

Адаптивная оптика - королевство кривых зеркал

Научный семинар по современной
оптике и новым направлениям в
физике.

Тигран Калайджян гр.212

Что это?

Адаптивная оптика – раздел оптики, занимающийся разработкой оптических систем с динамическим управлением формой волнового фронта для компенсации случайных возмущений и повышения предела разрешения наблюдательных приборов, степени концентрации излучения на приемнике или мишени и т. п.

Полиномы Цернике

$$\langle Z_i Z_j \rangle = \frac{1}{\pi} \int_{(0 \leq r \leq 1)} Z_i(\vec{r}) Z_j(\vec{r}) d^2 \vec{r} = \delta_{ij}$$

$$Z_j(r, \theta) = \begin{cases} \sqrt{n+1} R_n^m(r) \sqrt{2} \cos m\theta, & (j = 2k \quad m \neq 0) \\ \sqrt{n+1} R_n^m(r) \sqrt{2} \sin m\theta, & (j = 2k + 1 \quad m \neq 0) \\ \sqrt{n+1} R_n^0(r), & m = 0 \end{cases}$$

$$R_n^m(r) = \sum_{s=0}^{(n-m)/2} \frac{(-1)^s (n-s)! r^{n-2s}}{s! [(n+m)/2 - s]! [(n-m)/2 - s]!}$$

$$R_n^m(r) = 2\pi (-1)^{(n-m)/2} \int_0^\infty J_{n+1}(2\pi k) J_m(2\pi k r) dk$$

Первые 15 полиномов



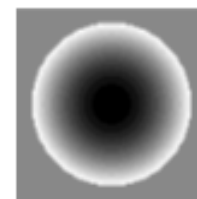
$$Z_1 = 1$$



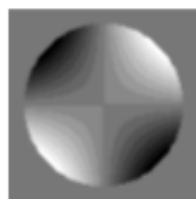
$$Z_2 = 2r \cos \theta$$



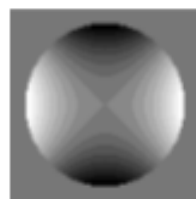
$$Z_3 = 2r \sin \theta$$



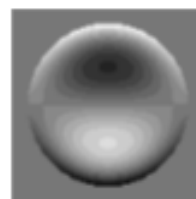
$$Z_4 = \sqrt{3}(2r^2 - 1)$$



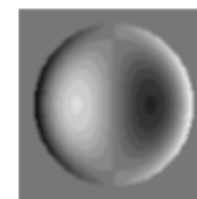
$$Z_5 = \sqrt{6}r^2 \sin 2\theta$$



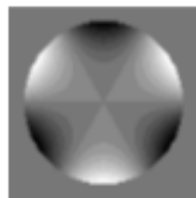
$$Z_6 = \sqrt{6}r^2 \cos 2\theta$$



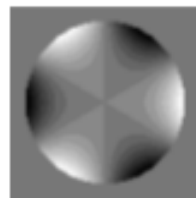
$$Z_7 = \sqrt{8}(3r^3 - 2r) \sin \theta$$



$$Z_8 = \sqrt{8}(3r^3 - 2r) \cos \theta$$



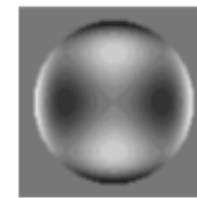
$$Z_9 = \sqrt{83}r^3 \sin 3\theta$$



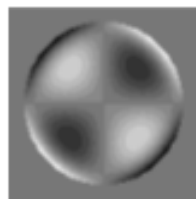
$$Z_{10} = \sqrt{83}r^3 \cos 3\theta$$



$$Z_{11} = \sqrt{5}(6r^4 - 6r^2 + 1)$$



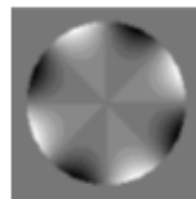
$$Z_{12} = \sqrt{10}(10r^4 - 3r^3) \cos 2\theta$$



