

公众科学和强引力 透镜星系团查找

李楠（国家天文台）

合作者：张震、何紫朝、杨嘉宁、吴莹、李珊珊、邹虎、崔辰洲、
贾鹏、李瑞、李作镇等



内容提纲

工作动机

项目介绍

未来计划

内容提纲

工作动机

项目介绍

未来计划

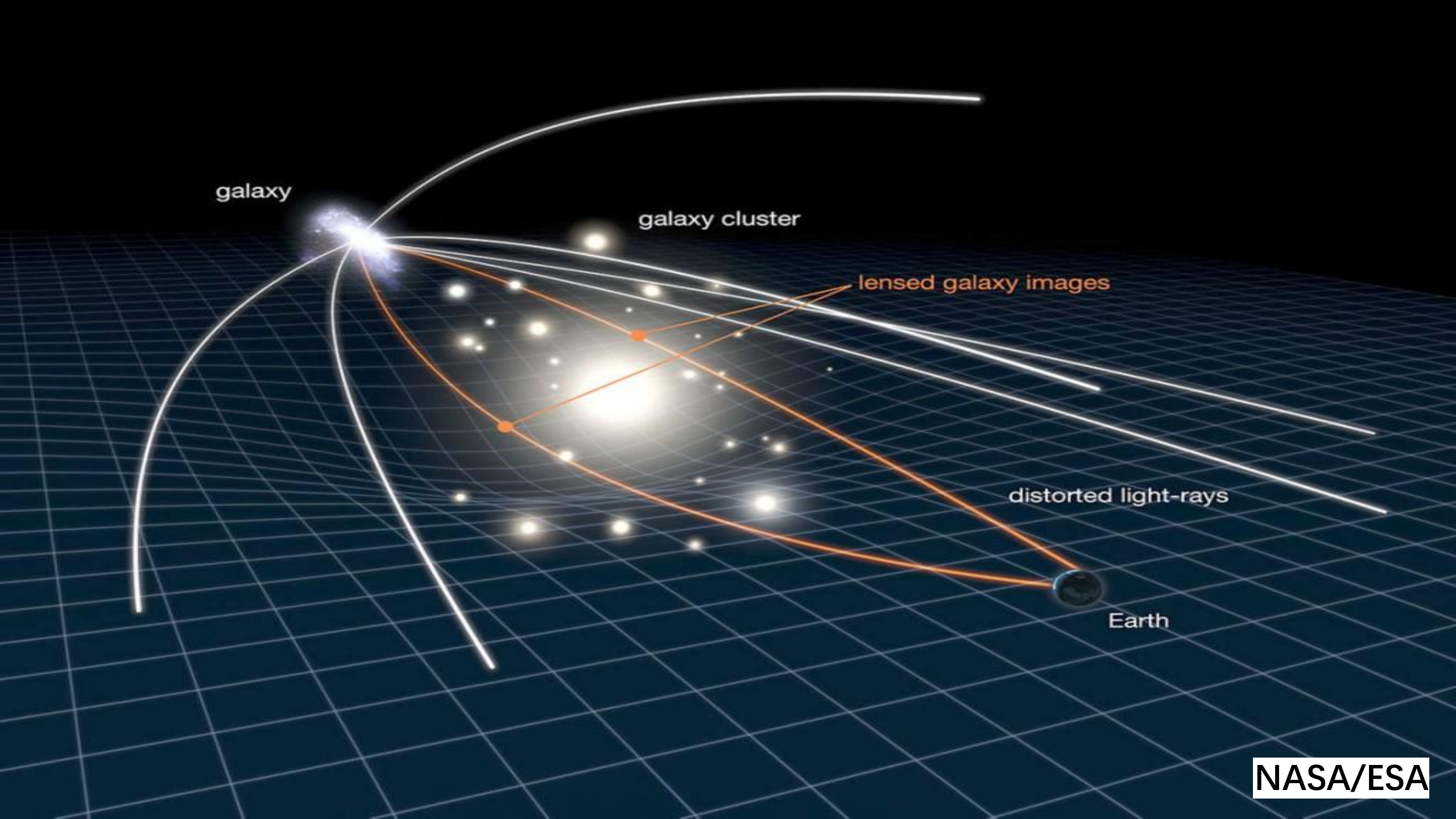


ESA/Hubble & NASA, S. Jha; Processing: Jonathan Lodge

Strong Lensing in Galaxies & Galaxy Clusters



HST, Prof. Michael Gladders



galaxy

galaxy cluster

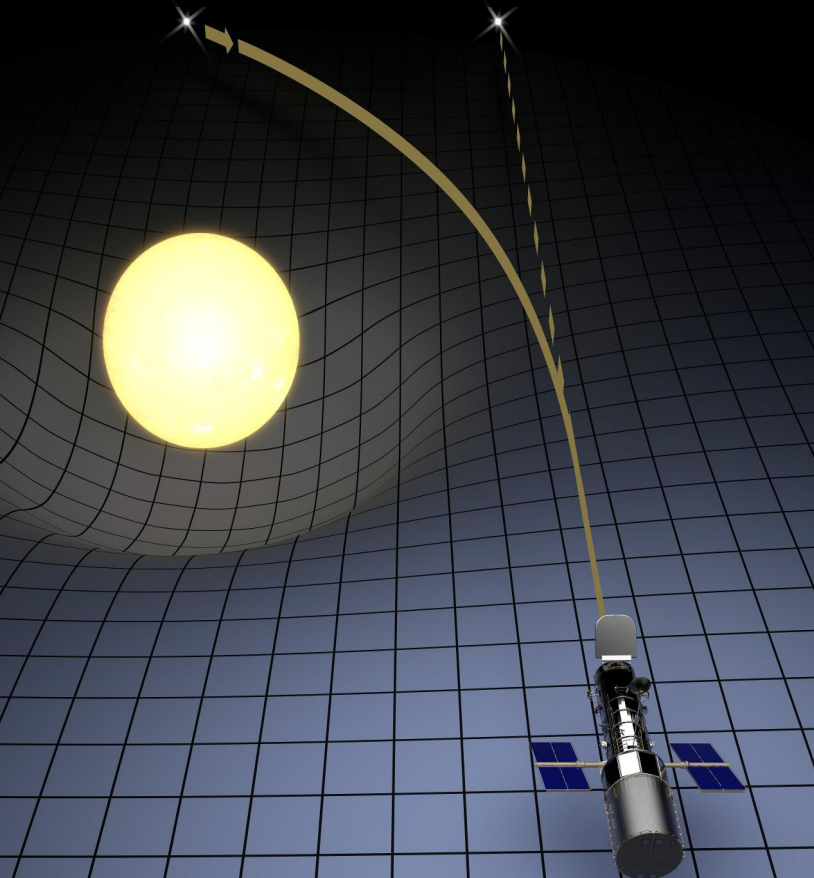
lensed galaxy images

distorted light-rays

Earth

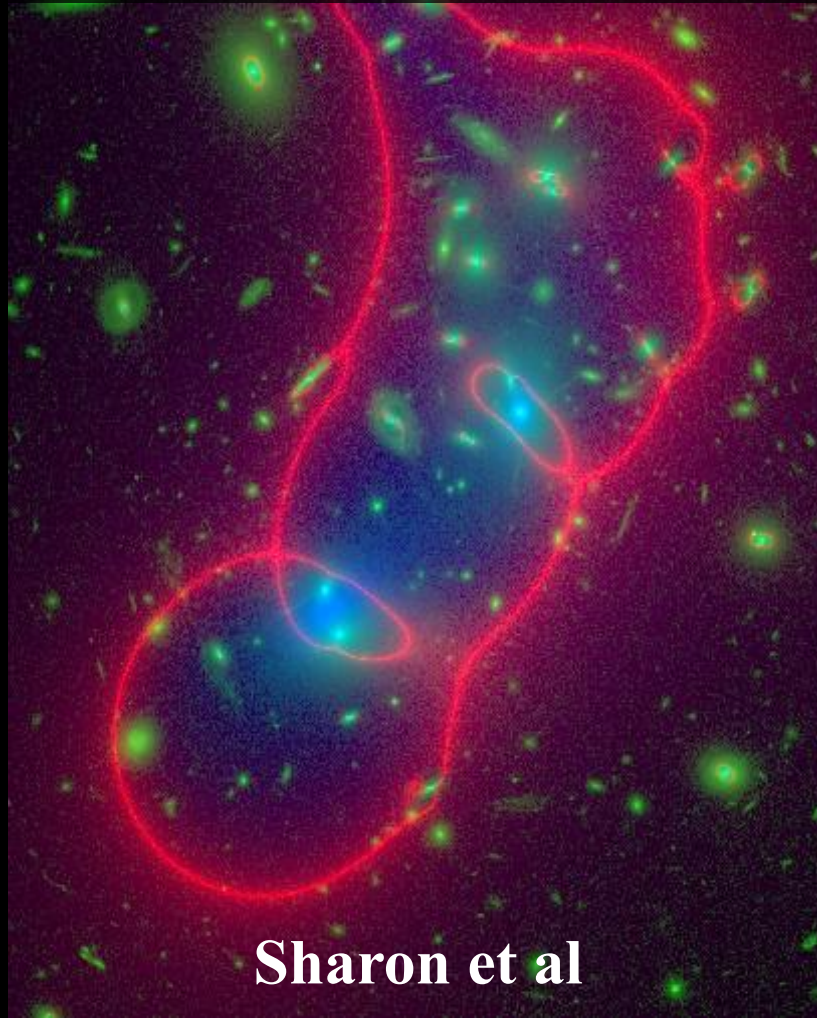
Applications of Gravitational Lensing

- Test the theory of GR
- Geometry of the space



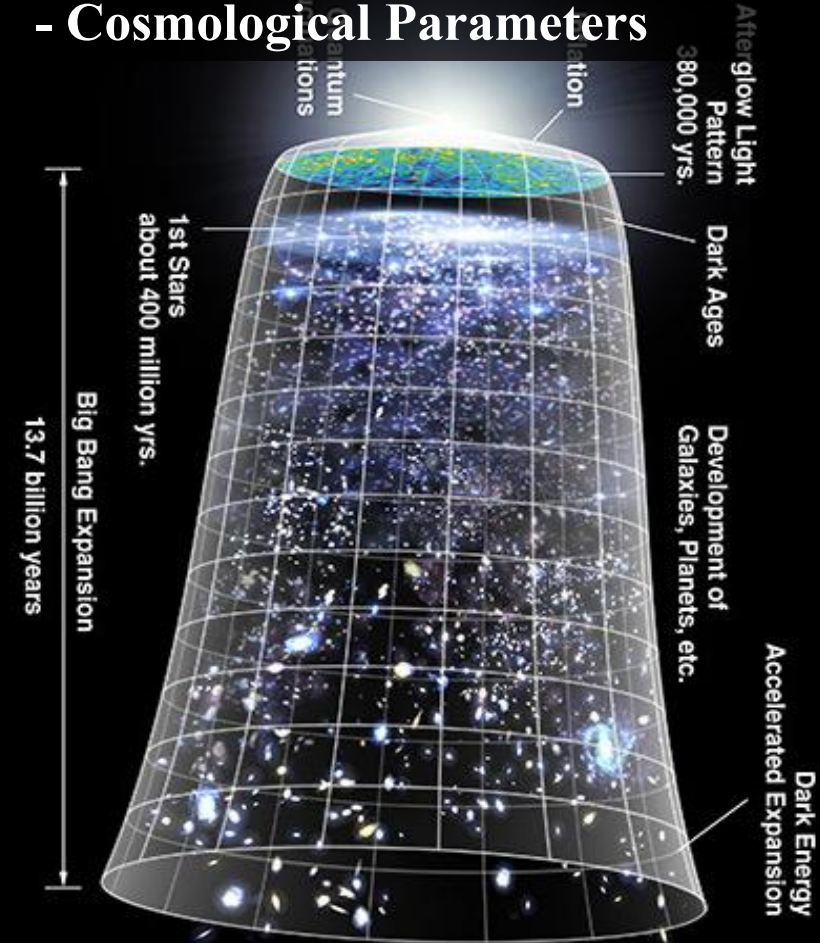
