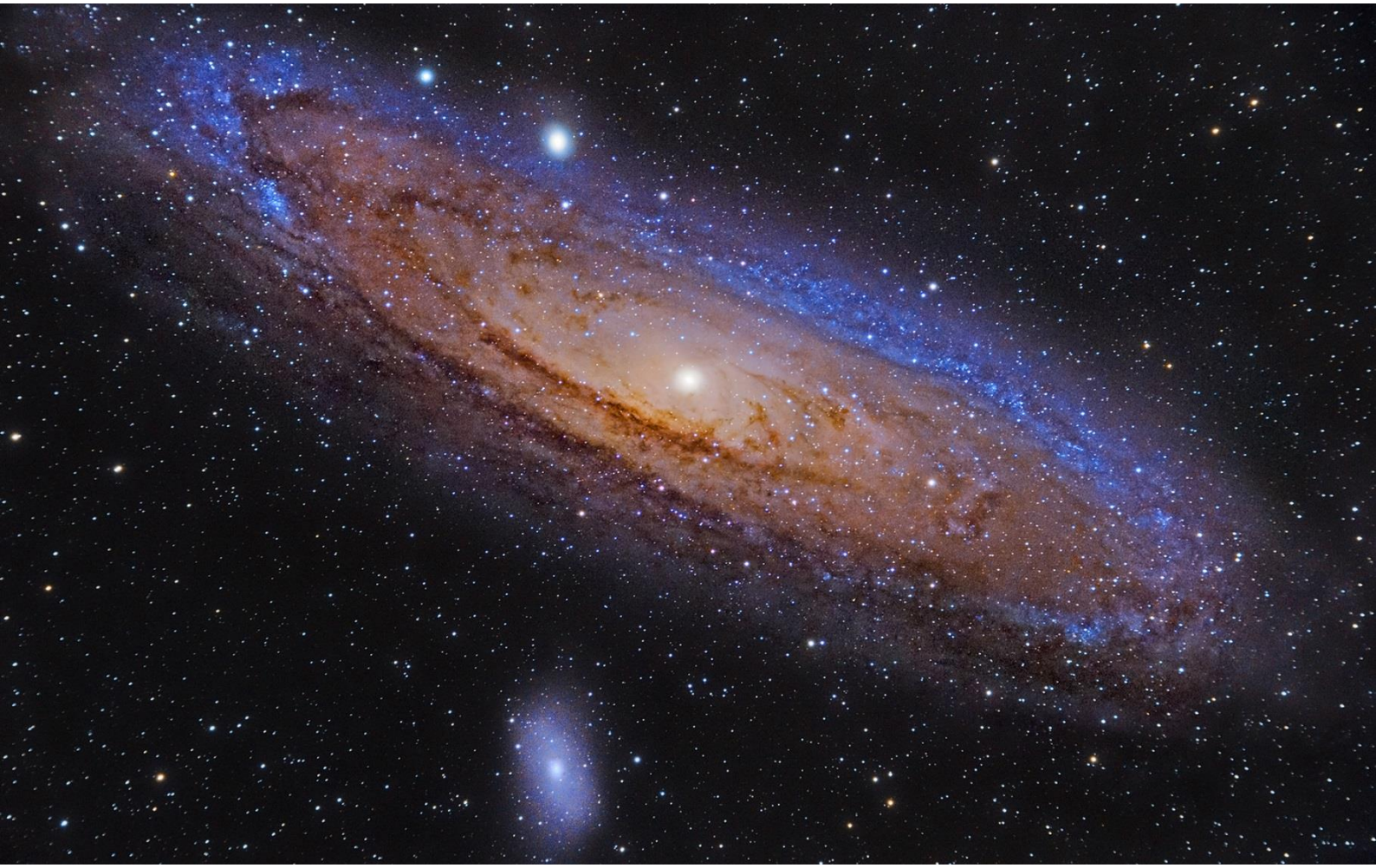
Helix
GYMNASIET



Djuprymdsfotografering

för amatörastronomer

Ett gymnasiearbete av Fredrik Palmén

Författare: Fredrik Palmén

Handledare: Roland Strömberg

Medbedömare: Sören Tångring

Program: Teknikvetenskap

Skolans namn och läsår: Helixgymnasiet 2015-2016

Abstract

The purpose of this paper was to develop a greater understanding of deep-space photography (primarily) for amateur astronomers. The questions I sought to answer were the following: What is the history of astronomical photography and how has the technology advanced throughout the years? What are some of the essential theories, and what can the process of creating an astrophotograph generally look like? Finally, what are some of the most important applications of astronomical photography in scientific research? The report, based on information from websites, literature found on the internet, a handful of books and my own personal experience, is easy to follow yet gives a thorough explanation of the subject. The result of this paper shows that the level and accessibility of astronomical imaging largely improved along with the development of the digital camera sensor, and that the use of calibration frames, photo stacking and post-processing improves the image quality greatly. It also shows that astronomical photography is a diverse practice as it acts as a hobby for amateurs but, at the same time, can solve some of the world's most puzzling questions when used in scientific research, such as determining the age of the universe or discovering new planets beyond our solar system.

Innehåll

1. Inledning 1
1.1 Syfte och frågeställningar 1
1.2 Avgränsningar 1
1.3 Definitioner/Centrala begrepp 1
2. Metod 2
2.1 Genomförande 2
2.2 Reliabilitet och validitet 2
3. Resultat 3
3.1 Historisk bakgrund 3
3.1.1 Ljusets historia 4
3.1.2 Fotograferingens historia 5
3.1.3 Fotografering inom astronomi 8
3.2 Teknisk bakgrund 10
3.2.1 Digitalkamerans egenskaper 10
3.2.2 Motverkan av jordens rotation 14
3.2.3 Utrustning 15
3.3 Skapandet av ett djuprymdsfotografi med en systemkamera 18
3.4 Astronomisk fotografering inom forskning 34
4. Diskussion 35
4.1 Metoddiskussion 35
4.2 Resultatdiskussion 35
4.3 Slutsats 36
4.4 Vidare forskning 36
5. Källförteckning 37

1. Inledning

Jag har valt att fördjupa mig inom astronomisk fotografering, specifikt djuprymdsfotografering, då jag tycker att detta är ett väldigt intressant och aktuellt område för både amatörastronomer så som för forskare på professionell nivå. Något som har förändrat människans syn på universum och har gett oss en inblick i några av de mest avancerade kosmologiska frågorna är Hubbleteleskopet, ett rymdteleskop som undersöker rymden genom att fotografera diverse fenomen och händelser. Faktumet att amatörastronomer kan ta liknande fotografier från jordens yta med hjälp av åtkomlig utrustning är bland annat någonting som verkligen tyder på hur långt den teknologiska utvecklingen har kommit. Genom att skriva en uppsats om ämnet hoppas jag framförallt få en djupare inblick i den historia och de ingående processer som angår djuprymdsfotografering men också i astronomisk fotografering generellt.

1.1 Syfte och frågeställningar

Syftet med arbetet är att undersöka, forska om samt att utveckla mina kunskaper inom teorin och historien bakom djuprymdsfotografering. Jag vill ytterligare få en klarare bild över hur astronomisk fotografering har använts och kan användas inom forskning. Som läsare kommer du kanske framförallt att få en djupare förståelse över varför och hur de väsentligaste processerna genomförs vid skapandet av ett djuprymdsfotografi för en amatörastronom.

Dessa är de frågor jag söker att besvara i mitt arbete:

- Hur ser den historiska bakgrunden ut för vanlig såväl som för astronomisk fotografering?
- Vilken teori och vilka tekniska processer ingår i skapandet av ett djuprymdsfotografi för en amatörastronom?
- Hur kan skapandet av ett djuprymdsfotografi för en amatörastronom se ut, översiktligt, från början till slut?
- På vilket sätt har astronomisk fotografering använts inom forskning och hur ser det ut i det området i dag?

1.2 Avgränsningar

Detta arbete kommer framförallt behandla djuprymdsfotografering med en viss typ av kamera, nämligen den digitala systemkameran som använder sig utav en CMOS sensor, då detta är den mest åtkomliga typen som dessutom ger väldigt bra resultat. Jag kommer endast förklara de väsentligaste delarna av djuprymdsfotografering för amatörastronomer och inte alltför detaljerat då tiden och utrymmet i detta arbete helt enkelt inte räcker till.

I arbetet kommer jag endast att beskriva de processer som ingår i fotografering av ett djuprymdsobjekt och inte av himlakroppar som ingår i vårt solsystem, såsom månen eller planeter.

1.3 Definitioner/Centrala begrepp

Exponering: Synonymt till fotografi/bild.
Exponeringstid: Längden av en exponering. En exponeringstid på tio sekunder innebär att kameran samlar in ljus i tio sekunder och sammanställer allt ljus till ett enda fotografi.
Djuprymdsobjekt: Ett objekt som befinner sig i yttre rymden, exempelvis en galax, stjärnhop eller nebulosa.
Astrofotografering: Förkortning av astronomisk fotografering.

2. Metod

Arbetet är en blandning av en litteraturstudie och ett praktiskt arbete vilket innebär att innehållet består av både skriftlig litteratur samt av praktiska demonstrationer. Informationen är tagen från internet och från andra skriftliga källor, så som böcker och artiklar, samt även från min personliga empiriska erfarenheter.

2.1 Genomförande

Målet med arbetet är att svara på frågeställningarna. Rapporten ska utföras skriftlig med hjälp av information hämtat framförallt från internet, men även från böcker och andra skriftliga källor. En andel av informationen ska sedan appliceras praktiskt för att undersöka om den hyser godtyckliga resultat vid skapandet av ett djuprymdsfotografi. Visuella hjälpmedel skapas av mig med hjälp av kameror och digitala verktyg, eller hänvisas till sin ursprungliga skapare.

2.2 Reliabilitet och validitet

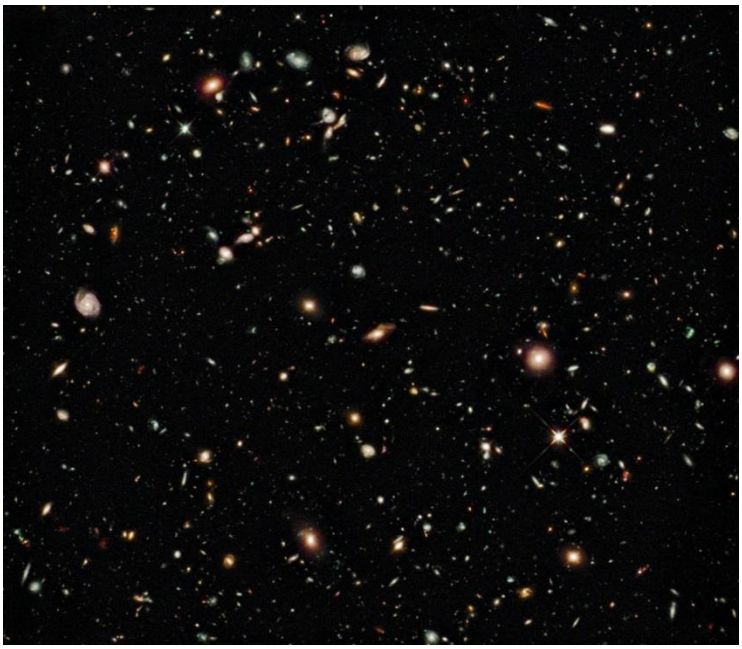
För att arbetet ska en hög reliabilitet hänvisas informationen, så ofta som möjligt, till primär- eller sekundärkällor. För att behålla en hög validitet innehåller arbetet endast information som är relevant till de frågeställningar som jag söker att besvara.

