

**МАТЕМАТИЧКА ГИМНАЗИЈА
У БЕОГРАДУ**

**МАТУРСКИ РАД
из астрономије
ХАБЛОВ ТЕЛЕСКОП**

ментор: Слободан Спремо

ученик : Александар Савић, IVд

Београд, јун 2016.

САДРЖАЈ

1. Увод	1
2. Замисао, дизајн и циљ	2
2.1 Зашто свемирски телескоп?	2
2.2 Предлози, претходници и финансирање	3
3. Конструкција и карактеристике	5
3.1 Основни принцип рада	5
3.2 Научни инструменти	6
3.3 Оптички систем	13
3.3.1 Проблем са примарним огледалом	14
3.4 Делови и системи летелице	15
3.4.1 Систем за усмеравање телескопа	18
4. Сервисне мисије	20
4.1 Сервисна мисија 1	20
4.2 Сервисна мисија 2	21
4.3 Сервисна мисија 3А	22
4.4 Сервисна мисија 3Б	22
4.5 Сервисна мисија 4	22
5. Најзначајнија открића	24
6. Будућност Хабловог телескопа	25
6.1 Наследници	25
7. Закључак	26
8. Литература	27

1. Увод

Још од давнина човек се интересовао и размишљао о звездама и планетама на ноћном небу. Бескрајни простор који лежи изван земље је увек био нешто о чему може да се размишља и прича. Данашње знање о космосу се делимично заснива и на закључцима древних цивилизација које су се ослањале на посматрање неба голим оком. Пре више хиљада година установљене су основне раздаљине, а правилна кретања Сунца, Месеца и планета коришћена су за мерење времена и за разумевање земљиног места у Космосу.

Стари Грци су у другом веку пре н. е. тачно одредили положаје многих звезда и поделили их у шест категорија према значају. Почетком једанаестог века арапски математичар Алхазен је поставио основне принципе оптике, а године 1609. Галилео Галилеј је окренуо телескоп ка небу и почео детаљно да проучава планете и Месец. Од тада су уследила бројна значајна открића. Свемирски телескоп Хабл (ХСТ) је аргументовано најважнији научни инструмент икада направљен. Астрономи су знали да би велики телескоп у орбити фундаментално променио наше разумевање свемира. Како год, заједно са великим напретком телескопа на земљи, ХСТ је иницирао револуцију у разумевању универзума, невиђену још од Галилејевог времена. Сада се зна старост свемира до на пар процената, потврђено је постојање црних рупа, примећене су планете око других звезда, а откривене су и галаксије настале мање од милијарду година након Великог праска.

У овом раду биће приказан кратак осврт на историју и развој Свемирског телескопа Хабл, као и на неке битне чињенице и догађаје који су претходили самом Хабловом телескопу. Затим, биће обрађено и све оно што се дешавало у вези са телескопом у последњих двадесет шест година, пре свега одређени проблеми и потешкоће које су везане за цео пројекат.

Свакако неизоставан део овог рада ће бити већи број фотографија које је направио ХСТ. То су верни показатељи успешности ове мисије, овековечена изузетно значајна открића, а у неком свом делу представљају и својеврсну уметност и приказ лепоте нашег универзума.

2. Замисао, дизајн и циљ

2.1. Зашто свемирски телескоп?

Хаблов телескоп је директно решење проблема са којим се сусрећу телескопи на земљи још од њиховог првог коришћења, а то је атмосфера. У вези са тим издвајају се два главна недостатка које треба превазићи.

Померање ваздушних „цепова“ у Земљиној атмосфери омета поглед телескопа са земље, неважно колико велики или напредни они били. Ова „атмосферска дисторзија“ је разлог зашто нам се чини да звезде трепере кад гледамо у небо. Такође, атмосфера делимично блокира или апсорбује одређене таласне дужине зрачења, као што су ултра-љубичасти, гама и X-зраци, пре него што дођу до Земље.

Новији телескопи на земљи користе напредне технологије како би покушали да исправе дисторзију, али не постоји начин да се на земљи виде таласне дужине које атмосфере спречава да уопште стигну до планете.

Најефикаснији начин да се избегну проблеми које ствара атмосфера јесте да се телескоп смести изван ње. У случају Хабловог телескопа, 552 km изнад површине Земље.

Lyman Spitzer (1914-1997), светски познат теоретски астрофизичар, је створио концепт телескопа у свемиру. Током 1946. године, више од десет година пре првог лансирања сателита, Spitzer је предложио развој велике свемирске обсерваторије на коју неће утицати Земљина атмосфера. Ова узвишена визија је на крају довела до Хабловог телескопа (слика 1).



Слика 1 – Хаблов телескоп

Spitzer је поред свог доприноса у виду идеје и активно учествовао у осмишљавању и развоју самог ХСТ-а. Током шездесетих и седамдесетих година, он је убеђивао, како амерички Конгрес тако и научну заједницу, у вредност и значај таквог пројекта. Чак и након лансирања Хабловог телескопа 1990. године, Spitzer остаје дубоко умешан у цео програм.

Поред Spitzer-а, битно је и напоменути и астронома по којем је телескоп и добио име. Edwin Powell Hubble (1889-1953), током свог научног рада је направио нека од најважнијих открића у модерној астрономији. То су свакако октриће да је наша галаксија Млечни пут само једна од многих других галаксија, а његово вероватно највеће откриће јесте то да се свемир „шири“. У његову част је и овај телескоп од невероватног значаја и понео његово име.

2.2 Предлози, претходници и финансирање

Астрономија заснована на истраживањима из свемира је започета у веома малим размерама током Другог светског рата, услед развоја ракетних технологија. NASA је 1962. године лансирала Орбитирајућу Соларну обсерваторију (ОСО) која је највише проучавала Сунце, а 1966. прву Астрономску обсерваторију (ОАО) је послала у орбиту. Ови сателити су остали у функцији много дуже него што је планирано, услед веома значајних резултата који су постигнути.

Схвативши да посматрања из свемира могу бити веома корисна, NASA у 1968. години развија конкретне планове за свемирски рефлективни телескоп (рефлектор) са огледалом пречника 3m, првобитног назива Велики Свемирски Телескоп (ЛСТ), чије је лансирање најављивано за 1979. годину. Овакви планови су довели до потребе развоја мисија одржавања са људским посадама, како би се осигурало да један толико скуп пројекат може имати одговарајуће дуг радни век, као и развој спејс-шатлова за вишекратну употребу.

Узастопни успех ОАО програма је створио снажан консензус међу астрономима да би ЛСТ требало да буде главни циљ. 1970. године NASA оснива две радне групе, једну која се бавила инжињерским делом пројекта, и другу која је одређивала научне циљеве мисије. Након овога, приступили су свеобухватном тражењу новчаних средстава, обзиром да је пројекат који је предстојао био скупљи него било који други телескоп до тада направљен. Трошкови су више пута смањивани, тако да је пречник

огледала смањен са 3m на 2,4m, изостављен је пробни претходник који би имао пречник огледала 1,5m и на ком би се тестирале компоненте, а такође је и успостављена сарадња са Европском свемирском агенцијом (ЕСА). ЕСА је поред тога што је помогла финансијски, такође обезбедила и инструменте али и допринела у кадровском смислу. Заузврат NASA је гарантовала да ће европски астрономи имати право на коришћење телескопа током 15% времена.

Након неколико одлагања, планирано лансирање Хабловог телескопа је било заказано за октобар 1986. међутим 28. јануара 1986. десила се експлозија спјес-шатла Challenger само један минут након полетања. Наредне две године није било ни једног лансирања. Коначно, 24. априла 1990. године, Свемирски телескоп Хабл је лансиран у орбиту на спјес-шатлу Discovery.



