



А.Крюков

# Машинное обучение в астрофизике

Лекция 6

## Гамма астрономия и МО



## В предыдущих сериях

- Лекция 1. Что такое машинное обучение и сферы его применения в науке.
- Лекция 2. Основные понятия.
- Лекция 3. Метод обратного распространения ошибок.
- Лекция 4. Деревья решений.
- Лекция 5. Сверточные сети
- **Лекция 6. Гамма астрономия и МО**



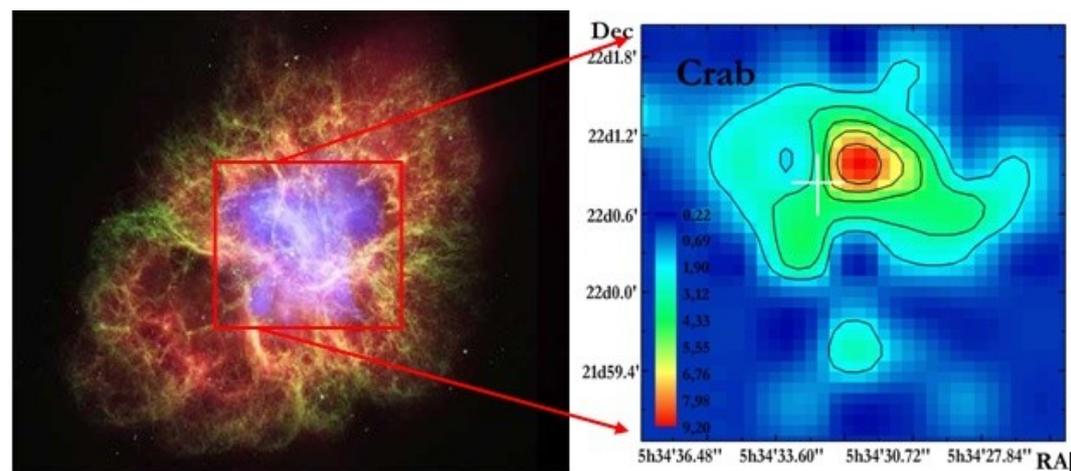
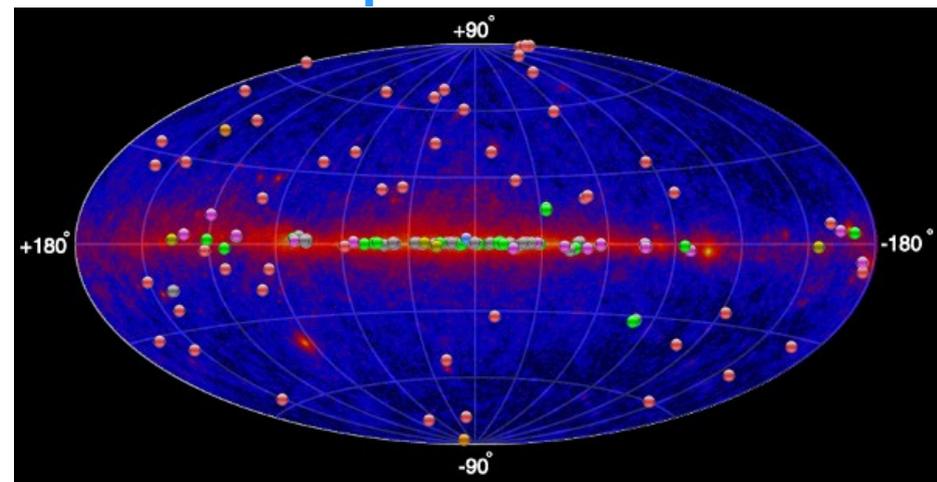
# Гамма астрономия

- Гамма астрономия — раздел астрофизики, которая изучает галактические и внегалактические источники высокоэнергичных гамма-квантов.
- Космические лучи — это потоки частиц, падающих на Землю. Основные компоненты космических лучей
  - Протоны (>99%)
  - Ядра (~1%)
  - Гамма (<0.01%)
  - Нейтрино
- Преимущество гамма астрономии
  - Адронная компонента (протоны+ядра) отклоняются галактическим магнитным полем. В результате чего теряется информация о первичном источнике частиц.
  - Нейтрино исключительно трудно зарегистрировать. Она практически не взаимодействует с материей.
  - Гамма-кванты распространяются прямолинейно, поэтому могут быть легко отождествлены с их источником на небе.
  - Достаточно легко могут быть зарегистрированы, так как хорошо взаимодействуют с заряженными частицами, например, ядрами атмосферы.