3. Resultat

3.1 Historisk bakgrund

När NASA (National Aeronautics and Space Administration) sköt rymdfarkosten *Discovery* ut i rymden den 25:e april 1990 var nog inte världen helt beredd på vad som vad som väntade[1] – nu, 25 år senare, har förmodligen de flesta på ett eller annat vis sett vad som åstadkommits i följd av händelsen. Huvudsyftet med uppdraget var nämligen att sätta det nu världsberömda *Hubbleteleskopet* i en omloppsbana runt jorden, där inte störningar från ljusförorening och atmosfär påverkar observationer – på så sätt hoppades man kunna ta revolutionerande fotografier, så kallade astrofotografier, av astronomiska objekt. Uppdraget blev en stor succé, och sedan dess har hundratusentals bilder av det interstellära sänts tillbaka till jorden.[2]

Det många inte vet är att man inte nödvändigtvis behöver en utrustning värd 10 miljoner dollar som kretsar runt jorden för att ta kort på de fantastiska fenomen och objekt som finns där ute. Faktum är att astronomer, både på amatörnivå och forskningsnivå, har tagit astrofotografier sedan 1800-talet.[3]



Figur 1: "Hubble Ultra-Deep Field" (HUDF), skapad av NASA med hjälp av Hubbleteleskopet, anses av många vara en av de viktigaste bilderna någonsin.[4] [5]

[1] http://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/shuttlemissions/archives/sts-31.html (2015-10-14)
[2] http://hubblesite.org/the_telescope/hubble_essentials/ (2015-10-14)
[3] http://www.astrosurf.com/re/history_astrophotography_timeline.pdf (2015-10-14)
[4] http://www.deepastronomy.com/hubble-deep-field.html (2015-10-20)
[5] http://www.nasa.gov/images/content/690951main_hs-2009-31-a-xlarge_web.jpg (2015-10-20)

3.1.1 Ljusets historia

Att solen lyser upp vår dag här på jorden är någonting som kanske verkar självklart, och antagligen någonting som vi alla, dag efter dag, tar för givet. Men har du någon gång ställt dig själv frågan: Vad *är* ljus, egentligen? Består det av någon fundamental byggsten, eller finns det någon annan förklaring till hur ljuset kan finnas till? Svaret på frågan är sannerligen inte lika uppenbart som man kanske skulle vilja.

Under 1600-talet levde en av fysikens och matematikens mest inflytelserika människor vid namn *Isaac Newton*, som bland annat har bidragit till vår förståelse om hur världen fungerar med upptäckter inom rörelse och gravitationskraft. Men av alla hans kända verk det är kanske efter Newtons forskning inom *optik*, det vill säga läran om ljus, som det skapats mest debatter och oklarheter.[6] Newton påstod nämligen att ljus består av *partiklar*, eller ”små massor”. År 1704 presenterade han sin teori i boken *”Opticks”*, där han tydligt diskuterade och förklarade sina välgrundade argument. Många av ljusets egenskaper kunde till folks förvåning beskrivas med hjälp av partikelteorin. Bland annat föreslog Newton att en ljuspartikel har samma egenskaper som vanlig materia, till exempel en studsboll. Tack vare Ibn-al-Haythans experiment angående ljusreflektion under det sena 900-talet visste man att ljusets reflektionsvinkel är lika stor som infallsvinkeln när ljus speglas mot en slät yta – någonting som också stämmer för en friktionslös, elastisk boll (som likaledes studsar mot en slät yta). Förslaget att ljusets ”massor” liknar normal materia stärktes markant som följd av detta. Newton hade även ytterligare anledningar till att hålla fast vid sin idé, såsom observationen av skarpa skuggor och raka ljusstrålar som endast kan förklaras om man antar att ljus består av partiklar.[7]

Alla gillade inte Newtons förklaring, trots att teorin beskrev ljusets egenskaper bättre än någonsin innan. Sanningen är att en del fenomen helt enkelt inte kan beskrivas om man antar att ljuset består av partiklar, följaktligen varför idén opponerades av vissa. Bland de som motstod Newtons teori var en vetenskapsman vid namn Christiaan Huygens som, istället för partiklar, förslog att ljus består av *vågor*.[8] Likt hur partikelteorin förklarade en del fenomen, förklarade Huygens vågteori andra fenomen. Ett exempel är brytningen av ljus när det färdas från ett medium till ett annat, som beskrevs bättre då det antogs att ljuset färdas som en våg.[9] Problemet var att ingen riktigt kunde säga vem som hade rätt – en del trodde på Newtons partikelteori, och en del på Huygens vågteori. Partikelteorin var gynnad, på grund av diverse anledningar, ända fram till det tidiga 1800-talet då universalgeniet Thomas Young genomförde det välkända dubbelspaltexperimentet för första gången. Genom experimentet visade det sig att ljus från olika källor kan inverka på varandra och skapa interfereringsmönster vilket är en direkt effekt av att ljus färdas i form av vågor. Ett konkret exempel som stöttade vågteorin hade introducerats, och snabbt därefter försvann nästan alla som hade hållit kvar vid Newtons partikelteori. [10]

Det skulle gå ca 100 år innan vågteorin på nytt utmanades av partikelteorin, i det tidiga 1900-talet. Den fotoelektriska effekten som inte tidigare kunnat förklaras genom att anta ljus i form av vågor,

---

[6] http://www.popularhistoria.se/artiklar/geniet-newton/ (2016-04-25)
[7] http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/light-%E2%80%93-waves-or-particles (2016-04-25)
[8] http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/Biographies/Huygens.html (2016-04-25)
[9] https://www.youtube.com/watch?v=OLCqaWaV6jA (2016-04-25)
[10] http://www.physicsclassroom.com/class/light/Lesson-3/Young-s-Experiment (2016-04-25)

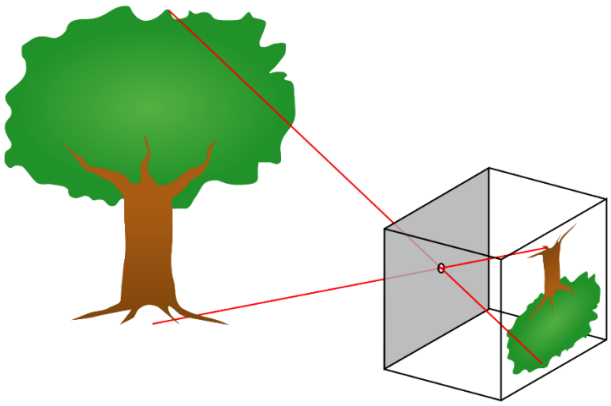
förklarades med framgång av den världskände fysikern Albert Einstein då han introducerade en ny partikel, så kallad *foton.* Med andra ord hade Einstein bevisat att ljuset även *måste* bestå av en partikel, och partikelteorin om ljus var åter igen tillbaka i spelet.[11]

Eftersom att fysiken är som den är, det vill säga väldigt överraskande vid vissa instanser, har man under 1900-talet kommit fram till att ljus består av *både* partiklar och vågor, beroende på omständigheten. Som Einstein skrev: *"It seems as though we must use sometimes the one theory and sometimes the other, while at times we may use either. We are faced with a new kind of difficulty. We have two contradictory pictures of reality; separately neither of them fully explains the phenomena of light, but together they do"*[12].

Tack vare insikten i den så kallade *Våg-partikeldualiteten* kan vi enklare förstå och utveckla metoder som är beroende av ljusets egenskaper.

3.1.2 Fotograferingens historia

Idén om att bevara en händelse eller scen i ett fotografi uppkom redan runt 400-talet f.kr när de grekiska matematikerna Aristoteles och Euklides, samt den kinesiska filosofen Mo Di, oberoende av varandra beskrev ett fenomen där en uppochnervänd bild kunde projiceras genom att låta ljus passera en väldigt liten öppning. Detta kallas för *Camera Obscura*, och de första kamerorna som skapades följde samma princip.



Figur 2: Illustration av en nålhålskamera, en variation av Camera Obscura.[13] *På grund av att ljuset färdas i raka linjer, ett fenomen som kallas rätlinjig utbredning, syns den projicerade bilden uppochner på den motsatta väggen i en ljustät kammare.*[14]

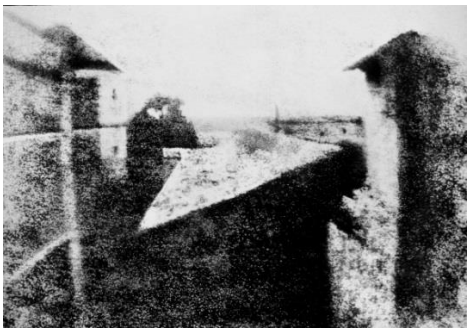
En applikation av Camera Obscura kallas för nålhålskamera (se figur 2). Bland de första personerna att använda en sådan var Ibn-al-Haythan, som utförde experiment och studier relaterade till ljusets

[11] http://physics.info/photoelectric/ (2016-04-25)
[12] Harrison, David (2002). *Complementarity and the Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics*. *UPSCALE*. Dept. of Physics, U. of Toronto (2016-04-25)
[13] https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/3/3b/Pinhole-camera.svg/2000px-Pinhole-camera.svg.png (2015-11-11)
[14] http://web.archive.org/web/20080420165232/http://www.acmi.net.au/AIC/CAMERA_OBSCURA.html (2015-11-11)

egenskaper under det sena 900-talet/tidiga 1000-talet.[15] I hans kända bok *Book of Optics* beskrev Haythan även några tekniker som kunde användas för att skapa primitiva fotografier.[16]

År 1694 beskrev naturfilosofen Wilhelm Homberg ett fenomen då vissa kemiska substanser mörknade vid exponering av ljus, idag kallat den fotokemiska effekten. Tack vare detta, samt upptäckterna av de ljuskänsliga ämnena silvernitrat och silverklorid av Albertus Magnus under 1200-talet[17] respektive Georg Fabricius under 1500-talet[18], kunde man under 1800-talet börja bevara scener som man tidigare endast kunnat projicera med hjälp av Camera Obscura.[19] Det första kända försöket till detta utfördes av Tomas Wedgewood som någon gång runt år 1800 använde papper eller vitt läder, behandlat med silvernitrat, för att fånga och bevara en bild. Försöket lyckades till viss del, men på grund av silvernitratets egenskaper mörknade och eventuellt försvann bilden (som dock bestod av enbart skuggor) helt med tiden.[20]

Några år senare, mer exakt runt år 1826 eller 1827, lyckades den franske uppfinnaren Joseph Nicéphore Niépce skapa det första överlevande fotografiet (se figur 3) med hjälp av en process som kallas heliografi.[21] Ett problem var att den krävdes minst 8 timmar till flera dagar i exponeringstid för att skapa ett enda fotografi, vilket han sökte att förbättra.[22] [23] I samarbete med Louis Daguerre, en fransk artist och fotograf, uppfann Niépce vissa efterbehandlings- processer som producerade mycket bättre visuella resultat, och dessutom ersatte även den ljuskänsliga substansen, en typ av asfalt, som använts tidigare. Trots dessa framsteg var flera timmars långa exponeringar fortfarande nödvändiga.



