

# Реинтерпретация поиска многозарядных частиц и обеспечение кроссплатформенности его программного обеспечения

подготовил: Воробьев Г.  
Научный руководитель: Смирнов Ю.  
НИЯУ МИФИ, Б17-102, 2021



# Стандартная модель

масса →	$\approx 2.3 \text{ МэВ}/c^2$	$\approx 1.275 \text{ ГэВ}/c^2$	$\approx 173.07 \text{ ГэВ}/c^2$	0	$\approx 126 \text{ ГэВ}/c^2$
заряд →	$2/3$	$2/3$	$2/3$	0	0
спин →	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	0
	<b>u</b> верхний	<b>c</b> очарованный	<b>t</b> истинный	<b>g</b> глюон	<b>H</b> бозон Хиггса
<b>КВАРКИ</b>	$\approx 4.8 \text{ МэВ}/c^2$	$\approx 95 \text{ МэВ}/c^2$	$\approx 4.18 \text{ ГэВ}/c^2$	0	
	$-1/3$	$-1/3$	$-1/3$	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b>d</b> нижний	<b>s</b> странный	<b>b</b> прелестный	<b><math>\gamma</math></b> фотон	
	$0.511 \text{ МэВ}/c^2$	$105.7 \text{ МэВ}/c^2$	$1.777 \text{ ГэВ}/c^2$	$91.2 \text{ ГэВ}/c^2$	
	-1	-1	-1	0	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b>e</b> электрон	<b><math>\mu</math></b> мюон	<b><math>\tau</math></b> тау	<b>Z</b> Z бозон	
<b>ЛЕПТОНЫ</b>	$< 2.2 \text{ эВ}/c^2$	$< 0.17 \text{ МэВ}/c^2$	$< 15.5 \text{ МэВ}/c^2$	$80.4 \text{ ГэВ}/c^2$	
	0	0	0	$\neq 1$	
	$1/2$	$1/2$	$1/2$	1	
	<b><math>\nu_e</math></b> Электронное нейтрино	<b><math>\nu_\mu</math></b> мюонное нейтрино	<b><math>\nu_\tau</math></b> тау нейтрино	<b>W</b> W бозон	
					<b>КАЛИБРОВОЧНЫЕ БОЗОНЫ</b>

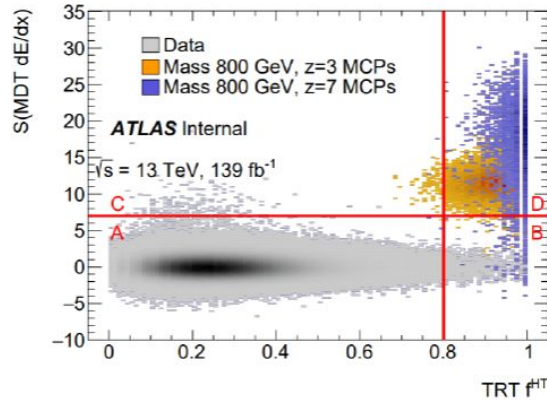
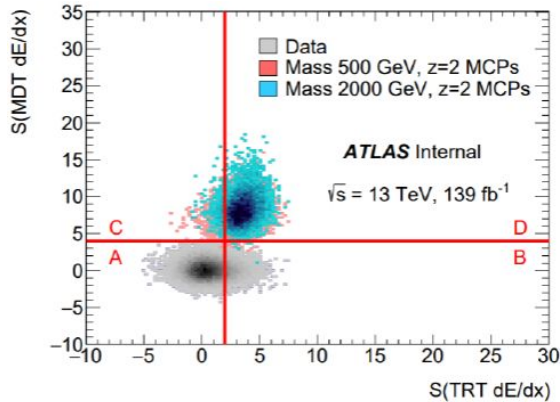
?  
Новая физика?

