.htm](http://www.cyanogen.com/help/maximdl/Rotational_Gradient.htm)

### Kapitola 3:

Gary W. Kronk's Cometography - 17P/Holmes

<http://cometography.com/pcomets/017p.html>

Wikipédia - otvorená online encyklopédia, Comet\_Holmes  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Comet\\_Holmes](http://en.wikipedia.org/wiki/Comet_Holmes)

California Institute of Technology - The Great Comet of 1997  
<http://stardust.jpl.nasa.gov/science/hb.html>  
Gary W. Kronk's Cometography - C/1995 O1 (Hale-Bopp)  
<http://cometography.com/lcomets/1995o1.html>

Wikipédia - otvorená online encyklopédia, Comet\_Hyakutake  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Comet\\_Hyakutake](http://en.wikipedia.org/wiki/Comet_Hyakutake)

Gary W. Kronk's Cometography - C/1996 B2 (Hyakutake)  
<http://cometography.com/lcomets/1996b2.html>

MonteBoo Observatory  
<http://physics.muni.cz/mb/>.

California Institute of Technology - JPL's Wide Field and Planetary Camera 2  
<http://www.jpl.nasa.gov/wfpc2/overview.cfm>

Hubble Space Telescope  
<http://www.spacetelescope.org/about/general/instruments/wfpc2/>

#### Kapitola 4:

NumPy – fundamental package for scientific computing with Python  
<http://numpy.scipy.org/>

Fitswork – image processing program for astronomic purposes  
<http://www.fitswork.de/software/>

## Obrazová literatúra

- [01] [http://apod.nasa.gov/apod/image/0008/halley\\_nuc\\_giotto\\_big.gif](http://apod.nasa.gov/apod/image/0008/halley_nuc_giotto_big.gif)
- [02] [http://www.mrinbetween.com/images/Comet\\_Borrelly\\_Nucleus.jpg](http://www.mrinbetween.com/images/Comet_Borrelly_Nucleus.jpg)
- [03] <http://www.eso.org/public/archives/images/screen/eso9410a.jpg>
- [04] <http://content.answcdn.com/main/content/img/McGrawHill/Encyclopedia/images/CE151000FG0010.gif>
- [05] [http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL\\_COPIES/OWENS/LECT5/img19.gif](http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/OWENS/LECT5/img19.gif)
- [06] [http://www.lacanada.es/Docs/LarsonSekanina\\_archivos/Image6.gif](http://www.lacanada.es/Docs/LarsonSekanina_archivos/Image6.gif)
- [07] [http://www.lacanada.es/Docs/LarsonSekanina\\_archivos/Image11.gif](http://www.lacanada.es/Docs/LarsonSekanina_archivos/Image11.gif)
- [08] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/87/Comet\\_Holmes\\_orbit\\_2007.gif/500px-Comet\\_Holmes\\_orbit\\_2007.gif](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/87/Comet_Holmes_orbit_2007.gif/500px-Comet_Holmes_orbit_2007.gif)
- [09] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/17P\\_Holmes\\_Composite19\\_Nup.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/28/17P_Holmes_Composite19_Nup.jpg)
- [010] <http://cometography.com/lcomets/1995o1970327gr.jpg>
- [011] [http://hvezdarna.plzen.eu/pozorovani/2012/astrometrie3/199501\\_orbit.png](http://hvezdarna.plzen.eu/pozorovani/2012/astrometrie3/199501_orbit.png)
- [012] <http://www.capella-observatory.com/images/SolarSystem/Comets/Hyakutake.jpg>
- [013] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Hyakutake\\_Orbit.PNG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/11/Hyakutake_Orbit.PNG)
- [014] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ed/1994-02-b-full\\_jpg.jpg/604px-1994-02-b-full\\_jpg.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ed/1994-02-b-full_jpg.jpg/604px-1994-02-b-full_jpg.jpg)

# Dodatok A

## Prílohy

[A1] Zdrojový kód pre mediánový filter. Premenná "K" udáva veľkosť mediánového poľa.