Artwork by Dave Jarvis

- Mass distribution of lenses
- Dark matter substructures



Sharon et al

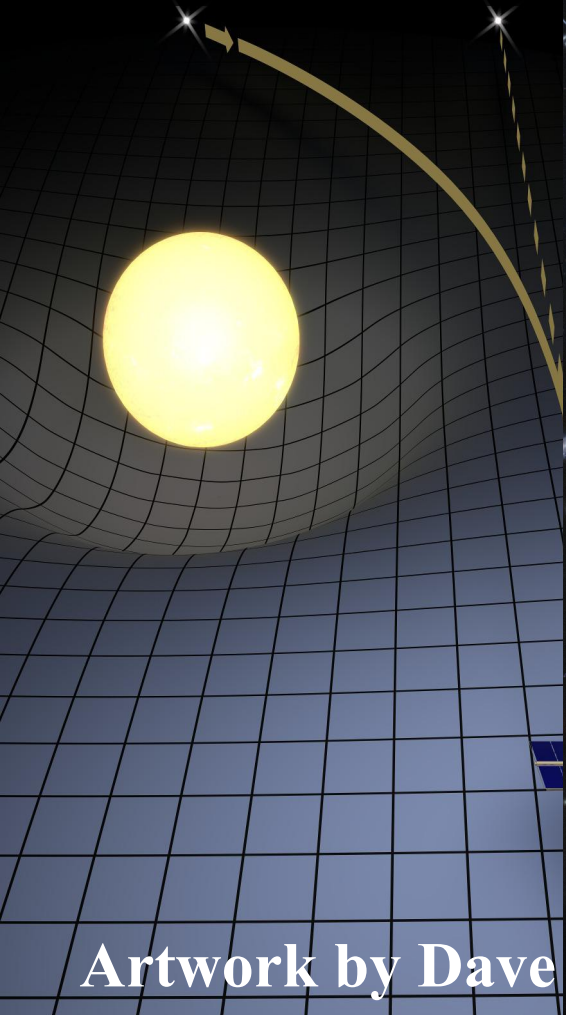
- Structure Formation History
- Cosmological Parameters



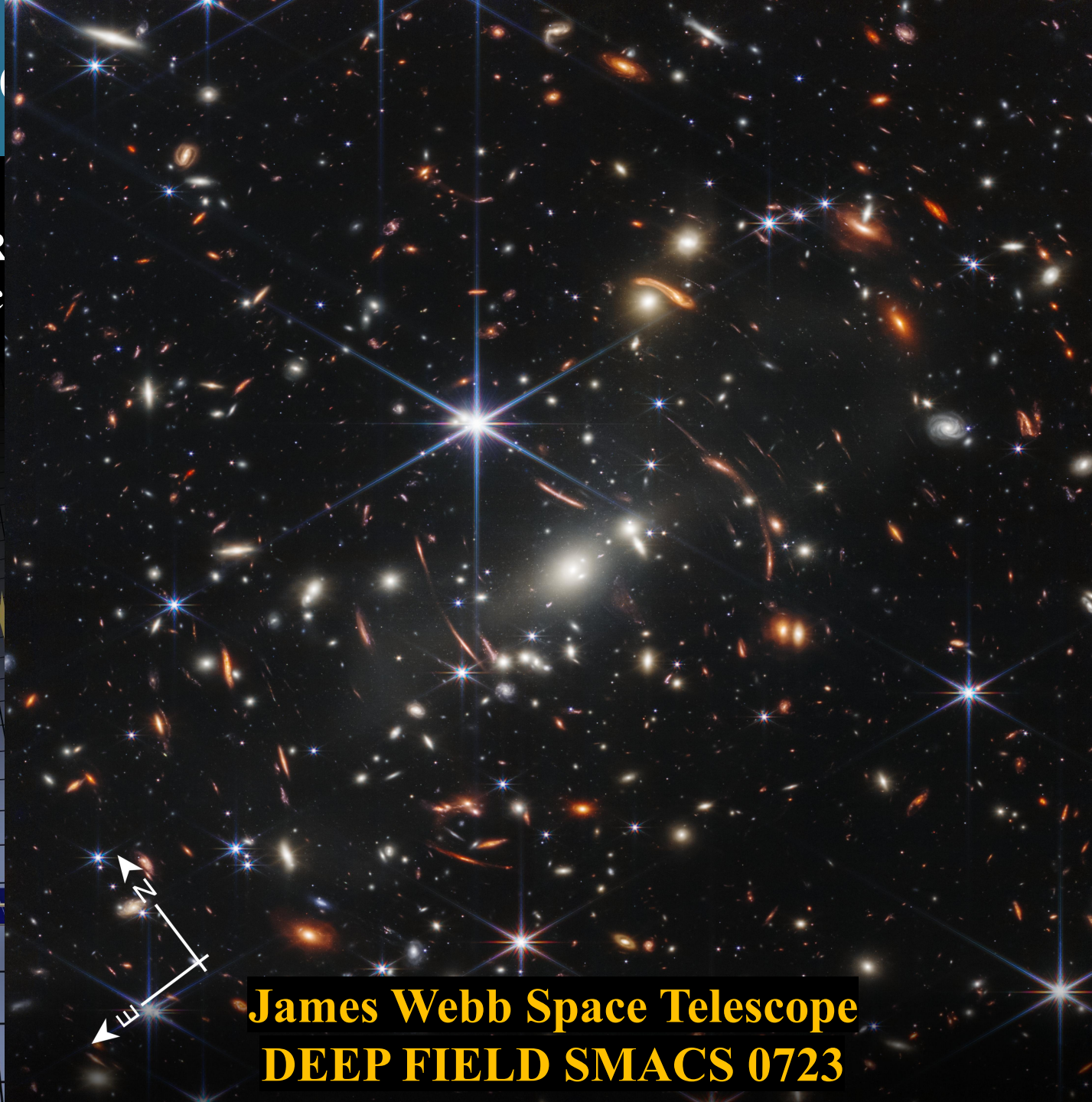
NASA/WMAP Science Team

Applications

- Test the theory of GR
- Geometry of the spacetime



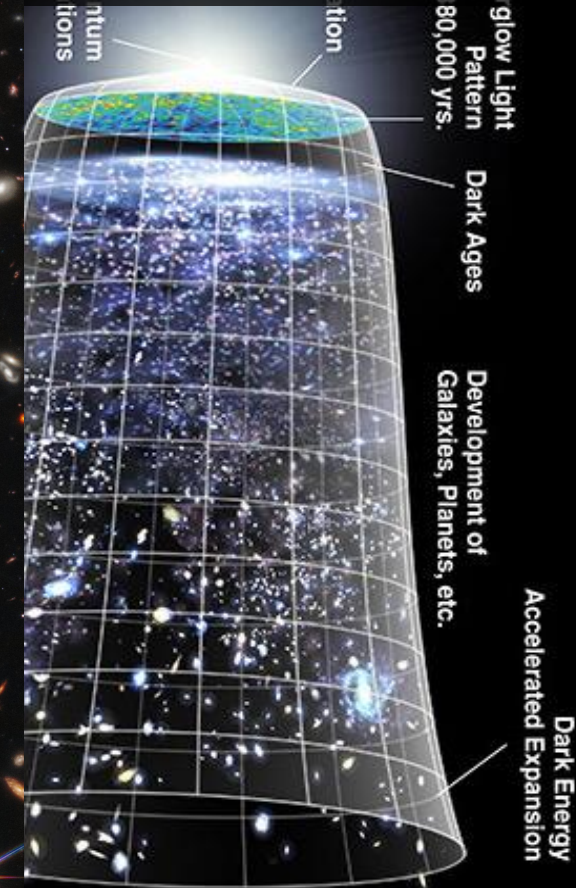
Artwork by Dave



**James Webb Space Telescope
DEEP FIELD SMACS 0723**

Sensing

Formation History
Cosmological Parameters



MAP Science Team

Why Do We Need Citizen Scientists?