$$Z_{13} = \sqrt{10}(10r^4 - 3r^3) \sin 2\theta$$

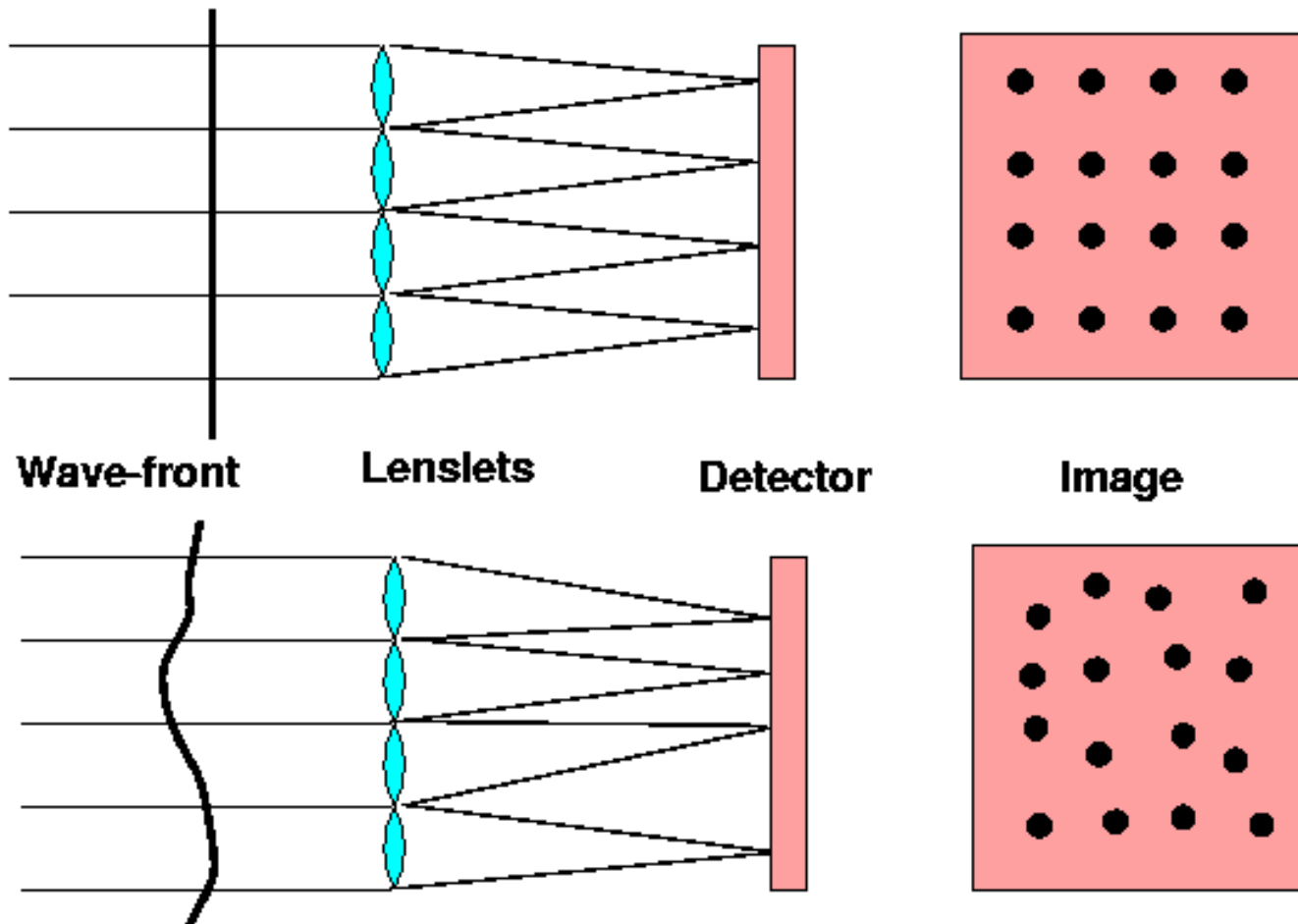


$$Z_{14} = \sqrt{10}r^4 \cos 4\theta$$

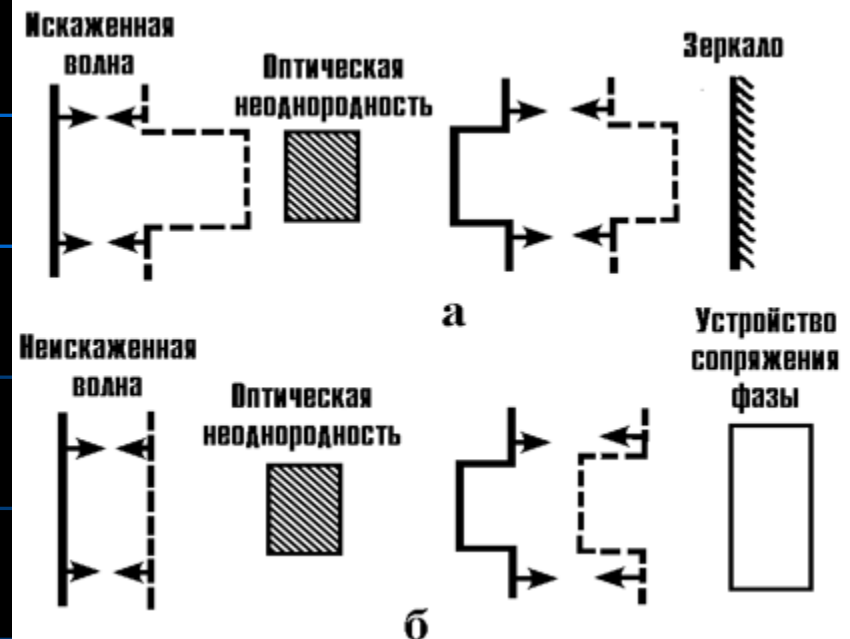
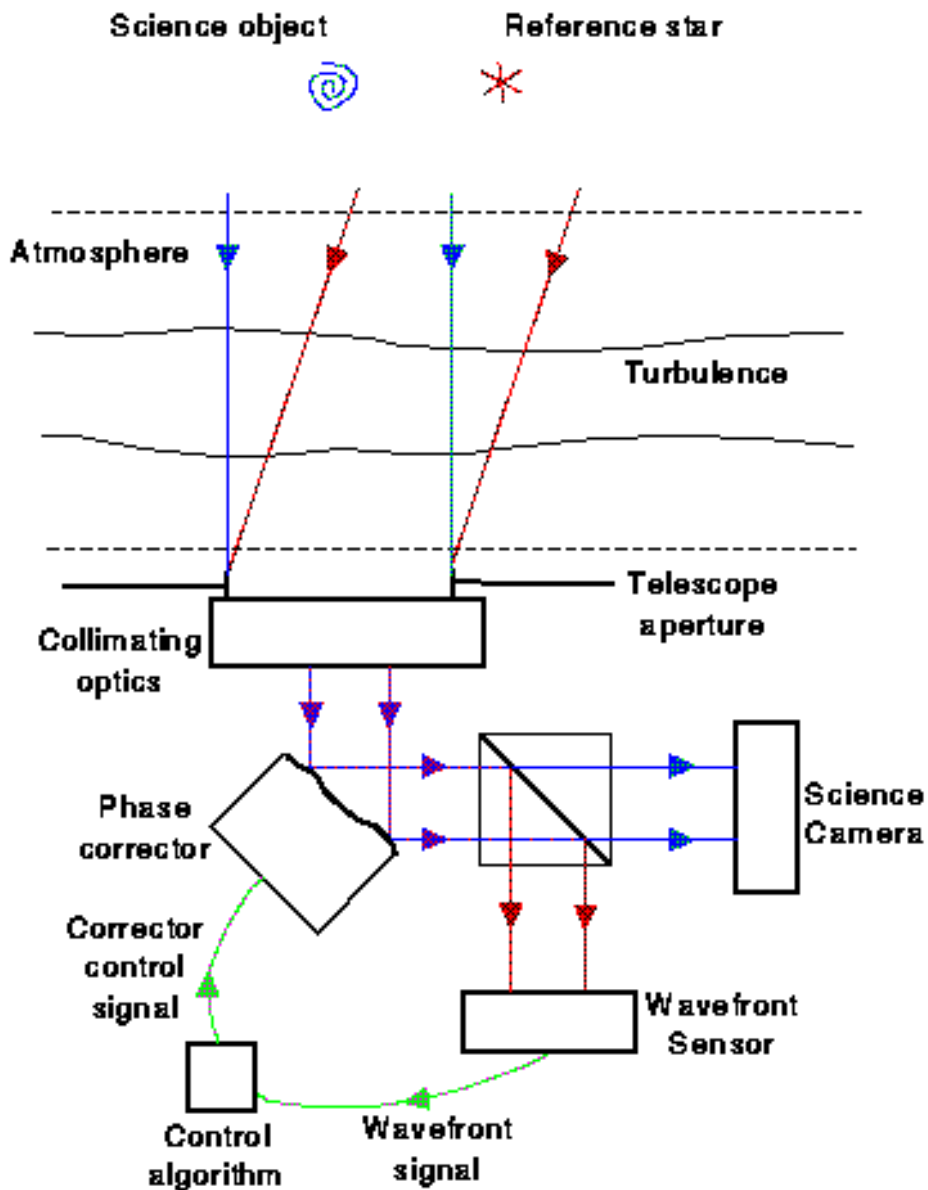


