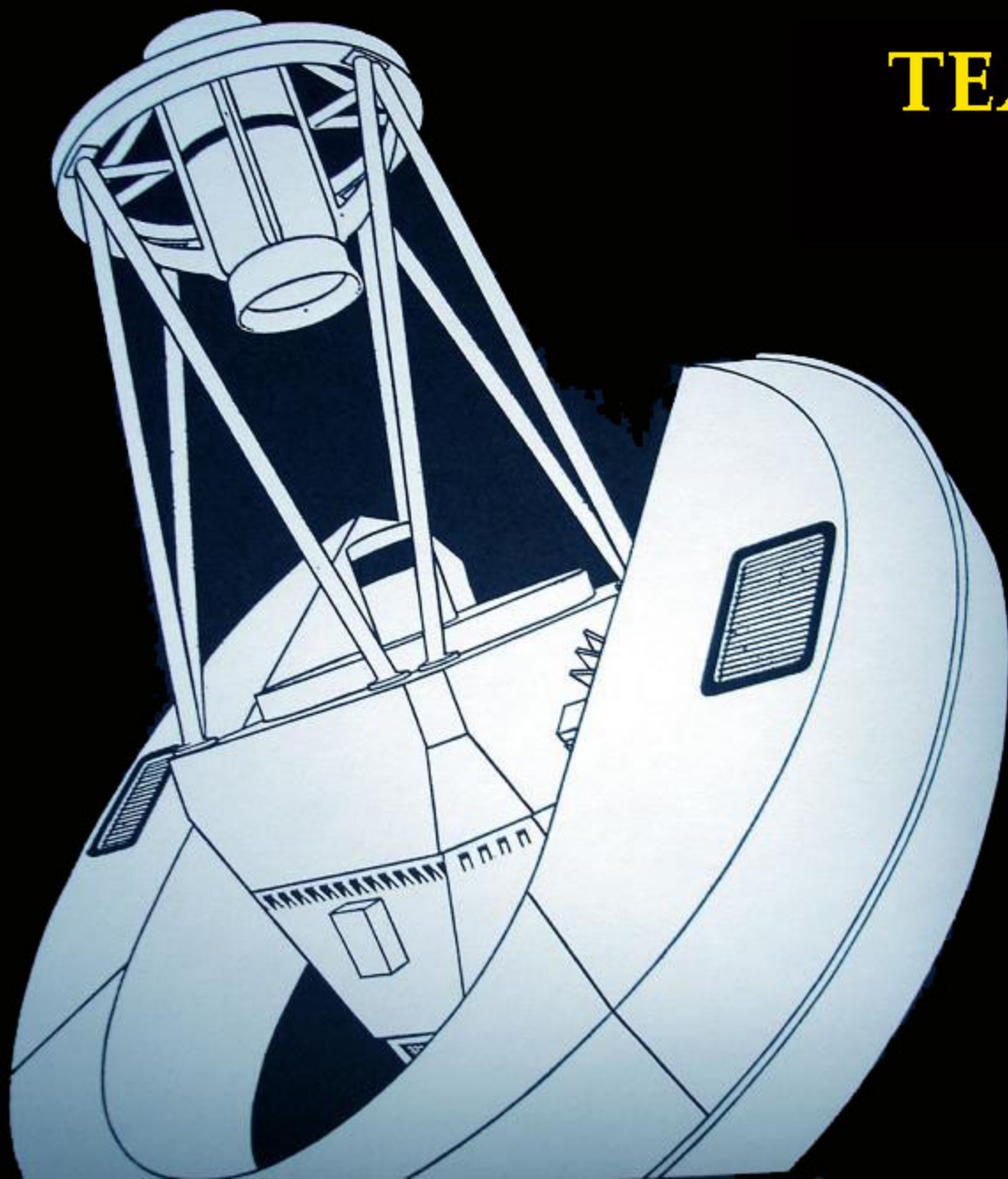


# ТЕЛЕСКОПИТЕ НА XX ВЕК

Част 2



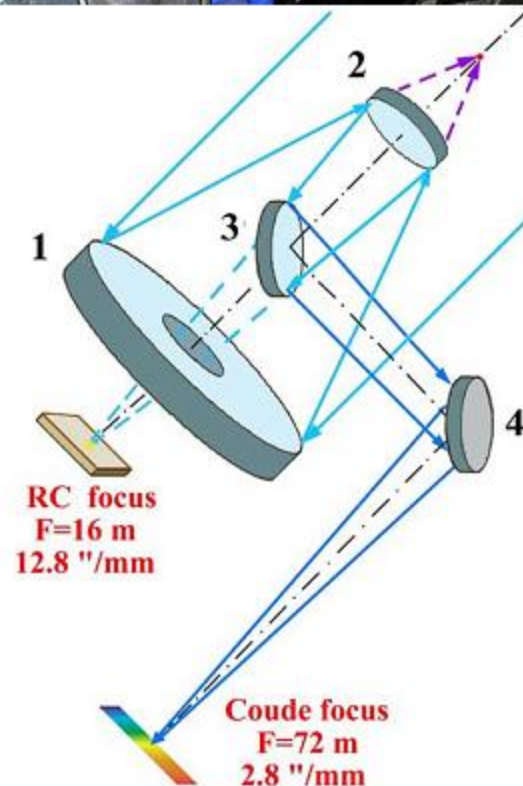
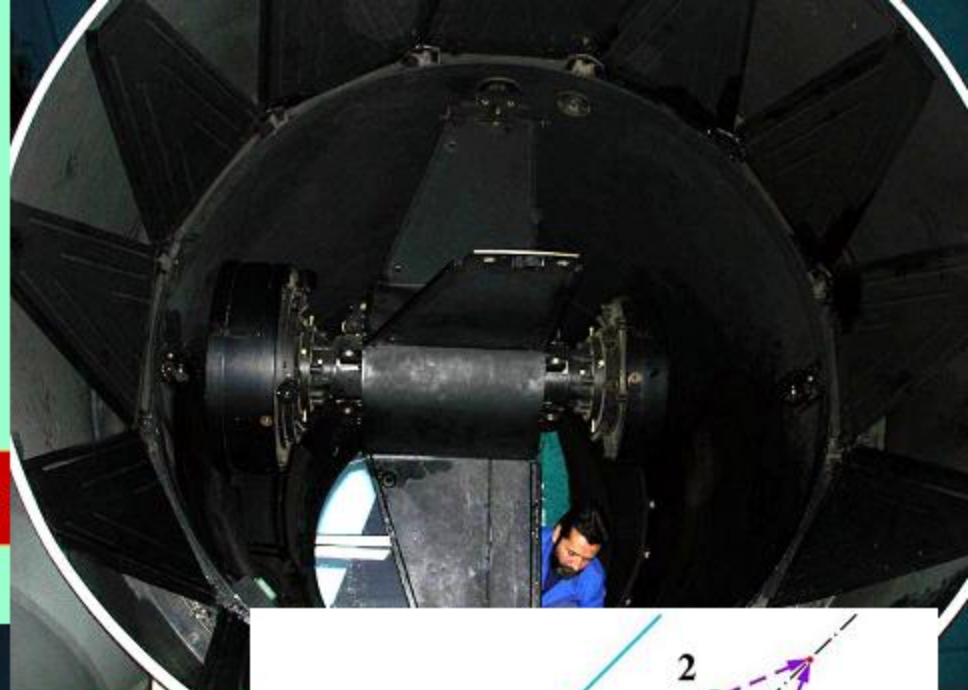
Ст.н.с. Д. Колев  
ИА БАН, НАО  
[dzkolev@abv.bg](mailto:dzkolev@abv.bg)



# Инструментариум:

*Разнообразна  
светоприемна апаратура  
за различните фокуси*

**2 m RCC телескоп НАО Рожен**





# Инструментарий:

*2 м RCC на Рожен*

**Фотометри**



CCD камери



# Инструментариум:

## *F*Ocal *R*Eductor *R*Ozhen (*FORERO*)

Редукция на фокалното разстояние:

2.2 x (1:8  $\Rightarrow$  1:3.6 ( $F=7200$  mm))

Сноп: 50 mm

Мащаб върху чипа: 0.7"/px

FOV: 12'

Филтри: U,V,V,R,I; тесноивични  
интерференционни

Гризма:

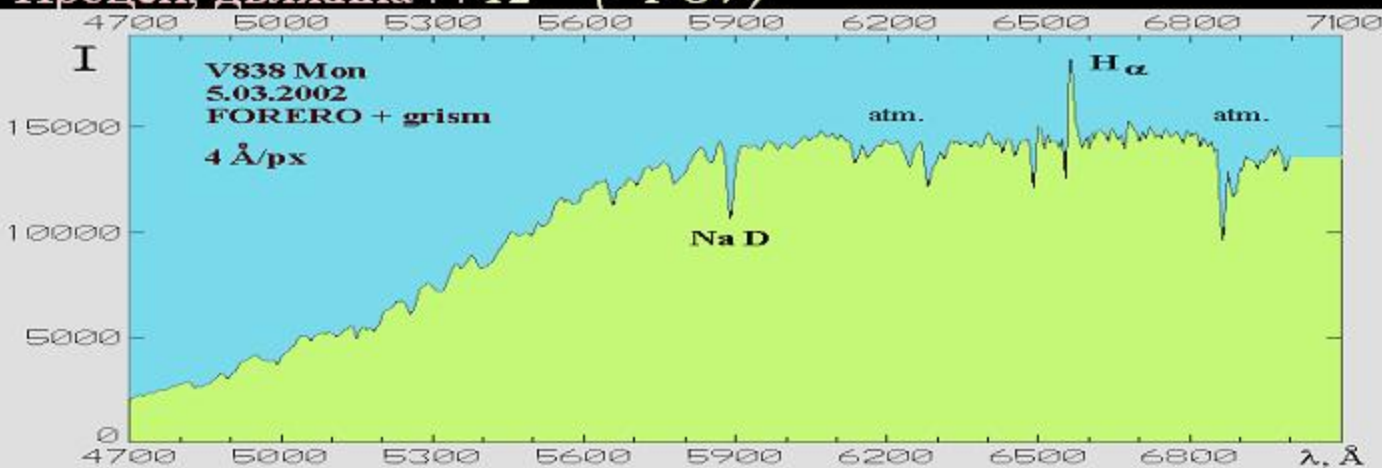
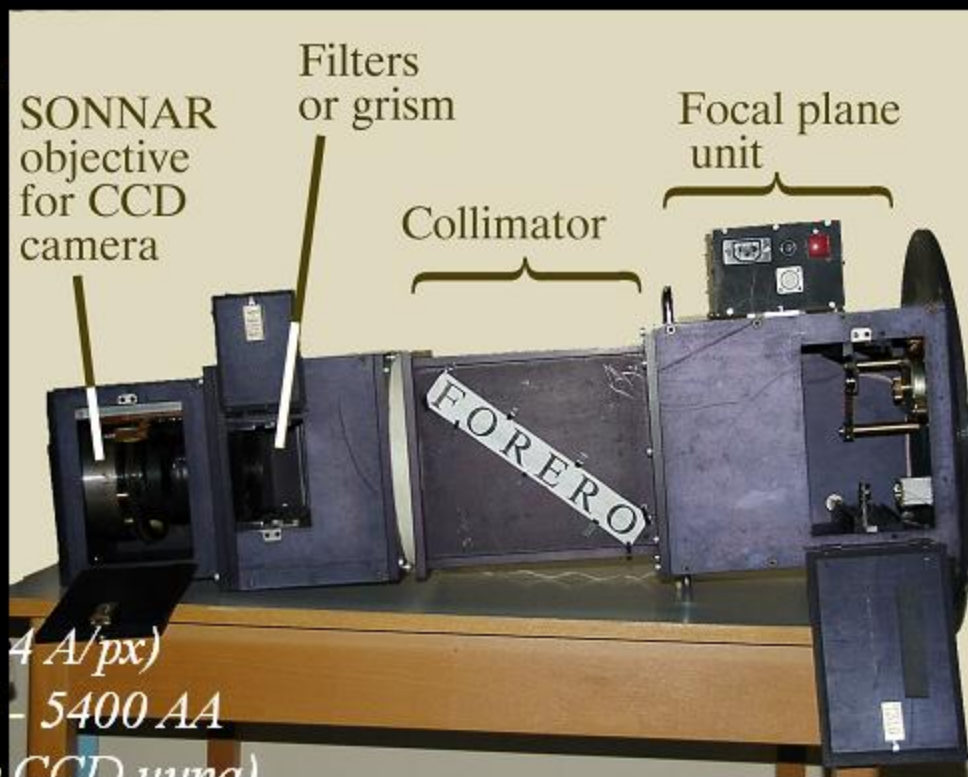
Призма (ъгъл): 17°

Решетка: 300 лин/мм (лин. дисперсия 4 Å/px)

Спектрален интервал (1 пор.):  $\lambda$  5300 - 5400 Å

Процеп, ширина : 110  $\mu$  (2 pixel върху CCD чипа)

Процеп, дължина : : 12' (=FOV)



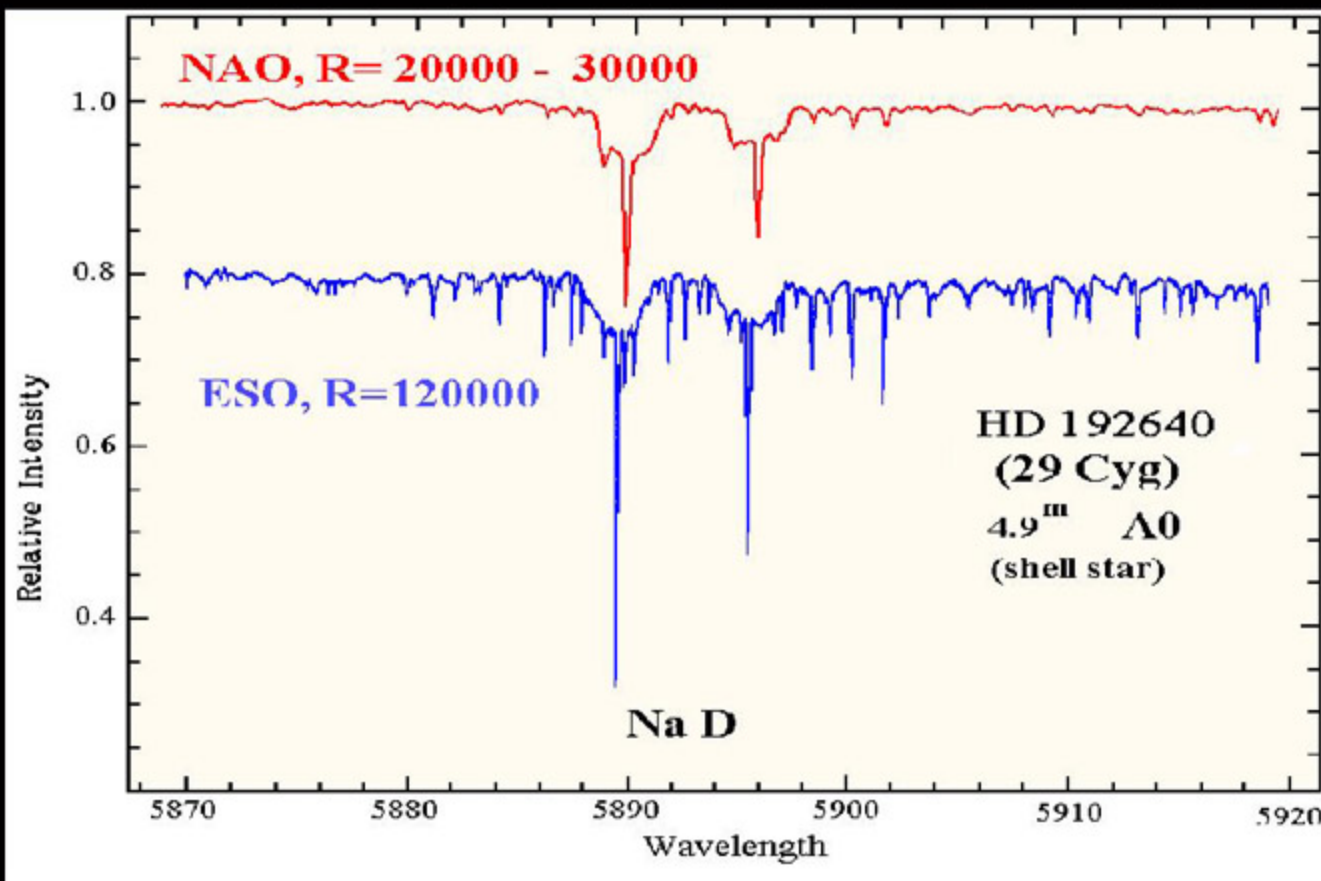
*Фокален редуктор  
за 2м на Терскол*



# ...Без спектър не може астрономът...

Астроспектроскопията с високо разделение е най-мощният изследователски метод в астрофизиката! По вида и характеристиките на строго индивидуалните *спектрални линии* на различните химически елементи и йони в атмосферите на звездите могат да се получат сведения буквално за всичко, което ни интересува: общите движения (въртене, пространствена скорост); турбуленция и по-едромашабни движения на маси газ в атмосферата; химичен състав (качествен и количествен); физически параметри на звездата (размер, маса, светимост, наличие и големина на магнитно поле, кратност и т.н.)!

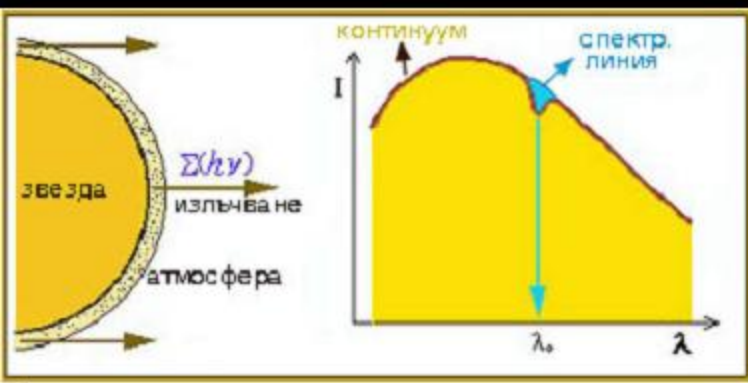
Комбинирайки тези изследвания с други данни (например, фотометрични, морфологични и др.) се получава цялостната картина за звездния мир.



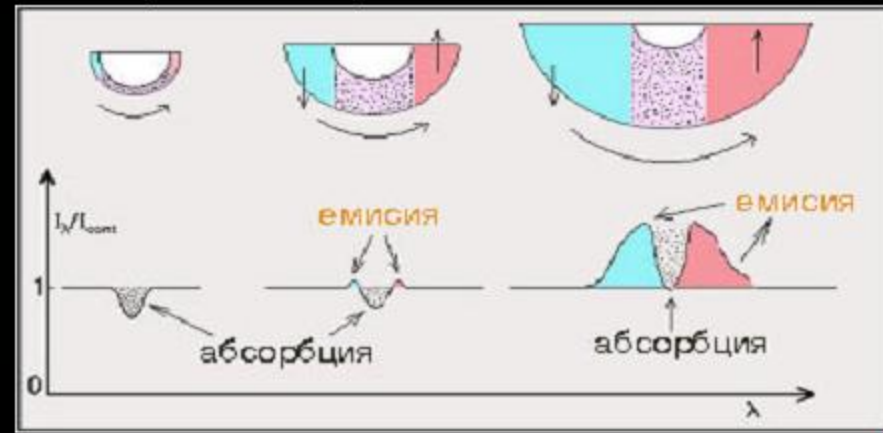
Колкото по-високо е спектралното разделение, толкова по-подробно изследване може да се проведе. На показания пример добре се вижда как при по-ниско разделение по-слабите спектрални линии почти се "губят". За съжаление, колкото по-високо е работното спектрално разделение, толкова по-малка е проницаемостта на дадена комбинация "телескоп + спектрограф", т.е., само по-ярки звезди са достъпни за изследване...