Sky Survey Projects

Data Volume

SDSS (The Sloan Digital Sky Survey)

~ 40 TB, > 3 m objects

Euclid (The Euclid dark Universe mission)

~ 50 PB expected

CSST (The China Space Station Telescope)

~ 60 PB expected

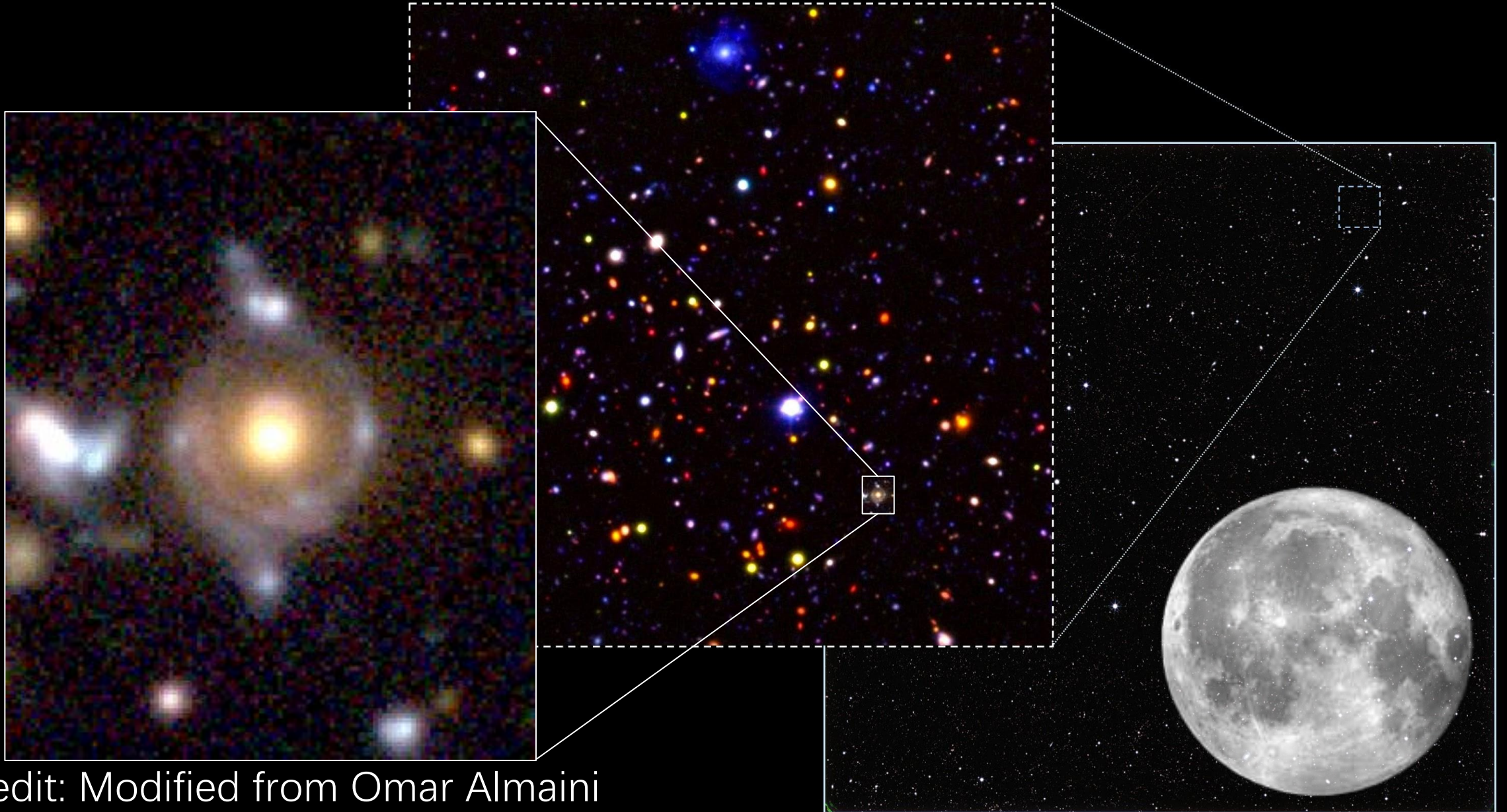
LSST (The Large Synoptic Survey Telescope)

~ 200 PB expected

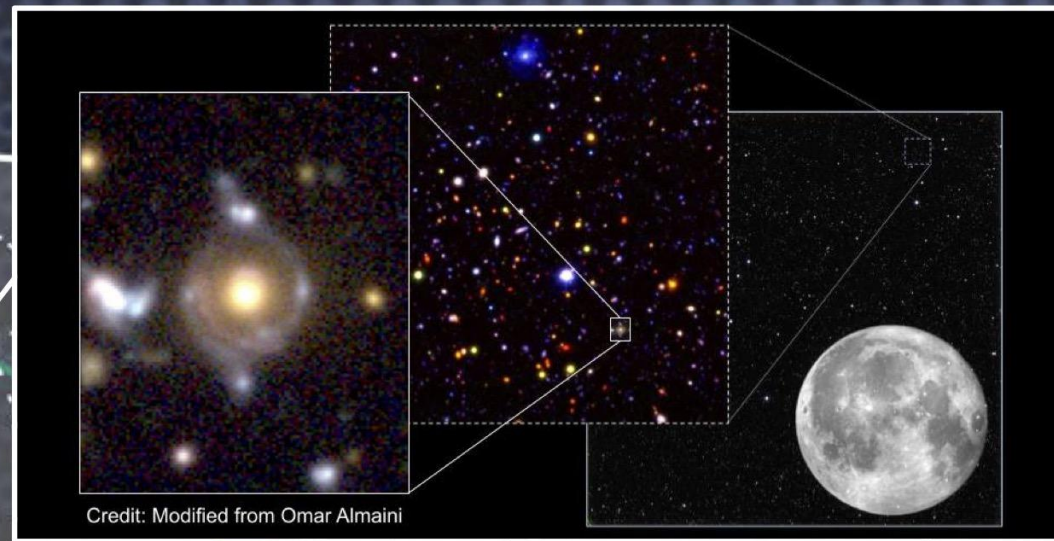
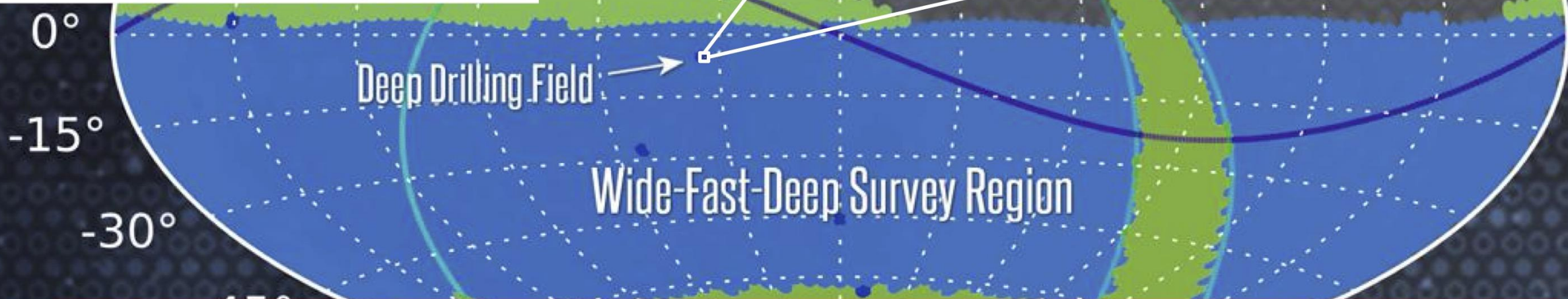
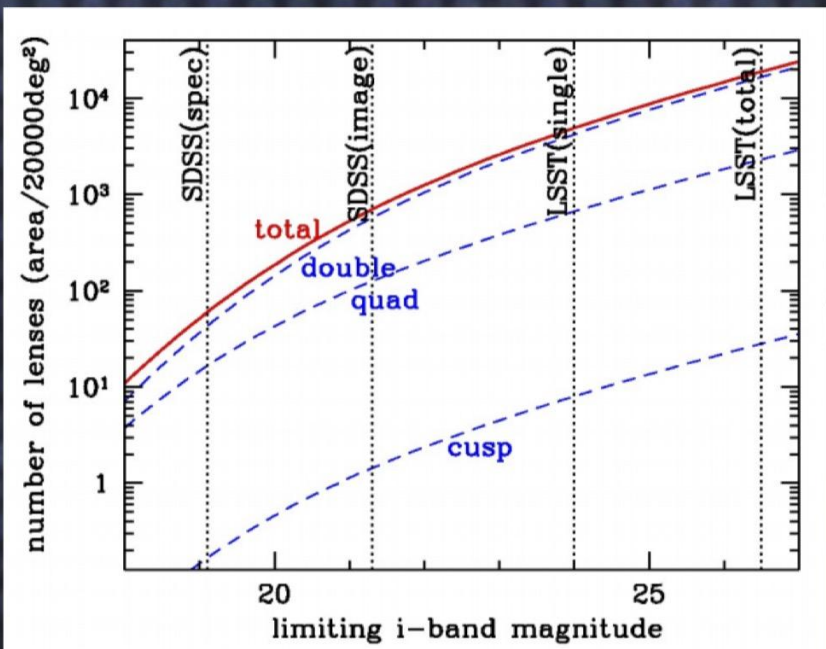
SKA (The Square Kilometer Array)

~ 4.6 EB expected

“Looking for needles in a haystack.”



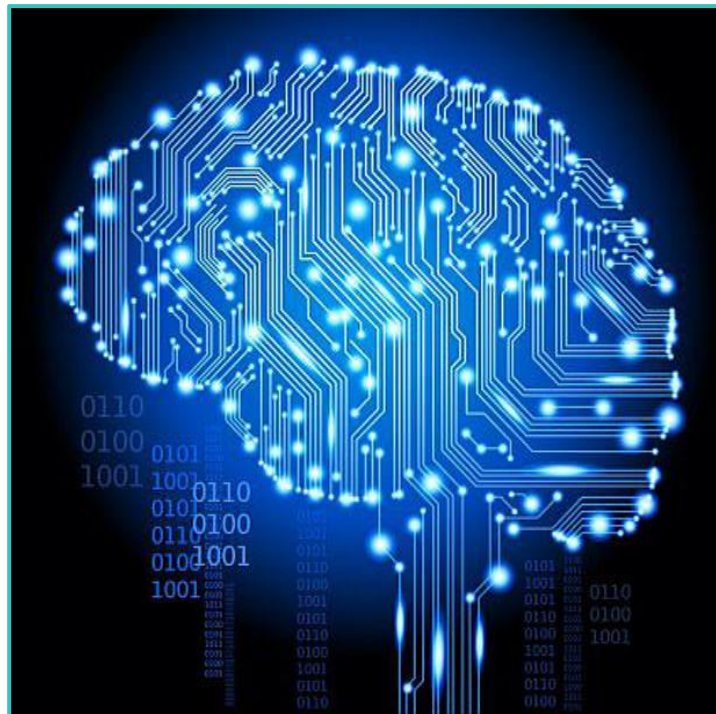
Credit: Modified from Omar Almaini



大数据天文学时代，如何高效自动化地从十亿计的天体中辨认并建模数以万计的强引力透镜系统???

