

مدل استاندارد  
دنیای جدید و زیبای ذرات  
گای ویلکنسون  
(نگاهی بسیار کوتاه به روش جستجو در پی ذرات ناشناخته جدید در آشکارساز LHCb)  
برگردان: امید برومند

در آزمایشی در برخورد دهنده هادرنی بزرگ LHC اولین نشانه‌ها از برهمکنش‌هایی مشاهده شده‌اند که با مدل‌های قبلی سازگار نیستند. نظریه‌پردازان در رابطه با وجود ذره‌ی ناشناخته‌ای در این برخوردها گمانه‌زنی می‌کنند.



گای ویلکنسون فیزیک‌دان ذره‌ای از دانشگاه آکسفورد است. او از 2014 تا 2017 سخن‌گوی آزمایش LHCb در سرن بود.



اخبار تلویزیون معمولن با خبری از فیزیک شروع نمی‌شوند. اما 4 ژوئن 2012 یک استثناء بود. در این روز نگاه تمام جهان به ژنو بود، جایی که فیزیکدانان LHC (Large Hadron Collider beauty) (1) خبر موفقیت‌آمیز پایان جستجوی تقریباً پنجاه ساله در پی ذره‌ی بوزون هیگز (2) را اعلام کردند. این ذره در طی همین مدت زمان برای فیزیک‌دانان تجربی به-مثابه‌ی آخرین حلقه‌ی مفقود در مدل استاندارد فیزیک ذرات به حساب می‌آمد، نظریه‌ای که تمام ذرات زیر اتمی سنگ بنای کیهان، و برهمکنش‌های آن‌ها را دربر می‌گیرد.

این کشف پیروزمندانه جشن گرفته شد. اما بسیاری از فیزیک‌دانان اکنون بر این باورند که باید تعداد بیشتری ذرات اولیه نسبت به مقدار در نظر گرفته شده توسط مدل استاندارد وجود داشته باشند، به همین جهت آنها جستجوی دشواری را در پی یافتن این ذرات عجیب آغاز کردند. آزمایشات بزرگ ATLAS و CMS در LHC که باعث کشف بوزون هیگز شدند، بدون شک در این جستجو همچنان نقش مهمی را ایفا خواهند کرد. اما ممکن است که یک پروژه‌ی کوچک‌تر و کم‌تر شناخته شده در جای دیگری از شتاب دهنده، یعنی LHCb سرانجام از همه پیشی بگیرد.

این آزمایش، بر پایه‌ی طرح و برنامه‌ی اساسن متفاوتی نسبت به ATLAS، CMS و بسیاری آشکارسازهای دیگر بنا شده است. LHCb در استفاده از هادرون (3) (4) های زیبای بنا شده است ("b" در LHCb مخفف Beauty-Quarks، کوآرک های زیبای مهم برای این آزمایش‌اند)، در حالی که ATLAS و CMS



آزمایش LHCb، مجتمع آشکارسازی است که حدود ده متر ارتفاع و بیست متر درازا دارد و در یک غار زیر زمینی در آزمایشگاه سرن واقع است.

## در یک نگاه

## جستجوی کارآگاه‌آبانه در پی ذرات غریب

1- در برخورددهنده‌ی هادرنی بزرگ (LHC)، آزمایش LHCb با استفاده از شیوه‌ی پیچیده‌ای، ذرات جدیدی را ردیابی کرد که فقط به هنگام برخی فروپاشی‌های معین خود را آشکار می‌سازند.

2- چنین ذرات «مجازی‌ای» می‌توانند به لحاظ نظری انرژی به-مراتب بیشتری نسبت به انرژی واقعی برخورددهنده در LHC داشته باشند. فیزیکدانان LHCb امیدوارند که بدین طریق ذرات جدید را کشف کنند.

3- داده‌ها و نتایج اولیه، نشان‌دهنده‌ی نتایج و پی‌آمدهایی فراتر از مدل استانداردند. در صورت تایید و تقویت نتایج اندازه‌گیری-ها، بنای این نظریه باید به‌طور قابل توجهی گسترش یابد.

برای تولید مستقیم ذرات جدید طراحی شده‌اند. با **هادرون‌های زیبای** می‌توان اثرات ذراتی را مشاهده کرد که به‌طور مستقیم قابل تولید نیستند، اما به‌طرز دقیق و ظریفی در پشت صحنه، بر روند واکنش‌ها تاثیرگذارند. فیزیکدانان در LHCb، تولید **هادرون‌های زیبای** و سپس فروپاشی آن‌ها به ذرات دیگر، پس از مدت زمان کوتاهی را تحت نظر می‌گیرند تا ببینند چه اتفاقی رخ می‌دهد. **هادرون‌های زیبای** اشیای بسیار مناسبی برای بررسی و تحقیق‌اند که به شیوه‌های گوناگونی فرو می‌پاشند و نظریه‌پردازان از چگونگی وقوع این واکنش‌ها تصور دقیقی دارند. هر انحراف از پیش‌بینی‌ها، نشانه‌ی واضحی از دخالت داشتن ذره‌ی ناشناخته‌ای در آن می‌باشد.

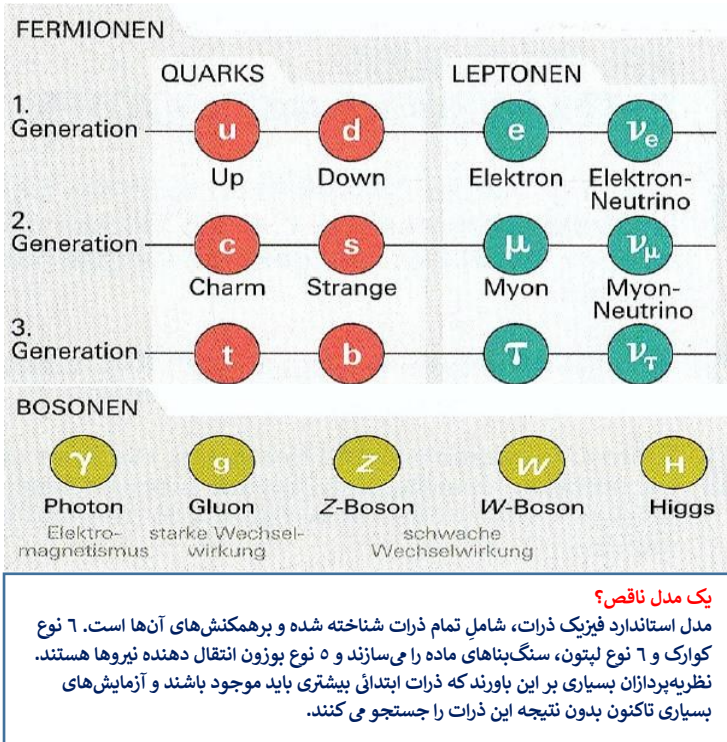
چنین جستجوی غیرمستقیمی پیچیده است و نیاز به دقت فوق‌العاده‌ای دارد. در مقابل می‌توان با چنین جستجوی غیرمستقیمی اصولن ذراتی را ردیابی کرد که ایجاد آن‌ها در ATLAS و CMS امکان‌پذیر نیستند. با کمک LHCb اکنون اولین نشانه‌ها از ویژگی‌هایی به‌دست آمده‌اند که با قوانین شناخته شده‌ی فیزیک به اندازه‌ی کافی قابل توضیح نیستند. شاید ما شاهد عمل کرد و تاثیرگذاری ذرات یا نیروهای کاملن جدیدی هستیم.