---

```
#!/usr/bin/python
#-----
# median_filter
# Version 0.9
# For making simple median filter
#
#-----

import scipy as sp
import pyfits
import sys
from numpy import *
import os
from math import *
import matplotlib.pyplot as plt

def help():
    print " "
    print "insert path to *.fits output_file median constant "
    print "if median constant is not inserteed, taking default = 20px"
    print "example ./median_filter.py path/to/files/sci_image.fits out.fits 35"
    print " "
    return()

def get_scidata(f):
    hdulist = pyfits.open(f)
    scidata = hdulist[0].data
    if str(type(scidata)) == "<type 'NoneType'>":
        print " "
        print "HST or multi dimensional data detected"
        scidata = hdulist[1].data
    hdulist.close()
    return(scidata)

def app_median(scidata,K,f):
    print " "
    print "Calculating median image from",f,"with distance ",K, "this can take a while for a big images"
    cut=[]
    xrng = len(scidata[1])
    yrng = len(scidata)
    for y in range (K,yrng-K):
        cut_x = []
        for x in range (K,xrng-K):
            cut_x.append(median(scidata[y-K:y+K,x-K:x+K]))
        cut.append(cut_x)
    for y in range (K,yrng-K):
        for x in range (K,xrng-K):
            scidata[y][x] = scidata[y][x] / cut[y-K][x-K]
    return(scidata)

def fits_save(scidata,fout):
    hdu = pyfits.PrimaryHDU(scidata)
    hdulist = pyfits.HDUList([hdu])
```

```
hdulist.writeto(fout)
print "Saving as: ",fout
return()

# main -----
if __name__ == "__main__":
    if (len(sys.argv)==3) or (len(sys.argv)==4):
        fpath=sys.argv[1]
        fout=sys.argv[2]

        scidata=get_scidata(fpath)

        if (len(sys.argv)==3):
            K = 20
        else:
            K = int(sys.argv[3])

        median_scidata = app_median(scidata,K,fpath)
        fits_save(median_scidata,fout)

    else:
        help()
```

---

[A2] Zdrojový kód pre Larson-Sekanina filter.