**MCP**

(англ. multi-charged particles)

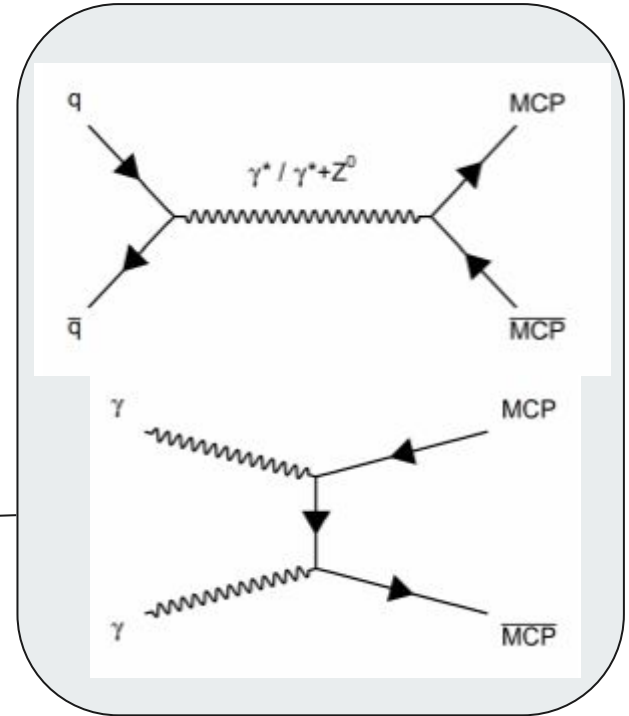
- AC-модель, основанная на "почти коммутативной" геометрии
- модель бегущего техницвета WTC
- модель лево-правой симметрии


# Поиск МСР



pp взаимодействие (столкновение, например на LHC)  
 MMK (метод Монте-Карло)

Анализ: Ограничения, эффективности и погрешности:  
 Обработка, восстановление треков, ограничения и условия на события -> кол-во искомых событий и их соотношение с фоном





Предел на сечение процесса рождения многозарядных частиц:  $\sigma_{limit} = \frac{N}{\varepsilon \cdot \mathcal{L}}$  , где:

$N$  – количество наблюдаемых сигналоподобных событий в экспериментальных данных за вычетом фона на уровне достоверности 95%

$\varepsilon$  – эффективность поиска в долях единицы

$\mathcal{L}$  -- интегральная светимость проанализированных экспериментальных данных -- известная величина

$\sigma_{limit}$  также зависит от погрешностей на все эти величины, а именно от:

- $\sum_i \Delta \varepsilon_i$  - суммарной погрешности ( $i$  – один источник погрешности) на эффективность
- $\Delta \mathcal{L}$  - погрешности на светимость -- известная величина
- $\Delta N$  – статистической + систематической погрешности на количество сигналоподобных событий в экспериментальных данных из фона



# Сохранение и воспроизводимость анализа

Нюансы:

1. Кроссплатформенность
2. Программные компоненты и переменные среды, необходимые для установки и запуска частей анализа.
3. Формат данных для подачи на вход разным программам
4. Действия (и их очерёдность) при запуске компонентов анализа
5. Устаревание программного обеспечения



## Кому и для чего это нужно?

- Для оценки изменения пределов на массу, при увеличении эффективности поиска (например, на 10%) или светимости.
- Тестирование других моделей (с другими сечениями процессов рождения), что повлияет на пределы масс.
- Со временем может появиться необходимость вычислить сечения более массивных частиц (в анализе экспериментальных данных, накопленных в 2015-2018 годах, это 500 ГэВ, 800 ГэВ, 1100 ГэВ, 1400 ГэВ, 1700 ГэВ и 2000 ГэВ)



## Это действительно необходимо?

In the July 19th, 2018, Exotics plenary, [a proposal \(and feedback\)](#) were discussed for adding preserving an analysis in RECAST as part of the Exotics approval procedure. After discussion with the community, the decision was taken to preserve the analysis flow for the signal alone and save the inputs to the statistical analysis for the background. The steps needed are briefly summarized below and detailed on [Exotics Approval](#).

