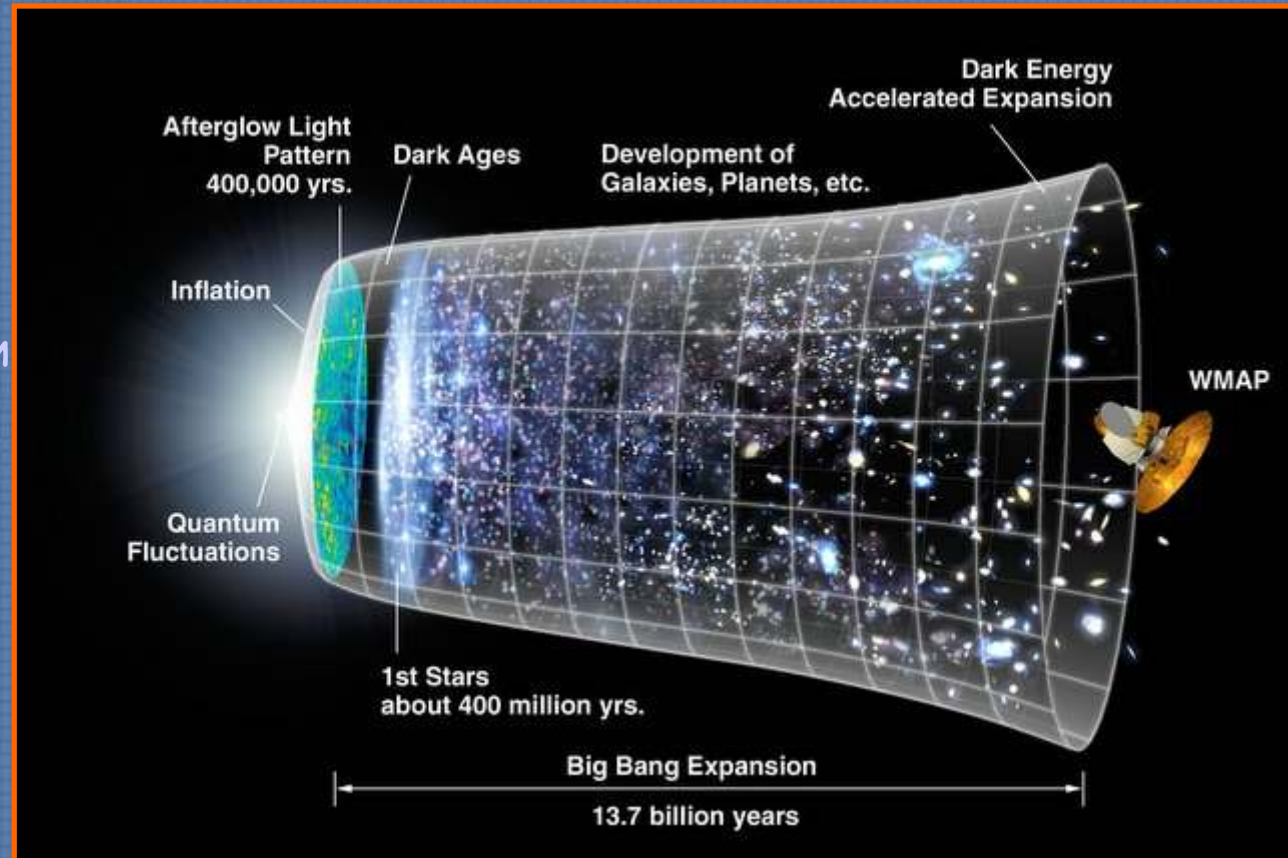


НА ЛОВ ЗА ФОТОНИ

**ИЛИ
ЗА КАКВО СЛУЖИ ЕДНО ССД**

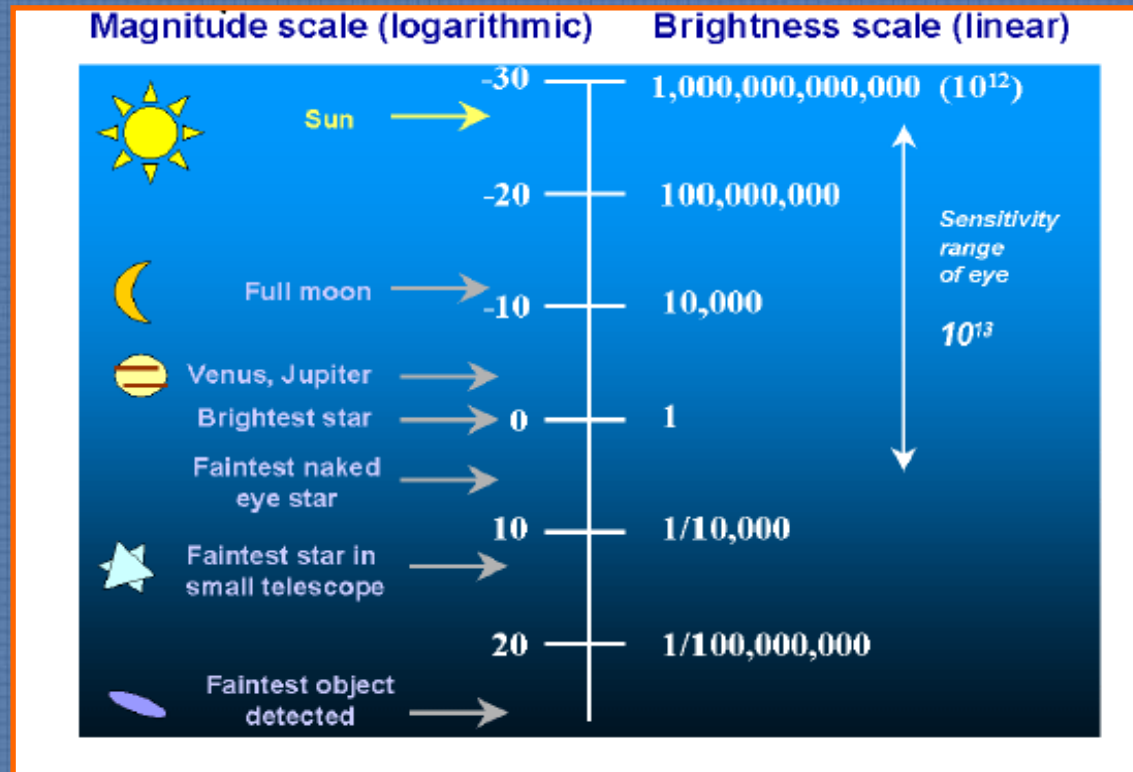
Кратка биография на Светлината

Родена 10^{-30} секунди
след
Големия Взрив
И от тогава....

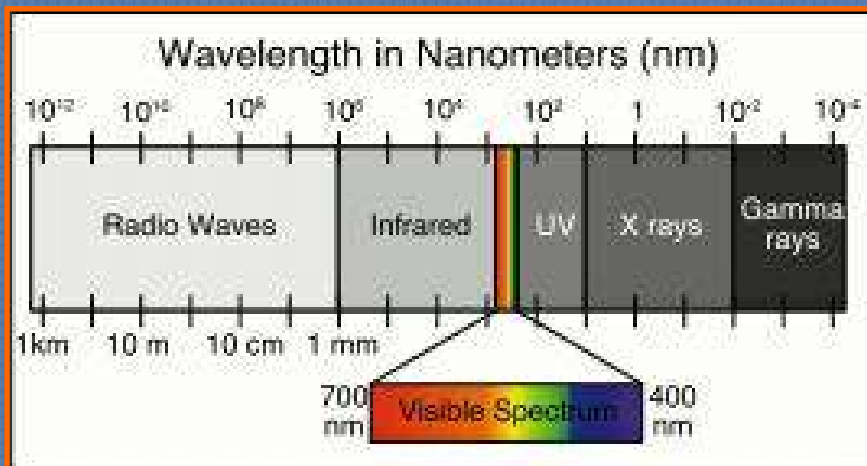


По следите на Светлината

Светлината (електромагнитното излъчване) е единственият носител на информация

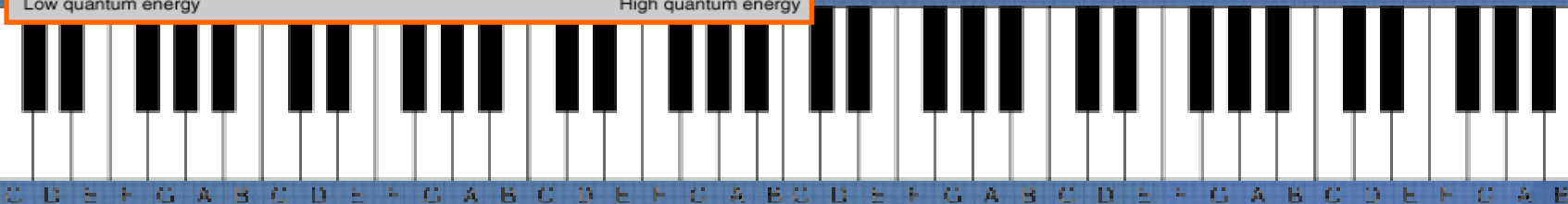
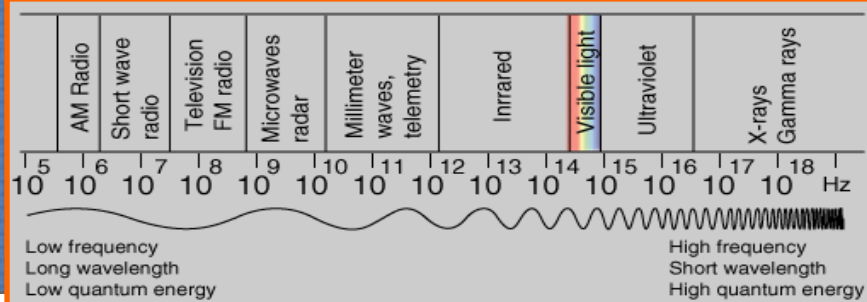


По следите на Светлината

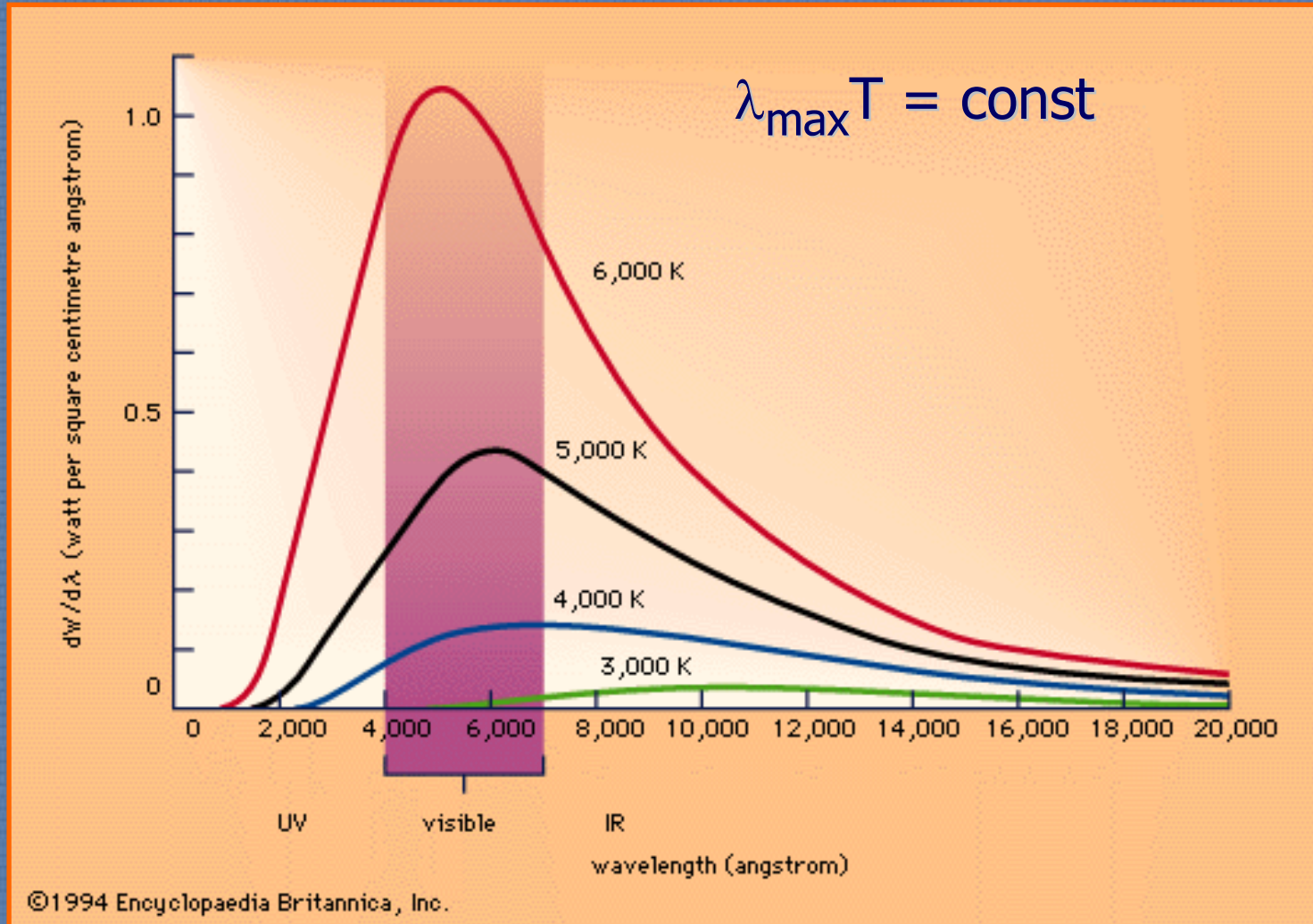


$$\lambda \nu = c$$

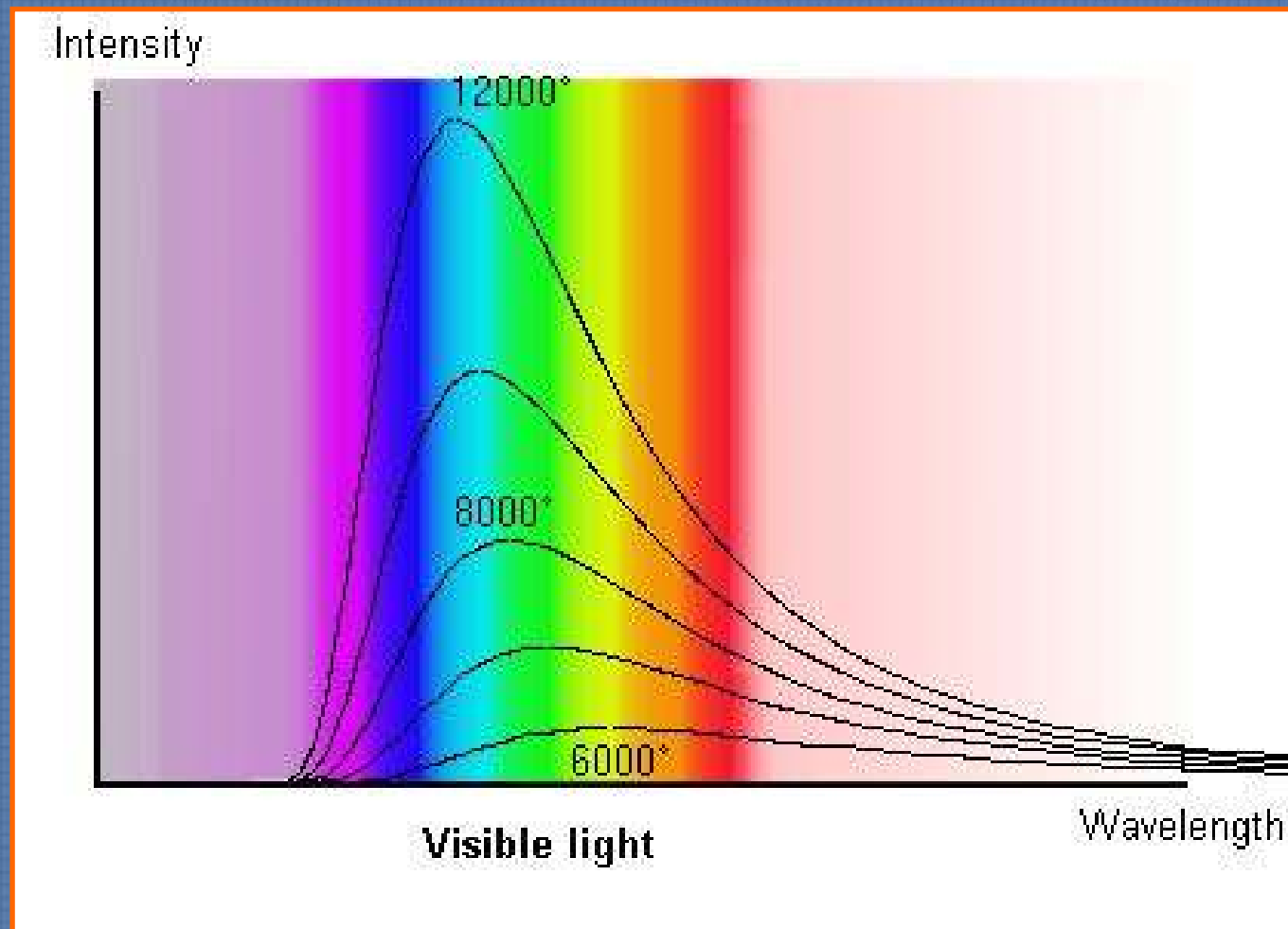
Светлината се разпространява като вълна



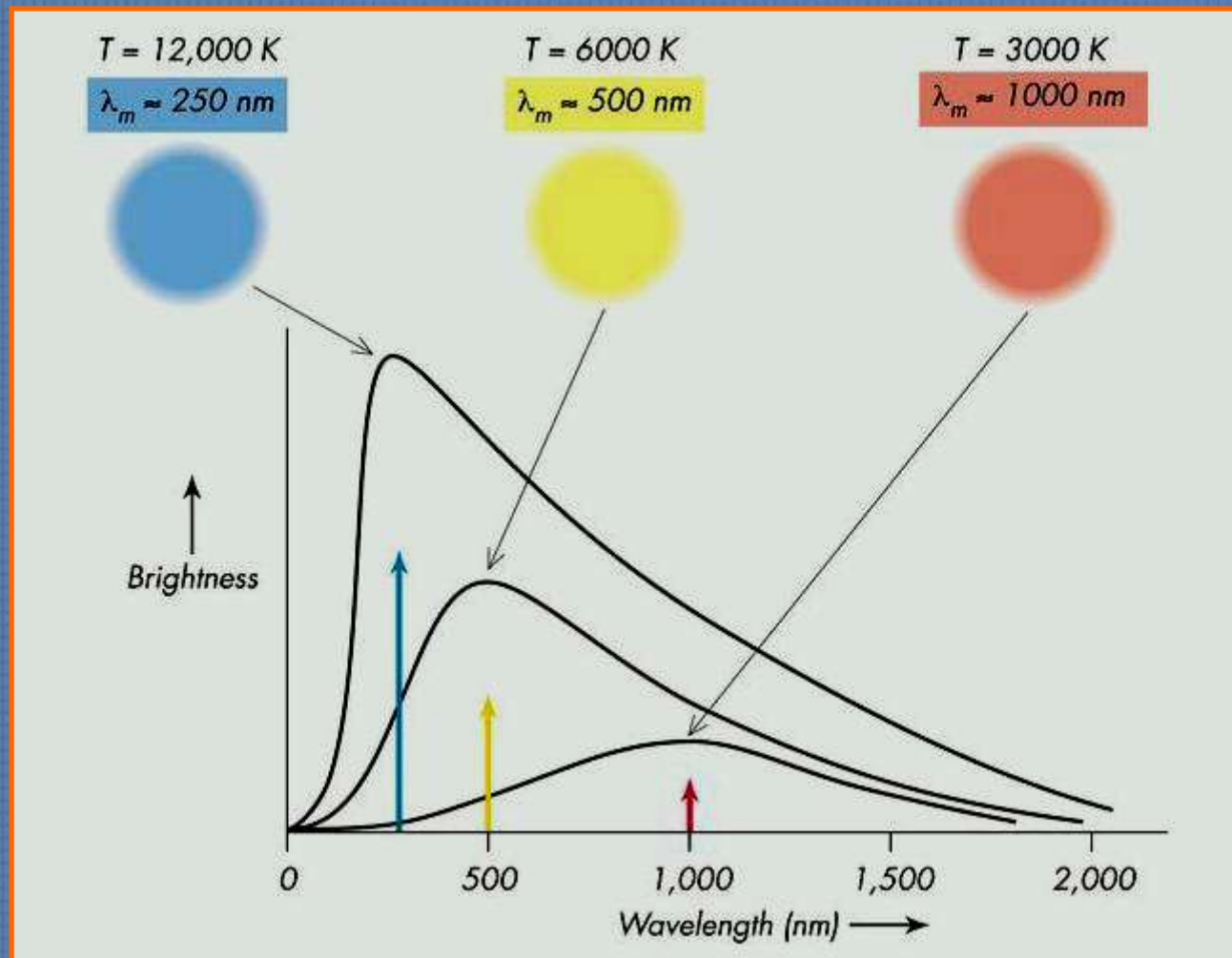
По следите на Светлината



По следите на Светлината



По следите на Светлината



По следите на Светлината

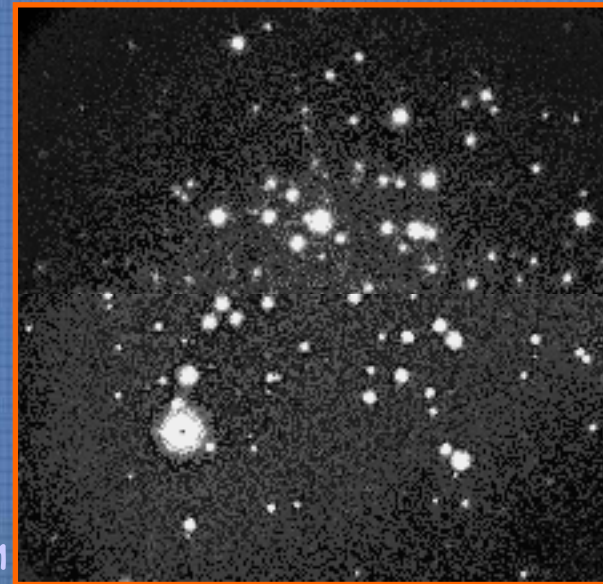
Нашите телескопи са "капани" за светлина



Предназначението на всеки един телескоп е

да събере и фокусира светлината

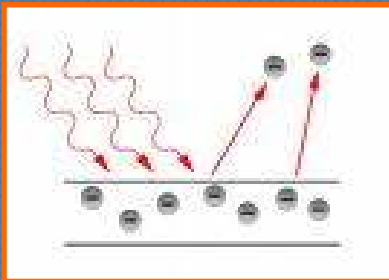
върху приемника, където тя оставя своите следи



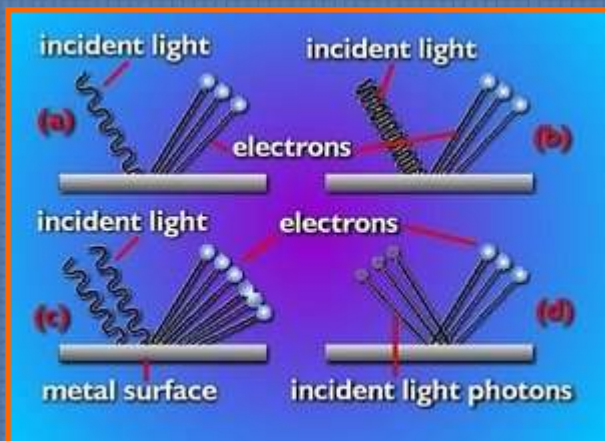
Колко светлина успяхме да съберем за 400 години?