# Аналитичната сила на астроспектроскопията

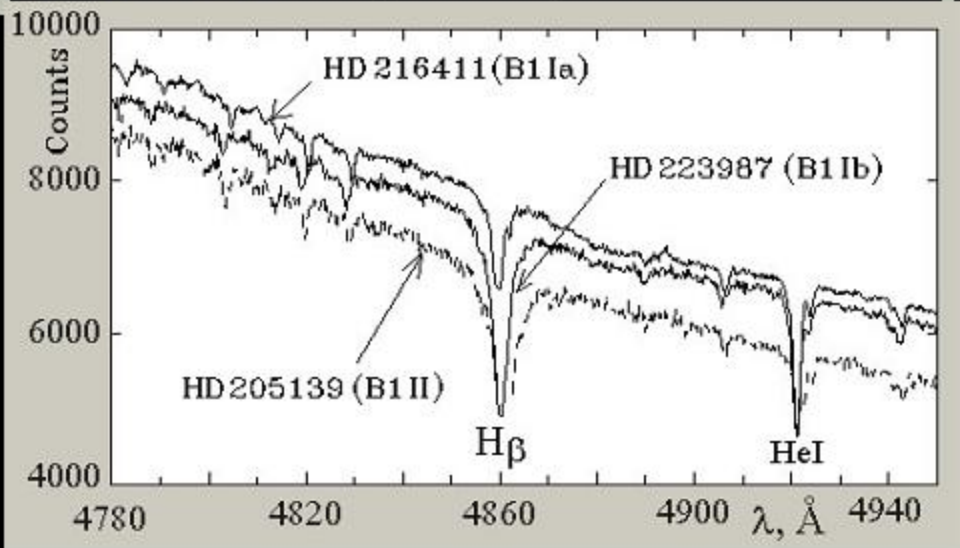
## Образуване на абсорбционен спектър



## Разширена атмосфера - емисии около централна абсорбция в силните линии

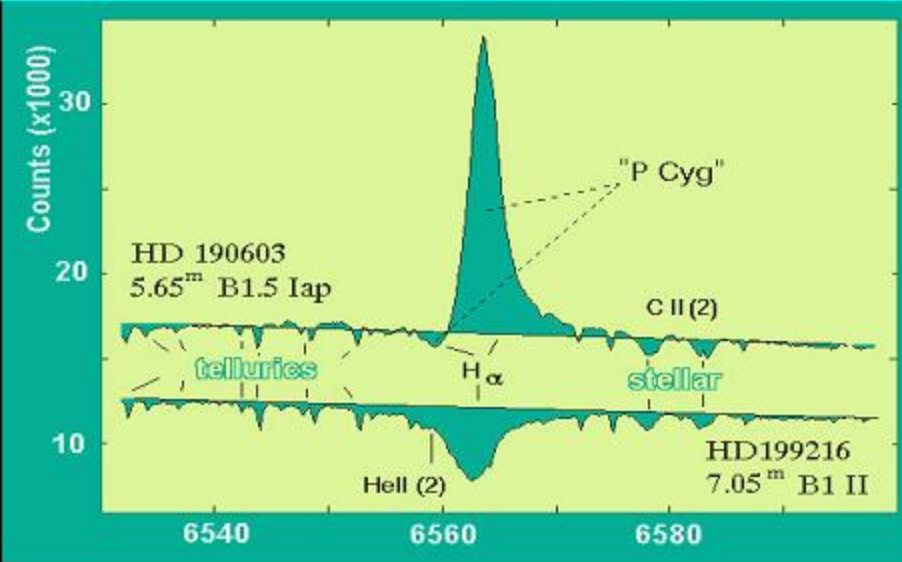


## Водородните линии - индикатор на светимостта: спектри на В-сверхгиганти



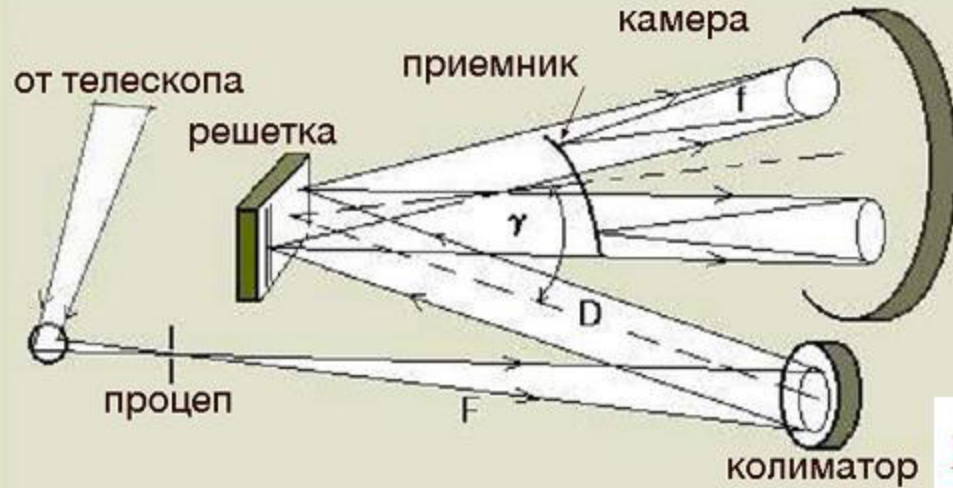
2 м НАО Рожен, куде-спектри

## Спектри на нормална (долу) и на В-звездата Р Суг със силен звезден вятър

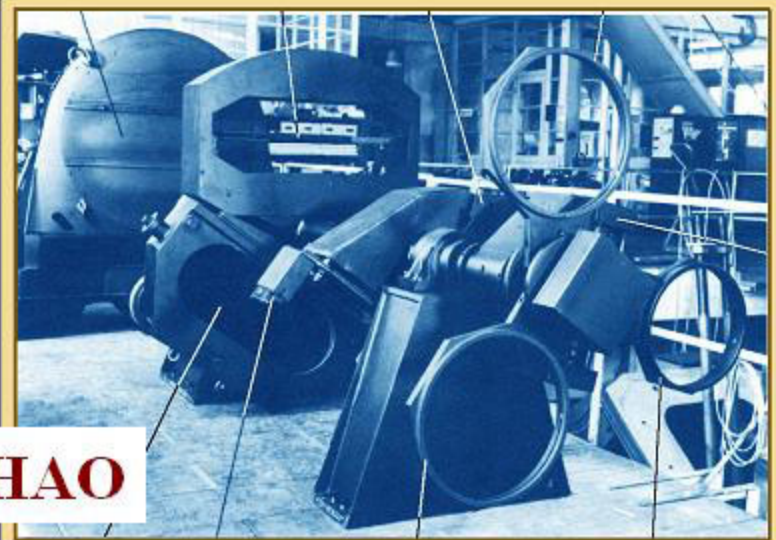




# “Класически” астро-куде-спектрограф



**2 м НАО**



2.7 м телескоп в *Mc Donald* има куде-спектрограф с диаметър на снопа 48 см (!) и работи с мозайка от решетки. Днес тези спектрографи имат ограничено приложение.



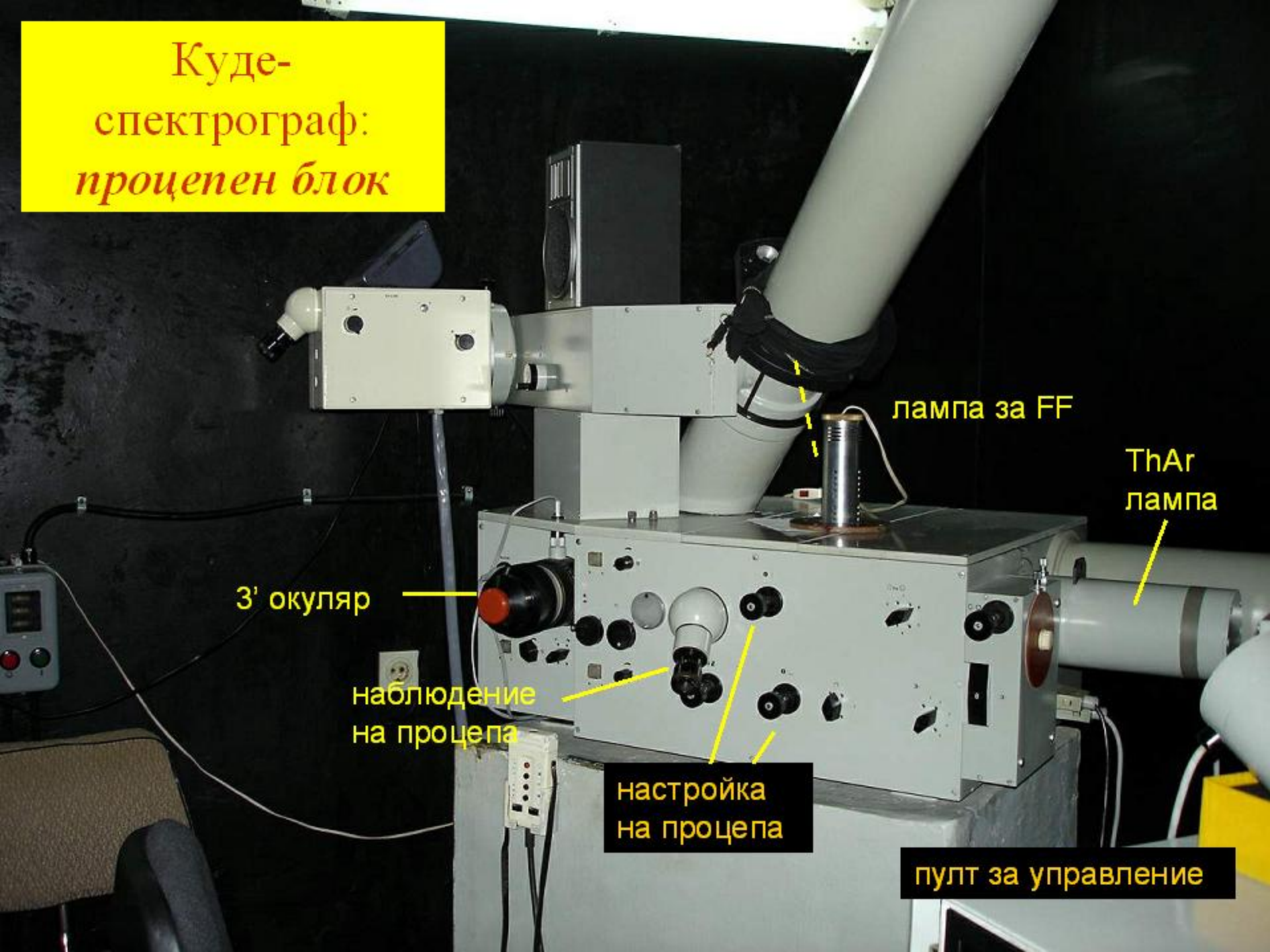


# Куде-спектрограф на 2 м телескоп: *работно състояние*





Куде-  
спектрограф:  
процепен блок



лампа за FF

ThAr  
лампа

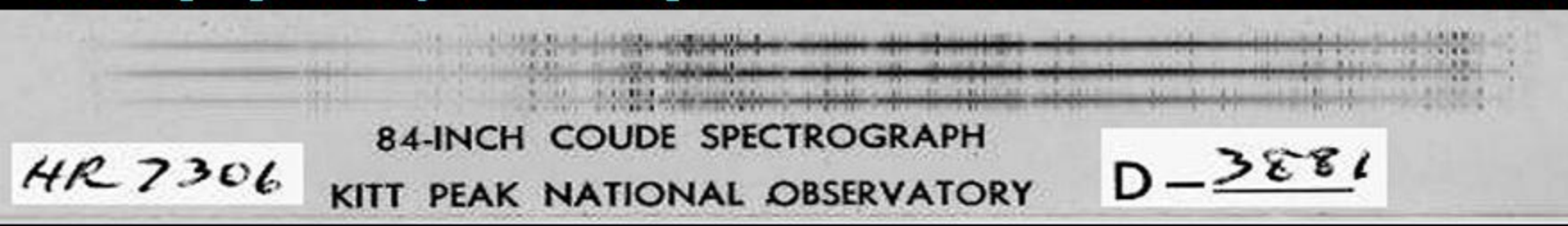
3' окуляр

наблюдение  
на процепа

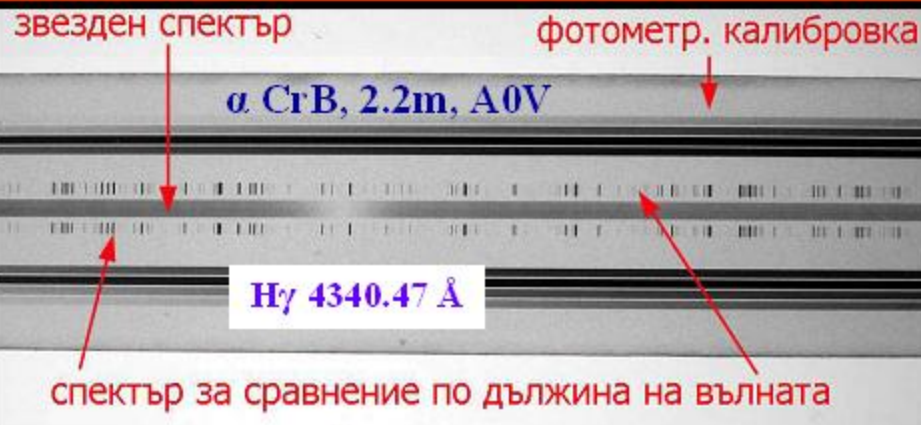
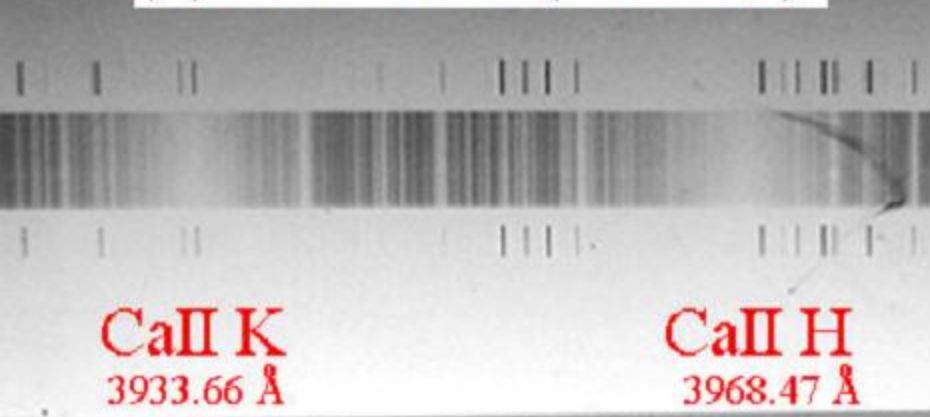
настройка  
на процепа

пулт за управление

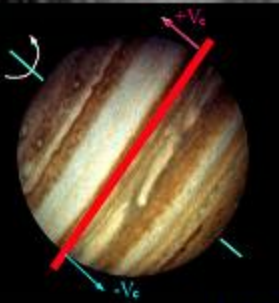
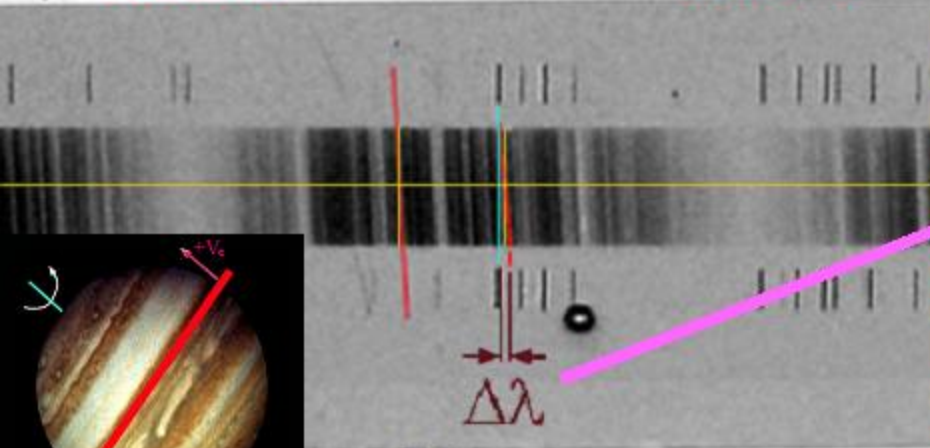
# Фотографски куде-спектри - 2.1 м Kitt Peak и 2 м НАО Рожен



## Дневно небе (Слънце)



НАО, 1981, 4 Å/мм, Kodak ПаО



Юпитер  
(процеп по екватора)

Определяне радиуса  $R$  на Юпитер по наблюдаван наклон ( $\Delta\lambda$ ) на сп. линии и период на въртене  $T$ :

$$R = (cT/4\pi)(\Delta\lambda/\lambda)$$

Измерени:

$$T = 9:50.5 \text{ мин} = 35430 \text{ сек} \approx 3.5 \cdot 10^4 \text{ сек}$$

$$\Delta\lambda = 0.35 \text{ Å на } \lambda = 3950 \text{ Å} \approx 4 \cdot 10^{-3}$$

$$R \approx (3 \cdot 10^8 \cdot 3.5 \cdot 10^4 / 12.56) (0.3 / 4 \cdot 10^3) \approx 8.36 \cdot 10^8 \cdot 8.7 \cdot 10^{-4}$$