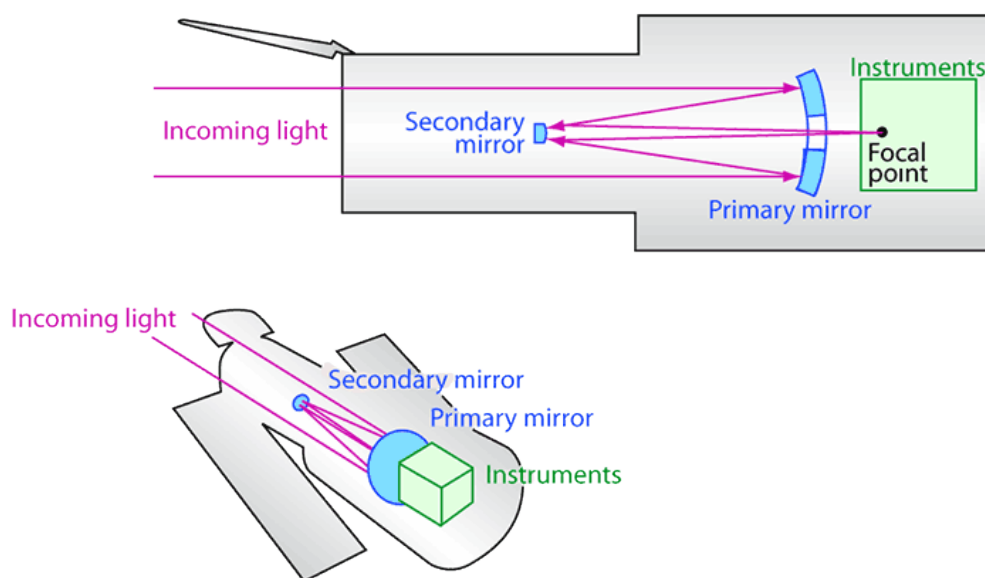
Слика 2 – лансирање спјес-шатла Discovery који носи Хаблов телескоп

3. Конструкција и карактеристике

3.1 Основни принцип рада

Сваких 97 минута, Хаблов телескоп опише пун круг око Земље, крећући се брзином око 8 km по секунди. Док се креће, огледало на телескопу снима светлост и усмерава га ка научним инструментима који су саставни део Хабловог телескопа.

У основи, ХСТ је тип оптичког телескопа познат као Cassegrain рефлектор (слика 3). Светлост пада на главно огледало, одбија се од њега и пада на секундарно огледало. Секундарно огледало затим фокусира светлост кроз отвор у средини главног огледала која на крају стиже до инструмената.



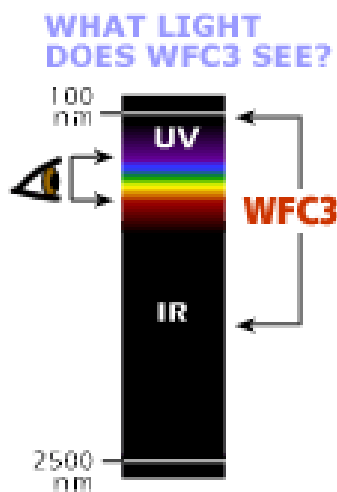
Слика 3 – Рефлексија светлости у Хабловом телескопу

Често се мисли да је суштина телескопа у његовој могућности да увећичава објекте. Међутим, телескоп уствари ради тако што сакупља више светлости него што то може људско око. Што је веће огледало телескопа, више светлости се прими и боља је слика. Хаблово примарно огледало је 2,4m у пречнику, а секундарно 0,3m . Иако је тај пречник мали у односу на данашње стандарде код земаљских телескопа где су пречници огледала и преко 10m, Хаблова позиција изван атмосфере омогућава значајну јасноћу. Након што светлост падне на огледало, она даље стиже до научних инструмената који радећи заједно или индивидуално обезбеђују резултате посматрања. Сваки инструмент испитује свемир на другачији начин.

3.2 Научни инструменти

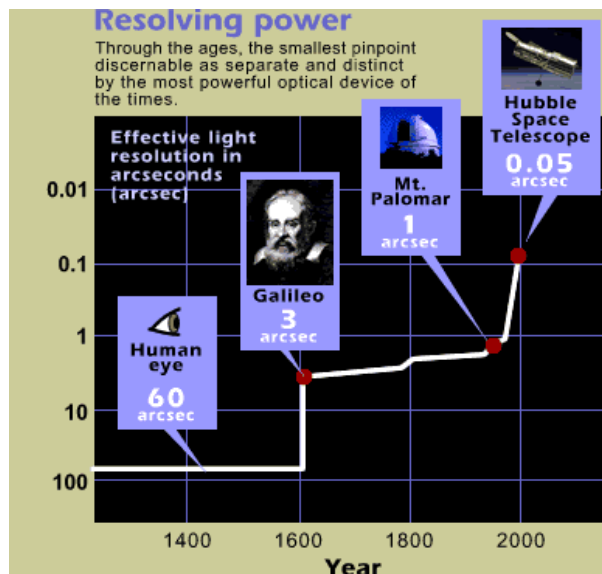
Као што је већ поменуто, светлост која стигне у телескоп се обрађује у неколико инструмената уз помоћ којих се добијају слике изузетног квалитета. Тренутно се на Хабловом телескопу налазе следећи инструменти:

Широко-угаона камера 3 (Wide Field Camera 3 или WFC3) која је инсталирана на телескоп 2009. године током Сервисне мисије 4 чиме је омогућено посматрање још даљих објекта и у ширем опсегу. Овом камером су направљене неке од најбитнијих Хаблових слика. У могућности је да региструје таласе таласних дужина блиских инфрацрвеној светлости (200 nm), затим видљиви део спектра, па све до таласних дужина блиских ултра-љубичастом зрачењу (1700 nm). Помоћу ње је проучавано све од звезданих формација у блиском и далеком свемиру до галаксија у најудаљенијим деловима.



Слика 4 – део спектра који региструје WFC3

WFC3 има већу резолуцију тј. могућност да разликује детаље и шири опсег светлости који региструје од инструмента који је заменила, Широко-појасну планетарну камеру 2. Резолуција представља колико близу могу бити два објекта а да их не видимо као један. Астрономи резолуцију телескопа мере у лучким секундама. Најбољи земаљски телескопи имају резолуцију око 1'' док је резолуција Хабловог телескопа мања од 0,1'' или скоро 10 пута мања. Ово је један од главних разлога зашто је Хабл толико значајан.



Слика 5 – упоредни приказ резолуција телескопа кроз историју

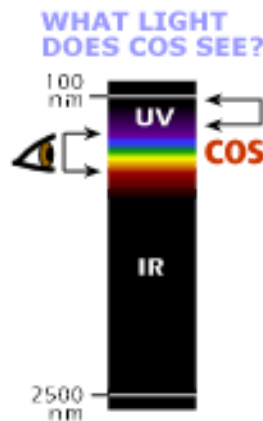
Могућност да региструје већи део светлосног спектра представља огромну вредност за астрономе, који добијене слике упарују са онима добијеним од других инструмената чиме се постиже до скоро немогућа потпуност и јасноћа при посматрању. Уз помоћ WFC3 омогућени су пројекти као што је тренутно активан Frontier Fields, који посматрају најудаљеније делове свемира, који никада досада нису могли да се досегну. WFC3 има два „канала“ који детектују и обрађују светлост различитих таласних дужина. Ултраљубичасти-видљиви канал се користи за посматрање ближих галаксија, док инфра-црвени канал може да се користи за проучавање светлости које потиче од далеких галаксија, која је развучена у инфрацрвену светлост услед путовања кроз простор који се шири. То што можемо да видимо удаљене галаксије какве су биле у почетном периоду свемира, даје нам увид у историју и еволуцију нашег свемира.