مدل استاندارد تاکنون در شرح ذرات بنیادین و برهم‌کنش آن‌ها با یک‌دیگر بسیار موفق بوده است. این مدل در ابتدا ذرات را در دو سنگ بنای بنیادین ماده، یعنی **کوارک‌ها** و **لپتون‌ها** ردیف می‌کند (نگاه شود به "یک مدل ناقص؟" در صفحه‌ی 3).

شش نوع **کوارک** وجود دارند که به صورت جفت به سه «نسل» تعلق دارند، یعنی **کوارک‌های بالا و پایین، افسون و شگفت، و زیبای** (که همچنین **کوارک ته** نامیده می‌شود) و **سر**. کوارک‌ها هرگز در طبیعت به شکل تنها یافت نمی‌شوند، بلکه به‌صورت چندتایی و به شکل «هادرون»‌ها هستند. **هادرون‌های زیبای** ذکر شده و به ویژه مهم برای LHCb، ذرات ترکیب شده‌ای هستند که حاوی یک **کوارک زیبای** می‌باشند. **لپتون‌ها** نیز به‌طور مشابه به گروه‌هایی تقسیم می‌شوند. **الکترون و الکترون-نوترینو، میون و میون-نوترینو و سرانجام تاو و تاو-نوترینو** به یک‌دیگر تعلق دارند.

ماده‌ی عادی از ذرات بنیادین **نسل اول** یعنی **کوارک‌های پایین و بالا** و همچنین **الکترون** تشکیل شده است. سنگ‌بناهای دو نسل دیگر، کمتر رایج‌اند و تنها در شرایطی فوق‌العاده، بطور مثال در شتاب‌دهندگان ذرات ظاهر می‌شوند. تمام این ذرات تحت تاثیر نیروهای مختلفی قرار می‌گیرند - گرانش در سطح ذرات زیر اتمی کاملن ناچیز بوده و می‌تواند نادیده گرفته شود. الکترومغناطیس و برهم‌کنش ضعیف و قوی باقی می‌مانند. این سه همچنین شامل ذرات انتقال‌دهنده‌ی خود، همانند **فوتون** برای الکترومغناطیس‌اند. **بوزون هیگز** کشف شده در سال 2012 نقش ویژه‌ای را بر عهده دارد. **بوزون هیگز** جزو ساز و کاری (مکانیسمی) است که در آن ذرات، نخست دارای جرم می‌شوند.

با این وجود بر این امر آگاه‌ایم که چیزی در این نظم و ترتیب اشتباه است. به راستی این یک فرمولبندی قابل توجه و مورد علاقه فیزیکدانان است، که گویا مدل استاندارد فیزیک ناقص است. البته این مدل در پاسخ به برخی پرسش‌ها بسیار موفق است، ولی در مورد پرسش‌های دیگر باید تغییراتی داده شود. بطور مثال این مدل توانایی پاسخ‌گویی به این پرسش‌ها که چرا در جهان مقدار بیشتری ماده نسبت به پادماده موجود است و یا اینکه واقعیت پنهان در پشت ماده تاریک چیست را ندارد. نیروی غالب در مقیاس‌های کیهانی، یعنی گرانش، در مدل استاندارد موجود نیست و تمامی کوشش‌ها برای وارد کردن آن به شکل صوری به این مدل باشکست مواجه شده‌اند.



مدل استاندارد با وجود موفقیت‌های اش می‌تواند تنها پیش درآمد خوبی برای یک نظریه‌ی بهتر باشد

حتی در بخش شناخته شده‌ی ذرات زیر اتمی، سوالاتی بدون پاسخ باقی می‌ماند. جرم بوزون هیگز کمی بیشتر از بوزون‌های W و بوزون‌های Z یعنی انتقال‌دهندگان برهم‌کنش ضعیف است. در واقع بوزون هیگز باید ده کادریلیون ( $10^{16}$ ) بار سنگین‌تر از این باشد. همچنین برای دسته‌بندی در سه نسل، دلیل ژرف‌تری وجود ندارد. رفتار ذرات هر نسل، به غیر از جرم-شان و سلسله مراتب دقیق و اکیدی که دارند (از سبک‌ترین کوارک‌های بالا و پایین گرفته تا کوارک سر که تقریباً به سنگینی اتم طلا است) مانند کپی‌ای از یک‌دیگر هستند. مدل استاندارد نه تنها در اینجا در باره‌ی علت‌ها بلکه همچنین در رابطه با بسیاری مسائل دیگر نیز سکوت می‌کند. به همین دلیل مدل استاندارد علیرغم موفقیت‌های برجسته‌ی گذشته‌اش، تنها یک نزدیکی موفق، و تنها رونمای آشکار نظریه‌ای بهتر و امید دهنده به فیزیکدانان در پاسخ به سوالات بی‌جواب است. هدف همراه با ATLAS و CMS و آزمایش‌های دیگر در سطح جهانی، نگاهی به درون این نظریه‌ی بهتر در شکلی ذرات کشف نشده و آشکار شونده در این آزمایش‌ها است.

برخورد دهنده‌ی هادرونی بزرگ، خانه‌ی LHCb، یک شتاب دهنده‌ی ۲۷ کیلومتری و دایره‌شکل است که در آن دو پرتو از پروتون‌های دارای انرژی فوق‌العاده بالا به یکدیگر برخورد می‌کنند. ذرات با سرعتی تقریباً برابر با سرعت نور، تا ۴۰ میلیون بار در ثانیه با یکدیگر برخورد کرده و در این میان نابود شده و از بین می‌روند و در مکان برخورد، انرژی فوق‌العاده بالایی را آزاد می‌کنند. این انرژی به صورت ذرات جدیدی متراکم می‌شود که نسبت به پروتون‌های منشأ خود، تفاوت بسیار دارند. برخی از محصولات برخورد، حاوی کوارک‌های زیبای بوده که کلا عمر بسیار کوتاهی دارند. محصولات بدست آمده در روند فروپاشی این کوارک‌ها، با ردیاب‌های ویژه‌ی در نظر گرفته شده برای این هدف در LHCb، ثبت می‌شوند.

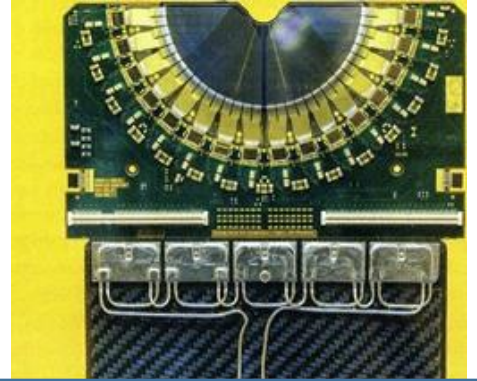
LHCb در حدود 4 کیلومتری آزمایشگاه اصلی سرن و در نزدیکی فرودگاه ژنو واقع شده است. اکثر ساختمان‌ها از یک آزمایش قبلی بجا مانده‌اند و به لحاظ کاربردی در وضعیت خوبی نگاه داشته شده‌اند. مسافران هواپیما می‌توانند به راحتی از باند فرودگاه، سالن اصلی LHCb را از یک پنجره گرد بزرگ شناسایی کنند. مجتمع آشکار ساز، خود در غاری در ۱۰۰ متری زیر زمین واقع است و با داشتن درازای ۲۰ متر و ارتفاع ۱۰ متر، چشم‌انداز پرابهتی دارد (شکل صفحه اول). LHCb به جهت داشتن تناسب غیرعادی، حتی در مقایسه با آشکارسازهای به مراتب بزرگ‌تر در مکان‌های دیگر حلقه LHC، انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. مسیر هادرون‌های زیبای به خاطر درازای LHCb به خوبی قابل تعقیب است. کوارک‌های زیبا بی، دارای جرم نسبتاً کمی، یعنی تقریباً ۵ گیگا الکترون ولت (GeV) هستند. گیگا الکترون ولت (GeV) واحد رایج در فیزیک انرژی بالا، تقریباً برابر با جرم یک اتم هلیوم است. به همین دلیل به هنگام پیدایش هادرون‌های زیبا بی همیشه انرژی بسیار زیادی باقی می‌ماند. این انرژی، ذرات را از نقطه‌ی برخورد پرتوهای پروتون با یکدیگر، به شدت به سمت جلو پرتاب می‌کند.