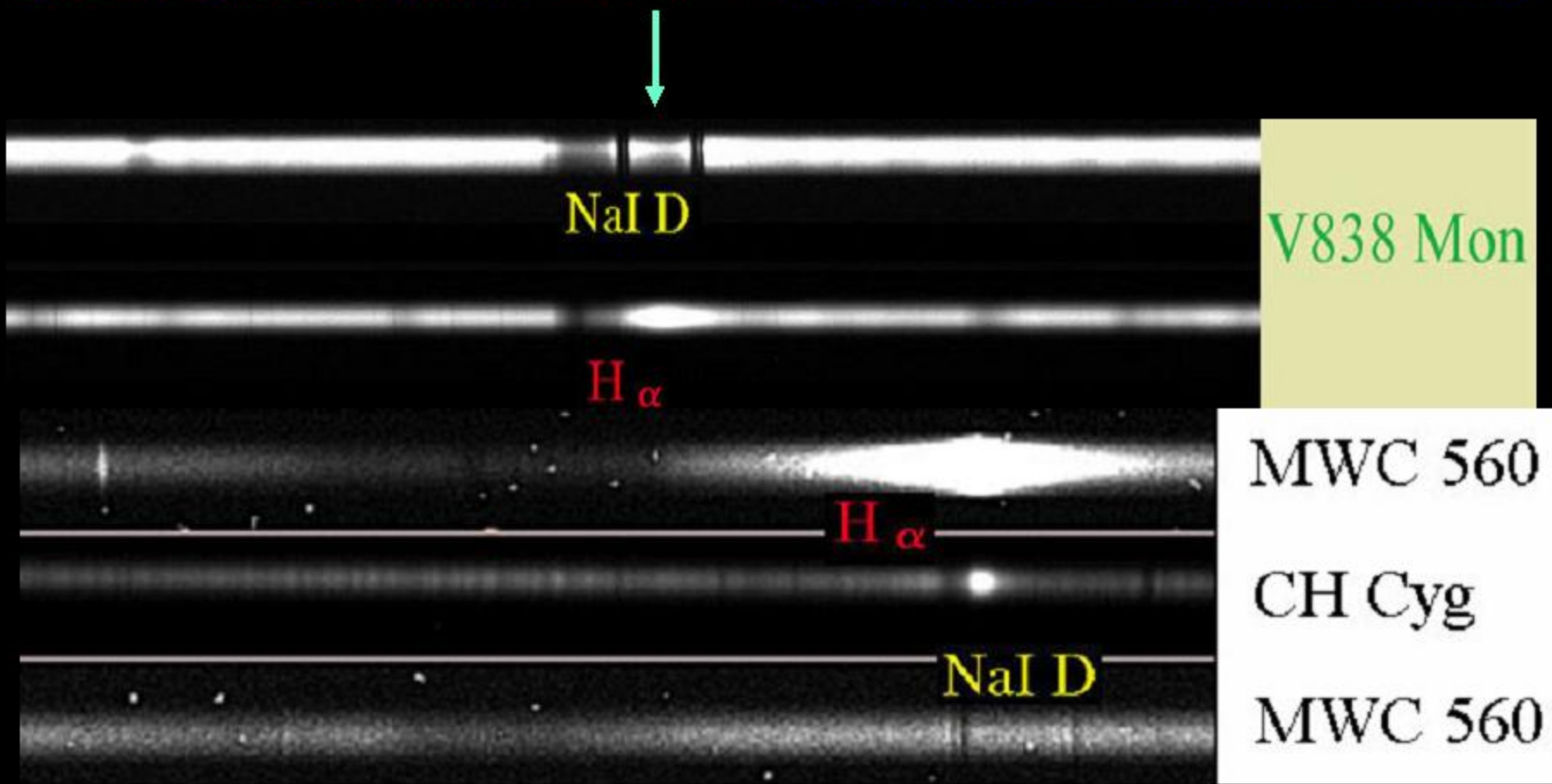
$$R \approx 73000 \text{ км (точно е 71400 км)}$$



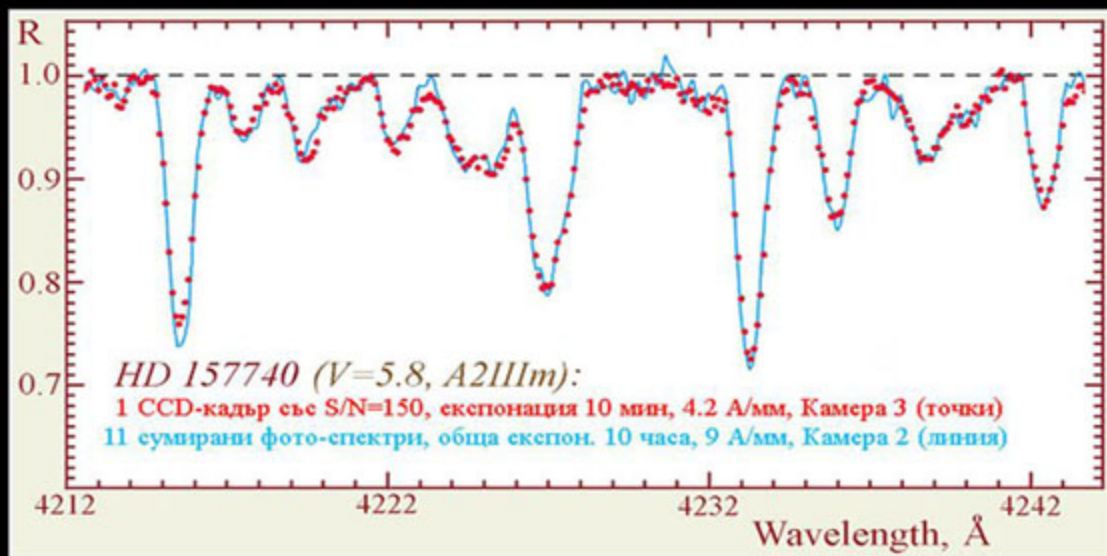
# CCD куде-спектри - 2 м НАО Рожен



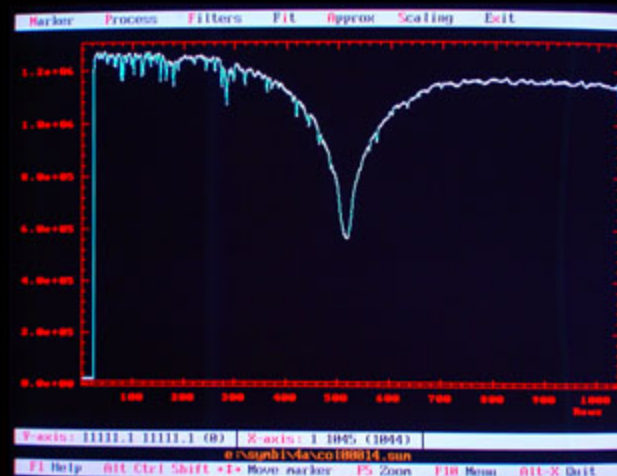
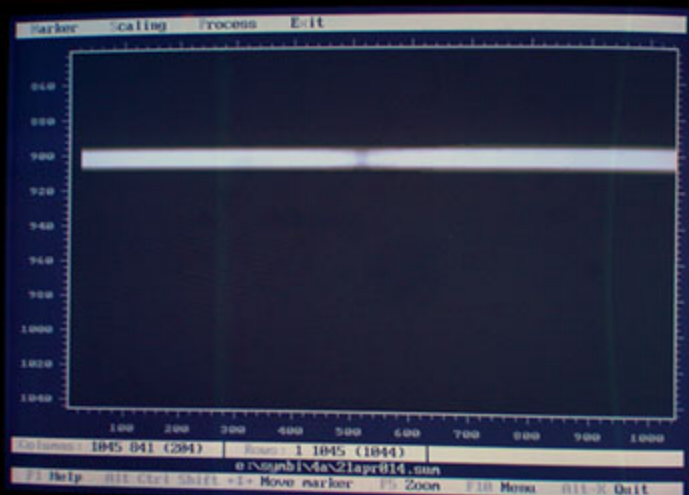
ThAr-спектър за сравнение и звездни спектри, регистрирани със CCD-камера *Photometrics*



Съвременните CCD приемници на светлината са многократно по-чувствителни и по-точни в сравнение с господстващата почти век фотографска технология. Самата работа с новите технологии е много по-опростена, бърза и ефективна! Докато преди не се знаеше резултатът до проявяването на фотопаката, сега на екрана на компютъра веднага се появява заснетия участък от спектъра, при нужда лесно се коригира нужната експозиция и т.н.



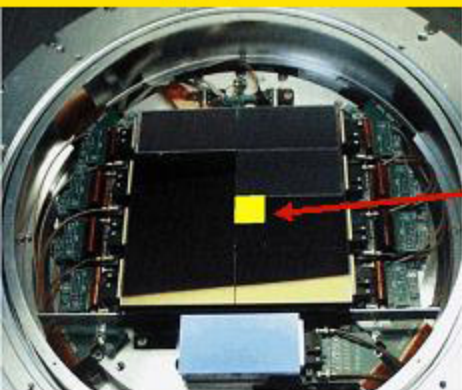
По време на експозиция с куде-спектрографа на 2-м телескоп на НАО "Рожен"



2D-вид на звезден спектър около водородната линия  $H\alpha$  (вляво) и едномерен вид след сумиране на всички редове на полученото изображение (вдясно). Наличната CCD-матрица в НАО позволява да се заснемат участъци от спектъра до 200 ангстрема.



Охлаждана с течен азот CCD-камера Photometrics CH200  
в куде-спектрографа на 2-м телескоп на НАО "Рожен"

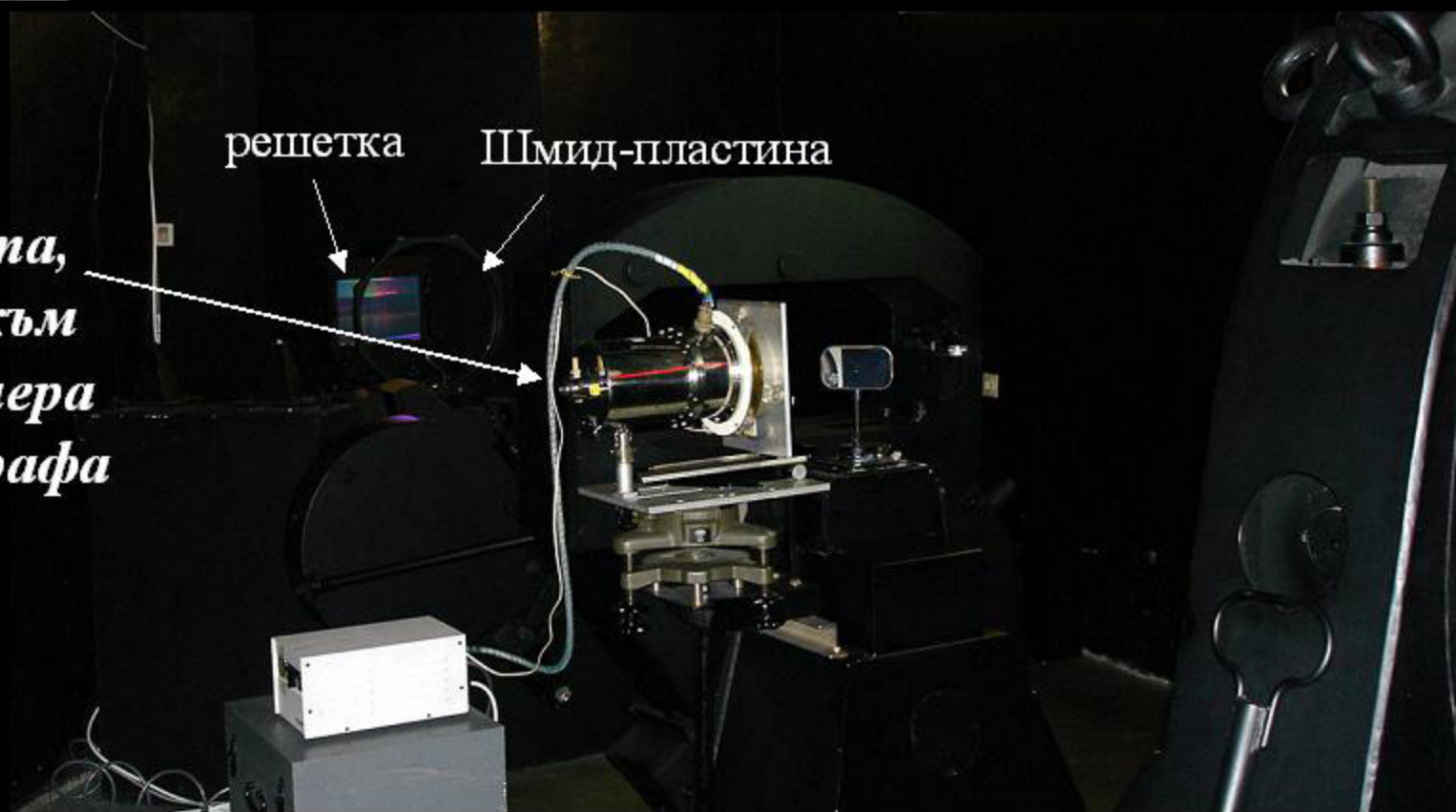


*SITe 1024v1024, 24  $\mu$  чип сравнен с 8Кx8К  
мозайка за 8-м клас телескопи.*

*CCD камерата,  
монтирана към  
1900 мм -камера  
на спектрографа*

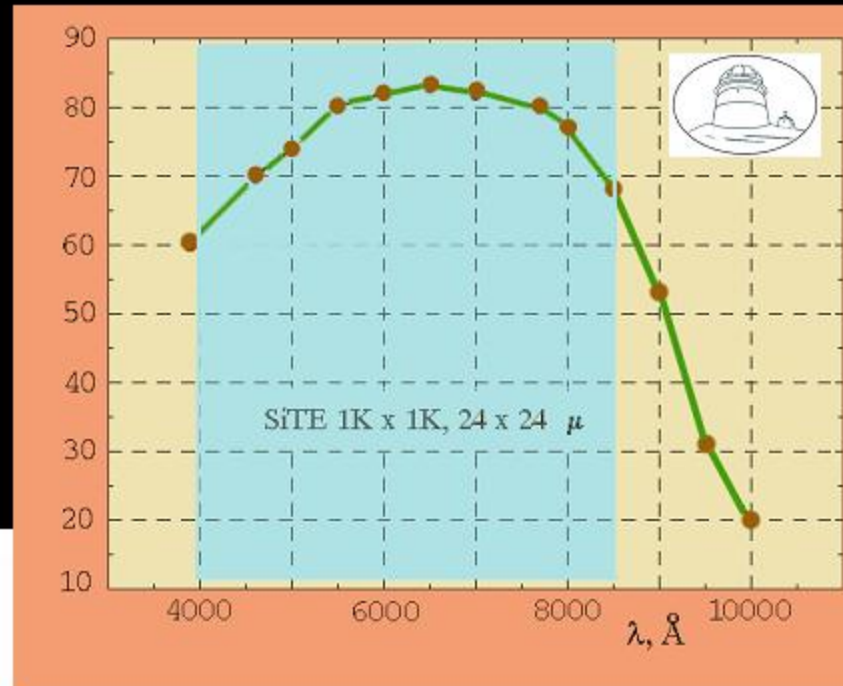
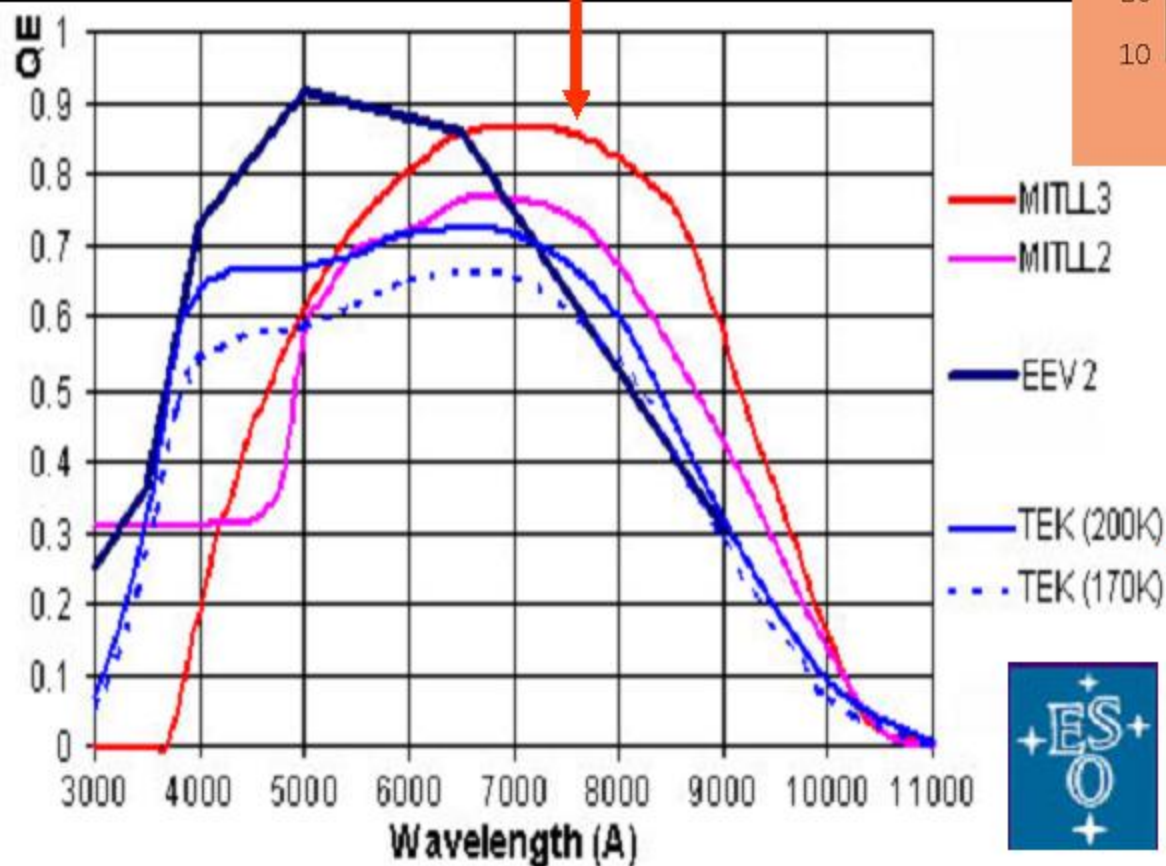
решетка

Шмид-пластина



# CCD матрици: квантова ефективност

Сенсибилизацията подобрява  
чувствителността, особено в UV



Охлаждането  
намалява шума, но  
и чувствителността!



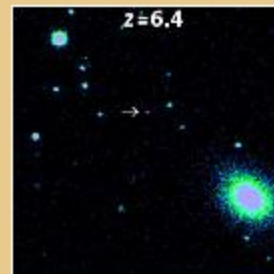
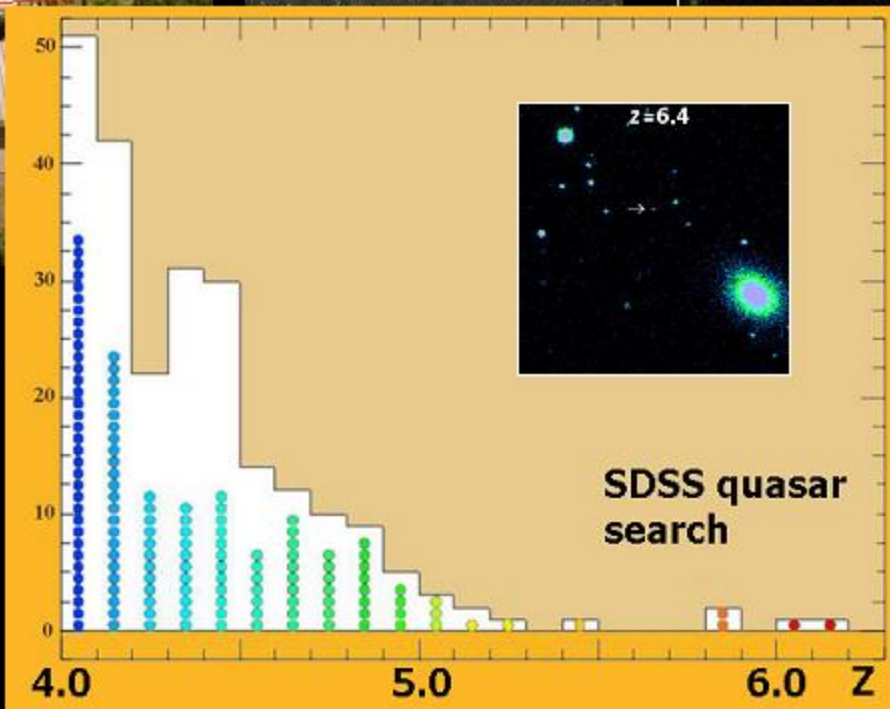


# Проектът SDSS (Sloan Digital Sky Survey)



3.5 m

SLOAN



z=6.2

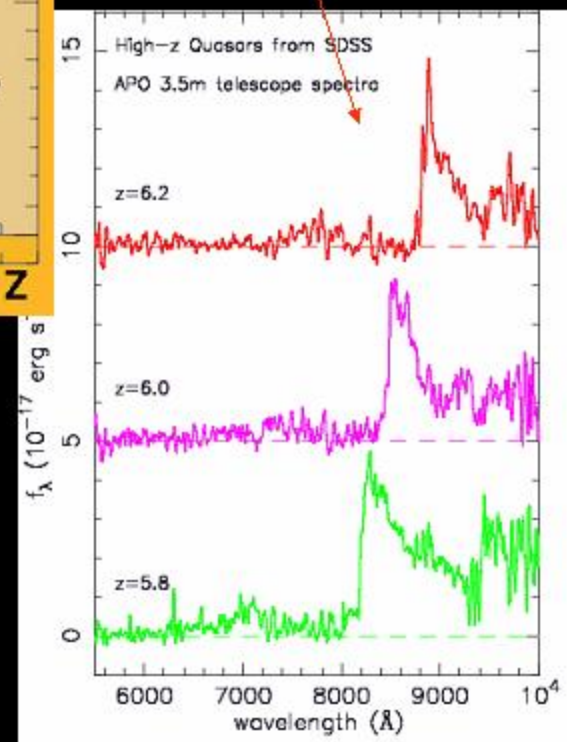


3.5 m

77 M\$ инвестиция;  
 2.5 м телескоп (3°;  
 2.5 M\$;  
 камера с 54 CCD -  
 чипа за 5 M\$ (!);  
 спектроскопия с  
 ниско разделение  
 на 640 обекта  
 (с оптични влакна)



>12 Тб данни!!!