Слика 6 – WFC3 пред лансирање у склопу сервисне мисије 4

Спектрограф раног космоса (The Cosmic Origins Spectrograph или COS) не прави врсту слика која се иначе повезује са Хабловим телескопом. Спектрографи су уређаји који раздвајају светлост на боје тј. на спектре и мере интензитет сваког дела спектра да би сазнали нешто о објекту који емитује светлост. Добијене информације се углавном представљају графички одакле научници могу да сазнају разне податке о температури, густини, брзини или хемијском саставу објекта.

COS је фокусиран искључиво на ултра-љубичасту светлост (115 – 320 nm) и он је најосетљивији УВ спектрограф икада направљен за свемир. Након његове уградње током сервисне мисије 4 осетљивост телескопа је повећана најмање 10 пута у области ултра-љубичасте светлости и скоро 70 пута уколико се посматрају изузетно бледи објекти.



Слика 7 – део спектра који региструје COS

COS је најкориснији у посматрању тачкастих светлости као што су звезде и квазари, док се други Хаблов спектрограф STIS користи за посматрање великих површина, на пример галаксија. Они се међусобно допуњују. COS такође има два канала, један за даљу УВ светлост (115 – 205 nm) и један за ближу УВ светлост (170 – 320 nm). Његов ефикасан дизајн ограничава број одбијања светлости о површине пре него што доспе до детектора. Како при сваком одбијању мала количина светлости скрене, овакав дизајн осигурава да инструмент обради највећу количину светлости.

COS је када је инсталиран заменио COSTAR тј. уређај који је исправљао првобитно замућен вид телескопа изазван малим закривљењем примарног огледала. Овај проблем ће бити детаљно објашњен у каснијем делу овог рада.

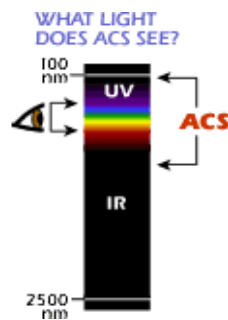
Главна питања која се постављају а за чије одговоре су потребна сазнања добијена уз помоћ COS спектографа су:

- Која је макроскопска структура материје у универзуму?
- Како се стварају галаксије од међу-галактичког простора?
- Како су у великим звездама и суперновама створени хемијски елементи неопходни за живот?
- Који је састав атмосфера планета и комета у Сунчевом систему?

На ова и још много других питања одговори се траже уз помоћ Хабловог телескопа.

Следећи научни инструмент који се налази на телескопу је **Хаблова напредна камера за снимање** (Hubble's Advanced Camera for Surveys или ACS).

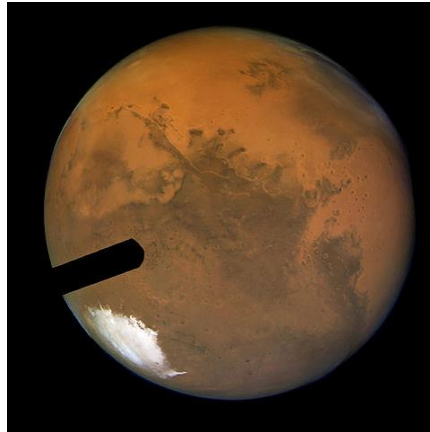
Овај уређај је заслужан за многе фотографије далеког свемира. Захваљујући широко-угаоној технологији, оштрини слика и побољшаној осетљивости ова камера је дуплирала Хаблову ширину поља које посматрамо и значајно повећала његове могућности када је инсталирана у марту 2002. године. у склопу Сервисне мисије ЗБ заменивши последњи првобитни инструмент **Камеру за објекте слабог интензитета** (Faint object camera или FOC).



Слика 8 – део спектра који региструје ACS

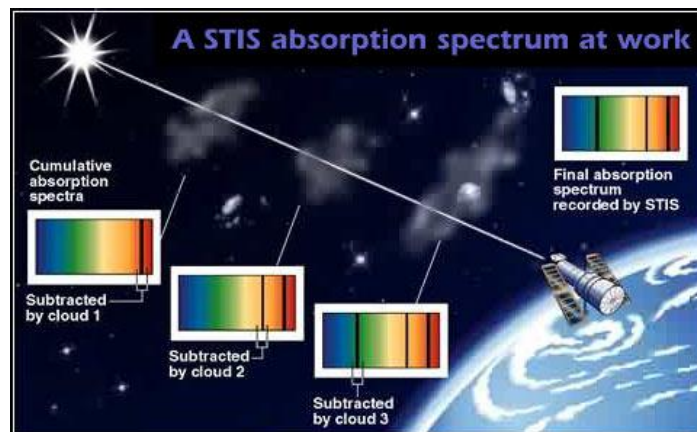
ACS региструје таласне дужине од УВ до видљивог дела спектра, што је чини способном за проучавање најранијих активности у свемиру. Састоји се практично од три камере: широкоугаоне камере, камере високе резолуције и камере која користи заклањање Сунца (при снимању околних објеката) . У 2007. години је дошло до кратког споја када су са радом престале све компоненте осим последње, али је током сервисне мисије 2009. године успешно поправљено све осим камере високе резолуције. Свака камера извршава одређену функцију. Користећи широкоугаону камеру врше се шира истраживања. Астрономи је користе да би

проучавали природу и распоред галаксија, одакле сазнајемо како се наш свемир развијао. Камера високе резолуције је коришћена за прављење детаљних слика унутрашњих делова галаксија. Посматране су звезде блиске планетама, а створане су и детаљне слике планета у нашем Сунчевом систему. Квар ове камере је поприлично надокнађен камером WFC3.



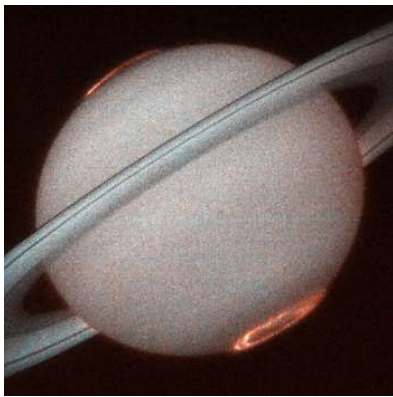
Слика 9 – Марс сликан камером високе резолуције

Још један спектограф који се налази на Хабловом телескопу је **Свемирски телескоп за спектографију са могућношћу поређења спектра** (Space telescope imaging spectrograph или STIS), уграђен током друге сервисне мисије 1997. године. Овај инструмент, као још један у низу начина за добијање слика небеских објеката, се понаша као призма која раздваја светлост из космоса у компоненте тј. у различите боје. Као и COS и овај инструмент обезбеђује спектар светлости која стиже од посматраног објекта, што нам говори о температури, хемијском саставу итд. STIS препознаје УВ светлост, видљиву и инфрацрвену тј. има шири опсег таласних дужина од COS-а, али је COS много пута осетљивији када се ради о УВ зрачењу.

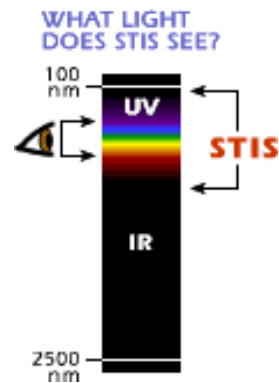


Слика 10 – принцип рада STIS спектографа

STIS се користи за откривања црних рупа. Светлост емитована од звезда и гас који круже око центра галаксије постају црвенији када се удаљавају од нас, а плавлји када нам се приближавају. STIS трага за материјом која постаје црвенија на једном крају претпостављене црне рупе, а на другом плавлја, што указује на то да орбитира веома великом брзином. Овај спектограф може да посматра 500 небеских објеката истовремено. То значи да многи региони у атмосфери једне планете или многе звезде у једној галаксији могу бити снимљене истовремено, што у многоме повећава Хаблову брзину и ефикасност.