За какво дават Нобелова награда

Фотоефект



а) При облъчване със светлина от повърхността на метала се отделят електрони

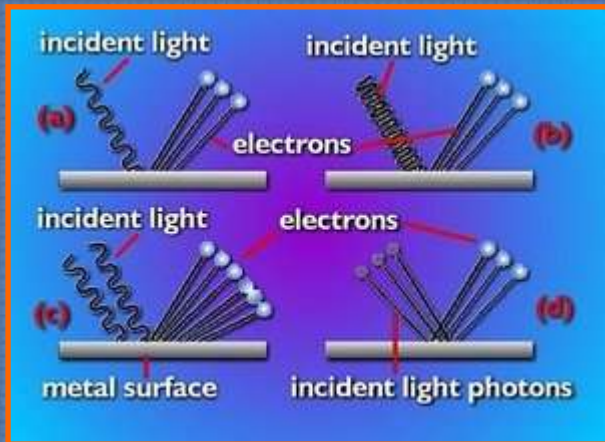


б) Ако светлината е с по-голяма честота, отделените електрони имат по-голяма, енергия, техният брой, обаче, остава същия; светлина с честота по-малка от ν_0 не предизвиква фотоефект

в) Ако увеличим интензитета на светлината, увеличава се и броят на електроните; светлина с честота по-малка от ν_0 не предизвиква фотоефект, независимо колко голям е нейният интензитет

За какво дават Нобелова награда

Фотоефект



Макс Планк: Светлината се излъчва и поглъща на порции (кванти), наречени фотони

$$E = h\nu$$

Алберт Айнщайн: Светлината се състои от фотони, всеки фотон взаимодейства само с един електрон; само фотон с достатъчно енергия може да предизвика откъсване на електрон от електронната обвивка

1905

За какво дават Нобелова награда

Фотоефект

$$\lambda\nu = c$$

$$E = h\nu = hc/\lambda$$

$$E = h\nu = A_0 + \frac{1}{2}mv^2$$

A_0 - отделителна работа

$$E_k = h\nu - A_0$$

$$A_0 = h\nu_0$$

каква е връзката между честотата на фотоните и енергията на избитите електрони?

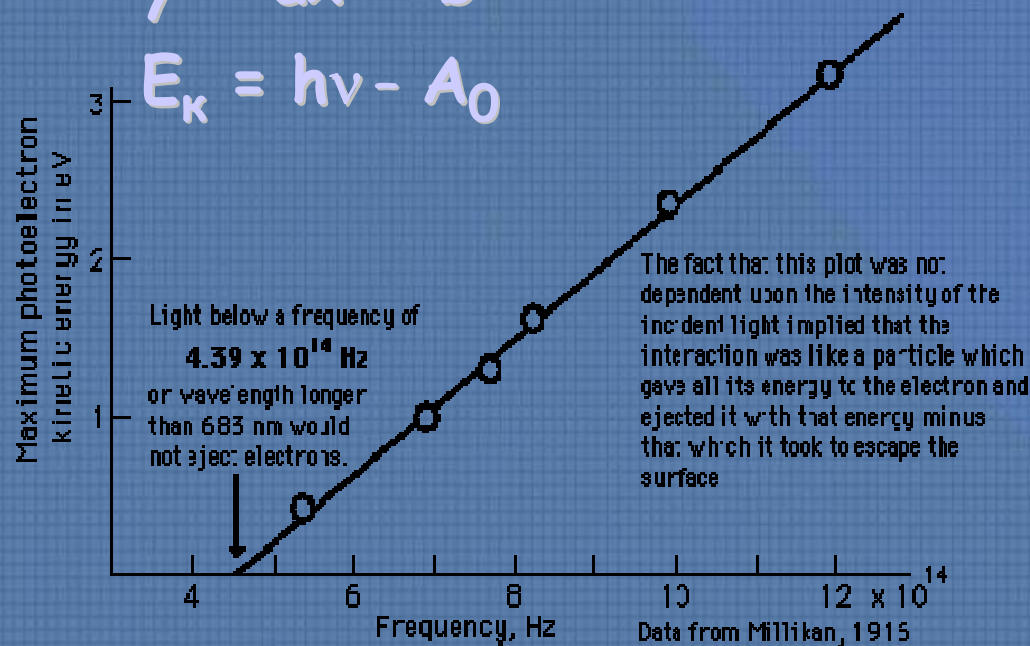
$$y = ax + b$$

За какво дават Нобелова награда

Фотоефект

$$y = ax + b$$

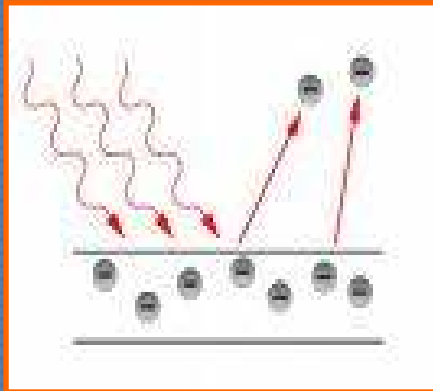
$$E_k = h\nu - A_0$$



Роберт Миликен решава твърдо да опровергае квантовата теория на светлината и прави серия от блестящи експерименти. Той се научава прецизно да премахва окисите от различни метални образци и през 1916-та публикува своите резултати. Сам стига до извода, че Айнщайн всъщност е прав. Миликен успява да измери константата на Планк с точност до 5%. Получава Нобелова награда през 1923-та.

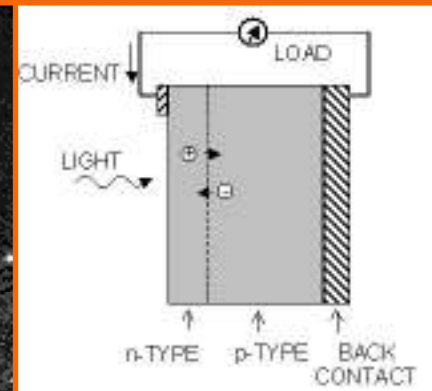
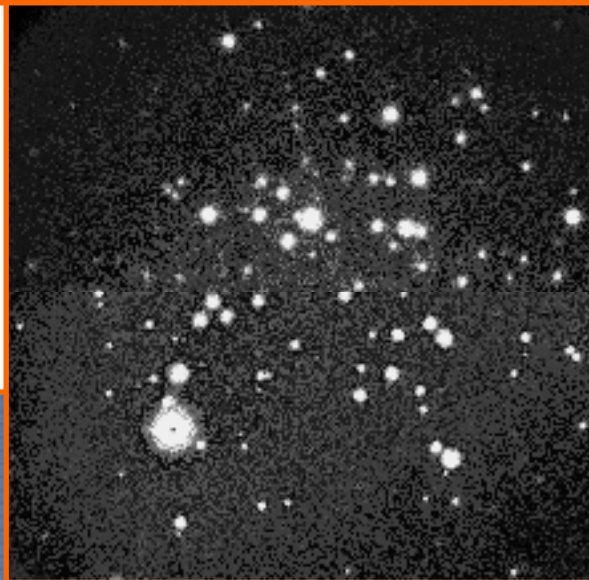
Айнщайн също получава Нобелова награда - през 1921-ва.

CCD Буквар



метал
фотоклетка

фотоумножител => фотометър



полупроводник
пиксел

CCD чип => CCD камера

CCD = Charge Coupled Device

ПЗВ = Прибор със Зарядова Връзка

CCD Буквар

Рожденият ден на CCD-чипа е 17 октомври 1969. Само в рамките на един час Джордж Смит и Уилард Бойл от Bell Laboratories успяват да опишат структурата, начина на работа и основното му приложение. Главната им цел била да създадат нов вид полупроводникова памет за компютри. Още тогава станало ясно, че новото устройство може да се използва във видео-телефонните комуникации и за съхраняване на изображения.



Джордж

Уилард

CCD Буквар

Основното предназначение на CCD чипа е да превърне оптичното изображение в електронно. После електронното изображение се преобразува в числова форма (дигитализира се) и се запазва като файл в компютъра.

Джордж



Уилард

CCD Буквар

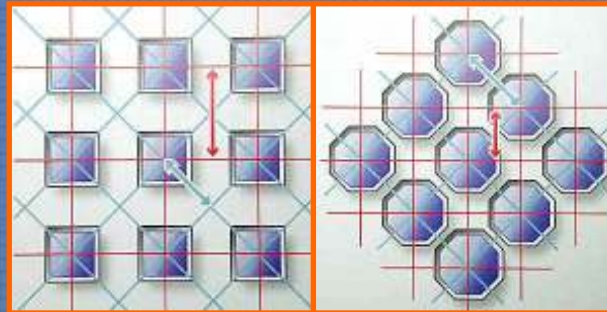
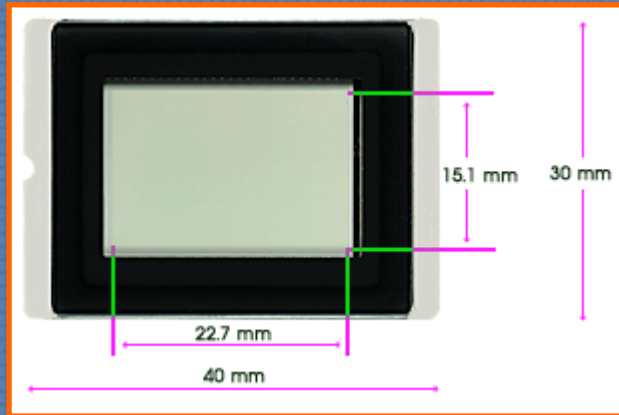
CCD-камерите се използват в астрономията от 1983. Благодарение на тях способността на телескопите да събират светлина нараства почти 100 пъти. Днес всеки, който разполага със CCD-камера и 25-см телескоп може да улови толкова светлина, колкото астроном от началото на 80-те години, въоръжен до зъби с фотографски плаки и двуметров телескоп.



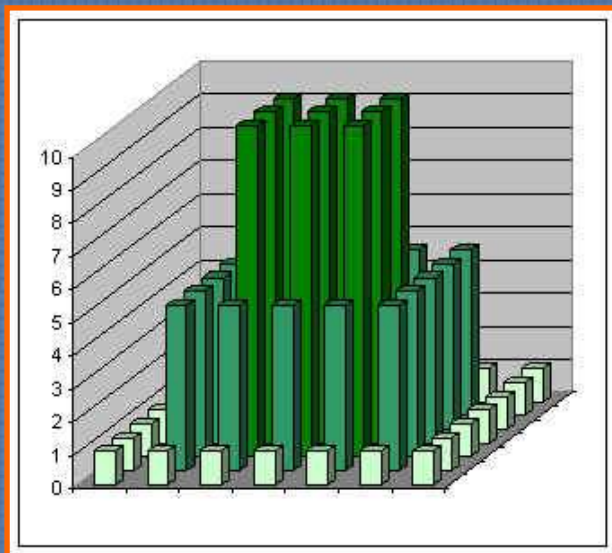
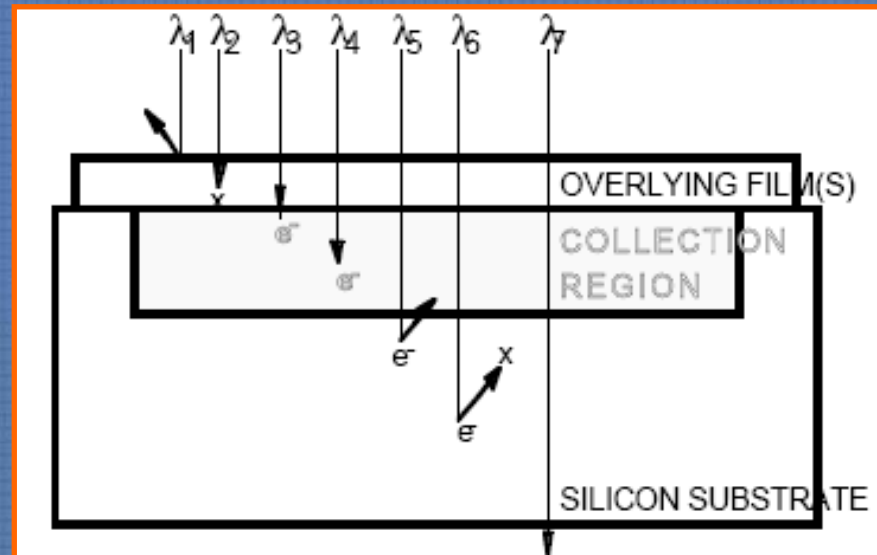
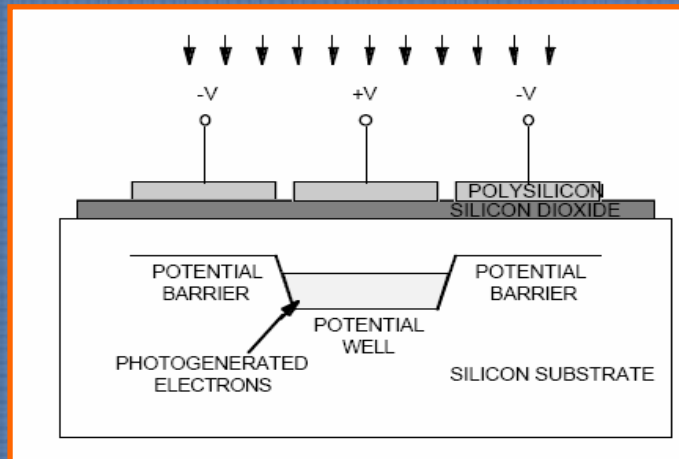
Джордж

Уилард

CCD Буквар



CCD Буквар

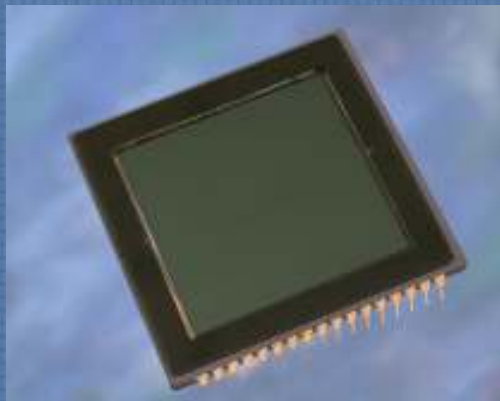


1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	5	5	5	5	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	10	10	10	5	1	1
1	1	5	5	5	5	5	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1