Data Mining in the Big Data Era

Machine Learning



Citizen Science



内容提纲

工作动机

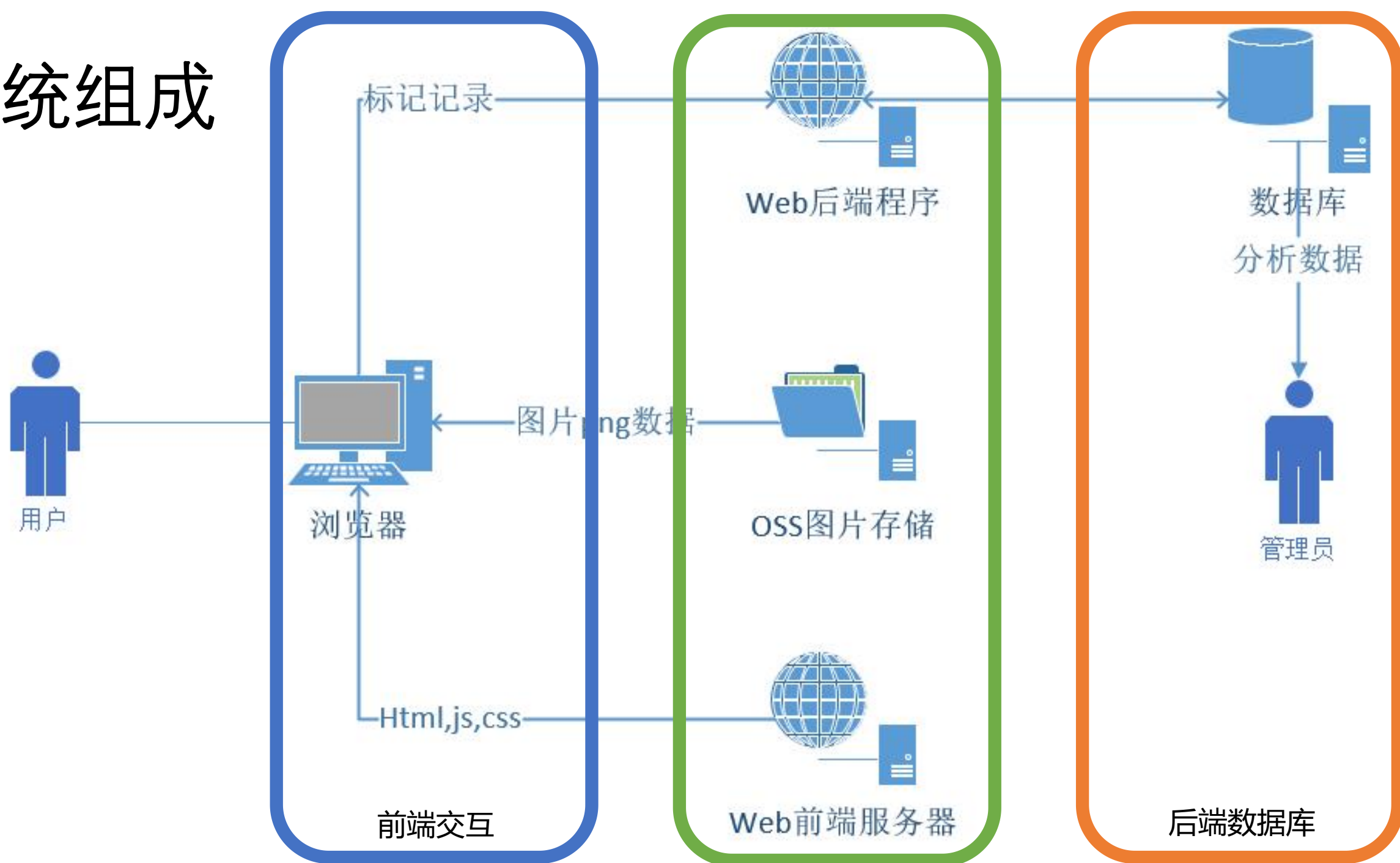
项目介绍

未来计划

基于公众科学的星系团强引力透镜查找项目

The screenshot shows a web browser window with the URL `https://nadc.china-vo.org/lensfinder/cluster/#/`. The page features a dark background with a starry space scene. At the top, the word "LENSFINDER" is displayed in white, followed by navigation links: "教程" (Tutorial), "寻找" (Search), "成果" (Results), and "关于" (About). The main heading reads "欢迎来到引力透镜搜寻" (Welcome to Gravitational Lens Search). Below this are two buttons: a dark red one labeled "了解更多" (Learn More) and a white one labeled "开始寻找引力透镜" (Find Gravitational Lens). At the bottom, the text "什么是引力透镜" (What is Gravitational Lens) is visible, along with a partial sentence: "简单地说，引力透镜效应是指光线围绕着重物..." (Simply put, the gravitational lensing effect is that light rays bend around massive objects...).

系统组成



团队成员

人员	负责模块
杨嘉宁、李珊珊	Web前端（用户接口）
邹虎	观测数据准备
吴莹	Web后端（数据收集与分析）
何紫朝	仿真数据生成
张震、马鹏辉	系统各模块的集成、部署、和维护
崔辰洲	ChinaVO 公众科学平台和给大家发工资



• 交互界面

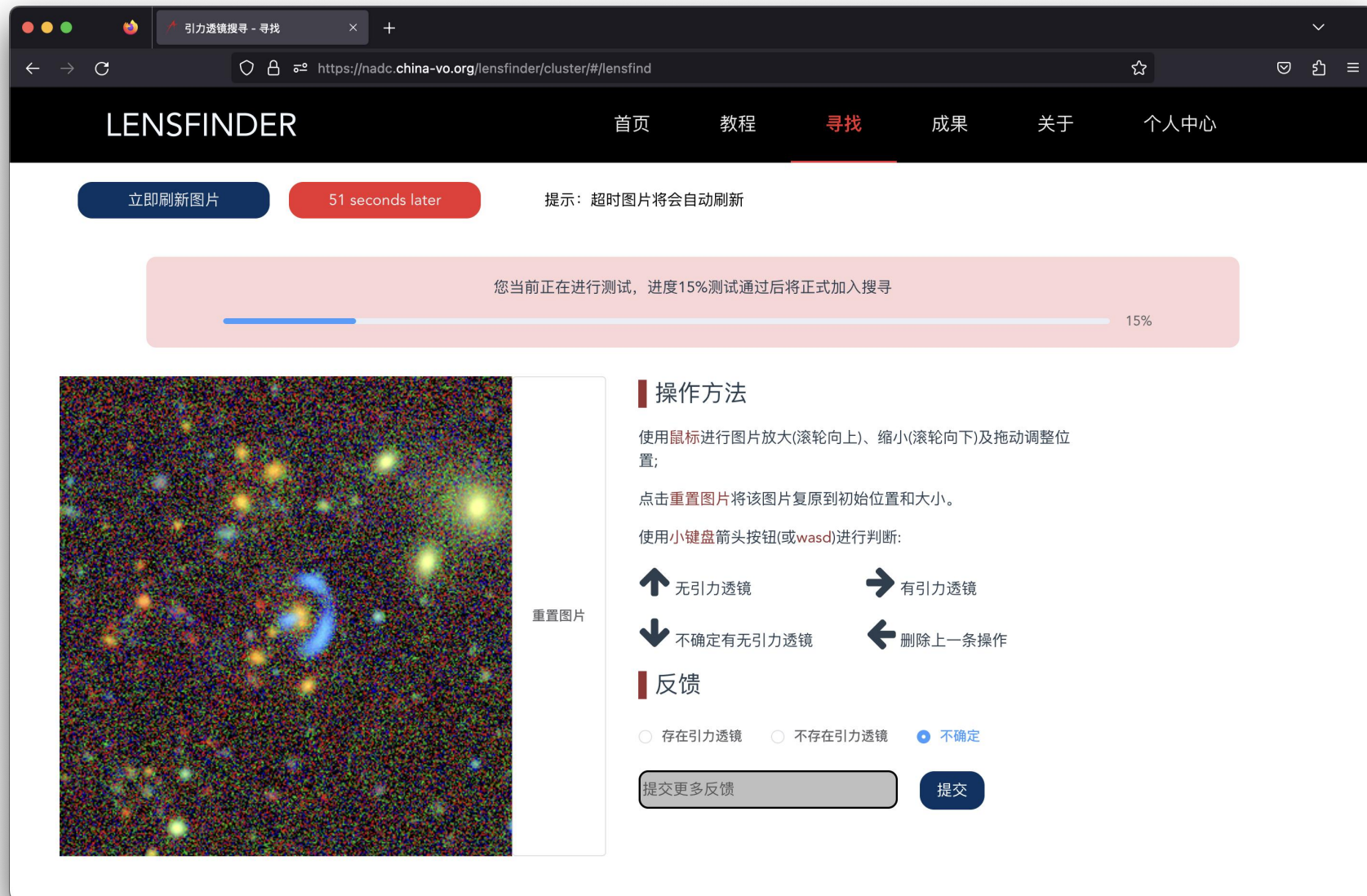
• 教学界面

• 用户中心

准确率		F1指数		精确率		召回率		标记数	
用户	得分	用户	得分	用户	得分	用户	得分	用户	得分
吴皓	0.97	吴皓	0.97	穆珊珊	1.00	蔡家靖	1.00	胡迪	25680.00
于胜利	0.95	周奕宏	0.95	李士俊	1.00	吴皓	0.95	张锋	3156.00
刘鼎泉	0.94	于胜利	0.94	龙莉莎	1.00	周奕宏	0.93	吕张悠然	3112.00
江少清	0.94	刘鼎泉	0.94	胡钦涛	1.00	于胜利	0.89	于胜利	2188.00
蔡家靖	0.93	蔡家靖	0.93	王子仪	1.00	罗锋	0.89	穆珊珊	1962.00
周奕宏	0.92	江少清	0.92	胡迪	1.00	刘鼎泉	0.89	赵睿博	1680.00
张锋	0.90	张锋	0.90	金达	1.00	江少清	0.86	陈颂	1654.00
金达	0.88	金达	0.89	江少清	1.00	张锋	0.81	王怡雪	1236.00
罗锋	0.88	罗锋	0.89	王怡雪	1.00	金达	0.80	陆琦	1226.00
王怡雪	0.87	陆琦	0.84	陈颂	1.00	陈文浩	0.78	周奕宏	1070.00

交互界面:

- 快捷判断
- 提交反馈



教程界面

The screenshot shows the LENSFINDER website with the '教程' (Tutorial) tab selected. The main content area is titled '强引力透镜简介' (Introduction to Strong Gravity Lensing). It includes a diagram of gravitational lensing and a paragraph of text explaining the concept.