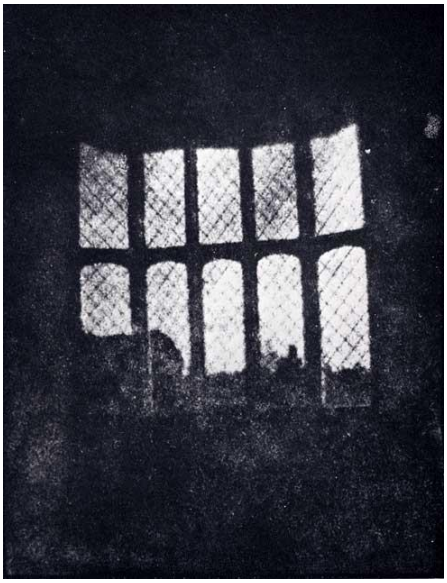
Figur 3: Det första överlevande fotografiet, från år 1826 eller 1827: "View from the Window at Le Gras".[24]

---

[15] Robert E. Krebs (2004). *Groundbreaking Scientific Experiments, Inventions and Discoveries of the Middle Ages and the Renaissance.* Greenwood Press. p. 20 (2015-11-11)
[16] http://repository.up.ac.za/xmlui/bitstream/handle/2263/16857/Allen_Shroud%281993%29.pdf (2015-11-11)
[17] http://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/magnus.html (2015-11-18)
[18] Potonniée, Georges (1973). *The history of the discovery of photography*. Arno Press. p. 50. (2015-11-18)
[19] Gernsheim, Helmut and Gernsheim, Alison (1955) *The history of photography from the earliest use of the camera obscura in the eleventh century up to 1914*. Oxford University Press. p. 20. (2015-11-18)
[20] Litchfield, R. 1903. "Tom Wedgwood, the First Photographer: An Account of His Life." London, Duckworth and Co. Kapitel XIII (2015-11-25)
[21] http://www.hrc.utexas.edu/exhibitions/permanent/firstphotograph/niepce/#top (2015-11-25)
[22] http://www.hrc.utexas.edu/exhibitions/permanent/firstphotograph/process/#top (2015-11-25)
[23] Hirsch, Robert. Seizing the Light: A History of Photography. New York: McGraw-Hill, 2000. Print. (2015-11-25)
[24]https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/5c/View_from_the_Window_at_Le_Gras%2C_Joseph_Nic%C3%A9phore_Ni%C3%A9pce.jpg (2015-12-02)

Efter ytterligare några år, när Niépce hade gått bort, fokuserade Daguerre på silversalter som ersättning för ljuskänsliga substanser. Eventuellt hade han utvecklat en metod som skulle kallas *daguerreotypi*, vilket då var den mest framgångsrika fotografiska metoden, framförallt eftersom att exponeringstiden kunde förkortas till några minuter jämfört med några timmar.[25] Daguerres uppfinning publicerades den 7 januari år 1839 vilket skapade en internationell sensation, och några år senare blev instruktionerna till metoden kända till allmänheten.[26]

En annan person som jobbade med att utveckla den kemiska fotograferingen var den engelska uppfinnaren William Fox Talbot. Endast några få år efter daguerreotypins lansering visade det sig att även Talbot i hemlighet hade experimenterat med silversalter inom fotografering. År 1840 skapade han en fotografisk process, kallad kalotypi, som med hjälp av silverjodid kunde skapa exponeringar jämförelsebara med den av daguerreotypin. En stor förbättring jämfört med tidigare processer var att kalotypin producerade en genomskinlig, negativ avbild (oftast kallad ”negativ”) vilken kunde användas för att trycka flera exemplar av en enskild exponering. Detta, i jämförelse med till exempel daguerreotypin där man endast kunde kopiera ett fotografi genom att fotografera det igen, var ett väldigt effektivt sätt att producera flera kopior av ett enstaka fotografi.[27] Just denna egenskap inom kalotypin, det vill säga att skapa negativa foton, ligger till grunden för en stor del av den kemiska fotograferingen i dag.[28]



Figur 4: Det tidigaste överlevande negativet, taget av William Fox Talbot år 1835, sett i sin positiva form.

Ytterligare upptäckter och metoder utvecklades under de kommande åren, så som *cyanotypi* (som främst användes inom ingenjörsrelaterade sammanhang under 1900-talet) samt att natriumsulfat kunde användas för att göra tidigare fotografiska processer betydligt mer ljussnabba. Man började att använda glasplattor belagda med silversalter som ljuskänsligt material under den senare hälften av 1800-talet, fram tills introduktionen av det flexibla materialet, kallat *film*, sakta tog över marknaden.[29]

Fotografisk film, som bestod av plast jämfört med glas som tidigare använts, kunde produceras i väldigt små format jämfört med tidigare ljuskänsliga redskap, samt producerades det i olika ljuskänsligheter vilka passade bra för olika sammanhang. Likt tidigare metoder är filmen belagd med ljuskänsliga substanser, i detta fall en emulsion av gelatin som består av mikroskopiskt små kristaller av ljuskänsliga silversalter. Kontrasten och bildkvalitén av bilder som produceras av film beror framförallt på storleken och egenskaper av silversaltkristallerna.[30] Genom att exponera filmen med ljus som passerar en fotografisk lins, också kallat *objektiv*, mörknar kristallerna proportionellt mot mängden ljus som absorberats. Då denna kemiska process är av väldigt kortvarig, och då

---

[25] National Geographic, October 1989, pg. 530 (2015-12-02)
[26] http://www.photohistory-sussex.co.uk/dagprocess.htm (2016-05-11)
[27] http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/fox_talbot_william_henry.shtml
[28] http://www.gla.ac.uk/services/specialcollections/collectionsa-z/hilladamson/calotypeprocess/ (2016-05-11)
[29] Hannavy John (2013). *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography*. Routledge. p. 251 (2016-05-11)
[30] Karlheinz Keller et al. "Photography" in Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2005, Wiley-VCH, Weinheim (2015-12-02)

exponeringstiderna är relativt korta, behövs filmen framkallas i efterhand med hjälp av kemikalier och specifika processer.[31]

Den första digitalkameran, som ej använde film för att fånga bilder, skapades år 1975 av Steven Sasson. Kameran var en tung prototyp som hade ett chip som registrerade ljus i form av elektronmönster.[32] Senare, år 1991, lanserades den första kommersiella digitalkameran av Kodak, kallad DSC 100. Även om DSC 100 oftast var för dyr för att användas av amatörfotografer så markerade dess lansering början på den kommersiella digitala fotograferingen.[33]

För att fånga bilder användes till en början främst en bildsensor kallad CCD (Charge-Coupled-Device) vars utveckling av påbörjades under 1960-talet av George Smith och Willard Boyle. Istället för mörknande silversaltkristaller konverterar kamerasensorn ljus till signaler för att skapa en bild.[34]

3.1.3 Fotografering inom astronomi

Många astronomer fattade intresse för fotografering, och likt vanlig fotografering tog den astronomiska fotograferingen fart under 1800-talet. Det första kända försöket till ett astrofotografi sägs ha gjorts med hjälp av daguerreotypi av Louis Daguerre själv, men på grund av en olyckshändelse försvann Daguerres alla arbeten tillsammans med alla dokumentationer angående händelsen. Ett år senare i år 1840 gjorde John William Draper, en kemiprofessor i New Yorks universitet, ett mer lyckat försök, också genom daguerreotypi, då han fotade månen med en 20-minuters lång exponering genom ett teleskop med en öppning på 130 mm. Det första lyckade fotografiet av solen (några tidigare försök hade gjorts men alla misslyckats) kan ha varit av de franske fysikerna Léon Foucault och Armand Fizeau, vilket gjorde det möjligt att se solfläckar för första gången.[35]

Den första bilden på ett djuprymdsobjekt kom några tiotal år senare, år 1880, då William Huggins och hans fru Margaret använde en gelatinprocess för att fånga Orionnebulosan i en 51-minuters lång exponering.[36] Ett betydligt bättre fotografi av samma nebulosa gjordes tre år senare av Andrew Ainslie Common, vilket var ett genombrott i den astronomiska fotografering då man för första gången kunde se stjärnor och stoft som man aldrig tidigare kunnat visa.[37] Ett stort projekt att fotografera och sammanställa hela stjärnhimlen i en enda bild påbörjades år 1887 av en sammanställning av 20 observatorier runtomkring i världen, men färdiggjordes aldrig.

Början av 1900-talet markerade början av en storskalig konstruktion av refraktorteleskop och sofistikerade reflekterande teleskop, designade specifikt för fotografering av rymden. I mitten av

---

[31] *Rogers, David (2007). The Chemistry of Photography: From Classical to Digital Technologies. Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry* (2015-12-02)
[32] http://natgeo.se/foto/den-forsta-digitalkameran (2016-02-03)
[33] http://www.digicamhistory.com/1990.html (2016-02-03)
[34] http://www.practicalphotographytips.com/practicalphotographytips/history-of-digital-photography.html (2016-02-03)
[35] https://www.aps.org/publications/apsnews/201301/physicshistory.cfm (2016-02-03)
[36] Anton Sebastian, A dictionary of the history of science, page 75 (2016-02-03)
[37] J. B. Hearnshaw,The measurement of starlight: two centuries of astronomical photometry, page 122 (2016-02-03)

århundrandet var stora teleskop, så som Haleteleskopet och Samuel Oschin teleskopet, i full gång att skapa astrofotografier.
Ett väldigt hopp i kvalité och effektivitet påbörjades i 1970-talet efter skapandet av CCD-sensorn, då detta innebar att man kunde fotografera mycket ljuskänsligare, samt fanns många andra fördelar, så som att en mycket bredare del av ljusspektret kunde fångas upp. Bevaring av informationen blev också betydligt enklare – istället för stora kemiskt täckta plattor var CCD-sensorerna mycket mindre, vilket sparade både utrymme och arbete.[38]

Det senare 1900-talet var väldigt viktigt för astrofotograferingens utveckling, bland annat då ny hårdvara och nya observatorier lanserades, samt då Hubbleteleskopet var det första att skickas utanför jordens atmosfär för att kunna ta extremt skarpa bilder på ljussvaga objekt.[39]

[38] http://encyclopedia.jrank.org/articles/pages/1115/Astrophotography.html (2016-02-03)
[39] http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/story/index.html (2016-02-03)

3.2 Teknisk bakgrund

3.2.1 Digitalkamerans egenskaper

3.2.1.1 Kamerasensorn

Som tidigare nämnt skapas en bild genom att ljus konverteras till elektriska signaler i kamerasensorn. Standarden för digitalkameror idag för mesta övergått från CCD-sensorer till någonting som kallas CMOS (Complementary metal-oxide-semiconductor), då denna teknologi har kommit mycket längre i utvecklingen under de senare åren och generellt är billigare. I moderna digitala systemkameror, som jag kommer att utgå ifrån i detta arbete, används för det mesta CMOS-sensorer.[40] En CMOS-sensor, också kallad APS (Active Pixel Sensor) består av en integrerad krets (en typ av elektronisk krets) som innehåller en uppsättning av pixlar. Varje pixel innehåller en fotodetektor som kort sagt mäter och samlar information om ljuset som kommer in i kameran, samt några flera komponenter som bland annat förstärker den elektriska signalen som sedan används för att skapa bilden.[41]

Det som avgör den producerade bildens kvalité beror till stor del på sensorns storlek – en större sensor kan naturligtvis samla mer information än en mindre sensor under samma exponeringstid, vilket leder till bilder med högre dynamiskt omfång, mindre brus och bättre prestanda i dåliga ljusförhållanden. Storleken på de individuella pixlarna spelar också en betydlig roll då samma princip gäller här – större pixlar innebär bättre omfång av information. Däremot medför en större storlek av pixlar att ett mindre antal av dem får plats på samma area, så det är tillverkarnas uppgift att hitta en bra balans. En sensor med en viss storlek som har ett högt antal men relativt små pixlar kommer att upplösa detaljer bättre än en sensor som har färre men större pixlar – dock kommer den sistnämnda att klara sig bättre i dåliga ljusförhållanden.[42]

I varje bild som tas med en systemkamera tillkommer elektroniskt brus, som i de allra flesta sammanhangen är oönskat. Bruset beror på slumpmässiga skillnader i ljus och färginformation som uppkommer på grund av diverse anledningar.