$$Z_{15} = \sqrt{10}r^4 \sin 4\theta$$

Датчик Шака-Гартмана



Общая схема АО



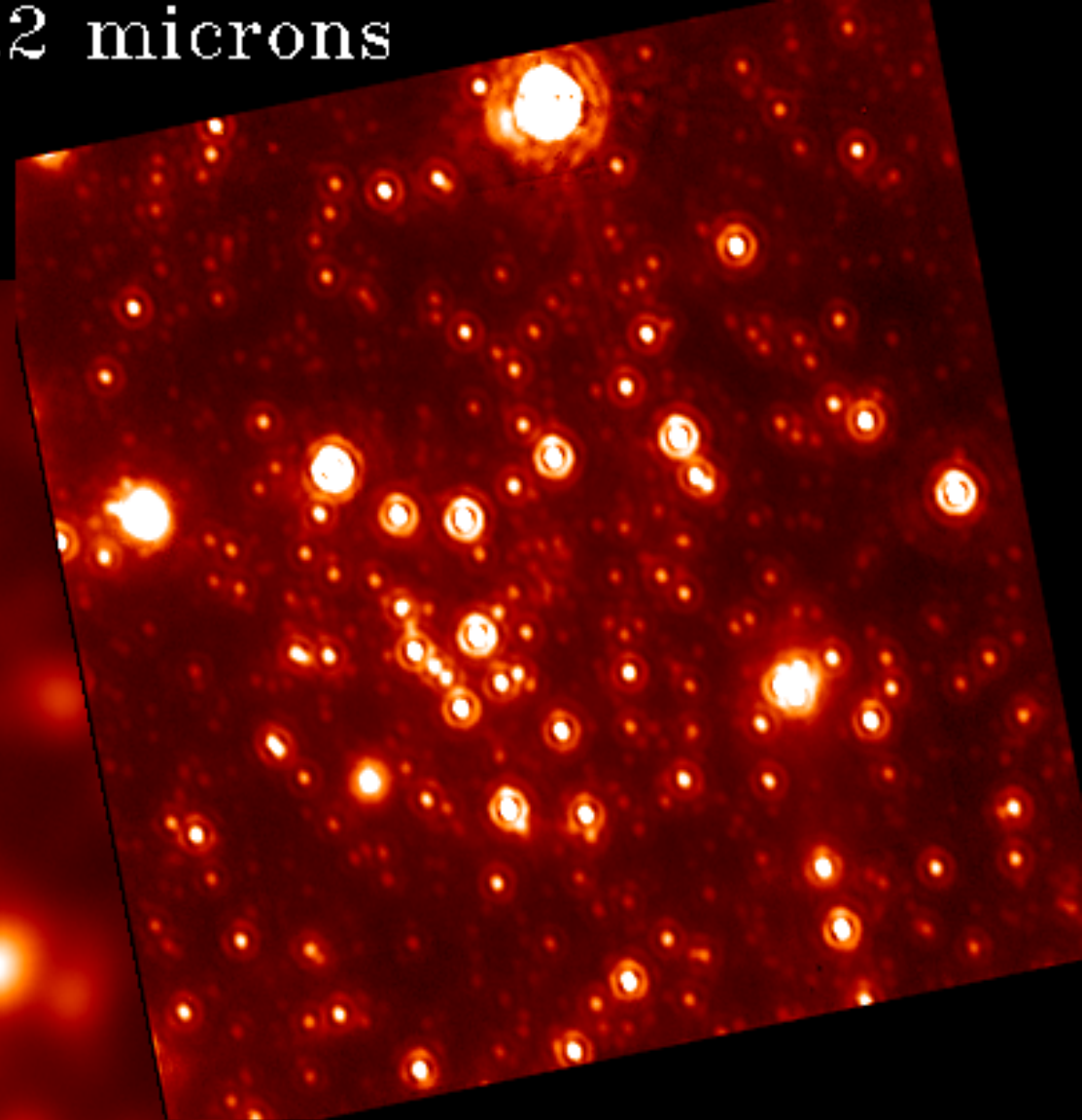
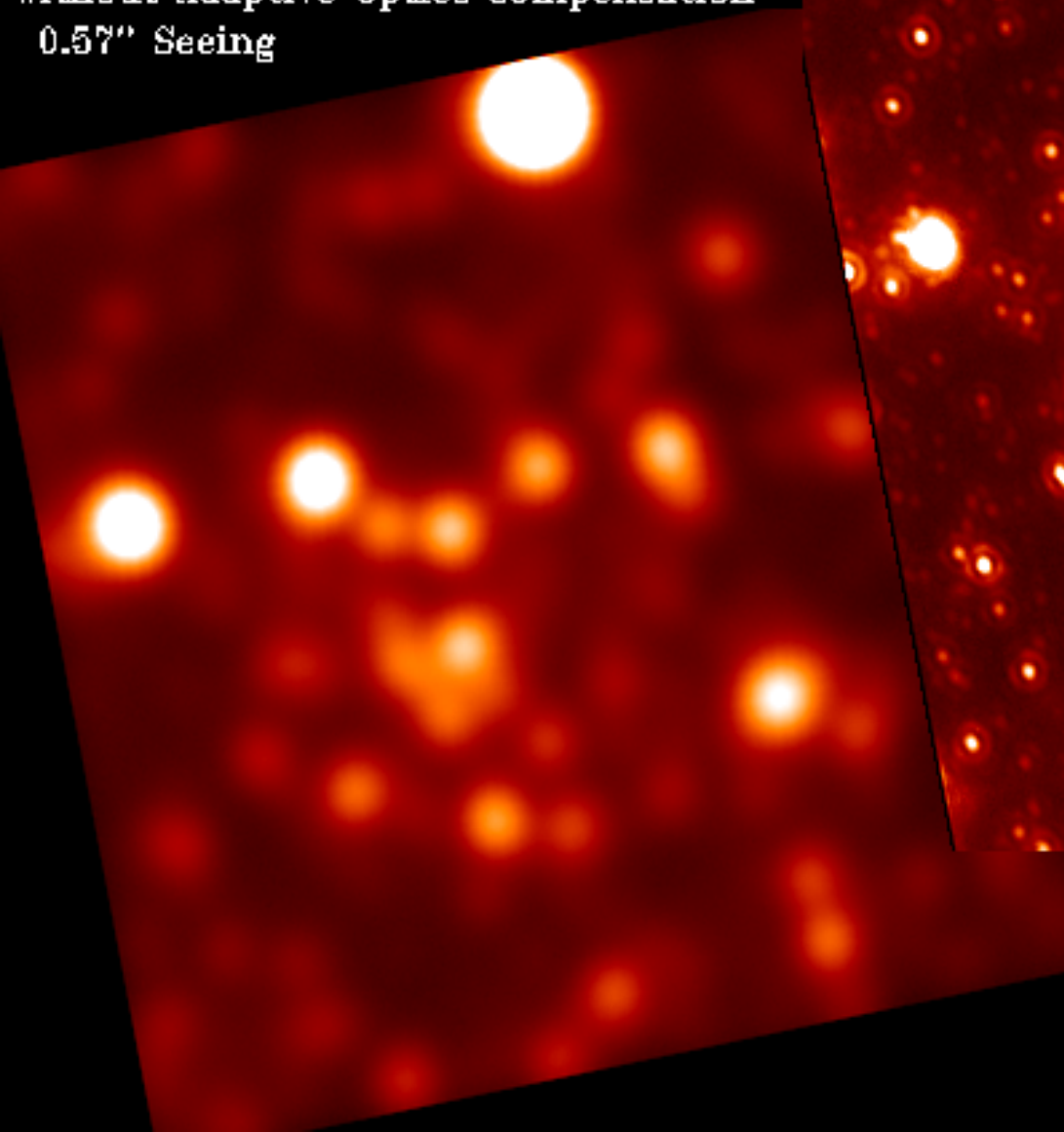
Области применения

