



برنامه فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان در ارتباط با

آزمایش سی.ام.اس در سرن

و تلاشی برای

پاسخ به نادانسته‌ها

عبیده جعفری

HELMHOLTZ
SPITZENFORSCHUNG FÜR
GROSSE HERAUSFORDERUNGEN

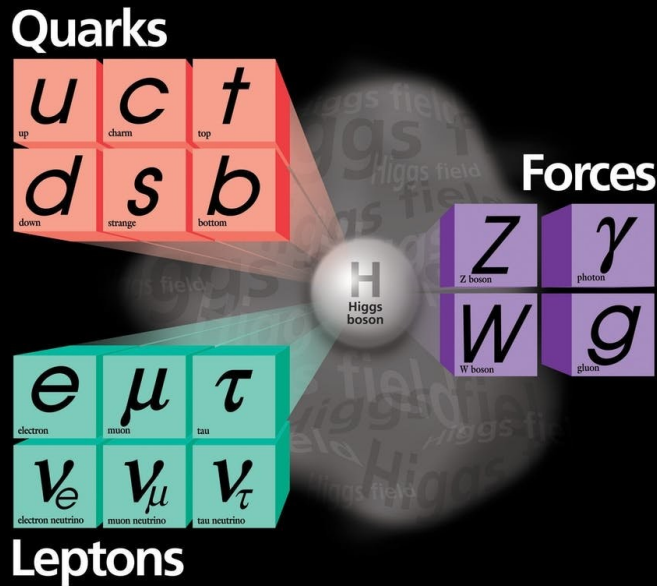


دومین گردهمایی همکاری دانشگاهی ایران با سرن

بیست و سوم شهریور ماه ۱۴۰۰

دانشگاه صنعتی اصفهان

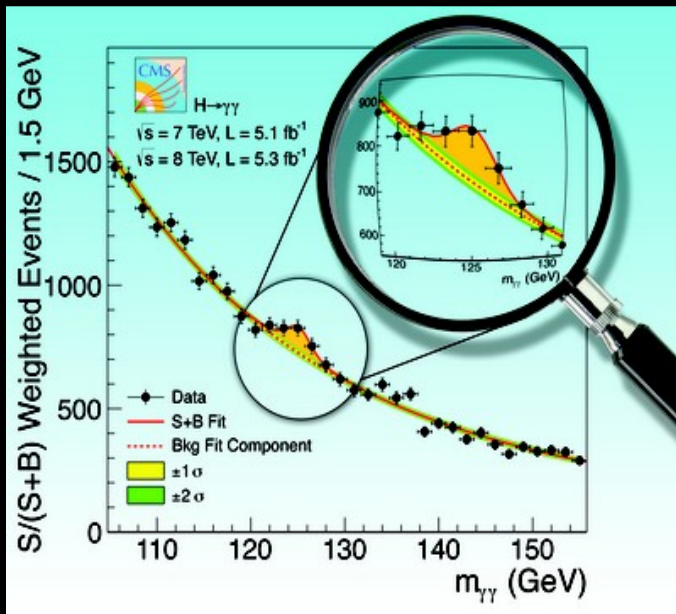
مدل استاندارد فیزیک ذرات بنیادی - دانسته‌ها



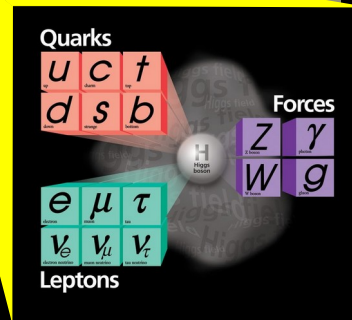
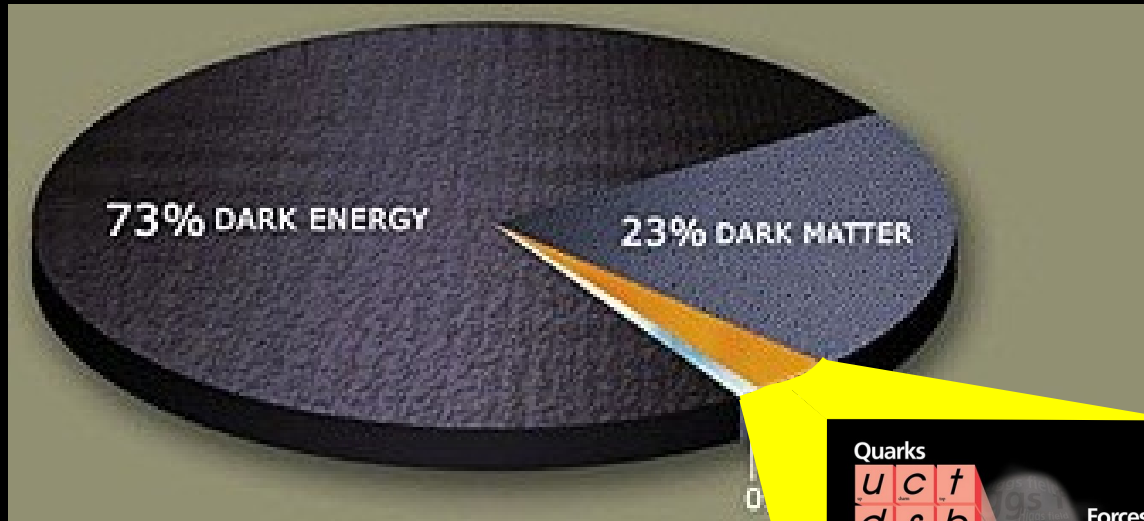
• مدل استاندارد با موفقیت چشمگیر در توصیف بیشتر مشاهدات آزمایشگاهی با دقتی بهتر از ۱٪

• مدل استاندارد با توانایی بی نظیر در پیش‌بینی وجود ذرات بنیادی

• آخرین ذره پیش‌بینی شده: بوزون هیگز که سال ۱۳۹۱ در سرن کشف شد



مدل استاندارد فیزیک ذرات بنیادی - نادانسته‌ها



منشاء ماده و انرژی تاریک؟

ارتباط گرانش با سایر نیروها؟

اختلاف $g-2$ با پیش‌بینی تئوری؟

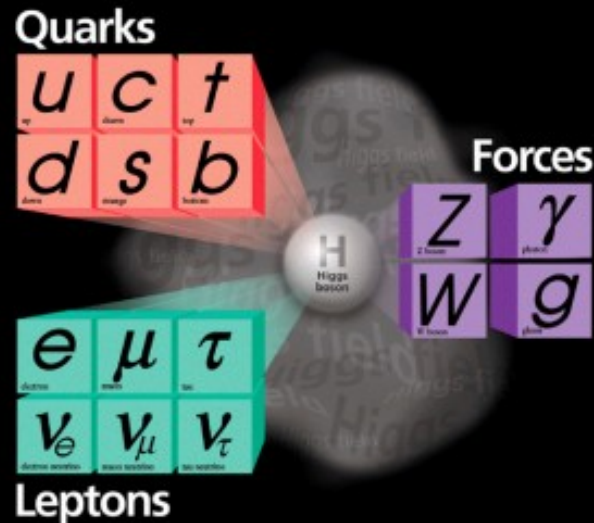
منشاء جرم نوترینوها؟

تعداد نسل‌های کوارکی و لپتونی، اختلاف جرم‌ها و ...

نظریه‌ای فرای مدل استاندارد

مدل‌های فرااستاندارد
ذرات جدید، برهمکنش‌های جدید

معمولاً **ذرات جدیدی** معرفی
می‌کند که



نظریه‌ای فرای مدل استاندارد

مدل‌های فرااستاندارد
ذرات جدید، برهمکنش‌های جدید

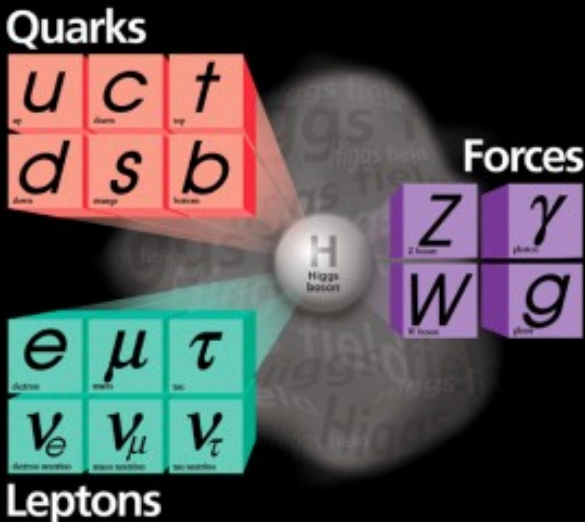
معمولاً **ذرات جدیدی** معرفی می‌کند که

• یا حاصل واپاشی ذرات مدل استاندارد هستند

$$X_{SM} \rightarrow \xi\xi$$

• به ذرات مدل استاندارد وامی‌باشند

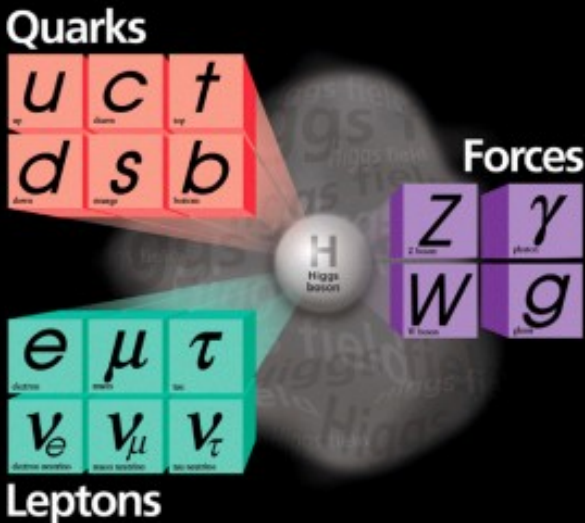
$$g \rightarrow y_{SM} y_{SM}$$



نظریه‌ای فرای مدل استاندارد

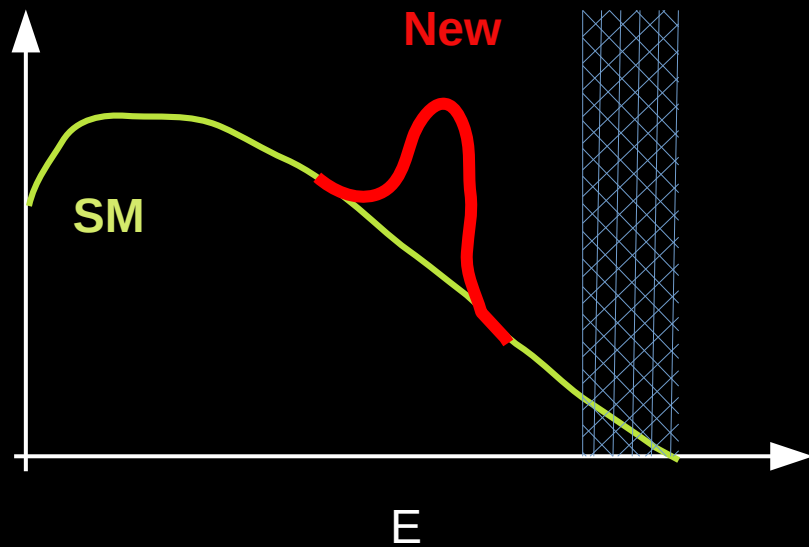
فرض: ذره‌ای جدید در نظریه
فرااستاندارد وجود دارد

سوال: آیا جرم این ذره در محدوده
انرژی در دسترس ماست؟



دسترسی به ذرات فرااستاندارد

فرض: ذره‌ای جدید در نظریه
فرااستاندارد وجود دارد



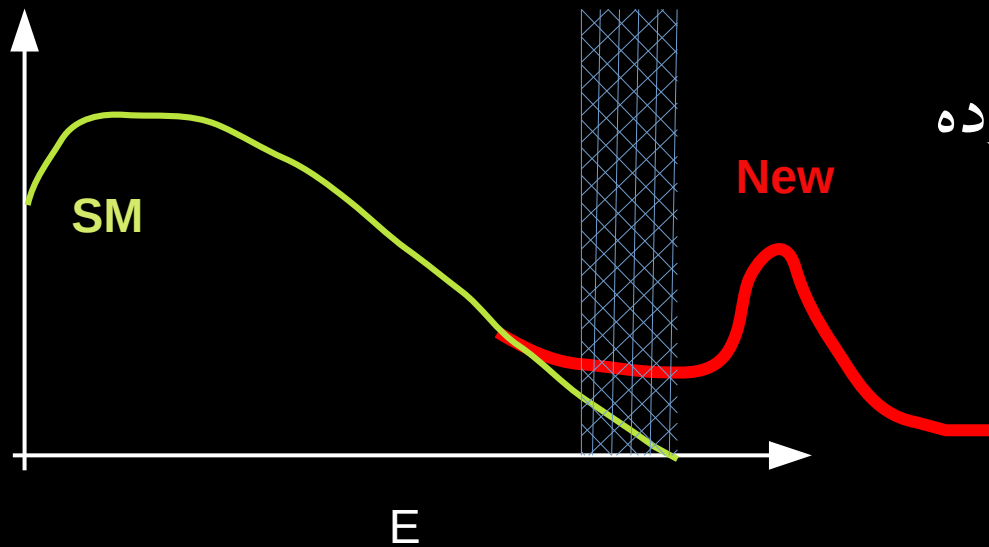
سوال: آیا جرم این ذره در محدوده
انرژی در دسترس ماست؟

جواب: بله!