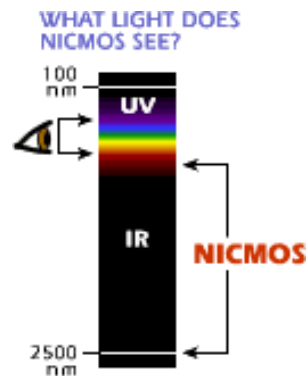


Слика 11 – Сатурнова UV аурора откривена помоћу STIS-а



Слика 12 – део спектра који региструје STIS

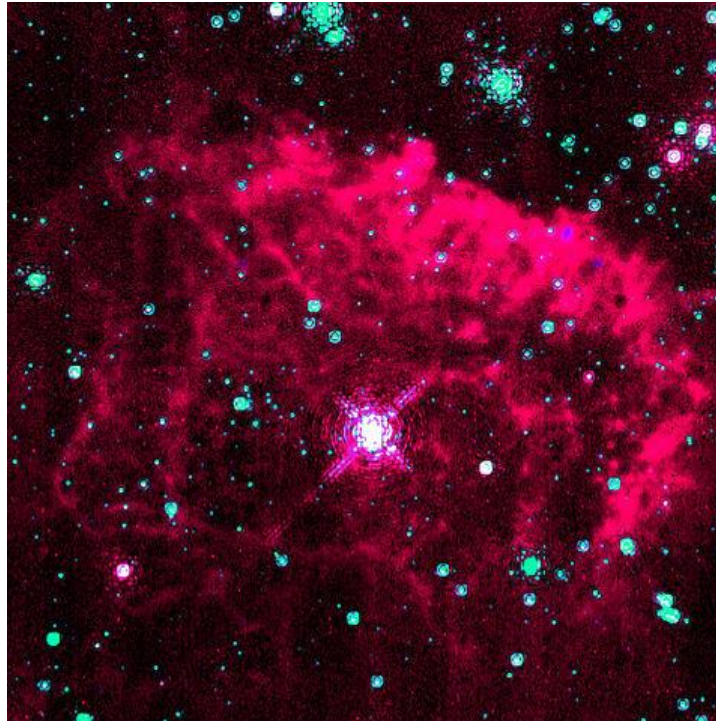
Научни инструмент који у шали можемо назвати „топлотни сензор“ Хабловог телескопа јесте **Спектрометар са могућношћу снимања више објеката у блиској инфрацрвеној области** (Near Infrared Camera and Multi-Object Spectrometer или NICMOS) . Њиме можемо посматрати објекте у најдубљем свемиру – оне објекте чијој светлости су потребне милијарде година да стигну до нас. Састоји се од три „камере“ – свака са другачијим опсегом видљивости, које су посебно осмишљене да виде објекте који емитују таласе блиске инфра-црвеним таласним дужинама, које су мало веће од таласних дужина видљиве светлости.



Слика 13 – део спектра који региструје NICMOS

Многе непознанице око стварања звезда, соларних система и галаксија су разоткривене у инфра-црвеној светлости, која пролази кроз звездану прашину и гасове за разлику од видљиве светлости. Додатно, светлост од најудаљенијих објеката се претвара у инфра-црвену светлост. Проучавањем овог дела спектра астрономи сазнају о прошлости свемира, садашњности и будућности, откривају како настају галаксије, звезде и планете, као и суштинске ствари о основи природе нашег свемира.

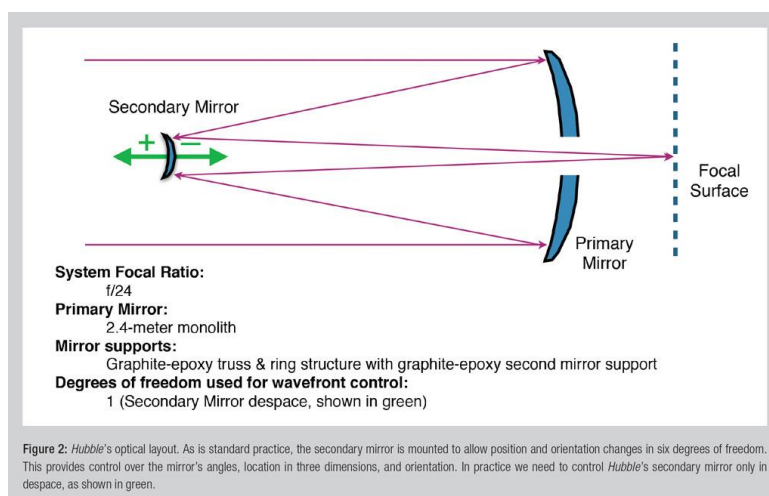
Као што камера за снимање видљиве светлости мора бити мрачна у својој унутрашњости како би се избегло излагање непожељној светлости, тако камера за снимање инфра-црвене светлости мора бити хладна како би се избегло регистровање светлости у форми топлоте. Како би се у случају NICMOS – а то постигло, његова температура мора бити испод 77 степена Келвина тј. испод $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Детектори на инструменту су се хладили унутар криогене капсуле (термално изолован контејнер налик на термос). Када је NICMOS иснталиран 1997. тај контејнер је садржао око 105 кг леденог азота. На тај начин је хлађење било ефикасно, али само током две године, након којих се азот прерано потрошио. У склопу сервисне мисије ЗБ поново је успостављено хлађење уз помоћ уређаја који наликује кућном фрижидеру.



Слика 14 – Пистол звезда и Пистол небула усликана NICMOS – ом

3.3 Оптички систем

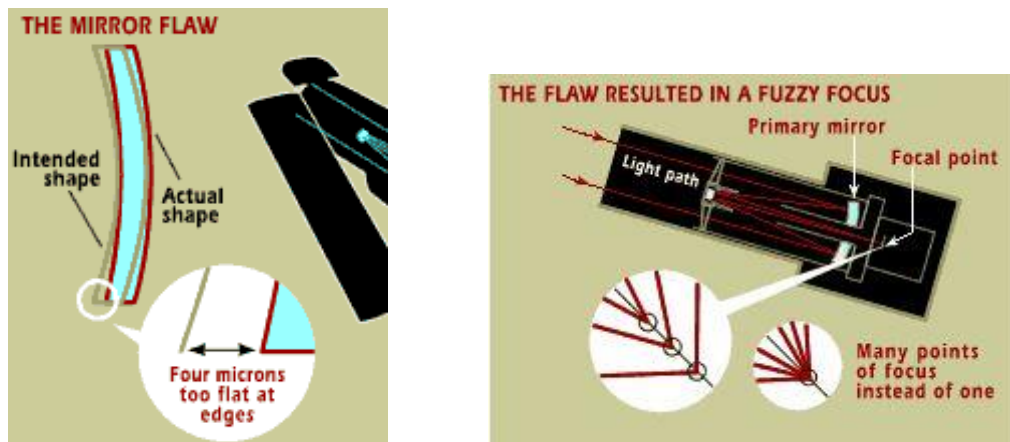
У претходном поглављу су представљени научни инструменти који се налазе на Хабловом телескопу и свакако да они имају пресудну улогу у раду самог телескопа, међутим до њих стиже сноп светлости која претходно мора да прође кроз **оптички склоп телескопа** (Optical Telescope Assembly или ОТА). У том склопу, поред чињенице да се налази изван атмосфере, и јесте тајна успеха самог телескопа. Као што је већ поменуто, ХСТ је Cassegrain рефлектор са Ritchey–Chrétien дизајном као и већина великих професионалних телескопа. Овакав дизајн је познат по добрим перформансама у широком видном пољу, али проблем је што су облици огледала тешки за производњу и тестирање. Огледала и оптички систем одређују коначне особине телескопа, и она су дизајнирана са тачним спецификацијама. Оптички телескопи обично имају огледала полирана до тачности од десетог дела таласне дужине видљиве светлости, али Свемирски телескоп се користи за анализирање поред видљиве светлости и ултраљубичасте (краће таласне дужине) тако да је било предвиђено да буде ограничен искључиво дифракцијом што представља теоријски максимум у ком случају не сме бити оптичких аберација. Дакле, Хаблово огледало је морало бити полирано до тачности од 10 нано-метара тј. око $1/65$ таласне дужине црвене светлости. Обзиром да се огледала на Хаблу одржавају на стабилној температури од $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ перформансе када је у питању инфрацрвена светлост нису најоптималније. Интересантна је чињеница да је огледало након полирања опрано помоћу 9100 литара вруће, дејонизоване воде, након чега је нанет рефлектујући слој алуминијума дебљине 65 нано-метара и заштитни слој од 25 нано-метара магензијум-флуорида.