---

```
#!/usr/bin/python
#-----
# LS_filter
# Version 0.8
# For making LS filter
#
#-----

import numpy as np
import scipy as sp
import scipy.ndimage
import pyfits as pf
import matplotlib.pyplot as plt
import math
from scipy.interpolate import interp1d
import sys

def main():
    if(len(sys.argv)==8) or (len(sys.argv)==7):
        f_in = sys.argv[1]
        f_out = sys.argv[2]
        deltaR = int(sys.argv[3])
        deltaT = int(sys.argv[4])
        origin = (int(sys.argv[5]),int(sys.argv[6]))
        if len(sys.argv)==8:
            plot_flag = sys.argv[7]
        else:
            plot_flag = "N"

    print "opening: ",f_in," deltaR = ",deltaR," deltaT = ",deltaT," [X.Y] = ",origin

    im = pf.open(f_in)
    test = "<type 'NoneType'>"
    i = 0
    while (test == "<type 'NoneType'>"):
        data = im[i].data
        test = str(type(data))
        i+= 1

    data_polar,r1,theta1=reproject_image_into_polar(data, origin)
    data_LS=LS_filter(data_polar,deltaT,deltaR)
    data_bkart=reproject_image_into_back(data_LS, origin,r1,theta1)
    fits_save(data_bkart,f_out)

    if plot_flag == "p":
        #plot
        plot_polar_image(data, origin)
        #plot
        plot_back_image(data_bkart)
        #plot
        plot_orig(data,origin)
        #plot
        plt.show()
    else:
        print " "
        print " insert input file, output file, delta r,theta, XY of comet center, flag for plotting"
        print " use [in.fits] [out.fits] [delta r] [delta theta] [X] [Y] [p/n]"
        print " plotting flag p for plotting "
        print " "

#####

def plot_polar_image(data, origin):
    # Vykreslí obraz transformovaný do polárnych súradníc so stredom v "origin", čo je dvojica súradníc stredu (X,Y).
    polar_grid, r, theta = reproject_image_into_polar(data, origin)
    plt.figure()
    plt.imshow(polar_grid, extent=(theta.min(), theta.max(), r.max(), r.min()))
    plt.axis('auto')
    plt.colorbar()
    plt.ylim(plt.ylim()[::-1])
    plt.xlabel('Theta Coordinate (radians)')
    plt.ylabel('R Coordinate (pixels)')
```

```

plt.title('Image in Polar Coordinates')

def plot_back_image(data):
    plt.figure()
    plt.imshow(data,vmin=-0.1,vmax=0.1)
    plt.axis('auto')
    plt.colorbar()
    plt.xlabel('X (pixels)')
    plt.ylabel('Y (pixels)')
    plt.title('Image in back transformation')

def plot_orig(data,origin):
    plt.figure()
    plt.imshow(data)
    plt.axis('auto')
    plt.colorbar()
    plt.xlabel('X (pixels)')
    plt.ylabel('Y (pixels)')
    plt.title('Original image')

def index_coords(data, origin):
    # Vytvorí x,y koordináty pre numpy array "data". "origin" je defaultne v strede obrázku.
    # Špecifikuj origin = (0,0) pre nastavenie "origin" na ľavý dolný roh obrázku.
    ny, nx = data.shape[:2]
    if origin is None:
        origin_x, origin_y = nx // 2, ny // 2
    else:
        origin_y, origin_x = origin
    x, y = np.meshgrid(np.arange(nx), np.arange(ny))
    x -= origin_x
    y -= origin_y
    return x, y

def index_coords_back(data_polar, origin):
    ny, nx = data_polar.shape[:2]
    if origin is None:
        origin_x, origin_y = nx // 2, ny // 2
    else:
        origin_y, origin_x = origin
    x, y = np.meshgrid(np.arange(nx), np.arange(ny))
    return x, y

def cart2polar(x, y):
    r = np.sqrt(x**2 + y**2)
    theta = np.arctan2(y, x)
    return r, theta

def polar2cart(r, theta):
    x = r * np.cos(theta)
    y = r * np.sin(theta)
    return x, y

def reproject_image_into_polar(data, origin):
    # Transformuje 2D numpy array "data" do polárnych súradníc.
    ny, nx = data.shape[:2]
    if origin is None:
        origin = (nx//2, ny//2)
    # Určí maximálne a minimálne hodnoty pre r, theta a aké budú ich súradnice.
    x, y = index_coords(data, origin)
    r, theta = cart2polar(x, y)

    # Vytvorí polárnu sieť maximálnych a minimálnych hodnôt r, theta.
    r_i = np.linspace(r.min(), r.max(), nx)
    theta_i = np.linspace(theta.min(), theta.max(), ny)
    theta_grid, r_grid = np.meshgrid(theta_i, r_i)

    # Prevedie r, theta do pixelov.
    xi, yi = polar2cart(r_grid, theta_grid)
    xi += origin[1] # Potrebujeme presunúť počiatok späť do ľavého dolného rohu.
    yi += origin[0]
    xi, yi = xi.flatten(), yi.flatten()
    coords = np.vstack((xi, yi)) # map_coordinates vyžaduje a 2xn array
    zi = sp.ndimage.map_coordinates(data, coords, order=1)
    return output, r_i, theta_i