مسیر پژوهش: جستجوی مستقیم ذره در مجموعه داده‌ها

دسترسی به ذرات فرااستاندارد

فرض: ذره‌ای جدید در نظریه فرااستاندارد وجود دارد



سوال: آیا جرم این ذره در محدوده انرژی در دسترس ماست؟

جواب: خیر!!

مسیر پژوهش: اندازه‌گیری دقیق فرآیندهای مدل استاندارد و تعبیر آنها

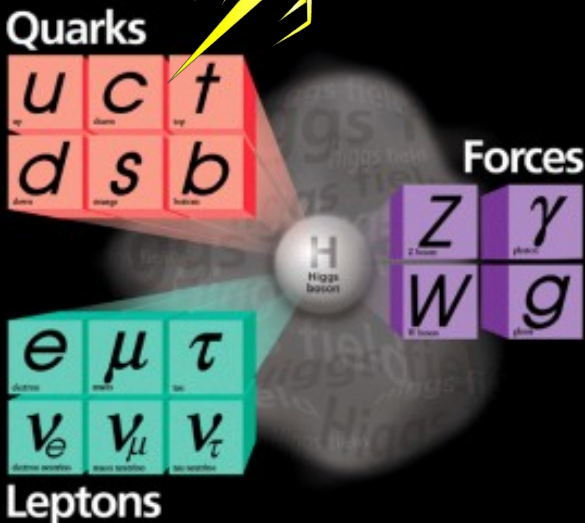
تعبیر اندازه‌گیری‌های (دقیق) مدل استاندارد

نظریه میدان موثر:

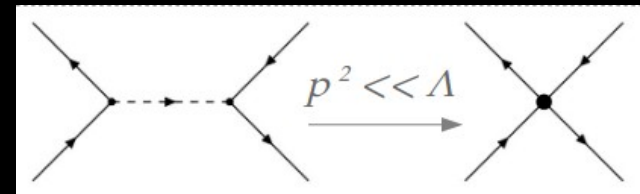
بسط اختلالی مدل استاندارد با پارامتریزه کردن آثار فیزیک فراستاندارد در انرژی E

Beyond SM
at $\Lambda \gg E$

Effective Field Theory



$$L = L_{SM}^{(4)} + \sum_i \frac{c_i^{(6)}}{\Lambda_i^2} O_i^{(6)} + \dots$$

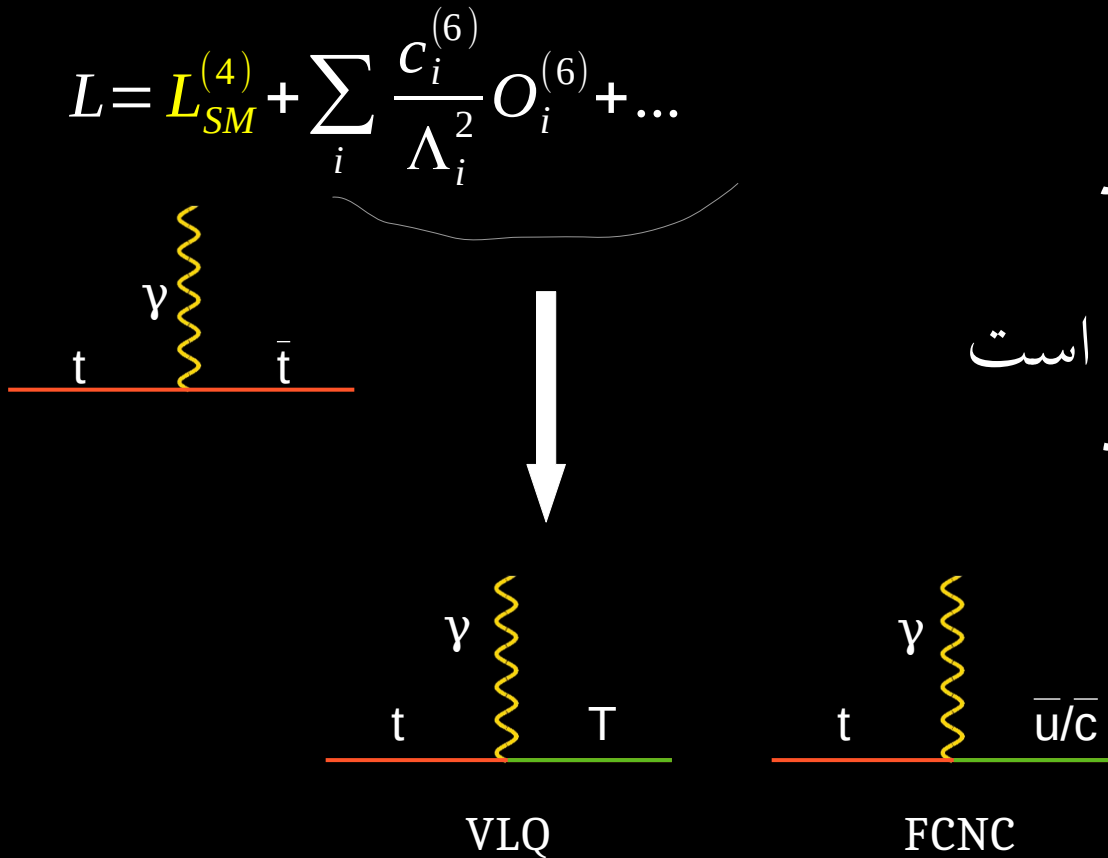


نظریه میدان موثر

ویژگی مهم و جذاب:

توصیف تئوری‌های فرااستاندارد

هر جفت‌دگی نظریه مؤثر ممکن است در یک یا چند مدل فرااستاندارد ظاهر شود و بالعکس



دسترسی به فرااستاندارد: کجا؟



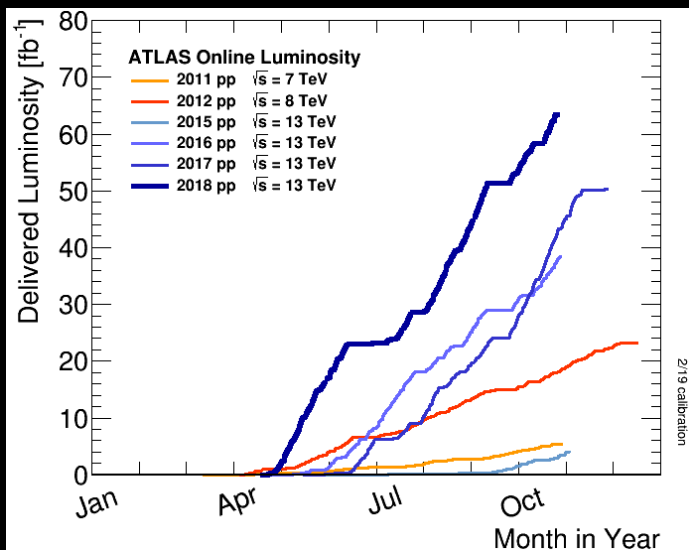
برخورددهنده بزرگ هادرونی

دسترسی به فرااستاندارد: کجا؟

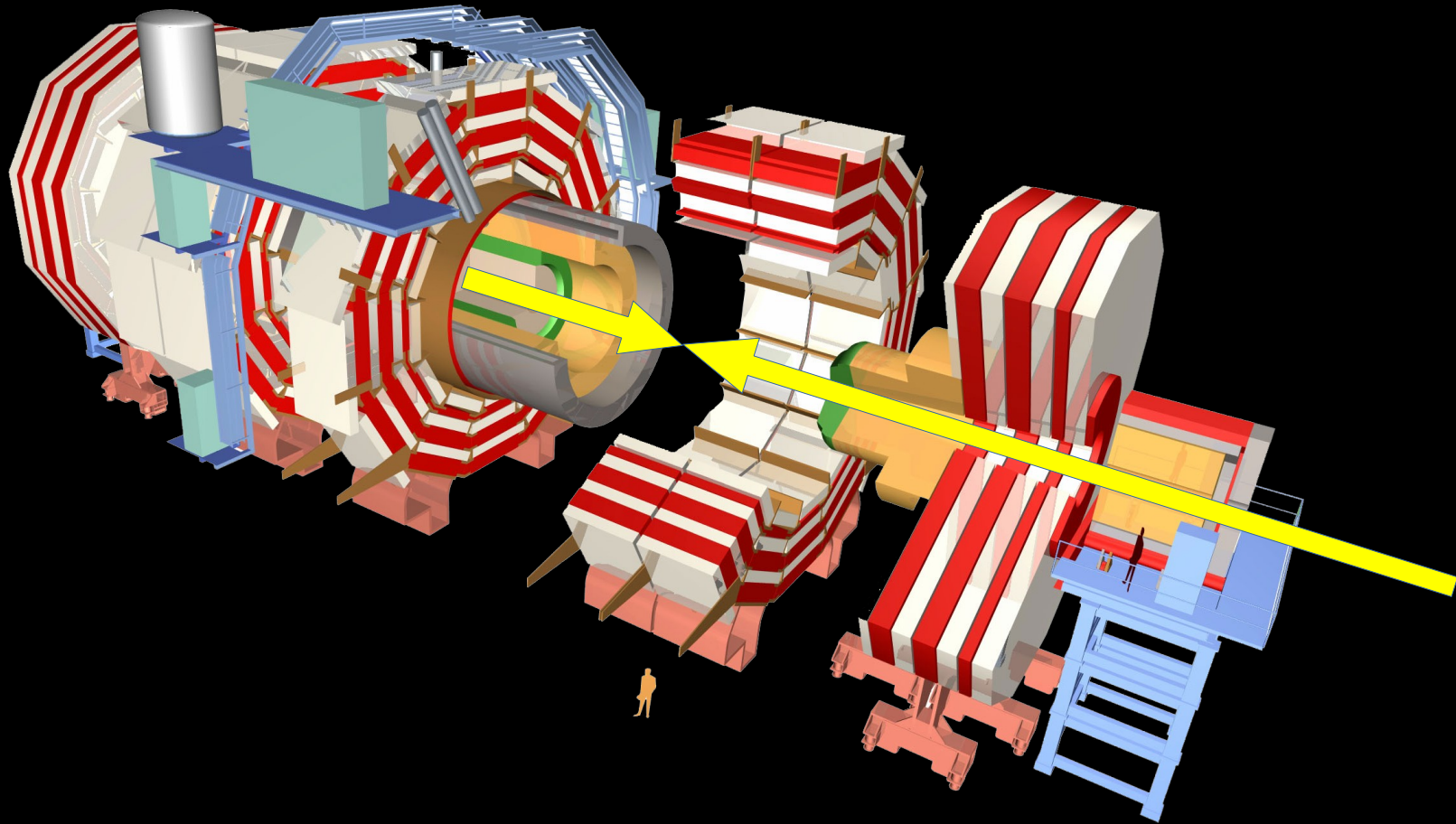


برخورددهنده بزرگ هادرونی

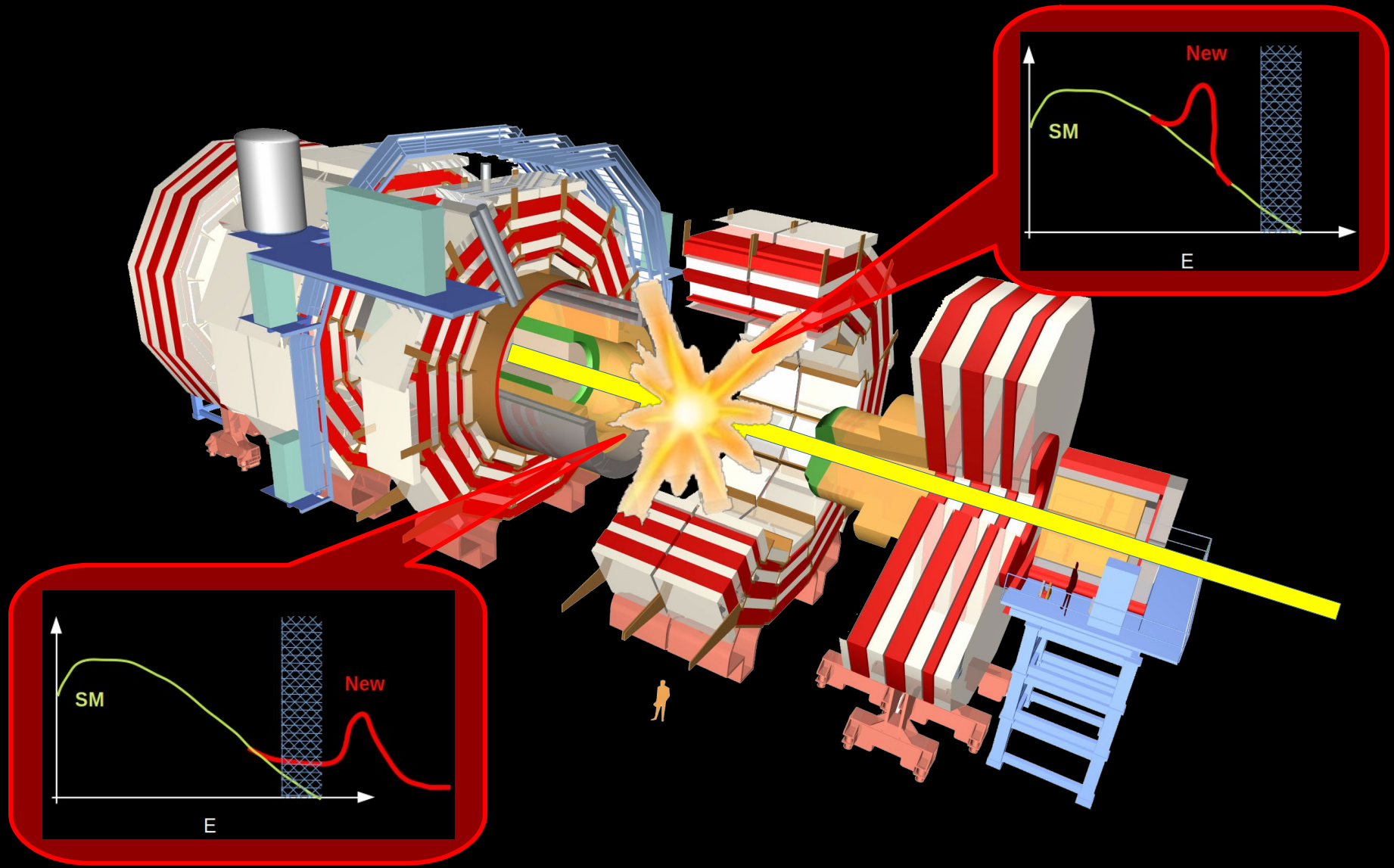
تولید کننده میلیاردها برخورد پروتونی تا به امروز



آشکارساز سی.ام.اس (سیملوله فشرده میوئون)



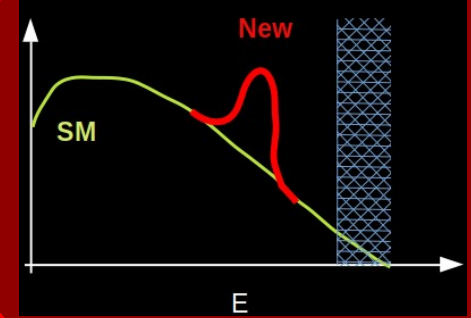
آشکار ساز سی.ام.اس (سیملوله فشرده میوٹون)



جستجوی مستقیم یا اندازه گیری دقیق

آشکار ساز سی.ام.اس (سیملوله فشرده میوٹون)

برنامه فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان



حامد بخشیان سهی



عبیده جعفری



الهام خزاعی

دکتری



مهدی حاج مقصود

کارشناسی ارشد



فرید نادرپور



زهرا دلاور

کارشناسی

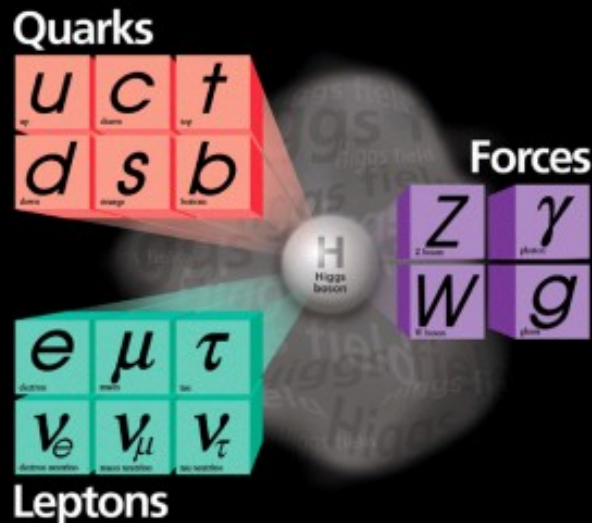
جستجوی مستقیم یا اندازه گیری دقیق

جستجوی مستقیم در بخش اسکالر مدل استاندارد



از زمینه‌های پژوهشی بسیار فعال

نظریه فرااستاندارد:
مدل‌هایی با هیگزهای اضافه و
ذرات اسکالر اضافه!



یکی از پیش‌بینی‌ها:

وجود ذره a با اسپین صفر بطوریکه

$$H_{SM} \rightarrow aa$$

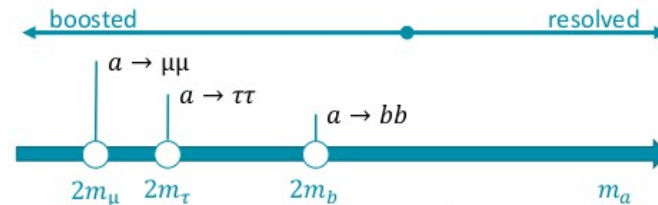
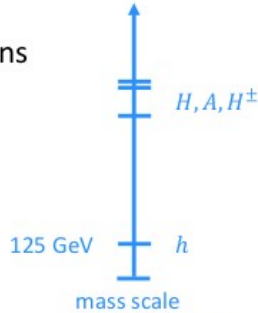
جستجوی مستقیم در بخش اسکالر مدل استاندارد

The Higgs or A Higgs?

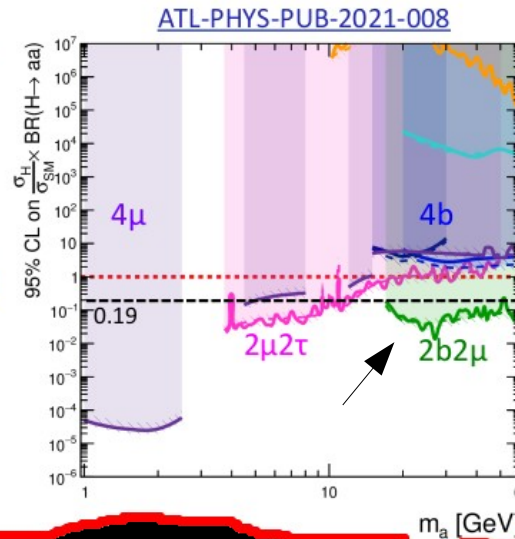
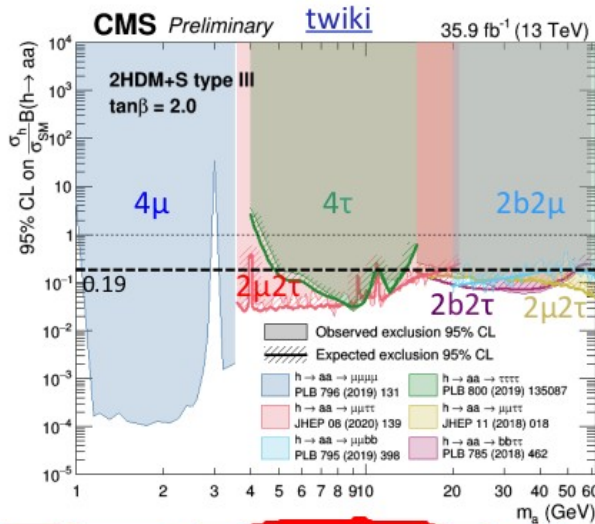
- ▷ In BSM models with more Higgs bosons, some can resemble *the* Higgs
- ▷ Direct search for additional light and heavy Higgs bosons

2HDM has 5 Higgs bosons

- h : "SM" Higgs
- H : heavy Higgs
- A : pseudoscalar
- H^\pm : charged Higgs



2HDM+S



ATLAS Preliminary
March 2021

Run 1: $\sqrt{s} = 8$ TeV
Run 2: $\sqrt{s} = 13$ TeV

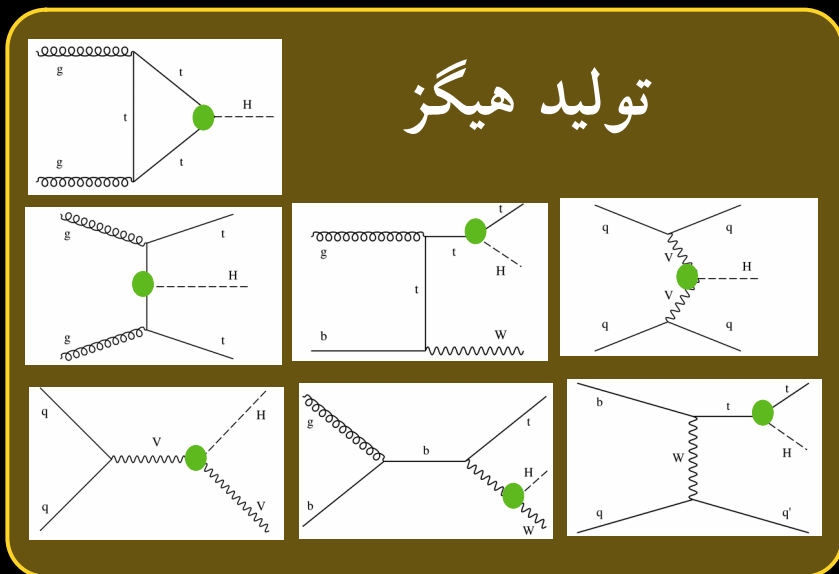
2HDM+S Type-III, $\tan\beta = 2$

- expected $\pm 1 \sigma$
- observed
- Run 1 20.3 fb⁻¹ $H \rightarrow aa \rightarrow \mu\mu\tau\tau$
PRD 92 (2015) 052002
- Run 1 20.3 fb⁻¹ $H \rightarrow aa \rightarrow \gamma\gamma\gamma$
EPJC 76 (2016) 210
- Run 2 36.1 fb⁻¹ $H \rightarrow aa \rightarrow \mu\mu\mu\mu$
JHEP 06 (2018) 166
- Run 2 36.1 fb⁻¹ $H \rightarrow aa \rightarrow bbbb$
JHEP 10 (2018) 031
- Run 2 36.1 fb⁻¹ $H \rightarrow aa \rightarrow bbbb$
PRD 102 (2020) 112006
- Run 2 36.7 fb⁻¹ $H \rightarrow aa \rightarrow \gamma\gamma\gamma\gamma$
PLB 782 (2018) 750
- Run 2 139 fb⁻¹ $H \rightarrow aa \rightarrow bb\mu\mu$
ATLAS-CONF-2021-009