Слика 16 – пут светлости кроз ОТА

3.3.1 Проблем са примарним огледалом

Након недељу дана од лансирања телескопа, слике које су добијене указивале су на озбиљан проблем. Иако су првобитне слике биле оштрије од оних добијених помоћу телескопа на земљи, Хабл није успевао да постигне квалитет и оштрину која је била предвиђена. Резолуција која је требала да буде око 0,1" прелазила је 1". Анализом таквих слика установљено је да је проблем у томе што је примарно огледало брушењем добило погрешан облик. Иако је то вероватно најпрецизније икада направљено огледало са одступањима од само 10 нано-метара, на крајевима је било равније за око 2,2 микро-метра. Ова разлика је била катастрофална, довела је до неколико сферних аберација услед којих се светлост одбијена са крајева огледала фокусира у тачку различиту од тачке фокуса светлости из центра огледала.

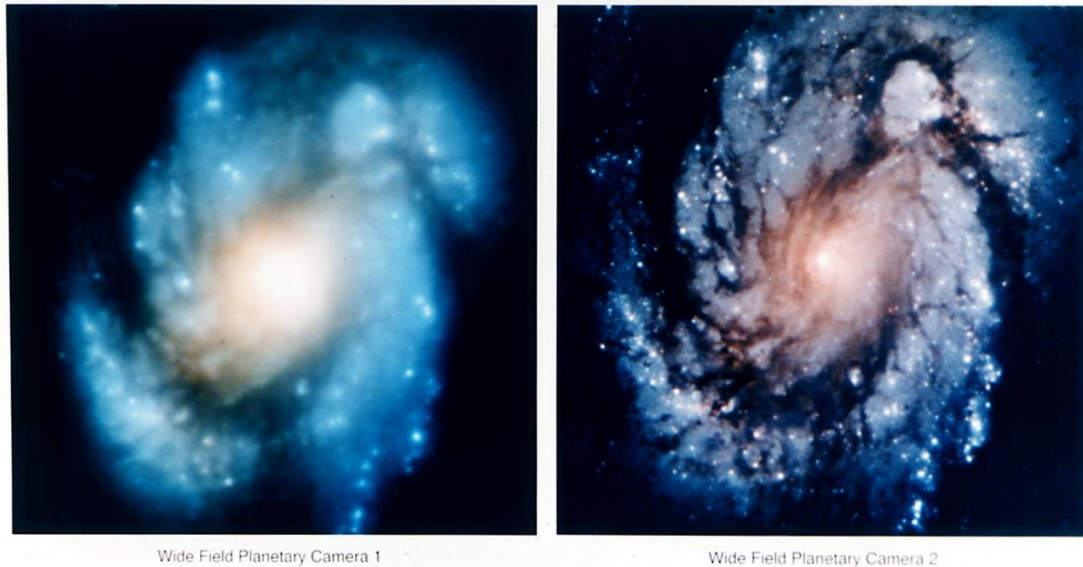


Слика 16 – графички приказ грешке на огледалу

Како је још у фази дизајнирања телескопа било предвиђено да се шаљу сервисне мисије које би радиле на телескопу, одмах након уочавања проблема започето је осмишљавање решења које би се спровело током прве сервисне мисије која је била заказана за 1993. годину. Како није било могуће заменити огледало у орбити, осмишљен је нов инструмент који има исту грешку али у супротном облику. На неки начин, тај инструмент је представљао „наочаре“ за телескоп. Током сервисне мисије 1993. године уграђена је широко-угаона и планетарна камера 2 која је у себи имала корективне факторе, а за све остале инструменте је био потребан екстерни корективан инструмент.

Тај инструмент је назван **COSTAR** (The Corrective Optics Space Telescope Axial Replacement) и састојао се од два огледала од којих је једно имало познату сферну

аберацију. Да би се он уградио, један од преосталих инструмената је морао бити избачен и астрономи су жртвовали инструмент за мерење јачине и поларности брзо-мењајућих небеских објеката (**High Speed Photometer** или HSP). До 2002. сви оригинални инструменти који су захтевали COSTAR су замењени инструментима који су имали сопствене корективне делове, тако да је COSTAR враћен на земљу 2009. и сада се налази у музеју.



Слика 17 – пре и после уградње корективних инструмената

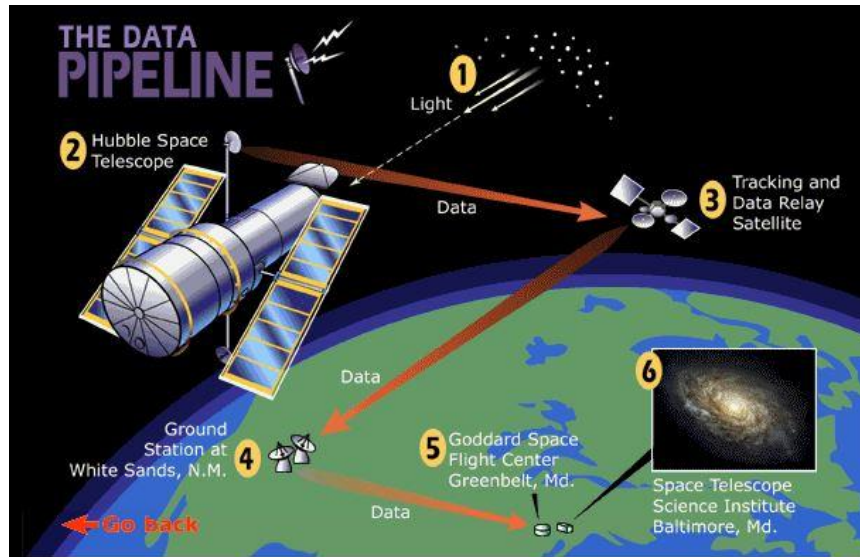
3.4 Делови и системи летелице

Имајући у виду то да је Хаблов телескоп уствари летелица у свемиру јасно је да он као такав мора имати, поред оптичких и научних инструмената, и делове и склопове који омогућавају такав начин рада. Ови системи се налазе око самог тела телескопа.

Свакако оно што је неопходно код свемирског телескопа су уређаји који омогућавају комуникацију са центром на земљи. На Хаблу се налазе **антене за комуницирање** помоћу којих астрономи управљају телескопом тј. одређују шта ће и када да ради. Четири антене шаљу и примају информације.