Det finns några olika typer av bildbrus:[43]

- **Fotonspridningsbrus/Poisson-brus**: På grund av att ljuset färdas i kvanta, det vill säga fotoner, och på grund av hur dessa beter sig, induceras ett fotonspridningsbrus i bilden. Om man undersöker antalet fotoner som registreras på sensorn kan man räkna ut ett medelvärde, men på grund av små variationer i fotonernas position sker en viss standardavvikelse. Det är denna avvikelse som kallas för fotonspridningsbrus – osäkerheten gör att en del av pixlarna träffas av fler fotoner medan en annan träffas av färre, även om ljuskällan är helt jämn, och därmed varierar ljusstyrkan mellan de olika pixlarna slumpmässigt.
- **Utläsningsbrus**: När fotonerna registreras omvandlas de till en elektrisk signal (elektrisk spänning) vilken är proportionell mot fotonträffarna. Den del av pixeln som gör just detta kallas för sensorelement. I en perfekt värld skulle den elektriska spänningen hålla samma

---

[40] http://www.techhive.com/article/246931/cmos_is_winning_the_camera_sensor_battle_and_heres_why.html (2016-02-17)
[41] http://www.siliconimaging.com/cmos_fundamentals.htm (2016-02-17)
[42] http://www.clarkvision.com/articles/does.pixel.size.matter/ (2016-02-17)
[43] http://www.kamerabild.se/fotoskolor/vi-f-rklarar-digitalt-brus (2016-03-15)

värde i färden genom alla omvandlingsprocesser enda fram till bildbehandlingsprocessorn, men tyvärr är det inte så enkelt. Spänningen som läses av i början är alltså inte exakt densamme som den som registreras i bilden. På grund av detta kommer varje pixel ha ett visst fel jämtemot den ursprungliga signalen, och ett utläsningsbrus uppstår. Dess skillnader i ljusstyrka kan på en del sensorer uppkomma systematiskt, och kan till exempel uppstå som ränder på bilden.

- **Termiskt brus:** Eftersom att elektroner påverkas av värme kan vissa elektroner frigöras under processen, vilket påverkar den elektriska signalen. En sådan elektron är omöjlig att åtskilja från en som frigjorts av ljus på sensorn. Under varma förhållanden blir detta ett större problem då fler elektroner frigörs. Längre exponeringar inducerar ett högre termiskt brus då avvikelsen hos sensorns pixlar blir högre – på så sätt kan den uppstå ”heta pixlar” vilka har en väldigt varierad ljusstyrka i bilden och framstår därmed väldigt tydligt.

Allt typ av brus är allra oftast destruktivt för bildkvalitén då det ofta försämrar skärpan samt signalen från objektet som fotograferas.[44] Detta gäller speciellt inom djuprymdsfotografering då astronomiska objekt ofta är mycket ljussvaga och bidrar med en väldigt låg signal i jämförelse med bruset som tillkommer.[45]

Figur 5: Förstoring av ett fotografi på kometen C/2013 US10 Catalina där bildbruset syns tydligt.

3.2.1.2 Signaleffekt, bruseffekt och signal-brusförhållande

En viktig faktor inom djuprymdsfotografering som ofta är avgörande för bildens kvalité handlar om förhållandet mellan djuprymdobjektets signaleffekt, det vill säga de uppfångade fotonerna som ursprungligen kommer från objektet, och bruseffekten, som tidigare förklarat förvärrar kvalitén. Detta kallas specifikt för signal-brusförhållande (SNR), och ofta är ett av de mest framstående målen att uppnå ett så högt sådant som möjligt – det vill säga då signaleffekten är så hög som möjligt jämtemot bruseffekten. På så vis får man en så ren och skarp bild som möjligt.[46]

---

[44] http://www.imatest.com/docs/noise/ (2016-02-18)
[45] http://www.astropix.com/HTML/I_ASTROP/QUICK.HTM (2016-02 -24)
[46] http://www.astropix.com/HTML/I_ASTROP/SIGNAL.HTM (2016-03-14)

Inom djuprymdsfotografering är det framförallt (bland flera) två metoder man använder för att öka signal-brusförhållandet: att använda långa exponeringstider, samt att ”stacka” (lägga ihop) flera exponeringar.[47]

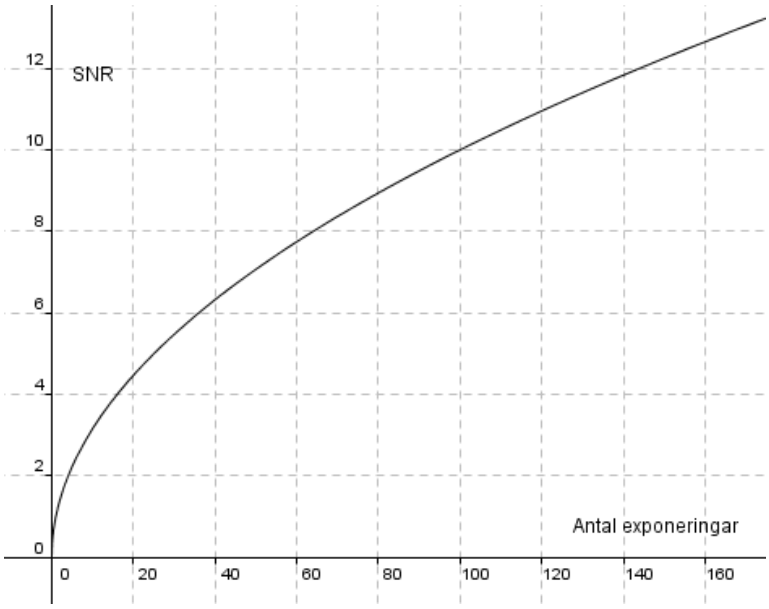
För att få en så hög signaleffekt som möjligt av det objekt man fotograferar gäller det att kameran fångar upp så många av de emitterade fotonerna som möjligt. Eftersom att ljuset från objektet emitteras kontinuerligt men ofta är mycket svagt använder man sig av långa exponeringstider, ofta så långa som utrustningen möjligen tillåter och utan att överexponera objektet, så att även de mest ljussvaga delarna kan registreras i fotografiet. Någonting som gör långa exponeringar extra värdefulla är att bruset ökar proportionellt mot kvadratroten ur exponeringstiden medan signaleffekten från objektet ökar linjärt. [1][48] Till exempel har en exponering på 100 sekunder, jämfört med en på 1 sekund, en signal som är 100 gånger så hög medan brusnivån endast är 10 gånger så hög (eftersom att $\sqrt{100} = 10$). Signal-brusförhållandet (SNR) beskrivs helt enkelt som kvoten mellan signalen och bruset, vilket i detta fall blir $\frac{100}{10} = 10$ gånger så högt.

Eftersom att nästan allt brus uppkommer slumpmässigt över hela bildfältet (förutom mönsterbrus, men det är inte relevant i denna paragraf) så kan man med hjälp av att lägga ihop flera olika exponeringar av samma objekt väldigt effektivt reducera bruset. Då varje pixel har en viss standardavvikelse i ljusstyrka kan man genom att använda flera bilder ta fram ett medelvärde som är mer verklighetstroget till den faktiska ljusstyrkan som registrerades av omfånget av protonerna under exponeringen. Om man lägger ihop hela bilder kommer alltså bruset att reduceras – generellt gäller att fler bilder innebär lägre brus. Detta görs i efterhand med hjälp av diverse olika mjukvaror i en dator. Oftast behöver man själv inte göra så mycket utan mjukvaran sköter det mesta av arbetet. Denna process kallas oftast för stackning. [49]

Då bruset reduceras vid stackning ökar bildens SNR. Oavsett exponeringstiden ökar SNR med kvadratroten av antalet sammanlagda exponeringar; 10 stycken exponeringar medför en ökad SNR av faktorn $\sqrt{10} \approx 3{,}16$ jämfört med endast en bild, vid 20 stycken en ökar SNR med faktorn $\sqrt{20} \approx 4{,}47$ osv. Eftersom att ökningen inte är linjär kommer skillnaden att bli mindre och mindre märkbar desto mer exponeringar man använder sig utav. Detta kan illustreras genom att rita grafen för funktionen $\sqrt{x}$ (se figur 6).

---

[47] https://www.naturescapes.net/articles/techniques/long-exposure-astrophotography/ (2016-03-14)
[48] http://www.cloudynights.com/page/articles/cat/fishing-for-photons/signal-to-noise-understanding-it-measuring-it-and-improving-it-part-1-r1895 (2016-03-14)
[49] http://www.instructables.com/id/Astrophotography-Star-Photo-Stacking/step2/How-does-it-work/ (2016-03-14)



Figur 6: Grafen för funktionen $\sqrt{x}$.

Hur många exponeringar man bör använda varierar beroende på diverse faktorer, så som ljusföroreningsförhållanden samt teleskopets ljusinsläppsförmåga. Enligt figur 6 ser man dock att förbättringen av SNR börjar avta något när antalet överstiger runt 50 exponeringar, och ibland räcker det and använda så ”få” stycken. Det skadar förstås inte att gå uppåt 100 exponeringar eller mer, men effektiviteten avtar. Till exempel krävs det 200 bilder för att SNR ska bli dubbelt så hög som fallet med endast 50 stycken ($\sqrt{200} \approx 14{,}14$ jämfört med $\sqrt{50} \approx 7{,}07$). Om man har tillräckligt med tid så är det förstås föredraget att ta så många exponeringar som möjligt, men om exponeringstiden är flera minuter lång kan det vara en riktig utmaning att samla hundratals stycken.

För att minska bildbruset ytterligare brukar man använda sig utav någonting som kallas för kalibreringsbilder. Dessa är till för att reducera utläsningsbruset samt det termiska bruset.

- ”Dark frames” används främst för att reducera det termiska bruset. Dessa tas genom att täcka objektivets/teleskopets öppning så att inget ljus når kamerasensorn. Genom att ta exponeringar av samma längd, ljuskänslighet (ISO) och temperatur som ljusbilderna (det vill säga de bilder som innehåller information från djuprymdsobjektet) kan man återskapa de dåliga pixlar och artefakter som uppstod i de vanliga exponeringarna. Generellt brukar man ta runt 30 dark frames.[50]
- ”Bias frames” är till för att reducera mönsterbruset som ibland kan synas i bilder tagna av CCD- och CMOS-sensorer. De tas likt dark frames med öppningen helt täckt, dock med en så snabb exponeringstid som möjligt istället för en exponeringstid som motsvarar ljusbildernas längd. Temperaturen spelar ingen roll här men ISO-hastigheten bör vara densamme. Här räcker inte endast 30 bilder utan runt 100 bias frames skapar tillsammans en bättre och tydligare bild av mönsterbruset.[51]

När alla kalibreringsbilder är tagna stackas sedan dark frames för att skapa en ”master dark frame”, samt stackas bias frames för att skapa en ”master bias frame”. Detta görs ofta automatiskt i mjukvaror som är tillämpade för astronomisk fotografering, så processen är relativt simpel. Eftersom

[50] http://darkclearskies.blogspot.se/2012/02/why-subtract-dark-frames.html (2016-03-14)
[51] http://dslr-astrophotography.com/shoot-bias-frames-dslr/ (2016-03-14)

att bias och dark frames i stort sett innehåller det brus och artefakter som är närvarande i ljusbilderna kan de användas för att subtrahera en stor andel av bruset i dessa. Med andra ord subtraherar man informationen som finns i dark och bias frames från ljusbilderna, så att de blir så brusfria som möjligt.

Till slut kan man även brusreducera bilden något i efterbehandlingsprocessen vilket görs på en dator. Det finns flera olika versioner och metoder av brusreducering, men en generell regel är att vara ganska försiktigt i detta steg då en för aggressiv reducering kan leda till alldeles för otydliga detaljer.[52]

3.2.2 Motverkan av jordens rotation

Om man observerar himlen under en stjärnfri kväll kan man märka att stjärnorna rör sig sakta över himlen. I själva verket är det inte himlen som rör sig utan vi själva, eller rättare sagt, hela jorden. Eftersom att jorden roterar ett helt varv på cirka 24 timmar (mer exakt 23 timmar och 54 minuter) verkar stjärnorna vara i en konstant, om så sakta rörelse när vi observerar dem.[53] Rörelsen är tillräckligt snabb för påverka hur astrofotografer måste gå till väga för att fotografera med långa exponeringstider. Om man siktar in sitt teleskop på ett djuprymdsobjekt och sedan låter teleskopet stå stilla kommer objektet snabbt att röra sig ur synfältet. I en lång exponering kommer då bland annat stjärnorna se ut som streck istället för de små, runda cirklar som de egentligen är. En del utnyttjar detta för att skapa förtrollande vidvinkelsbilder av natthimlen (se figur 7), men inom djuprymdsfotografering är denna effekt högst oönskad.