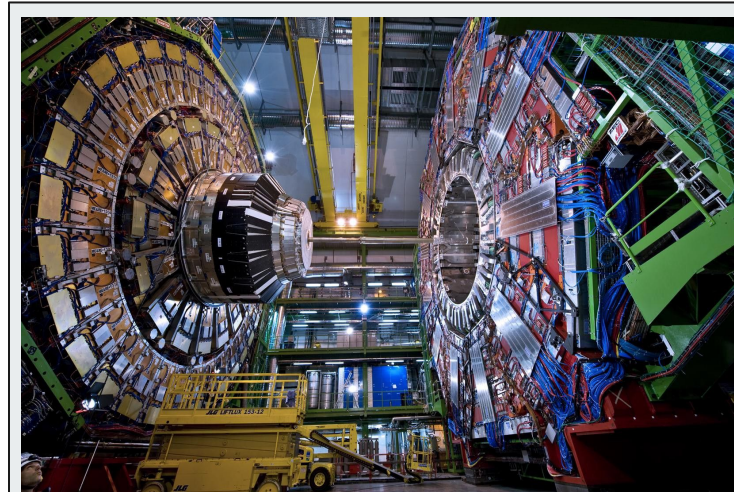
→ мы не можем больше публиковать статьи без выполнения процедуры обеспечения сохранности анализа (далее RECAST)

RECAST – процедура сохранения технологического хода анализа для его переиспользования в будущем:

- кем угодно, а не только членами коллаборации ATLAS,
- в любой операционной системе, а не только в CentOS 7 на lxplus,
- с изменёнными параметрами ( $\epsilon$ ,  $\sigma_{theor}$ ,  $\mathcal{L}$ ,  $N$  и соответствующими погрешностями) если требуется.

# Реинтерпретация (предпосылки)

- Обновление LHC RUN 3 и 4 (high luminosity)
  - Реинтерпретация -- запуск анализа с некоторыми изменёнными параметрами. Мы хотим реинтерпретировать два случая:
1. увеличение интегральной светимости со  $139 \text{ фб}^{-1}$  до  $300 \text{ фб}^{-1}$  (LHC за Run-3, 2022-2024 годы)
  2. увеличение эффективности поиска таких частиц на 10% (ничем не оправдано и не ожидается, но тем не менее представляет собой академический интерес).



LHC ATLAS





# Поставим цель:

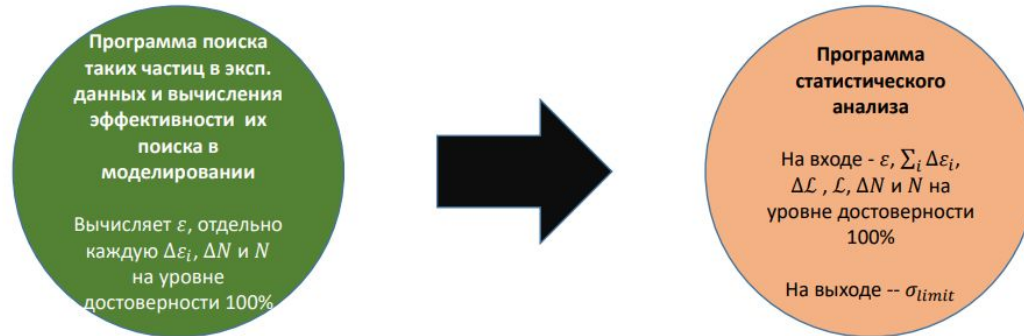
Разработка программы подсчёта суммарных погрешностей на эффективности.

Изучение методик фреймворка RECAST для обеспечения кроссплатформенности, сохранения и реинтерпретации анализа.

Реализация этих методик для программного обеспечения исследуемого анализа (поиска многозарядных частиц в эксперименте ATLAS. ).

Реинтерпретация анализа для предсказания изменений нижних пределов масс в связи с апгрейдом на LHC (Run 3).