- Системы наведения и слежения
- Адаптивные телескопы
- Интерферометры с адаптацией
- Системы фокусировки излучения
- Внутррезонаторная коррекция
- Коррекция зрения
- Системы оптической связи

Galactic Center / 2.2 microns

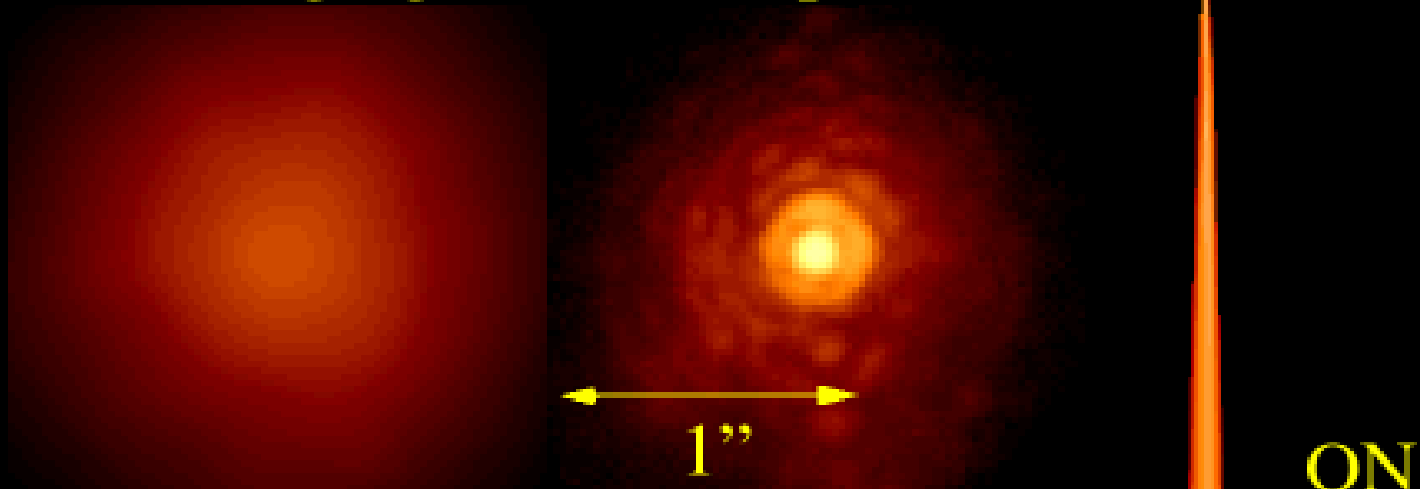
13"x13" Field. 15 minutes exposure.

Without Adaptive Optics compensation
0.57" Seeing



With Adaptive Optics compensation
0.13" Full Width at Half Maximum

Imaging with Hokupa'a



exposure time 30s at CFHT (3.3m)

OFF image autoguided

guide star $m_V = 9.5$ guide star (sao12442)

Strehl: ON=0.29 OFF=0.009

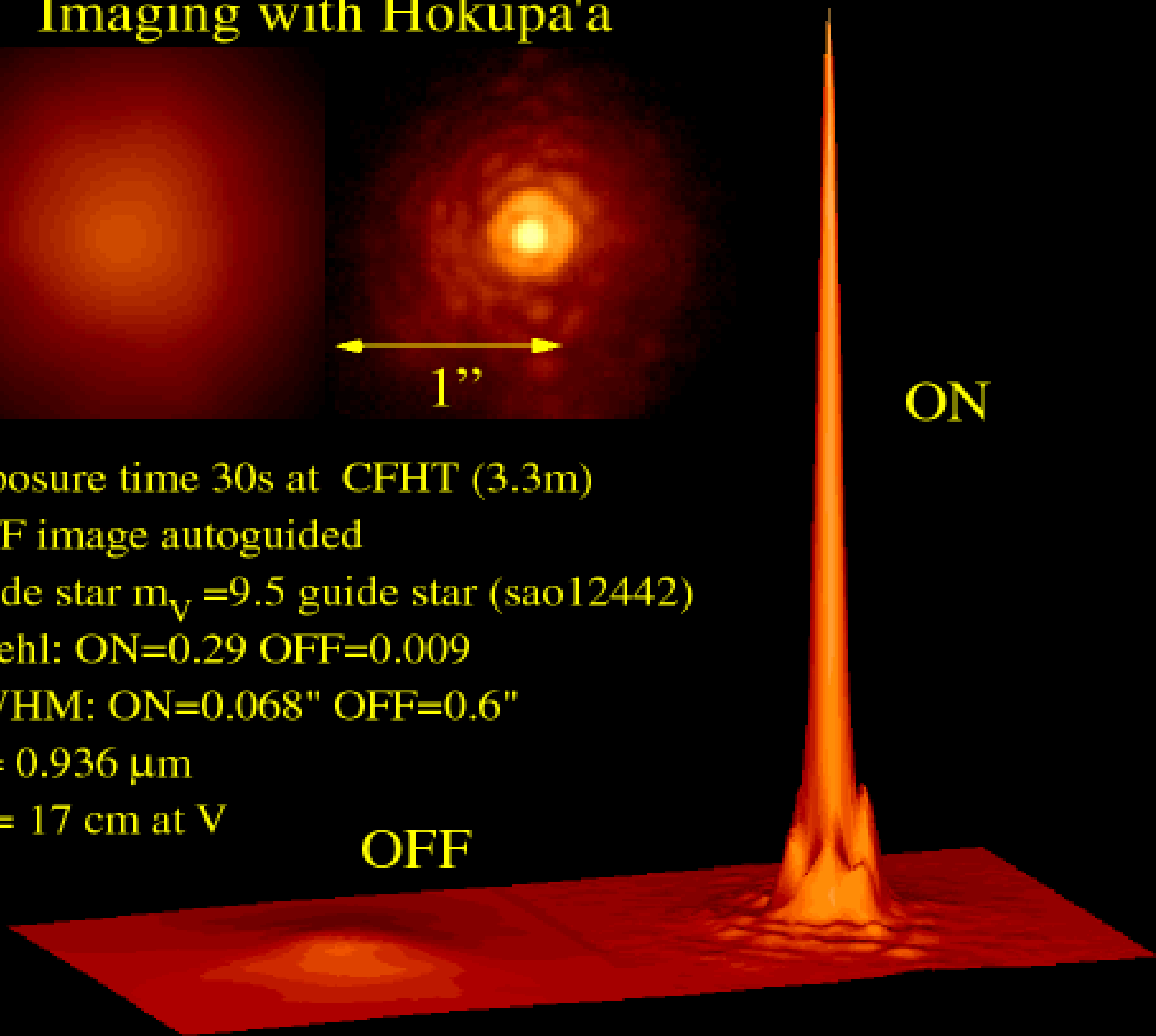
FWHM: ON=0.068" OFF=0.6"