```



```

def LS_filter(data,deltaT,deltaR):
    ny, nx = data.shape[:2]

    #posun +deltaT
    XRR = []
    for y in range (0,ny):
        XR = data[y][deltaT:]
        XR = np.append(XR,data[y][:-deltaT])
        XRR = np.append(XRR,XR)
    B_minus_deltaT = XRR.reshape(ny,nx)

    #posun -deltaT
    XLL = []
    for y in range (0,ny):
        XL = data[y][:-deltaT]
        XL = np.append(XL,data[y][deltaT:])
        XLL = np.append(XLL,XL)
    B_plus_deltaT = XLL.reshape(ny,nx)

    #posun deltaR
    if deltaR == 0:
        out = 2*data - B_plus_deltaT - B_minus_deltaT

    else:
        Cl = np.zeros((deltaR,nx))
        B1 = np.append(Cl,B_minus_deltaT[:-deltaR])
        B2 = np.append(Cl,B_plus_deltaT[:-deltaR])
        B1 = B1.reshape(ny,nx)
        B2 = B2.reshape(ny,nx)
        out = 2*data - B1 - B2

    return(out)

def reproject_image_into_back(data, origin,R,T):
    ny, nx = data.shape[:2]
    if origin is None:
        origin = (nx//2, ny//2)

    X, Y = np.meshgrid(np.arange(ny), np.arange(nx))
    X -= origin[0]
    Y -= origin[1]
    new_r = np.sqrt(X*X+Y*Y)
    new_t = np.arctan2(X, Y)

    ir = interp1d(R, np.arange(len(R)), bounds_error=False)
    it = interp1d(T, np.arange(len(T)))

    new_ir = ir(new_r.ravel())
    new_it = it(new_t.ravel())

    new_ir[new_ir > R.max()] = len(R)-1
    new_ir[new_ir < R.min()] = 0

    out=sp.ndimage.map_coordinates(data, np.array([new_ir, new_it]),order=3).reshape(new_r.shape)

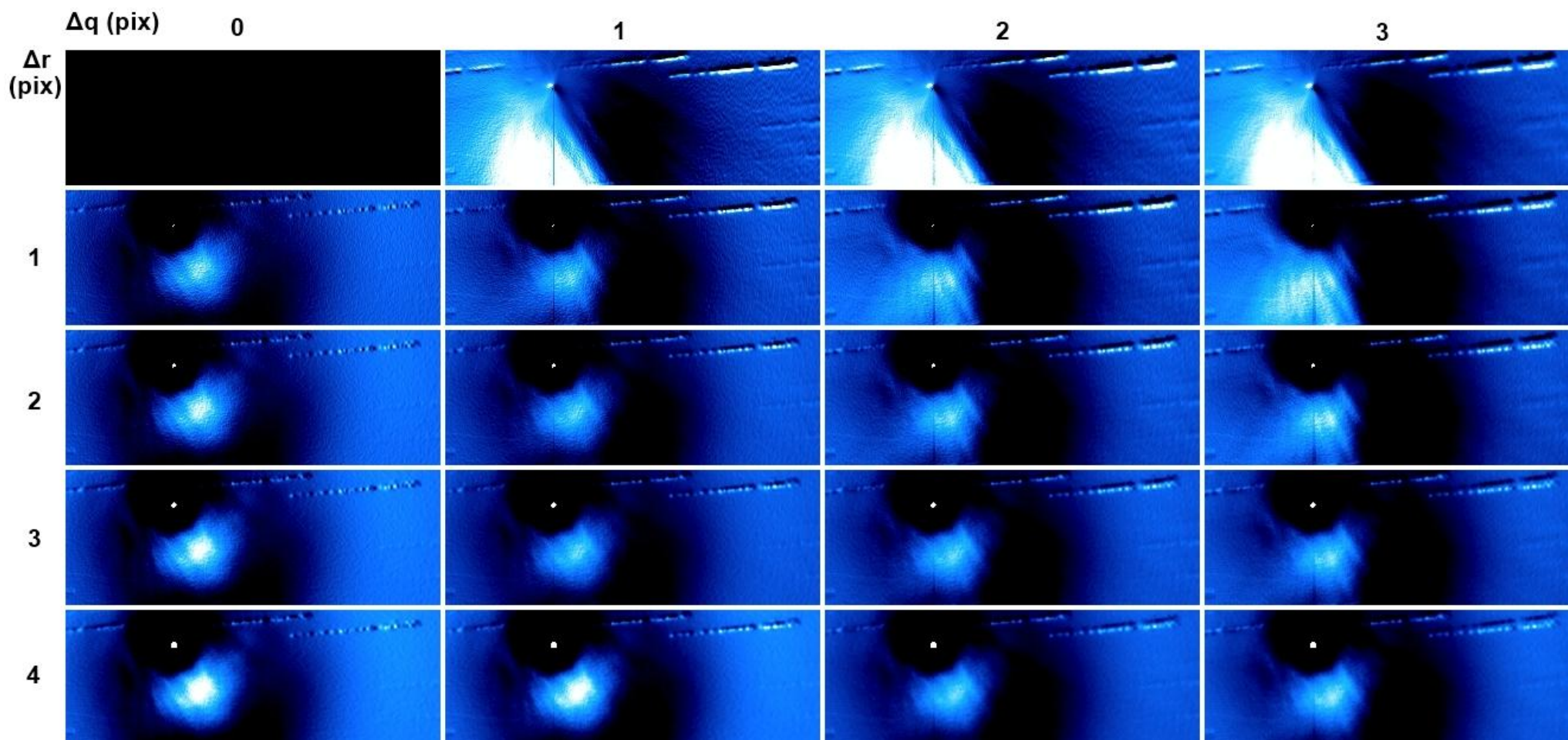
    return(out)

def fits_save(scidata,f_out):
    hdu = pf.PrimaryHDU(scidata)
    hdulist = pf.HDUList([hdu])
    hdulist.writeto(f_out)
    print "Saving as: ",f_out
    return()

if __name__ == '__main__':
    main()

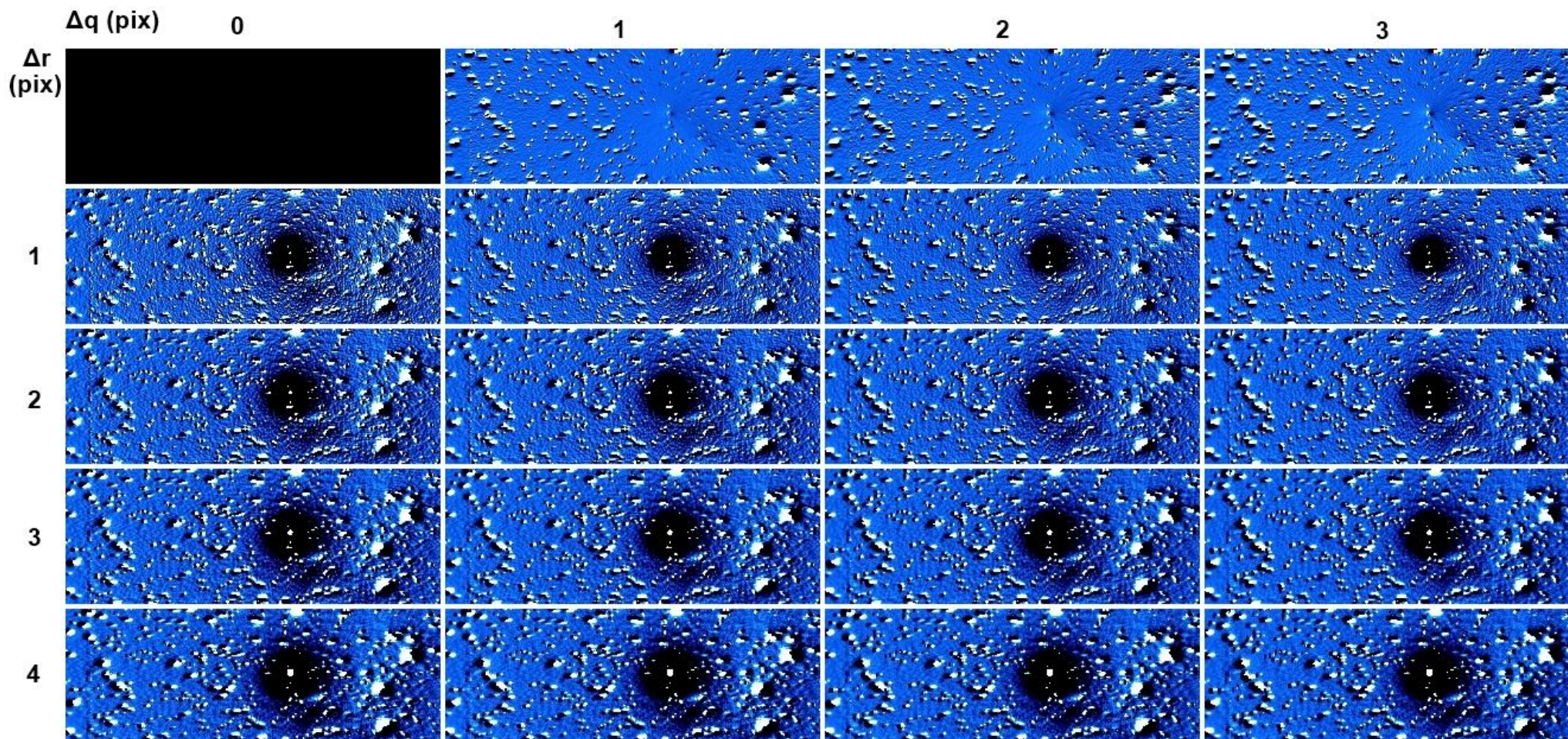
```