بسیاری از اجزای LHCb با وجود داشتن هندسه‌ی خاص خود، مشابه اجزای آشکارسازهای دیگر هستند. LHCb دارای آهن ربای بسیار بزرگ و ردیاب‌های مسیر برای درک مسیر پرواز ذرات است. به اصطلاح کالری متری انرژی ذرات را اندازه‌گیری می‌کنند.

با این حال ابزارهای بسیاری در LHCb منحصر به فرد بوده و مخصوص فیزیک کوارک‌های زیبای طراحی شده‌اند. به عنوان مثال یک ردیاب نیمه هادی ویژه که فقط در ۸ میلیمتری از پرتو مرکزی LHC واقع است (عکس زیر، سمت راست)، بازسازی دقیق نقطه‌ی پیدایش یک ذره را ممکن می‌سازد. این به ویژه از این جهت سودمند است که هادرون‌های زیبای با وجود سرعت فوق‌العاده بالای‌شان معمولاً بعد از کم‌تر از یک سانتی‌متر پرواز به ذرات سبک‌تر تجزیه می‌شوند. خواص ذرات سبک‌تر، توسط تابش مخصوص آن‌ها به هنگام عبور از رسانه‌های نوری ویژه، با ردیاب‌های RICH (ring-imaging Cherenkov detector) اندازه‌گیری می‌شوند.

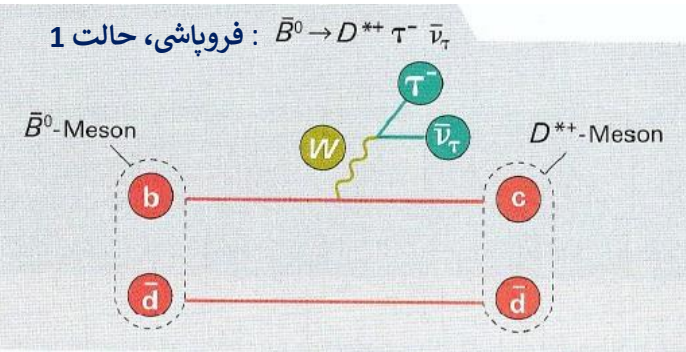
سنگ‌بناهای جدید ساختمان نظریه، در ابتدا به صورت غیر مستقیم می‌توانند آشکار شوند

در جریان مرحله‌ی اول آزمایش در LHC از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۲ میلادی تقریباً یک تریلیون هادرون‌های زیبای ایجاد شدند. هادرون‌ها به روش‌های گوناگونی تجزیه‌پذیرند، برخی از این فرآیندها به‌ویژه، به دلیل نشان و اشاره به «فیزیک جدید»، یعنی پدیده‌هایی که مدل استاندارد توانایی توضیح آن‌ها را ندارد، جالب‌اند.

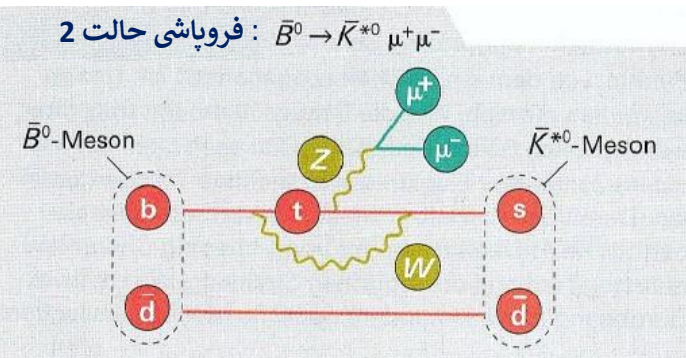


پردازش مقدار عظیمی از داده‌های اجزای متعدد ردیاب، توسط رایانه‌های قدرتمند (عکس چپ). تراشه‌های نیمه هادی نیم دایره‌ای شکل در اطراف پرتوی مرکزی ذرات (عکس سمت راست) نیز جزو اجزای متعدد ردیاب‌اند.

فیزیک‌دانان، ایده‌های گوناگونی درباره‌ی آن‌چه که ما برای یک ساختمان بهبودیافته نظری نیازمندیم، دارند. اکثر روی‌کردها بر پایه‌ی ذرات جدید و سنگین‌تر از ذرات شناخته شده‌اند. به همین جهت LHC در تلاش برای ایجاد چنین انرژی‌های برخورد بالایی است که با کمک آن‌ها در حال حاضر، ذراتی تا چندین هزار گیگا الکترون‌ولت، را می‌شود ایجاد کرد. برای مقایسه: جرم بوزون هیگز ۱۲۵ گیگا الکترون‌ولت و جرم پروتون ۰/۹ گیگا الکترون‌ولت هستند. ATLAS و CMS برای جستجوی مستقیم چنین ذرات سنگین و شناسایی محصولات ویژه فروپاشی آنها، طراحی شده‌اند. ولی امکان به‌خصوص ماهرانه‌تر دیگری برای یافتن فیزیک جدید وجود دارد که در جریان آن، ذرات ناشناخته، با تحت‌تاثیر قرار دادن فروپاشی نمایندگان آشنای مدل استاندارد، بصورت «مجازی» خود را آشکار می‌سازند.



برای درک بهتر مفهوم ذره‌ی مجازی باید به اصطلاح نمودار فاینمن (5) را بررسی کرد (تصویرهای مقابل). فیزیک‌دان مشهور آمریکایی، ریچارد فاینمن (5)، این نمودارها را برای نمایش ساده‌ی فروپاشی‌ها و برهمکنش‌های ذرات زیر اتمی و آسان‌تر شدن محاسبات با آن‌ها ایجاد کرد. دو فروپاشی از یک هادرون زیبای به‌ویژه آموزنده-اند ( در برابر ترکیبی از حروف و سمبل‌های در ابتدا ناجور و دشوار نباید ترسید).



در هر دو حالت به اصطلاح مزون  $\bar{B}^0$  فرومی‌پاشد («مزون صفر مورب (یا اریب)» خوانده می‌شود؛ پادذره‌ها معمولن با یک خط تیره بر روی نماد ذره نشان داده می‌شوند). این هادرون از یک هادرون زیبای و یک آنتی کوارک پایین تشکیل شده است. در نمودارهای فاینمن زمان از چپ به راست جریان دارد. در حالت اول، ذره‌ی آغازین به یک مزون  $D^{*+}$  با بار مثبت و تشکیل شده از یک کوارک افسون و یک آنتی کوارک پایین، و همچنین به یک لبتون تاو

( $\tau^-$ ) با بار منفی و یک آنتی‌نوترینوی تاو ( $\bar{\nu}_\tau$ ) فرو می‌پاشد. چنین تجزیه‌ای به شکل مختصر چنین نوشته می‌شود:  
 $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$  . در حالت دوم، یک مزون  $\bar{K}^{*0}$  از یک کوارک افسون و یک آنتی‌کوارک پایین، و همچنین یک میون با بار الکتریکی مثبت و پاد ذره آن با بار منفی، ایجاد می‌شوند. حالت دوم به شکل مختصر چنین نوشته می‌شود:  $\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \mu^+ \mu^-$ .