از سخنرانی دکتر راحتلو در جلسه صبح

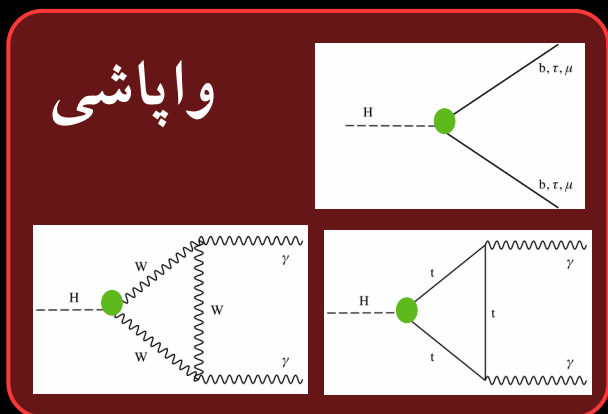
سوال: آیا اندازه‌گیری‌های فعلی واپاشی هیگز جایی برای
واپاشی غیر استاندارد می‌گذارد؟

سوال: آیا اندازه گیری های فعلی واپاشی هیگز جایی برای واپاشی غیر استاندارد می گذارد؟

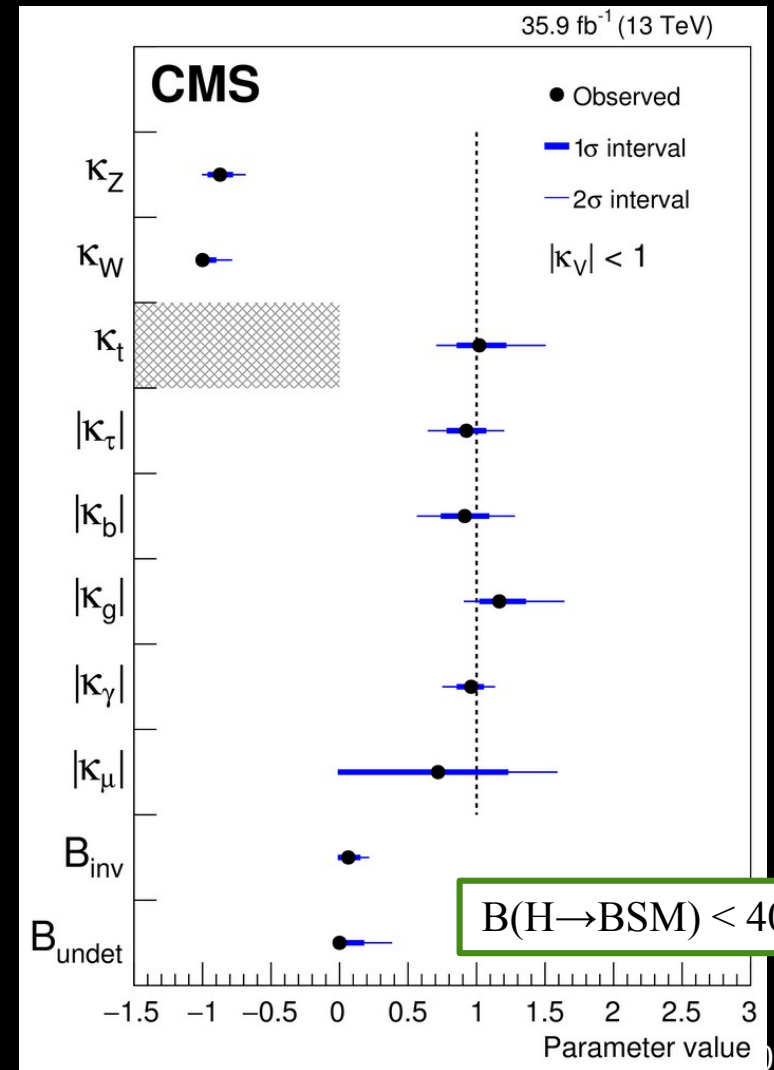
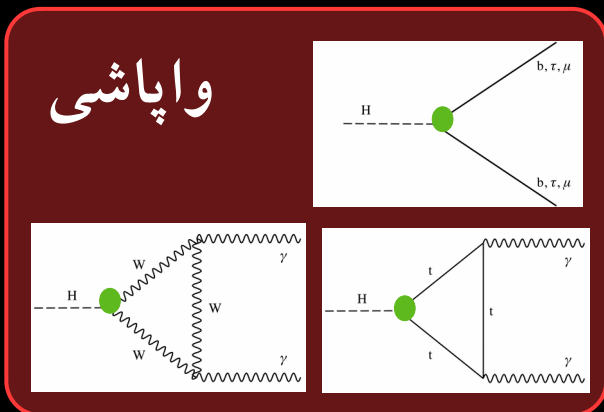
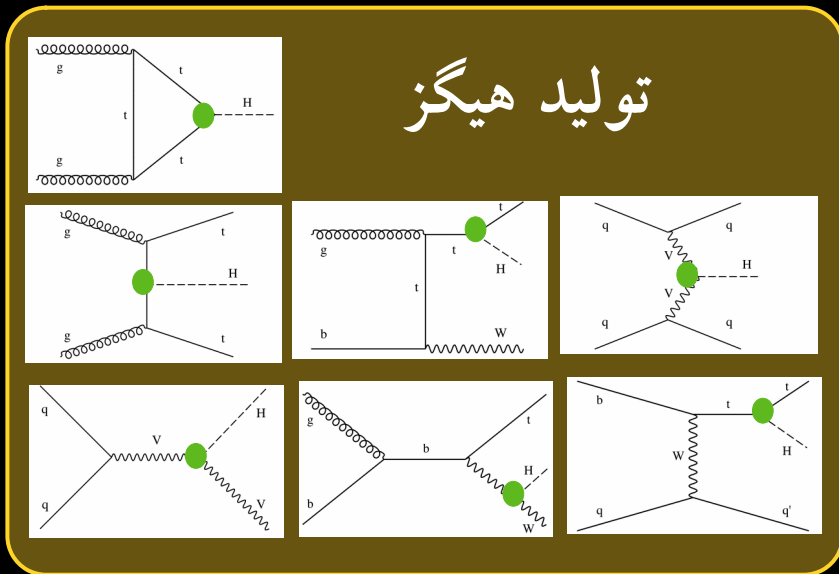


ترکیب اطلاعات جفتدگی هیگز با ذرات مختلف در تولید و واپاشی هیگز

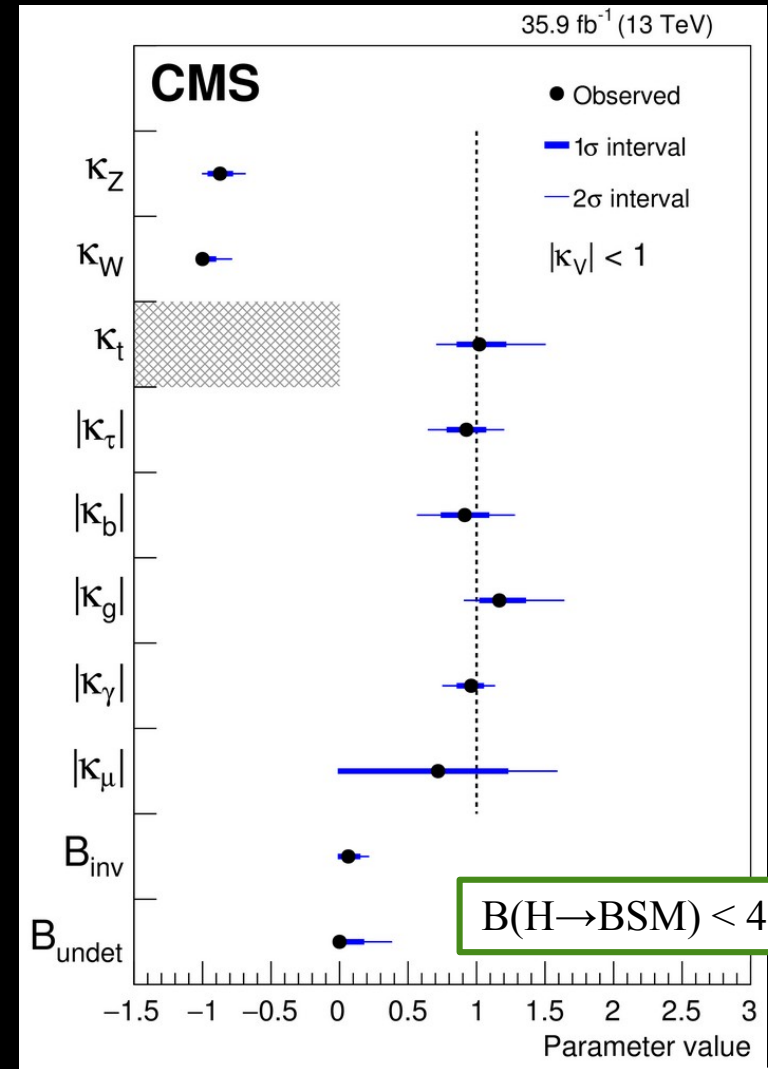
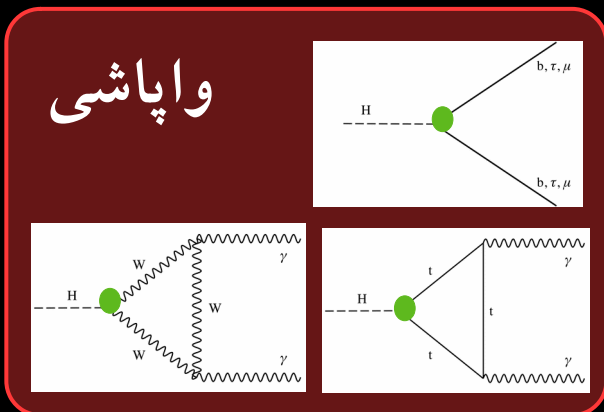
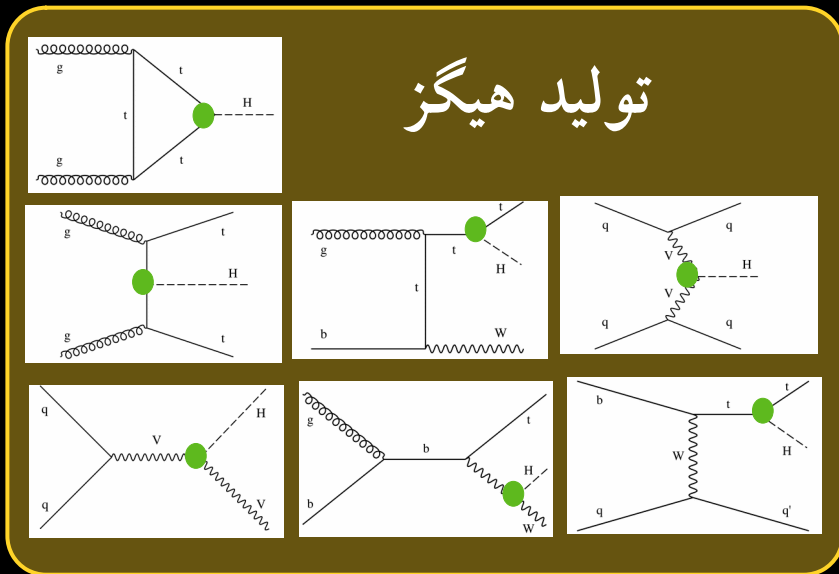
نکته: جفتدگی قابل ترجمه به احتمال واپاشی (B) است



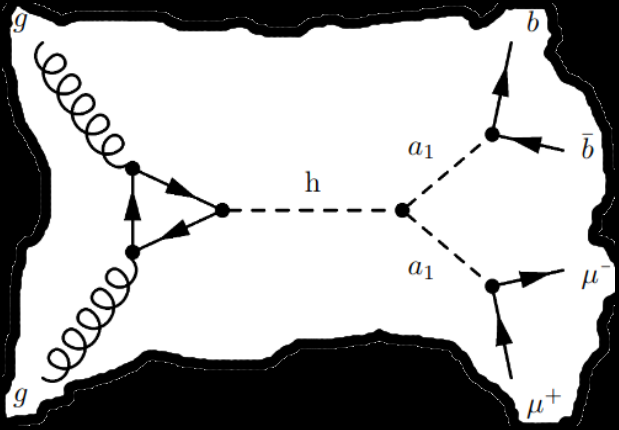
سوال: آیا اندازه گیری های فعلی واپاشی هیگز جایی برای واپاشی غیر استاندارد می گذارد؟



سوال: آیا اندازه گیری های فعلی واپاشی هیگز جایی برای واپاشی غیر استاندارد می گذارد؟