Научници комуницирају помоћу **сателитског система за праћење и слање података** (Tracking and Data Relay Satellite (TDRS) system). Тренутно се на различитим локацијама на небу налази пет TDRS сателита. Како би овај систем радио, најмање један од пет сателита мора бити у видном пољу телескопа. У периоду кад је неки од сателита видљив, могуће је правити мале промене у усмерењу телескопа чиме се врше

фина подешавања при посматрању. Видљивост сателита не утиче на планирану обсервацију зато што се команде унапред задају. Када ни један сателит није у видном пољу, посебна меморија памти приказе. Подаци се шаљу чим неки од сателита постане поново видљив.



Слика 118 – приказ тока података

Свим уређајима на телескопу је потребна електрична енергија да би радили. Она се обезбеђује помоћу **соларних плоча** које се налазе на боковима телескопа које претварају енергију Сунчеве светлости у електричну. Сваки низ соларних ћелија претвара енергију Сунца у 2800 W струје која се користи за научне инструменте, компјутере итд. Део створене енергије се чува у уграђеним батеријама како би телескоп могао да ради док се налази у Земљиној сенци (то је око 36 минута при сваком периоду кружења од 97 минута). Потпуно напуњене, батерије садрже довољно енергије за нормалан рад телескопа током 7,5 сати или док телескоп обиђе пет пута око земље. Соларне ћелије су направљене тако да могу да се замене при сервисним мисијама и могу да се искључе док путују до и од телескопа.



Слика 19 – соларни панели на Хаблу

Како би сви системи на Хаблу радили како треба, неколико **компјутера и микропроцесора** се налази на телескопу и у сваком научном инструменту. Постоје два главна од којих је један задужен за управљање инструментима, прима њихове податке, затим их шаље у јединице које ће то даље проследити на Земљу и шаље податке о времену у инструменте. Други главни компјутер управља жирокопима, системом за усмеравање и позиционирање телескопа и другим сличним системима. Такође, постоје и резервни процесори у случају неких кварова.

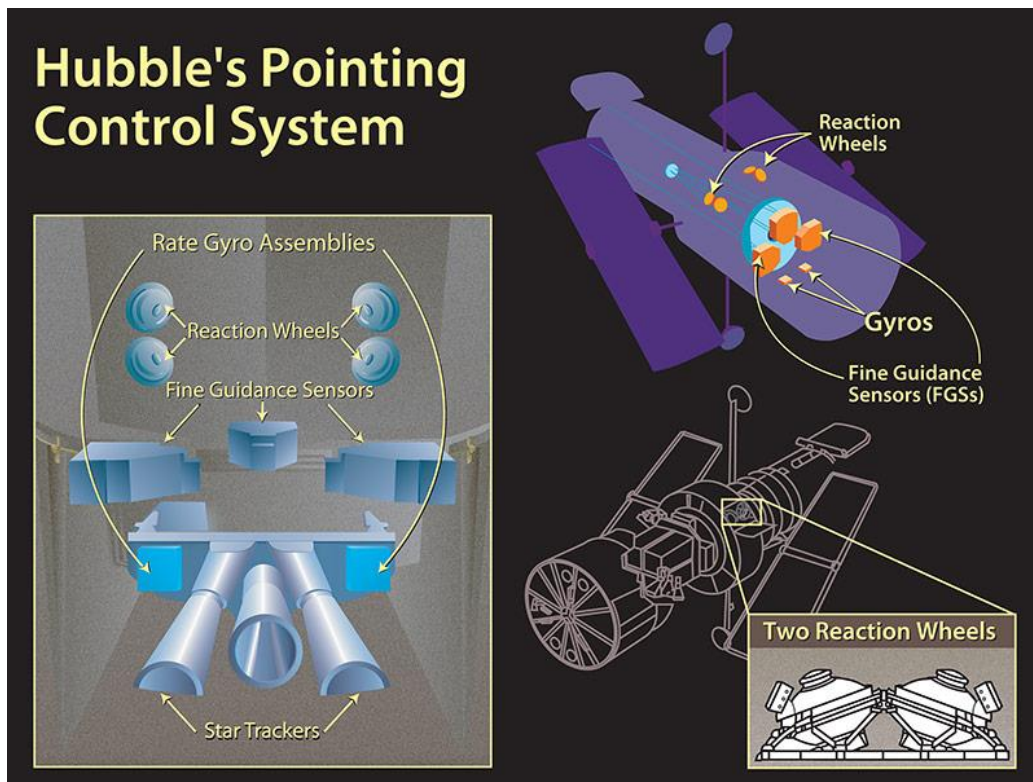
Као што је већ поменуто, сваки од инструмената такође садржи микропроцесоре који усмеравају њихове активности, управљају деловима инструмената и комуницирају са главним процесором.

Првобитни главни процесор звао се DF-224 дизајниран је још током седамдесетих година и његове могућности нису биле претерано велике. Током прве сервисне мисије 1993. додат је такозвани ко-процесор базиран на Intel-овом 80386 процесору. Током наредне сервисне мисије 1999. године уграђен је потпуно нов процесор заснован на Intel-овом 80486 микропроцесору. Он је био 20 пута бржи и имао је 6 пута већу меморију. Тај процесор се налазио у Хаблу све до 2009. године када је уграђен модернији. Међутим постоји јако битан разлог зашто се у свемирским летелицама налазе, за стандарде на земљи, застарели процесори. Наиме, јако дуго трају испитивања да ли је неки процесор одговарајући а и на старије процесоре много мање утиче свемирско зрачење.

Све ове уређаје треба спаковати у одговарајући **оклоп тј. носач** који треба да поднесе услове у свемиру. У питању су проблеми нулте гравитације и великог варирања температуре током само једног орбитирања око Земље. Решење је нађено у **вишеслојној изолацији**. Испод изолације налази се лако алуминијумско кућиште у коме се налазе сви делови телескопа и летелице. Делови који окружују оптички систем су изграђени од графита јер је то веома чврст материјал, а уз то и лак који је отпоран на ширење и скупљање приликом промене температуре. Хабл има укупну масу мало већу од 11 тона.

3.4.1 Систем за усмеравање телескопа

Обзиром да се у сваком делићу свемира може нешто посматрати, издвајање и посматрање једног објекта је слично као фотографисање једне особе на препуној плажи са брода који се љуља на пучини мора. Хаблов телескоп користи неколико специјалних алата који га заједничким снагама одржавају прецизно усмереним на одређену мету током посматрања. Најважнији делови овог система су: **жироскопи, реакциони точкови и сензори за фино навођење.**

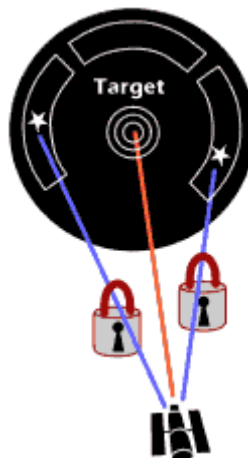


Слика 121 – дијаграм система за усмеравање

Како Хабл никад не напушта своју орбиту, он мора да се усмерава у различитим правцима како би видео различите објекте. У ове сврхе се не користе ракете јер би оне испуниле околинду телескопа остацима сагоревања што би ометало рад самог телескопа. Уместо тога, систем за усмеравање се заснива на основним законима физике. На телескопу се налази шест жироскопа (уређаји који се користе за оријентацију у простору, посебно у инерцијалним системима где магнетни компаси нису прецизни) и четири уређаја за скретање телескопа који могу слободно да се померају, такозвани реакциони точкови.

Жироскопи региструју када телескоп треба бити преусмерен. Када они пошаљу сигнал да телескоп треба да се заротира, процесор шаље наредбу реакционим точковима да се окрећу или помере. На основу Трећег Њутновог закона у зависности у ком смеру убрзавају точкови, Хабл се ротира у супротном смеру. Како се осе ротација ових точкова налазе на различитим правцима, помоћу комбинација ротација телескоп може да се усмери у било ком правцу на небу.