$\lambda = 0.936 \mu\text{m}$

$r_0 = 17 \text{ cm at V}$

OFF

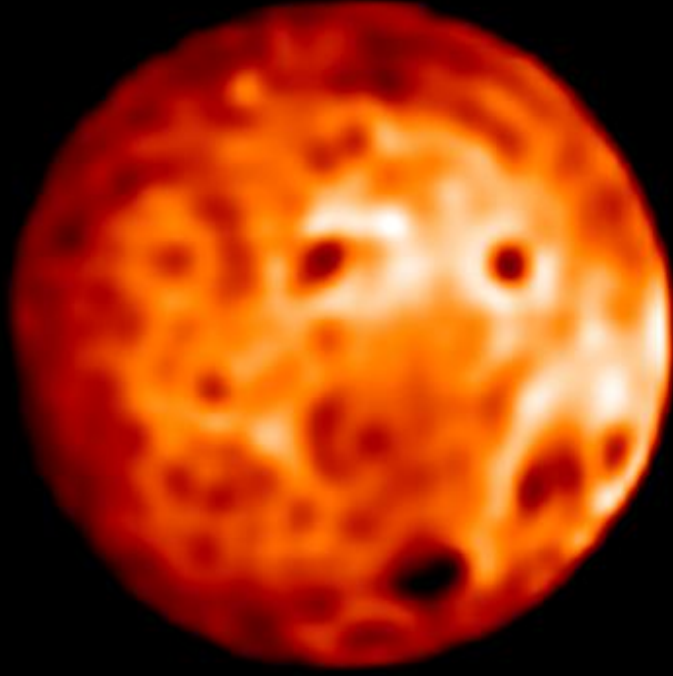
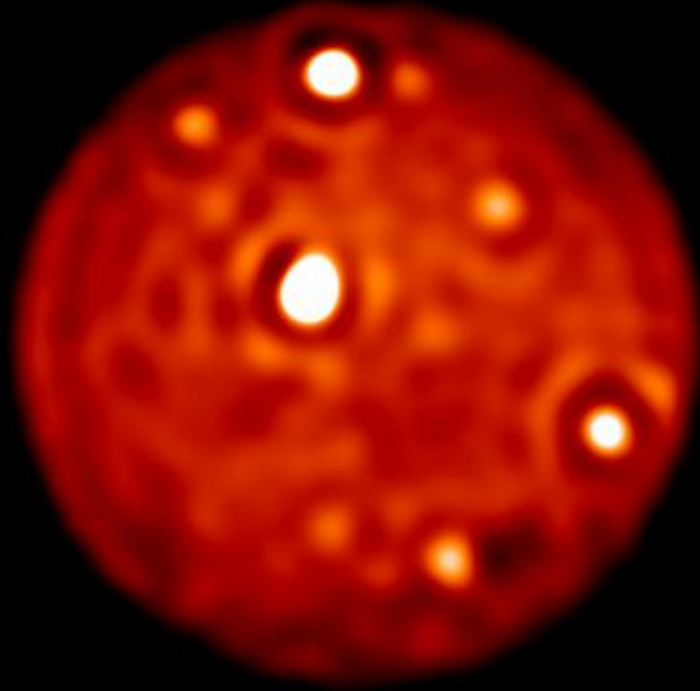
ON



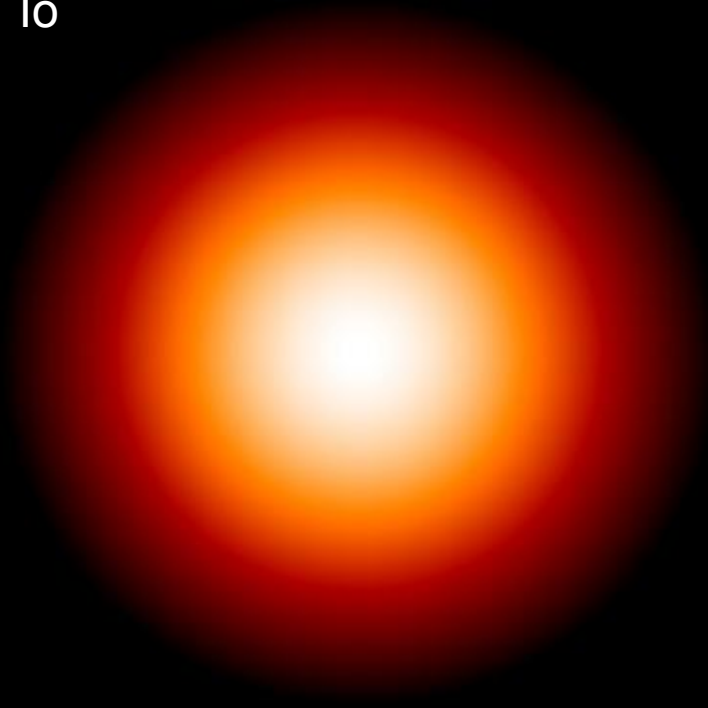
ce K hī w

; sōt po dnab

evt pada kce K hī w
dnab K; sōt po



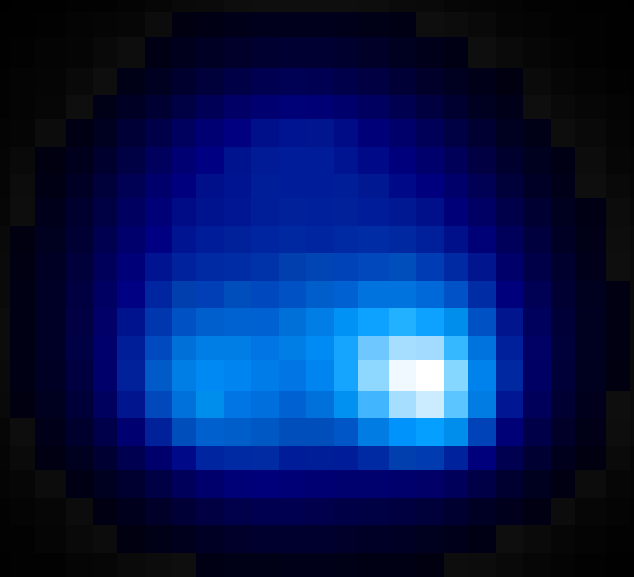
lo



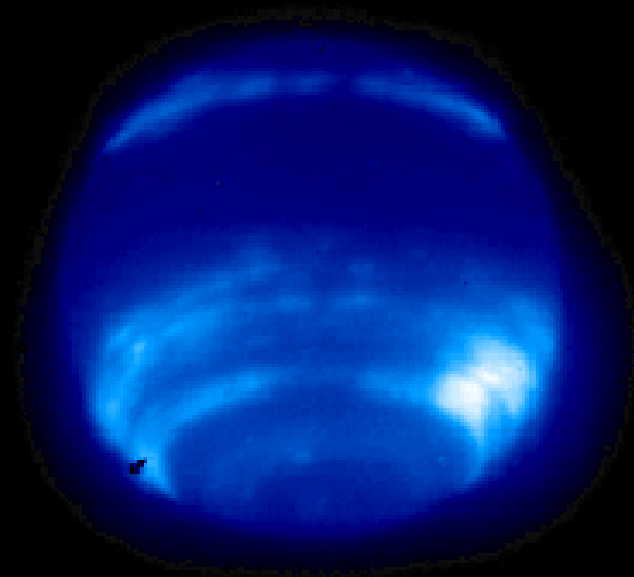
ce Kt uohti w
evt pada

oēil a G hī w
r di b r off a cecaps

Нептун (by Keck Interferometer)