Figur 7: Jordens rotation kan utnyttjas för att skapa förtrollande bilder av stjärnhimlen.[54]

För att motverka jordens rotation använder man sig utav en speciell typ av motoriserad montering, kallad ekvatoriell montering. Genom att vara utrustad med motorer som driver monteringen i samma hastighet som jordrotationen kan objektet fixeras i teleskopets synfält, och på så sätt kan längden på exponeringarna ökas markant innan utdragna stjärnor blir ett problem.[55]

---

[52] http://www.lightstalking.com/reducing-noise-in-photoshop/ (2016-04-14)
[53] http://www.universetoday.com/47181/earths-rotation/ (2016-04-14)
[54] https://en.wikipedia.org/wiki/Star_trail#/media/File:Star_trails_over_the_ESO_3.6-metre_telescope.jpg (2016-04-14)
[55] http://www.astronomysource.com/2011/06/17/german-equatorial-mount/ (2016-04-14)

Förutom motorerna är monteringen designad på ett vis sådan att den inte bara följer stjärnorna i rätt takt utan även roterar i samma takt. Om man skulle sätta sitt teleskop på en vanlig tripod (fotostativ) och följa ett djuprymdsobjekt på himlen genom att flytta tripoden manuellt skulle man märka att objektet roterar i synfältet. Om man ytterligare skulle försöka utrusta tripoden med motorer för att ta långa exponeringar så skulle stjärnorna vid ytterkanterna av bilden bli utdragna cirkulärt (se figur 8)[56].[57]

Figur 8: Fältrotation i en 4 minuter lång exponering av Messier 45, Plejaderna.

Figur 9: En ekvatoriell montering vars polaxel riktas in nära polstjärnan.

Detta åstadkoms genom att den ekvatoriella monteringen har en axel som riktar in sig mot polstjärnan, Alfa Ursae Minoris, vilken är väldigt nära punkten i himlen som står rakt ovanför jordens geografiska pol. Eftersom att jordens rotationsaxel går igenom den geografiska polen kommer polstjärnan att i princip vara statisk på stjärnhimlen, och alla andra stjärnor och djuprymdsobjekt kommer att rotera kring den punkten. Genom att justera monteringens polaxel så att den korresponderar så bra som möjligt med jordens rotationsaxel kommer teleskopet alltså med hjälp av monteringens motorer att peka på en önskad punkt i himlen oavbrutet, trots objektets skenbara rörelse och rotation.[55]

3.2.3 Utrustning

En helt komplett utrustning avsedd för djuprymdsfotografering är ofta vara väldigt dyr och kan ibland innefatta en del komponenter som egentligen inte är livsnödvändiga. Oavsett hur rik man är eller vad man vill åstadkomma med fotograferingen finns det några saker som majoriteten av djuprymdsfotografer behöver:[58]

- **Teleskop:** Det som ”fångar upp” och fokuserar ljuset som emitteras av ett djuprymdsobjekt till kamerasensorn kallas för teleskop (eller objektiv, i vissa fall, om man vill ha något mer kompakt). Man kan enkelt tro att det är teleskopets förstoring som avgör dess kvalité och värde, men det är långt från hela sanningen. Faktum är att många djuprymdsobjekt är så pass stora till ytan i natthimlen att man ofta inte behöver en så markant förstoring. Dock spelar teleskopets öppning en stor roll då en större öppning medför fler uppfångade fotoner vilket är viktigt då objekten ofta är väldigt ljussvaga.[58]
- **Montering:** Den kanske viktigaste delen av en djuprymdsutrustning är monteringen. Som sagt är det idealt att ha en ekvatoriell montering då dessa tillåter långa, oavbrutna

---

[56] http://calgary.rasc.ca/images/field_rotation_4246_T_VB.jpg (2016-04-14)
[57] http://www.astrotx.com/Field%20Rotation.htm (2016-04-14)
[58] https://iso.500px.com/deep-sky-photography-guide-part-1/ (2016-04-14)

exponeringar. Det är viktigt att man har en montering som är tillräckligt stadig och tålig för teleskopet man har – en ostadig montering kommer inte att tillåta optimalt långa exponeringar på grund av skakningar orsakade vind och liknande. Till monteringen behöver man ett 12-volts batteri av något slag för att driva stegmotorerna – till en början kan det räcka med ett enkelt blybatteri, men när man uppdaterar utrustningen och införskaffar fler instrument som kräver strömförsörjning kan det vara värt att uppgradera till något större och mer kapabelt, som ett marinbatteri.[58]

- **Kamerahus:** En digital systemkamera, förkortat DSLR, fungerar utmärkt för fotografering av natthimlen om man inte vill spendera flera tiotusentals kronor för att köpa en högkvalitativ CCD. Kameran kopplas till teleskopet med hjälp av en adapter, kallad T-ring, via öppningen där man normalt har en lins (kallat okular) som tillåter observationer med teleskopet.
- **Viktiga accessoarer:** Adaptrar och liknande som tillåter koppling mellan montering och teleskop såväl som teleskop och kamera är viktiga. Typen av dessa varierar ofta mellan olika tillverkare, men generellt sett brukar man få med det essentiella när man köper ett teleskop eller en montering. En annan viktig accessoar som många använder är en intervalltimer som automatiserar fotograferingsprocessen vilket innebär att man inte själv måste avtrycka kameran igen efter varje exponering.

Ett exempel på hur en djuprymdsutrustning kan se ut:

Teleskop

Kamera

Ekvatoriell montering

Blybatteri

3.3 Skapandet av ett djuprymdsfotografi med en systemkamera

3.3.1 Justering av utrustning och ackvisition av bilder

Att skapa ett djuprymdsfotografi från början till slut är en lång process som ofta sträcker sig över flera dagar, ibland veckor, beroende på hur ambitiös man är och beroende på vilken bildkvalité man vill uppnå. I processen ingår väldigt många steg som kan vara väldigt komplicerade och tidskrävande – här det underlättar om man är en tålmodig person. Jag har gjort mitt bästa för att dokumentera skapelseprocessen av ett av mina djuprymdsfotografier av den öppna stjärnhopen Messier 45, Plejaderna.

Enligt min egen erfarenhet kan det ta flera timmar att förbereda utrustningen, så att vara ute i god tid är en bra idé. När solen inte ännu har gått ner är det betydligt enklare att montera och justera allting så gott som möjligt innan stjärnorna tittar fram. Denna del är ganska smärtfri och enkel: monteringens stativ balanseras (figur 10), teleskop och motvikt fästs på monteringen (figur 11 och 12), kameran fästs på teleskopet (figur 13), rektascension-axeln respektive deklination-axeln (de axlar som bestämmer var teleskopet pekar någonstans) balanseras (figur 14), sladdar och batteri kopplas in i monteringen (figur 15).

Figur 10: Monteringens stativ balanseras. Ofta finns det inbyggda hjälpmedel som visar huruvida det är balanserat eller ej.

Figur 11: Teleskopet fästs i monteringens klämma.

Figur 12: Motvikten som motarbetar teleskopets vikt monteras. Då mitt teleskop väger så pass lite (cirka 3 kg) positioneras vikten väldigt långt in mot monteringens mittpunkt.

Figur 13: Kameran fästs vid teleskopets ändpunkt med hjälp av en T-adapter.

Figur 14: RA (rektascension, grön pil) och DEC (deklination, röd pil) balanseras genom att förskjuta teleskop respektive motvikt. Notera att motviktsstången är sammansatt med teleskopfästet vilket innebär att teleskopet roterar enligt den röda pilens riktning när motviktsstången roterar och vise versa.

Figur 15: Sladdar från stegmotorer och blybatteri kopplas in i rätt uttag.

När alla förberedelser är klara är det bara att invänta mörkret när några av de mer utmanande delarna av processen ska utföras. Bilderna är även här tagna i dagtid för enkelhetens skull, men håll i tanke att följande steg i princip sker i totalt mörker med endast någon enstaka ficklampa till hjälp.

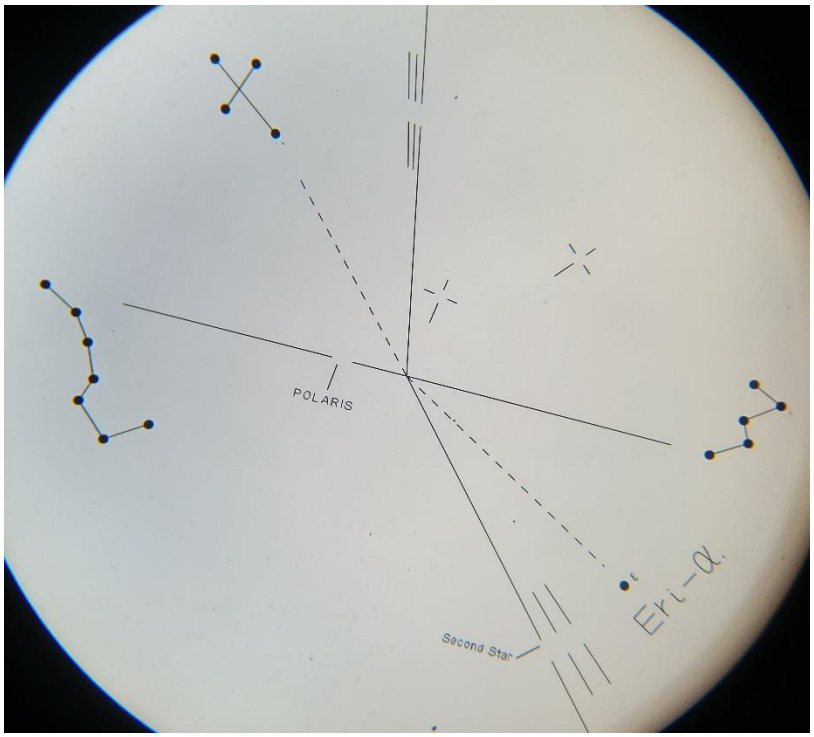
Första steget, vilket definitivt är ett av de viktigaste, är poljusteringen. Beroende på hur väl detta steg görs kan exponeringens längd påverkas markant. Om polaxeln (vilken är samma axel som rektascension-axeln) på monteringen inte korresponderar väl med jordens rotationsaxel kommer

följningen av stjärnorna inte vara särskilt pricksäker, vilket leder till utdragna stjärnor vid långa exponeringar. Därför spenderar många ofta mer än en timme på att bara poljustera monteringen.[59]

Poljusteringen påbörjas när polstjärnan syns tydligt. Med hjälp av en polsökare (figur 16), som är monterad längs monteringens polaxel, kan man relativt enkelt ställa in monteringen så att axeln pekar i stort sett rakt mot himmelspolen, vilken ligger väldigt nära polstjärnan i himlen. Inuti polsökaren sitter bland annat en glasskiva som förenklar hela processen märkvärdigt (figur 17). Genom att justera hur monteringen pekar horisontellt och vertikalt (alltså inte genom att rotera RA och DEC, utan genom om att vrida på de handtag som syns på figur 18) riktar man in polstjärnan, samt några andra kontrollstjärnor, enligt instruktionerna på polsökarens glasskiva. Efter många finjusteringar och kontroller bör monteringen vara godtyckligt poljusterad – om man dock märker att följningen av stjärnorna ändå inte är bra är det bara att fortsätta finslipa justeringen.

Figur 16: Polsökaren är monterad längst med polaxeln.

[59] http://www.themcdonalds.net/richard/index.php?title=Polar_Alignment_of_your_Equatorial_Mount (2016-04-14)



Figur 17: När man tittar genom polsökaren ser man var polstjärnan, samt några ytterligare stjärnor och stjärnbilder, ska positioneras för att uppnå en godtycklig poljustering.

Figur 18: För att poljustera monteringen vrider man på de handtag som i denna figur är märkta med pilar. Det stora handtaget ändrar polaxelns riktning vertikalt och den lilla horisontellt.