Сензори за фино навођење обезбеђују информације које се користе при померању телескопа тако што изводе мерења у односу на објекте у свемиру. Два сензора усмеравају телескоп ка циљаном објекту и одржавају тај правац док се трећи користи у посматрању самог објекта. Два сензора проналазе „звезде водиле“ и мере релативну позицију у односу на њих. Помоћу ових уређаја Хаблов телескоп се усмерава са тачношћу од 0,01 лучке секунде. Чак и најмања одступања се региструју и неутралишу.



Слика 22 – принцип рада сензора за фино навођење

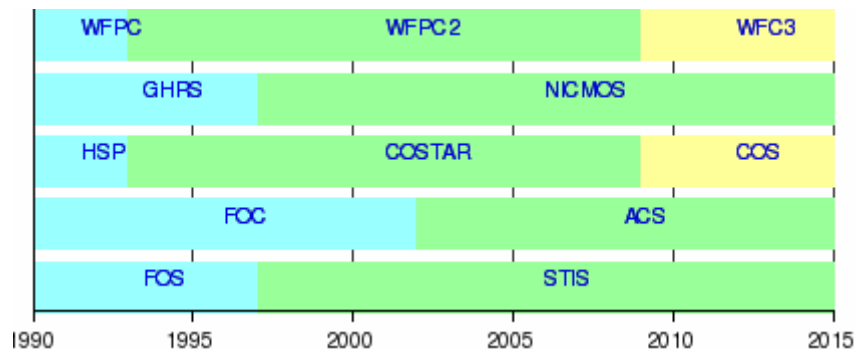
Користећи трећи сензор за научно посматрање објеката, могу да се установе разне ствари као што су: регистровање „климања“ блиских звезде, што говори да постоје планете које круже око звезде, затим мерење пречника небеских објеката, удаљености објеката и тако даље.

4. Сервисне мисије

Обзиром на то да је Хаблов телескоп изузетно сложен и вредан систем, да би се одржао у најбољем стању и како би му се продужио радни век, астронаути су више пута морали да одлазе у свемир како би спроводили одређене радове на њему.

У досадашњем раду телескопа на сваких неколико година су вршене сервисне мисије у орбити, током којих су мењани разни делови. Сам телескоп је и дизајниран за овакву врсту поправки, тако да су компоненте веома приступачне за поправке и замене у свемиру, захваљујући чему је Хаблов телескоп и у двадесет првом веку изузетно користан и продуктиван.

До сада је извршено пет сервисних мисија, а свака је трајала неколико дана.

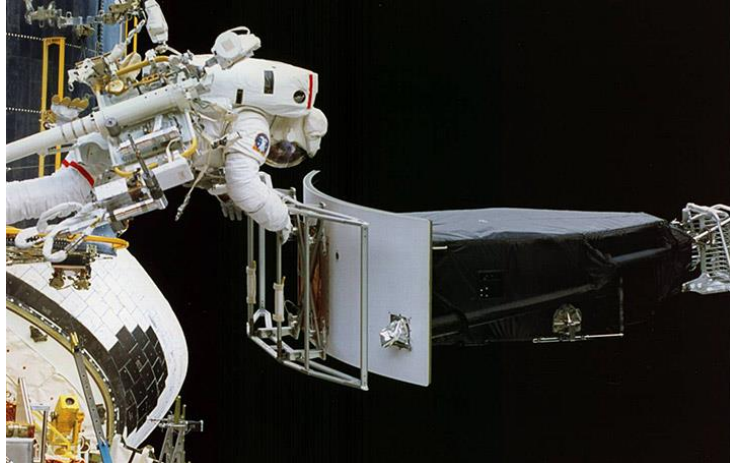


Слика 23 – преглед инструмената на телескопу током времена

4.1 Сервисна мисија 1

Иако је прва сервисна мисија планирана још пре лансирања, након појаве проблема са оптиком тј. огледалом она је морала бити што пре спроведена и била је од изузетне важности. Након обуке седам астронаута који ће отићи на телескоп, при којој су научили да користе преко сто специјализованих алата, они су полетели помоћу шатла Endeavour у **децембру 1993.** године.

Као што је већ објашњено тада је уграђен инструмент за корекцију оптике (COSTAR) и широкоугаона планетарна камера (WFPC) је замењена камером друге генерације (WFPC 2) која је у себи имала и корективне елементе. Поред тога обновљене су соларне плоче за напајање енергијом, затим четири жироскопа, неколико мањих управљачких јединица а додат је и копроцесор на главни процесор.



Слика 24 – астронаут Jeffrey Hoffman при замени WFPC

Поред конкретних резултата прве сервисне мисије, показане су и предности сервисних мисија у свемиру што је у многоме допринело каснијим мисијама.

4.2 Сервисна мисија 2

Ова сервисна мисија је спроведена у **фебруару 1997.** године, током које радило такође седам астронаута овога пута лансирани Discovery шатлом. Трајала је десет дана.

Без обзира на то што су иницијални инструменти били веома добри и продуктивни, да би се посматрао далеки свемир били су потребни инструменти који би регистровани инфрацрвену светлост. Уграђени су инструментни NICMOS и STIS о којима је већ било речи.

Током ове мисије је обновљен и систем за усмеравање и повећана је меморија телескопа.



Слика 25 – део сервисне мисије 2

4.3 Сервисна мисија 3А

У децембру 1999. године је спроведена ова мисија помоћу шатла Discovery. Учествовало је седам астронаута од којих је неколико учествовало и у претходним мисијама. Током ове мисије је замењено свих шест жироскопа обзиром да је пре мисије четири било у квару и систем за усмеравање није радио. Промењен је и један сензор за навођење, а најважније унапређење је уградња новог, модернијег процесора што је већ и поменуто.

Трећа сервисна мисија је подељена на два дела из разлога што након квара четири жироскопа телескоп није било могуће усмеравати што је могло да доведе до озбиљних последица по сам телескоп. Из предострожности, током новембра телескоп је стављен у сигурносни режим рада током којег нису вршена посматрања све док нису извршене потребне поправке.

4.4 Сервисна мисија 3Б

Четврта по реду сервисна мисија је извршена у марту 2002. године, коришћен је шатл Columbia који је имао седам чланова посаде. Први пут након сервисне мисије из 1997. године је инсталиран неки нови научни инструмент. У питању је унапређена камера за снимање (ACS) која је заменила WFPC 2 чиме је 12 година стар телескоп постао спреман за 21. век. Поред тога замењене су соларне плоче али и управљачка јединица за дистрибуцију енергије услед чега је први пут након лансирања телескоп био потпуно искључен са напајања током замене уређаја.

У другој мисији је уграђен инструмент за снимање инфрацрвене светлости (NICMOS) који је престао са радом 1999. године услед прегревања па је током ове мисије унапређен расхладни систем. Поред тога поново је унапређен систем за усмеравање телескопа.

4.5 Сервисна мисија 4

Пета по реду сервисна мисије је уједно и последња која је планирана да се изврши на Хабловом телескопу. Првобитни планови су били да се она спроведе у фебруару 2005. међутим распад шатла Columbia при повратку на земљу 2003. године је у многе утицао на планове за телескоп. Све мисије које укључују слање људи у

свемир су биле отказане. Обзиром да се наследник Хабловог телескопа планира тек за 2018. годину велики притисци су вршени како би се ипак спровела још једна сервисна мисија и продужио радни век Хабла док не стигне наредни. Након дужег времена у октобру 2006. је шеф NASA-е дао коначну дозволу и CM4 је планирана за октобар 2008. године. Међутим у септембру 2008. године догађа се квар на централном процесору тако да је мисија одложена док се не припреми нов процесор. Коначно, у **мају 2009.** године шатлом Atlantis је послата посада да обави последњу сервисну мисију на ХСТ-у.