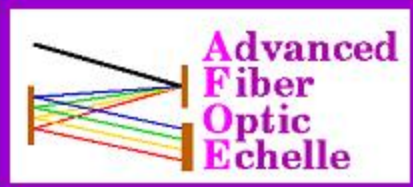


# Ешеле-спектрографи: кръстосване на дисперсиите

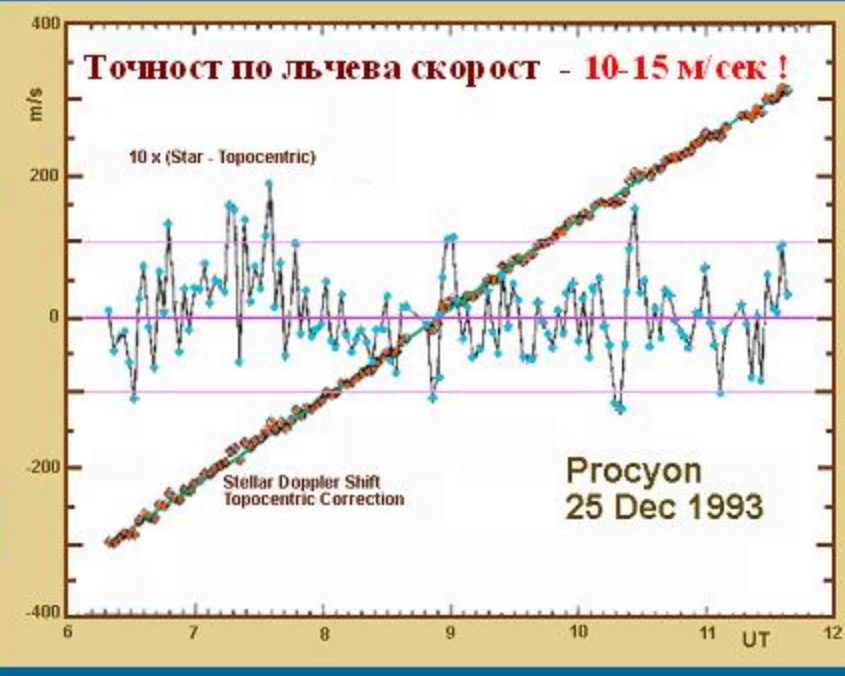
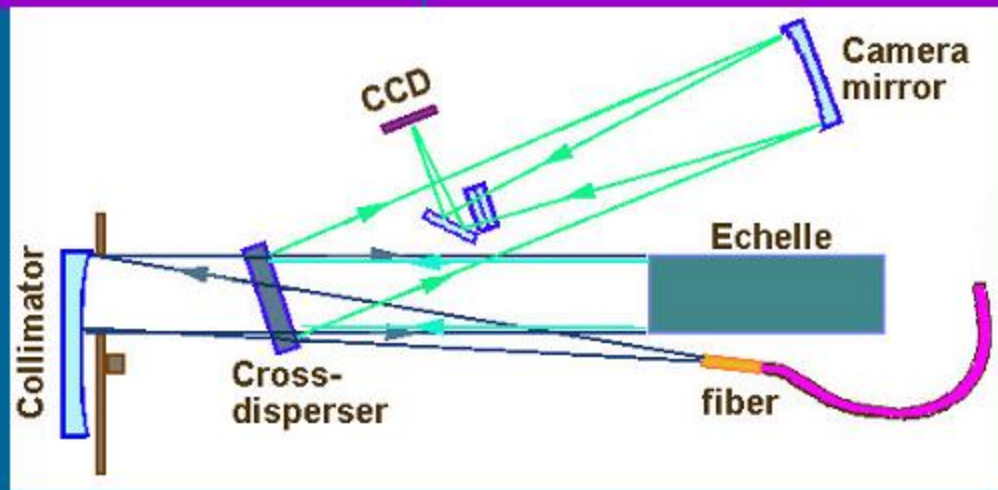


С тази техника става възможно едновременното регистриране на много спектрални порядъци и на големи участъци от спектъра (3000-4000 ангстрема)! Подобрената статистика на линиите позволява да се постигне и много голяма точност на измерваните лъчеви скорости, което бе

една от предпоставките за откриването на извънслънчеви планети!



## Оптическа схема и възможности

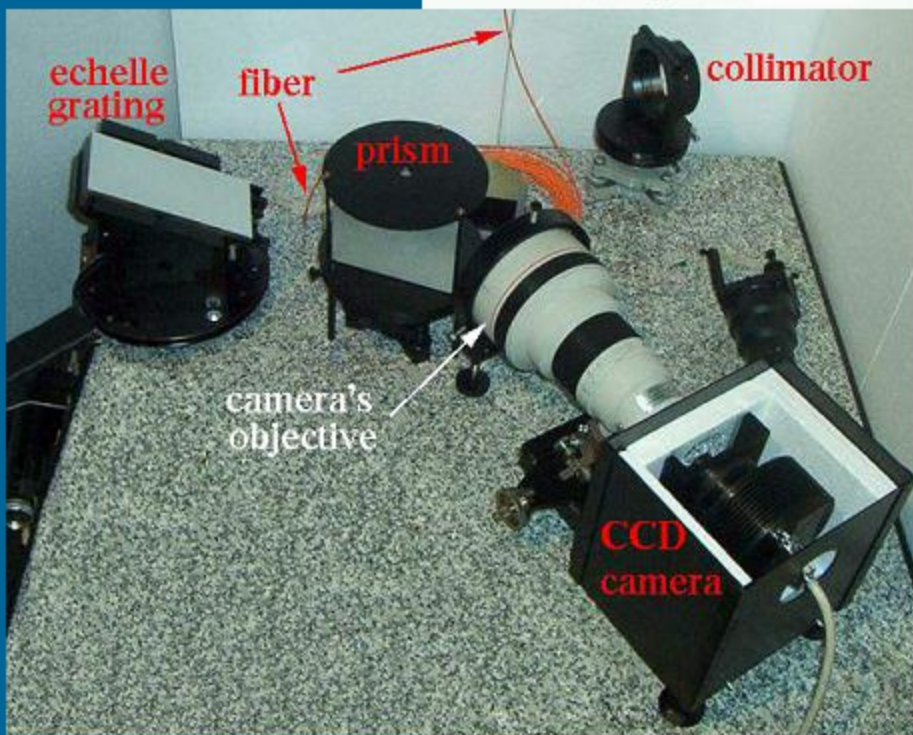
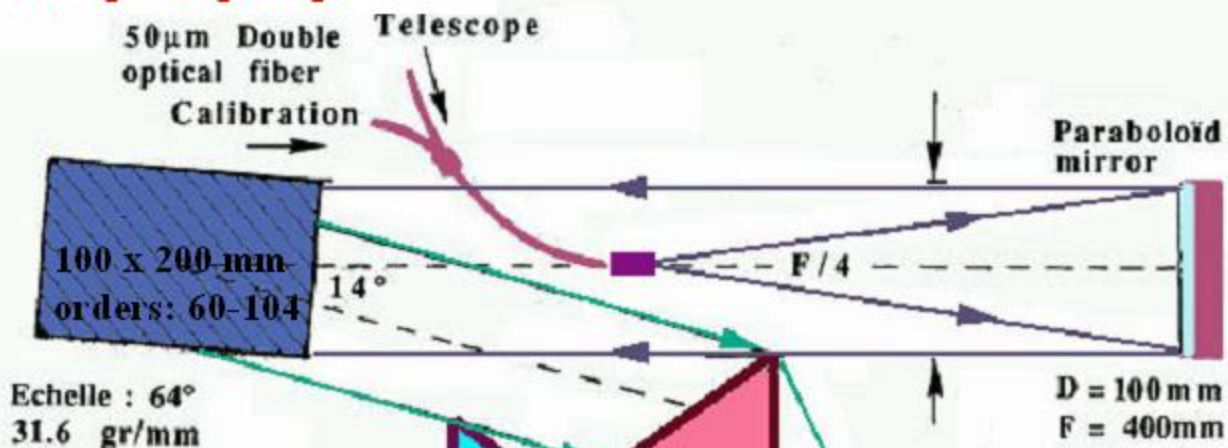




# UAM-Poznan echelle: оптична схема

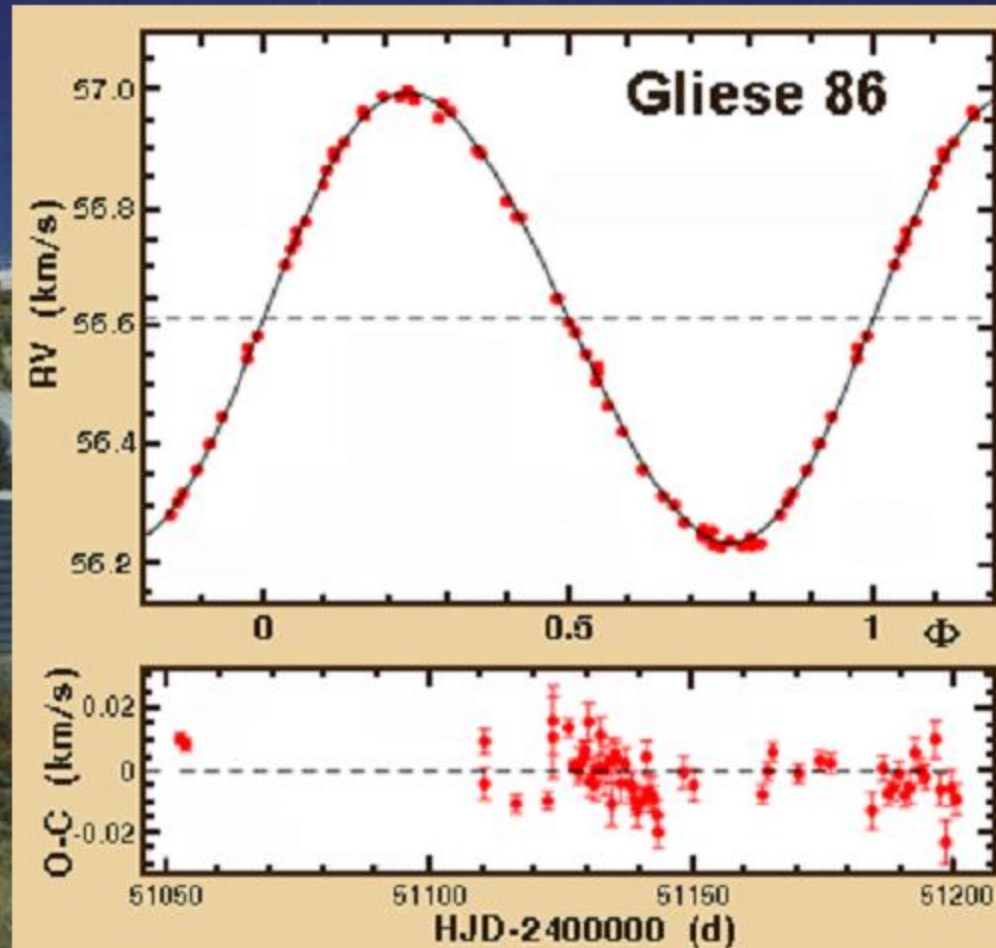
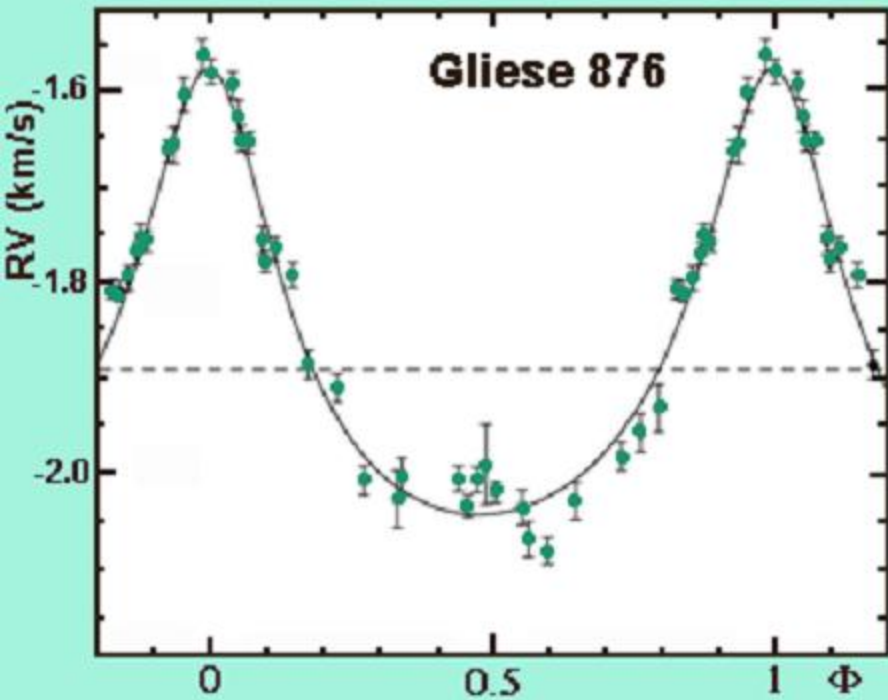
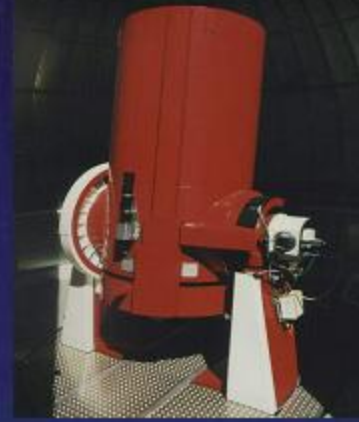
## MUSICOS-т ип спект рограф

Спект рален  
инт ервал:  
5000-9000 Å



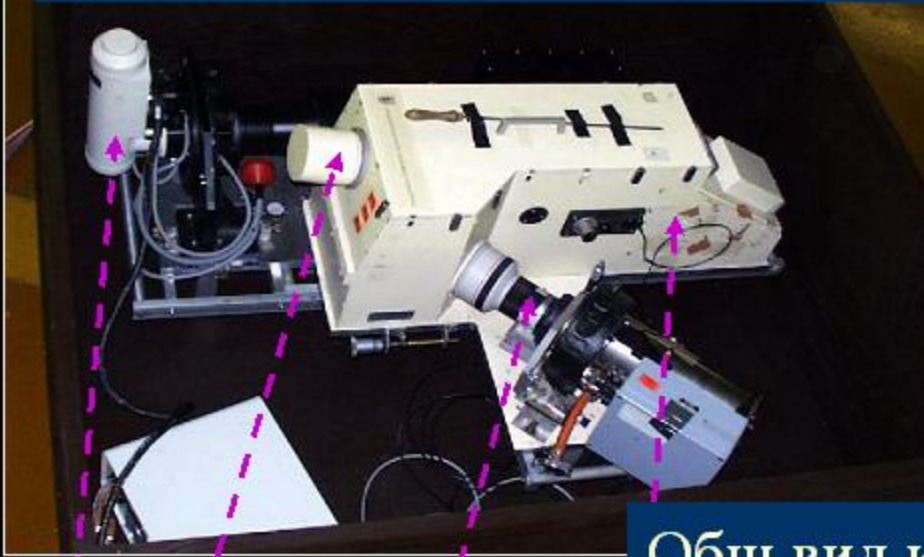


# Извънслънчеви планети открити с ешел-спектрографа *CORALIE* на 1.2 м швейцарски телескоп

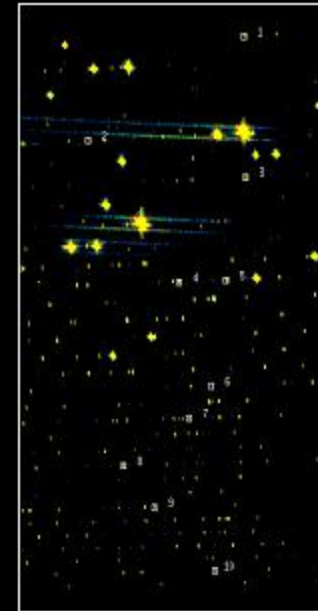
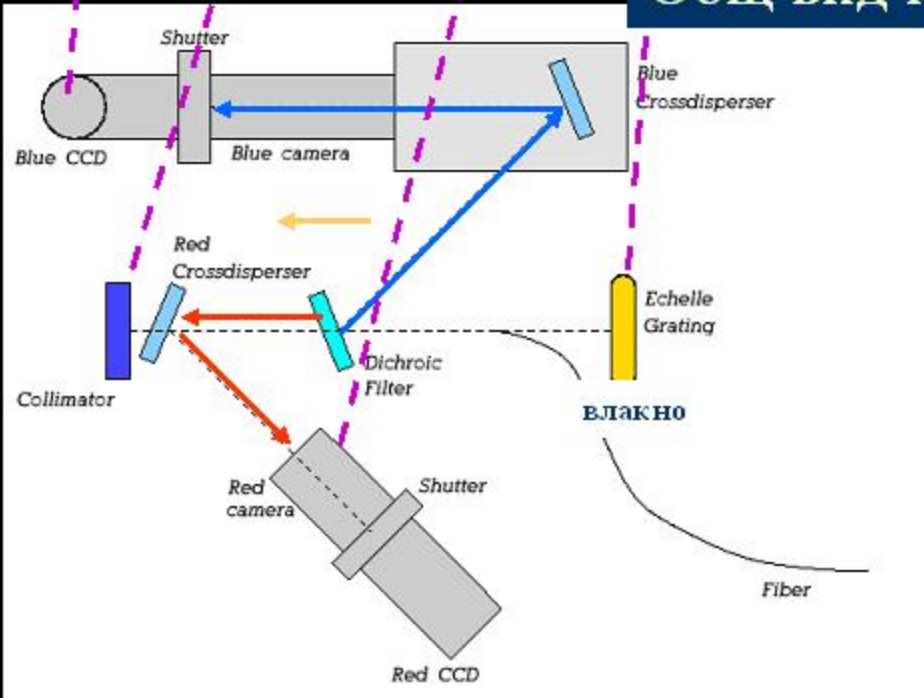