# Источники гамма квантов в астрономии

- Энергия космических частиц распространяется вплоть до ПетаГэВ ( $10^{15}$  эВ)
- Основная задача гамма астрономии — это найти источники ускорения частиц (космические ускорители), позволяющие достичь таких высоких энергий, и исследовать их свойства.
- Источники высокоэнергичных гамма-квантов
  - Активные галактические ядра
  - Остатки свехновых звезд
  - Пульсары



Слева: Псевдо-цветное изображение источника Крабовидная туманность, скомбинированное из данных наблюдений космических телескопов Chandra - рентген (синий), Hubble оптика (зелёный) и Spitzer - инфракрасный (красный); Справа: Изображение источника Крабовидная туманность полученное по данным телескопа ШАЛОИИ при энергиях выше 0.8 ТэВ.



# Гамма астрономия. Наземные установки.

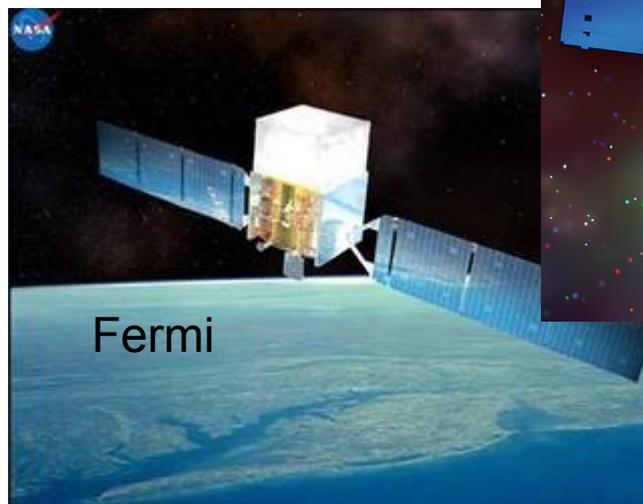
- Существует ряд крупных установок в мире
  - H.E.S.S.
  - CTA
  - MAGIC
  - TAIGA





# Орбитальные установки

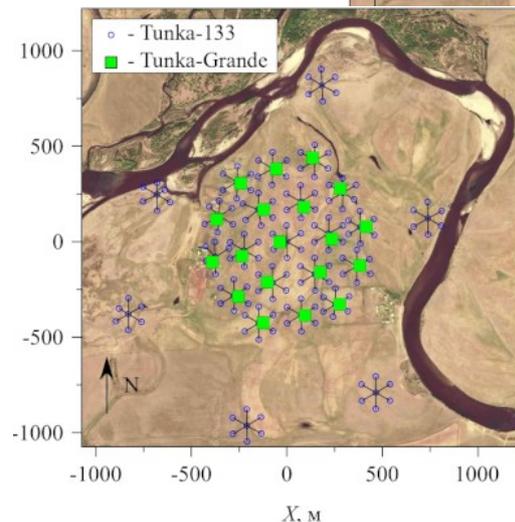
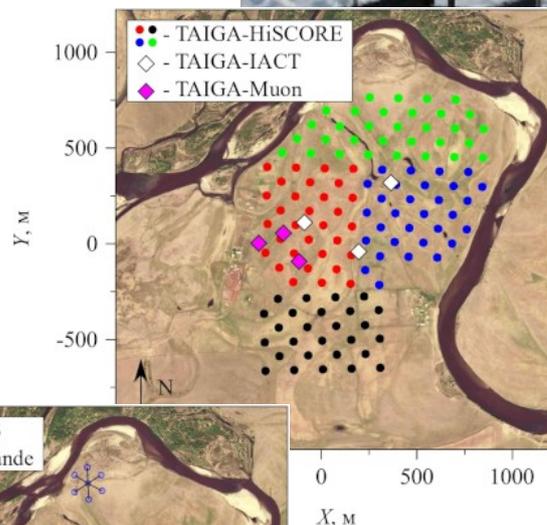
- Орбитальные установки
  - Compton
  - Спектр-РГ
  - Fermi
  - Chandra