قانون‌های پایستگی انرژی (6) و همسانی انرژی و جرم (شناخته شده از فرمول معروف اینشتین  $E=mc^2$ ) می‌طلبند که تمامی ذرات ایجاد شده به هنگام فروپاشی، جرم کلی‌ای کمتر از مزون B اولیه داشته باشند. تفاوت جرم، در انرژی جنبشی محصولاتی که در فروپاشی به اطراف پراکنده می‌شوند، نهفته است.

اتفاق هیجان‌انگیز و در ابتدا شگفت‌آوری در وسط نمودارها، یعنی جایی که فروپاشی انجام می‌یابد، رخ می‌دهد. در فرآیند اول یک بوزون W- یکی از ذرات انتقال‌دهنده‌ی برهمکنش ضعیف- پدیدار می‌شود. بوزون W در نقطه‌ای پدید می‌آید، که یک کوارک زیبای به یک کوارک افسون تبدیل شده و کمی بعد به یک لپتون تاو و به یک آنتی‌نوترینوی تاو فرومی‌پاشد. در این میان جرم بوزون W حیرت‌انگیز است: این جرم تقریباً 16 بار بزرگ‌تر از جرم مزون  $\bar{B}^0$  اولیه است! چرا در این فرآیند قانون آهنین پایستگی انرژی نقض نمی‌شود؟ دلیل آن قوانین عجیب مکانیک کوانتوم است. چنین روندی تنها تا زمانی که به سرعت کافی انجام شود، مجاز است. در چنین شرایطی فیزیک‌دانان ذرات بوزون W را مجازی می‌نامند. فروپاشی  $\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \mu^+ \mu^-$  بر پایه قاعده کاملن مشابه‌ای رخ می‌دهد، اما تغییر یافتن و تبدیل شدن تا حدودی پیچیده‌تر است. با یک ساختار حلقه (loop structure) در مسیر تبدیل کوارک زیبای به کوارک افسون مجموعن در 3 نقطه تغییراتی رخ می‌دهند: علاوه بر بوزون W ذرات مجازی دیگری مانند کوارک سر و بوزون Z پدیدار می‌شوند. هریک از آن‌ها به تنهایی بسیار پرچرم‌تر از مزون اولیه‌اند. چنین فرایندهایی هر اندازه هم عجیب به نظر برسند، به لحاظ مکانیک کوانتومی جایزند و بارها و بارها در آزمایش‌های مختلف دیده شده‌اند.

### هر روند قابل تصور، سهم کوچک اما مهمی را ادا می‌کند

از روی چنین نمودارهایی همراه با قوانین ریاضی‌شان، می‌توان احتمالات فروپاشی‌های مربوطه را به درستی محاسبه کرد. فیزیک‌دانان در حقیقت برای اولین بار با روش مشابهی، وجود کوارک افسون و کوارک سر را پیش‌بینی کرده و جرم آنها را تخمین زدند.

هر دو نمودار تنها دو گونه از این نحوه‌ی خاص فروپاشی‌اند. امکان طراحی راه‌های بسیاری که در بعضی از آنها ذراتی که تا به حال دیده نشده و در نقاطی بین حالت اولیه و نهایی واقع‌اند و حتی راهبردهای جدیدی که ذرات اولیه را با ذرات در پایان پیوند دهند، وجود دارد. نکته‌ی جالب این است که همه‌ی این گزینه‌های نظری با اهمیت‌اند! بر اساس آموزش مکانیک کوانتوم هر اتفاقی در طبیعت، وابسته به سهم خالص همه راه‌های قابل تصور ختم شونده به آن است. با این حال، ساده‌ترین و بارزترین مسیره‌ها، بیشترین کمک را می‌کنند. در محاسبات بسیار دقیق، هر گزینه و رویکرد هر چقدر هم ناچیز، یاری‌گر است. به بیان دیگر هر ذره‌ی قابل تصور، حتی بر روی فروپاشی کاملن عادی یک عضو معمولی مدل استاندارد، تاثیر گذار است. بر عکس، هنگام اندازه‌گیری‌های دقیق یک فرایند فروپاشی، برخورد به چیزی که با مواد و دستورات عمل‌های آشنا قابل توضیح نیست، نشان‌گر این است که حتمن پای چیز تازه‌ای در میان است.

درست بر پایه‌ی چنین رابطه‌هایی است که LHCb در جستجوی غیرمستقیم فیزیک جدید است. ذرات ناآشنا در هر روند فروپاشی به صورت مجازی نقش ایفا می‌کنند. به همین دلیل لازم نیست که برای تولید مستقیم‌شان حتمن در یک شتاب دهنده انرژی‌ای به کار برد - در اصل، با مطالعه‌ی به اندازه‌ی کافی دقیق فروپاشی‌های مناسب، می‌توان حتی تاثیر ذراتی را مشاهده کرد که نسبت به ذرات ATLAS و CMS به مراتب پرچرم‌ترند.

اکنون در LHCb نخستین نشانه‌ها از اختلاف و ناهمخوانی در نحوه و شیوه‌ی توصیف فروپاشی هادرون‌های زیبای، توسط مدل استاندارد یافت شده‌اند. این نشانه‌ها و شواهد، حاصل فروپاشی‌های گوناگون بسیاری‌اند، که همه‌ی آن‌ها با هم شباهت‌هایی دارند. در این جا مهم است تأکید شود که مدل استاندارد در جریان جمع‌آوری اطلاعات بیشتر و بهبودهای نظری ممکن، توانایی کامل توضیح و تشریح این پدیده‌های عجیب را داراست. حتی در این حالت، یافته‌های ما به وضوح نشان‌دهنده چگونگی کارکرد جستجو در پی ترک‌ها در ساختمان نظریه‌اند.

در روند مشکوک اول، موضوع بر سر فرایند پیش گفته  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$  است، که احتمالاً یک قانون اساسی و پایه‌ای به نام «جامعیت لپتون‌ها» (7) را نقض می‌کند. در مدل استاندارد، بوزون  $W$  با احتمال برابر، یا به یک لپتون  $\tau$  و آنتی نوترینوی آن و یا به اعضای مربوطه خانواده میون‌ها و یا الکترون‌ها فرو می‌پاشد (بعد از تصحیح تفاوت جرم‌ها در محاسبه). به بیان دیگر فروپاشی بوزون  $W$  برای تمامی لپتون‌ها باید یک‌سان و جامع جریان یابد. در  $LHCb$ ، فروپاشی‌ها از هر مقوله‌ای شمارش شد، پدیده‌های احتمالی که ممکن است به صورت ساختگی توهم وجود چنین فرآیندهایی را ایجاد کنند، کنار گذاشته و این واقعیت هم در نظر گرفته شد که احاطه بر همه رویدادها امکان‌پذیر نیست. در پایان نتیجه‌ی شگفت‌انگیزی حاصل شد: هادرون‌های زیبای به مراتب بیش از پیش‌بینی مدل استاندارد به تاوها فرو می‌پاشند.

اما این نتیجه، دلیل محکم و قانع‌کننده‌ای نیست، چرا که به لحاظ آماری، انحراف به اندازه 2 سیگما (8) است. دانشمندان با چنین اندازه‌ای که به اصطلاح انحراف معیار (8) (standard deviation) نامیده می‌شود، عدم قطعیت یک نتیجه‌ی تجربی را توصیف می‌کنند. با توجه به نوسانات آماری، نتایجی با انحراف یک سیگما غیرعادی نیستند. معمولاً انحرافی به اندازه 3 سیگما توجه فیزیک‌دانان را به خود جلب می‌کند و با 5 سیگما، آن‌ها کشف جدیدی در فیزیک ذرات را اعلام می‌کنند. به همین جهت اگر نتایج دیگری از آزمایش‌ها حاصل نشوند، دو سیگما، ارزش توجه و بیان را ندارند.