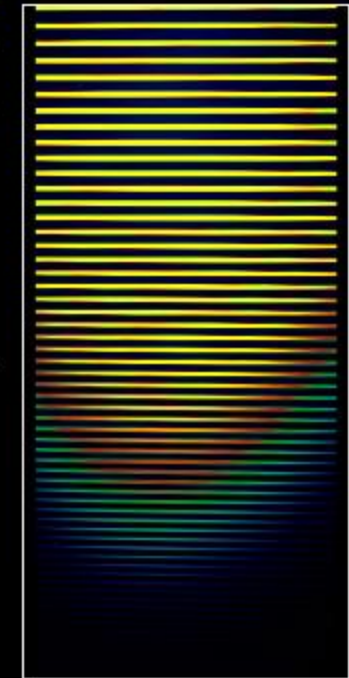
# Ешелле-спектрограф HEROS в Касегрен-фокуса на 2 м телескоп в Ондржейов, Чехия



Общ вид и схема



Спектър за сравнение в червената област

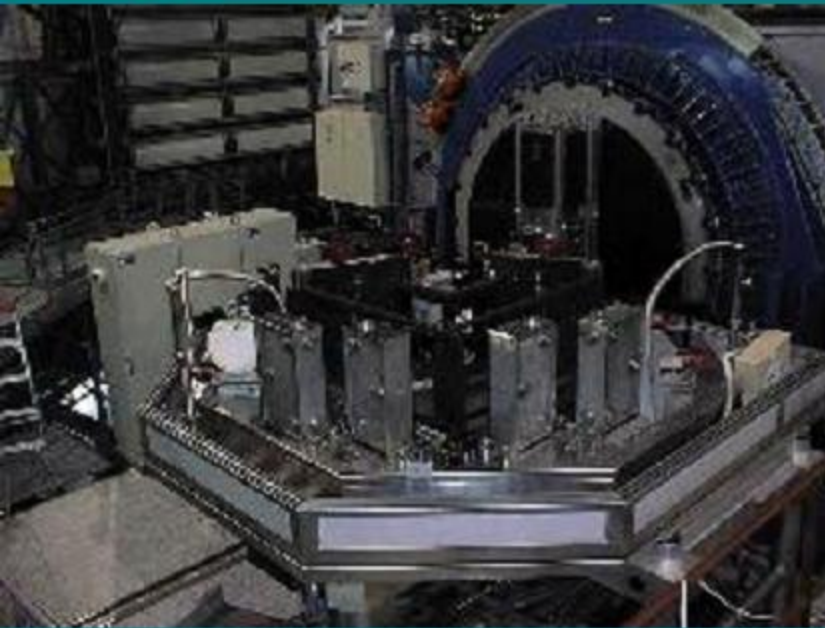


Спектър за корекция "плоско поле"



# UVES

## The VLT *UV*-Visual *E*chelle *S*pectrograph



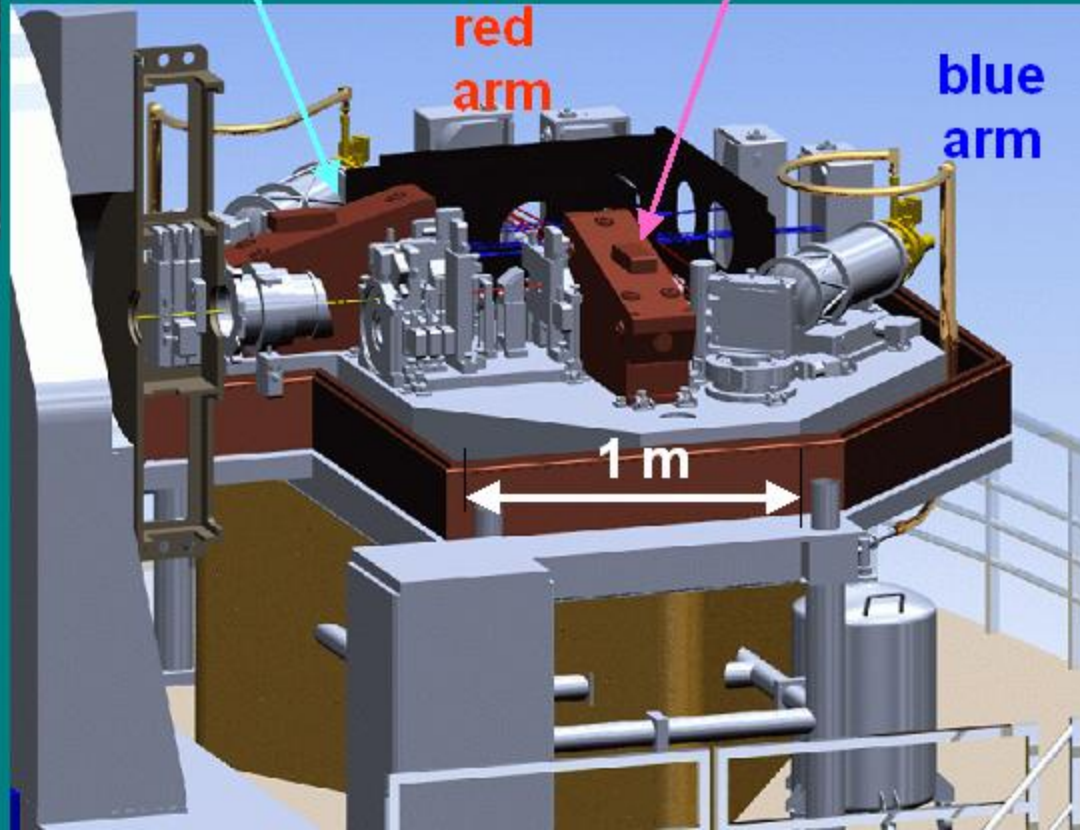
UVES в Nesmyth A focal station  
на UT2 (KUEYEN)

“B”-Echelle

“R”-Echelle

red  
arm

blue  
arm



1 m

**UVES** има 8 влакна (6  
обектни, 2 небе) за червения  
канал. С 1" влакно това  
позволява от 2003 г.  
многообектна  
спектроскопия с  
 $R = 40,000$  в областта 4200 -  
11000 Å





# UVES: Данни за ешелето

*Blue echelle mosaic*

*Red echelle mosaic*

Dimensions

840x214x125 mm

840x214x125 mm

Groove density

41.6 g/mm

31.6 g/mm

Max resolution  
(diffraction limit)

**1 900 000 (!)**  
(0.033 Å at 6328 Å)

**2 100 000 (!!)**  
(0.030 Å at 6328 Å)

Nominal resolution  
(0.5 arcsec slit)

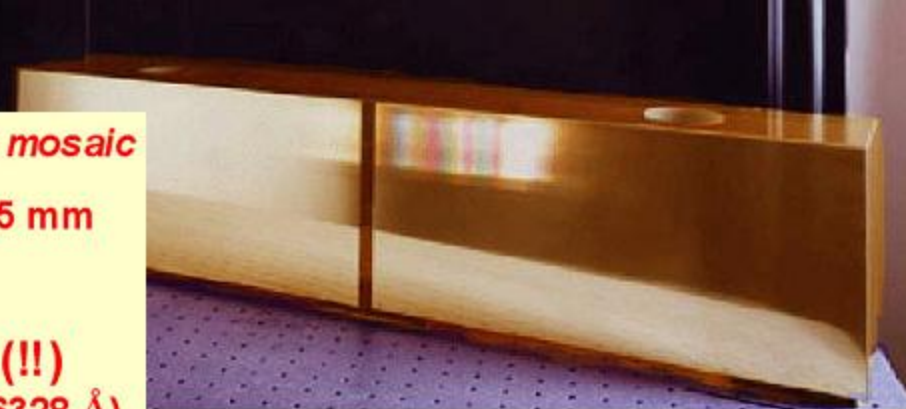
**82 000 (only !)**

**77 400 (only !)**

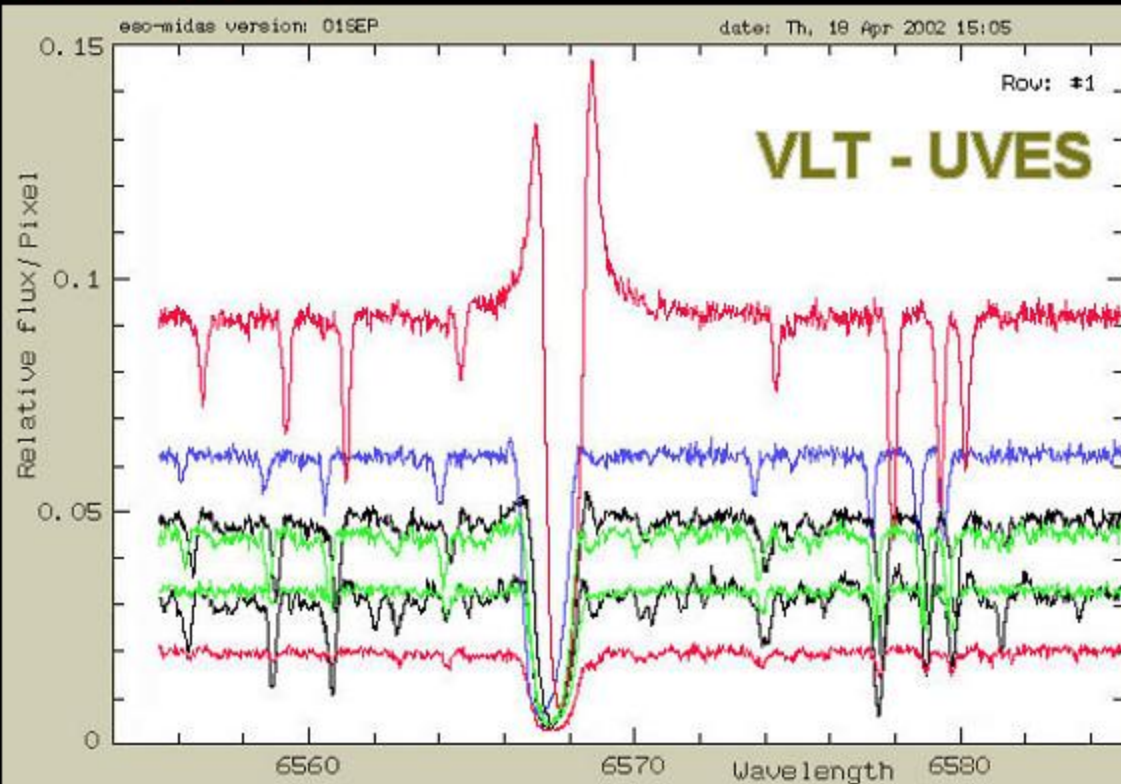
Spatial resolution

**0.1" on the sky**

**0.09" on the sky**



**UVES: Примерни  
звездни спектри**

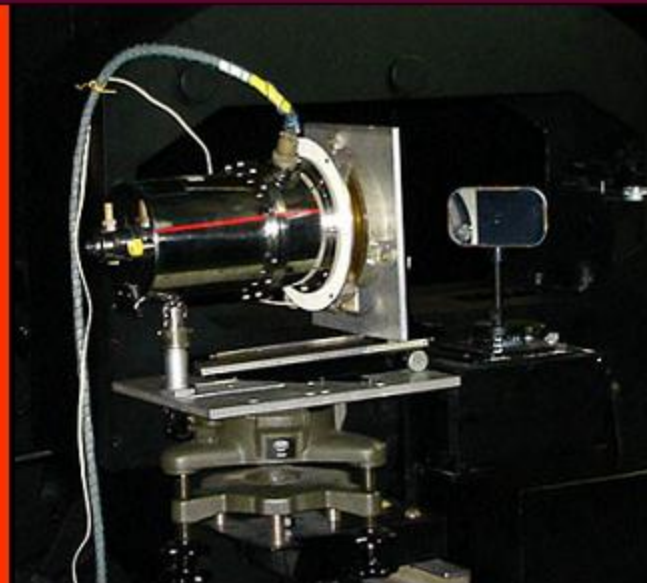


# CCD камери за регистриране на светлината

Камерите за съвременните телескопи имат мозайки от много CCD-чипа и струват **милиони \$** !



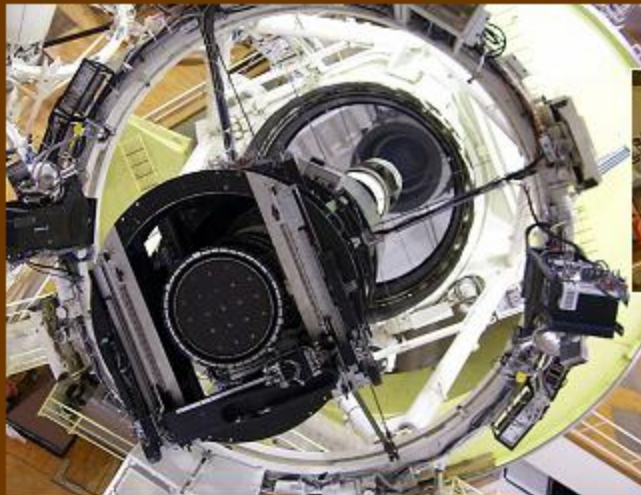
MegaCam има мозайка от 40 чипа 4X2 К!



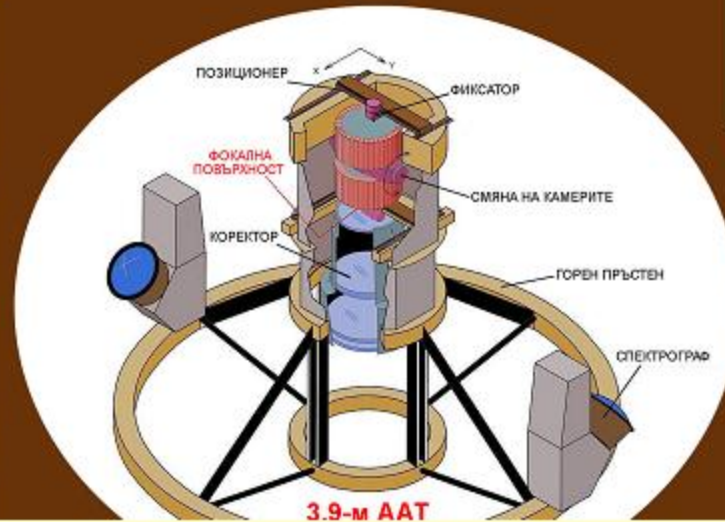
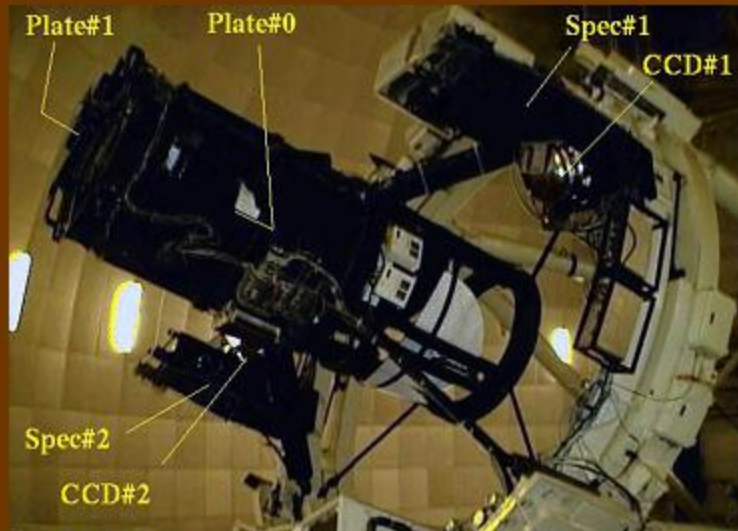
Камерите на 2 м в НАО Рожен струват "само" по **50000 \$** и имат чипове от клас 1Кx1К







Началото -  
прекият фокус  
с фотоплаки



**Проектът 2df на 3.9 м ААТ  
- един от най-ефективните  
телескопи в света!**

**Завършени са обзори на червени  
отмествания на 220000  
галактики и на 30000 квазари.**



# Isaac Newton Group (ING) телескопи

## ORM - La Palma



Преди да заработи успешно на Канарите, *Isaac Newton* 20 г. "ръждясваше" до Ламанша!



4.2 m WHT

2.5 m INT

1.5 m JCT

Herstmonceux

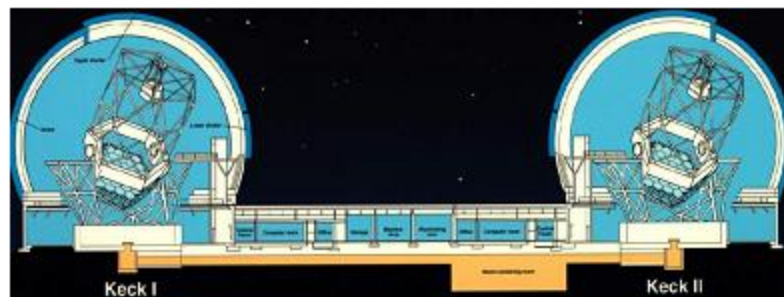




Тегло на всеки телескоп: 300 т  
10 м огледала от по 36 6-ъгълни  
сегмента с размер 1.8 м



Средства на W.M. Keck Foundation: M\$ 140  
(вкл. за оборудване: M\$ 40)  
Годишен бюджет: M\$ 10  
Щат (75% от Хаваите): 80  
Бюджет на един зает: K\$ 125  
**“Цена” на една наблюдателна нощ: K\$ 47**



**Бъдеще: интерферометър с база 85 м**



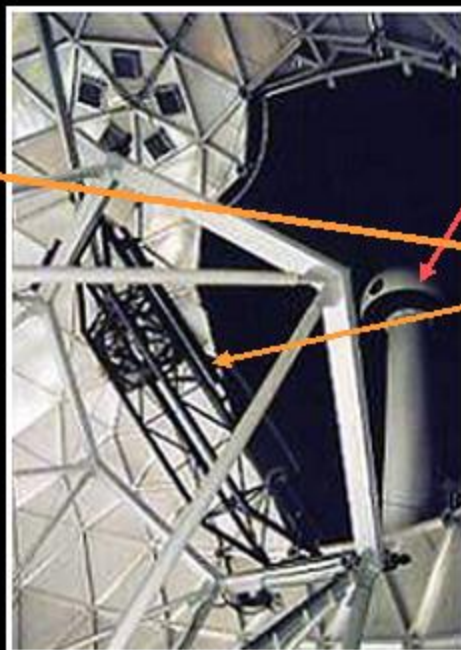




# *Hobby-Eberly Telescope (1999) - евтината алтернатива на Keck и VLT*

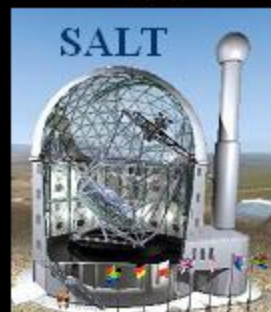


11-m HET

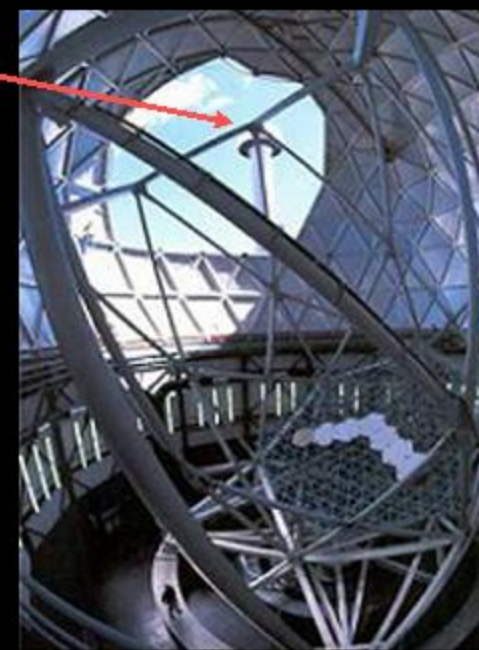


Юстировъчна кула

Подвижна фокална платформа



SALT



човешки фигури за мащаб

Сегментно огледало (91 бр. с размер 1 м; ~100 кг всяко).  
Фиксирано зенитно разстояние ( $35^\circ$ ); движение само по азимут. Следене на обекта и чрез подвижна фокална платформа. Еквивалентен диаметър - 9.2 м.