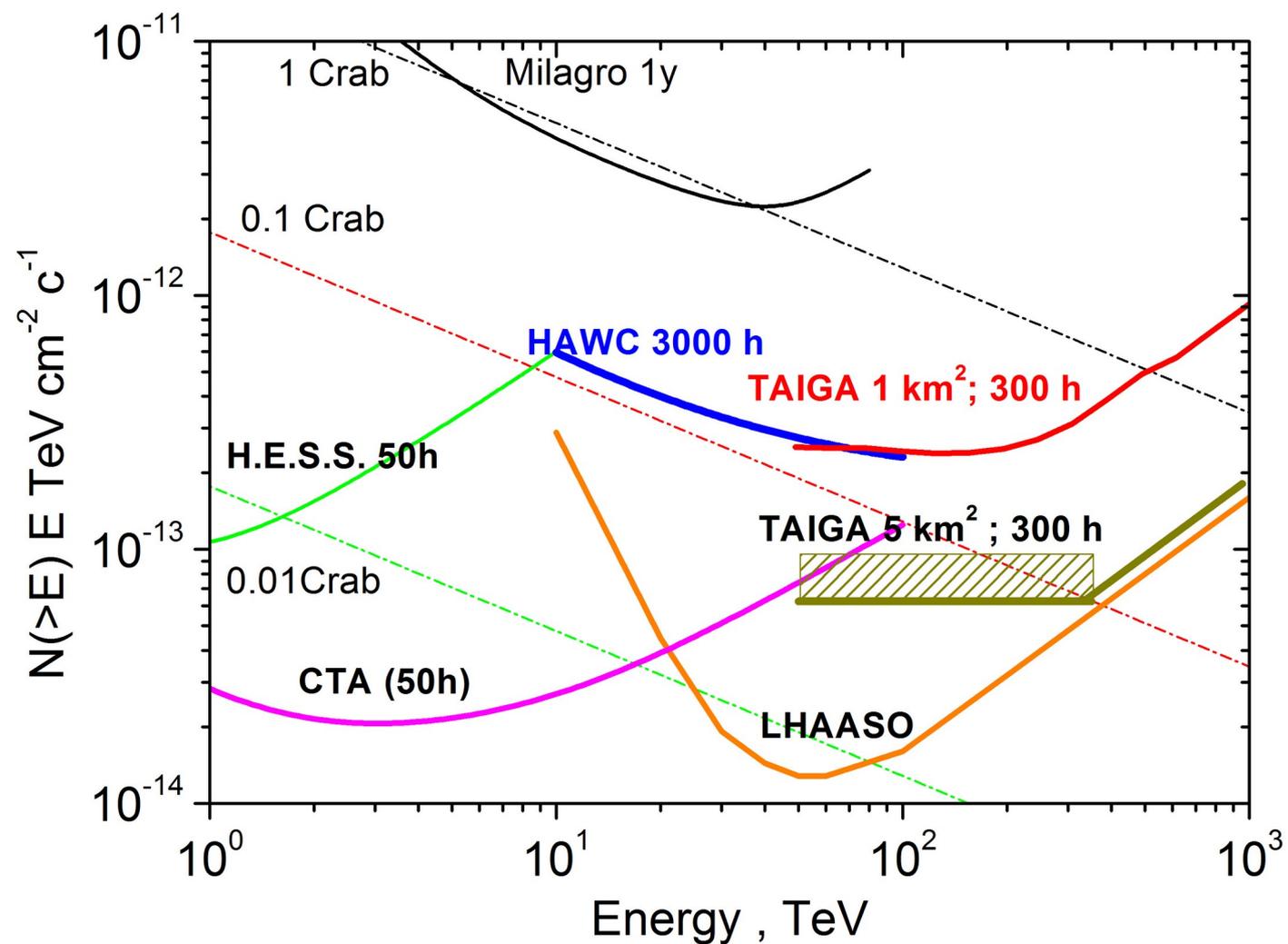
# TAIGA

- TAIGA — это комплекс установок, в который входят
  - Черенковские телескопы
    - В настоящее время работает 3 из 5 запланированных телескопов.
  - HiSCORE - массив из 122 черенковских детекторов.
  - TUNKA-133
  - TUNKA-Grande и другие.