### بسیاری از عجایب به یک مشکل تمام عیار تبدیل می‌شوند

دانشمندان در کالیفرنیا و ژاپن نیز با آزمایش‌های متعدد، موارد نقض جامعیت لپتون‌ها را جستجو کردند. این آزمایش‌ها بابار (BaBar) و بل (Belle) نامیده می‌شوند و داده‌ها و اطلاعات آن‌ها، از اولین دهه‌ی هزاره سوم میلادی‌اند. در آن‌جا نیز، در فروپاشی‌ای همانند فروپاشی مشاهده شده توسط ما و همچنین در فرآیندهای مشابه، ترجیح لپتون‌های  $\tau$  ایجاد شدند. علاوه بر این در اول سال 2017 جامعیت لپتون‌ها با یک تکنیک کمی متفاوت اندازه‌گیری شد و آن‌جا نیز  $\tau$  به میزانی بیش از حد انتظار، مشاهده شد. با محاسبه‌ی همه‌ی آزمایش‌ها، روی هم انحرافی به اندازه 4 سیگما به دست می‌آید. این یکی از واضح‌ترین انحراف‌های مدل استاندارد در کل فیزیک ذرات و یک مشکل واقعی برای نظریه است.

چه چیز در پشت این قضیه نهان است؟ نظریه‌پردازان طرح‌هایی در این زمینه دارند. احتمالاً، در این جریان می‌تواند شکل جدیدی از ذرات باردار هیگز دخالت داشته باشند. بوزون‌های هیگز از جامعیت لپتون پیروی نکرده و ترجیحاً به ذرات سنگین و پُر جرم فرو می‌پاشند. این نکته به سود تولید تاوها است. با این حال الگوهای مشاهده شده در انحرافات، چندان سازگاری‌ای با فرضیه‌های ساده‌تر ندارند. گزینه دیگر، توضیحی قدری عجیب‌تر بر پایه «لپتو کوارک» است. این ذره‌ی فرضی برهمکنش بین کوارک‌ها و لپتون‌ها را ممکن می‌سازد. یا اینکه نتیجه‌ی به دست آمده تنها یک اشتباه در برداشت است؛ احتمالاً در فروپاشی، علامت (سیگنال) دیگری درهم می‌آمیزد که هنوز به اندازه کافی درک نشده تا به درستی محاسبه شود. برای تصمیم‌گیری بین این دو امکان، نیاز به اندازه‌گیری‌های بیشتر است. در سال‌های آینده از آزمایش  $LHCb$  و از آزمایش تازه آغاز شده‌ی Belle-II، داده‌ها و اطلاعات بیشتری دریافت خواهیم کرد.

در فروپاشی قدری پیچیده‌تر  $\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \mu^+ \mu^-$  نیز نشانه‌هایی از فرآیندهای نامفهوم وجود دارد. این فروپاشی همچنین نمونه‌ای عالی از فرآیندهایی است که در آن‌ها فیزیک جدید را می‌توان یافت. این از یک جهت به خاطر حلقه‌ای بودن ساختار نمودار فاینمن است. حتی مبتدیان با دیدن آن می‌توانند حدس بزنند که برای توضیح روندهای مربوط به سنگ‌بناهای مدل استاندارد، آشکارا به تغییرات و دست‌کاری نیاز است. شاید ذرات جدید، فروپاشی دوم را آسان‌تر کنند و به همین جهت نیز خود را در اینجا سریع‌تر آشکار سازند. از سوی دیگر در این فروپاشی، بویژه تعداد بسیاری خاصیت‌های خوب قابل اندازه‌گیری، آشکار می‌شوند. از جمله میزان و نرخ فروپاشی و همچنین زاویه و انرژی‌های محصولات آن را می‌توان معین کرد. از آن‌ها می‌توان «مشاهده شونده‌گان» (observables) - کمیت‌های اندازه‌گیری شونده ویژه‌ای که مستقیماً با پیش‌بینی‌های مدل استاندارد قابل مقایسه‌اند- را مشتق کرد و نتیجه گرفت.

بدین ترتیب  $\bar{B}^0 \rightarrow \bar{K}^{*0} \mu^+ \mu^-$  از چند جهت، نمونه‌ی بارزی برای فیزیک ذرات زیبای است. قبل از راه‌اندازی LHC، در رابطه با این فروپاشی، تحقیقات نظری بی‌شماری انجام شدند. هنوز نام‌های مناسب برای این فرآیند و «مشاهده شونده‌گان» آن انتخاب نشده‌اند. قهرمان داستان ما عنوان عادی و بی‌طمطراق P5' را دارد.

برای اولین بار «مشاهده شونده» P5' [9]، با داده‌های اولیه LHCb و با استفاده از جهت‌ها و انرژی‌های مختلف میون‌های ایجاد شده بررسی شدند که در بعضی از موارد بررسی شده، انحراف آشکاری بین پیش‌بینی‌ها و مشاهدات وجود داشتند. جامعه جهانی فیزیک‌دانان، بر پایه این اولین نشانه‌ها بی‌تابانه منتظر ارزیابی دقیق‌تری بود که بر پایه مجموعه اول کامل داده‌ها، چند سال بعد منتشر شد. این ناهنجاری، ظاهر اشتباه آماری نبود بلکه پابرجا بود و ادامه داشت. هم اکنون شدت این پیامد 3.5 سیگما است. این دلیلی کافی برای آماده کردن شامپاین‌ها برای جشن گرفتن نیست، ولی در هر صورت توجه را به خود جلب می‌کند. در ضمن، در فرآیندهای فروپاشی مشابه دیگر، اختلاف‌های دیگری در «مشاهده شونده‌گان» وجود دارند. اگر این یافته‌های دیگر را به P5' اضافه کنیم، انحراف از مدل استاندارد به 4.5 سیگما افزایش می‌یابد و این را به راحتی نمی‌توان نادیده گرفت.

### وجود بعضی توضیحات پذیرفتنی موجه در این رابطه و لزوم رعایت احتیاط

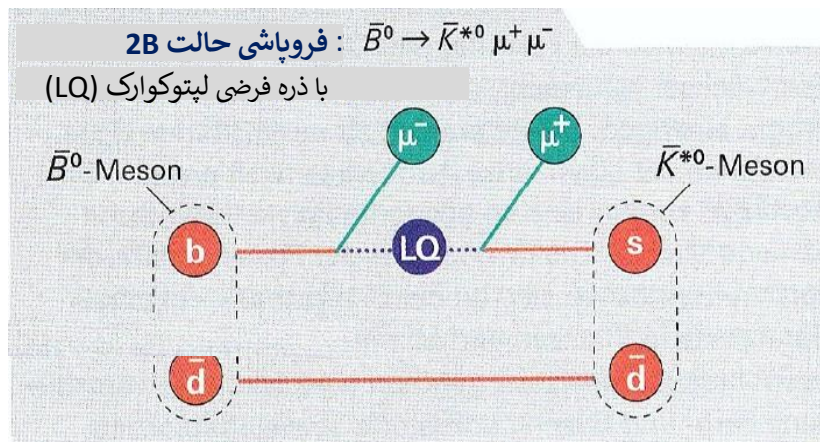
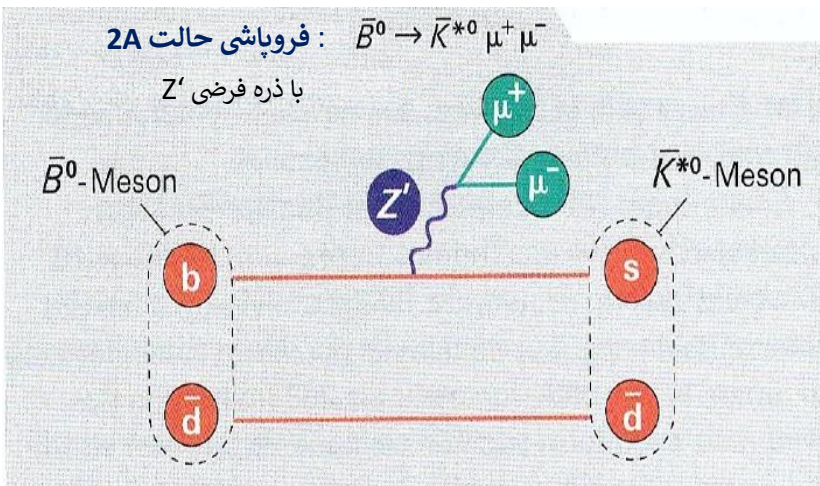
نظریه‌پردازان کوشیده‌اند دلیل‌های مناسبی برای این وضعیت (انحراف 4.5 سیگما م.) بیابند. برای نمونه لپتوکوارک ذکر شده در بالا می‌تواند در اینجا نقشی بازی کند. یا این که بوزون فرضی "Z'" در اینجا شرکت دارد؟ Z' ممکن است پسرعموی عجیب و سنگین وزن آشنای