强引力透镜简介

根据爱因斯坦的广义相对论，光线在经过大质量天体时会发生弯曲现象。如果有两个天体恰好位于我们的视线方向，那么当背景天体发出的光线经过前景天体的时候，就会受到前景天体引力场的作用而发生会聚，这类似于透镜成像，我们把这种现象称为引力透镜现象。如果透镜系统的扭曲和汇聚作用非常强烈，我们就无法看到背景天体自身，而是在前景天体的周围看到背景天体的多个成像。我们称这种引力透镜为强引力透镜。强引力透镜的背景天体可以是恒星、类星体、星系等天体，而前景天体可以是恒星、星系、星系团等。

图一：引力透镜示意图

引力透镜在天文学及宇宙学中有着重要的应用。比如，它可以用来研究前景天体的质量，可以增强并帮助我们研究那些遥远且暗淡的天体，还可以用来研究宇宙中的物质分布、约束哈勃常数、宇宙学常数等。另外，引力透镜还可以帮助我们检验引力理论。强引力透镜是极其稀少的，大多数集中在星系和星系团尺度上。据统计，平均大约几十个星系里才可能存在一个高质量的强引力透镜[1]。

The screenshot shows the LENSFINDER website with the '教程' (Tutorial) tab selected. The main content area is titled '强引力搜寻项目所采用的图像数据和星系团样本介绍' (Introduction to Image Data and Galaxy Samples Used in the Strong Gravity Search Project). It includes a paragraph of text and a visualization of galaxy clusters.

强引力搜寻项目所采用的图像数据和星系团样本介绍

暗能量光谱仪 (Dark Energy Spectroscopic Instrument, DESI) 计划是由美国能源部和自然科学基金会支持的大型国际合作光谱巡天项目，开展维纳斯数字巡天 (Sloan Digital Sky Survey, SDSS) 之后第四代宇宙星系红移巡天。该计划拟花费5年的时间，获取约4000万天体的光谱，构建当前最大的三维宇宙，以研究暗能量对宇宙膨胀的影响。在构建三维宇宙前，DESI寻求国际合作开展多台望远镜和多个组织的联合观测，从而构建光谱巡天所必需的深度多色成像以提供光谱目标，并形成图像数据遗产供全世界天文学家和社会公众使用。

北京-亚利桑那巡天 (Beijing-Arizona Sky Survey, BASS) 巡天是DESI图像遗产巡天 (DESI Legacy Imaging Survey) 三个重要巡天组成之一，由国家天文台巡天观测和三十米望远镜团队主导完成，联合亚利桑那大学提供北银冠区域超过5000平方度的多波段图像数据。BASS巡天和DESI国际合作团队耗时1400天完成了巡天观测，并联合美国其他三个光学巡天DES、DECaLS和MzLS巡天和空间WISE卫星红外巡天，共同构建了最大面积深度图像数据 (约1/2全球面积，深度 $g>24$ 等)。目前本强引力透镜搜索项目采用的图像数据就是来自DESI图像巡天第九版数据DR9。

The screenshot shows the LENSFINDER website with the '教程' (Tutorial) tab selected. The main content area is titled '公众科学' (Citizen Science). It includes a paragraph of text and a sub-section '什么是公众科学?' (What is Citizen Science?).

公众科学

科学数据的不断增加，使得科学家们在浩瀚的数据海洋中寻找自己感兴趣的研究对象变得越来越困难。为了解决科学家们在大数据时代所面临的问题，经过多年的实践，人们选择了机器学习 (Machine Learning) 和公众科学 (Citizen Science) 两个方法。

机器学习的方法就是通过应用最新的机器学习的算法帮助科学家实现数据处理的自动化和高速化。

公众科学是指通过合理地设计用户界面，让大众参与到海量科学数据的中来。

目前已有的机器学习的方法 (尤其是监督学习) 还无法做到联想和自动扩展，而人脑在灵活性上要远远超过目前机器学习的算法，所以公众科学不但能在某种程度上独立地解决大数据问题，而且还可以与机器学习的方法结合起来，让科研工作变得更加高效灵活。

什么是公众科学?

简单来说，公众科学是专业科研人员和业余爱好者之间的一种合作。此类合作包括但不限于：协同观测、数据分析、分布式计算、民众科学家主导的问询等等。

随着科技的发展，人类的未知边界在不断的扩展，科学研究的方式也逐渐地发生了变化。一方面，科学家们需要民众科学家帮助他们收集数据、查漏补缺、发现盲点等等。另一方面，公众科学反过来还可以提高大众的科学素质。

公众科学在天体物理中的应用

天体物理应该是公众科学发展最繁荣的领域之一。

协同观测中比较新颖的一个项目叫做“淡水蟹轩 (CrayFish, Cosmic RAYs Found In Smartphones)”。这个项目的科学目的是探测高能宇宙射线。其基本想法是以全球所有智能手机摄像头的感光元件为观测单元，志愿者可以通过安装他们开发的智能手机应用CrayFish，把自己手机的感光元件连接到一个观测网络上，然后在志愿者的手机闲置的时候，CrayFish会开启手机的观测宇宙射线的模式，并将观测到的数据传回到CrayFish团队的服务服务器上。该团组的天体物理学家们会对这些数据进行更复杂的筛选和建模来研究高能宇宙射线的性质。

The screenshot shows the LENSFINDER website with the '教程' (Tutorial) tab selected. The main content area is titled '主要功能介绍' (Main Function Introduction). It includes a paragraph of text and a list of features.

主要功能介绍

在右上角的菜单栏，可以看到 主页，教程，寻找，个人中心等

1. 主页包含了引力透镜、公众科学的简介，引力透镜搜寻达人排行，以及近期新闻
2. 教程部分的引力透镜、公众科学介绍，该网站的操作指南和已发现目标可以帮助您快速了解我们
3. 进入寻找页面开始引力透镜搜寻
4. 可以进入个人中心查看历史记录

引力透镜搜寻教程

1. 滚轮向下图片缩小
2. 滚轮向上图片放大
3. 鼠标左击拖拽图片
4. 键盘↑标记为无引力透镜
5. 键盘↓标记为不确定有引力透镜

个人中心

- 记录

- 成绩

LENSFINDER 首页 教程 寻找 成果 关于 个人中心

历史提交

已知图回顾

我的成绩

编号	图片	显示	标记	反馈	时间
297549	149225	显示			Thu, 20 Apr 2023 23:40:03 GMT
297548	149225	显示	false		Thu, 20 Apr 2023 23:40:03 GMT
297547	148553	显示	true		Thu, 20 Apr 2023 23:39:02 GMT
297546	152163	显示	true		Thu, 20 Apr 2023 23:39:00 GMT
297545	147092	显示	false		Thu, 20 Apr 2023 23:38:55 GMT
297544	148419	显示	false		Thu, 20 Apr 2023 23:38:53 GMT
297543	148614	显示	false		Thu, 20 Apr 2023 23:38:29 GMT
297542	157093	显示	false		Thu, 20 Apr 2023 23:38:26 GMT

LENSFINDER 首页 教程 寻找 成果 关于 个人中心

历史提交

已知图回顾

我的成绩

李楠 您好，
您最近7日的准确率是 75.00 %
您的历史准确率是 75.00 %

Copyright © 2022-2023, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences

LENSFINDER 首页 教程 寻找 成果 关于 个人中心

历史提交

已知图回顾

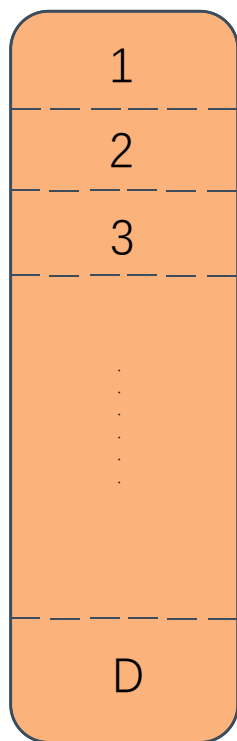
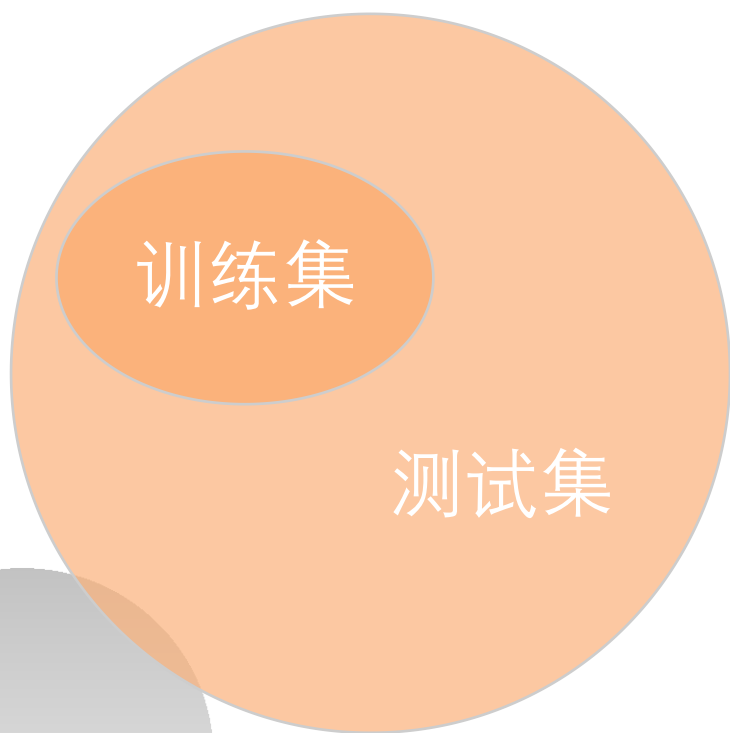
我的成绩