جستجوی مستقیم واپاشی‌های غیر استاندارد هیگز

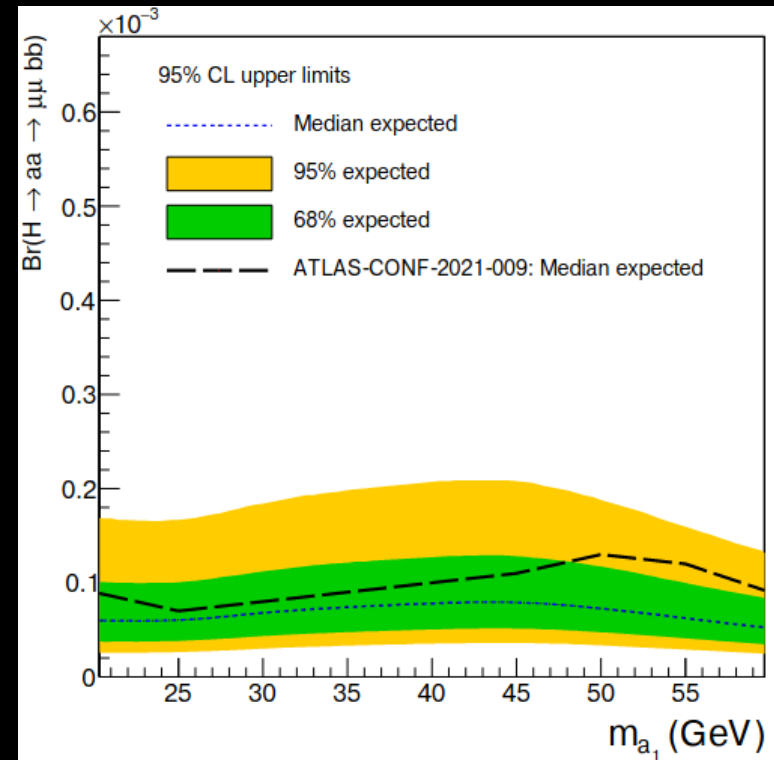


کانال مورد علاقه ما:

یکی از ذرات جدید به دو میوئون و دیگری به دو کوارک ته واپاشی کند

$$H_{SM} \rightarrow aa \rightarrow \mu\mu bb$$

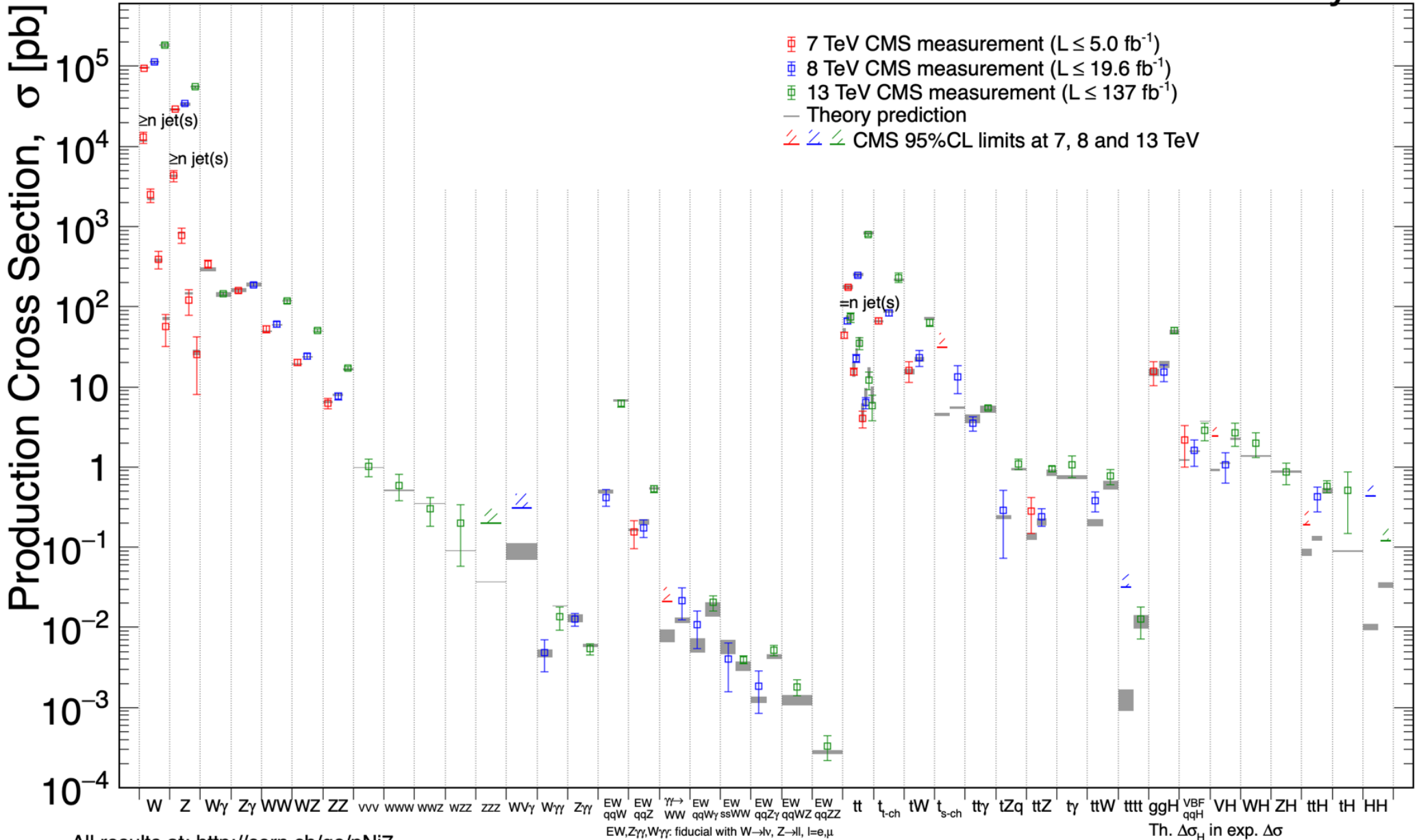
حدود قوی تر از آخرین نتایج اتلس!



اندازه‌گیری مدل استاندارد: فرآیندهای کم احتمال

June 2021

CMS Preliminary

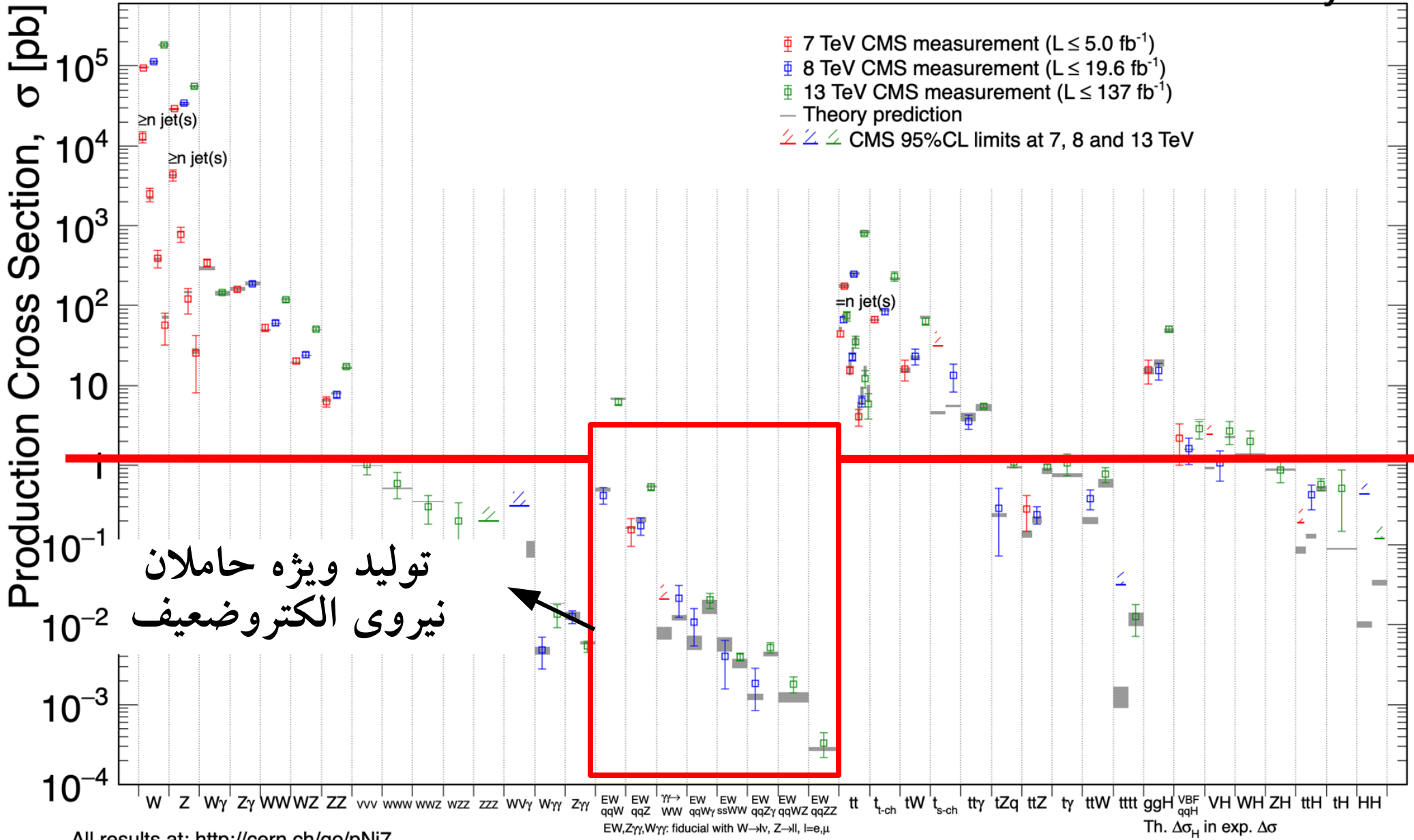


All results at: <http://cern.ch/go/pNj7>

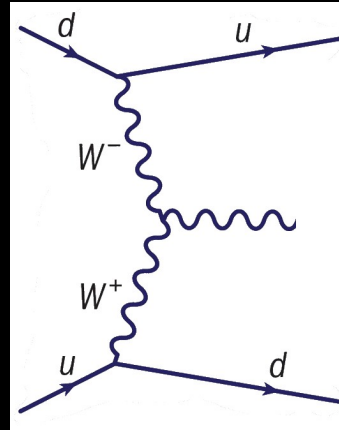
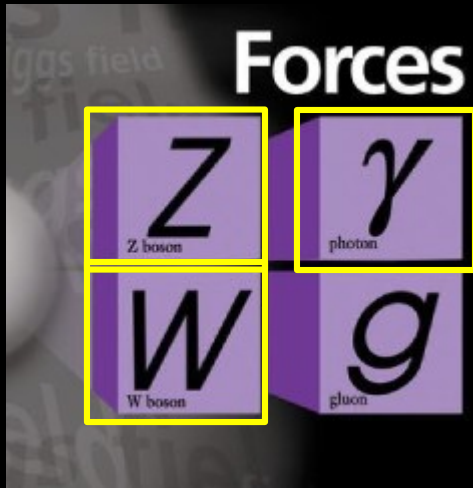
اندازه‌گیری مدل استاندارد: فرآیندهای کم احتمال