Край на първа част

Рожен'09

Външен вид и анатомия на чипа

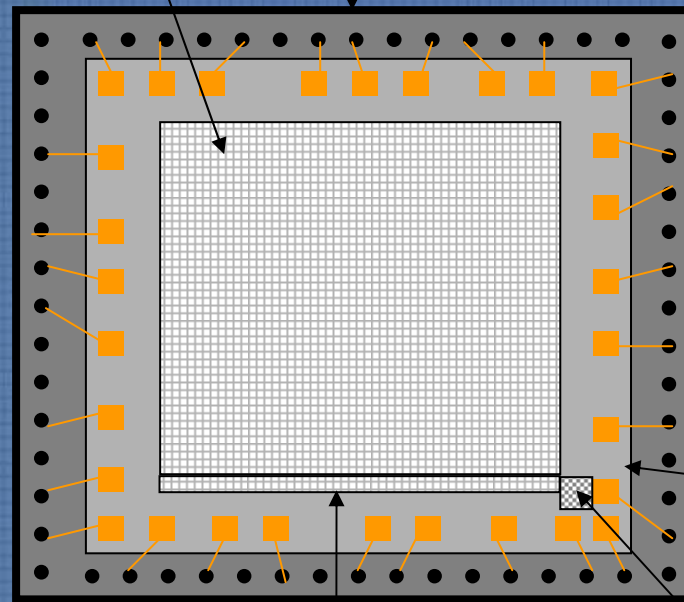


Kodak - KAF 09000

3056 x 3056 pix, 38.6 x 37.8 mm
12 μ m

Активна
повърхност

Метален, пластмасов
или керамичен цокъл



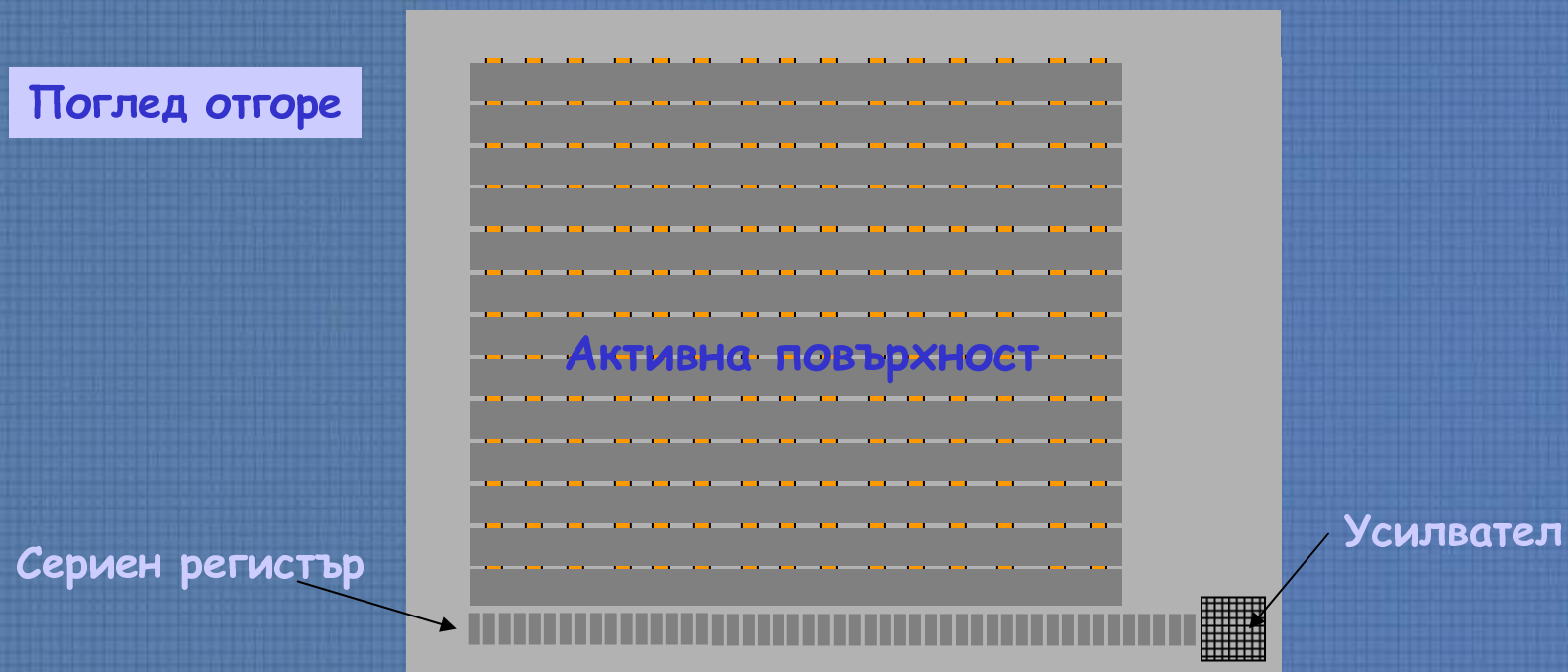
Силициев чип

Усилвател

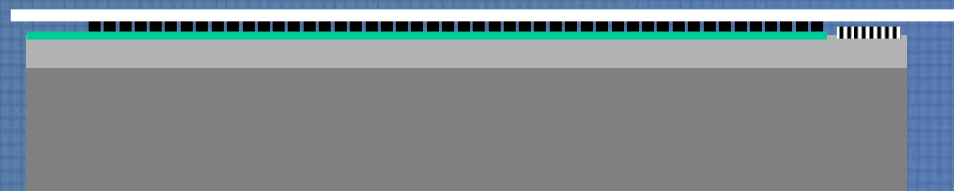
Сериен регистър

Външен вид и анатомия на чипа

Поглед отгоре



Напречно сечение



Външен вид и анатомия на чипа

Поглед отгоре

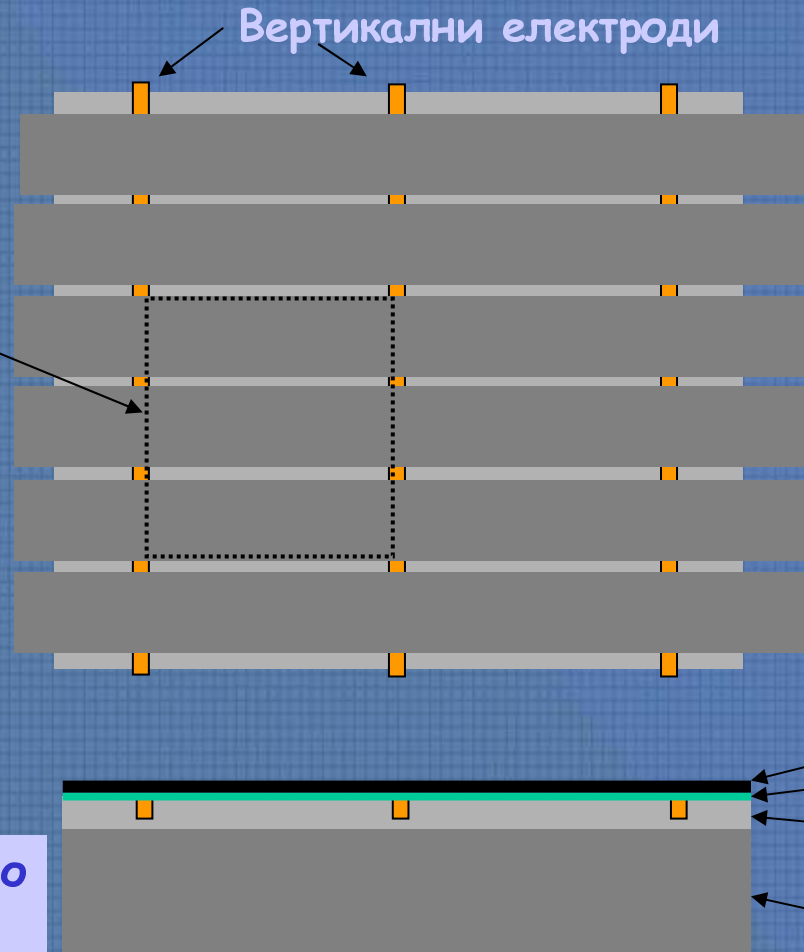
Един пиксел

Вертикални електроди

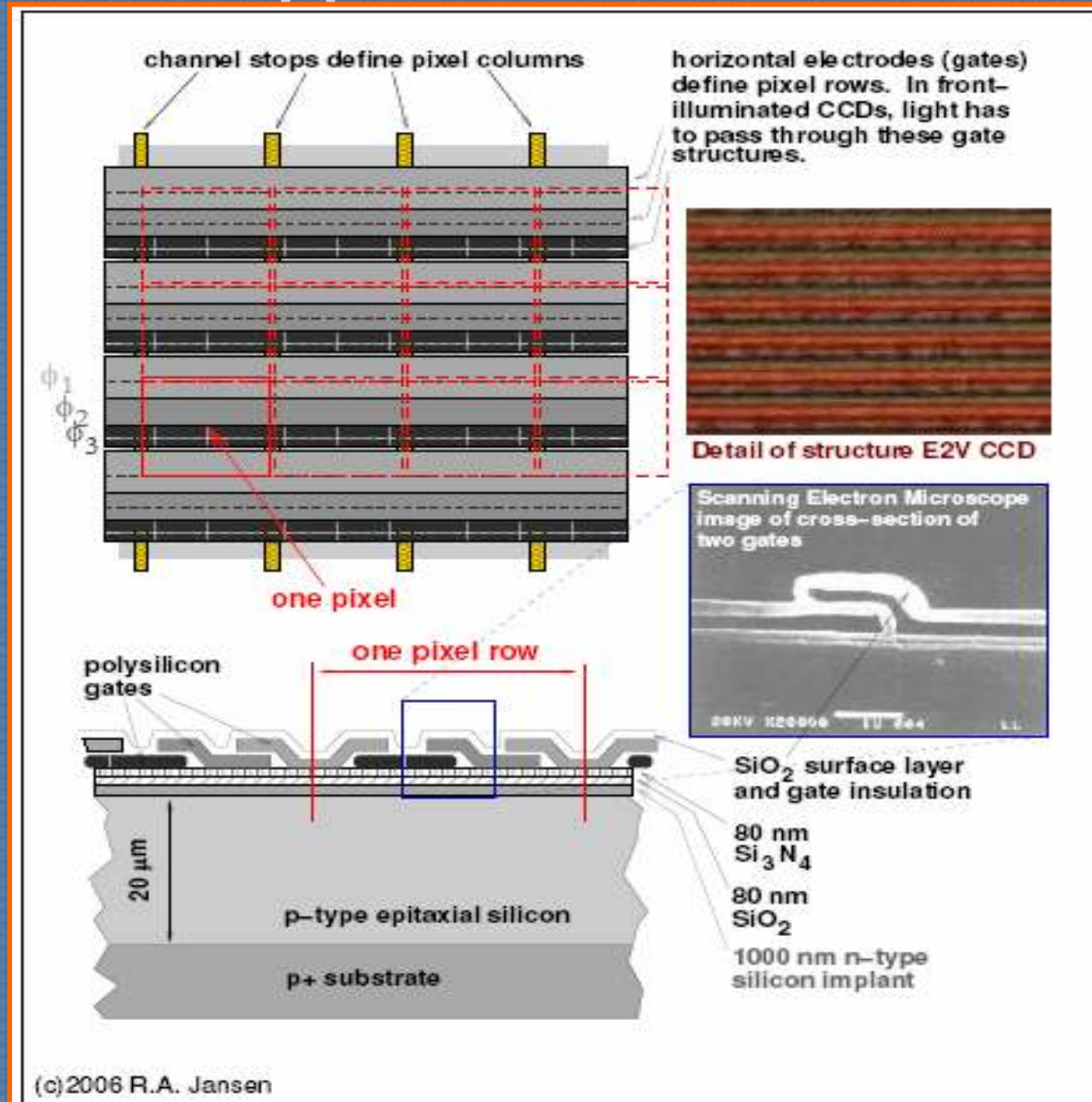
Прозрачни
хоризонтални
електроди

Напречно
сечение

електрод
изолатор
n-тип Si
p-тип Si

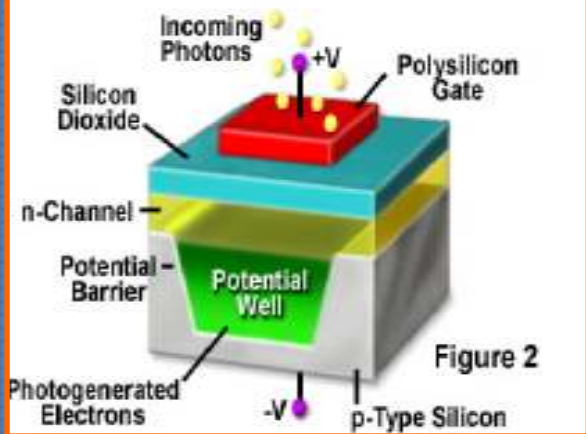


Външен вид и анатомия на чипа

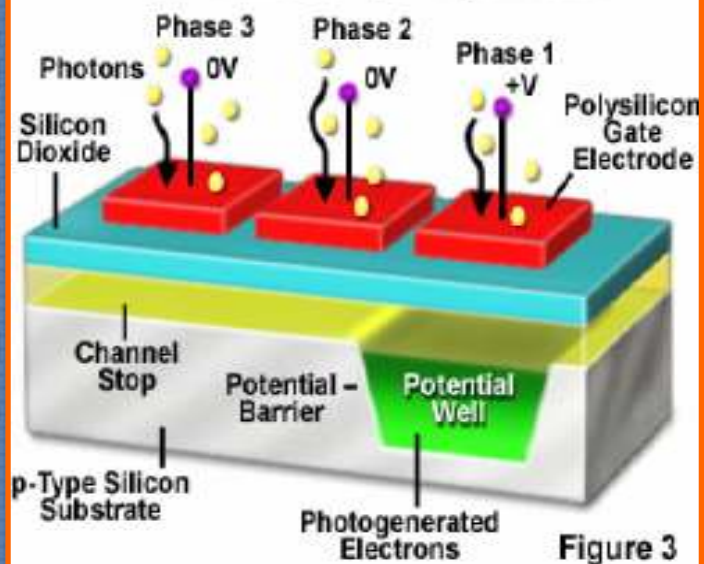


Външен вид и анатомия на чипа

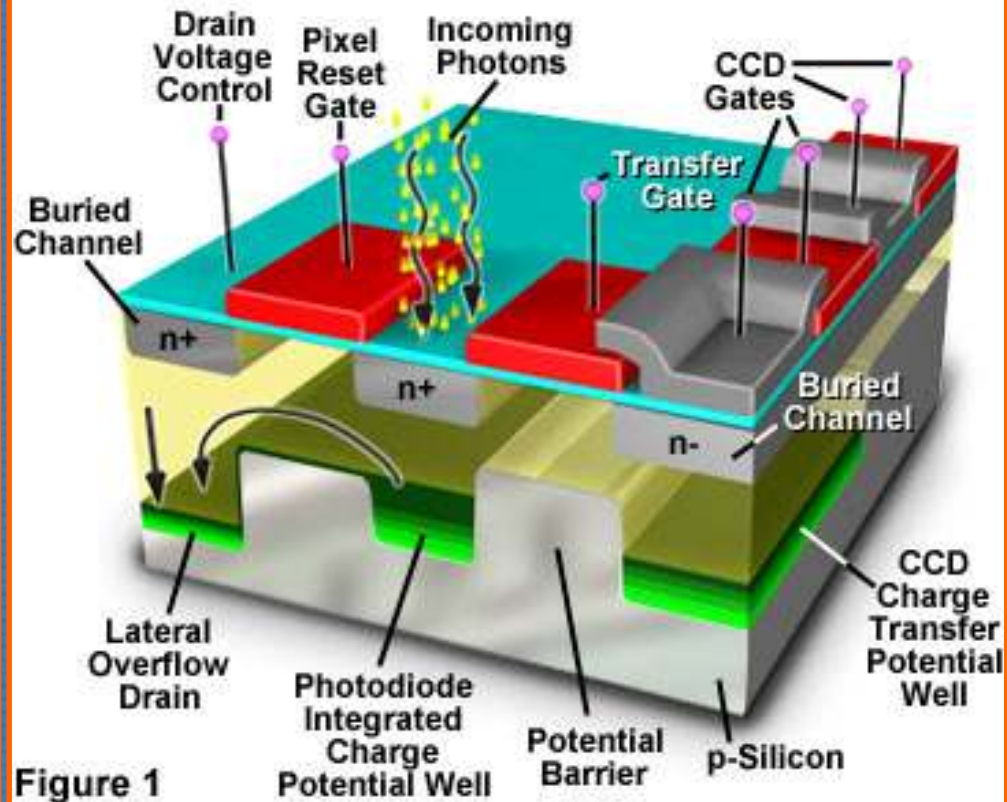
Metal Oxide Semiconductor (MOS) Capacitor



CCD Sense Element (Pixel) Structure



Anatomy of a Charge Coupled Device (CCD)



Чипът на работа

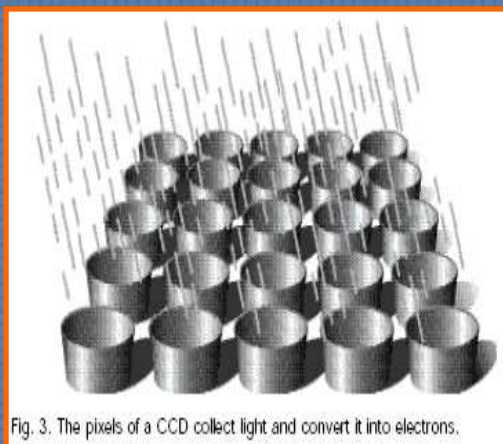
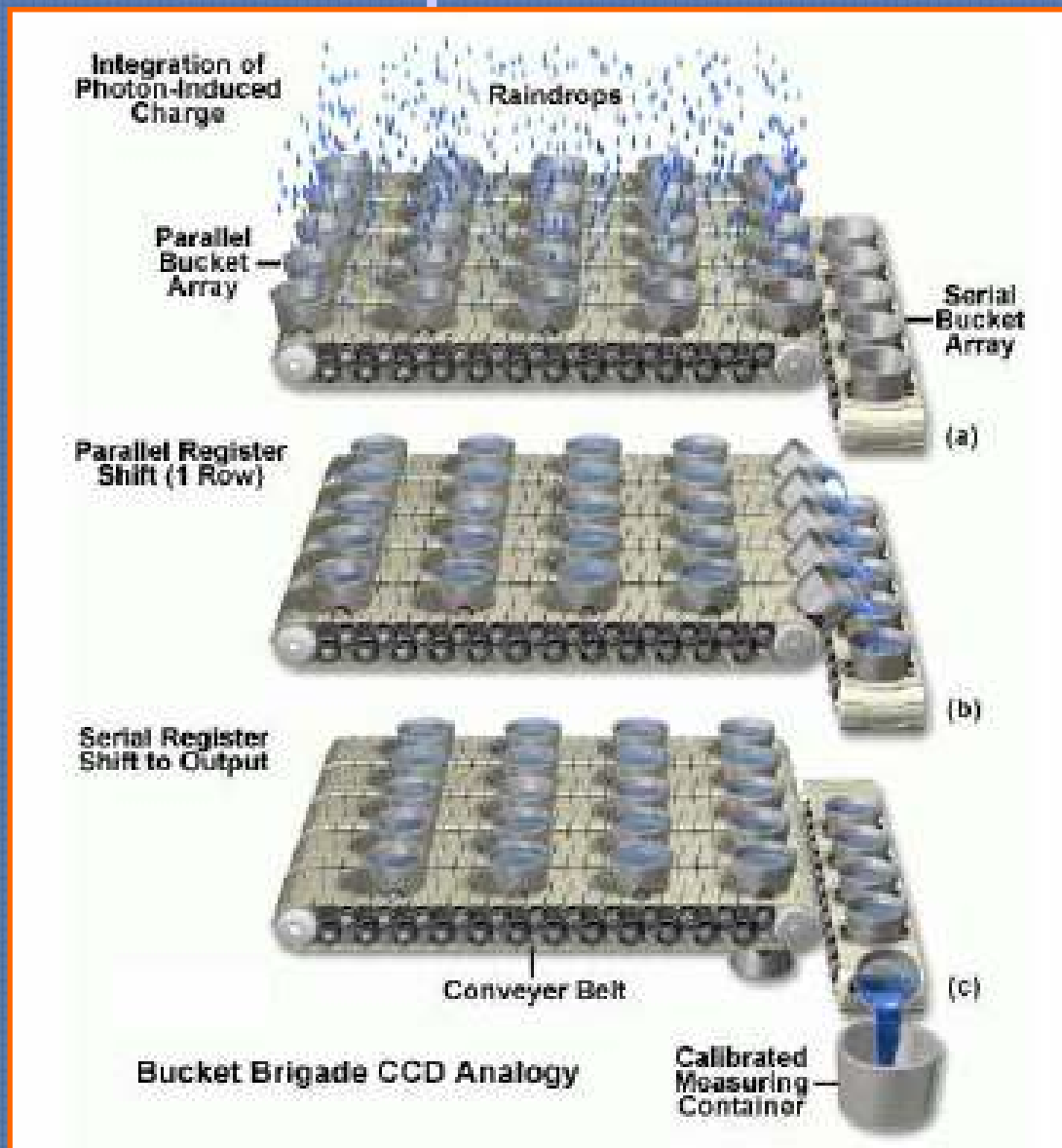
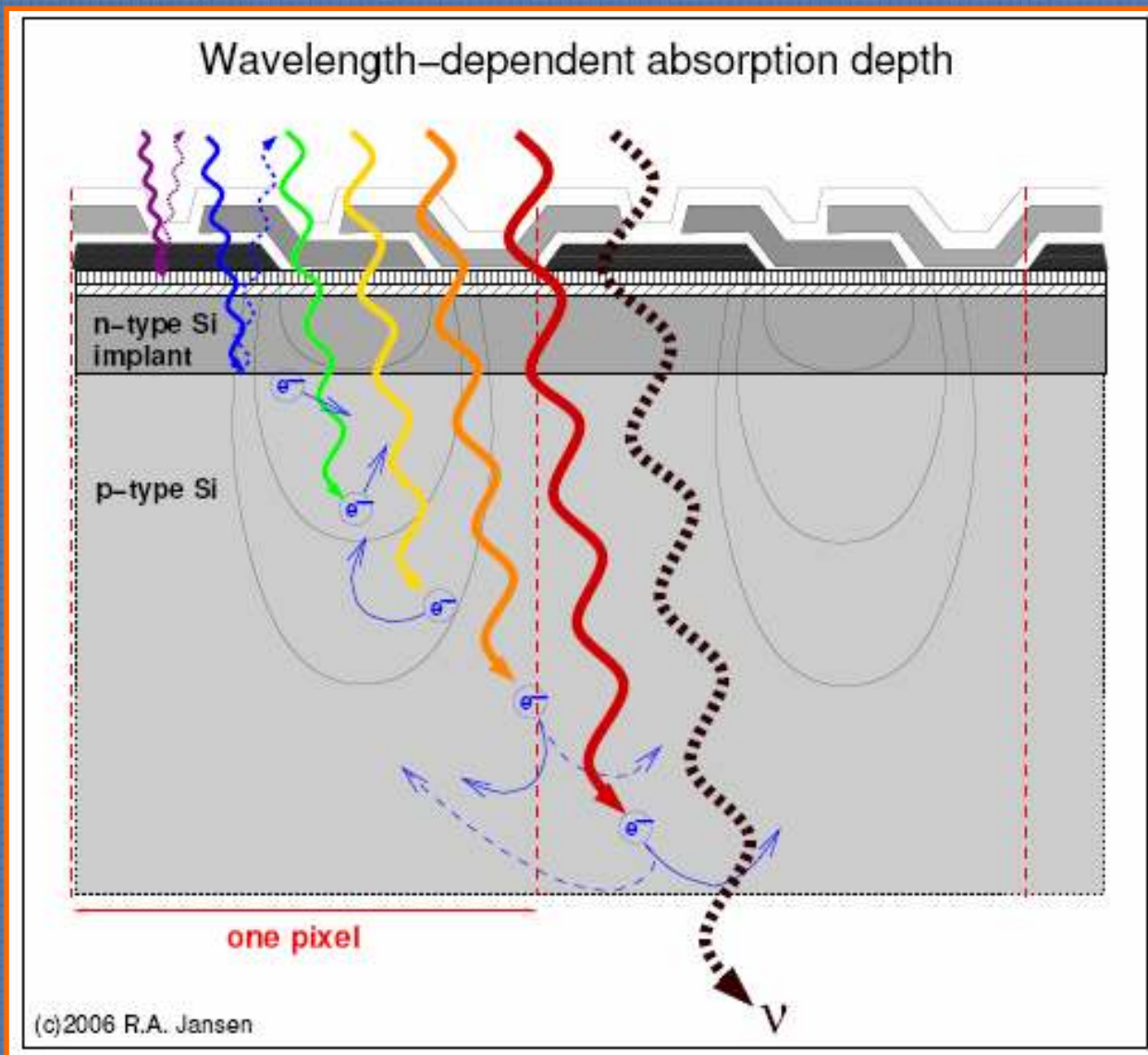


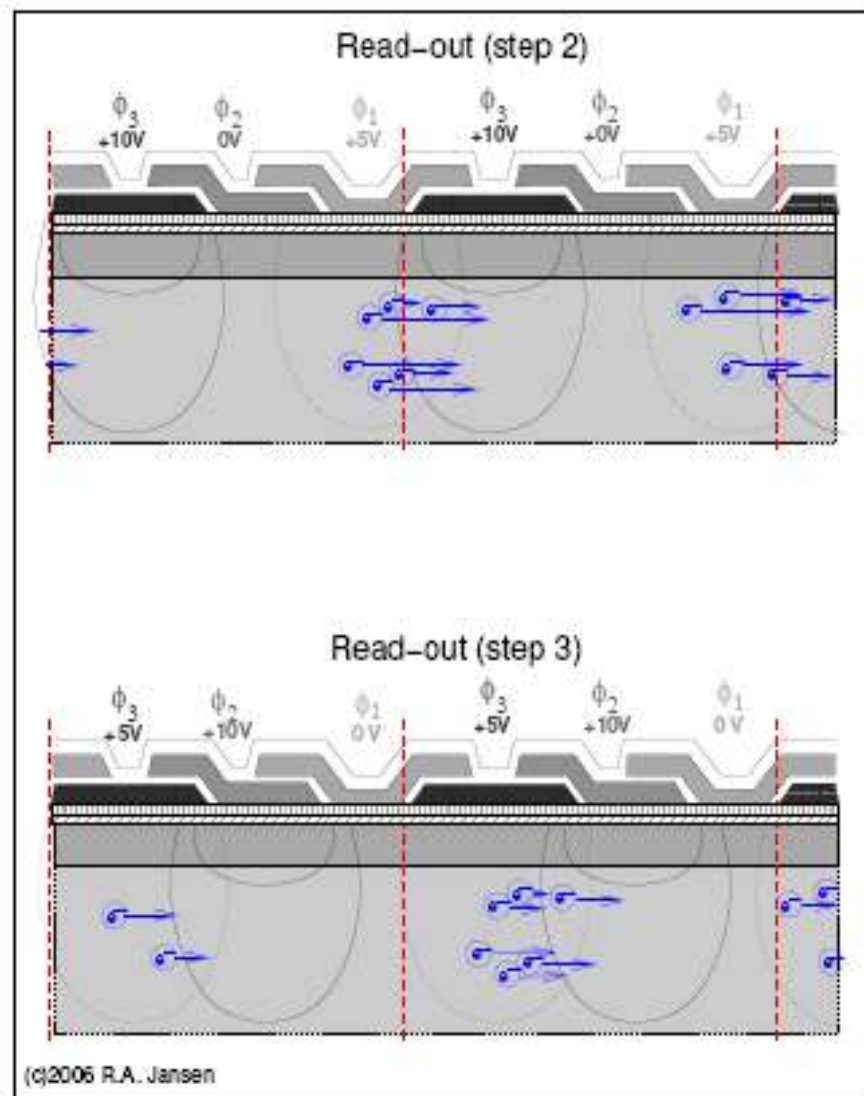
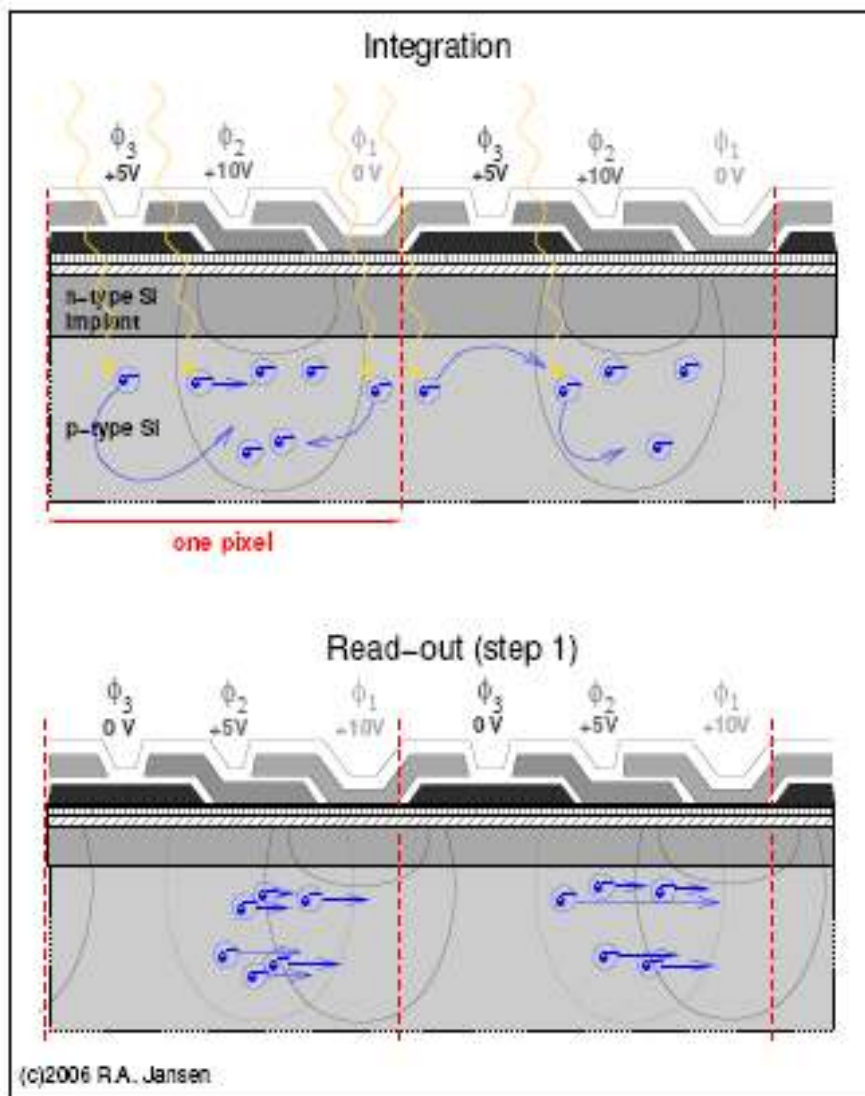
Fig. 3. The pixels of a CCD collect light and convert it into electrons.