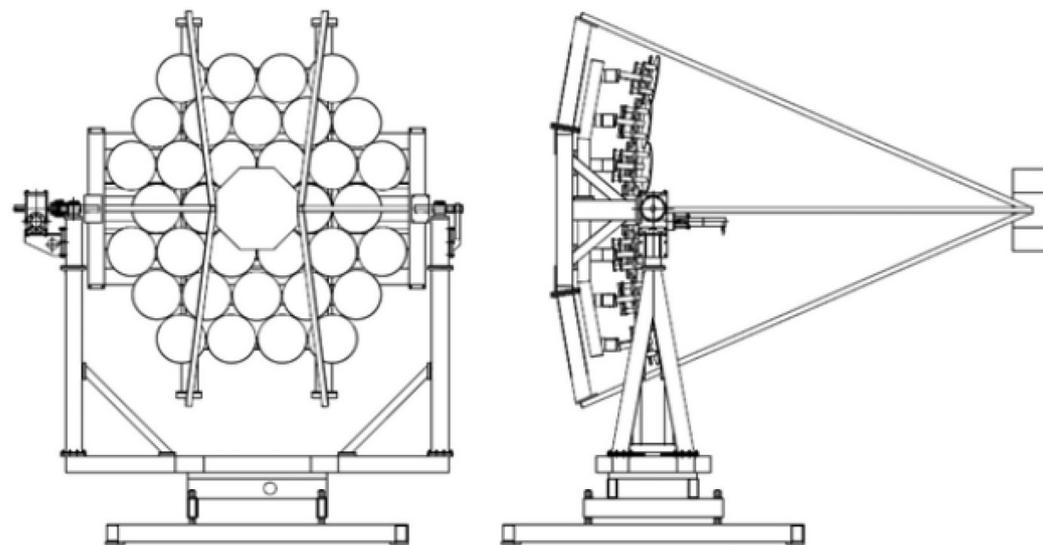
# TAIGA и другие эксперименты





# Атмосферные черенковские телескопы

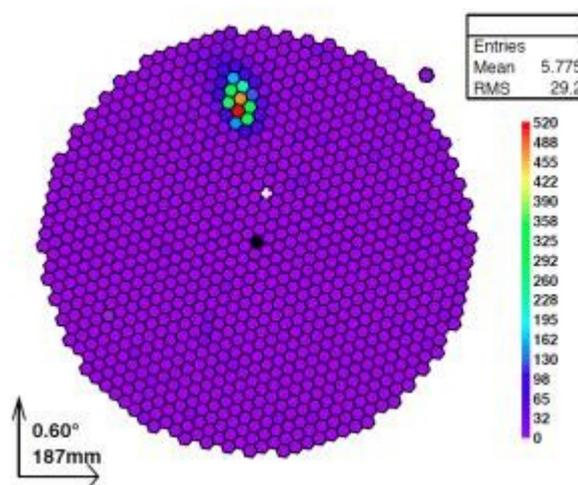
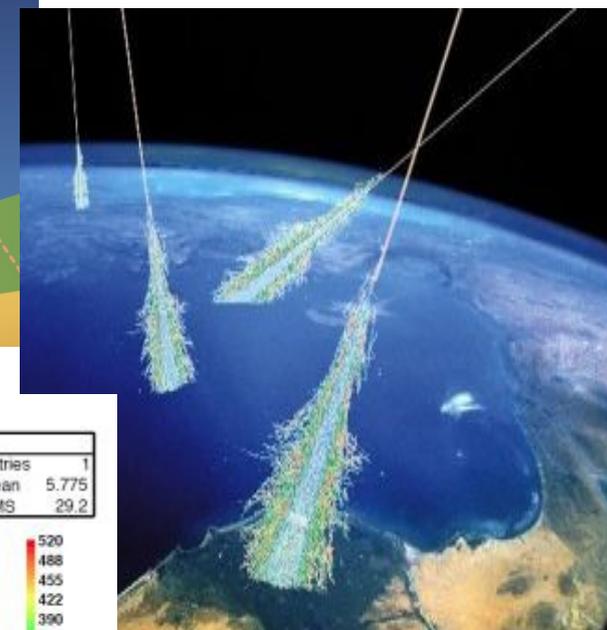
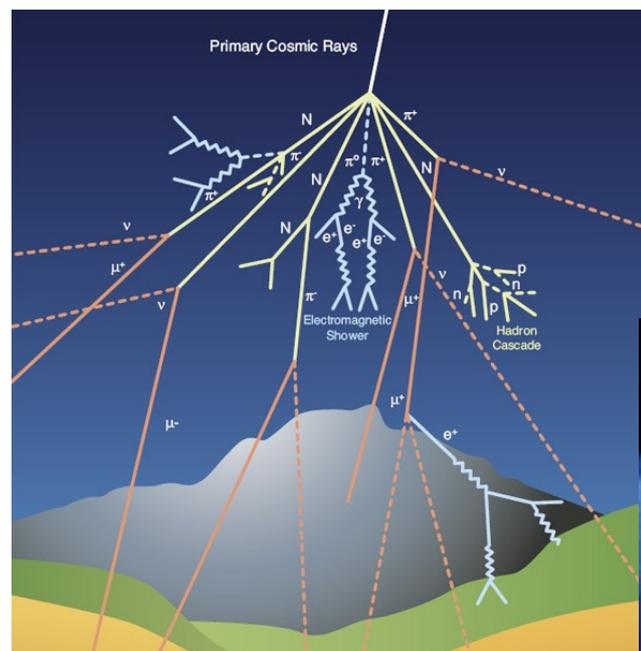
- Zenith angle motion range from  $10^\circ$  to  $95^\circ$
- Azimuth angle motion range from  $0^\circ$  to  $410^\circ$
- Motion angular accuracy  $0.01^\circ$
- Slewing speed  $4\text{--}8^\circ/\text{min}$