June 2021

CMS Preliminary

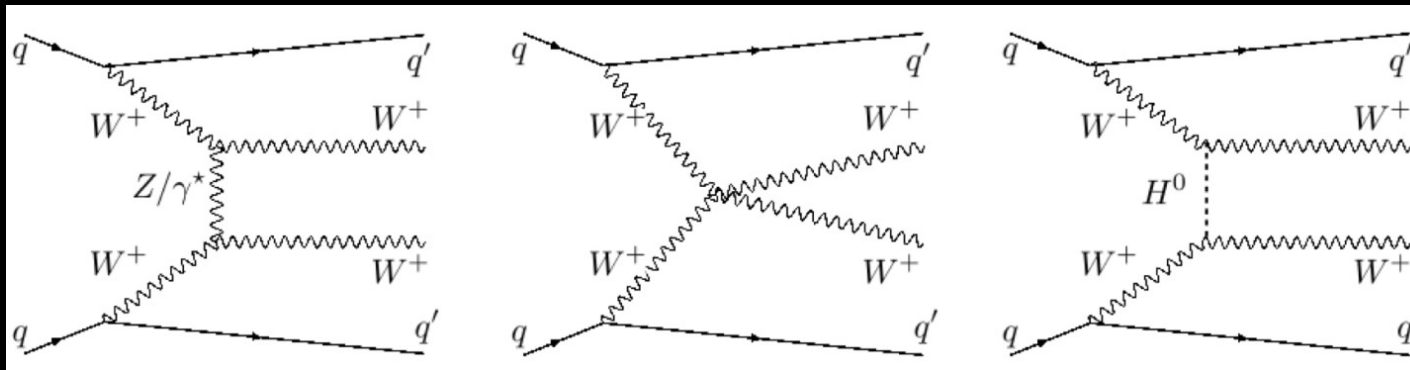


توليد ويژه حاملان نيروي الكتروضعيف



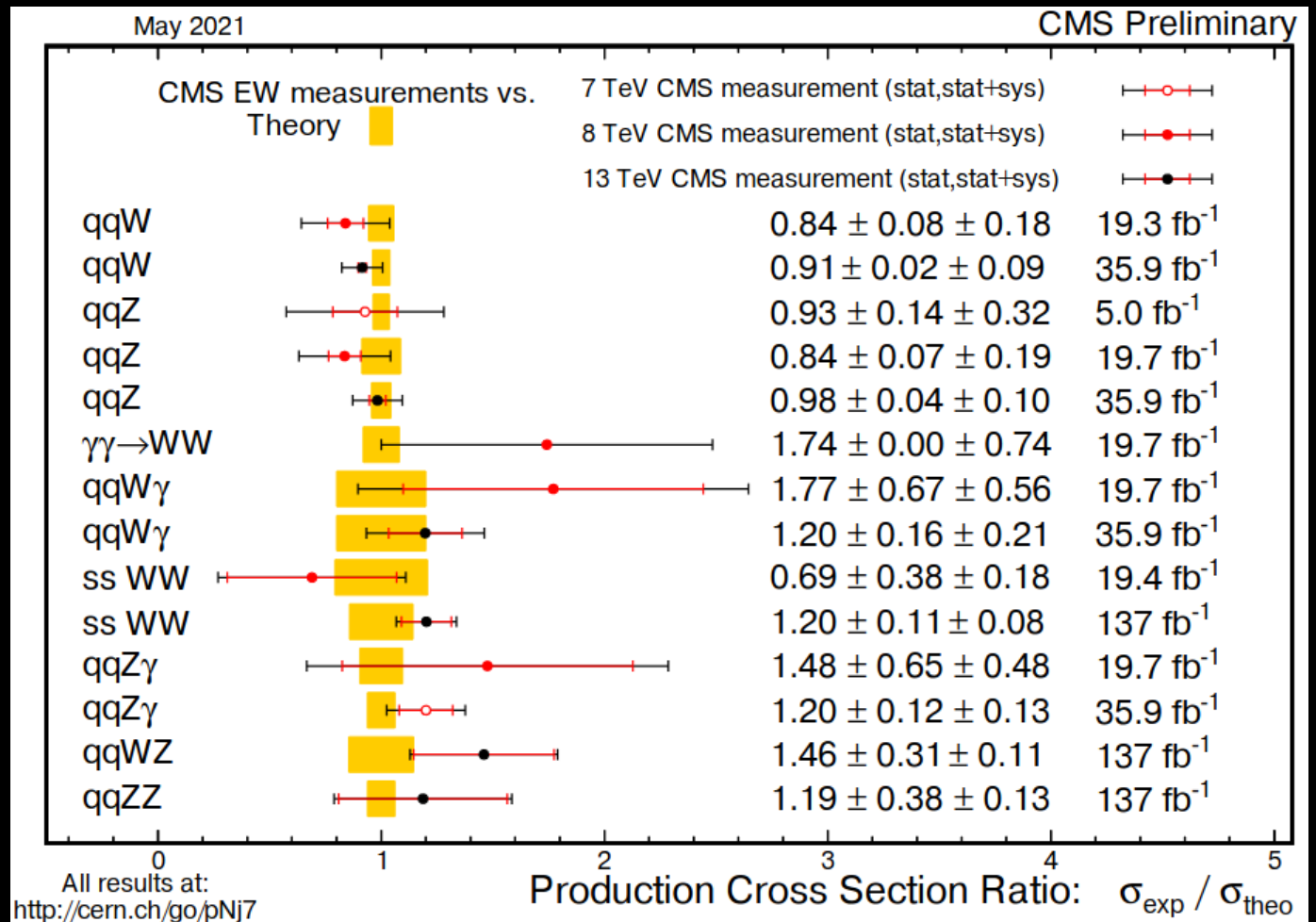
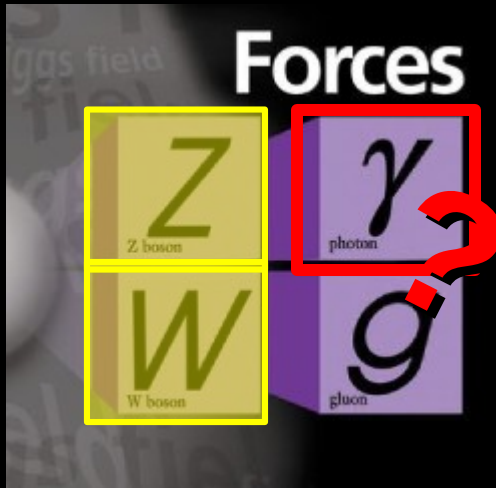
Vector Boson Fusion – VBF

Vector Boson Scattering – VBS

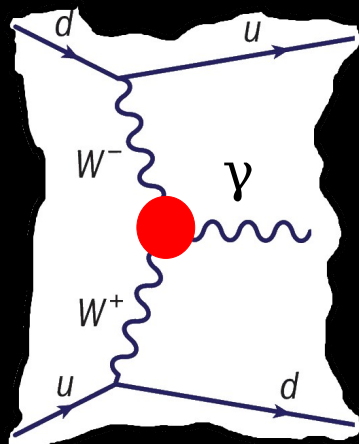


تولید ویژه حاملان نیروی الکتروضعیف

تولید تک فوتون (VBF) اندازه گیری نشده!



تولید فوتون با فرآیند VBF



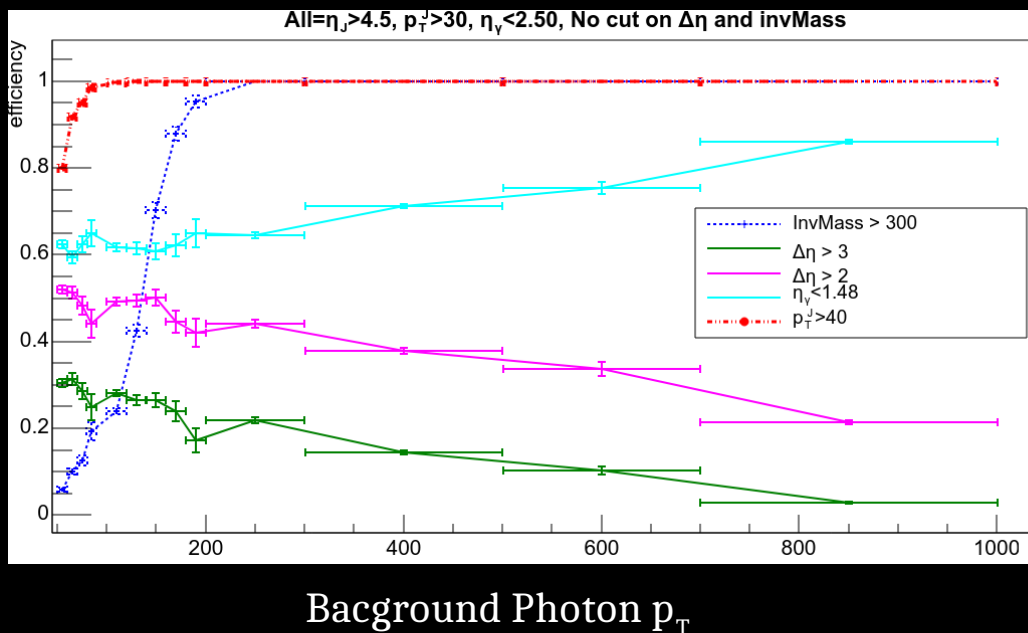
امکان مطالعه راس $WW\gamma$ در نظریه میدان موثر

بسیار چالشی: تخمین پس زمینه‌ها

فعالیت‌های ما:

- تحلیل همه داده‌های LHC در انرژی ۱۳ تراالکترون‌ولت

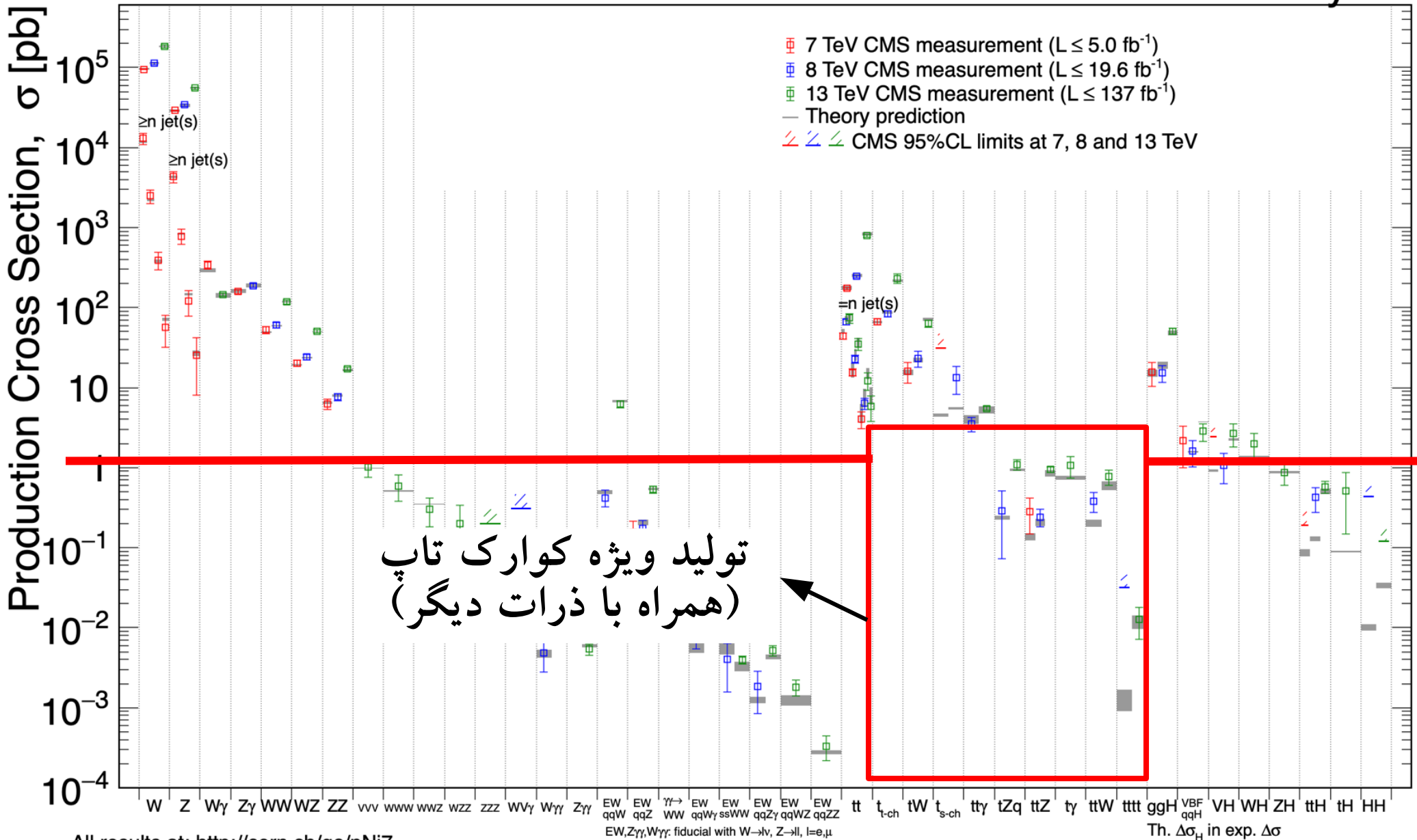
- مطالعه حساسیت در برخوردها با درخشندگی بالا (سال ۲۰۲۷)