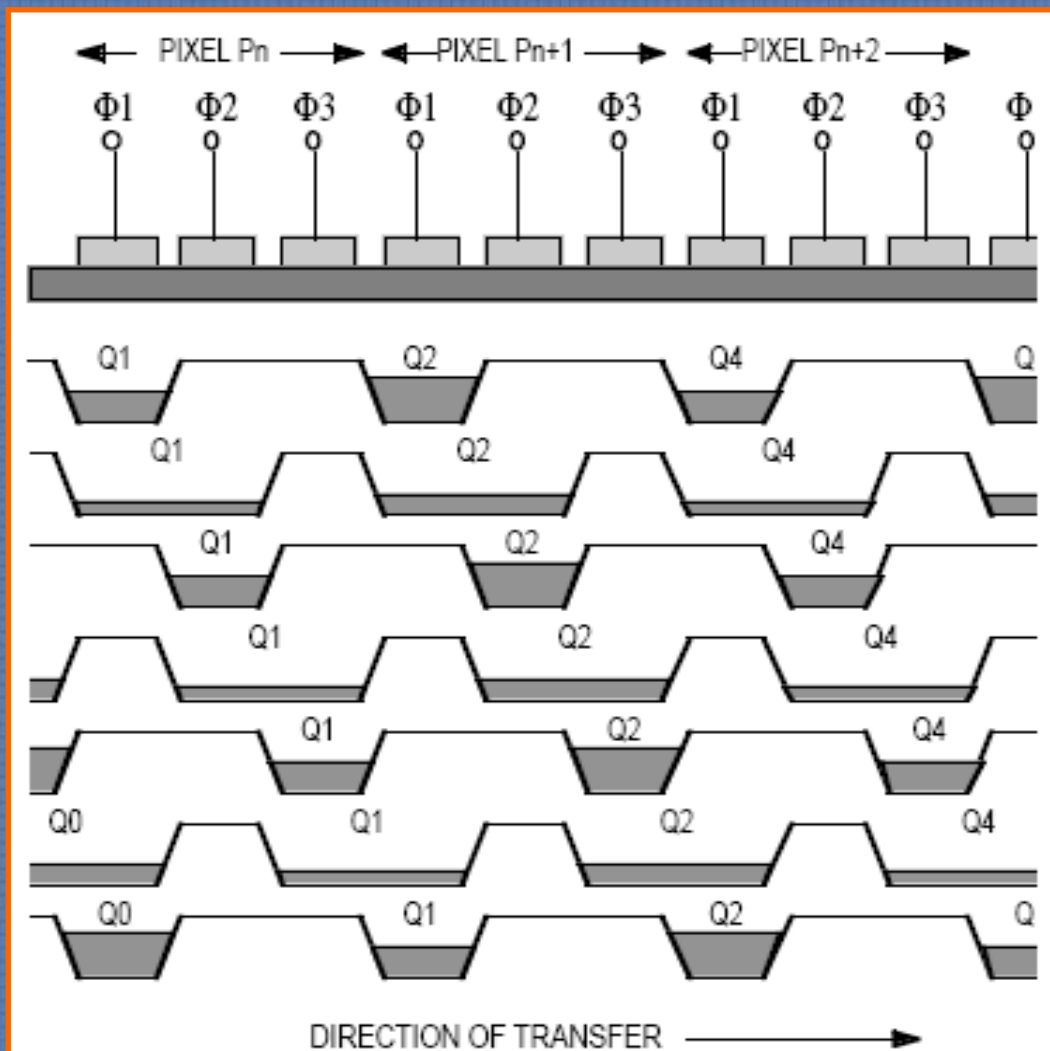
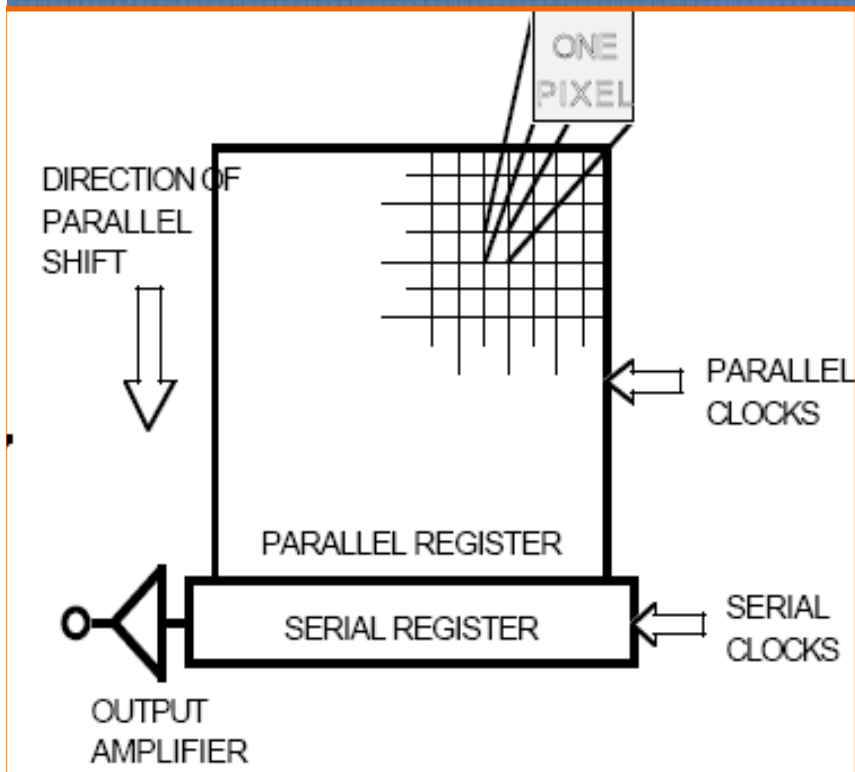
Чипът на работа



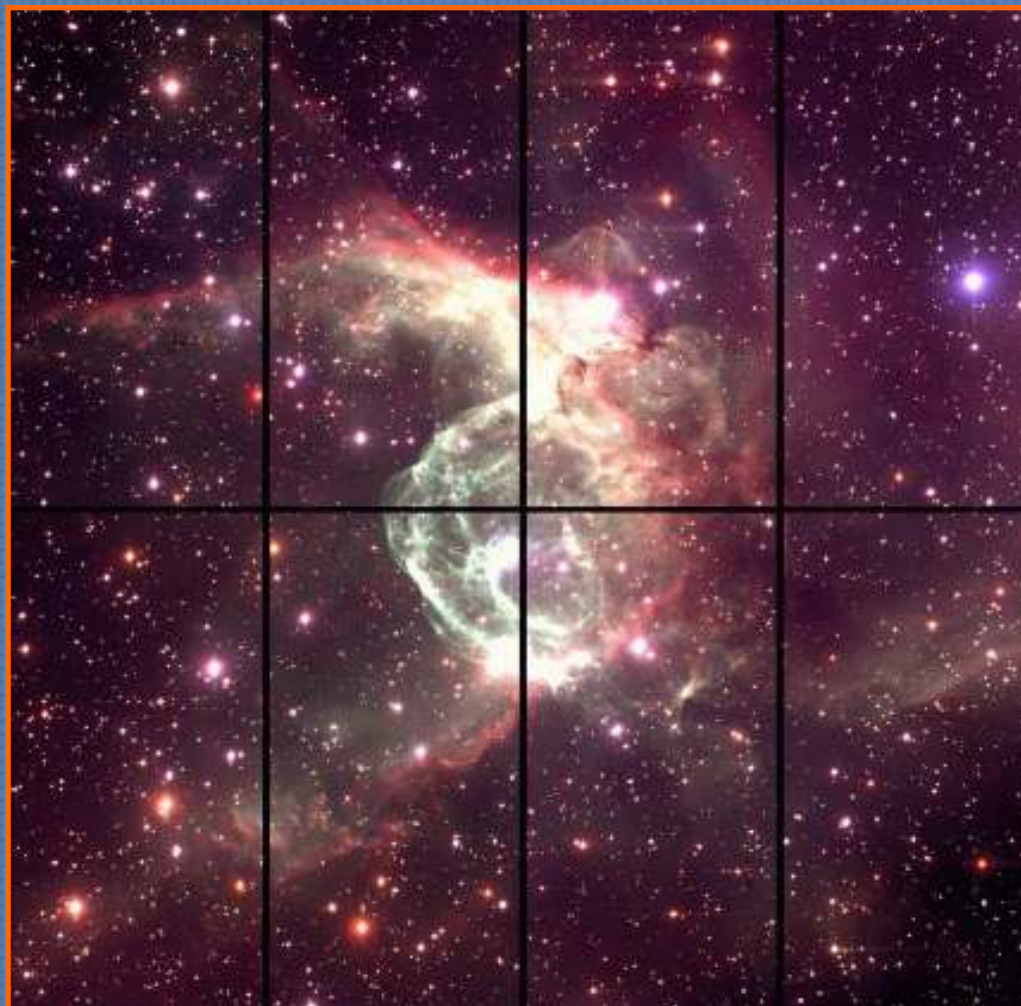
Чипът на работа



Чипът на работа

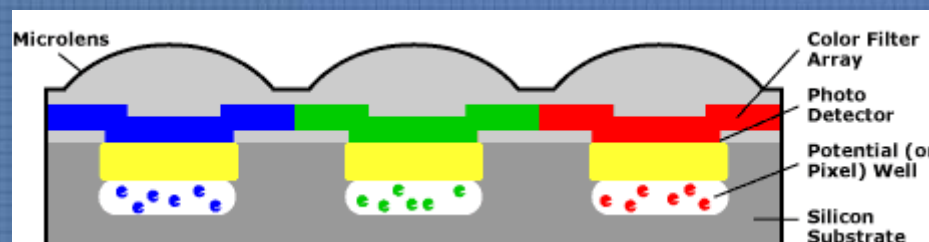
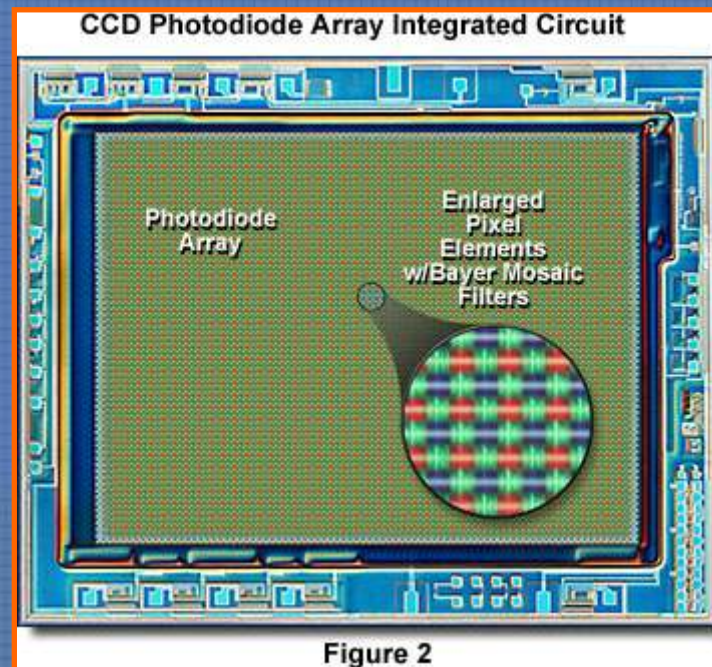
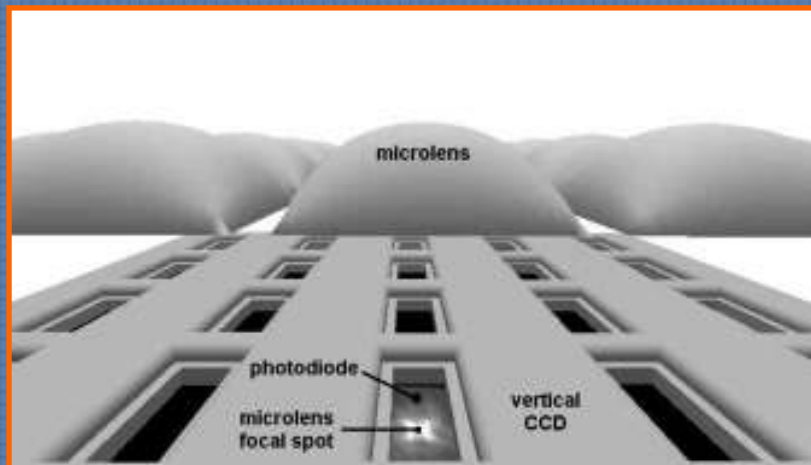
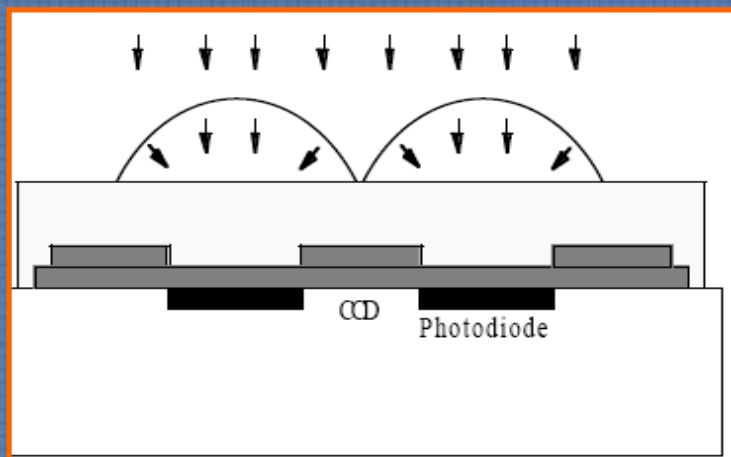


Чипът на работа



Рожен'09

Чипът на работа



FLI - PL09000



POKCH 09

FLI - PL09000

Активен размер на чипа - 3056 x 3056 pix
38.6 x 37.8 mm

Общо пиксели - 9.3 милиона

Размер на пиксела - 12 x 12 микрона

Пълнен капацитет на един пиксел - 110 000 e^-

A/D фактор - 1.7 e^-/ADU

Ток на тъмно - 5 $e^-/pixel/sec$ при +25°C

Шум при четене - 8 e^- r.m.s.

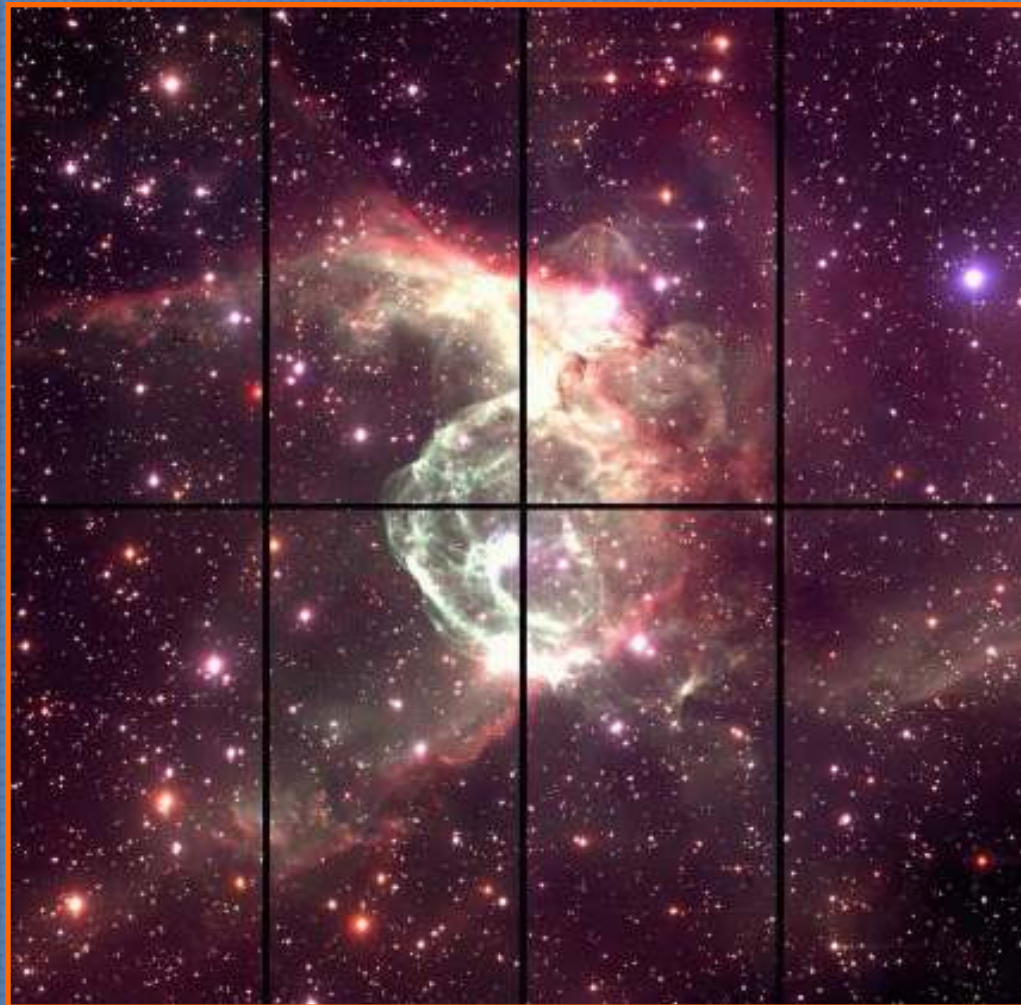
Чете един цял кадър за 8 sec

За какво му е на астронома CCD?



Рожен'09

За какво му е на астронома CCD?

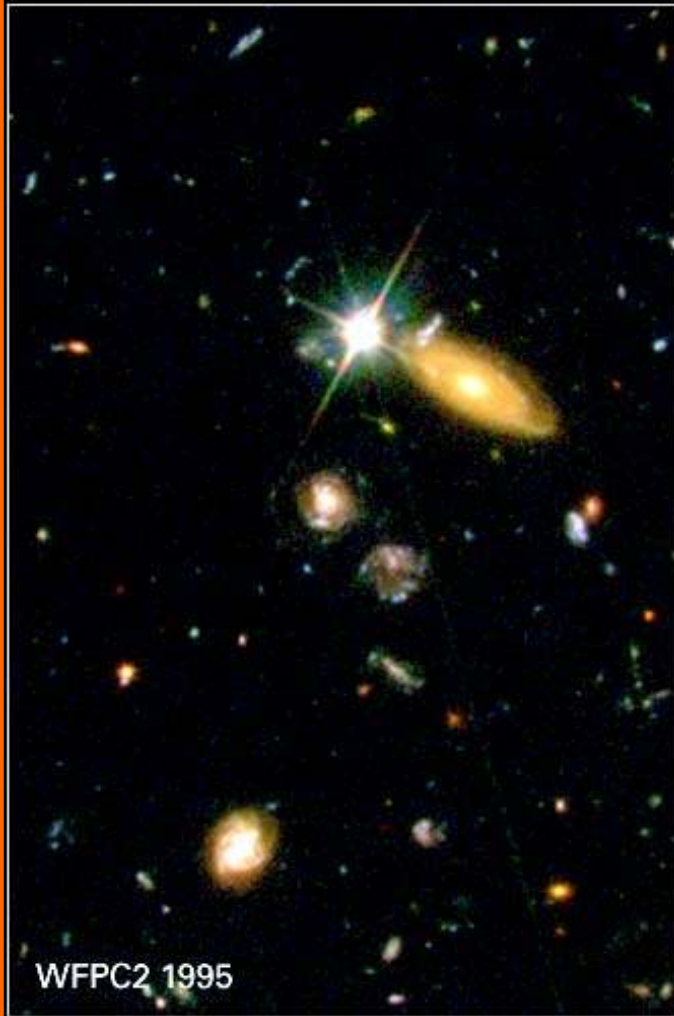


Рожен'09

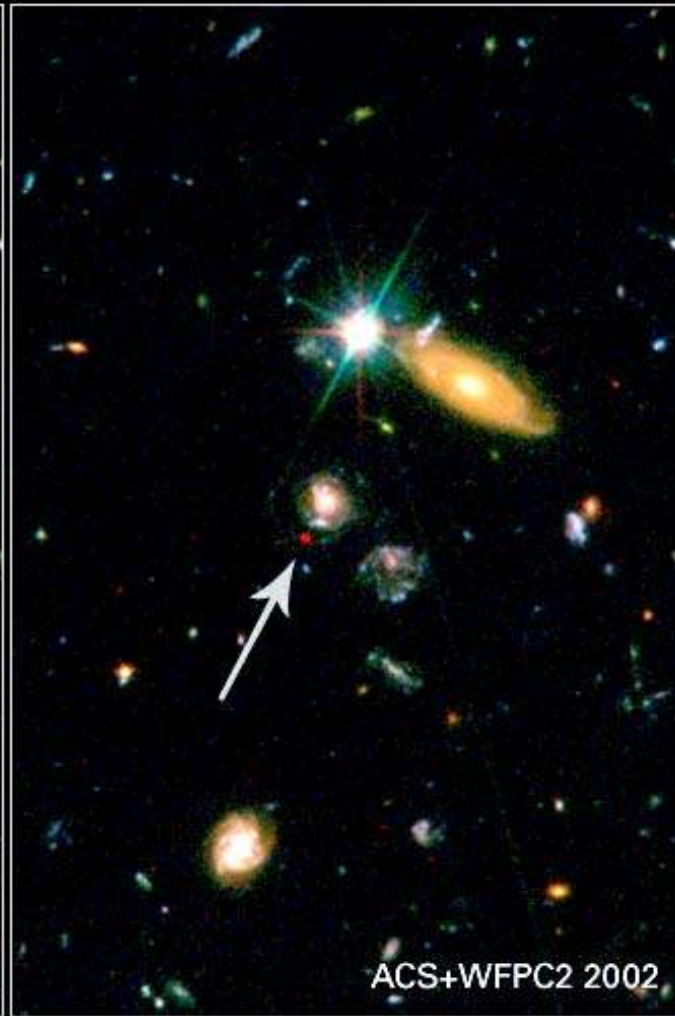
За какво му е на астронома CCD?

SN2002dd in the Hubble Deep Field North

HST ■ WFPC2 ■ ACS



WFPC2 1995



ACS+WFPC2 2002

NASA and J. Blakeslee (Johns Hopkins University)

STScI-PRC03-12

За какво му е на астронома CCD?



M5 © Anglo-Australian Observatory
Photograph by David Malin

Рожен'09

За какво му е на астронома CCD?



NGC1309

За какво му е на астронома CCD?