بوزون Z باشد و به‌روش ویژه‌ای به کوارک‌ها و لپتون‌ها فرو بپاشد (نگاه کنید به نمودارهای سمت چپ). اما چنین گمانه‌زنی‌هایی باید همیشه در سازگاری با تمام اندازه‌گیری‌های دیگر باشند. به عنوان مثال ذرات فرضی نباید به‌گونه‌ای رفتار کنند که گویا در جریان اندازه‌گیری‌های مستقیم آشکار شده‌اند.

فیزیک‌دانان نظری که اکنون به‌خاطر قدرت خلاقیت و ابتکارشان مشهورند، سناریوهای پذیرفتنی بسیار زیادی دارند که همه معیارها و ضابطه‌ها را برآورده می‌کنند. اما باید مراقب بود. برخی از فیزیک‌دانان معتقدند که پیش‌بینی‌های مدل استاندارد برای «مشاهده شونده‌گان» به اندازه‌ی کافی درک نشده‌اند و اختلاف واقعی بین اندازه‌گیری‌ها و نظریه ممکن است کوچک‌تر از حد انتظار باشد. به‌ویژه ممکن است برخی از پیامدهای برهمکنش قوی که در اساس ساده‌اند، اما در عمل، سخت قابل محاسبه‌اند، بیش از حد انتظار بزرگ باشند.

در LHCb نوع سومی از معما ظاهر شد که با مثال-های ارائه شده نکات مشترکی دارد، اما بالاخره به‌گونه ویژه‌ای توانست خود را بر اهمیت نشان دهد. در رابطه و تناسب  $R_k$ ، تحت «مشاهده شونده» P5'، میزان

فروپاشی یک هادرون زیبای به یک مزون  $\bar{K}^{*0}$  و یک میون و آنتی‌میون، با میزان فروپاشی فرآیند مشابهی مقایسه می‌شود که در آن به‌جای جفت میون‌ها، الکترون و آنتی‌الکترون ایجاد می‌شوند. همچنین ضریب دیگری، یعنی  $R_k$  محاسبه شد. در اینجا صحبت بر مقایسه دو



فروپاشی ای است که به جای مزون  $\bar{K}^{*0}$  هادرون دیگری یعنی مزون  $K$  پدیدار می‌شود.

این آزمایش‌ها نیز در ارتباط با جامعیت لپتون‌ها، اما از دو نسل اول (در مدل استاندارد م.) یعنی الکترون‌ها و میون‌ها، هستند. پیش‌بینی مدل استاندارد ساده است، میزان و نرخ هر یک از فرآیندها باید در عمل یکسان باشد. بنابراین  $R_{k^*}$  و  $R_k$  تقریباً برابر با یک هستند. اندازه‌گیری‌ها بغرنج‌اند ولی به لحاظ تجربی بسیار ساده‌تر از دو روند پیش‌گفته‌اند. بدین جهت ما در این‌جا انتظار یک آزمایش بسیار تمیز و دقیق مدل استاندارد را داشتیم و می‌پنداشتیم که حفظ جامعیت لپتون‌ها را در این‌جا ثابت می‌کنیم. اما اشتباه می‌کردیم.

در ابتدا جرأت کرده و با بررسی  $R_k$ ، مقدار بسیار کمی به اندازه‌ی 0.75 را به دست آوردیم. این مقدار به اندازه‌ی 2.6 سیگما از مقدار نظری مورد انتظار انحراف داشت که باعث کنجکاوی شدید ما برای اندازه‌گیری  $R_{k^*}$  شد. این اندازه‌گیری در اول سال 2017 انجام شد و نتیجه مشابه بود: 0.69 و انحرافی به اندازه 2.5 سیگما از مدل استاندارد. مسلم این امکان وجود دارد که در هر دو مورد، موضوع فقط نوسانات آماری باشد، اما از آن‌جا که این ناهنجاری در دو اندازه‌گیری مختلف و به لحاظ فنی نسبتاً بدون مشکل، بدست آمده، توجه برخی را در جامعه‌ی فیزیک به خود جلب می‌کند.

با فرض درست بودن این مقادیر، طبیعت، فروپاشی به الکترون‌ها را به فروپاشی به میون‌ها ترجیح می‌دهد. در این موارد نیز مقصرهای احتمالی یا لپتو کوآرک‌ها یا بوزون‌های  $Z'$  هستند. چنین به نظر می‌رسد که گویا در این جریان مقدار بسیار کمی میون تولید شده است، در حالی که انگار الکترون‌ها طبق سناریوی مدل استاندارد رفتار می‌کنند. هر سازوکار (مکانیسم)ی هم که در پشت این پدیده نهفته است، نه تنها توانایی توضیح مقادیرهای عجیب  $R_{k^*}$  و  $R_k$  را دارد، بلکه به لحاظ عملی اختلاف  $P'5$  را نیز توضیح می‌دهد. حتی بعضی از نظریه‌پردازان بویژه زیاده‌خواه، می‌کوشند همراه با این مساله، فروپاشی  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{*+} \tau^- \bar{\nu}_\tau$  را نیز توضیح دهند. اما این انتظاری بیش از حد از یک ذره، برای برآوردن به یکباره‌ی هر سه آرزو می‌باشد.

در هر حال به زودی درخواهیم یافت که آیا  $R_{k^*}$  و  $R_k$  راز بیشتری در خود نهان دارند یا نه. با داده‌ها و اطلاعات تکمیلی از مرحله‌ی پایان یافته‌ی آزمایش LHC در نوامبر 2017، امید است آشکار شود که آیا نگرش آماری به تفاوت‌ها اهمیت بیشتری پیدا کرده و این تفاوت‌ها به یک واقعه‌ی جنجال‌برانگیز در فیزیک تبدیل خواهند شد و یا این که دوباره به کنار رفته و فراموش می‌شوند.

نتایج موقتی که تا کنون شرح داده شد، تنها برخی از مهم‌ترین نتایج اندازه‌گیری‌های پرشمار در فیزیک هادرون‌های زیبایی‌اند. بسیاری از همکارانم، به حق برانگیخته و هیجان‌زده شده‌اند. البته کسانی که مدت طولانی‌تری در این زمینه مشغول‌اند و آزمایش‌های دیگری را تجربه کرده‌اند، بارها شاهد پیدایش و فروکش چنین موارد هیجان‌انگیز انحراف در نتایج بوده‌اند.