När man känner sig färdig med poljusteringen är det dags att lokalisera det objekt man vill fotografera. I mitt fall var det inga problem då Plejaderna är ett av de ljusstarkaste objekten i hela natthimlen och syns redan med blotta ögat.[60] Men det är inte alltid så enkelt – vissa objekt är så pass

[60] http://earthsky.org/favorite-star-patterns/pleiades-star-cluster-enjoys-worldwide-renown (2016-04-14)

ljussvaga att de inte ens syns genom teleskopet, och då får man gå till väga på något annat sätt för att hitta det. En metod kallas stjärnhoppning, då man till exempel utgår från en stjärna som är enkel att hitta och hoppar (med andra ord siktar teleskopet) till stjärna efter stjärna tills man hittar den stjärna som är närmast objektet. Om man sedan jämför de stjärnor man ser i teleskopets synfält med en stjärnkarta kan man enkelt se om man hamnat på rätt plats eller ej.[61]

Om man har en modern montering är chansen stor att den är utrustad med GoTo funktion, vilket kort sagt innebär att monteringen styr teleskopet automatiskt till det objekt man vill observera/fotografera.[61] Tyvärr har jag inte den lyxen utan måste lokalisera objekten manuellt. Till min hjälp har jag ett mindre teleskop som sitter på huvudteleskopet, kallad sökare (bild 19). Den har en betydligt lägre förstoring vilket ger en översiktlig men ändå tillräcklig bild av var teleskopet pekar någonstans. När man hittat rätt område och kan se det i sökaren är det bara att ställa in objektets exakta position i korssiktet som syns i sökarens fält (bild 20).

[61] http://www.nightskyinfo.com/star-hopping/ (2016-04-14)

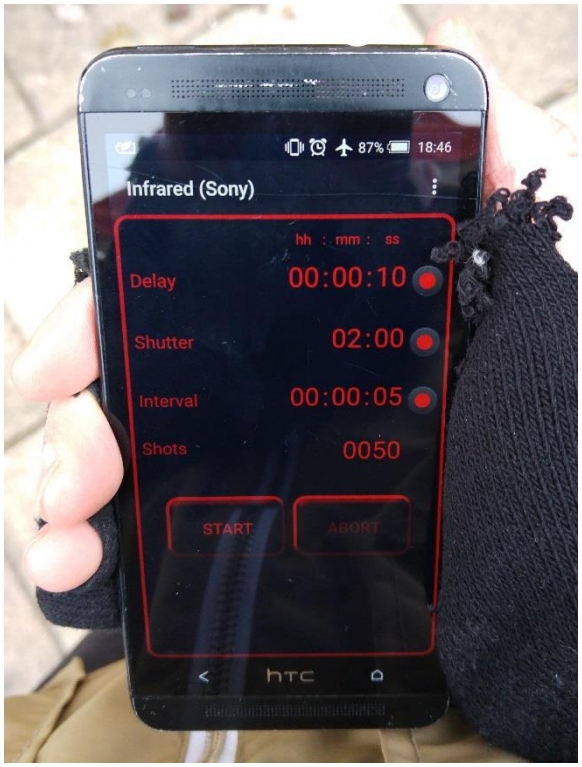
Figur 19: Sökaren har mindre förstoring än huvudteleskopet vilket gör det enkelt att lokalisera objekt i natthimlen.

Figur 20: I sökarens synfält finns ett korssikte vilket gör det enkelt att placera objektet precis i mitten, om så önskas..

När teleskopet är inriktat på rätt ställe i himlen och alla förberedelser är klara är det i princip bara kamerainställningar kvar. Det är viktigt att ställa in kameran på manuellt läge så att inga variabler ändras från bild till bild. Dessutom vill man ha full kontroll över kameran så att man kan finslipa inställningarna så att de passar just djuprymdsfotografering. För detta objekt valde jag att ta kort med ljuskänsligheten ISO800, vilket tillsammans med ISO1600 är standard vad gäller djuprymdsfotografering med systemkameror (figur 21). Exponeringstiden ställde jag in på ”BULB” vilket innebär att man trycker och avtrycker själv, till exempel med hjälp av en intervalltimer vilket jag använder en mobilapplikation för (figur 22). Sist men inte minst är det viktigt att man ställer in kameran att ta bilder i RAW-format vilket bibehåller bildkvalitén betydligt bättre än något annat

format i efterbehandlingsprocessen.[62] Efter detta är det bara att köra igång intervalltimern och börja samla exponeringar som sedan ska stackas och efterbehandlas i en dator.

Figur 21: Kamerans inställningar i manuellt löge.



Figur 22: Intervalltimern skickar IR-signaler till kameran när varje exponering ska påbörjas och avslutas. "Shutter" står för exponeringstiden vilket i detta fall var 2 minuter per bild. "Intervall" står för fördröjningen mellan varje exponering.

[62] http://www.astropix.com/HTML/I_ASTROP/SETTINGS.HTM (2016-04-14)

När man är nöjd med antalet exponeringar man fått, vilket i mitt fall blev 45 stycken, är det dags för den sista biten innan utrustningen plockas ned: kalibreringsbilder. Jag har inga dokumentationer av just detta steg då det är ganska självförklarligt – man täcker för teleskopöppningen och tar dark- och bias frames, båda vilka jag har beskrivit i kapitlet angående bildbrus. I mitt fall blev det ungefär 20 dark frames och 100 bias frames.

3.3.2 Bildbehandling

När alla data är samlad återstår bildbehandlingsprocessen. Det är under denna del som det mesta av magin sker, det vill säga där man tar fram de förtrollande strukturer och färger som befinns i djuprymdsobjektet. Medan det inte finns tillräckligt med utrymme i detta arbete för att beskriva processen detaljerat så finns det några delar som anses vara essentiella och som förbättrar bilden markant.

För följande steg använde jag mig utav programmet *PixInsight,* skapat av Pleiades Astrophoto S.L.[63] Programmet är gjort specifikt för bildbehandling av astrofotografier och används flitigt av erfarna astrofotografer.[64]

Först av allt gäller det att kalibrera och stacka bilderna, vilket tidigare nämnt görs för att minimera bildbruset. För detta används modulen *Batch Preprocessing* vilket i princip utför processen automatiskt. Vid en jämförelse mellan en förstorad enstaka okalibrerad exponering och den kalibrerade och stackade bilden (figur 23) ser man hur viktigt detta steg är – bruset har förminskats nämnvärt. Det syns också tydligt hur mycket mer ljussvaga detaljer som frambringas efter detta steg vilket beror på att bruset då inte ”gömmer” dessa lika mycket.[65]

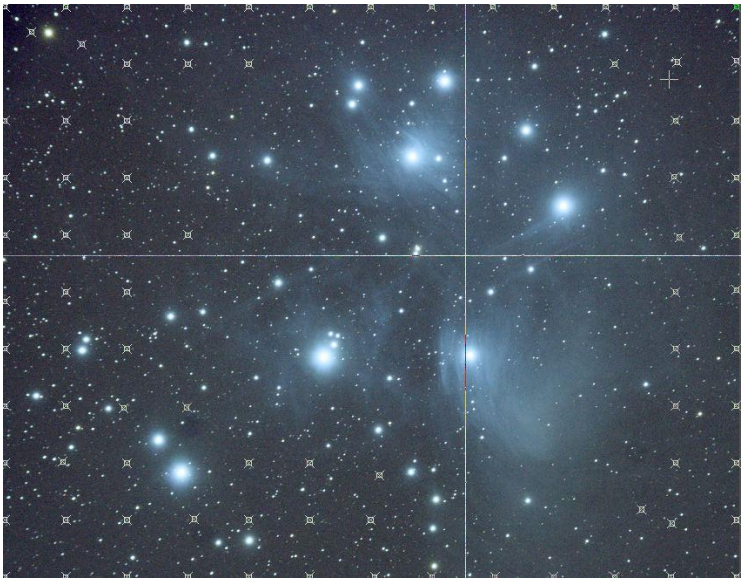
---

[63] https://pixinsight.com/ (2016-04-24)
[64] http://www.harrysastroshed.com/pixinsight/pixinsight%20video%20html/Pixinsighthome.html (2016-04-24)
[65] https://www.youtube.com/watch?v=NG6BZqAXym4 (2016-04-24)

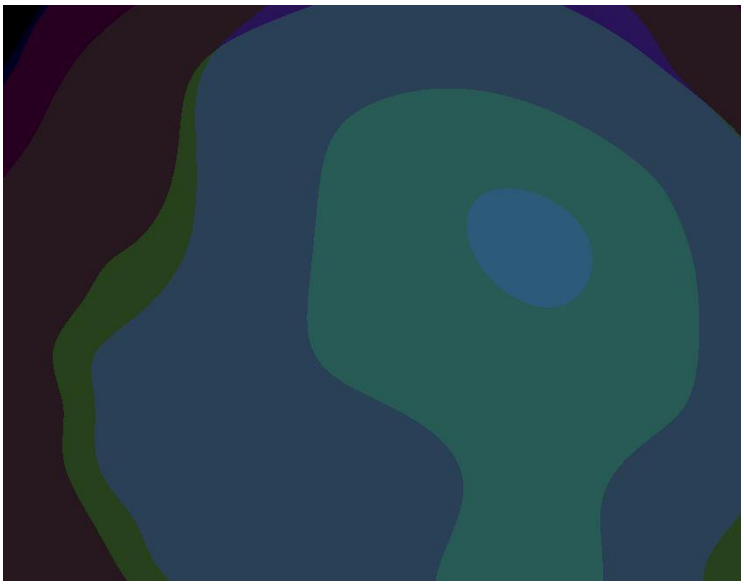
Figur 23: Skillnaden i detaljer och brusnivå före respektive efter kalibrering och stackning.

Vidare kommer ett annat väldigt viktig steg som genomförs för att reducera övertoningar och felaktiga färger i bakgrunden av bilden. Kameran fångar inte enbart upp de fotoner som emitterats av djuprymdsobjektet, utan även ljus som emitteras av bland annat artificiella ljus. Detta ger upphov till ett bildfält som inte är helt plant, något som har en extra stor inverkan på fotografier som är tagna nära städer där stadsljus lyser upp hela himlen. För att skapa ett plant fält används modulen *DynamicBackgroundExtraction*. Genom att sätta ut markörer runtomkring djuprymdsobjektet (figur 24) skapar modulen en bild av ljus- och färgförändringar i bakgrunden (figur 25) som sedan subtraheras från bilden, något som till stor del förminskar bakgrundens felaktigheter (figur 26).[66]

[66] http://www.lightvortexastronomy.com/tutorial-reducing-light-pollution-effects-removing-gradients-and-artificial-flattening.html (2016-04-24)



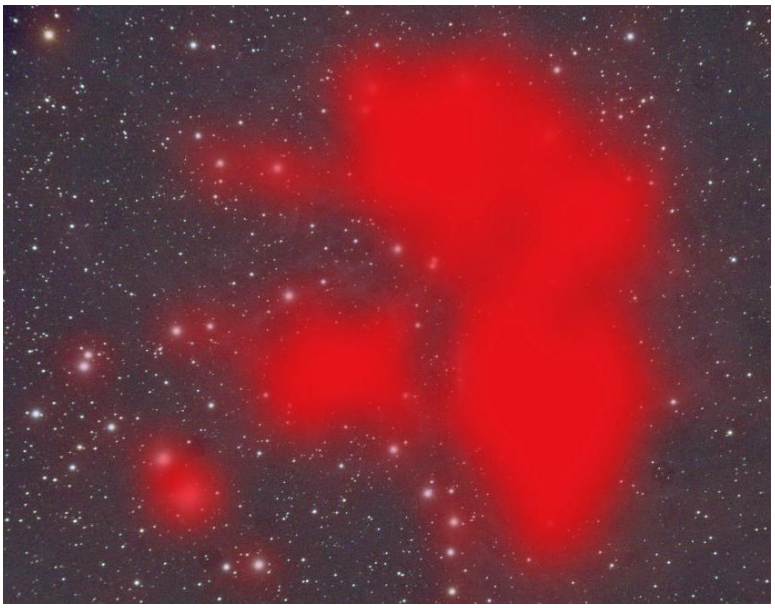
Figur 24: Markörer placeras manuellt på de mörka delarna av bilden.