# Широкие атмосферные ливни

- ШАЛ — это каскад частиц, порождаемых первичной частицей космических лучей при взаимодействии ее с ядрами атмосферы Земли.
- При движении вторичных частиц в атмосфере со скоростью большей (фазовой) скорости света в атмосфере, они излучают черенковский свет, который и регистрируется камерой телескопа.

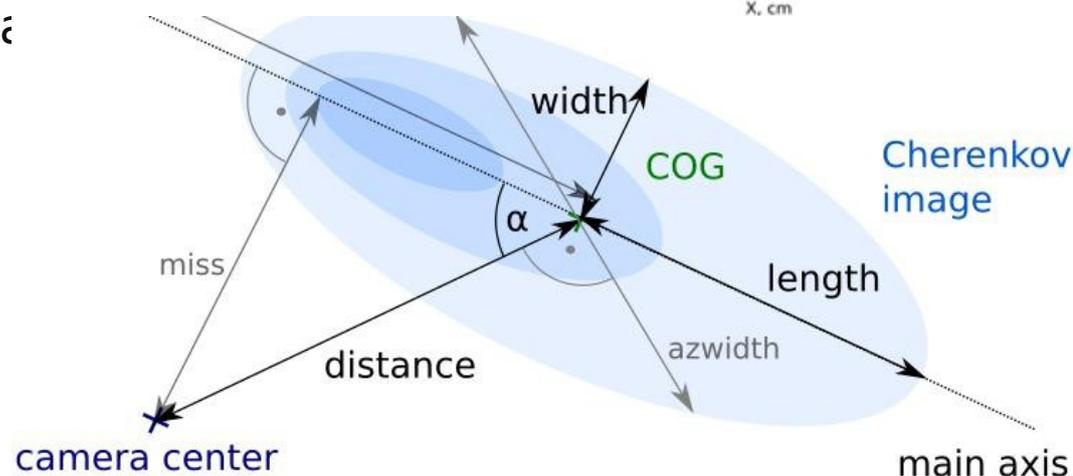
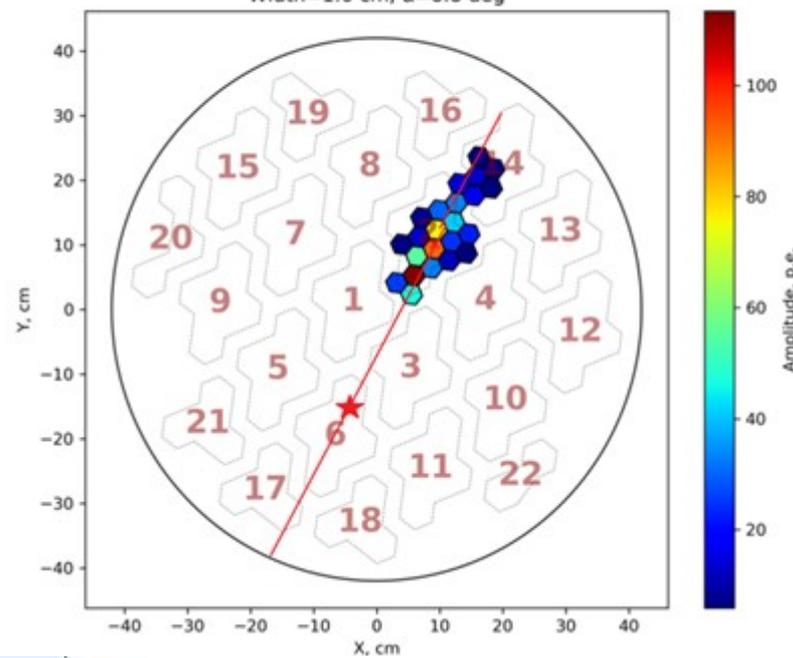