Цена - \$13.5 млн, или 15 - 20% от "обикновен" 9-м !





*San Pedro Martir,*  
Мексико  
п-в Калифорния

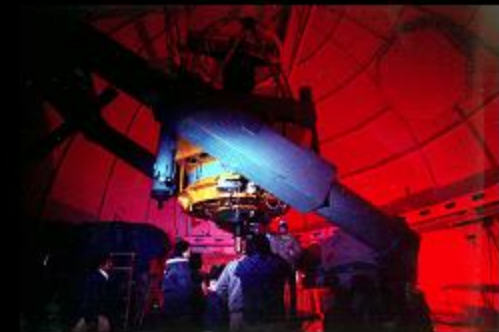


0.84 м  
телескоп



1.5 м телескоп

2.1 м телескоп



# Две поколения 2 м телескопи на *Carl Zeiss*



Касегрен, Онджейов  
1967; (още - Шемаха)

- \* пряк фокус 1:4.5, FOV=21' (камера, спектрограф)
- \* касрегрен 1:14.5, FOV=6.7' (камера, фотометър, спектрограф HEROS)
- \* куде 1:32, FOV=3' (спектрограф D=15 см)

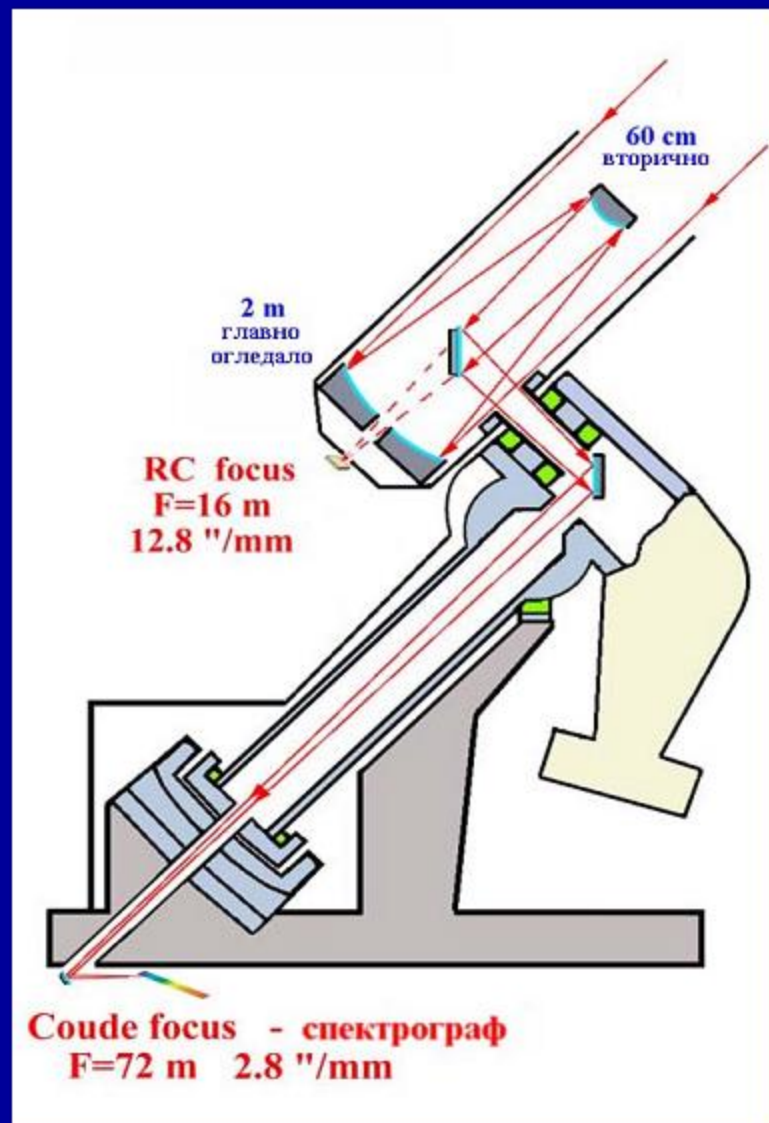
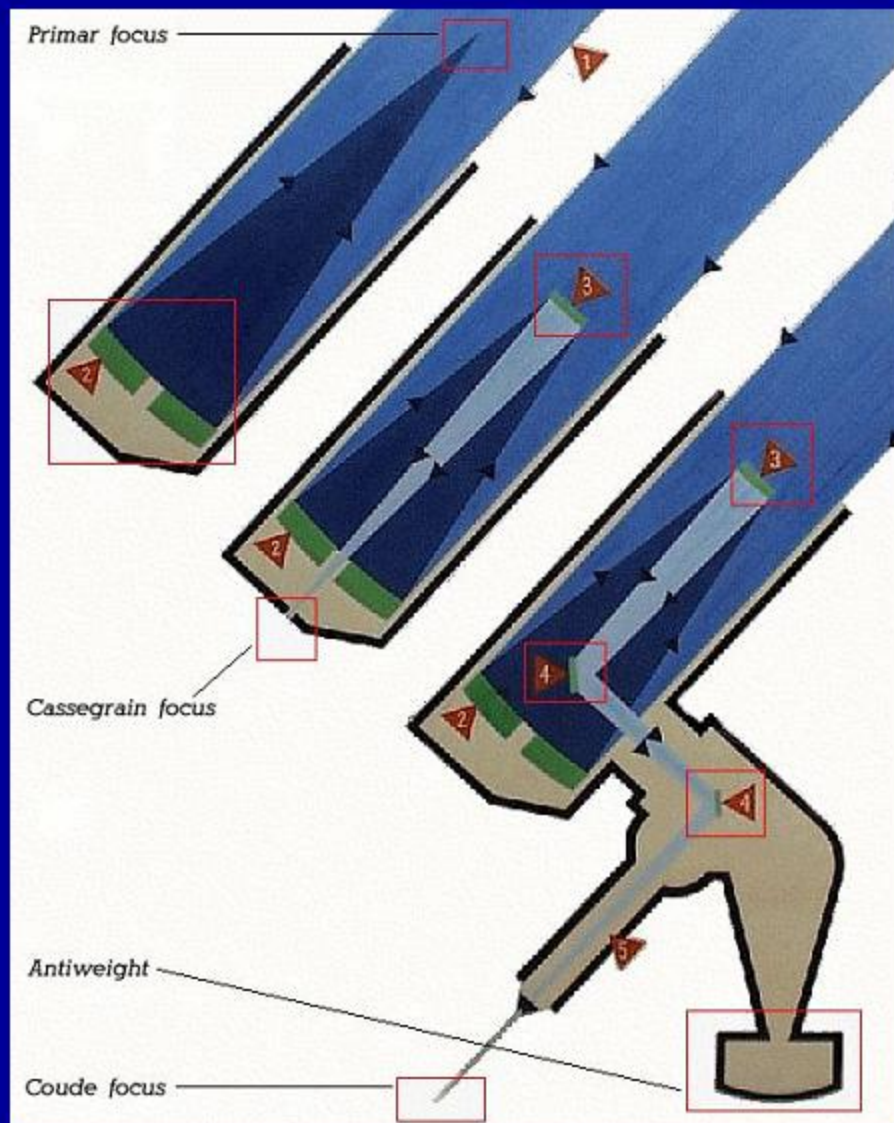


Ричи-Кретнен-Куде, Рожен  
1980; (още - Терскол)

- \* RC фокус 1:8 FOV=60' (камера, фотометър, фокални редуктори 2.2x, спектрографи)
- \* куде 1:36, FOV=3' (спектрограф D=30 см)

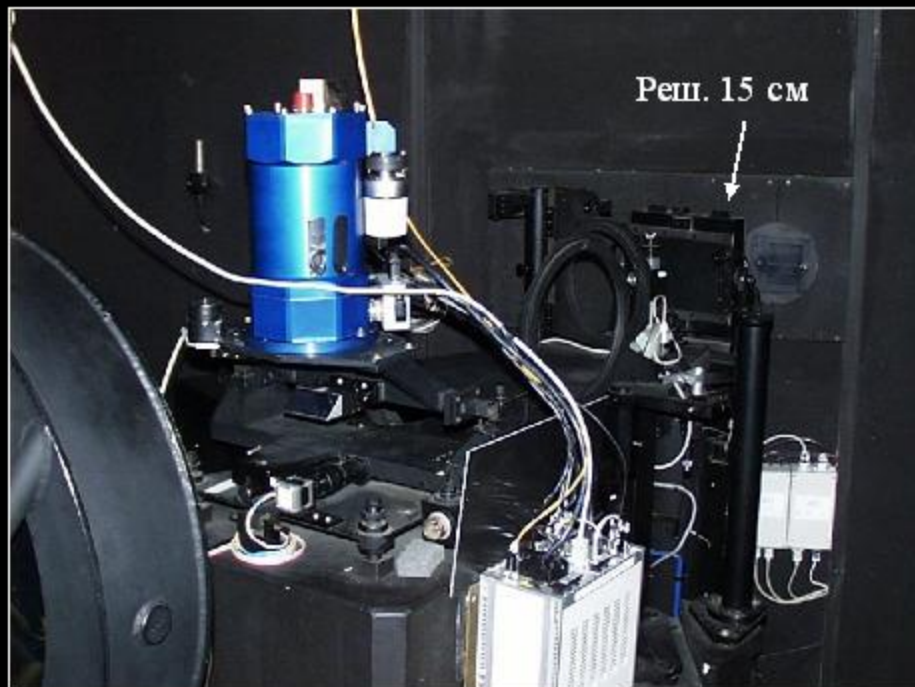


# Две поколения 2 м телескопи на *Carl Zeiss* оптични схеми



# Две поколения 2 м телескопы на *Carl Zeiss*

## Куде-спектрографы



Камера:  $F=700$  мм  
разделение  $\sim 0.5$  А/рх

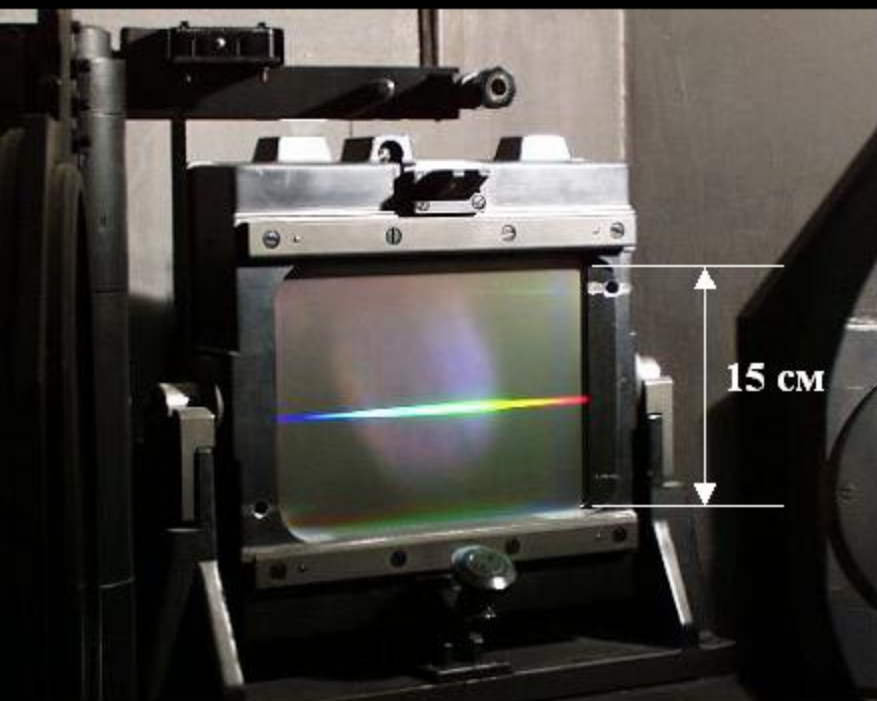


Камера:  $F=1900$  мм  
разделение  $\sim 0.1 - 0.2$  А/рх

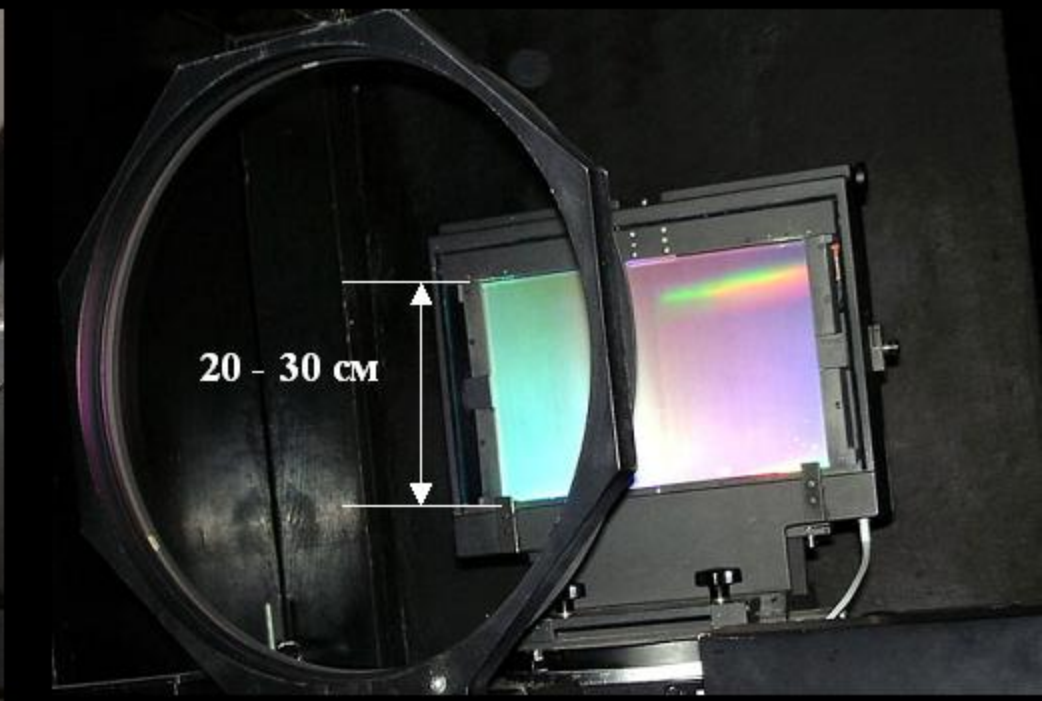


# Две поколения 2 м телескопи на *Carl Zeiss*

Куде-спектрографи



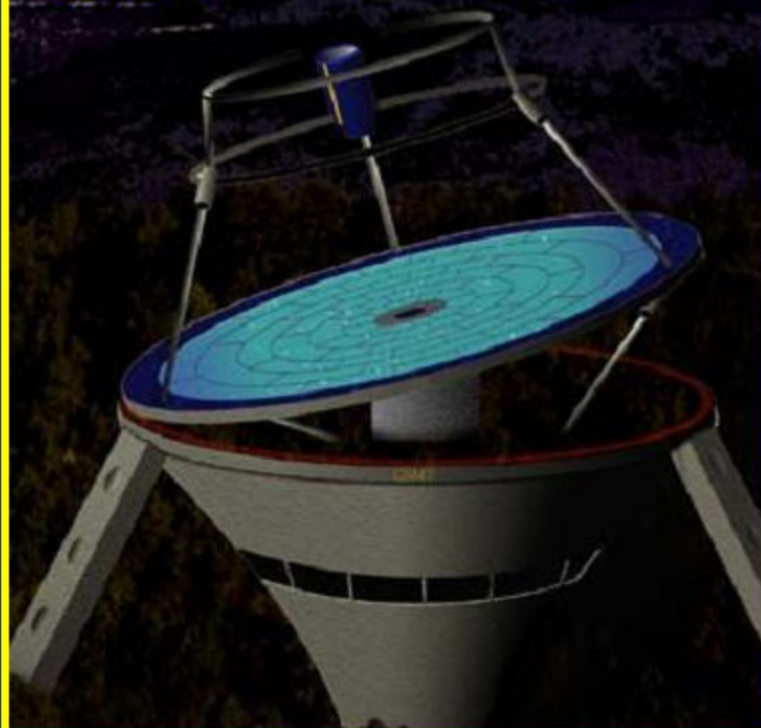
2м - Онджейов



2м - Рожен

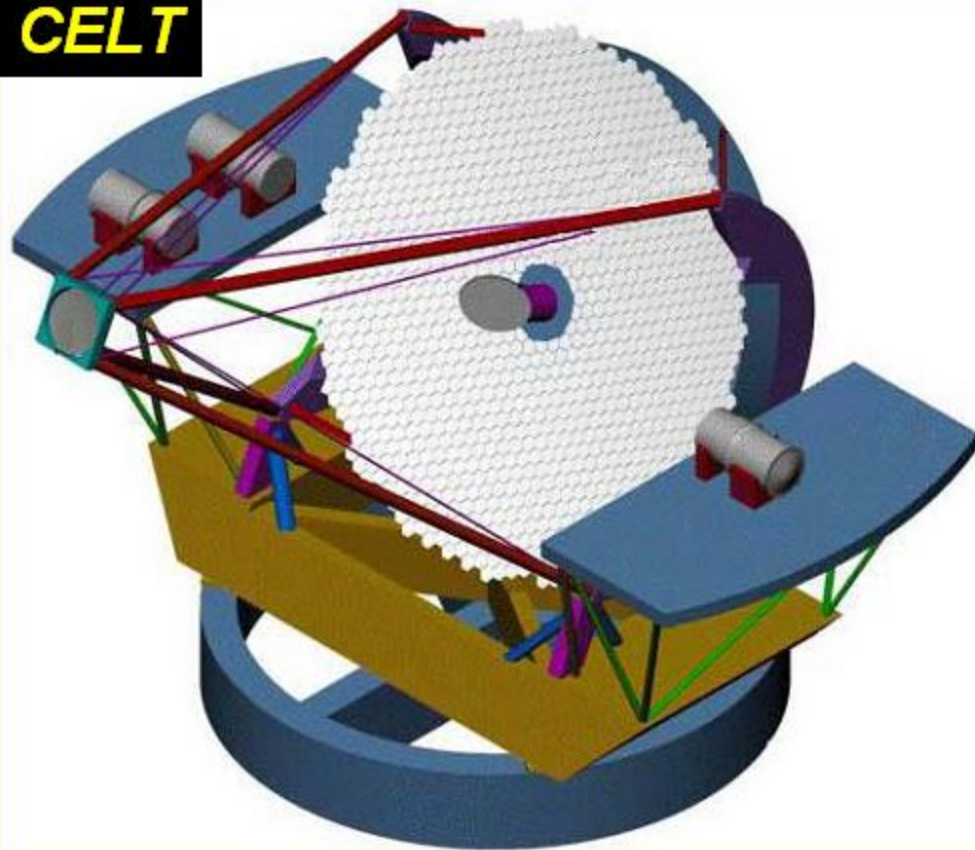
# Проекти на I-половина на XXI в.