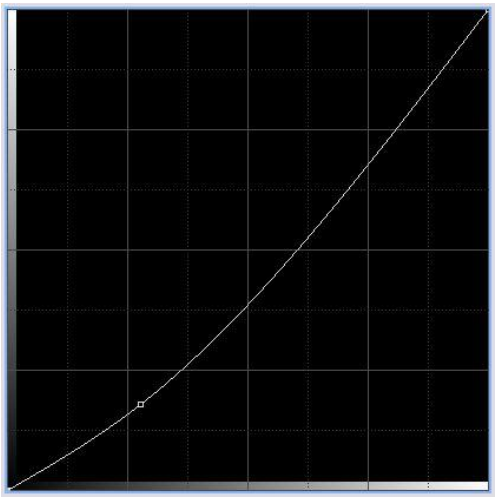
Figur 25: En ungefärlig bild av övertoningar och felaktiga färger skapas utifrån de utplacerade markörerna.

Figur 26: Före och efter borttagning av övertoning och felaktiga färger. Efter-bilden behåller ungefär samma ljusstyrka över hela bakgrunden, jämfört med före-bilden vars bakgrund varierar över fältet.

Bilden börjar redan se bra ut, men det kan vara svårt att skilja mellan djuprymdsobjektets svagare portioner och bakgrunden. Kort sagt är bakgrunden inte riktigt lika mörk som den framstår vid verkliga observationer, något som åtgärdas genom att sänka dess ljusstyrka med modulen *CurvesTransformation*. För att skydda de delar vars ljusstyrka ska bevaras, det vill säga den portion av bilden som består av djuprymdsobjektet, den öppna stjärnhopen Plejaderna, skapas en ”mask” (figur 27). Genom att dra ner kurvans vänstra portion (figur 28), vilken representerar ljusstyrkan av bildens mörka delar, blir bakgrunden mörkare och därmed blir djuprymdsobjektet mer framstående (figur 29).



Figur 27: Illustration av de delar som skyddas av masken. De röda delarna, som skymmer djuprymdsobjektet, kommer inte att påverkas lika mycket när en instans av CurvesTransformation appliceras.



Figur 28: Kurvan representerar ljusstyrkan av de mörka respektive ljusa delarna av bilden. För att minska ljusstyrkan på bakgrunden, som redan är relativt mörk, justeras kurvans vänstra portion.

Figur 29: Före och efter en instans av CurvesTransformation. Tack vare kontrasten mellan bakgrunden och djuprymdsobjektet är det nu betydligt enklare att avskilja var objektets konturer befinner sig.

En del skulle nog anse att bilden ser klar ut, men ännu finns det några saker som kan förbättras. En av dessa är färgen. För tillfället ser färgen lite tråkigt och livlös ut, samt är den blåa nyansen en aning för ljus. Detta beror dels på grönt brus vilket ofta kan finnas i astrofotografier. Med väldigt få undantag finns det i princip inga djuprymdsobjekt som innehåller gröna färger, vilket innebär att man ganska säkert kan reducera den gröna färgen i bilden utan att ta bort de färger som objektet består av i

verkligheten. Detta används modulen *SCNR* väldigt smidigt till – det gröna bruset försvinner med ett knapptryck (figur 30).[67]

Figur 30: Före och efter en instans av SCNR. I jämförelsen syns det tydligt hur en reducering av det gröna bildbruset ger bilden en djupare och rikare blå färg.

De återstående stegen består främst av finjusteringar, så som borttagning av märken från smutsfläckar på teleskoplinsen och/eller ytterligare justeringar av färg, ljusstyrka, kontrast och dylikt. Här handlar det framförallt om egna preferenser – vissa gillar till exempel att vara extra aggressiv med färgens mättnad samtidigt som en del föredrar att behålla den en aning nertonad. Själv ligger jag någonstans mittemellan och brukar varken göra mina bilder för livlösa eller för dramatiska.

Efter några finjusteringar, framförallt gällande färgen och kontrasten, samt av en bildrotation för att få ett annorlunda perspektiv, känner jag mig färdig med min bild. Jämfört med hur en enstaka bild ser ut direkt ur kameran (figur 31) kan man konstatera att den efterbehandlade bilden (figur 32), som består av 45 exponeringar och runt 50 kalibreringsbilder, ser betydligt bättre och mer verklighetstrogen ut då den innehåller fler detaljer, har en djupare färg och består av mycket mindre brus.

[67] http://www.pixinsight.com/doc/legacy/LE/21_noise_reduction/scnr/scnr.html (2016-04-25)

Figur 31: En enstaka exponering tagen direkt ur kameran.

Figur 32: Den slutgiltiga produkten, kalibrerad, stackad och efterbehandlad.

3.4 Astronomisk fotografering inom forskning

För att bidra till astronomisk forskning behöver man inte ha en STEM-relaterad (Science, Technology, Engineering and Mathematics) examen och/eller vara en del av en stor forskningsgrupp. Faktum är att amatörastronomer kan bidra, till exempel, genom att analysera data om asteroider med hjälp av CCD-kameror. Detta handlar dock mer om att analysera det reflekterade ljuset och dess egenskaper, någonting som kallas fotospektrometri, mer än att skapa en bild av himlakroppen som observeras och klassas därmed inte direkt som fotografering, trots att en kamerasensor används.[68]

Inom den professionella forskningsbranschen, däremot, har astronomisk fotografering bidragit till mängder av upptäckter och genombrott som har format vår syn på universum. Mest nämnvärt är kanske Hubbleteleskopet, vars lista av upptäckter och vetenskapliga observationer fortsätter att växa.[69] Några intressanta händelser och upptäckter är följande: [70]

- **Kollisioner mellan komet och planet:** År 1994 fotograferades en kollision av kometen Shoemaker-Levy 9 och Jupiter vilket gav en inblick hur kometer kan ha levererat vatten och andra material till solsystemets planeter.
- **Dvärgplaneter och exoplaneter:** Innan rymdsonden Dawn skickades till dvärgplaneten Ceres kunde Hubble fotografera ljussvaga respektive ljusstarka regioner på dess yta. Fyra nya månar av dvärgplaneten Pluto upptäcktes också. Hubble tog dessutom det första fotot av en exoplanet, det vill säga en planet bortom vårt solsystem.
- **Observationer av galaxer:** Hubble har fotograferat mängder bilder på galaxer som kolliderar vilket tyder på att det är vanligt förekommande i vårt universum. Dessutom har rymdteleskopet bevisat, till största sannolikhet, att varje galax i universum har ett svart hål i sitt center – en punkt vars gravitation är så stark att inte ens ljus kan rymma dess attraktion.
- **Supernovor:** Hubble har kunnat fotografera exploderande stjärnor, kallade supernovor, och därmed fått en förståelse över hur dess struktur och egenskaper utvecklas med tiden.
- **Universums ålder:** Genom att fotografera och mäta avståndet till vissa speciella pulserande stjärnor, kallade cepheieder, hjälpte Hubble forskarvärlden att estimera, till stor säkerhet, universums ålder och accelerationen av dess expansion.

Även om Hubble är ett av de mesta kända astronomiska verktygen så finns det betydligt fler teleskop och projekt som bidrar till viktig forskning med hjälp av fotografering. Ett ytterligare exempel, bland flera, är Spitzerteleskopet som också är i en omloppsbana kring jorden. Jämfört med Hubbleteleskopet fotograferar Spitzer i infrarött ljus vilket inte är synligt för det mänskliga ögat. Detta innebär att man kan observera och fotografera en helt ny värld som aldrig tidigare åtkommits, så som centerregionen av galaxer och bruna dvärgar vilka är speciella stjärnor vars massa är för låg för att kärnreaktioner i kärnan ska kunna ske.[71]

---

[68] http://www.skyandtelescope.com/get-involved/pro-am-collaboration/how-to-get-involved-in-amateur-research/ (2016-04-25)
[69] http://hubblesite.org/hubble_discoveries/breakthroughs/ (2016-04-25)
[70] http://www.space.com/29157-hubble-space-telescope-science-legacy.html (2016-04-25)
[71] http://www.nasa.gov/mission_pages/spitzer/infrared/index.html (2016-04-25)

4. Diskussion

4.1 Metoddiskussion

Jag anser att denna studie har en godtagbar reliabilitet då den i många fall hänvisar till första- eller andrahandskällor. En andel av källorna, däremot, härstammar från bloggar eller artiklar skrivna av privatpersoner och är därmed inte baserade på forskning utan snarare på empiriska erfarenheter. Detta beror på att det helt enkelt inte finns tillräckligt med vetenskapliga studier angående ämnet amatör astrofotografering. Dessa källor stämmer dock överens med varandra, samt visar mitt resultat att informationen kan appliceras i verkligheten med godtyckliga resultat, vilket tyder på att studiens reliabilitet som sagt är godtagbar. Rapportens validitet är hög då den undersöker precis det som frågeställningarna antyder.

För att få ett ännu tydligare resultat kunde studien ha begränsats en aning och använt fler säkra källor, framförallt primärkällor, så som böcker baserade på forskning istället för artiklar skrivna av privatpersoner. Detta skulle innebära att all information, även det som inte är ren fakta, med största säkerhet skulle vara korrekt. Inte för att säga att de nuvarande källorna inte stämmer, men det är svårt att med säkerhet kontrollera giltigheten av så många källor, även om de verkar stämma överens med varandra.

Ämnet var möjligtvis en aning för brett och kunde ha avgränsats ännu mer vilket kunde ha gett plats åt mer detaljerade förklaringar. Jag tror trots detta att jag hittade en relativt bra balans mellan den andel information och nivån av detaljer som presenterades vilket innebär att arbetet innehåller intressant och relevant information.

4.2 Resultatdiskussion

Resultatet av min studie korresponderar väl med de frågeställningar jag sökte att svara; det gav en grundläggande såväl som djupare inblick inom ämnet och dess historiska utveckling. Syftet, vilket var att besvara frågeställningarna såväl som att helt enkelt få en djupare insikt i ämnet, uppfylldes därmed med gott marginal.

Den historiska utvecklingen angående kameran såväl som dess användning inom astronomisk fotografering var kanske inte så viktig för att få en djupare förståelse om hur amatörastronomer fotograferar rymden. Då amatörastronomer började fotografera rymden nästan synkroniserat med utvecklingen av kameran anser jag ändå att informationen var tillräckligt relevant och intressant för att få ta plats i en frågeställning för sig. Frågeställningen gav även upphov till möjligheten att få översiktlig syn över skillnaden mellan den teknologi och de processer som krävs för att ta ett fotografi skiljer sig mellan nu och då – idag krävs det, till exempel, exponeringar av endast ett antal minuter för att fånga bilder av djuprymdsobjekt, medan det på 1800-talet krävdes exponeringar av flera timmar, ibland dagar, för att få en bild av någonting i huvud taget. Detta beror nog till största del på utvecklingen av digitala kamerasensorer, bland annat CMOS, som idag har blivit betydligt ljuskänsligare under senaste tiden.

Trots digitalkamerans ljuskänslighet krävs det, vilket tydliggjordes i punkt 3.2 och 3.3, ett flertal olika processer för att till fullo skapa ett djuprymdsfotografi. Genom att granska resultatet av denna studie är det inte svårt att inse hur pass mycket bildbruset orsakat av sensorn påverkar kvalitén på den slutgiltiga produkten, och därmed hur viktigt det är inom djuprymdsfotografering att använda sig utav av ett flertal långa exponeringar som stackas tillsammans med en subtraktion av

kalibreringsbilder. Detta syns som sagt tydligt i en jämförelse mellan figur 31 och figur 32. Implikationerna av att fotografera djuprymd från jorden, framförallt jordens rotation, ljusföreningar och atmosfär, försvårar processen men kan motverkas tack vare dagens noggranna ingenjörskap.