## Процедура вычисления пределов на сечение процесса рождения многозарядных частиц



Первая проблема: отсутствие связующего звена между двумя программами. Результат работы первой программы приходится подавать на вход второй вручную. (Реализация с помощью RECAST)

Вторая проблема: вычисление  $\sum_i \Delta\varepsilon_i$  из отдельных  $\Delta\varepsilon_i$  -- задача этого семестра. В принципе, её решение является подзадачей первой проблемы. (Разработана программа на Python)



# План разработки

Требуемый ход анализа, т.е. с RECAST



## Три шага RECAST

### 1. capture software

for individual analysis stages in executable way (including all dependencies)

Упаковка каждой используемой программы в свой Docker-контейнер; у нас 2 программы (а с учётом программы суммирования погрешностей - 3) → 2 контейнера

### 2. capture commands

what do I do with the captured software?

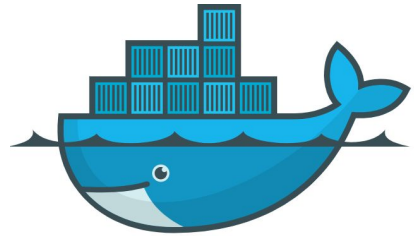
Использование каждой программы по отдельности внутри своего Docker-контейнера

### 3. capture workflow

how do I connect the pieces

Автоматизация хода анализа: построение всех программ в цепочку; при изменении какого-то параметра какой-либо программы мы запускаем всю цепочку одной командой, и на выходе имеем финальный результат

# Docker, GitLab, yadage, recast-atlas и ReAna



docker

reana

GitLab



Reproducible research data analysis platform

```
/workflow # recast catalogue ls
NAME
ana-exot-2018-54/recast
atlas/atlas-conf-2018-041
examples/checkmate1
examples/checkmate2
examples/rome
testing/busyboxtest
/workflow #
```

DESCRIPTION	EXAMPLES
Try to recast for the Exotics UEH multi-charged particle search	default
ATLAS MBJ	default
CheckMate Tutorial Example (Herwig + CM1)	default
CheckMate Tutorial Example (Herwig + CM2)	default
Example from ATLAS Exotics Rome Workshop 2018	default,newsignal
Simple, lightweight Functionality Test	default



# Репозиторий ANA-EXOT- -2018-54

[gitlab.cern.ch/recast-atlas/exotics/ana-exot-2018-54/-/tree/dev\\_grigory\\_recast-atlas](https://gitlab.cern.ch/recast-atlas/exotics/ana-exot-2018-54/-/tree/dev_grigory_recast-atlas)

Name	Last commit	Last update
📁 specs	Upload steps.yml	1 week ago
📄 README.md	Update README.md	20 hours ago
📄 recast.yml	Upload New File	1 week ago

## 📄 README.md


Specs for the recast-atlas-based RECAST of the ANA-EXOT-2018-54 (UEH MCP search)

📄 reana.yml	adding an if clause and more comments	1 week ago
📄 workflow.yml	adding an if clause and more comments	1 week ago

## 📄 README.md

Specs for the REANA-based RECAST of the ANA-EXOT-2018-54 (UEH MCP search)

[gitlab.cern.ch/recast-atlas/exotics/ana-exot-2018-54/-/tree/dev\\_Yury\\_reana](https://gitlab.cern.ch/recast-atlas/exotics/ana-exot-2018-54/-/tree/dev_Yury_reana)