**GSMT**



**30-м Giant Segmented  
Mirror Telescope**

**CELT**

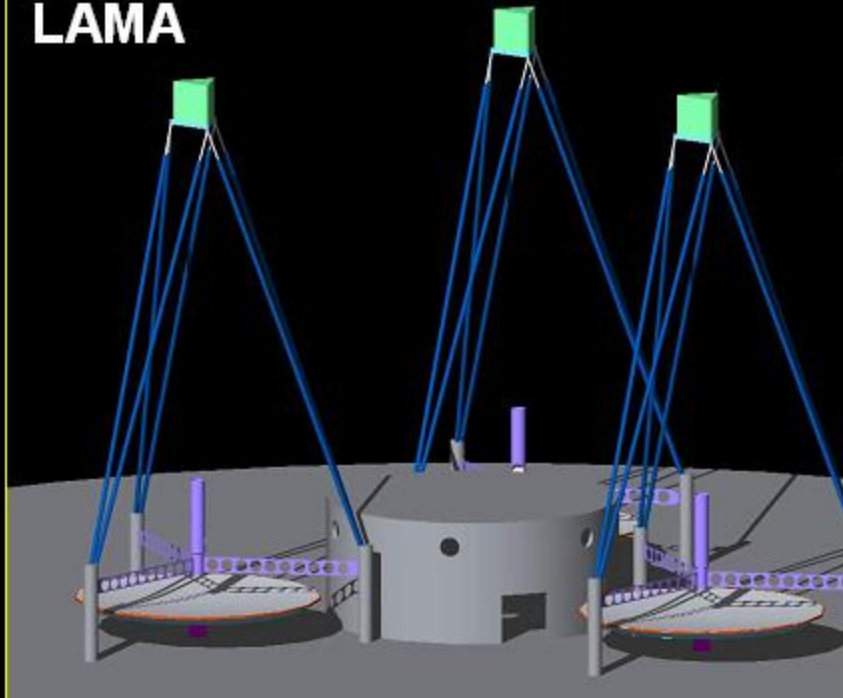


**30- м Californian Extremely  
Large Telescope**



# Проекти на I-половина на XXI в.

LAMA

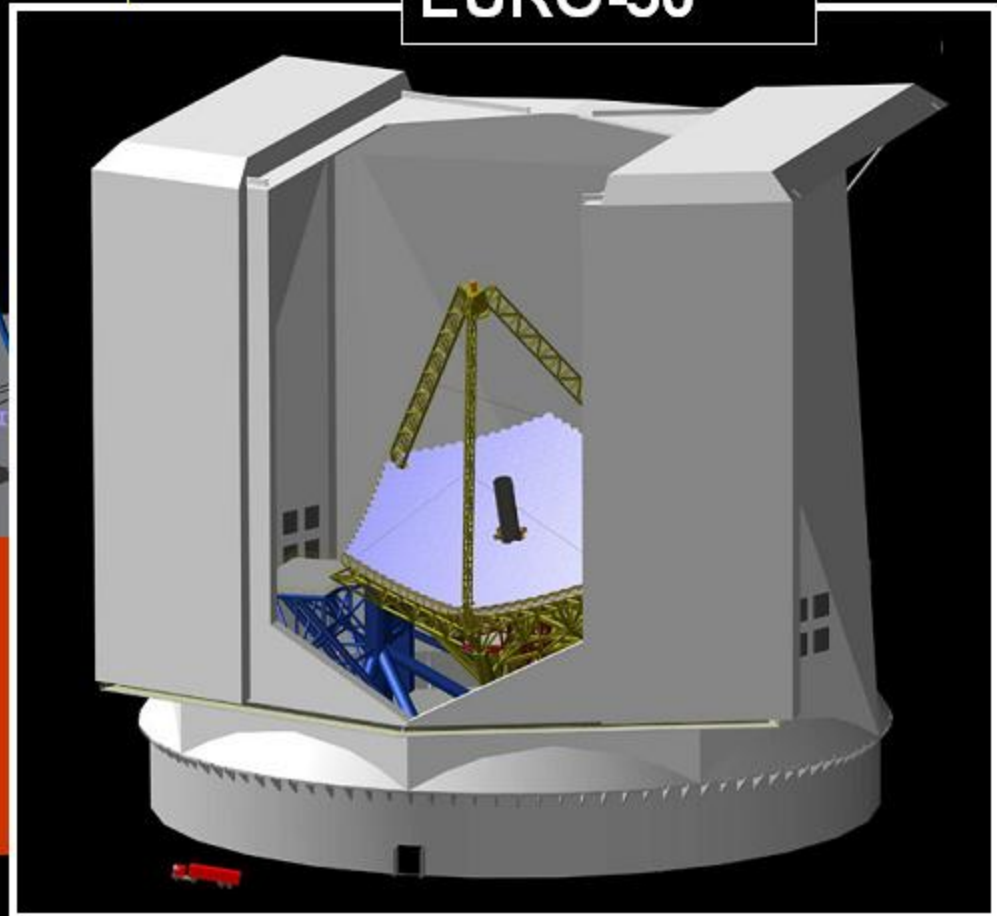


(Large Azimutal Mirrors Array)

Набор от 18 телескопа с 10-м живачни огледала.

Еквивалент на 42-м телескоп.

EURO-50



# *Проекти на I-половина на XXI в.*

**100-м OWL (Overwhelmingly Large) - EЮО**





# Наистина : Екстремално Големи Телескопи (ЕГТ)

Boeing 747



Euro-50

85 м височина  
4500 т общо тегло



Кулата на  
2-м в НАО



EURO50 - възел на талигата за движение по азимут



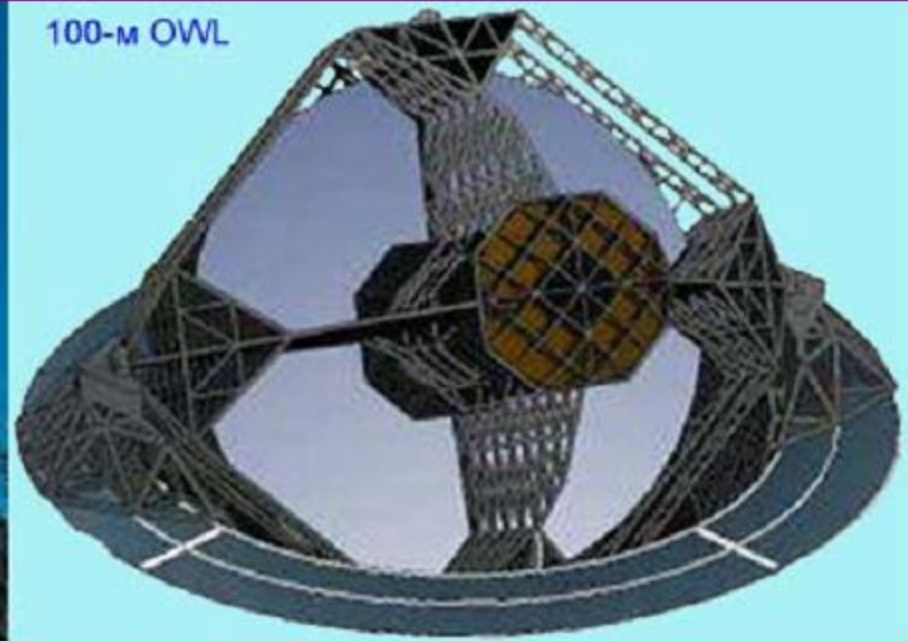
# 100-м радио- и оптически телескопи : прилики и отлики

*Дълж. на  
вълната: 1-11 см.  
Допуск на  
гладкост:  
0.5 - 5 мм  
(500μ-5000μ)*

100-м радиотелескоп  
Ефелсберг, Бон, ФРГ



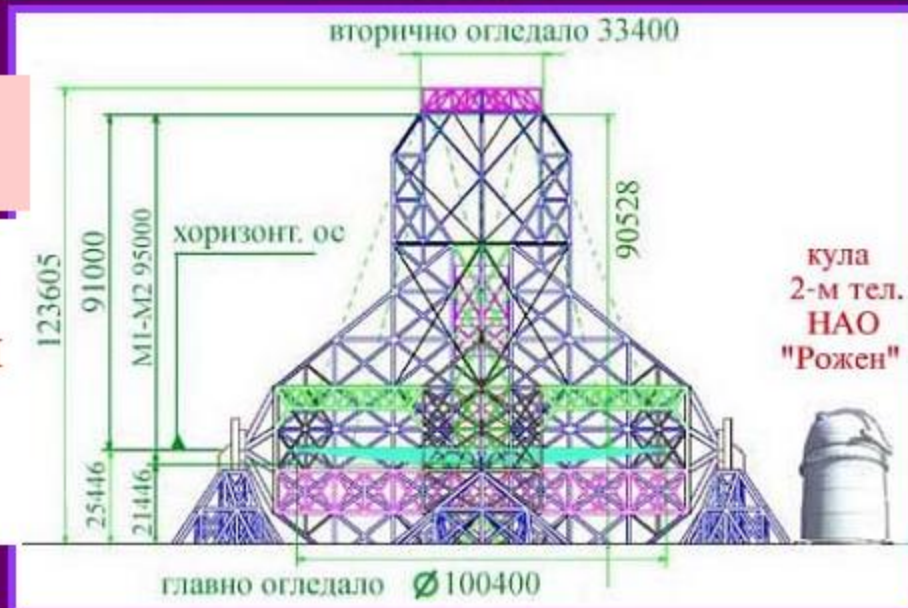
100-м OWL



Общо тегло: **3200 т**

*Дължина на вълната: 1-3 μm.  
Допуск на гладкост : 0.05-0.15μ*

Допуските за оптиката на OWL са 10000 пъти по-строги, а оттам и два и много по-тежката конструкция - **13500 т!**

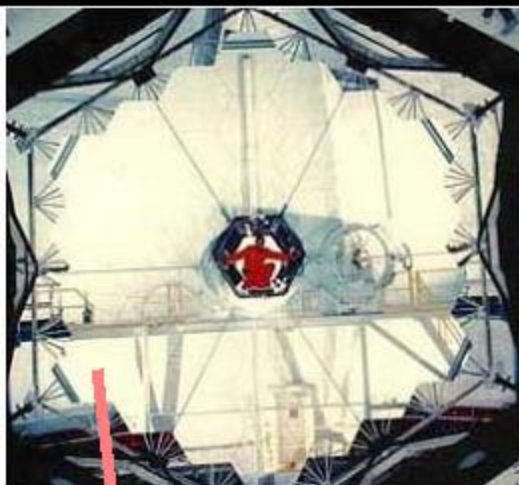






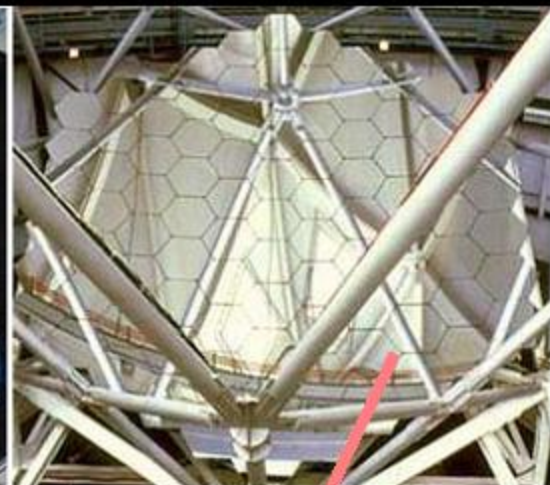
# Сегментни астрономически огледала

Кеск



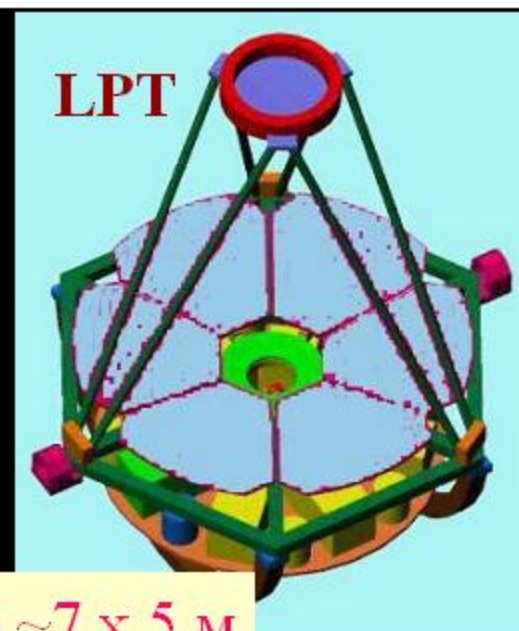
Размер ~2 м

НЕТ



Размер ~1 м

EURO 50

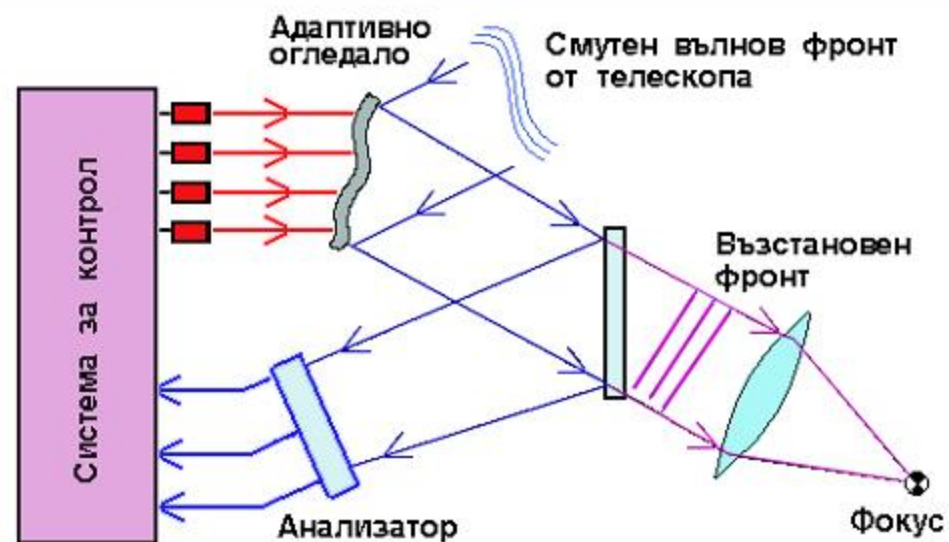


Размер ~7 x 5 м



# Принципи на активна корекция на вълновия фронт

## Активна оптика



## Адаптивна оптика

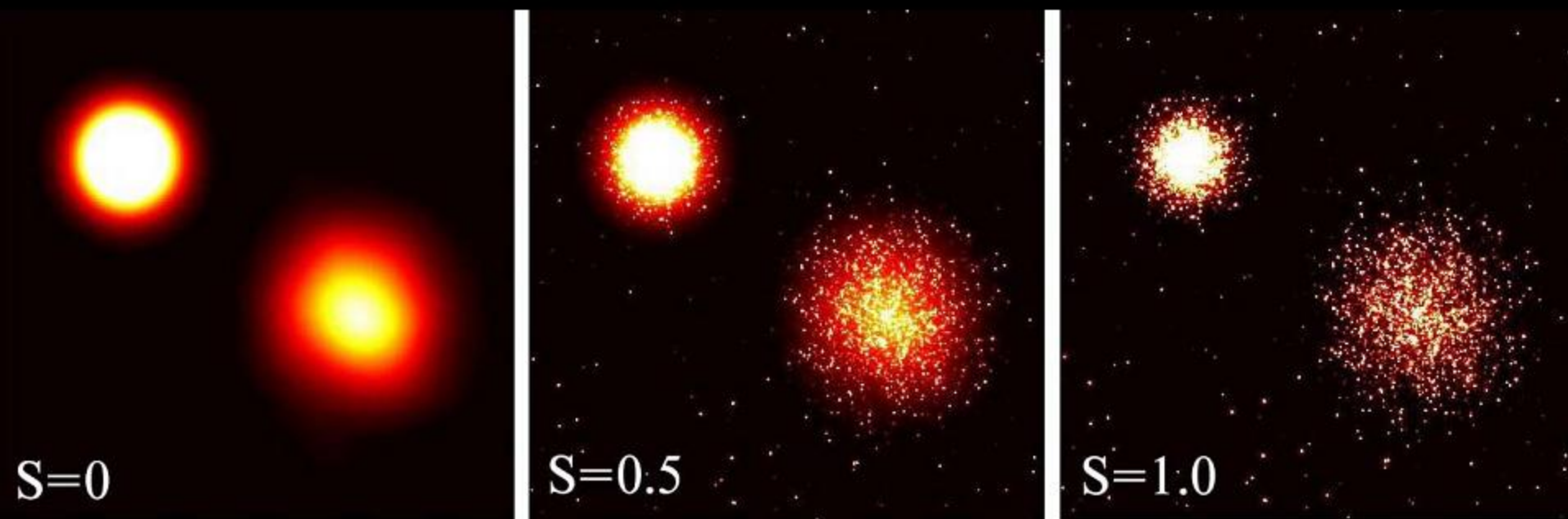


3.5m NTT



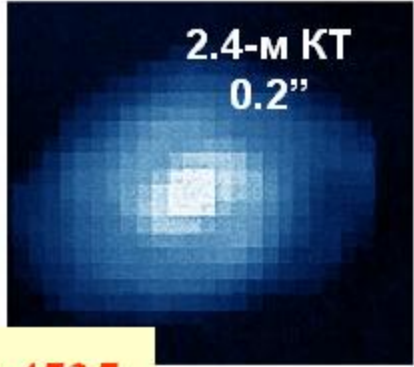
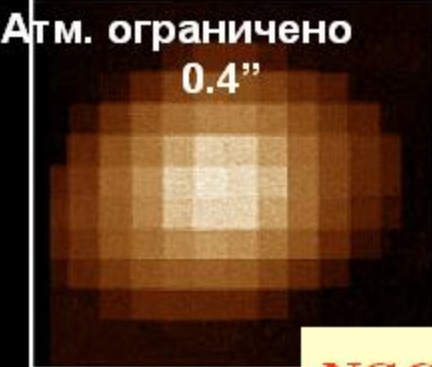
VLT-4 "Yepun"

Сферични звездни купове във фокуса на 50-м телескоп  
при различен *фактор на Strehl* ( $S$ ):