معنی این نکته چیست؟ آیا یکی از ناهنجاری‌های شرح داده شده باید با مدل استاندارد آشکارا در تضاد باشد؟ این نکته به یقین به معنای مهم‌ترین تحول در فیزیک ذرات زیراتمی طی دهه‌های گذشته خواهد بود و امکان نگاه به چیزی را فراهم می‌کند که فراتر از قوانین شناخته شده‌ی جهان هستی، در انتظار ماست. جستجوی بعدی در پی قوانین ژرف‌تر، بستگی به این دارد که ذره‌ی مورد نظر یک هیگز عجیب و غریب، یک لپتو کوآرک، یک بوزون  $Z'$  و یا کاملن چیز دیگری است. فروپاشی‌های بیشتر احتمالاً نشانه‌های بیشتری را ارائه می‌دهند و در صورتی که انرژی ذره‌ی بالقوه جدید خیلی زیاد نباشد، حتمن به جستجوهای مستقیم در آزمایش‌های دیگر LHC و تاسیسات آتی شتاب-خواهند پیوست.

تفاوتی ندارد که راه به سوی فیزیک جدید چقدر به درازا بکشد، امکانات LHCb بسیار امیدوارکننده‌اند. شعار گالیلئو گالیله این بود: «آنچه قابل اندازه‌گیری است، اندازه بگیر و باقی‌مانده را قابل اندازه‌گیری کن». برای LHCb شعاری بهتر از این نمی‌توان یافت.

پی‌نوشت‌ها:

**1- برخورددهنده هادرونی بزرگ LHC**

(برگرفته از سایت [زومیت](https://www.zoomit.ir/2018/3/1/269052/large-hadron-collider-work-system) <https://www.zoomit.ir/2018/3/1/269052/large-hadron-collider-work-system>)  
نویسنده: بابک قهرمانی

**2- بوزون هیگز (ویکی پدیا)**

بوزون هیگز (به انگلیسی Higgs boson) یا سازوکار BEH معروف به ذره خدا، یک ذره بنیادی اولیه دارای جرم است که وجود آن توسط مدل استاندارد فیزیک ذرات اثبات شده است. مشاهده تجربی این ذره باعث شد دانشمندان بتوانند چگونگی جرم‌دار شدن ماده توسط ذرات بنیادی بدون جرم دیگر را توضیح دهند. به‌طور خاص، بوزون هیگز، می‌تواند دلایلی برای تفاوت‌های بین فوتون که بدون جرم است و بوزون‌های W و Z که نسبتاً پرجرم هستند، ارائه کند. جرم ذرات بنیادی، تفاوت‌های بین الکترومغناطیس (که توسط فوتون‌ها ایجاد می‌شود) و نیروی هسته‌ای ضعیف (که توسط بوزون‌های W و Z ایجاد می‌شود) در ساختار میکروسکوپی (و به‌طبع ماکروسکوپی) ماده مؤثر هستند. بنابراین، بوزون هیگز یک مؤلفه بسیار مهم در دنیای ماده است. در ۴ ژوئیه ۲۰۱۲ سرن (CERN) در سمیناری اعلام کرد، که یک بوزون معادل ۱۲۵ گیگا الکترون ولت در دو اسپکترومتر جداگانه کشف و مشاهده شده است.

**سازوکار هیگز**

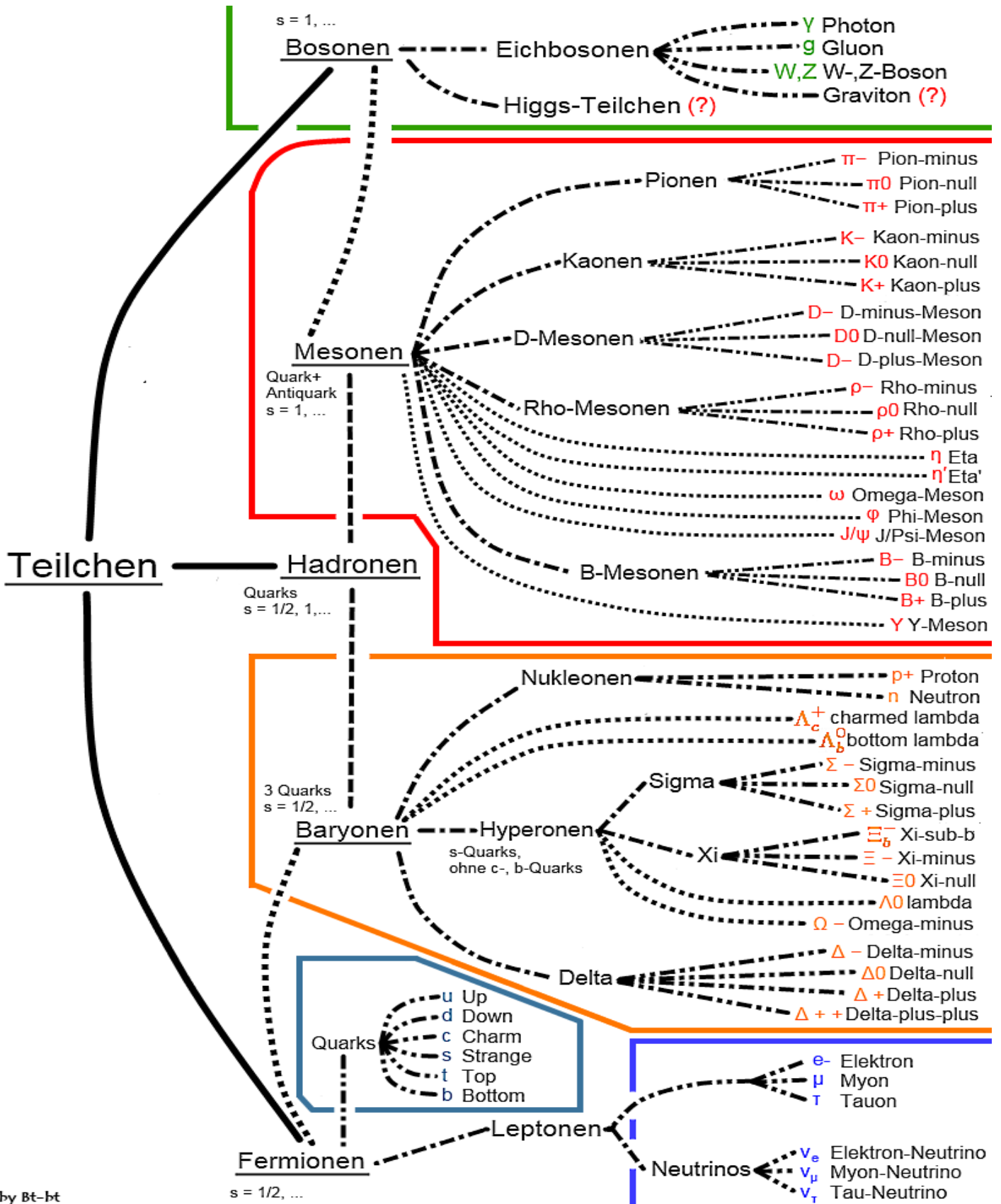
سازوکار هیگز در فیزیک ذرات یک مکانیزم ضروری برای توضیح مکانیزم ایجاد جرم است. این تقریباً مهمترین ویژگی تمام ذرات بنیادی است.

**3- هادرون (Welt der Physik)**

در فیزیک ذرات، هادرون (گرفته شده از زبان یونانی به معنای محکم، سخت) به ذرات ترکیبی که از دو یا سه کوارک تشکیل شده باشند، گفته می‌شود. نیروی هسته‌ای قوی این کوارک‌ها را در کنار هم قرار می‌دهد. دو زیرمجموعه از هادرون‌ها وجود دارد: باریون‌ها و مزون‌ها. باریون‌ها از سه کوارک و مزون‌ها از دو کوارک تشکیل شده‌اند. از میان معروف‌ترین باریون‌ها، می‌توان به پروتون‌ها و نوترون‌ها اشاره کرد.