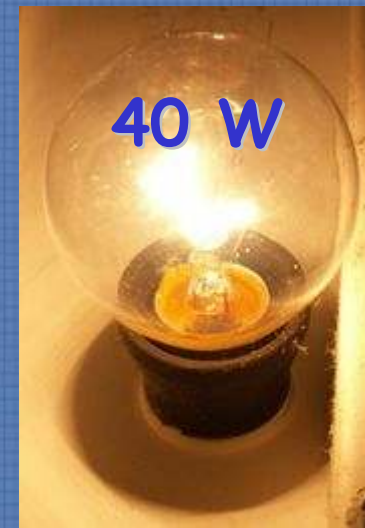
Колко светлина успяхме
да съберем за 400 години?

10^{12} erg

$$10^{12} \text{ erg} = 10^5 \text{ J}, \quad 1 \text{ kWh} = 36 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$10^{12} \text{ erg} = 0.030 \text{ kWh} = 30 \text{ Wh}$$

40 W, 0.75 h



45 минути

Край на втора част

Рожен'09

АСТРОФОТОГРАФИЯ \Leftrightarrow ССD ИЗОБРАЖЕНИЕ

ОБРАБОТКАТА НА ССD-ИЗОБРАЖЕНИЯ (КАДРИ)
НЕ Е АНАЛОГ НА СЪЗДАВАНЕТО НА
КРАСИВИ ЦВЕТНИ ФОТОГРАФИИ

ИЛИ
ФОТОШОП АСТРОНОМИЯ НЕ ПРАВИ

CCD-камерата не е нищо друго освен устройство за броене на фотони със своя електроника, усилватели, ... Когато получаваме едно CCD-изображение, ние провеждаме физически експеримент, целящ измерването на потока светлина от изследвания обект. Комбинацията от телескоп, приемник и електроника остава своя отпечатък, който трябва да бъде отстранен.

Всяко измерване е подложено на шумове.
Същото се отнася и до изображенията, направени със CCD-камера. Обработката им означава да извлечем информация, като контролираме шумовете.

Шумове

1. Естествен шум

Излъчването на светлина е дискретен процес, подчинен на законите на квантовата физика. n фотона за единица време - Пуасон; стандартно отклонение $\Delta n = n^{1/2}$, 900 фот. - 30 фот. Отношението на сигнала n към шума Δn ще е $n/n^{1/2} = n^{1/2}$;

2. Термичен шум

За KAF-09000 той е $5 e^-/px/sec$ ($+25^{\circ} C$); намалява два пъти на всеки $7^{\circ} C$;

3. Шум на четене (read-out noise), за KAF-09000 - $8 e^-$

4. Шум от обработката ?!?

Рожен'09

BIAS, OFFSET (bias frame)

Bias (отместване) = експозиция с нулева продължителност



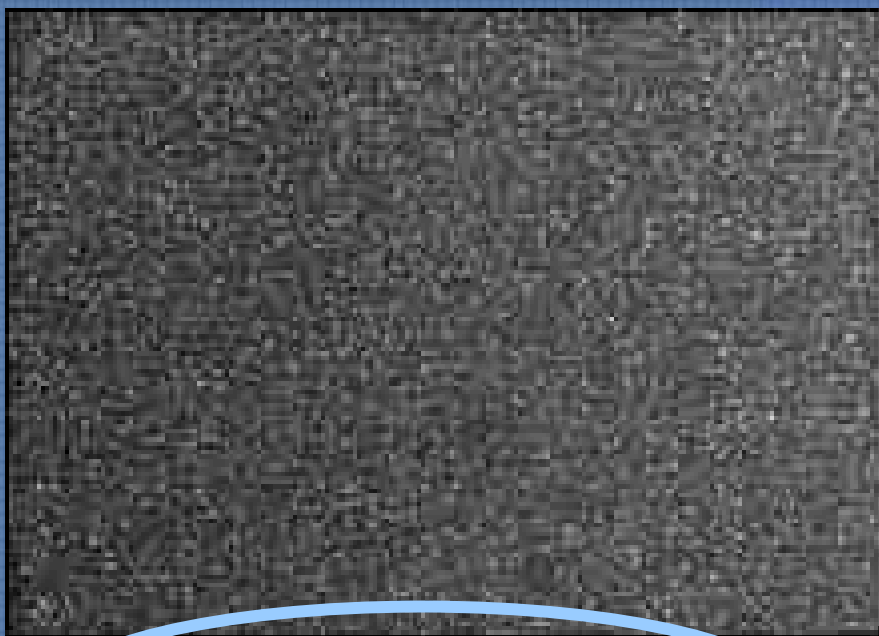
$t_{exp} = 0$, без светлина

Отразява взаимодействието
между чипа и електрониката

Присъства във всички!! кадри
и трябва да се извади

DARK (dark frame)

Dark (ток на тъмно) = експозиция при затворен затвор



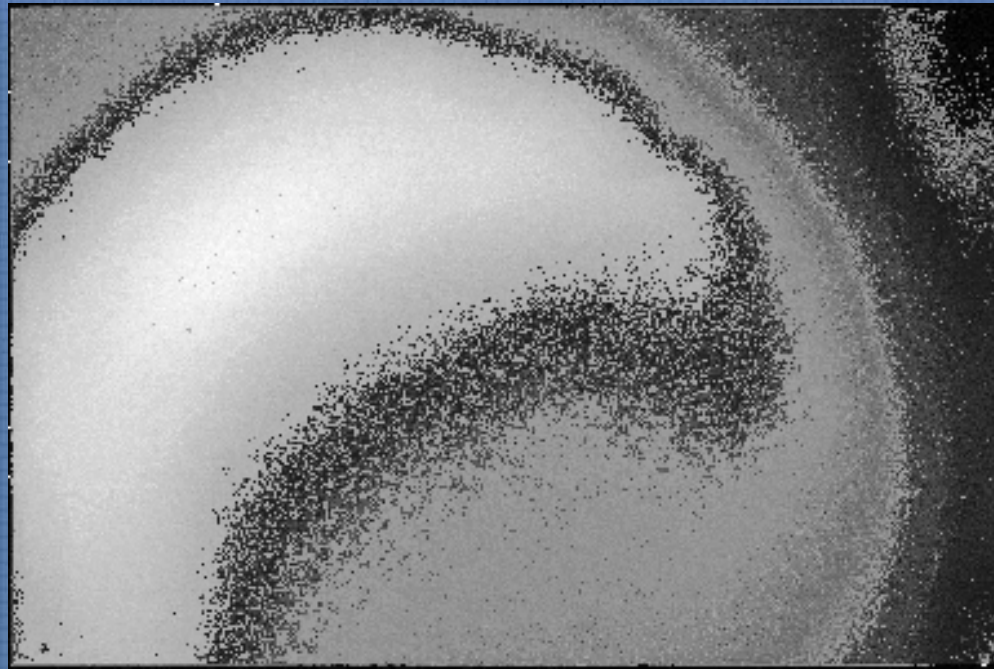
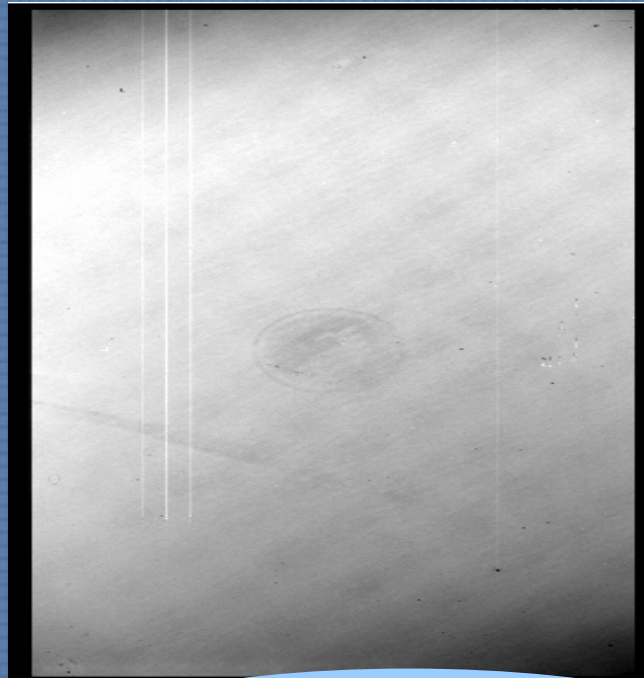
$t_{exp} > 0$, без светлина

Отразява големината на тока на тъмно на чипа, значението му зависи от температурата и продължителността на експозицията

Присъства във всички кадри (без Bias!) и трябва да се извади

FLAT (flat field)

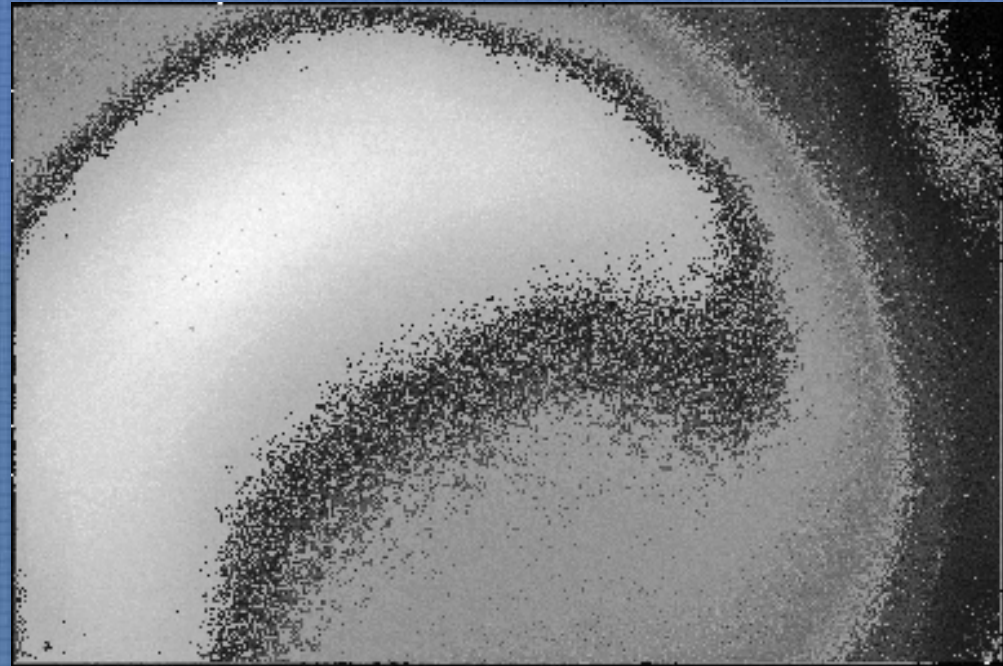
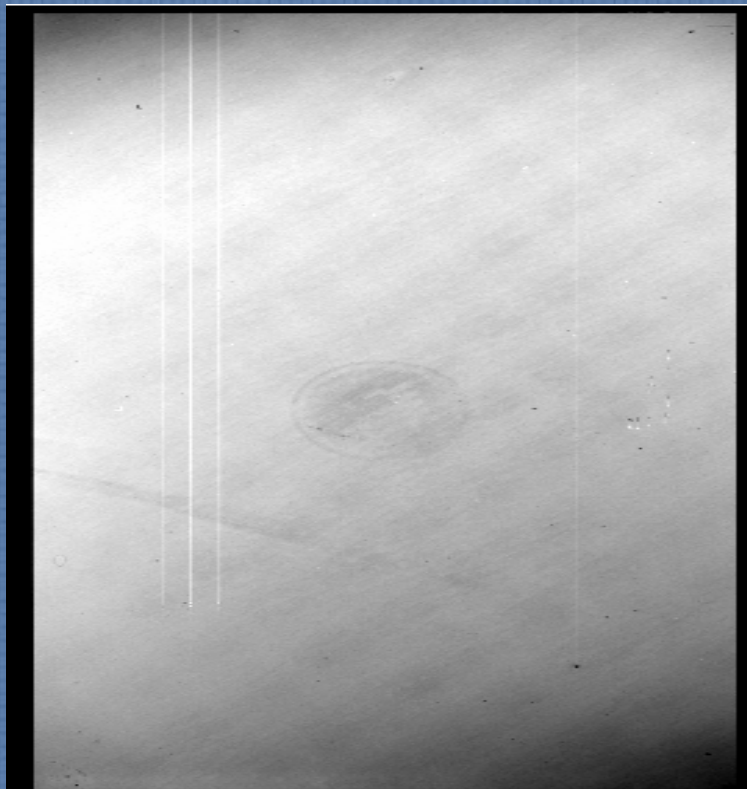
Flat (плоско поле) = експозиция с разсеяна бяла светлина през телескопа



$t_{exp} > 0$, със светлина

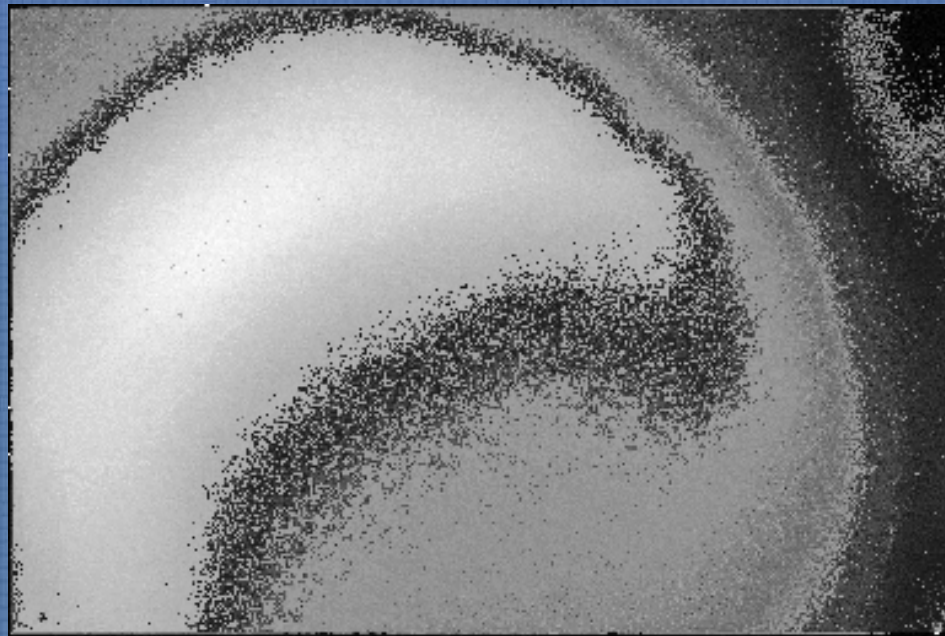
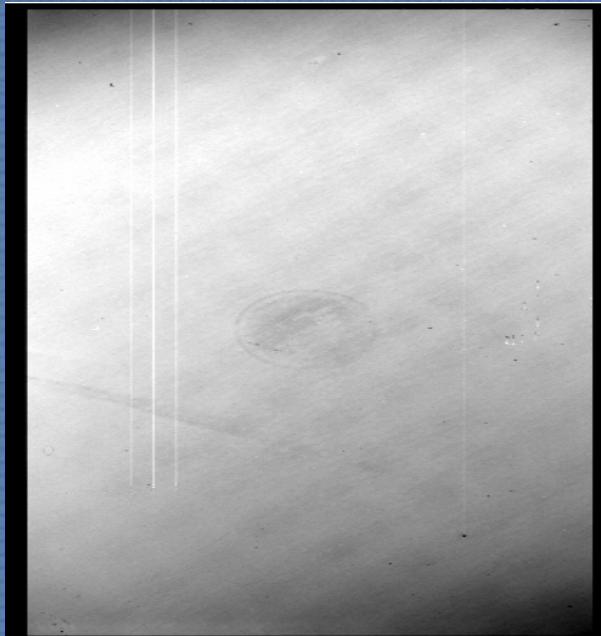
FLAT (flat field)

Нееднаква чувствителност
на пикселите, прах и
електроника



Неравномерно осветление от телескопа,
нееднаква чувствителност на пикселите

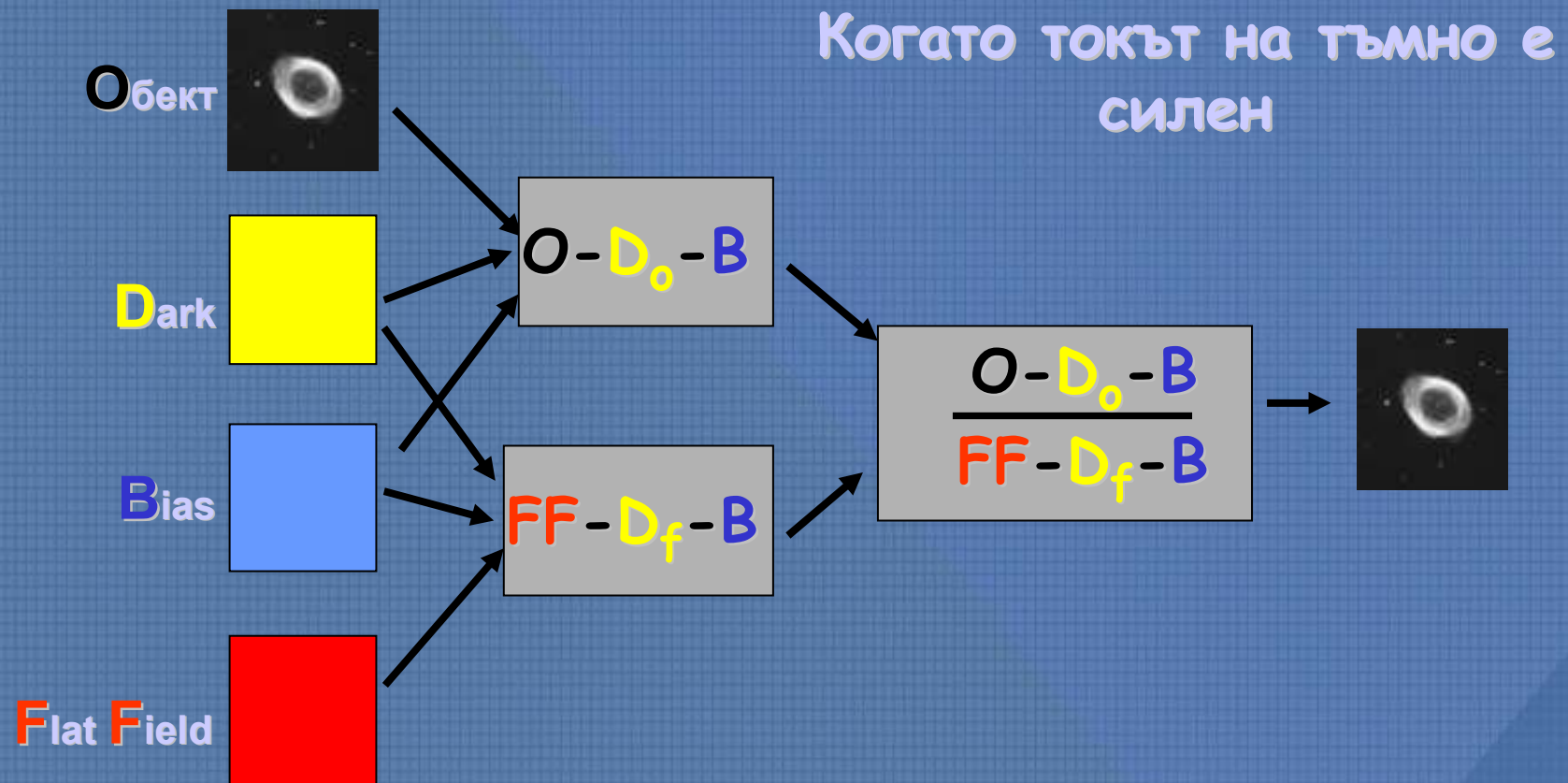
FLAT (flat field)



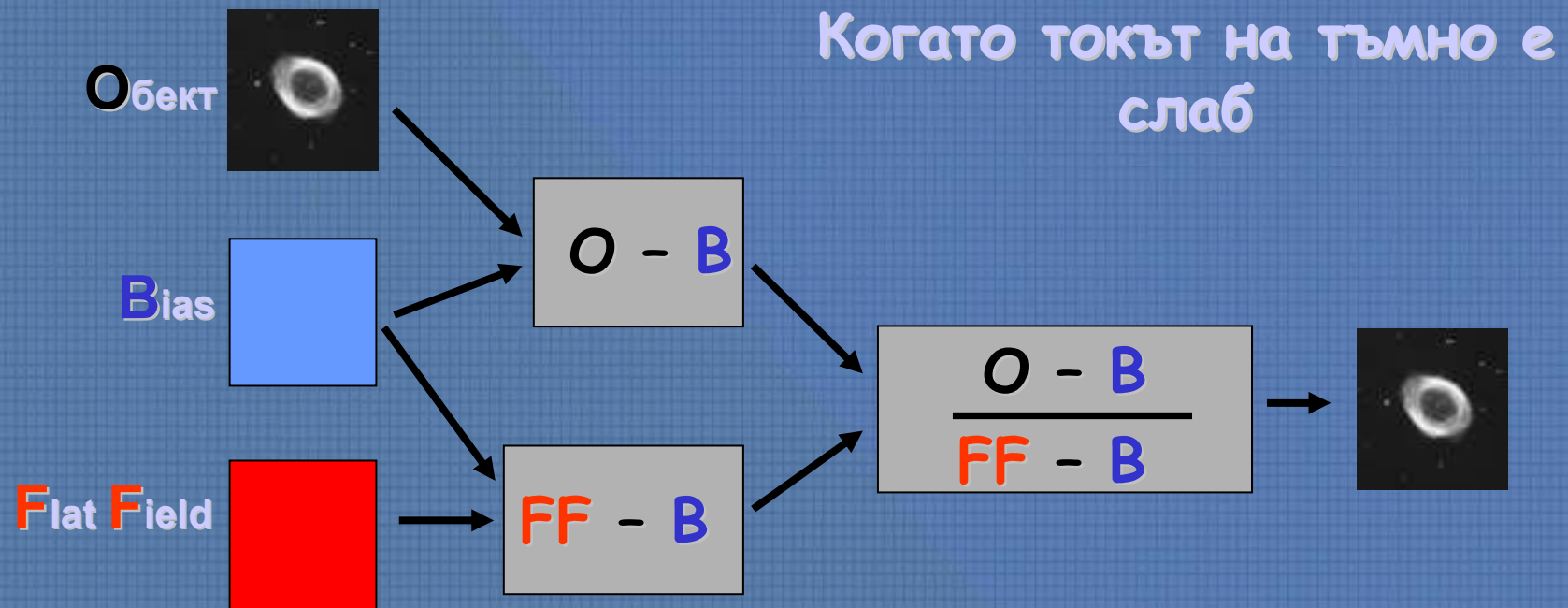
Отчита индивидуалните характеристики (положение и чувствителност) на всеки отделен пиксел.