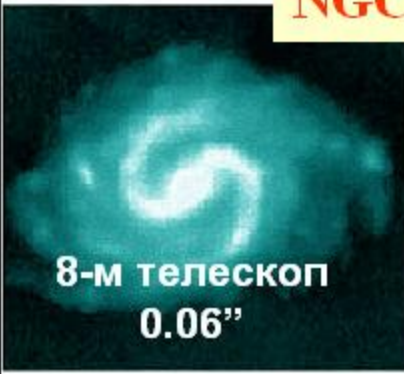


Компютърна симулация на близки купове с различна концентрация на звезди. Разстоянието между куповете е около  $1''$ . С фактор  $S = 1$  работят космическите телескопи (няма атмосферно “размазване” на образа). Фактор  $S=0$  имаме за наземен телескоп БЕЗ АДАПТИВНА КОРЕКЦИЯ на вълновия фронт. Най-добрите системи за корекция дават фактор  $S=0.4-0.7$ . Техническото задание за  $S$  на 50-м телескоп е около 0.5. *Мащабът на картината е около  $1''$*





**NGC 4535**

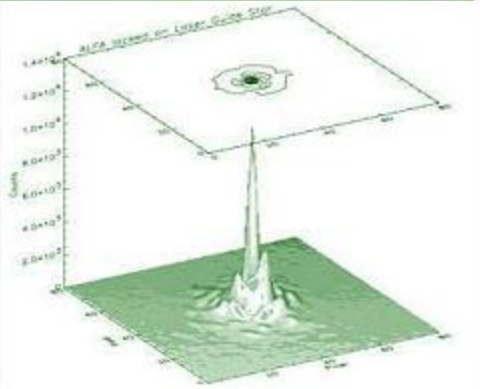
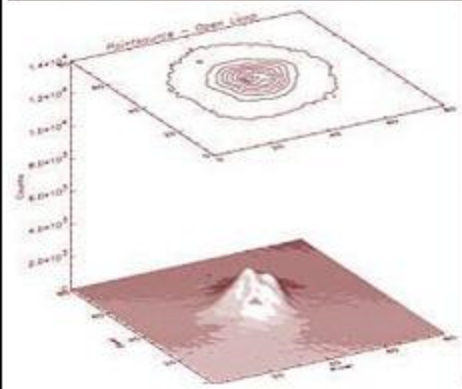
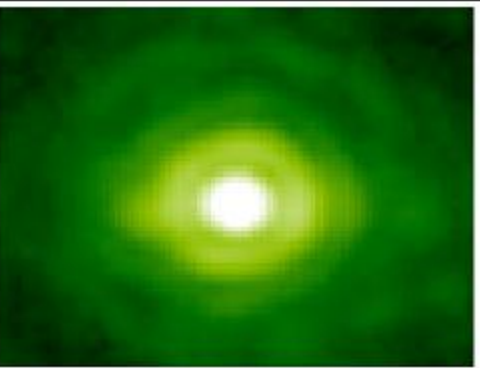
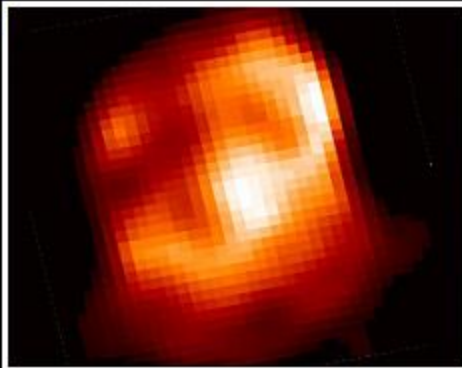


**Качество на образа от  
различни по размер  
телескопи  
за дължина на вълната 2  
микрона**

**Адаптивна корекция на  
изображението**

*3.5-м телескоп на Калар Алто, АДО  
система ALFA*

*без корекция, S=0      с корекция, S=0.47*



# Планетна астрономия с активна корекция



Кеск - Непун



СФНТ - Сатурн



# Картина, получавана от различни по клас телескопи



8-м, дифр. изобр.  
5х, 160 сек



100-м, дифракционно  
изображение,  
1х, 1 сек экспозиция

# Алтернативата - КОСМИЧЕСКИ ТЕЛЕСКОПИ ???

## ПРЕДИМСТВА:

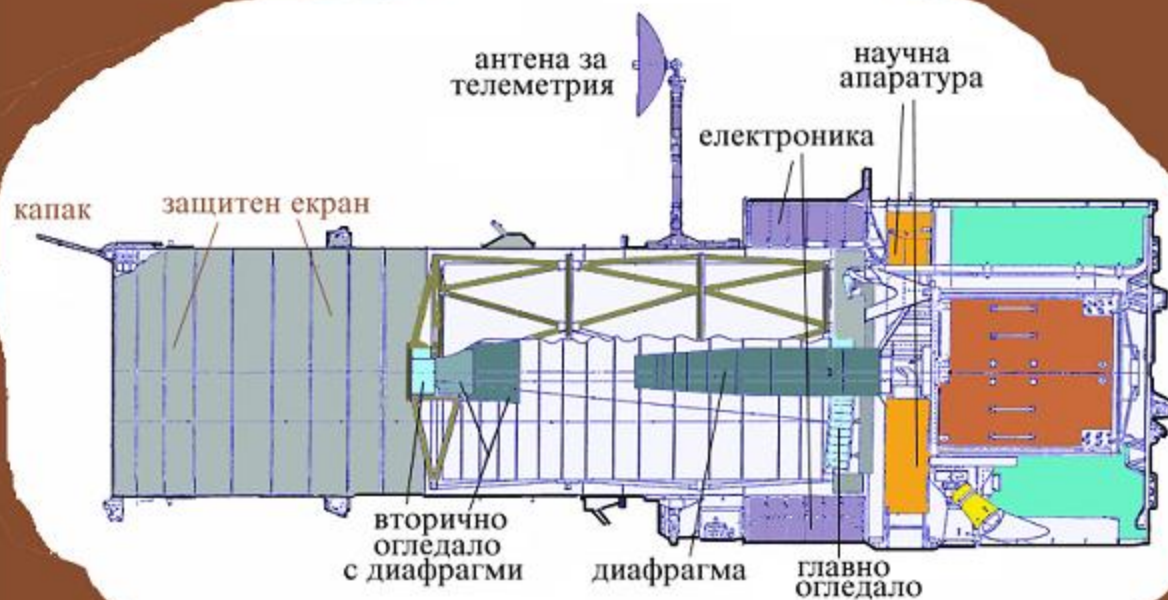
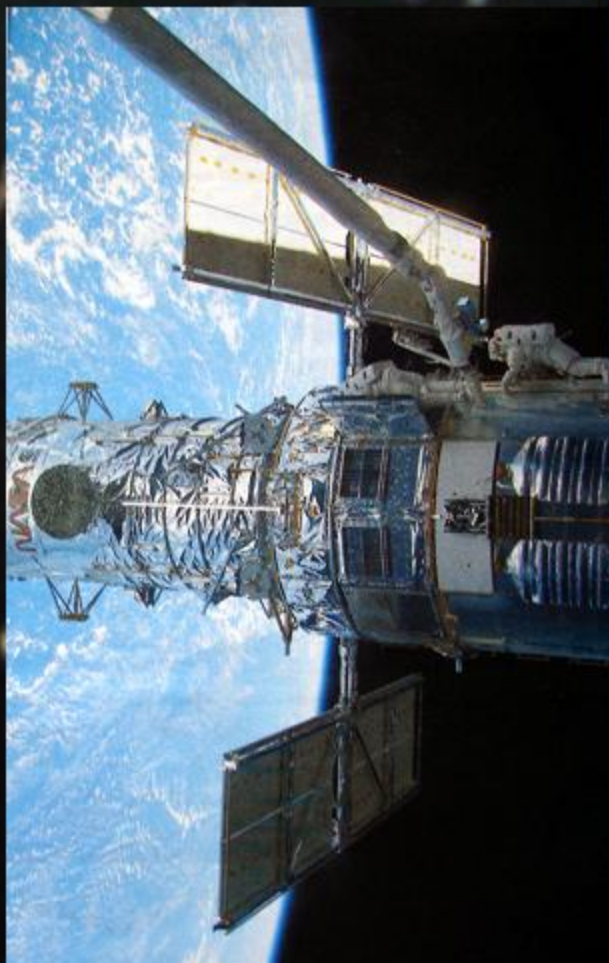
- *Липса на атмосфера - работа винаги при  $S=1$  !*
- *Голямо зрително поле с перфектно качество - много инструменти !*
- *Денонощна работа !*
- *Продължителни експозиции с натрупване !*

## НЕДОСТАТЪЦИ:

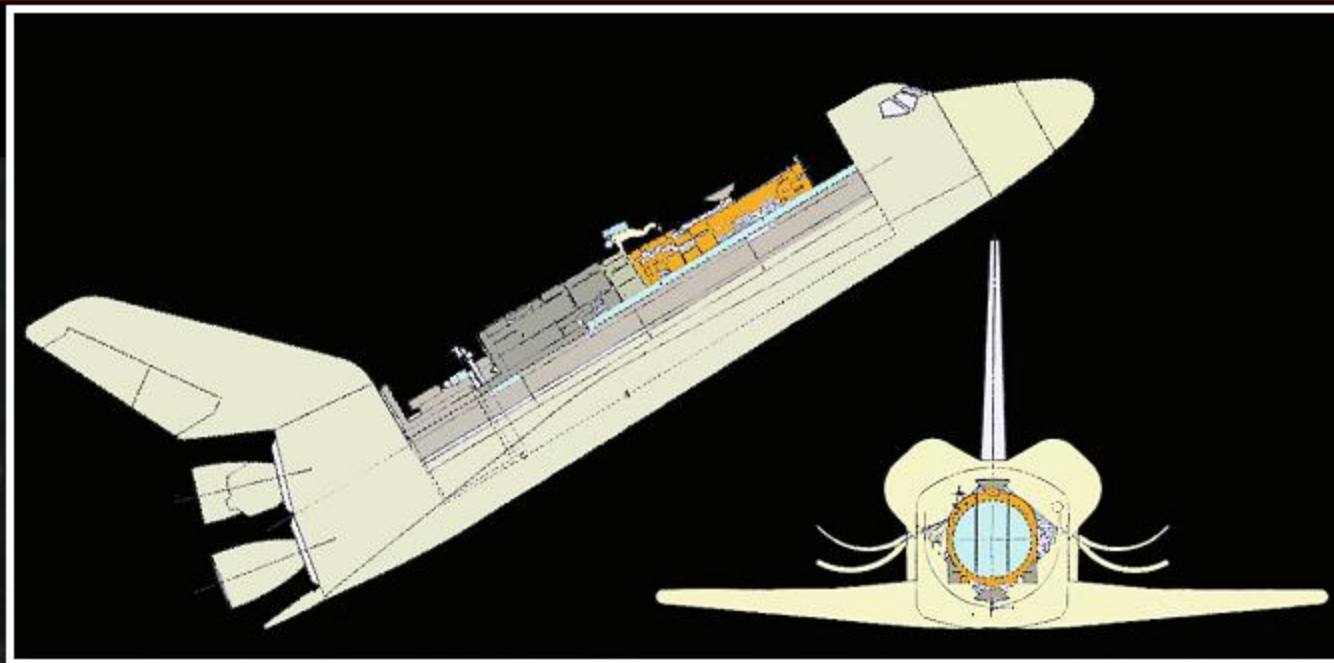
- *Цената !!! - 1000 пъти повече от същия по размер наземен телескоп !*
- *По-малки размери на огледалото - по-малка разделителна способност!*



*2.4-м НСТ -  
Космическият  
телескоп  
“Хъбъл”, 1990*



## *Космическият телескоп "Хъбъл" в совалката*

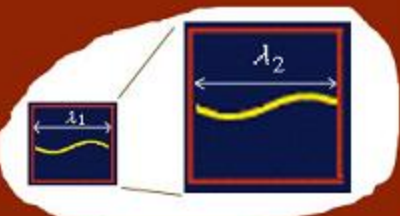


*Габаритите на всички космически апаратури са ограничени от размерите на средствата за доставка на околоземна орбита - ракети или совалки*





# Защо е нужен нов КТ?



$$1 + z = \frac{\lambda_{\text{изм}}}{\lambda_{\text{лаб}}}$$

Големият  
Взрив

$z=1500-1100$   
300 хил.

Време (години)  
 $z=7.6$   
100 млн. 1 млрд 5 млрд  $z=0$   
12 млрд

Космическа  
Тъмна зона

време  
Днешно

COBE



NGST



HST



Наземни  
телескопи



New Generation  
Space Telescope (2010)

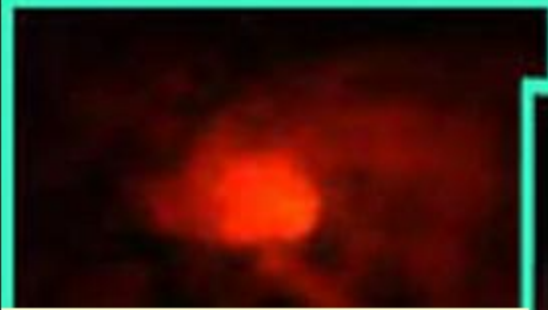
Hubble Space Telescope (1990)

COsmic Background  
Explorer (1989)

Раждането на

# най-първите звезди

във Вселената



Свиване на прото-звездния облак

Образуване на диск около централна кондензация



Взрив на свръхнова



Трупане и отделяне на маса и енергия

“Издухване” на диска

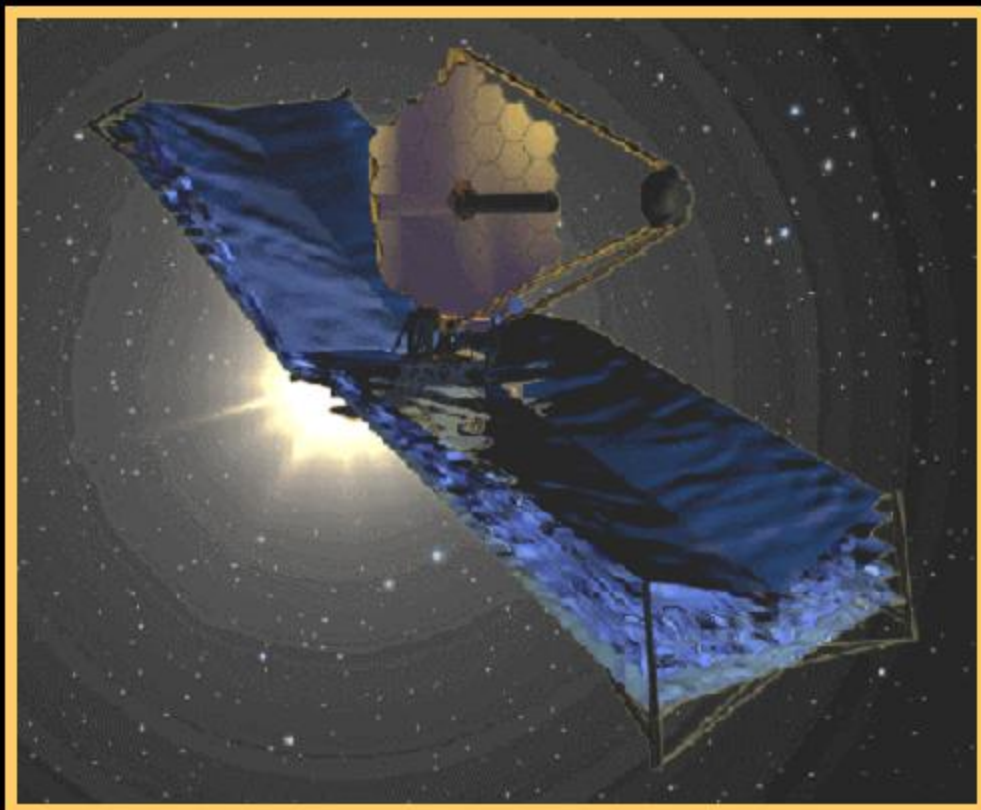


Сценарий за МАСИВНИ звезди!



# *JWST* - новият космически телескоп “*James Webb*”

6.5-м космически телескоп  
от ново поколение “*James Webb*”

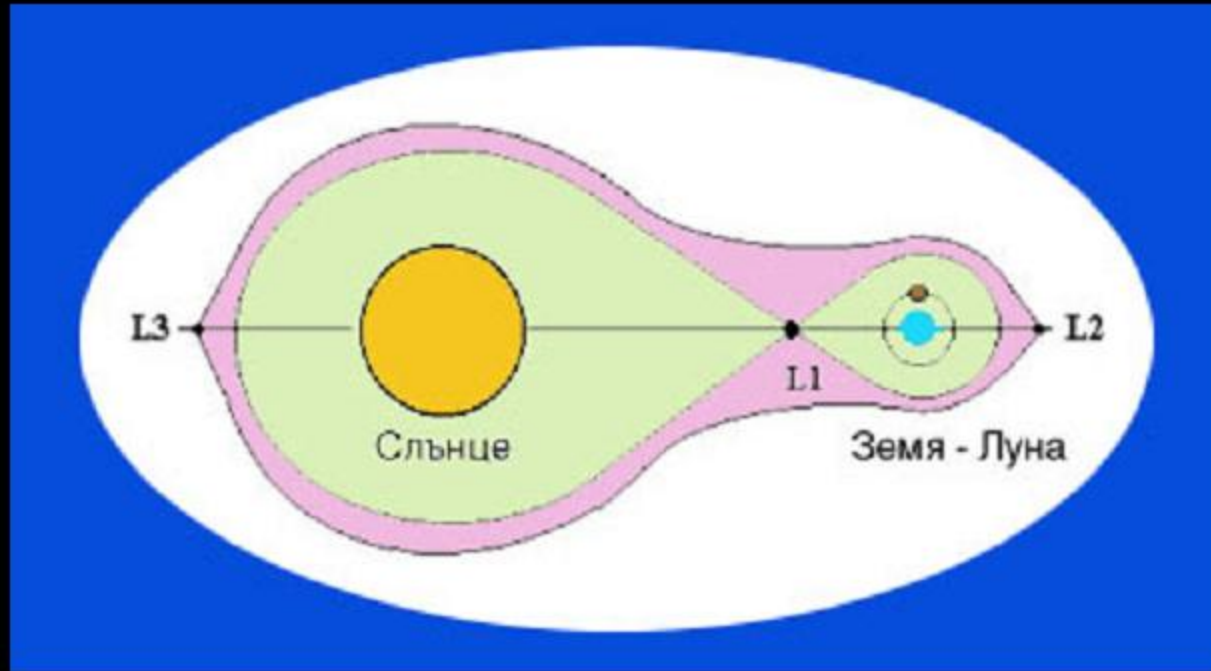


Джеймс Е. Уеб  
(1906 - 1968)

вторият директор на НАСА  
(от 1961 до 1968 г.)

Телескопът е наречен на името на радетеля за орбитални астрономически уреди *James Webb*, един от първите ръководители на НАСА.

# Точки на Лагранж за системата Слънце - Земя



Телескопът ще бъде изведен в отдалечена на около 3 000 000 км от Земята орбита, в т.н. Точка на Лагранж L2. Там Земята ще екранира лъчите на Слънцето и телескопът ще има отлични условия за наблюдение!



Да се върнем на Земята и да се насладим още веднъж на ТЕЛЕСКОПИТЕ НА ХХ ВЕК - безспорно най-красивите научни инструменти!