## Результаты проверки

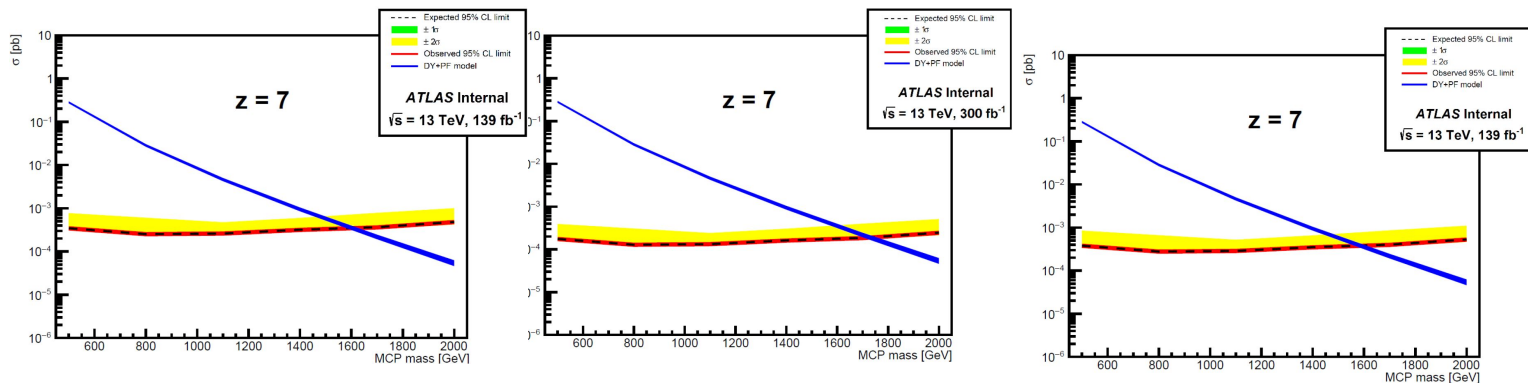
Анализ был протестирован для вычисления верхнего предела на сечение процесса рождения многозарядных частиц массой 500 ГэВ и элементарным зарядом  $\pm 7e$  при статистике, примерно в 6 раз меньше той, которая используется в анализе, выполненным традиционными средствами.

$$\sigma_{limit} = \frac{N_{data}}{\varepsilon \mathcal{L}} = \frac{3.31917}{(5.8/100 \cdot 139)} = 0.4117 \text{ фб}, \quad (1.3)$$

где  $N_{data} = 3.31917$  — предел на число наблюдаемых сигналоподобных событий в экспериментальных данных за вычетом фона на уровне значимости 95% в предположении отсутствия сигнала в этих данных,  $\varepsilon = 5.8\%$  — результат первого шага программы (эффективность поиска),  $\mathcal{L} = 139 \text{ фб}^{-1}$  — интегральная светимость проанализированных экспериментальных данных.

Результат (0.41 фб) не совпадает, но близок к тому, который получился в традиционном анализе (0.39 фб), что объясняется малой статистикой. Поскольку тест был направлен на проверку работоспособности программы в целом, результат получился вполне удовлетворительным.

# Реинтерпретация



Полученные значения нижних пределов массы (для искомых частиц зарядом  $7e$ ):

- Исходное значение: 1590 ГэВ;
- При изменении светимости со  $139 \text{ fb}^{-1}$  до  $300 \text{ fb}^{-1}$ : 1730 ГэВ;
- При изменении эффективности поиска на 10%: 1610 ГэВ.  
(очерёдность графиков слева направо)



## Заключение

В данной работе был проведён небольшой обзор на **проблемы стандартной модели** и современной физики частиц, а в частности рассмотрели **вопрос существования новых частиц**, сходных по свойствам с лептонами, но имеющих заряд **больше  $1e$** . Также была рассмотрена работа нашей группы в эксперименте ATLAS по поиску таких частиц.

В рамках научной работы была **разработана программа** на языке Python обработки результатов программы поиска многозарядных частиц в экспериментальных данных и вычисления эффективности их поиска в моделировании.

Также была **подготовлена возможность реинтерпретации анализа** с помощью фреймворка RECAST (три части анализа были **сохранены в образы Docker**, к которым были **написаны инструкции** на языке **yadage**, реализованные в **recast-atlas** и **ReAna-client**).





## Заключение

Была проведена **реинтерпретации анализа** с целью изучить влияние изменений в эксперименте ATLAS и LHC Run 3 в целом на нижний предел массы многозарядных частиц. **Полученные значения нижних пределов массы:**

- Исходное значение: **1590 ГэВ**;
- При изменении светимости со  $139 \text{ фб}^{-1}$  до  $300 \text{ фб}^{-1}$ : **1730 ГэВ**;
- При изменении эффективности поиска на 10%: **1610 ГэВ**.  
(никакие другие условия при этом не меняются)

**Получены навыки** сохранения и повторного воспроизведения анализа, а также опыт работы с GitLab CI/CD, Docker, фреймворком RECAST (yadage, recast-atlas и ReAna-client) и программирования на языке Python.