На плоското поле се дели, то служи за нормировка

ВСИЧКО ЗАЕДНО



ВСИЧКО ЗАЕДНО



РЕЦЕПТА - 1

1. Изваждаме Bias от всички кадри: Object, Flat, (Dark);
- (2). Изваждаме Dark от всички кадри: Object, Flat;
съобразяваме се с времето на експозиция;
3. Нормираме Flat и разделяме всеки Object на него;

4. Шум от обработката ?!?

$$\frac{O - (D_o - B)}{FF - (D_f - B)}$$

Сума: $\Delta(x+y) = [(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2]^{1/2} > \Delta x$

Произведение: $\Delta(xy)/xy = \Delta(x/y)/(x/y) =$
 $= [(\Delta x/x)^2 + (\Delta y/y)^2]^{1/2} > \Delta x/x$

**Шумът нараства, а отношението
"сигнал/шум" намалява**

4. Шум от обработката ?!?

Не можем да влияем на потока светлина, който идва от изследваните обекти.

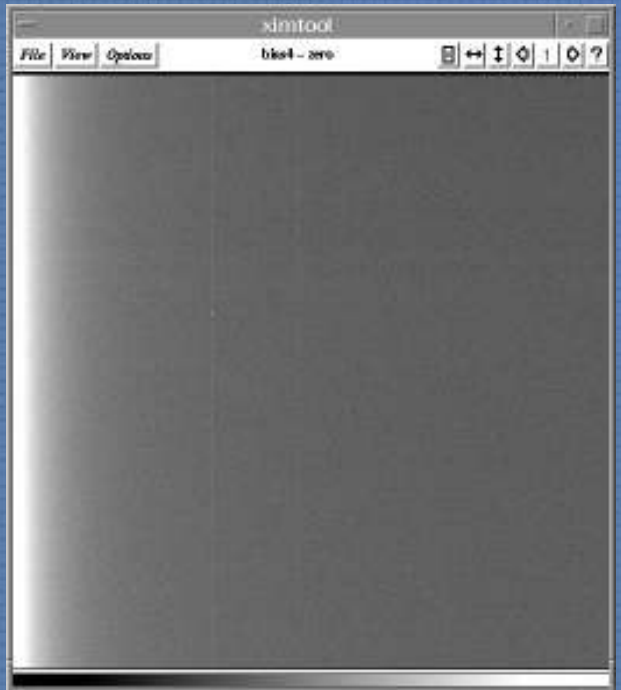
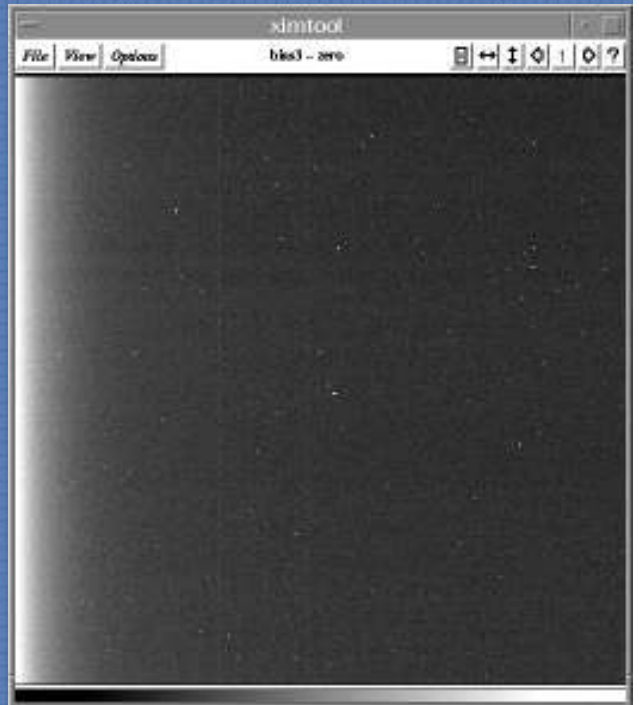
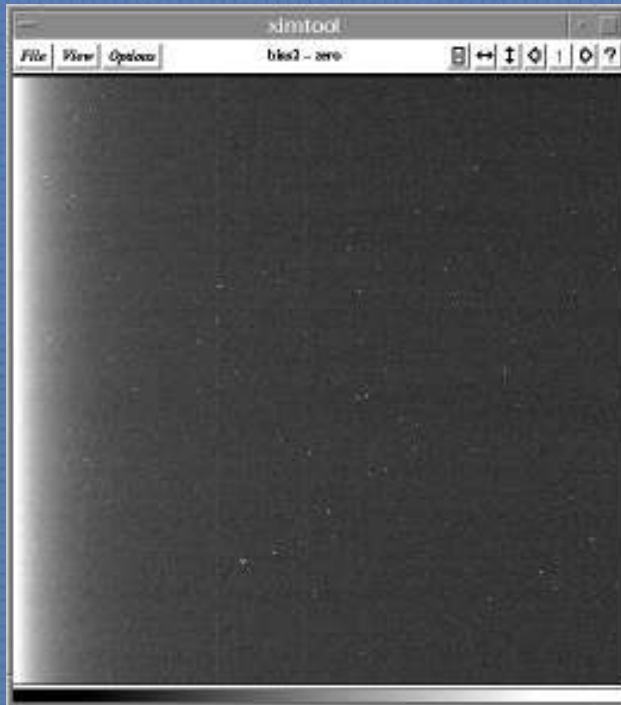
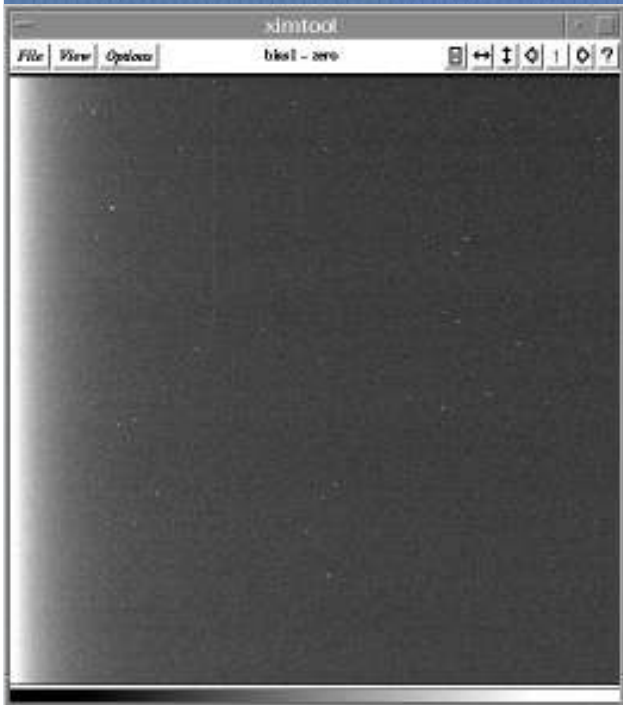
НО...

Можем да направим така, че Bias, Dark и Flat да съдържат повече сигнал и по-малко шум.

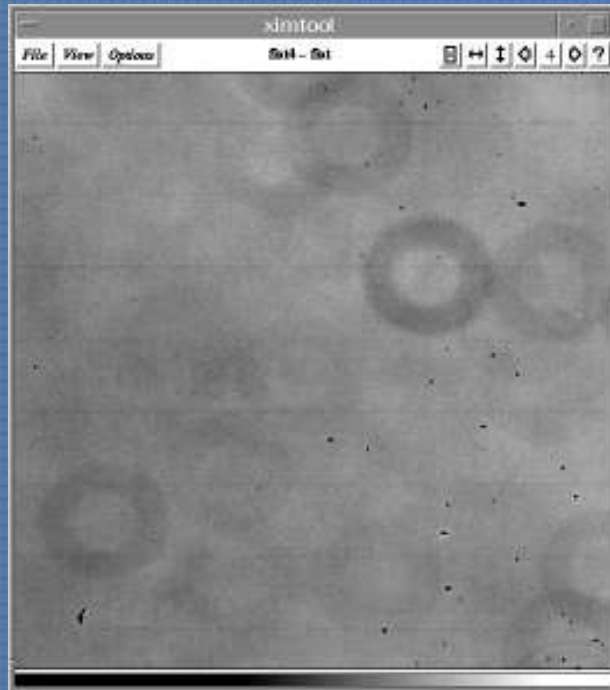
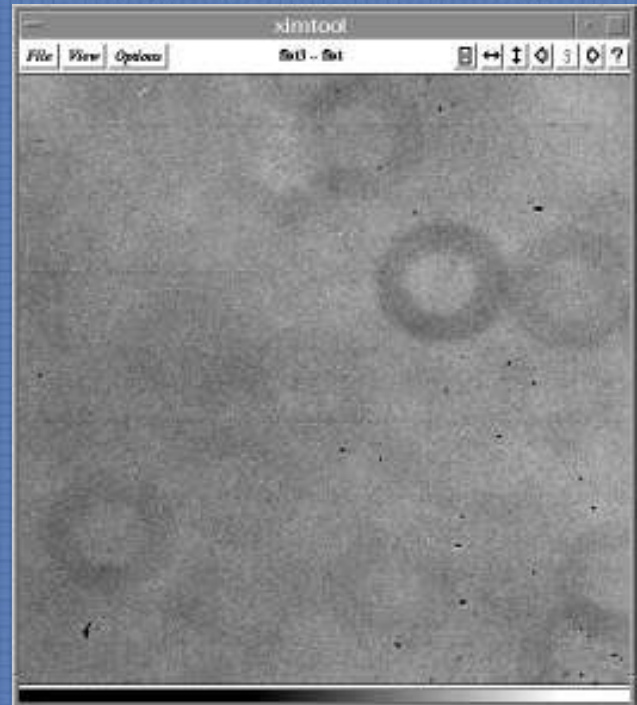
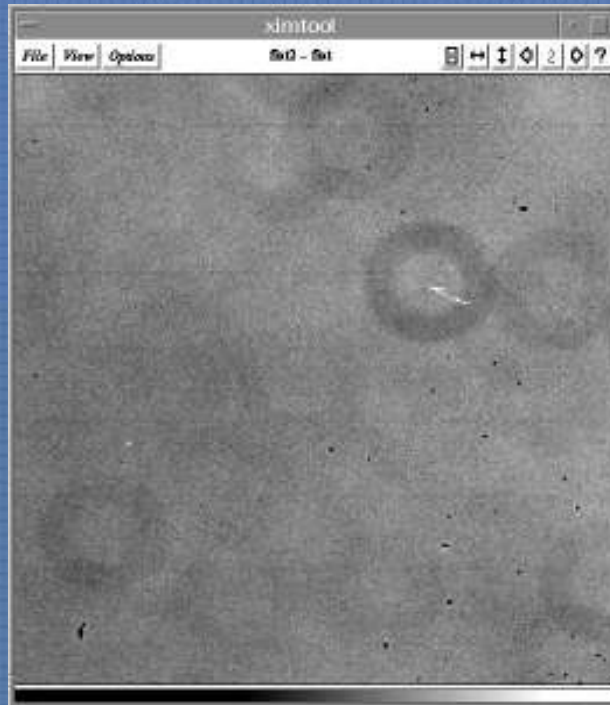
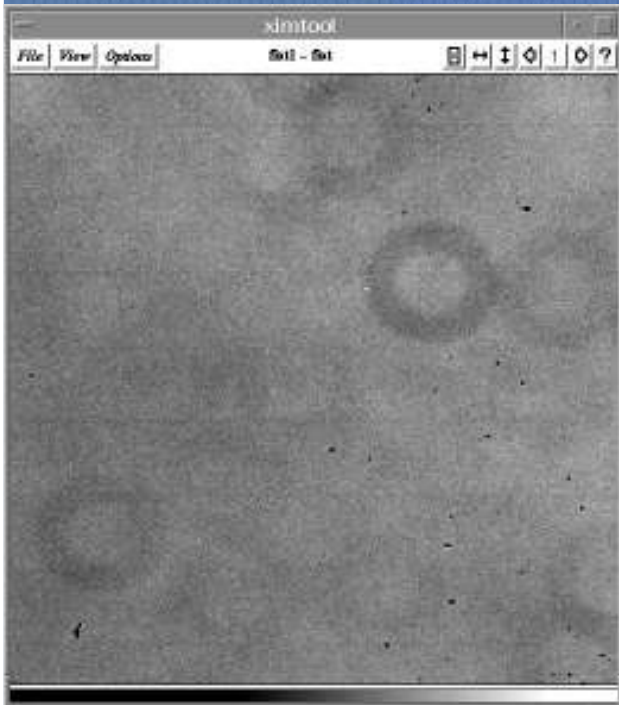
КАК?

Отношението на сигнала n към шума s ще е $= n^{1/2}$

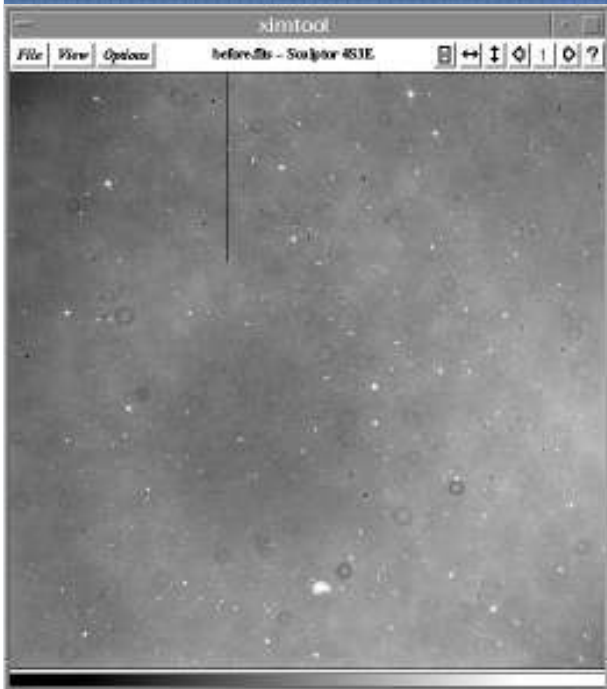
Ако увеличим сигнала 4 пъти, това отношение ще нарастне до $(4n)^{1/2}$, или точно 2 пъти



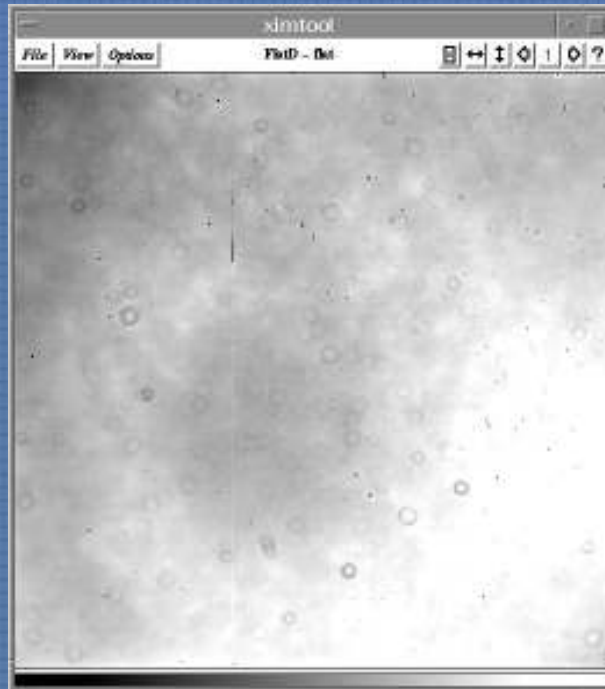
Bias



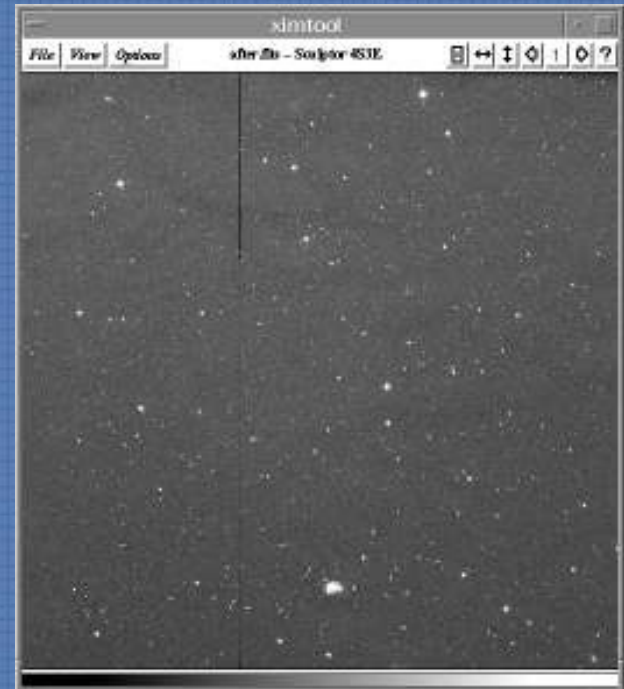
Flat Field



Object - Bias



Flat - Bias



Object - Bias
Flat - Bias

РЕЦЕПТА - 2

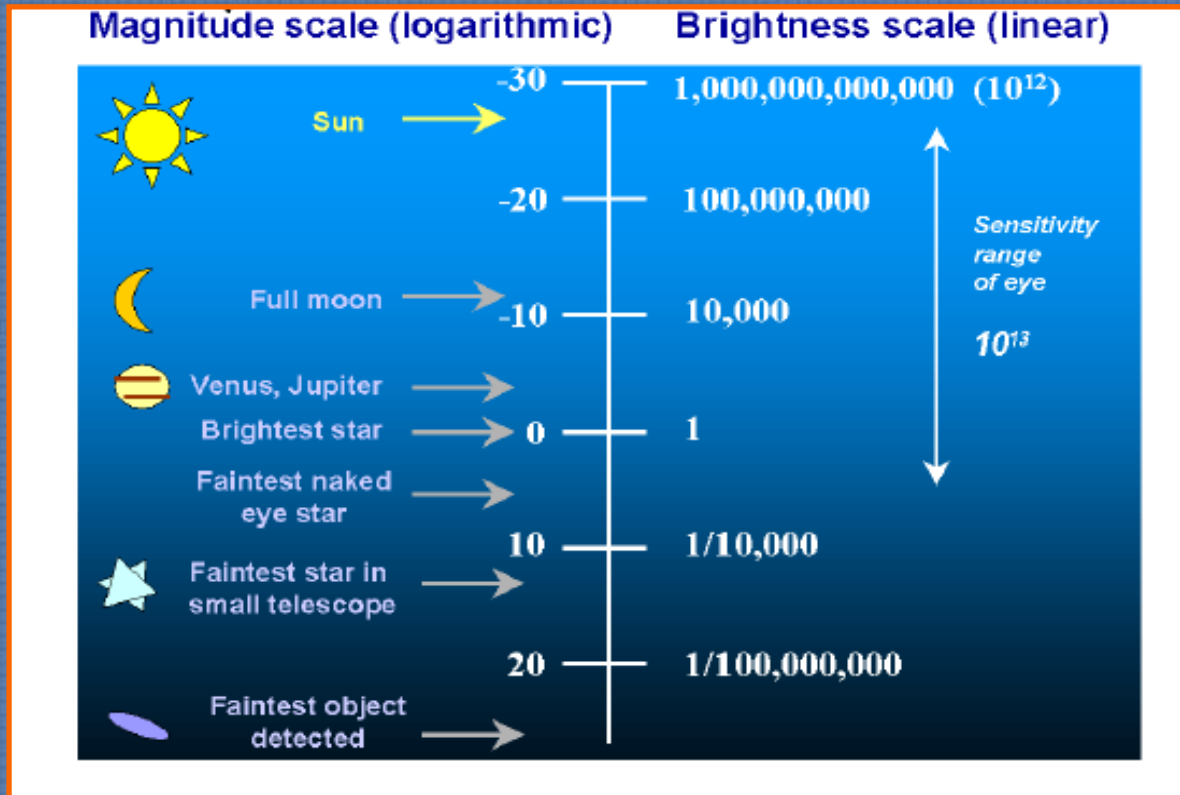
1. Усредняваме Bias, (Dark) и Flat;
2. Изваждаме Bias от всички кадри: Object, (Dark) и Flat;
- (3). Изваждаме Dark от всички кадри: Object, Flat;
съобразяваме се с времето на експозиция;
4. Нормираме Flat и делим всеки Object на него.