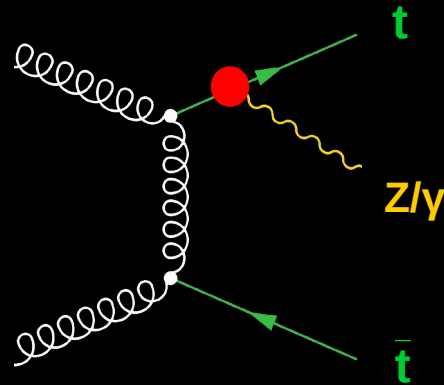
اندازه‌گیری مدل استاندارد: فرآیندهای کم احتمال

June 2021

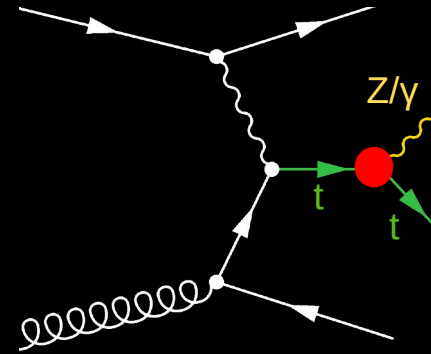
CMS Preliminary



تولید کوارک تاپ همراه با ذرات دیگر



Top pair



Single top

پتانسیل پژوهشی: اندازه‌گیری دقیق با استفاده از حجم بالای داده‌ها

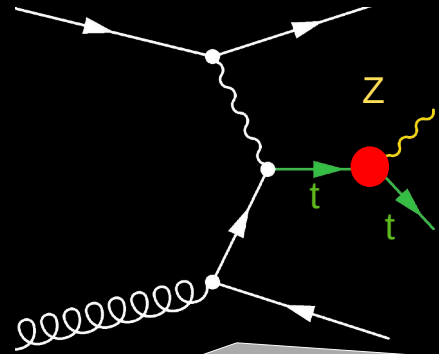
دسترسی مستقیم به جفتدگی‌های الکتروضعیف تاپ

استفاده از تکنیک‌های پیشرفته یادگیری ماشین

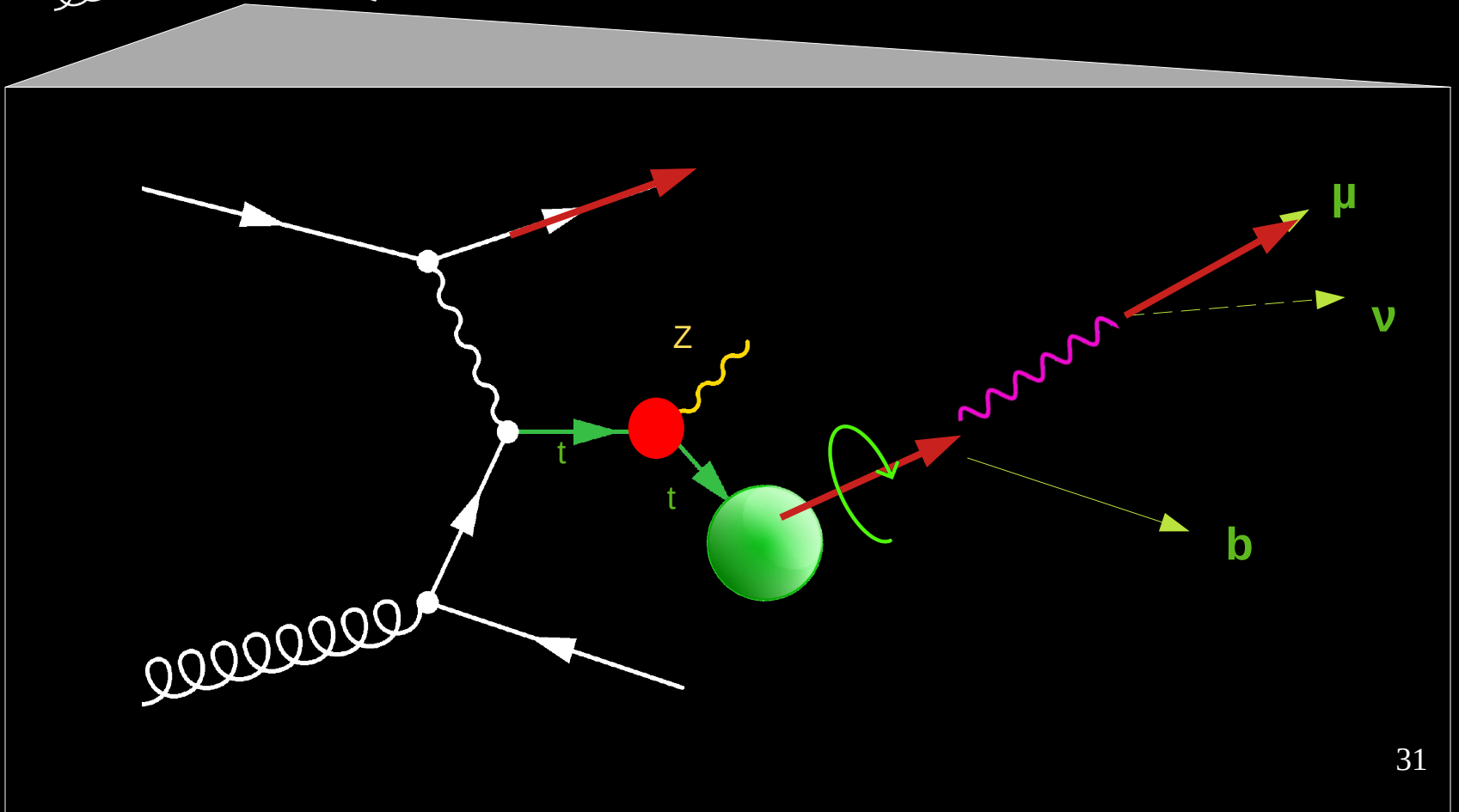


تجربه: اندازه گیری دیفرانسیلی tZq

Single top



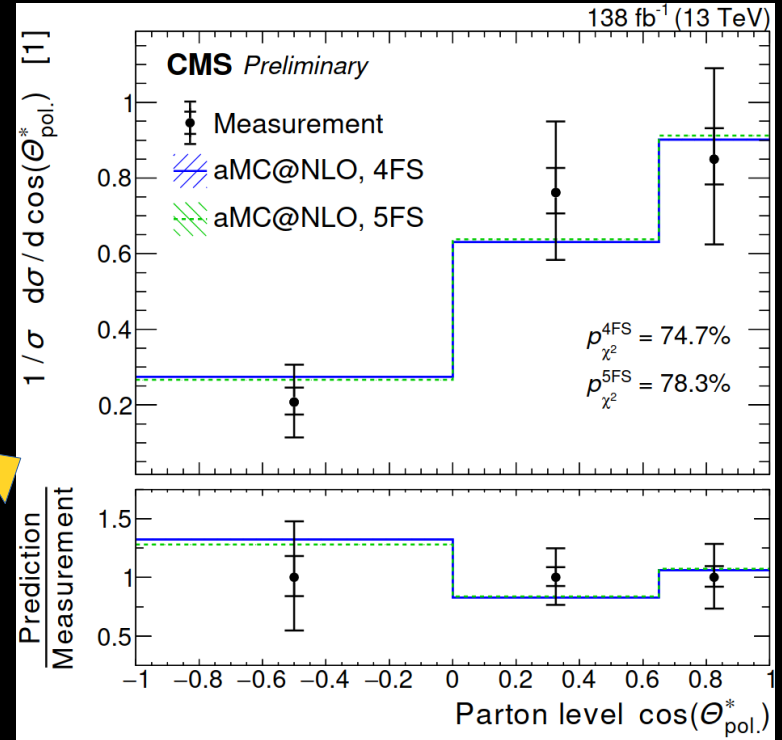
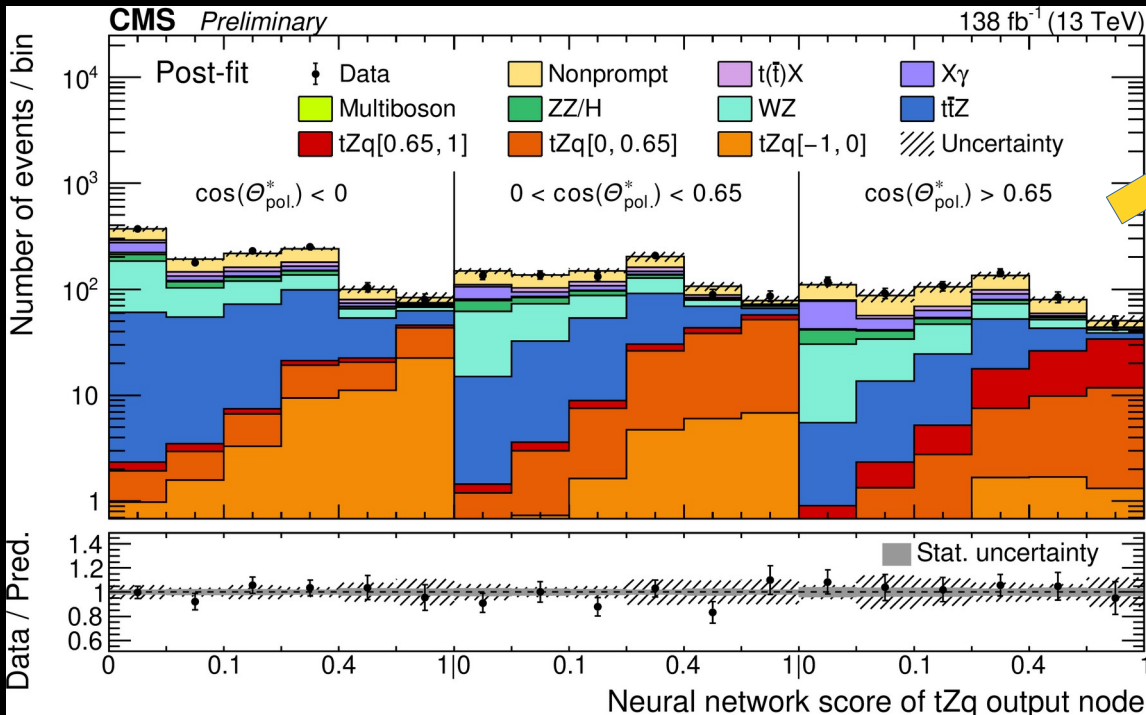
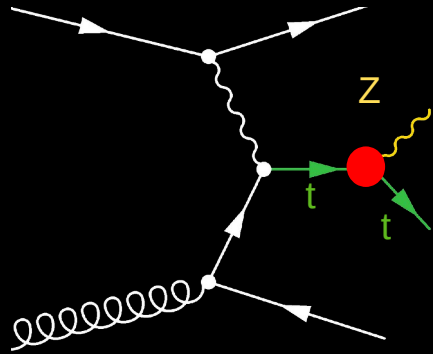
حساسیت به اسپین تاپ
و جفتدگی های جدید