图片

时间

Copyright © 2022-2023, National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences

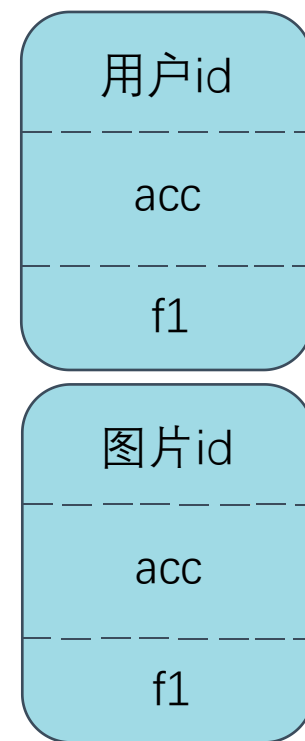
评估模块



用户权重



图片得分



评估指标

		预测值	
		Positive	Negative
真实值	Positive	TP	FN
	Negative	FP	TN

准确率

$$acc = \frac{TP + FN}{TP + FP + TN + FN}$$

精确率

$$P = \frac{TP}{TP + FP}$$

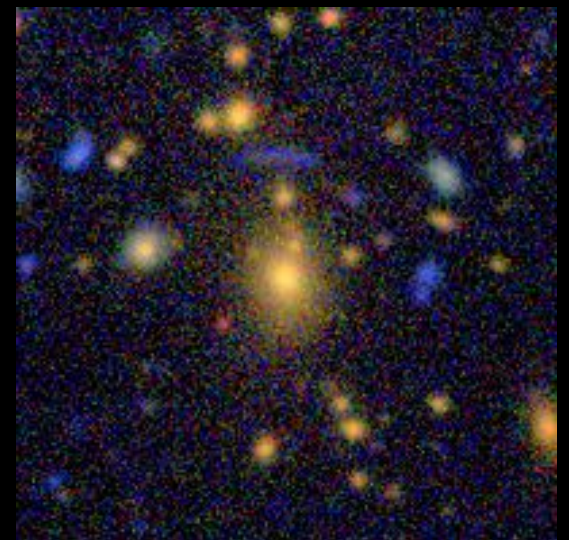
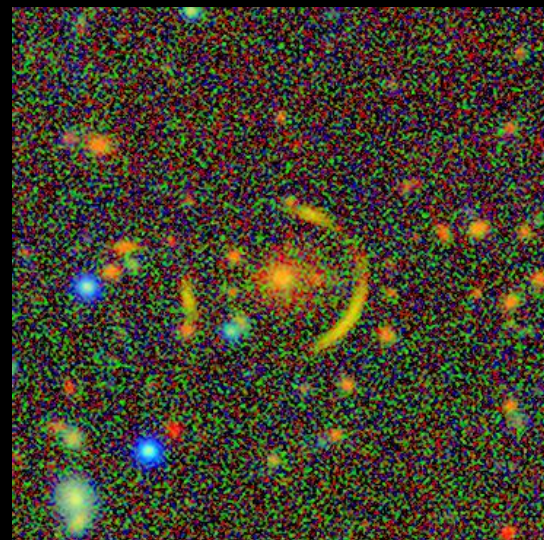
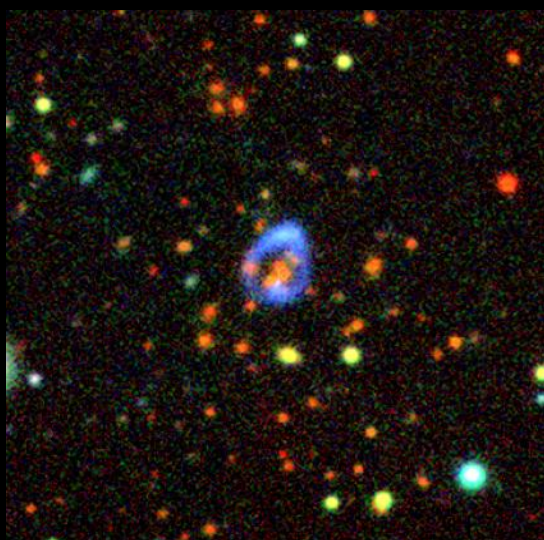
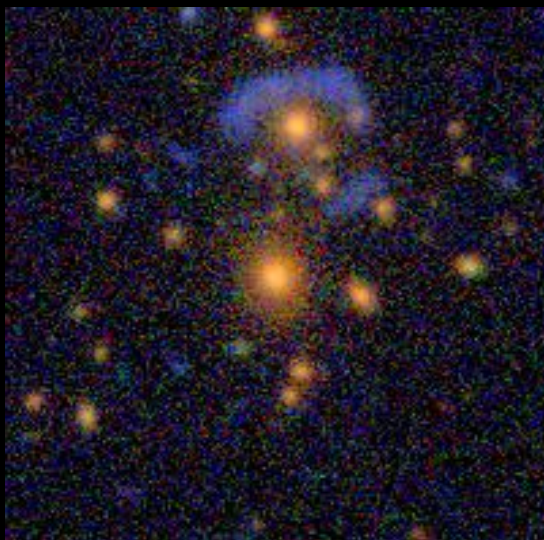
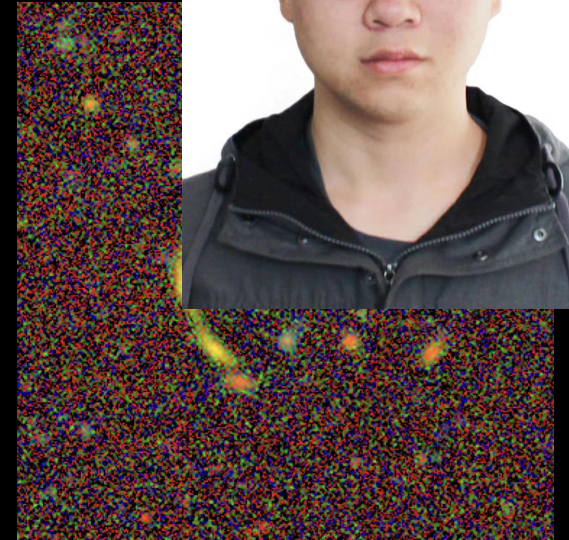
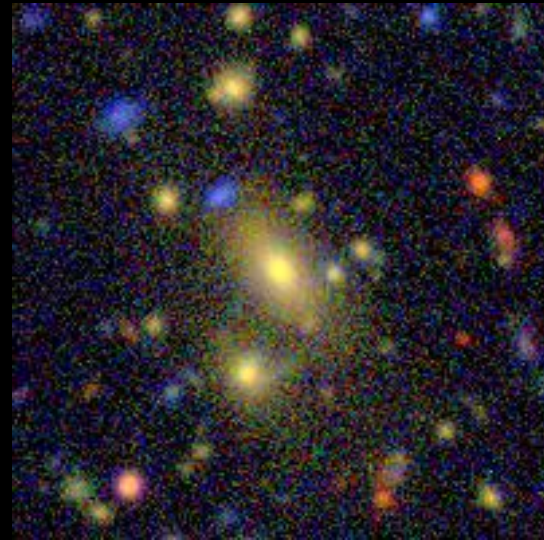
召回率