Край на трета част

Рожен'09

ОТ ПИКСЕЛИ КЪМ ЗВЕЗДНИ ВЕЛИЧИНИ

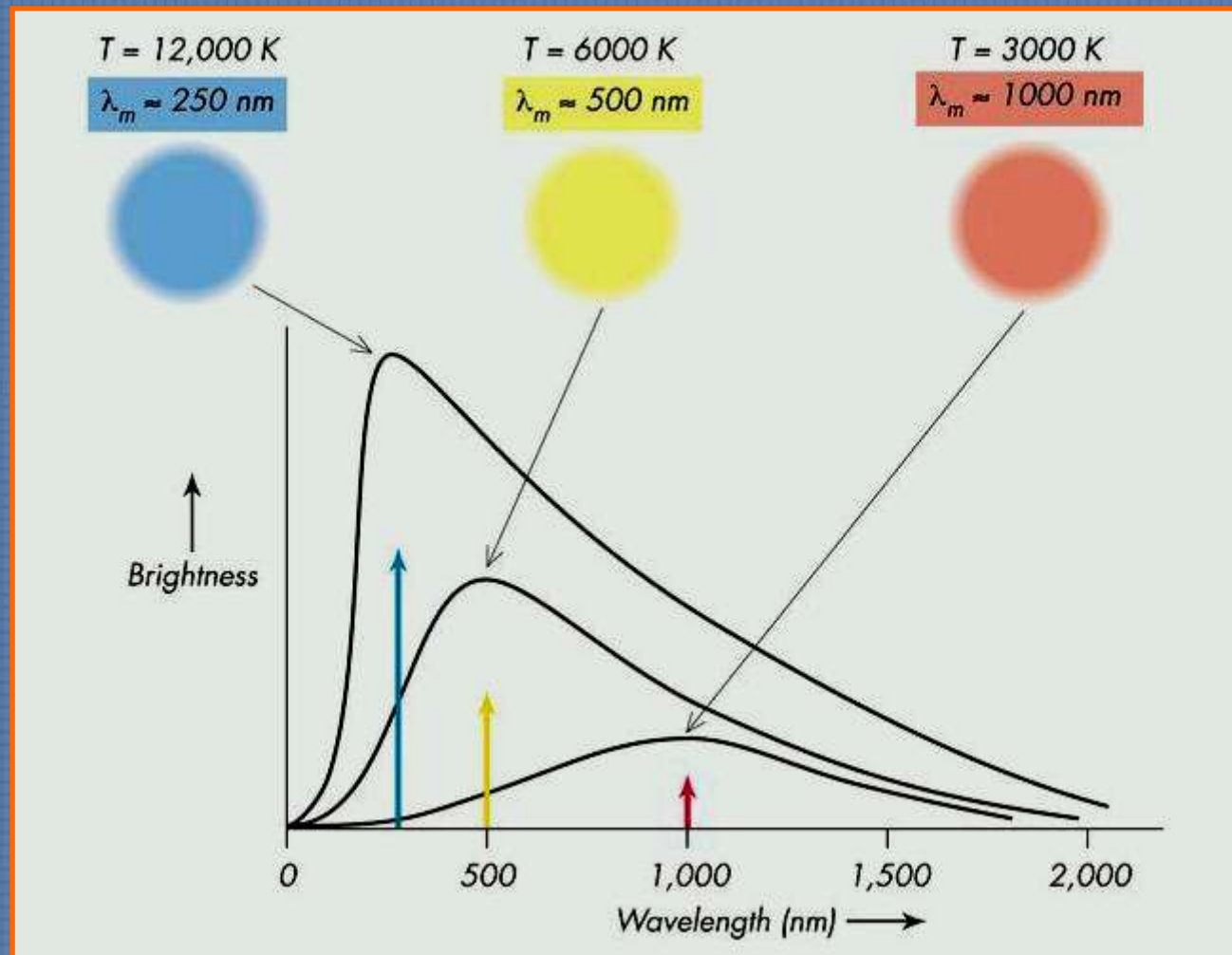
$$m = \text{const} - 2.5 \log I$$



$$m_1 = 1; m_6 = 6$$

$$I_1 = 100I_6$$

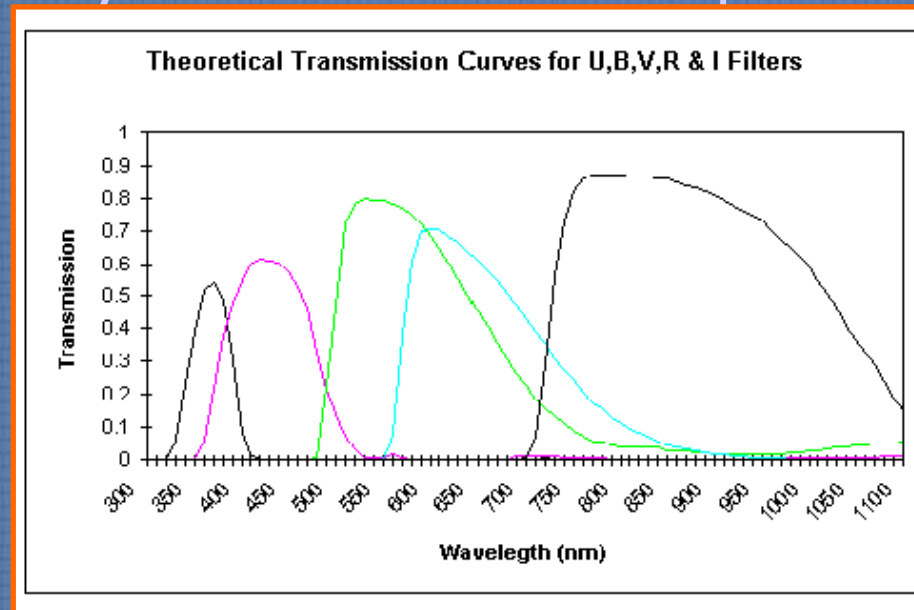
ОТ ПИКСЕЛИ КЪМ ЗВЕЗДНИ ВЕЛИЧИНИ



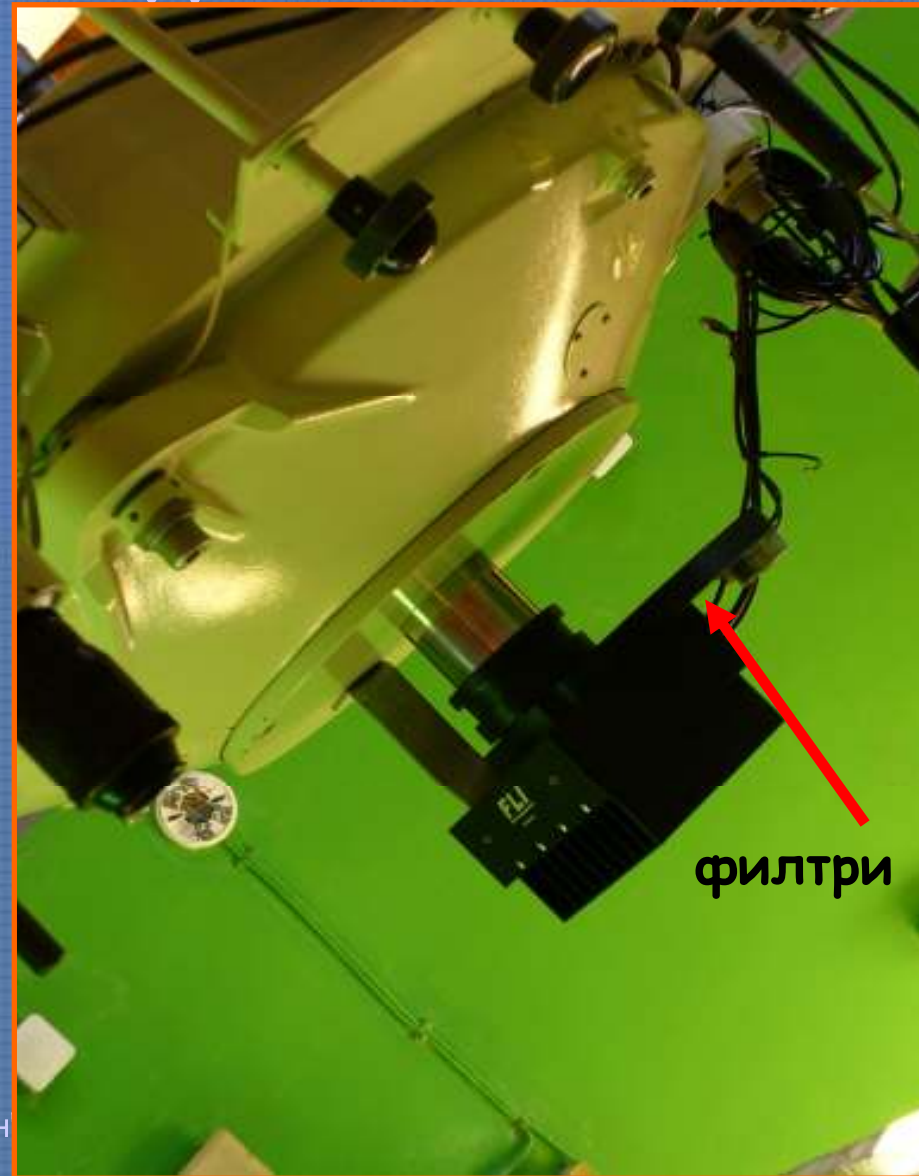
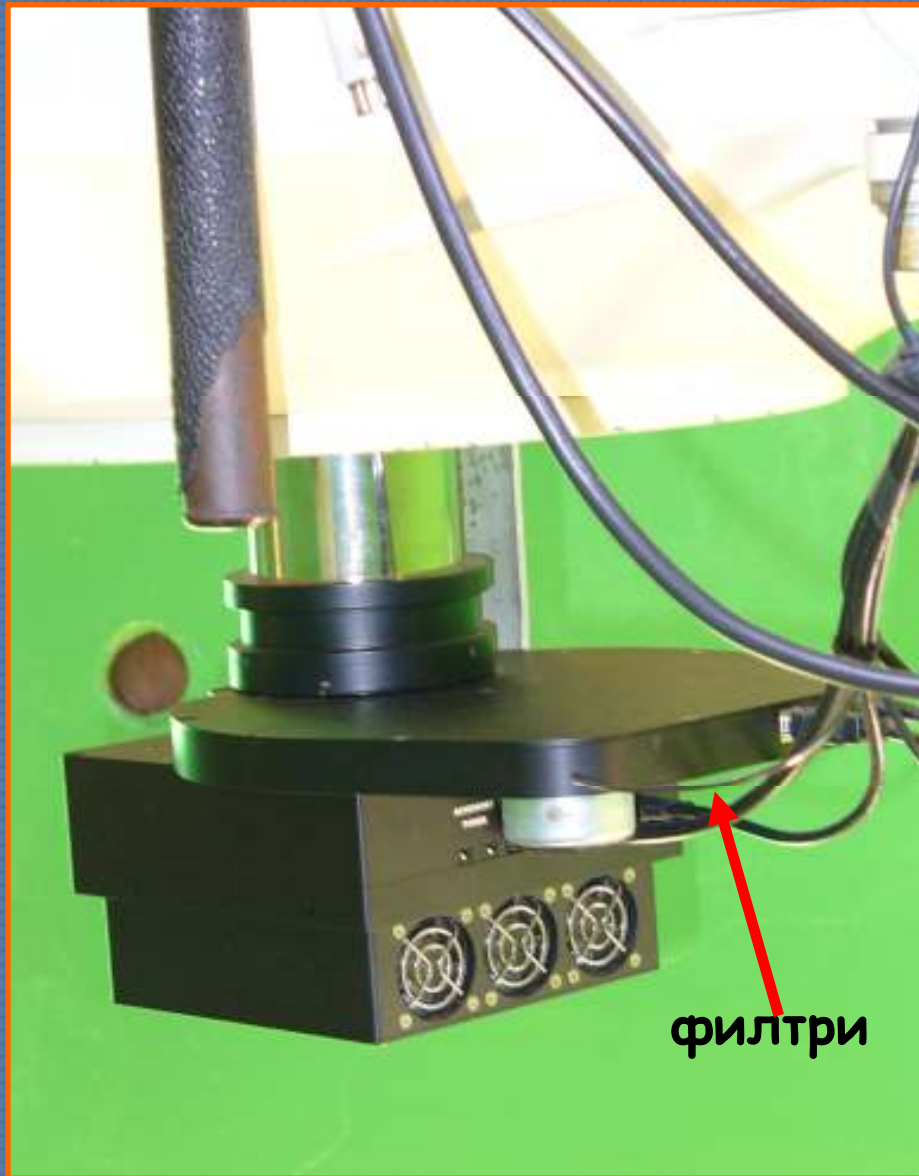
ОТ ПИКСЕЛИ КЪМ ЗВЕЗДНИ ВЕЛИЧИНИ

Не е необходимо да измерваме целия ѝ спектър, за да разберем как излъчва една звезда. Можем да използваме филтри, за да определим нейните "цветове". Това означава да определим какво количество фотони се вижда през всеки един цветен филтър.

Зеленият филтър пропуска само "зелени" фотони.

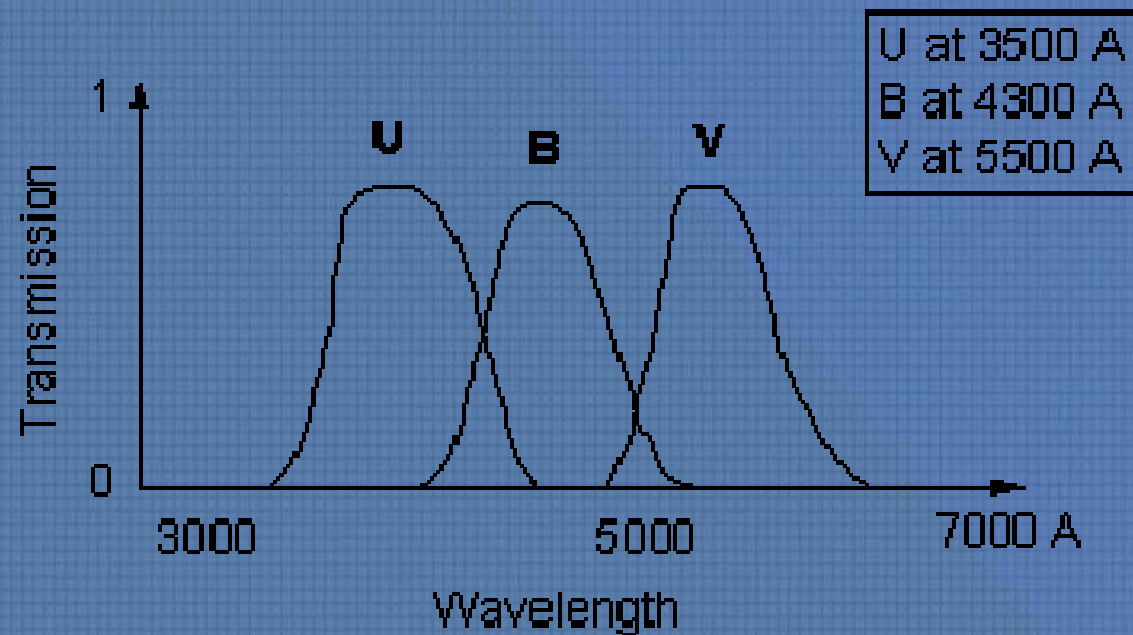


ОТ ПИКСЕЛИ КЪМ ЗВЕЗДНИ ВЕЛИЧИНИ



ОТ ПИКСЕЛИ КЪМ ЗВЕЗДНИ ВЕЛИЧИНИ

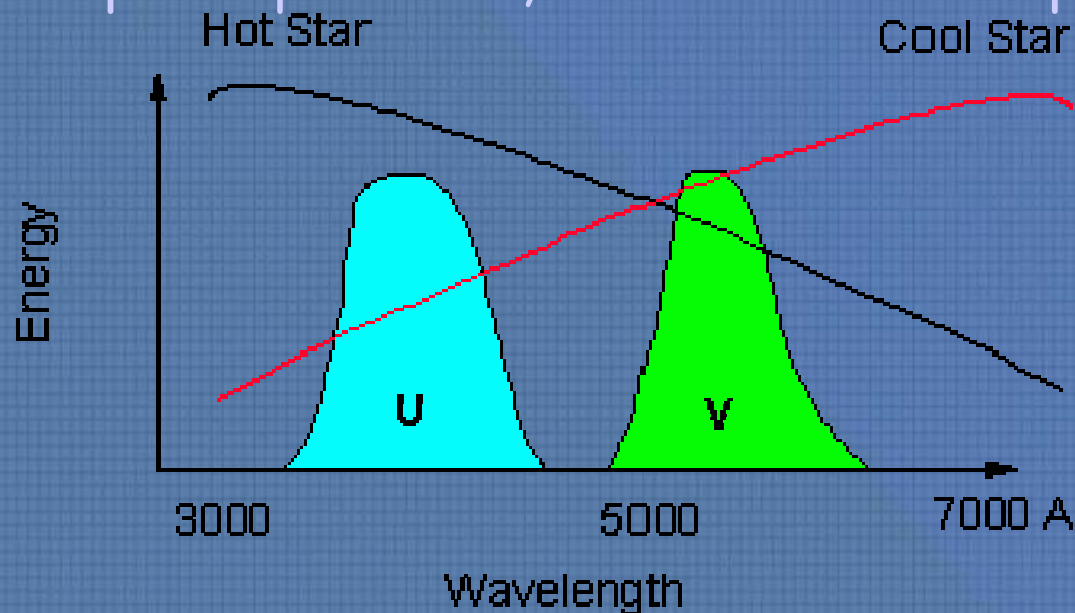
UBV система: Комплект от три цветни филтъра, наблюденията през които позволяват да се получи представа как изучаваната от нас звезда излъчва в различни спектрални интервали.



ОТ ПИКСЕЛИ КЪМ ЗВЕЗДНИ ВЕЛИЧИНИ

- U при 3500 Å => ултравиолетов (Ultraviolet)
- B при 4300 Å => син (Blue)
- V при 5500 Å => видим (Visible)

В сравнение с една хладна звезда, една гореща звезда ще излъчва в U филтър повече, отколкото във V филтър.



$$\left[\frac{\text{Flux at U}}{\text{Flux at V}} \right]_{\text{Hot Star}} > \left[\frac{\text{Flux at U}}{\text{Flux at V}} \right]_{\text{Cool Star}}$$

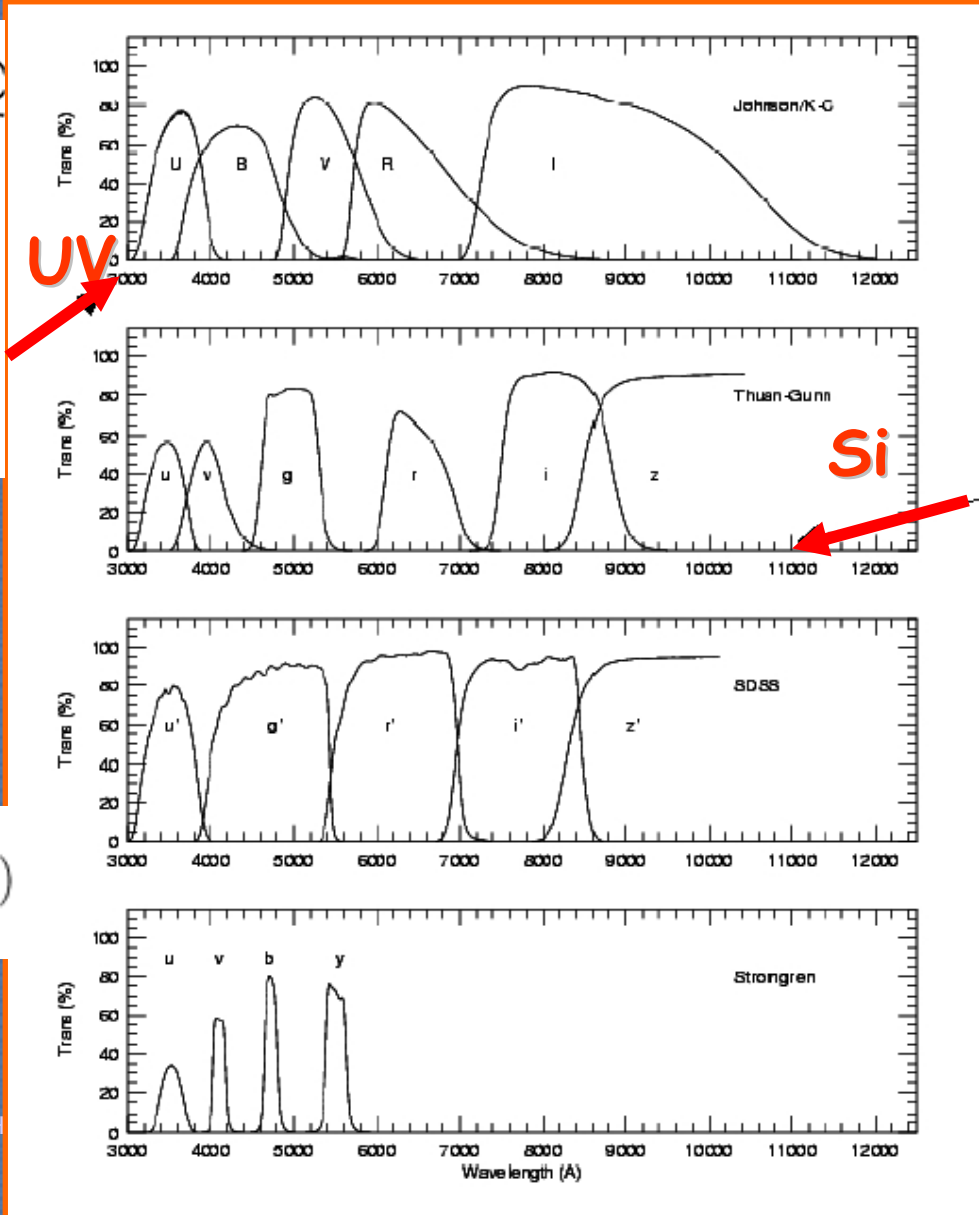
ОТ ПИКСЕЛИ КЪМ ЗВЕЗДНИ ВЕЛИЧИНИ

	Band	central λ (\AA)	Band width, $\Delta\lambda_{\pm}$ (\AA)
Johnson-Morgan	U ultraviolet	3650	700
	B blue	4400	1000
	V visual	5500	900
Johnson	R red	7000	2200
	I infrared	8800	2400

$$m_A = -2.5 \log f_A + c_A$$

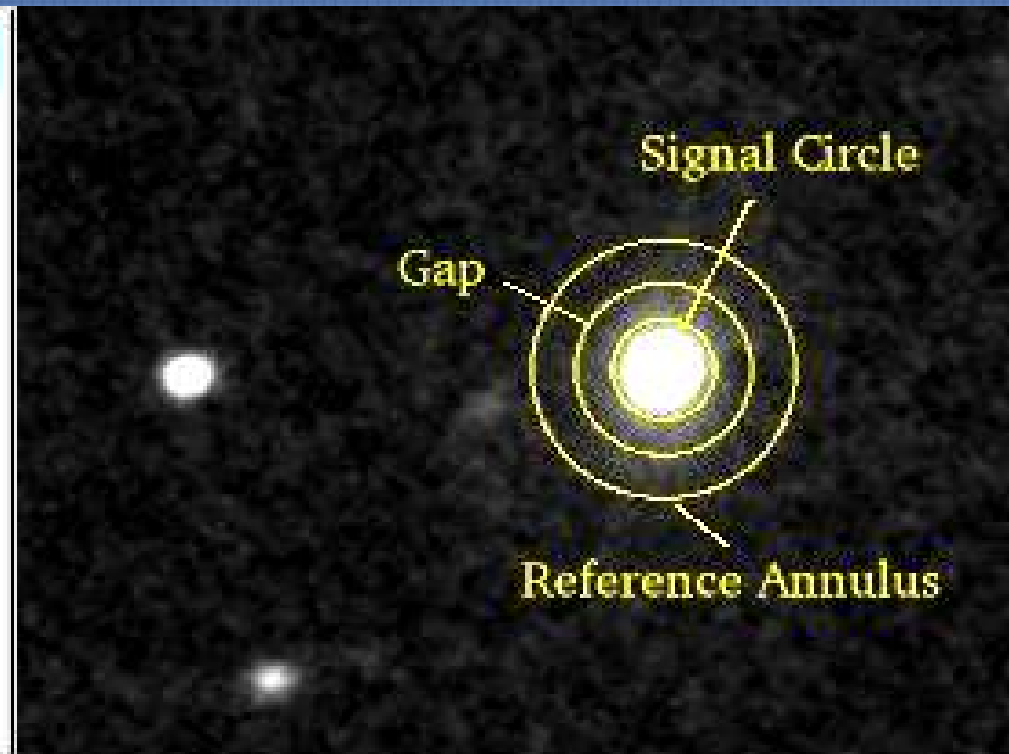
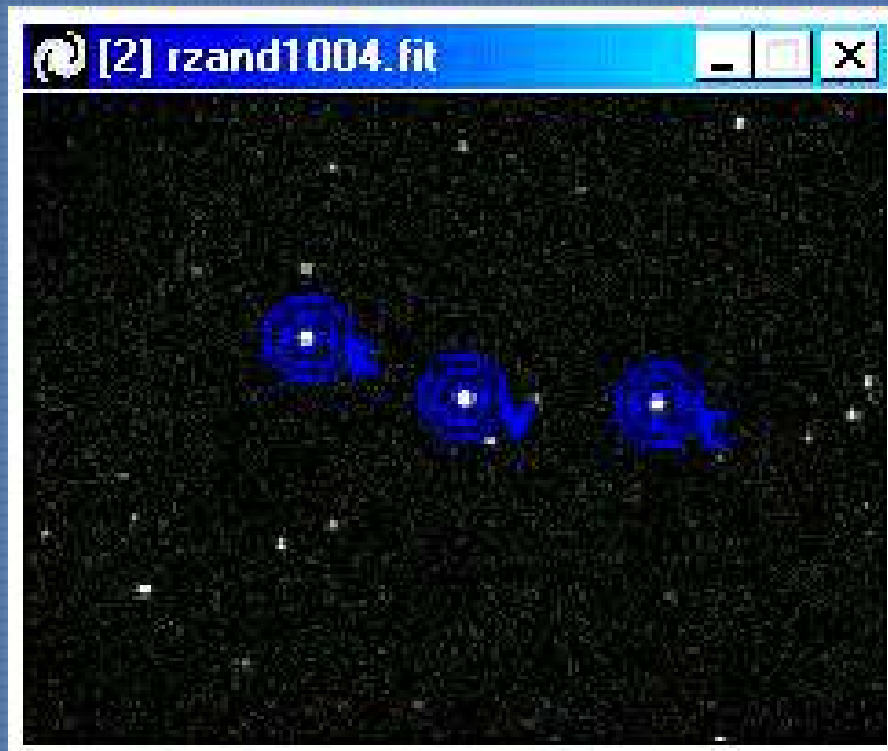
$$m_B = -2.5 \log f_B + c_B$$

$$CI_{AB} \equiv m_A - m_B = -2.5 \log \left(\frac{f_A}{f_B} \right) + (c_A - c_B)$$