Током ове мисије уграђена је WFPC 3 и COS који су већ детаљно објашњени. Поред тога, извршене су поправке на два уређаја, STIS није радио од 2004. године а ACS услед кратког споја је престала да ради 2007. године. Након ових поправки и измена ХСТ је имао 5 потпуно функционалних инструмената и могао је у потпуности да настави са радом.

Додатно, сви базични системи летелице су ремонтовани или замењени што укључује замену батерија, изолације, поправка система за усмеравање и тако даље. Обзиром да су сви нови инструменти у себи садржали корективне елементе током CM4 је назад на земљу враћен COSTAR.



Слика 26 – уградња WFPC 3 током CM4

5. Најзначајнија открића

Као што је већ и речено Хаблов телескоп је један од најзначајнијих научних инструмената икада направљених, пре свега због огромног броја открића која су направљена помоћу њега. Како њихов број превазилази 10.000, у овом поглављу ће бити издвојена нека најзначајнија.

Основни циљеви који су били постављени још пре лансирања су били:

1. Проучавање међугалактичког простора како би се одредио састав тог простора као и састав самих галаксија
2. Проучавање средње далеког свемира
3. Одређивање Хаблове константе са што мањом грешком

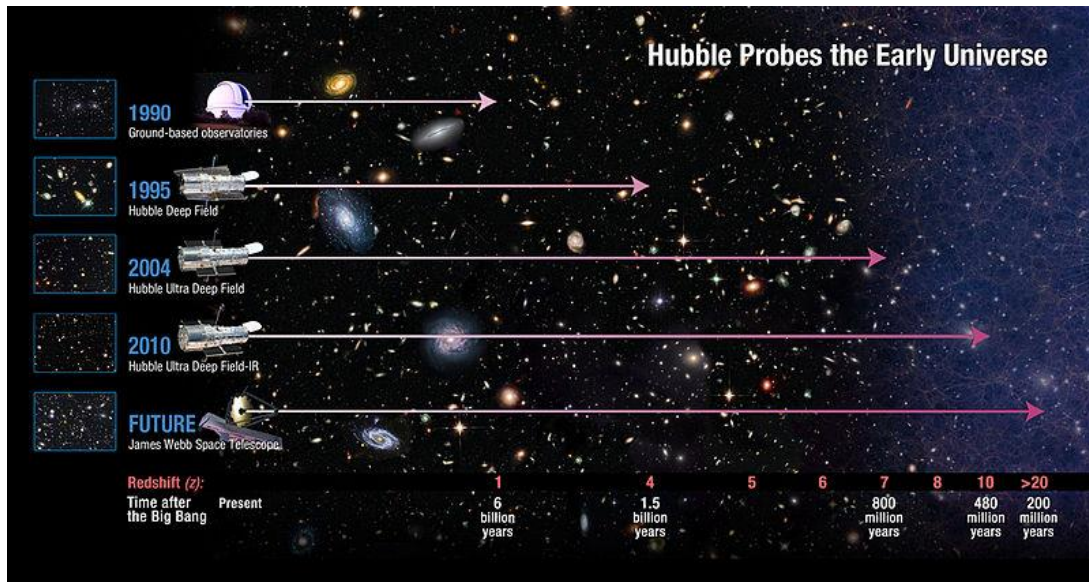
Пре лансирања телескопа Хаблова константа (константа ширења свемира) је била позната са грешком од 50%, док је помоћу телескопа грешка смањена на 10%. Помоћу Хабла је утврђена старост нашег свемира, која износи 13,7 милијарди година, док је пре Хабла сматрано да је та вредност између 10 и 20 милијарди година. Иако се знало и пре Хабла да се свемир шири, захваљујући њему је утврђено да то ширење убрзава. Такође, помоћу уређаја високе резолуције на телескопу пронађене су црне рупе у центрима блиских галаксија. Иако се претпостављало постојање црних рупа и раније, на основу резултата са Хабла, сматра се да се црне рупе налазе у центрима свих галаксија.

Друга открића укључују прото-планетарне дискове у Орион небули, затим пронађени су докази за постојање планета изван сунчевог система, које круже око звезда налик Сунцу.



Слика 27 – Орион небула у Млечном путу

Обзиром да је помоћу Хабловог телескопа досегнуто до делова свемира удаљених милијардама светлосних година створен је велики увид у историју и развој нашег свемира.



Слика 28 – удаљеност до које је досегнуто кроз историју

6. Будућност Хабловог телескопа

Приликом кружења око Земље телескоп се помало приближава земљи, тако да ће у неком тренутку у будућности ући поново у Земљину атмосферу. Тачан датум зависи од активности Сунца, али предвиђа се између 2030. и 2040. године. Првобитни план је био да се помоћу шатла телескоп врати на земљу, али обзиром да је 2011. године завршен Space Shuttle Program, Хаблов телескоп ће вероватно пасти негде у океан.

6.1 Наследници

Следећи свемирски телескоп који се сматра наследником Хабловог телескопа је James Webb Space Telescope (JWST) чије лансирање је планирано за октобар 2018. године. Он ће се налазити на већој удаљености од Хабловог телескопа и радиће при мањој температури. Главни циљ овог телескопа је посматрање још удаљенијих делова свемира које тренутно не можемо да видимо ни једним постојећим инструментом. JWST ће имати пречник примарног огледала 6,5 метара што је вишеструко веће од Хаблових 2,4 метра.

7. Закључак

Допринос и утицај самих телескопа је за астрономију од пресудне важности. У оквиру тога допринос Хабловог телескопа као првог свемирског телескопа је немерљив. Као што је и описано у овом раду, сва открића Хабловог телескопа представљају непроцењиву вредност, а сам телескоп ће увек бити нешто револуционарно у пољу науке. Он је изванредан почетак нових, никада напреднијих истраживања, и зачетник потпуно новог приступа посматрању и схватању нашег универзума. Овај рад је покушај да се барем у основама приближи принцип рада самог телескопа и његов значај, који је огроман у сваком сегменту науке. Иако ће наследници Хабловог телескопа можда имати још невероватније резултате, Хабл ће увек бити асоцијација за нешто заиста посебно у пољу науке и астрономије као такве.

8. Литература

- Милан С. Димитријевић, Александар С. Томић, *Астрономија за IV разред гимназије*, Београд, 2005. године
- Мирјана Вукићевић-Карабин, Олга Атанацковић, *Опита астрофизика*, Београд, 2010. године
- Наташа Каделбург, Весна Рапаић, *Физика за трећи разред математичке гимназије*, Београд, 2011. године
- David J. Shayler, David M. Harland, *The Hubble Space Telescope – From concept to Success*, Њујорк, 2016. године
- David J. Shayler, David M. Harland, *Enhancing Hubble’s vision – Service missions that expended our view of the Universe*, Њујорк, 2016. године
- Robert Zimmerman, *The Universe in a Mirror*, Њу Џерси, 2008. године
- НАСА, Сајт о Хабловом телескопу, <http://hubblesite.org>
- ЕСА, Сајт о Хабловом телескопу, <http://www.spacetelescope.org/>
- Званични сајт НАСА-е, <https://www.nasa.gov/>
- „Хаблов телескоп“, https://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Space_Telescope
- „Свемирски телескоп Џејмс-Веб“, https://en.wikipedia.org/wiki/James_Webb_Space_Telescope
- „Процесор ДФ-224“, <https://en.wikipedia.org/wiki/DF-224>
- Научни институт за свемирски телескоп STScI, <http://www.stsci.edu/portal/>