---



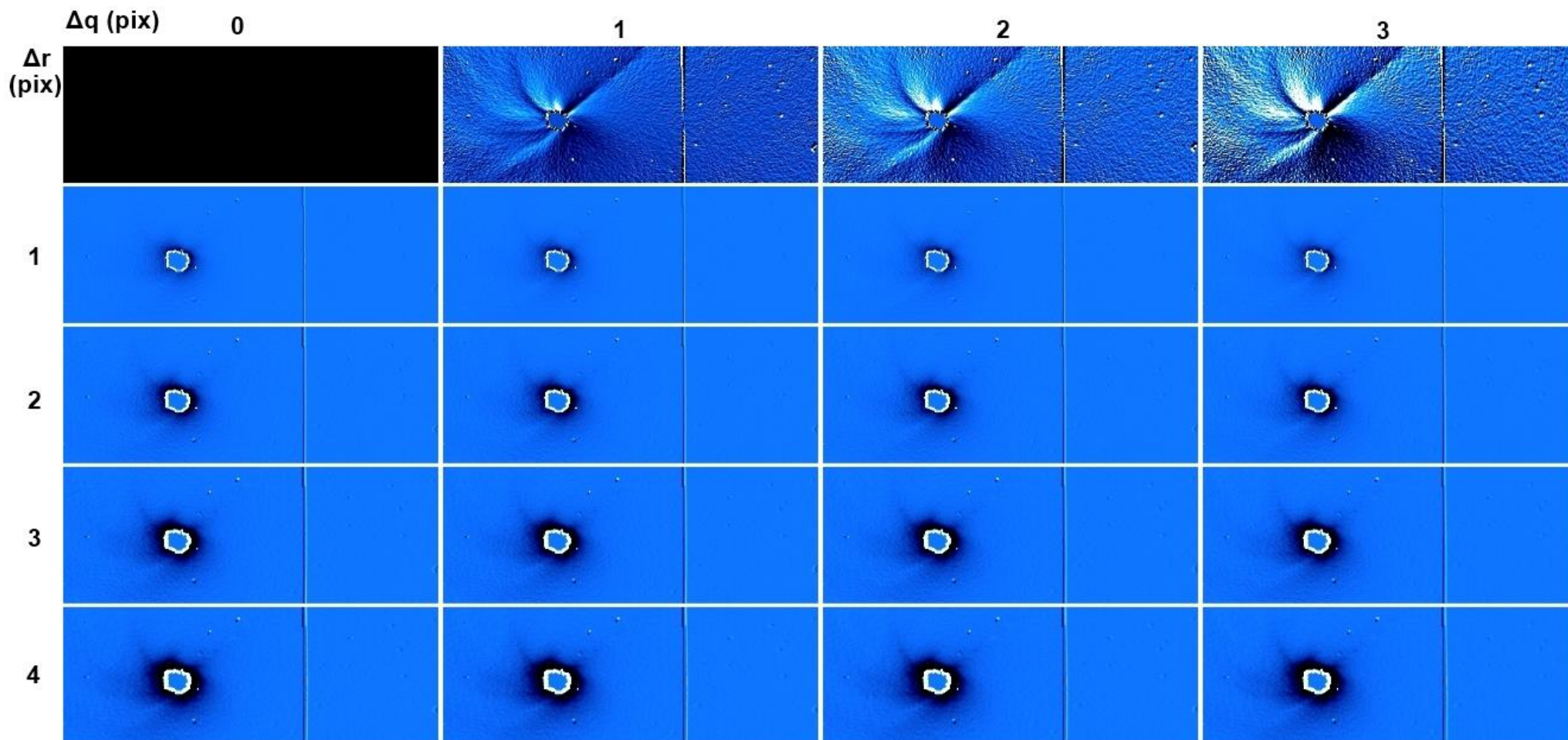
[A3] Kompozícia snímok 17P/Holmes s aplikovaným Larson-Sekanina filtrom. Pri nenulovom  $\Delta r$  je vidieť rázovú vlnu.





[A4] Kompozícia snímok C/1995 O1 (Hale-Bopp) s aplikovaným Larson-Sekanina filtrom.





[A5] Kompozícia snímok C/1996 B2 (Hyakutake) s aplikovaným Larson-Sekanina filtrom. Pri zmene  $\Delta r$  som použil inverziu farieb.