без адаптивной оптики

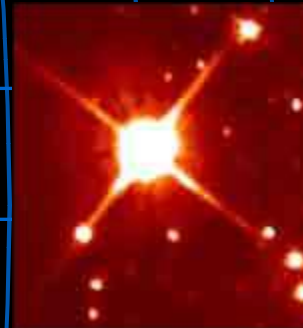


с адаптивной оптикой

Telescope now 'as good as Hubble'



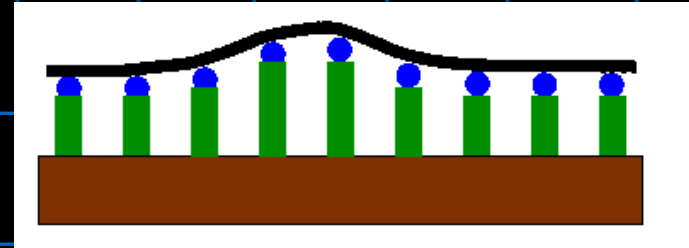
This view from a ground-based telescope at Paranal...



...is of similar quality to this one from Hubble

Сегментные зеркала

типичные параметры



Количество актуаторов	100 - 1500
Промежутки между актуаторами	2-10 мм
Форма электродов	прямоугольная или шестиугольная
Напряжение	несколько сотен вольт
Амплитуда перемещения	несколько микрон
Резонансная частота	несколько килогерц

Deformable Mirror

Rear View

349 Actuators
on 7 mm spacing



Front View

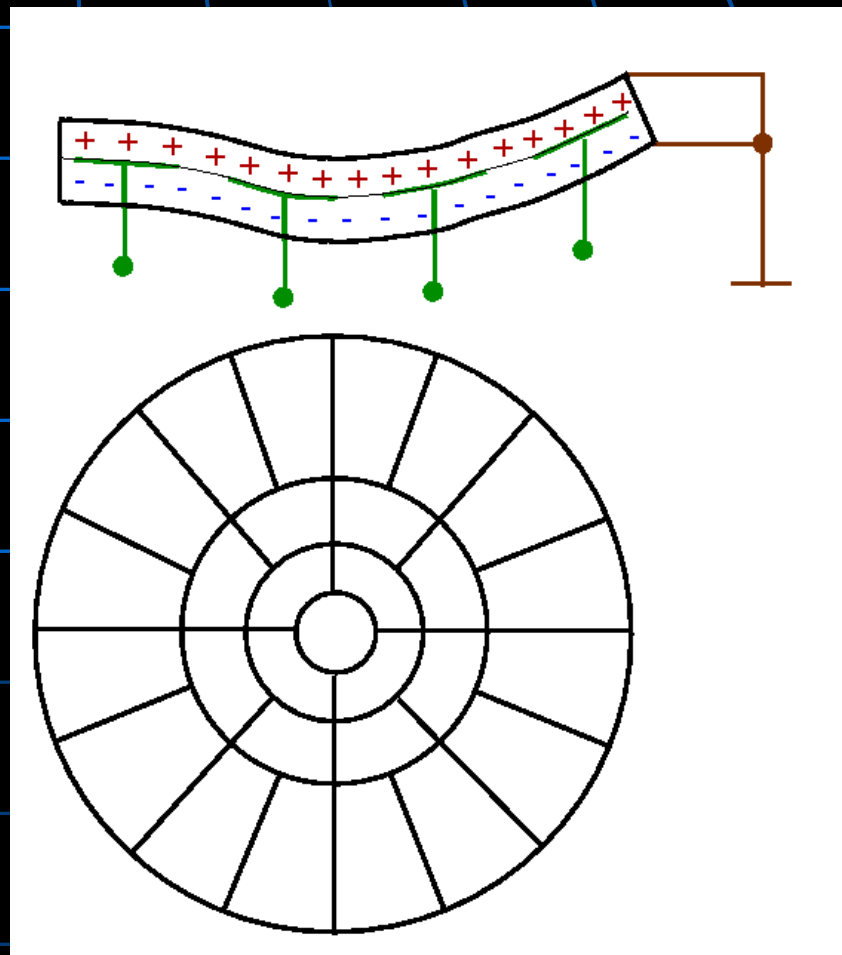
146 mm diameter
clear aperture



Биморфные зеркала

типичные параметры

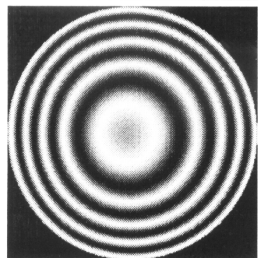
Количество актуаторов	13 - 85
Размер зеркала	30-200 мм
Форма электродов	радиальная
Напряжение	несколько сотен вольт
Амплитуда перемещения	несколько микрон



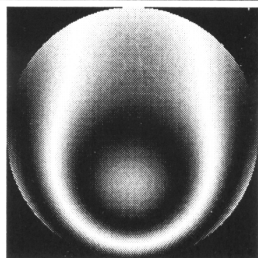
Отклик DM2-30-17

Channel	Voltage, V	Zernike term value, μm													P-V, μm
		Z4	Z5	Z6	Z7	Z8	Z9	Z10	Z11	Z12	Z13	Z14	Z15	Z16	
1	100	0.716	0.008	-0.007	-0.023	-0.001	0.022	-0.008	0.006	-0.011	-0.003	0.018	-0.003	-0.004	1.43
2	200	0.212	0.151	0.011	-0.002	0.158	0.009	-0.002	0.028	-0.059	-0.005	0.007	-0.021	-0.011	0.66
3	200	0.204	-0.018	-0.159	0.132	0.115	0.013	0.011	-0.008	-0.002	0.056	-0.021	-0.012	-0.011	0.66
4	200	0.190	-0.169	-0.040	0.193	0.013	0.018	-0.019	-0.002	0.064	0.011	-0.030	0.005	-0.013	0.67
5	200	0.199	-0.025	0.142	0.147	-0.112	0.009	0.008	0.022	0.020	-0.050	-0.018	0.023	-0.011	0.67
6	200	0.216	0.141	0.050	0.036	-0.190	-0.001	0.012	-0.001	-0.040	-0.016	-0.001	0.040	-0.010	0.67
7	200	0.210	0.033	-0.126	-0.119	-0.154	-0.001	-0.022	0.012	-0.009	0.065	0.022	0.036	-0.011	0.67
8	200	0.197	-0.123	-0.034	-0.200	-0.037	0.003	0.026	0.022	0.066	0.018	0.046	0.003	-0.016	0.67
9	200	0.216	-0.016	0.127	-0.163	0.108	-0.007	0.001	-0.010	0.010	-0.056	0.029	-0.027	-0.014	0.67
10	200	0.065	0.235	-0.172	0.018	0.042	0.020	0.056	0.050	-0.053	0.043	0.011	0.026	0.002	0.60
11	200	0.062	-0.182	-0.219	0.062	-0.008	0.024	-0.023	-0.077	0.024	0.054	0.021	0.026	0.005	0.60
12	200	0.071	-0.199	0.146	0.056	-0.026	0.027	-0.044	0.078	0.049	-0.025	0.025	-0.002	-0.004	0.60
13	200	0.067	0.175	0.205	0.022	-0.045	0.023	0.092	-0.040	-0.046	-0.055	0.011	-0.029	0.001	0.61
14	200	0.058	0.219	-0.171	-0.011	-0.049	0.018	-0.078	-0.048	-0.057	0.036	-0.009	-0.023	0.004	0.60
15	200	0.061	-0.158	-0.214	-0.042	-0.053	0.023	0.028	0.089	0.041	0.047	-0.021	-0.008	-0.005	0.60
16	200	0.054	-0.204	0.173	-0.040	-0.005	0.023	0.051	-0.085	0.032	-0.033	-0.023	0.016	0.002	0.60
17	200	0.056	0.177	0.199	-0.021	0.053	0.020	-0.100	0.017	-0.054	-0.035	-0.010	0.027	0.004	0.61