# Регистрируемые данные

- Изображение ШАЛ, образуемыми черенковскими фотонами.
- Традиционно для анализа данных используются параметры Хилласа
  - Длинная и короткая полуоси
  - Центр тяжести
  - Расстояние до центра ка
  - Угол наклона  $\alpha$
  - Промах (miss)

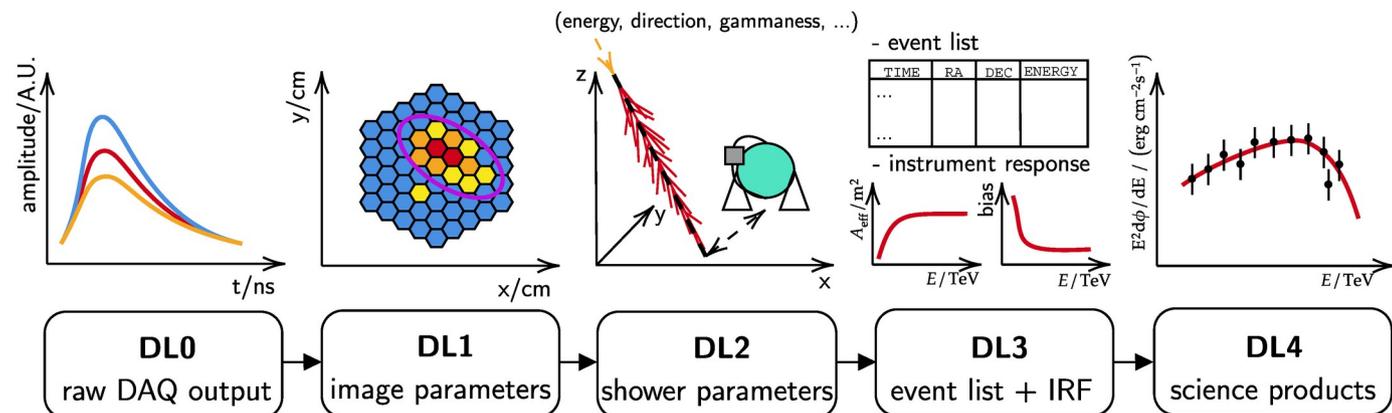
Event #6281867  
Ncl = 0, Npix = 23  
Size = 709 p.e.  
Width=1.6 cm,  $\alpha=8.8$  deg





# Процедура обработки и анализа данных

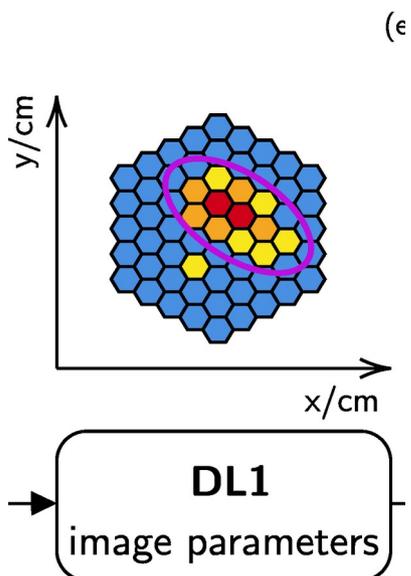
1. Сбор первичных данных с приборов (токи, напряжения и т. п.)
2. Определение параметров изображений (параметры Хилласа)
3. Определение параметров ШАЛ (направление оси и координаты точки прихода, энергия, тип частицы)
4. Калибровка
5. Извлечение физической информации (например, спектр)