Även om informationen i vissa källor kan ifrågasättas då de inte direkt baseras på forskning så blev den slutgiltiga produkten i punkt 3.3, vilken till största del är baserad på den teori som beskrevs i punkt 3.2, väldigt lyckad – bilden är betydligt mer brusfril, är rikare på detaljer och har djupare färger än en enstaka exponering av samma längd. Detta tyder på att informationen som presenteras i punkt 3.2 kan appliceras i praktiken med godtyckliga resultat, vilket talar för dess äkthet. Det framstår även tydligt hur efterbehandlingen kan ta fram det bästa av bilden.

Enligt punkt 3.4 i resultatsektionen har astronomisk fotografering förbättrat vår förståelse av universum markant, både inom kosmologiska aspekter såväl som aspekter gällande vårt solsystem. Det är, enligt mig, svårt att inte bli fascinerad över hur någonting som endast är en hobbygöra för amatörer samtidigt kan ge upphov till banbrytande upptäckter inom forskning.

4.3 Slutsats

I detta arbete har jag fått en djupare förståelse för djuprymdsfotograferingens historiska bakgrund, den teori och de tekniska aspekter som ligger till dess grund samt för dess applikation inom forskning. Min slutsats är att:

- Möjligheten för amatörer att fotografera djuprymdsobjekt på ett relativt smidigt sätt till stor del beror på utvecklingen av kamerasensorn
- Kombinationen av ett flertal långa exponeringar, subtraktionen av kalibreringsbilder och efterbehandling ger goda resultat vad gäller en djuprymdbilds kvalité
- Djuprymdfotografering används för banbrytande upptäckter gällande universum såväl som av amatörastronomer som helt enkelt har en fascination av rymden samt av fotografering

4.4 Vidare forskning

Ett ytterligare område att utforska skulle kunna vara djuprymdsfotografering med CCD-kameror som används specifikt för astronomisk fotografering, vilka ofta ger bättre resultat än digitala systemkameror men i regel är betydligt dyrare. Det skulle också vara intressant att inte bara undersöka fotografering av djuprymdsobjekt utan även av himlakroppar så som månen, solen och solsystemets planeter.

5. Källförteckning

Litteratur

Robert E. Krebs (2004). *Groundbreaking Scientific Experiments, Inventions and Discoveries of the Middle Ages and the Renaissance.* Greenwood Press. p. 20 (2015-11-11)

Potonniée, Georges (1973). *The history of the discovery of photography*. Arno Press. p. 50. (2015-11-18)

Gernsheim, Helmut and Gernsheim, Alison (1955) *The history of photography from the earliest use of the camera obscura in the eleventh century up to 1914*. Oxford University Press. p. 20. (2015-11-18)

Litchfield, R. 1903. *Tom Wedgwood, the First Photographer: An Account of His Life.* London, Duckworth and Co. Kapitel XIII (2015-11-25)

Hirsch, Robert. *Seizing the Light: A History of Photography*. New York: McGraw-Hill, 2000. Print. (2015-11-25)

National Geographic, October 1989, pg. 530 (2015-12-02)

Karlheinz Keller. *Photography*. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, 2005, Wiley-VCH, Weinheim (2015-12-02)

Rogers, David (2007). *The Chemistry of Photography: From Classical to Digital Technologies.* Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry (2015-12-02)

Sebastian, Anton. *A dictionary of the history of science*. p. 75 (2016-02-03)

Harrison, David (2002). *Complementarity and the Copenhagen Interpretation of Quantum Mechanics*. *UPSCALE*. Dept. of Physics, U. of Toronto (2016-04-25)

Hannavy John (2013). *Encyclopedia of Nineteenth-Century Photography*. Routledge. p. 251. (2016-05-11)

Digitala källor

Space Shuttle STS-31. NASA.
http://www.nasa.gov/mission_pages/shuttle/shuttlemissions/archives/sts-31.html (2015-10-14)

About the Hubble Space Telescope.
http://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/story/index.html (2016-02-03)

Spitzer Space Telescope - Mission Overview.http://www.nasa.gov/mission_pages/spitzer/infrared/index.html (2016-04-25)

Hubble Essentials. Hubblesite.
http://hubblesite.org/the_telescope/hubble_essentials/ (2015-10-14)

Hubble breakthroughs.
http://hubblesite.org/hubble_discoveries/breakthroughs/ (2016-04-25)

History of Astrophotography Timeline. Astrosurf, Pedro Ré.
http://www.astrosurf.com/re/history_astrophotography_timeline.pdf (2015-10-14)

The Hubble Deep Field: The Most Important Image Ever Taken. DeepAstronomy.
http://www.deepastronomy.com/hubble-deep-field.html (2015-10-20)

Geniet Newton. Populär Historia.
http://www.popularhistoria.se/artiklar/geniet-newton/ (2016-04-25)

Light – waves or particles?. Nuffield Foundation.
http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/light-%E2%80%93-waves-or-particles (2016-04-25)

Christiaan Hyugens. MacTutor History of Mathematics archive.
http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/history/Biographies/Huygens.html (2016-04-25)

The history of light : waves and photons
https://www.youtube.com/watch?v=OLCqaWaV6jA (2016-04-25)

Young's Experiment. Physics Classroom.
http://www.physicsclassroom.com/class/light/Lesson-3/Young-s-Experiment (2016-04-25)

Photoelectric Effect. The Physics Hypertextbook
http://physics.info/photoelectric/ (2016-04-25)

The Camera Obscura : Aristotle to Zahn. Adventures in Cybersound.
http://web.archive.org/web/20080420165232/http://www.acmi.net.au/AIC/CAMERA_OBSCURA.html (2015-11-11)

Is the *Shroud of Turin* the first recorded photograph?. Nicholas Peter Legh Allen.
http://repository.up.ac.za/xmlui/bitstream/handle/2263/16857/Allen_Shroud%281993%29.pdf (2015-11-11)

Albertus Magnus. Science, Optics & You.
http://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/magnus.html (2015-11-18)

Joseph Nicéphore Niépce. Harry Ransom Center.
http://www.hrc.utexas.edu/exhibitions/permanent/firstphotograph/niepce/#top (2015-11-25)

Process.
http://www.hrc.utexas.edu/exhibitions/permanent/firstphotograph/process/#top (2015-11-25)

William Henry Fox Talbot (1800 - 1877). BBC.
http://www.bbc.co.uk/history/historic_figures/fox_talbot_william_henry.shtml

Den första digitalkameran. National Geographic Sverige.
http://natgeo.se/foto/den-forsta-digitalkameran (2016-02-03)

1990. DigiCamHistory.
http://www.digicamhistory.com/1990.html (2016-02-03)

History of Digital Photography. Pratical Photography Tips.
http://www.practicalphotographytips.com/practicalphotographytips/history-of-digital-photography.html (2016-02-03)

January 2, 1839: First Daguerreotype of the Moon. APS physics.
https://www.aps.org/publications/apsnews/201301/physicshistory.cfm (2016-02-03)

J. B. Hearnshaw. *The measurement of starlight: two centuries of astronomical photometry.* p. 122 (2016-02-03)

Astrophotography - The Amateur Connection. David Malin, Dennis Di Cicco.
http://encyclopedia.jrank.org/articles/pages/1115/Astrophotography.html (2016-02-03)

CMOS Is Winning the Camera Sensor Battle, and Here's Why. TechHive.
http://www.techhive.com/article/246931/cmos_is_winning_the_camera_sensor_battle_and_heres_why.html (2016-02-17)

CMOS Fundamentals. Silicon Imaging.
http://www.siliconimaging.com/cmos_fundamentals.htm (2016-02-17)

Digital Cameras: Does Pixel Size Matter?. ClarkVision.
http://www.clarkvision.com/articles/does.pixel.size.matter/ (2016-02-17)

Vi förklarar: Digitalt brus. Kamera & bild.
http://www.kamerabild.se/fotoskolor/vi-f-rklarar-digitalt-brus (2016-03-15)

Noise in photographic images. Imatest.
http://www.imatest.com/docs/noise/ (2016-02-18)

Quick Start Guide to Beginner Digital Astrophotography. Catching the Light by Jerry Lodriguss.
http://www.astropix.com/HTML/I_ASTROP/QUICK.HTM (2016-02 -24)

Signals and Noise.
http://www.astropix.com/HTML/I_ASTROP/SIGNAL.HTM (2016-03-14)

Long-Exposure Astrophotography. NatureScapes.
https://www.naturescapes.net/articles/techniques/long-exposure-astrophotography/ (2016-03-14)

Signal to Noise: Understanding it, Measuring it, and Improving it. Cloudy Nights.
http://www.cloudynights.com/page/articles/cat/fishing-for-photons/signal-to-noise-understanding-it-measuring-it-and-improving-it-part-1-r1895 (2016-03-14)

Astrophotography: Star Photo Stacking. Instructables.
http://www.instructables.com/id/Astrophotography-Star-Photo-Stacking/step2/How-does-it-work/ (2016-03-14)

Why Subtract Dark Frames?. Dark Clear Skies.
http://darkclearskies.blogspot.se/2012/02/why-subtract-dark-frames.html (2016-03-14)

How to shoot bias frames with a DSLR. DSLR Astrophotography.
http://dslr-astrophotography.com/shoot-bias-frames-dslr/ (2016-03-14)

What Every Photographer Should Know About Reducing Noise in Photoshop. Light Stalking.
http://www.lightstalking.com/reducing-noise-in-photoshop/ (2016-04-14)

The Rotation of the Earth. Universe Today.
http://www.universetoday.com/47181/earths-rotation/ (2016-04-14)

German Equatorial Mount - Part One. Astronomy Source.
http://www.astronomysource.com/2011/06/17/german-equatorial-mount/ (2016-04-14)

Field rotation. AstroTx.
http://www.astrotx.com/Field%20Rotation.htm (2016-04-14)

Deep-sky Photography Guide. 500px.
https://iso.500px.com/deep-sky-photography-guide-part-1/ (2016-04-14)

Polar Alignment of your Equatorial Mount. The McDonald Network.
http://www.themcdonalds.net/richard/index.php?title=Polar_Alignment_of_your_Equatorial_Mount (2016-04-14)

Pleiades star cluster: Famous Seven Sisters. EarthSky.
http://earthsky.org/favorite-star-patterns/pleiades-star-cluster-enjoys-worldwide-renown (2016-04-14)

Star Hopping Guide. NightSkyInfo.
http://www.nightskyinfo.com/star-hopping/ (2016-04-14)

Digital Camera Settings for Astrophotography.
http://www.astropix.com/HTML/I_ASTROP/SETTINGS.HTM (2016-04-14)

PixInsight. Pleiades Astrophoto S.L.
https://pixinsight.com/ (2016-04-24)

PixInsight Video Tutorials. Harry's Astro Shed.
http://www.harrysastroshed.com/pixinsight/pixinsight%20video%20html/Pixinsighthome.html (2016-04-24)

PI Batch Processing Script.
https://www.youtube.com/watch?v=NG6BZqAXym4 (2016-04-24)

Reducing Light Pollution Effects, Removing Gradients and Artificial Flattening. Light Vortex Astronomy.
http://www.lightvortexastronomy.com/tutorial-reducing-light-pollution-effects-removing-gradients-and-artificial-flattening.html (2016-04-24)

The SCNR Process
http://www.pixinsight.com/doc/legacy/LE/21_noise_reduction/scnr/scnr.html (2016-04-25)

How to Get involved in Amateur Research. Sky & Telescope.
http://www.skyandtelescope.com/get-involved/pro-am-collaboration/how-to-get-involved-in-amateur-research/ (2016-04-25)

How the Hubble Space Telescope Changed Our View of the Cosmos. Space.com.
http://www.space.com/29157-hubble-space-telescope-science-legacy.html (2016-04-25)

The Daguerretype Process. Sussex Photohistory.
http://www.photohistory-sussex.co.uk/dagprocess.htm (2016-05-11)

The Calotype Process. University of Glasgow.
http://www.gla.ac.uk/services/specialcollections/collectionsa-z/hilladamson/calotypeprocess/ (2016-05-11)