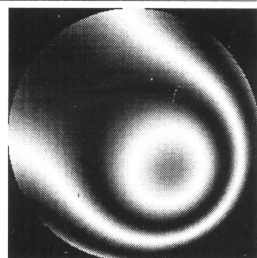
Отклик DM2-30-17



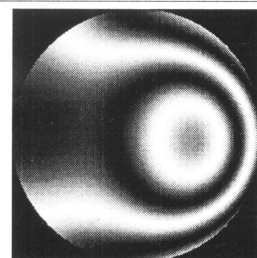
Channel #01 +100V



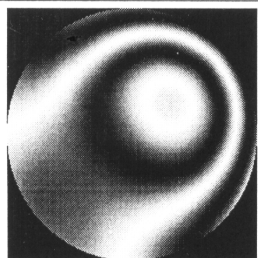
Channel #02 +200V



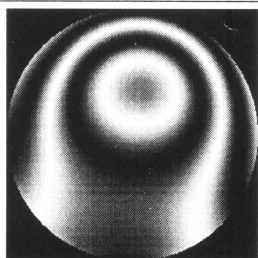
Channel #03 +200V



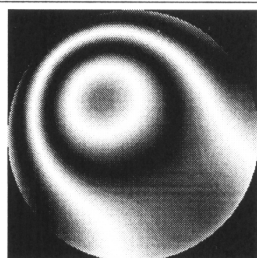
Channel #04 +200V



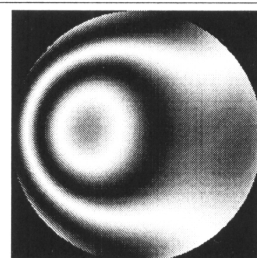
Channel #05 +200V



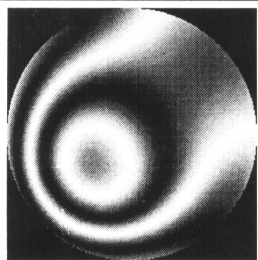
Channel #06 +200V



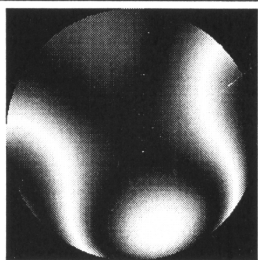
Channel #07 +200V



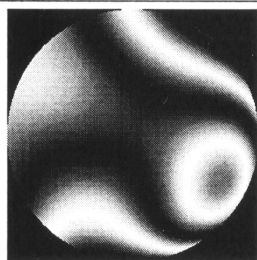
Channel #08 +200V



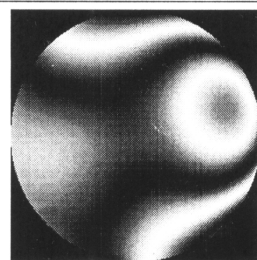
Channel #09 +200V



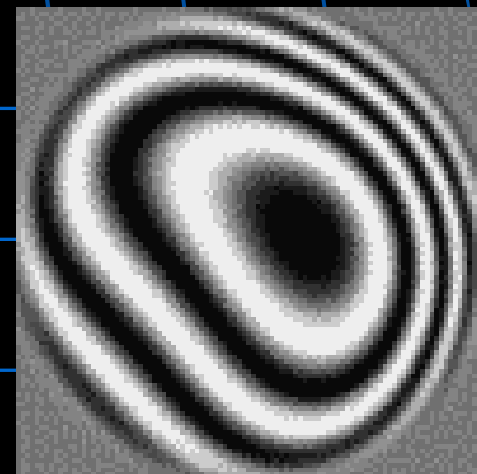
Channel #10 +200V



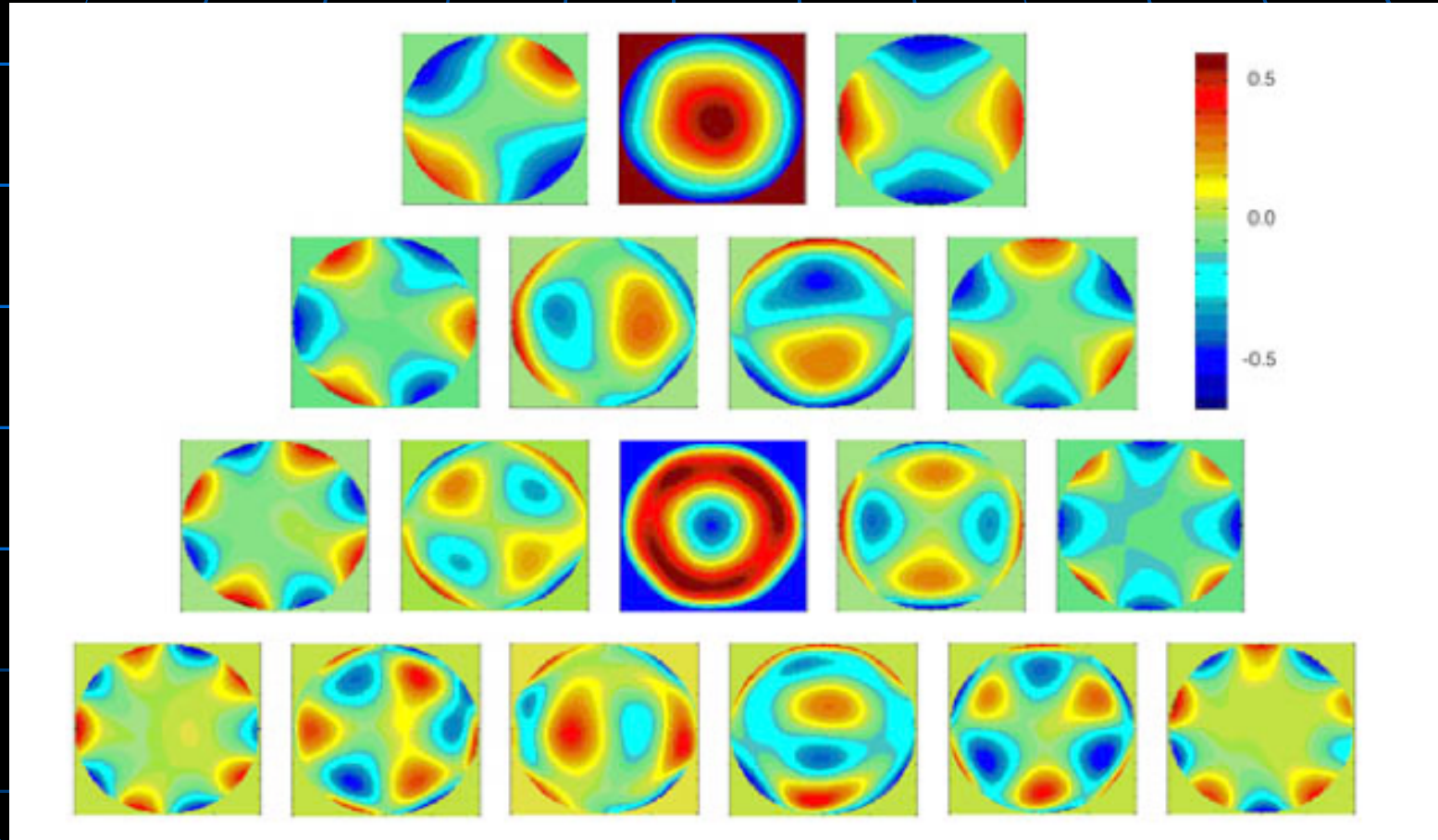
Channel #11 +200V



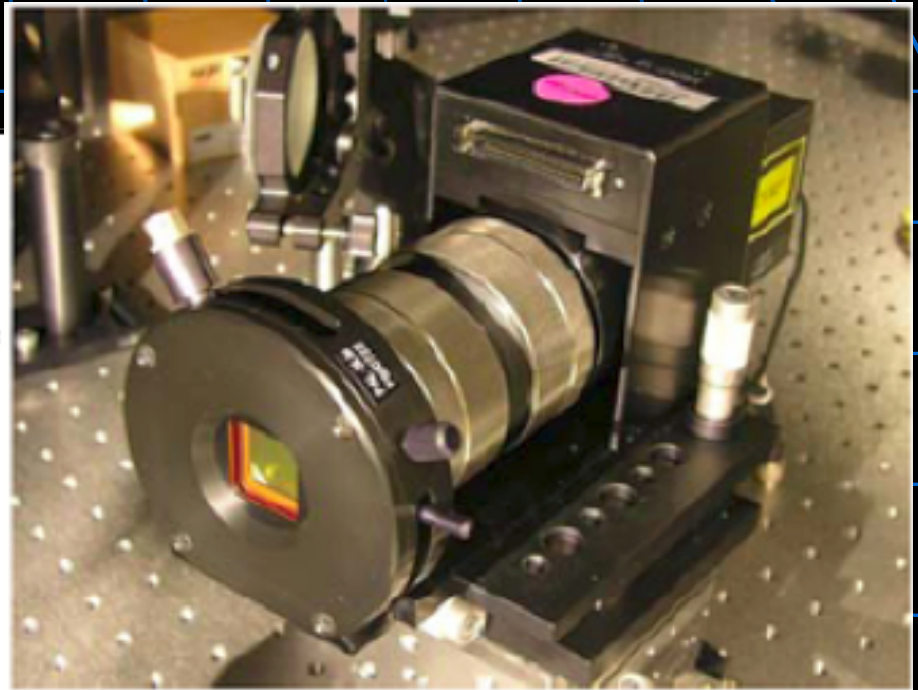
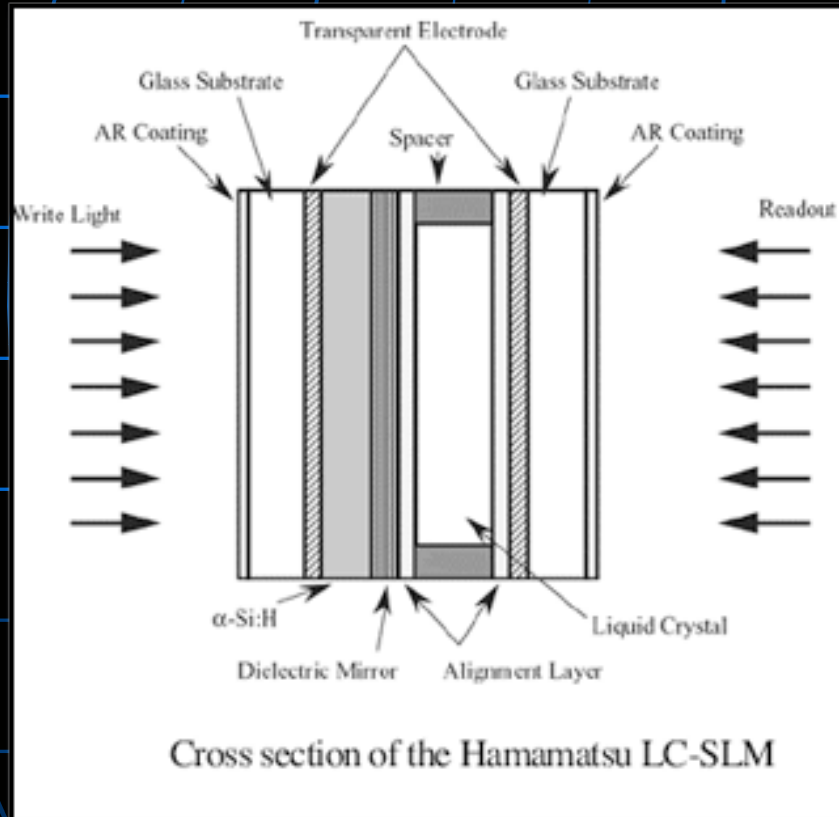
Channel #12 +200V



Boston Micromachines MEMS DM



ЖК устройства



www.cvs.rochester.edu/williamslab/

Прочие технологии

- Рельефная запись на плёнках
- Зеркала + голография
- Модуляторы на электрооптических кристаллах (эффект Поккельса)
- Мембранные легкие зеркала
- MOEMS – технология, микроскопические зеркала.

Перспективы

- Owl ESO телескоп (100м зеркало, 1600 элементов, разрешение – тысячные доли секунды)
[*http://www.eso.org/projects/owl/*](http://www.eso.org/projects/owl/)
- Надувные мембранные структуры
- Много-сопряженные АОС
- Фемто- и аттосекундные лазеры
- Новые методы коррекции зрения
- Военная отрасль

ИСТОЧНИКИ

- **Center for Adaptive Optics. An NSF Science and Technology Center**
<http://cfao.ucolick.org/>
- **Adaptive optics tutorial at CTIO**
<http://www.ctio.noao.edu/~atokovin/tutorial>
- **М.А. Воронцов, В.И. Шмальгаузен**
«Принципы адаптивной оптики»
- **М.А. Воронцов, А.В. Корябин,**
В.И. Шмальгаузен
«Управляемые оптические системы»