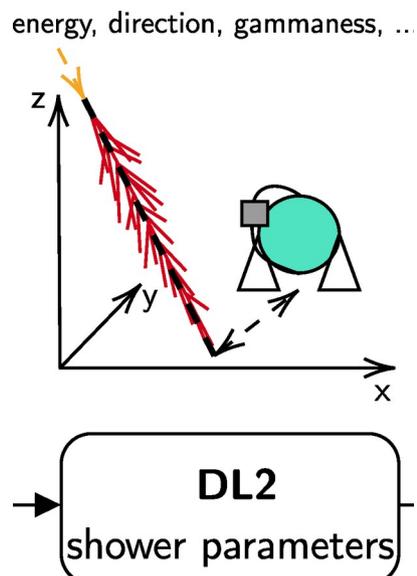


# Применение МО к задачам гамма астрономии

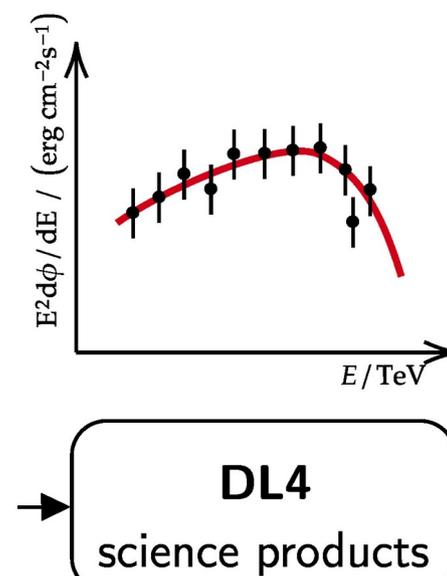
Определение параметров изображения (Хилласа)



Определение параметров ШАЛ



Монте-Карло моделирование





# Применение МО к задачам гамма астрономии

Определение параметров ШАЛ:  
Энергия, «гаммовость»



CNN, FC

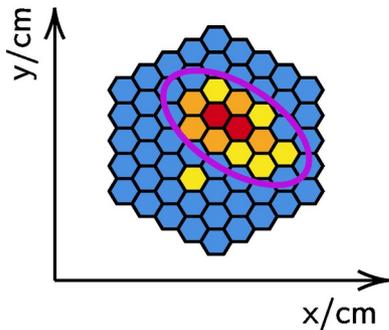
Монте-Карло  
моделирование



GAN, VAE

~~Определение  
параметров  
изображения  
(Хилласа)~~

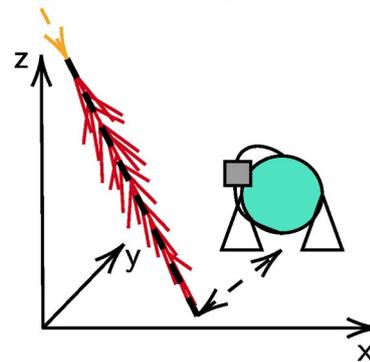
( $\epsilon$ )



**DL1**

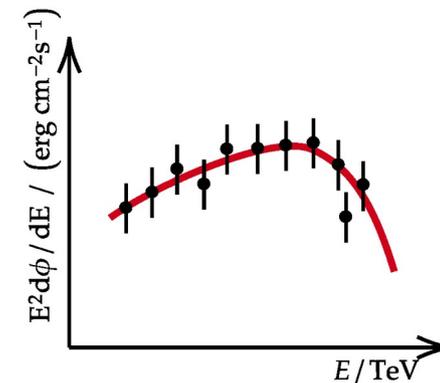
image parameters

energy, direction, gammaness, ...



**DL2**

shower parameters



**DL4**

science products



# Материалы лекций:

[https://theory.sinp.msu.ru/doku.php/ml\\_lectures](https://theory.sinp.msu.ru/doku.php/ml_lectures)