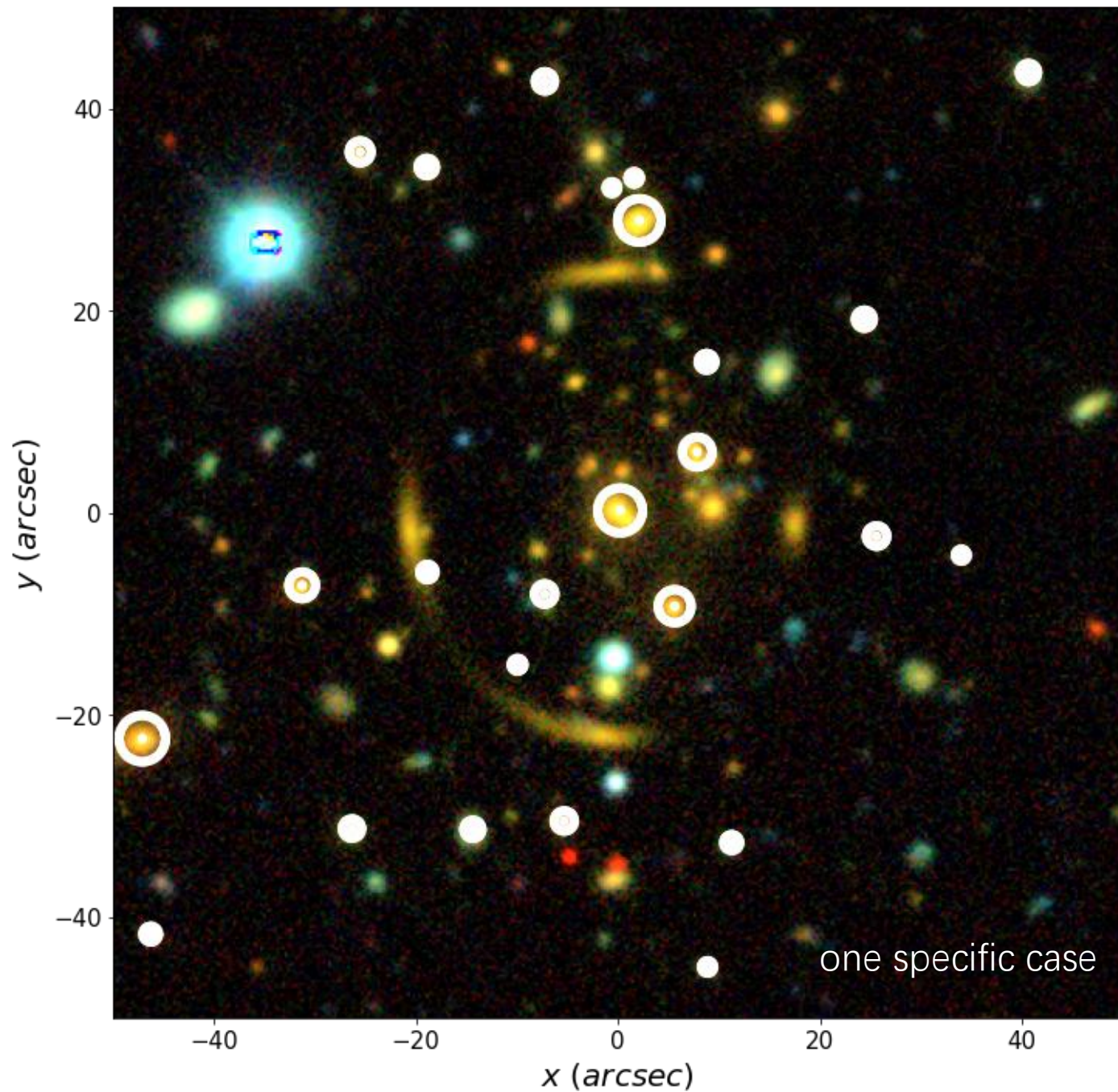
$$R = \frac{TP}{TP + FN}$$

F1

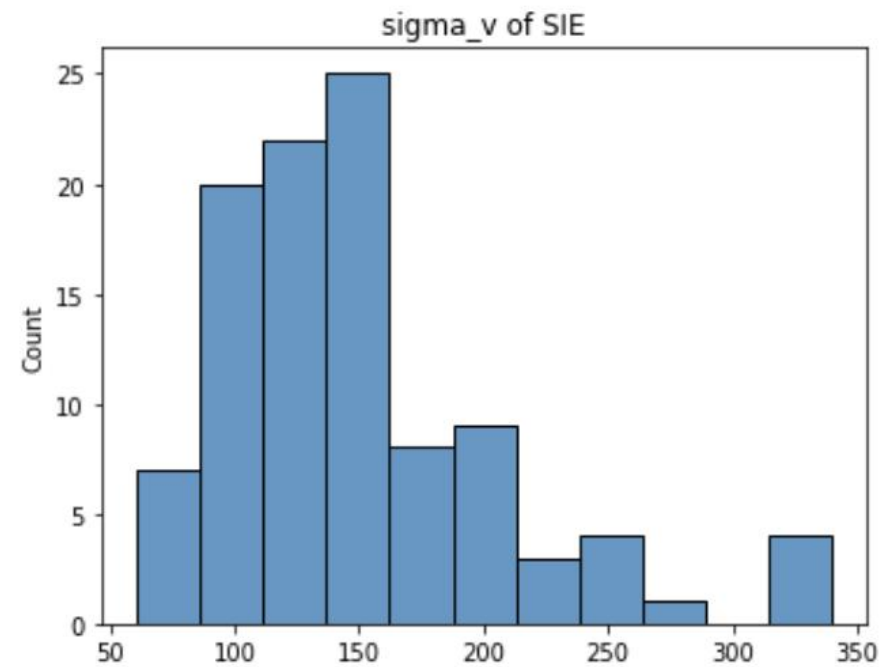
$$F1 = 2 \cdot \frac{precision \cdot recall}{precision + recall} = \frac{2TP}{2TP + FP + FN}$$

仿真图像 (~ 10000)



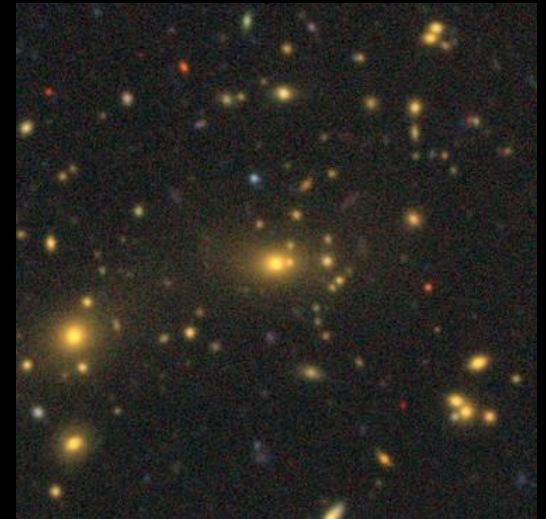
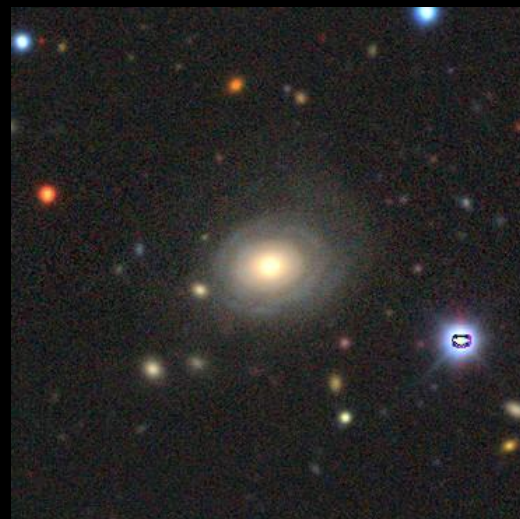
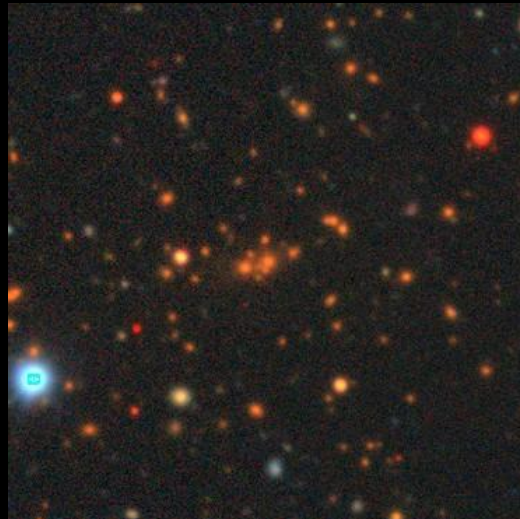
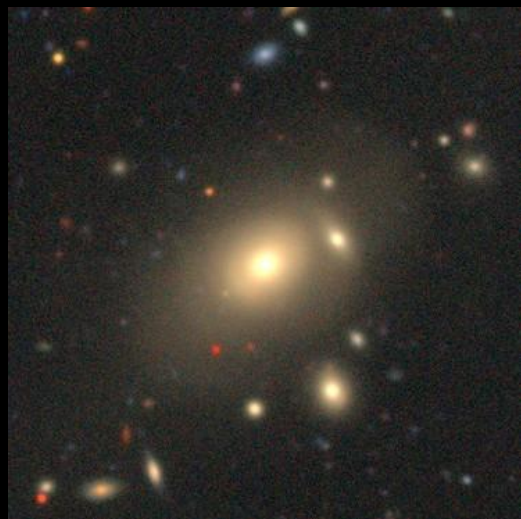
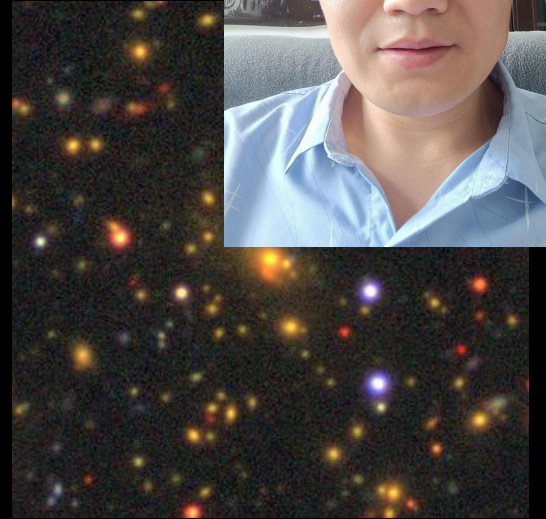
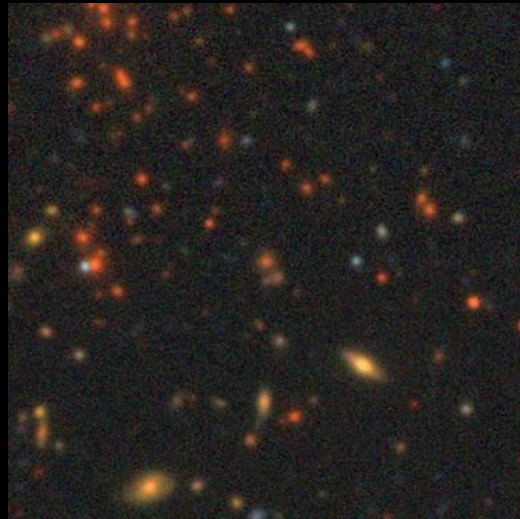
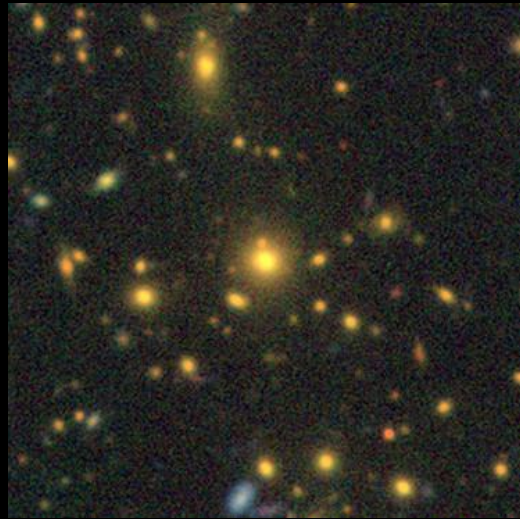
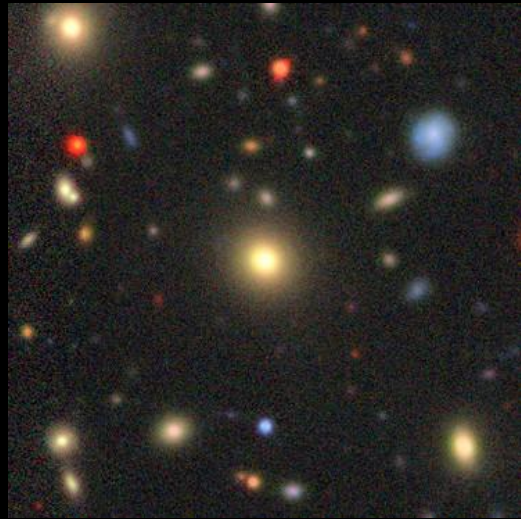


```
pixel_size: 0.27 arcsec
q_pa_of_nfw: (0.90,11.57)
cluster_redshift: 0.53
cutout_size: 100 * 100 arcsec^2
fwhm_seeing(g,r,z): (1.27,1.14,1.11) arcsec
src_mag (gband): 26.71
src_mag_magnified (gband): 20.92
bcg_magg: 20.20
cluster_idx: 3447800046
source_position: (0.09,0.27)
source_eff_radi: 0.52 arcsec
source_position_angle: 142.09 deg
source_redshift: 1.06
m200_c200: (15.01,6.91)
```



观测图像 (DESI Legacy Surveys)

~300,000



基于公众科学的星系团强引力透镜查找项目

<https://nadc.china-vo.org/lensfinder/cluster/>

LENSFINDER

教程 寻找 成果 关于 ...