تجربه: اندازه گیری دیفرانسیلی tZq

Single top

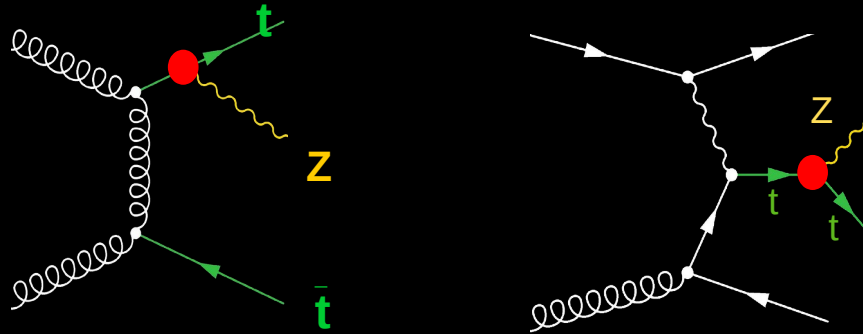


حساسیت به اسپین تاپ
و جفتدگی های جدید

خروجی شبکه عصبی مولتی-کلاس

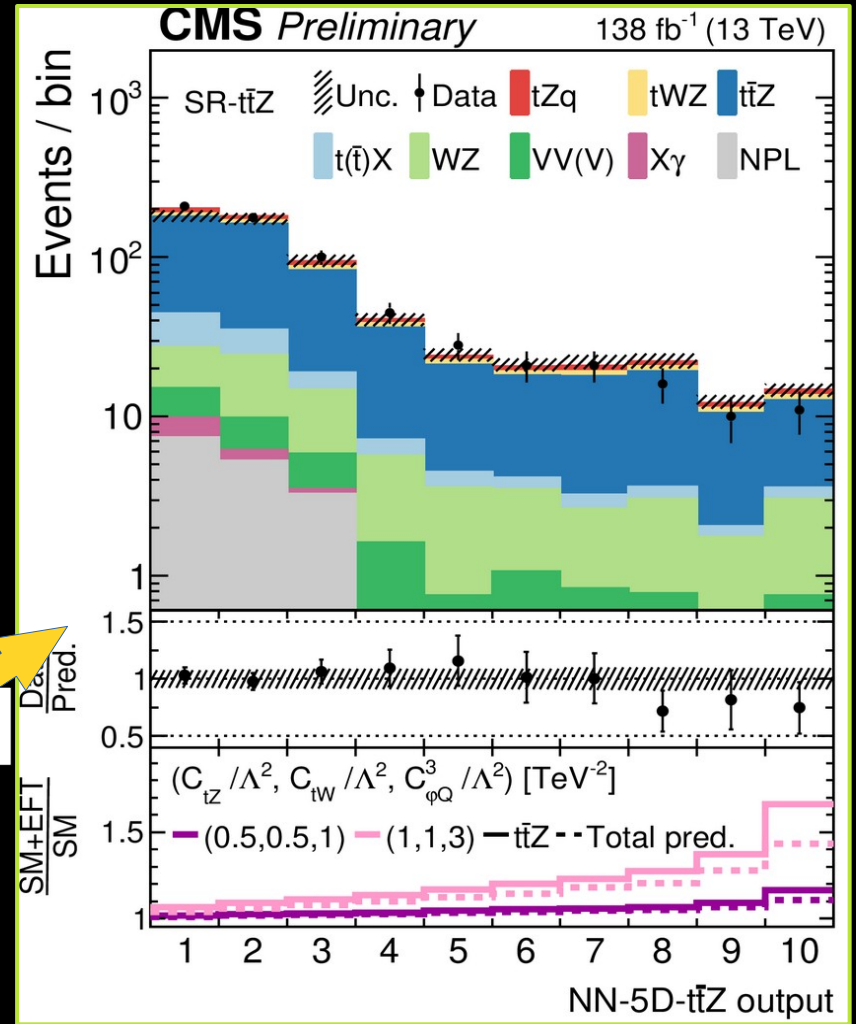


تجربه: یادگیری ماشین در نظریه میدان موثر



Operator	WC	Mapping to Warsaw-basis coefficients
\mathcal{O}_{tZ}	c_{tZ}	$\text{Re}\{ -s_W c_{uB}^{(33)} + c_{uW}^{(33)} \}$
\mathcal{O}_{tW}	c_{tW}	$\text{Re}\{ c_{uW}^{(33)} \}$
$\mathcal{O}_{\varphi Q}^3$	$c_{\varphi Q}^3$	$c_{\varphi q}^{3(33)}$
$\mathcal{O}_{\varphi Q}^-$	$c_{\varphi Q}^-$	$c_{\varphi q}^{1(33)} - c_{\varphi q}^{3(33)}$
$\mathcal{O}_{\varphi t}$	$c_{\varphi t}$	$c_{\varphi u}^{(33)}$

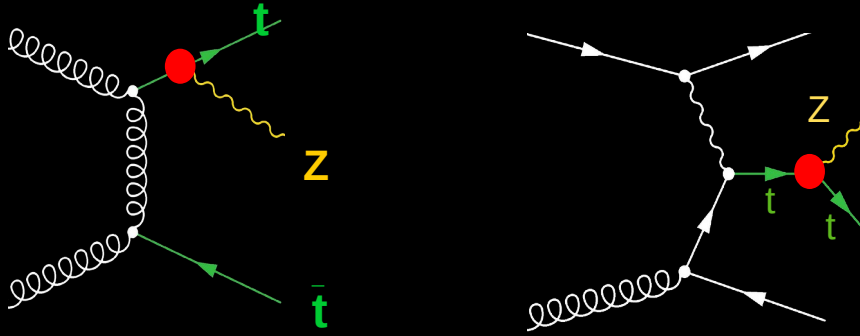
training



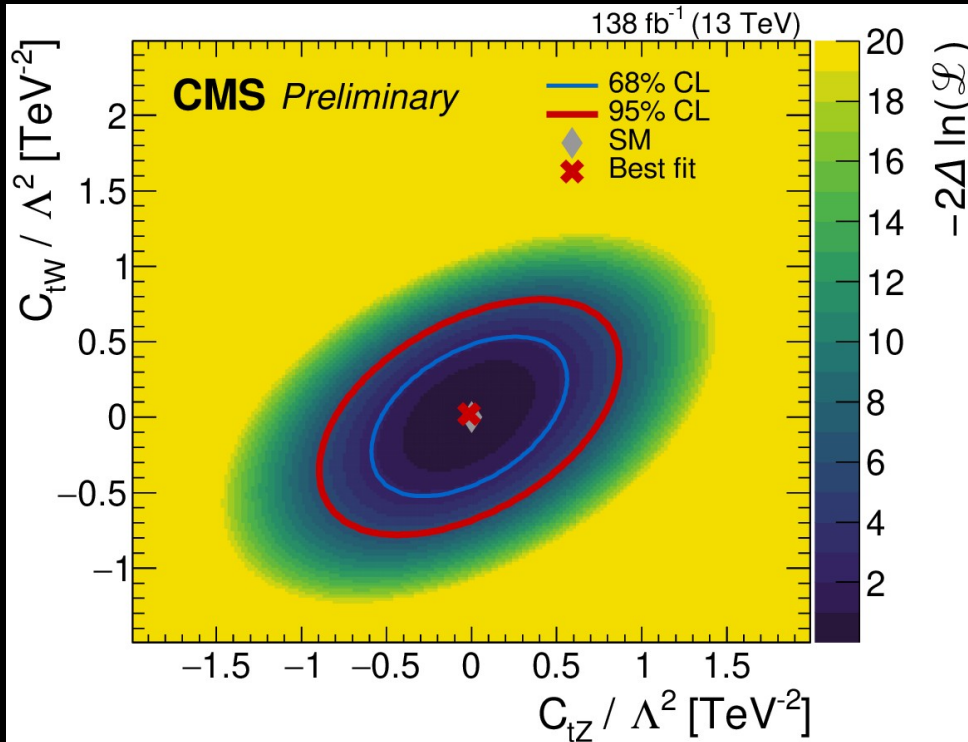
خروجی شبکه عصبی مولتی-کلاس برای ttZ



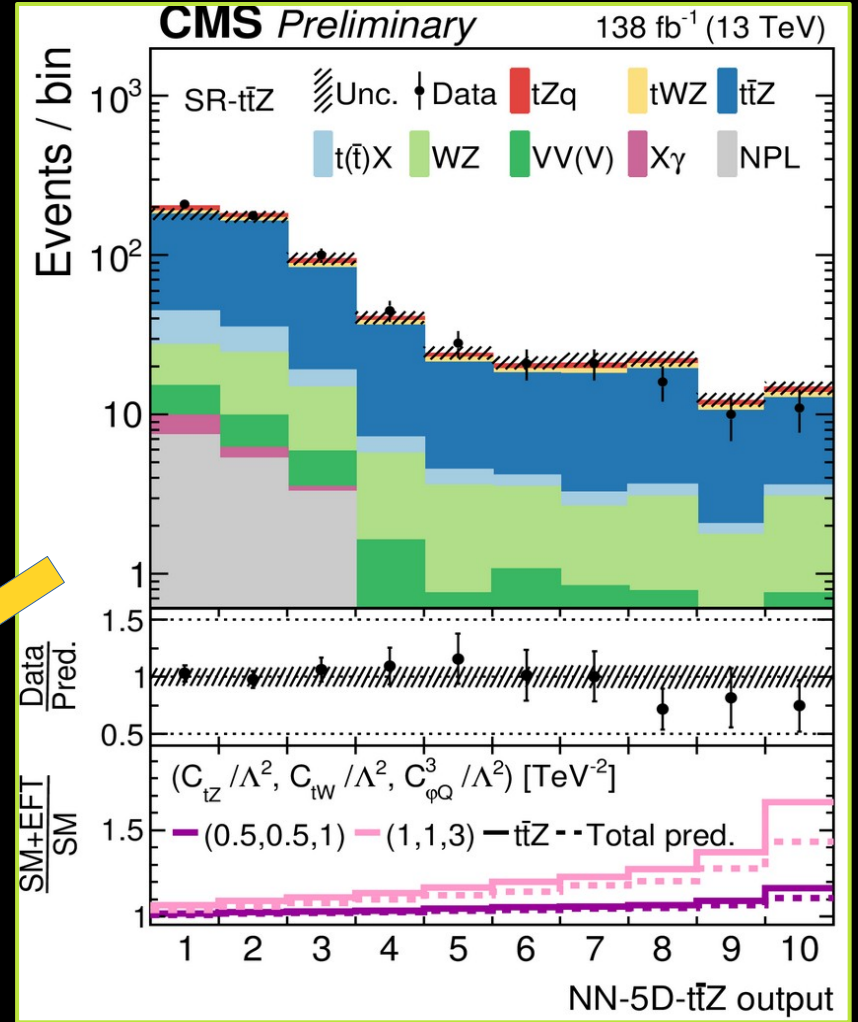
تجربه: یادگیری ماشین در نظریه میدان موثر



جفتدگی تاپ و بوزون W



جفتدگی تاپ و بوزون Z



خروجی شبکه عصبی مولتی-کلاس برای ttZ



تجربه: یادگیری ماشین در نظریه میدان موثر

CERN COURIER
September/October 2021 cerncourier.com
Reporting on international high-energy physics

ARTIFICIAL INTELLIGENCE

CMS
Learning to detect new top-quark interactions

Ever since its discovery in 1995 at the Tevatron, the top quark has been considered to be a highly effective probe of new physics. A key reason is that the last fundamental fermion predicted by the Standard Model (SM) has a remarkably high mass, just a sliver under the Higgs vacuum expectation value divided by the square root of two, implying a Yukawa coupling close to unity. This has far-reaching implications: the top quark impacts the electroweak sector significantly through loop corrections, and may couple preferentially to new massive states. But while the top quark may represent a window into new physics, we cannot know a priori whether new massive particles could ever be produced at the LHC, and direct searches have so far been inconclusive. Model-independent measurements carried out within the framework of effective-field theory (EFT) are therefore becoming increasingly important as a means to make the most of the wealth of precision measurements at the LHC. This approach makes it possible to systematically correlate sparse deviations observed in different measurements, in order to pinpoint any anomalies in top-quark couplings that might arise from

from the data using a strategy that combines observables specifically selected for their sensitivity to EFT. The key feature of this work is its heavy use of multivariate-analysis techniques based on machine learning, which improve its sensitivity to new interactions. First, to define regions enriched in the processes of interest, a multiclass neural network is trained to discriminate between different SM processes. Subsequently, several binary neural networks learn to separate events generated according to the SM from events that include EFT effects arising from one or more types of anomalous interactions. For the first time in an analysis using LHC data, these classifiers were trained on the full physical amplitudes, including the interference between SM and EFT components.

The binary classifiers are used to construct powerful discriminant variables out of high-dimensional input data. Their distributions are fitted to data to constrain up to five types of EFT couplings simultaneously. The widths of the corresponding confidence intervals are significantly reduced thanks to the combination of the available kinematic information that was specifically

Fig. 1. The response of a neural network used to target a specific type of EFT interaction in ttZ production. The lower panel shows the change of the events yield in each bin with respect to the SM post-fit expectation for two benchmark EFT scenarios, both for the ttZ process (solid line) and the total prediction (dotted), illustrating the neural network's ability to isolate anomalous effects.

CMS highlight in the latest edition of the **CERN Courier** 35

جمع بندی

مدل استاندارد ذرات بنیادی و سؤالات بی پاسخ

آزمایش سی.ام.اس در چاهای برای دریافت پاسخ از طبیعت

دسترسی به مدل‌های فرااستاندارد با جستجوی مستقیم و اندازه‌گیری دقیق

نظریه میدان مؤثر بعنوان یک راهکار فراگیر

استفاده از تکنیک‌های پیشرفته یادگیری ماشین



آزمودن همه مسیرهای ممکن در
دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی اصفهان