Рок

АПЕРТУРНА ФОТОМЕТРИЯ

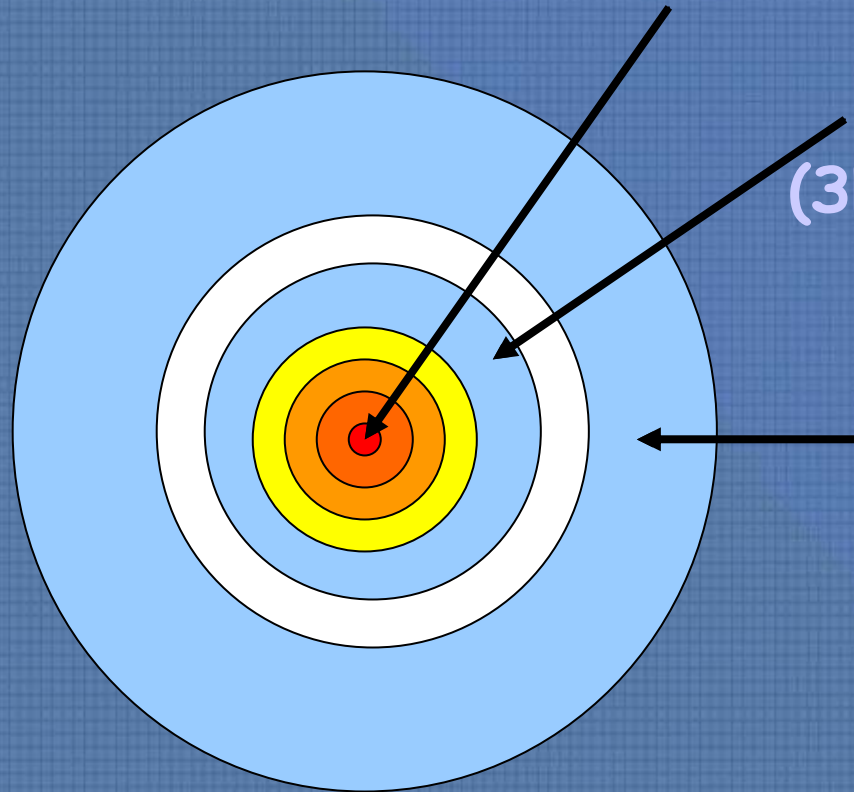


АПЕРТУРНА ФОТОМЕТРИЯ

ЗВЕЗДА

АПЕРТУРА
(ЗВЕЗДА + ФОН)

ПРЪСТЕН
(ФОН ОТ НЕБЕТО)



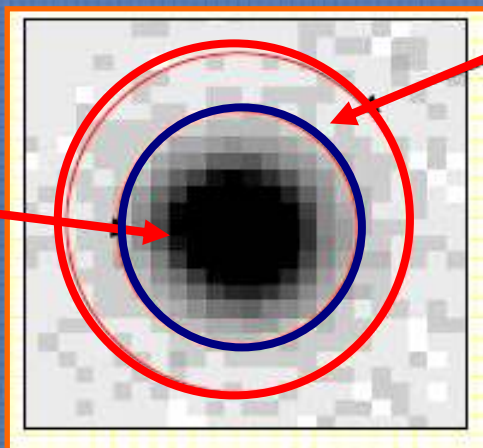
Сигнал в апертурата: Звезда + площ на апертурата \times среден фон от небето

Сигнал в пръстена: площ на пръстена \times среден фон от небето

Звезда: сигнал в апертурата – площ на апертурата \times среден фон на небето

АПЕРТУРНА ФОТОМЕТРИЯ

Преброяваме и сумираме всички електрони, събрани в апертурата



Определяме нивото на фона. Изваждаме тези електрони

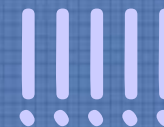
$$I = \sum_{ij} I_{ij} - n_{\text{pix}} \times \text{sky/pixel}$$

Само от звездата

$$m = c_0 - 2.5 \log(I)$$

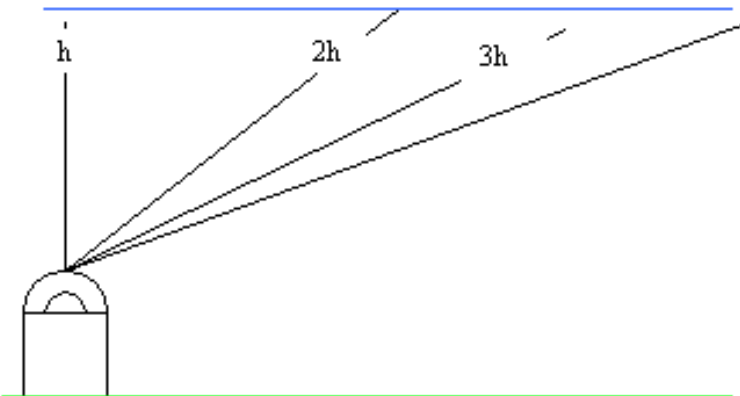
m_{obs}

Рожен'09



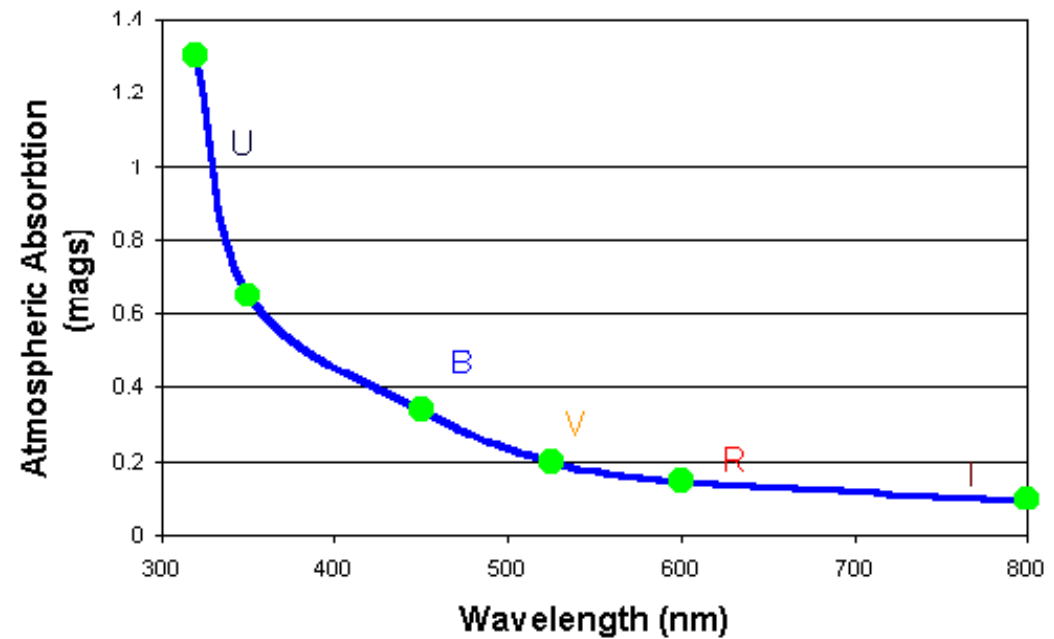
ЕКСТИНКЦИЯ

Zenith



Zenith Distance	$\sec(z) = 1/\cos(z)$
0°	1
60°	2
70°	3
75°	4
78°	5
84°	10
89°	100

Variation of the absorption of the Earth's atmosphere with colour



ЕКСТИНКЦИЈА

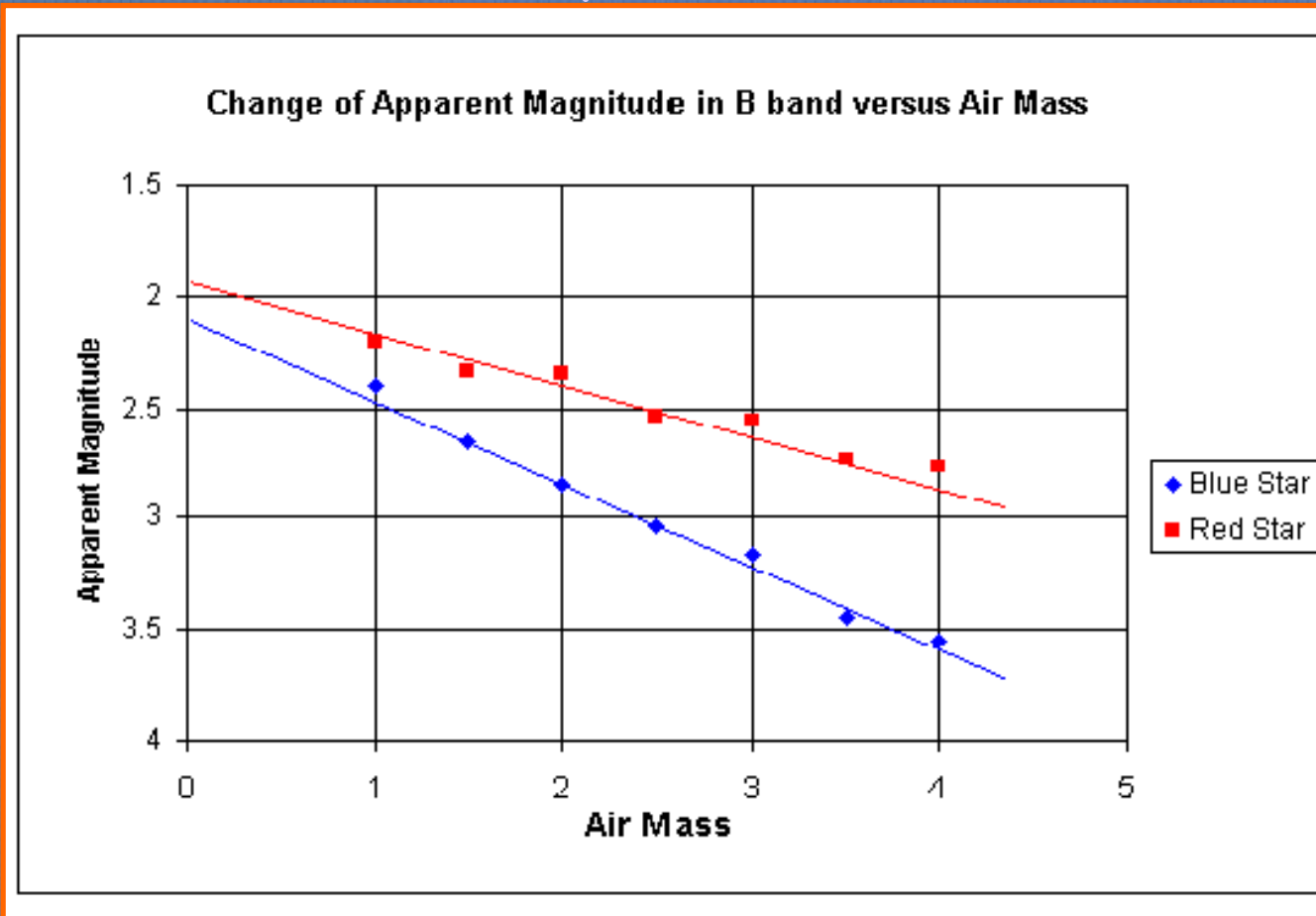
$$X = \sec(z) = 1/\cos(z) = 1/(\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\alpha);$$
$$\sec(z) < 2; z < 60^\circ$$

$$X = \sec(z) - 0.0018167 [\sec(z) - 1] -$$
$$-0.002875 [\sec(z) - 1]^2 - 0.0008083 [\sec(z) - 1]^3$$

$$X = \sec(z)[1 - 0.0012 (\sec(z) - 1)];$$
$$\sec(z) < 4; z < 80^\circ$$

ЭКСТИНКЦИЯ

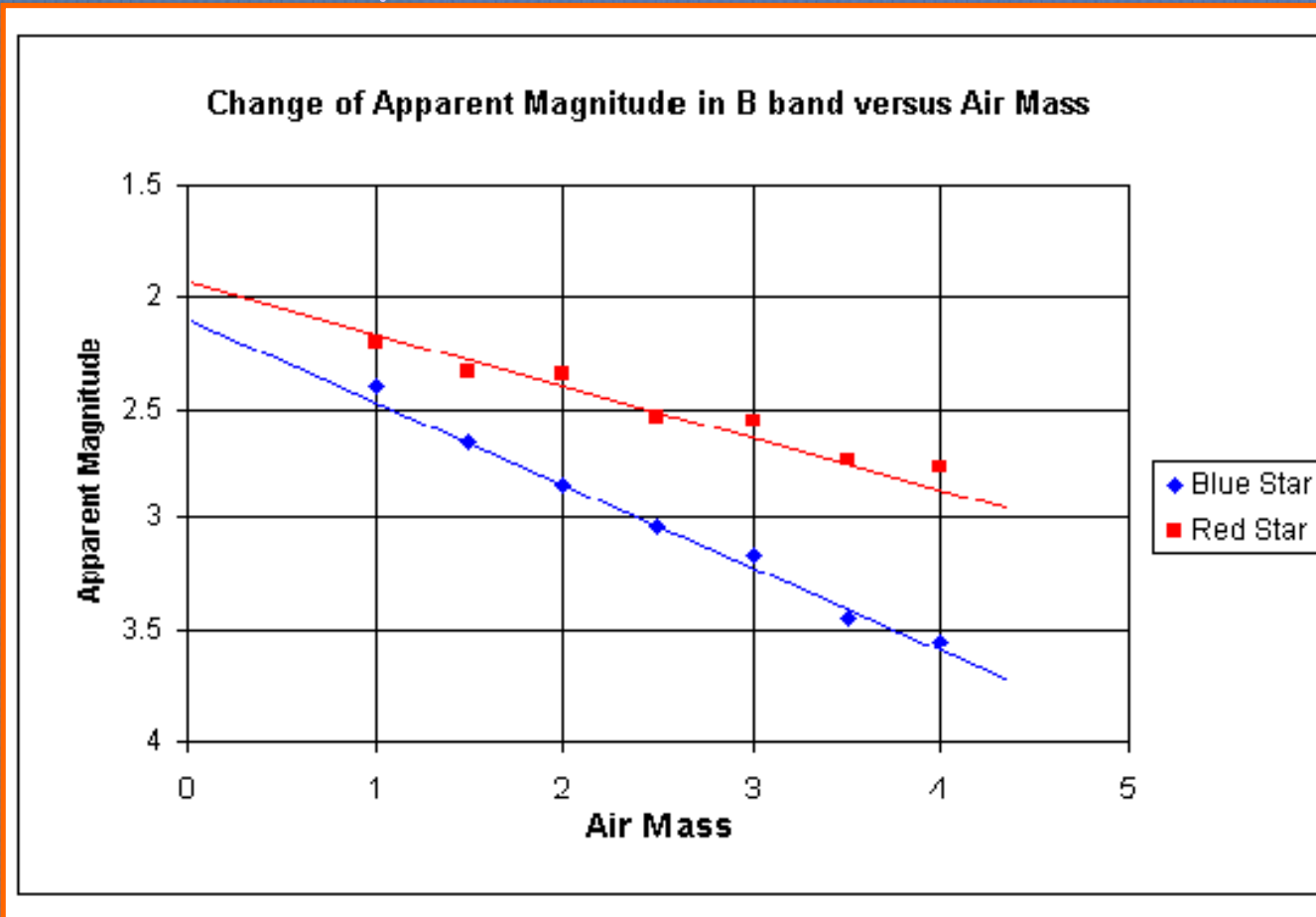
$$m_0 = m_{\text{obs},X} + k'X + Z$$



ЕКСТИНКЦИЯ

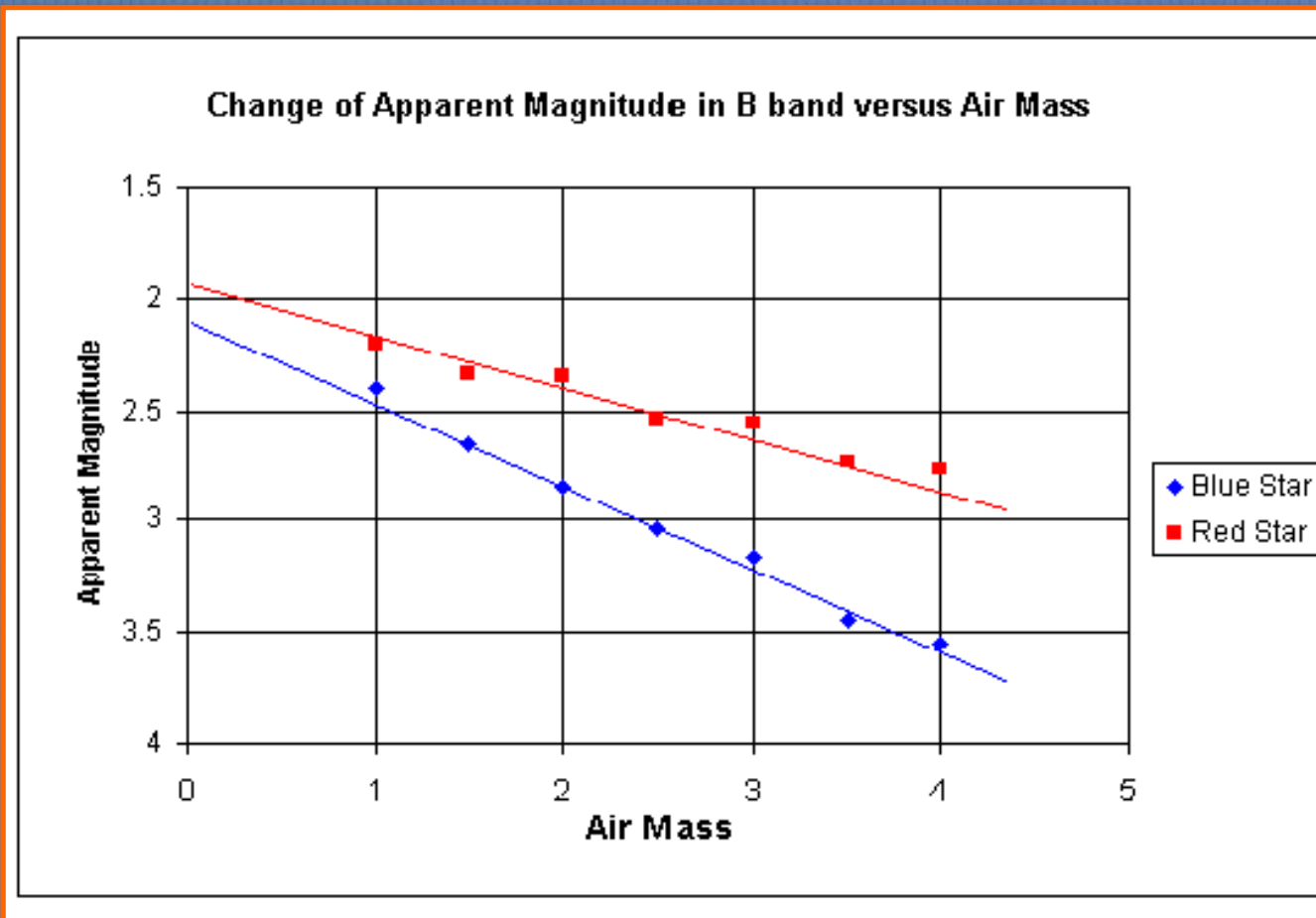
$$k = k' + k''(B-V)$$

$$m_0 = m_{\text{obs},X} + k'X + k''(B-V)X + Z$$



ЕКСТИНКЦИЯ

$$k'' = (k'_1 - k'_2) / [(B-V)_1 - (B-V)_2]$$



СТАНДАРТНА ФОТОМЕТРИЯ

$$m_{\text{std}} = m_0 + b_0 + b_1(B-V) + b_2(B-V)^2 + \dots$$

$$m_0 = m_{\text{obs},X} + Z + k'X + k''X(B-V)$$

- 1) Решение за k' – списък от звезди на различно z (X);
- 2) Решение за k'' – двойки от звезди с различен $(B-V)$;
- 3) Решение за b_0, b_1, b_2, \dots ;
- 4) Итерации...

СТАНДАРТНА ФОТОМЕТРИЯ

$$u - U = Z_U + k'_U X + k''_U (U - B)$$

$$b - B = Z_B + k'_B X + k''_B (B - V)$$

$$v - V = Z_V + k'_V X + k''_V (V - R)$$

$$r - R = Z_R + k'_R X + k''_R (V - R)$$

$$i - I = Z_I + k'_I X + k''_I (R - I)$$

Метод на Гаус-Джордан ;-)

СТАНДАРТНА ФОТОМЕТРИЯ

$$m_{\text{std}} = m_0 + b_0 + b_1(B-V) + b_2(B-V)^2 + \dots$$

$$m_0 = m_{\text{obs},X} + Z + k'X + k''X(B-V)$$

$$m_{\text{std}} = m_{\text{obs},X} + a_0 + a_2X + a_3(B-V) + \\ + a_4X(B-V) + a_5(B-V)^2 + \dots$$

знаем: $m_{\text{std}}, m_{\text{obs},X}, (B-V)$;

търсим: $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, \dots$

РЕЦЕПТА - 3

1. BIAS, DARK, FLAT;

2. ЕКСТИНКЦИЯ;

3. ТРАНСФОРМАЦИОННИ КОЕФИЦИЕНТИ

1 + (2): диференциална фотометрия

1 + 2 + 3: пълна (all-sky) фотометрия

НА ЛОВ ЗА ФОТОНИ

НА СЛУКА!