欢迎来到引力透镜搜寻

了解更多
Learn More

开始寻找引力透镜
Find Gravitational Lens

什么是引力透镜

简单地说，引力透镜效应是指光线围绕质量



项目3月10日上线以来的一些数字

用户数：431

累计标记数：273,000

平均日活跃用户：11

Count	Date
5012	2023-04-13
2030	2023-04-14
1345	2023-04-15
1211	2023-04-16
771	2023-04-17
2524	2023-04-18
1128	2023-04-19
611	2023-04-20

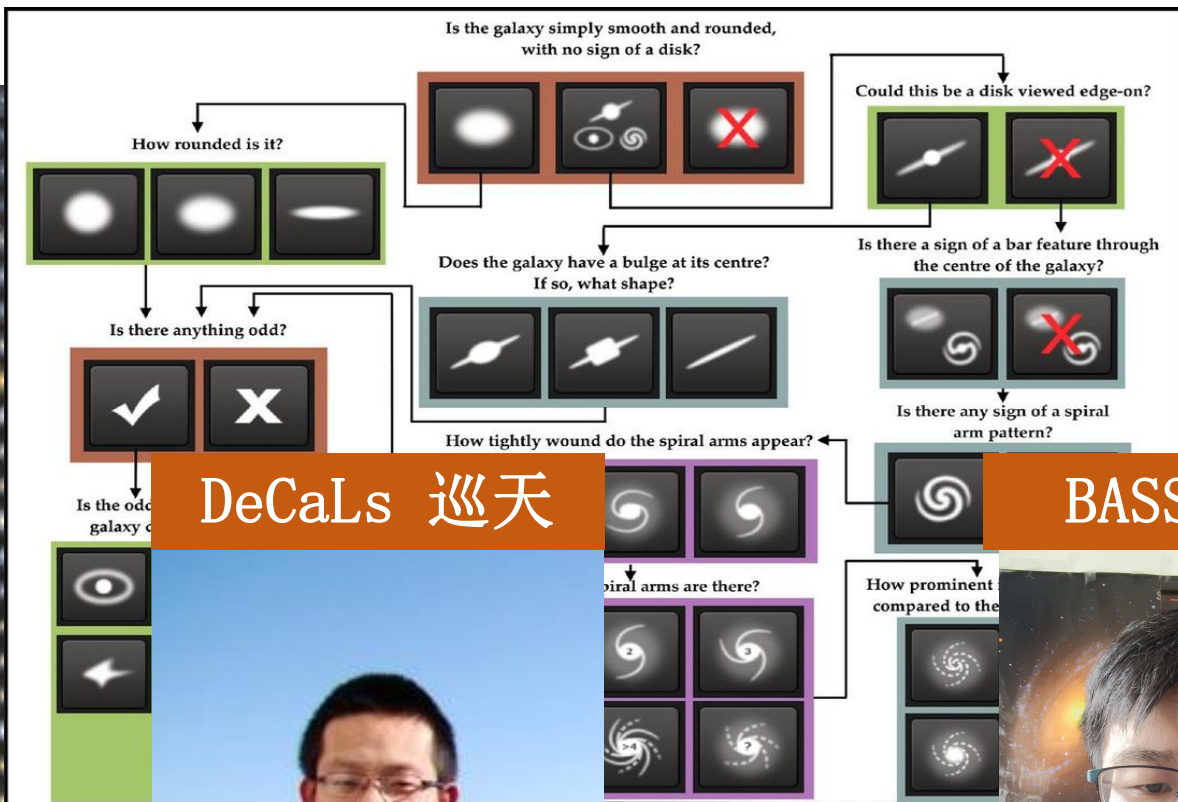
内容提纲

工作动机

项目介绍

未来计划

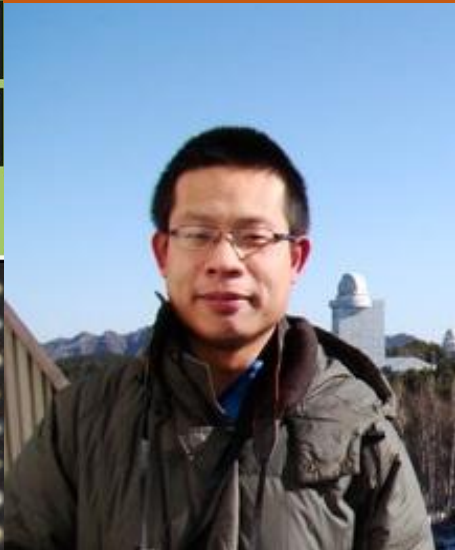
Galaxy Morphology Classification



DeCaLS 巡天

BASS 巡天

KiDs 巡天



Galaxy

主页 分类 论坛 登录 注册

这个星系有什么特征吗?

- 引力透镜
- 并合星系/潮汐扰动
- 环星系/车轮星系/霍格天体
- 低表面亮度星系/极弥散星系

颜色 RESET

Stellar Sirens

听声辨星：恒星光变曲线分类

Astronomy Music, 聆听宇宙,

从海量数据中发现变星/系外行星/双星和恒星活动现象。

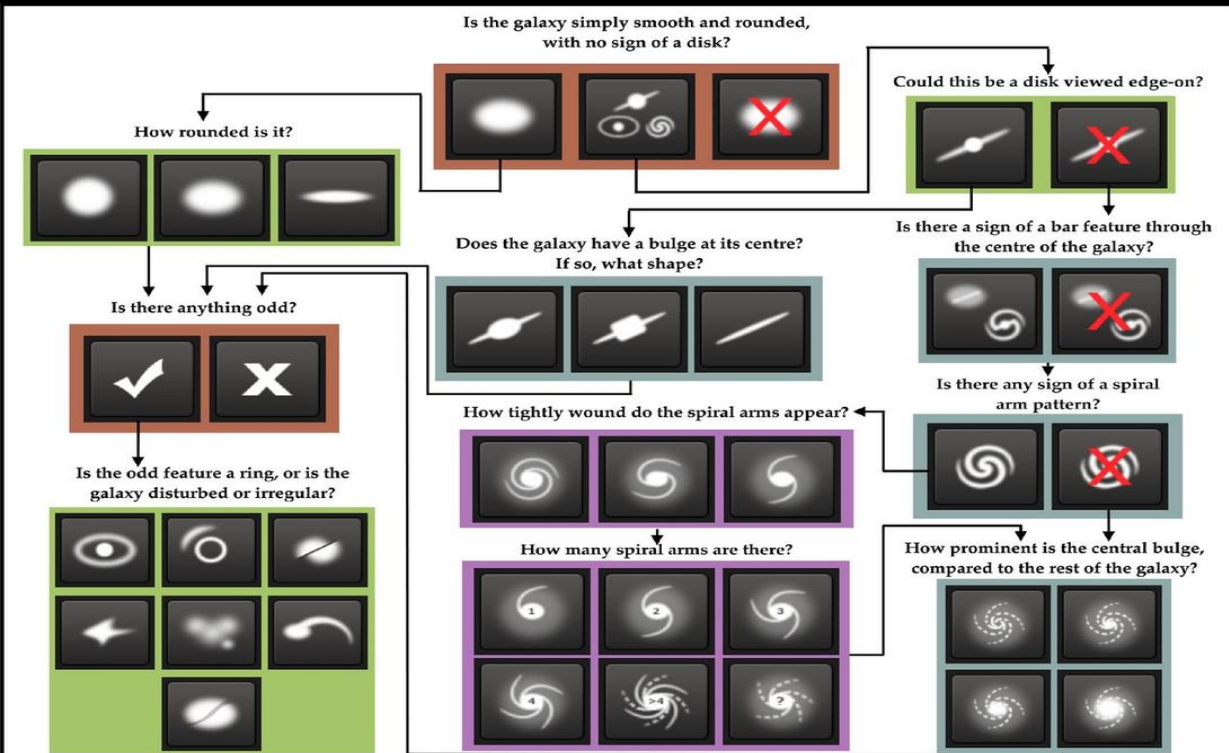


Galaxy-Zoo & Spacewarps @ Zooniverse.org

<https://www.galaxyzoo.org/>

<https://spacewarps.org/>

14,003
Participants Worldwide
3,511,973
Images Classified



The screenshot shows the Spacewarps interface with the following elements:

- Navigation:** Classify, Science, Spotter's Guide, Discuss, Profile, FAQ.
- Stats:** 2 IMAGES VIEWED, 1 POTENTIAL LENSES, 0 FAVORITE IMAGES, 1 in 5 SIMULATION FREQUENCY.
- Spotter's Guide:** LENSES (grid of galaxy images), NON-LENSES (grid of galaxy images).
- Task View:** A central galaxy image with a pop-up message: "Marvelous! You spotted a simulated lens. Unlike most little blue galaxies you see, lensed galaxies appear stretched and curved around the lens." Below the image are icons for heart, eye, and a "Finished marking!" button.
- Footer:** A Zooniverse project, SIGN UP | SIGN IN.

Citizen Science in Astronomy

**In Astronomy,
Citizen
Science is**

Amateur
Observing

Visual
Classification

Cloud
Computing

Data
Modeling

Citizen-led
Enquiry

**How Can
We Improve
Zooniverse?**