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/experimente/teilchenbeschleuniger/lhc/lhc-experimente/lhcb/lhcb-detektor>

4- نمودار ذرات زیر اتمی مربوط به قبل از سال 2012. (ویکی پدیا)



## 5- ریچارد فاینمن، نابغه فیزیک ذرات و مکانیک کوانتوم

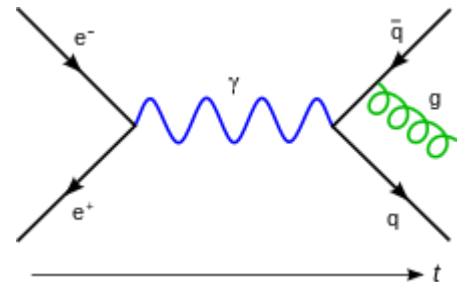
<https://www.zoomit.ir/2018/8/6/285219/richard-feynman-biography>

### نمودار فاینمن (ویکی پدیا)

نمودارهای فاینمن، شکل عام شرح و نمایش برهم کنش های نظری میدان کوانتومی در فیزیک ذرات و فیزیک حالت جامدهستند که در سال 1949 توسط ریچارد فاینمن با استفاده از مثال الکترودینامیک کوانتومی طرح ریزی و بسط داده شدند. این نمودارها بصورت دقیق و اکید در عبارات های ریاضی قابل نمایشند...  
...نمودارهای فاینمن یک نمایش انتزاعی و نموداری برهم کنش های ذرات هستند و به لحاظ ریاضی با نظریه میدان لاگرانژین L شرح داده می شوند...

لاگرانژین L (به انگلیسی: Lagrangian) یک سامانه دینامیک، تابعی است که دینامیک سیستم را خلاصه می کند. نام آن برگرفته از نام ریاضیدان ایتالیایی فرانسوی، ژوزف لویی لاگرانژ می باشد. مفهوم لاگرانژین در فرمولبندی دوباره ای از مکانیک کلاسیک توسط ژوزف لویی لاگرانژ در سال ۱۷۸۸ معرفی شد که به نام مکانیک لاگرانژی شناخته می شود.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Feynman-Diagramm>



در این نمودار فاینمن زوج الکترون و پوزیترون نابود می شوند و یک زوج کوآرک و پاد کوآرک تولید می شوند به همراه تابش یک گلوئون. نمودار فاینمن نوعی نمودار است که از طریق چهار بعد مسیر حرکت ذرات بنیادی را نشان می دهد و نخستین بار توسط ریچارد فاینمن فیزیک دان آمریکایی استفاده شد.

### 6- پایستگی انرژی (ویکی پدیا)

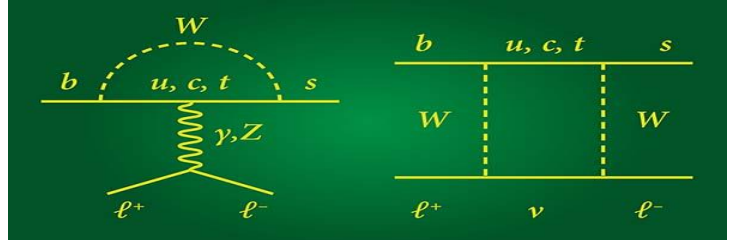
**قانون پایستگی انرژی** می گوید که مقدار انرژی در یک سیستم تک افتاده (ایزوله، منزوی) ثابت می ماند. پیامد این قانون این است، که انرژی از بین نمی رود و به وجود نمی آید و تنها از شکلی به شکل دیگر تبدیل می شود. مثلاً انرژی جنبشی به انرژی گرمایی تبدیل می شود. از آنجا که در نظریه نسبیت خاص انرژی و جرم به هم وابسته اند، پایستگی انرژی در حالت کلی می گوید که مجموع انرژی و جرم یک سیستم تک افتاده پایسته است.

پیامد دیگر این قانون این است که ماشین حرکت دائمی تنها هنگامی کار می کند که هیچ انرژی ای به پیرامون خود ندهد. اگر انرژی ای که دستگاه به پیرامون خود می دهد بیشتر از انرژی ای باشد که می گیرد و جرم دستگاه هم ثابت بماند، چنین دستگاهی نمی تواند برای همیشه کار کند...

## 7- جامعیت لپتون‌ها

مشاهده‌ی اینکه در برخی واپاشی‌های ذرات، الکترون‌ها و میون‌ها به یک اندازه تولید نمی‌شوند ممکن است نشانه‌ای از ضعف مدل استاندارد باشد.

تفاوت بین الکترون و میون چیست؟ جواب بدهی جرم آنهاست: میون 200 مرتبه سنگین‌تر از الکترون است. اما تا وقتی که ملاک مدل استاندارد ذرات باشد، الکترون و میون که هر دو لپتون‌اند، مانند هم رفتار می‌کنند. به طور مشخص‌تر، روشی که آن‌ها (و نوع سوم لپتون‌ها یعنی ذره تاو) در برهمکنش با ذرات دیگر دارند، چه از طریق نیروی الکترومغناطیس و چه از طریق نیروی ضعیف، یکسان است. این عقیده معروف به جامعیت لپتون (lepton universality)، به واسطه‌ی نتایج جدیدی که پژوهشگران از آزمایش LHCb در شتابدهنده‌ی بزرگ هادرونی به دست آورده‌اند دارد به چالش کشیده می‌شود. با اندازه‌گیری نسبت واپاشی‌هایی که یک مزون K (کائون) و دو میون تولید می‌کردند به واپاشی‌هایی که حاصلشان یک مزون K و دو الکترون بود، محققان ذرات تولید شده در واپاشی مزون‌های B را مورد بررسی قرار دادند. مدل استاندارد پیش بینی می‌کند که این نسبت، یعنی RK، باید با تقریب بسیار خوبی 1 باشد. اما LHCb مقدار RK را حدود 745/0 به دست آورد بدین معنا که واپاشی به الکترون‌ها نسبت به واپاشی به میون‌ها ارجحیت دارد. تفاوت مقدار مشاهده شده با 1، انحراف استاندارد 6/2 دارد و کمتر از انحراف استاندارد 5 است که فیزیک‌پیشگان ذرات قبل از ادعای یک کشف به آن نیاز دارند. با این وجود، اگر داده‌های بعدی تأیید کننده‌ی مطلب باشند، این یافته بیانگر شکست (breakdown) مهمی در مدل استاندارد بوده و مدرکی آشکار برای نوع جدیدی از برهمکنش خواهد بود که جامعیت لپتون را نقض می‌کند- کشفی شگفت‌انگیز که دیدگاه‌ها را متحول خواهد کرد. RK چطور اندازه‌گیری می‌شود؟ پژوهشگران LHCb واپاشی‌های مزون B را بررسی کردند. این مزون‌ها از جفت کوارک-پادکوارک ساخته شده‌اند که یکی از آن‌ها کوارک ته (bottom) است. کوارک‌های ته ذاتاً ناپایدارند، بنابراین مزون‌های B به سرعت به مزون‌هایی شامل کوارک‌های سبک‌تر واپاشی می‌کنند. اغلب این واپاشی‌ها از طریق فرآیندهایی اتفاق می‌افتند که شامل تغییر در هم طعم کوارک و هم بار الکتریکی است. اما بخش کوچکی (تقریباً یک در ده میلیون) از طریق فرآیند «جریان خنثی تغییر طعم» (flavor-changing neutral current) (FCNC) واپاشی می‌کنند که تولید یک مزون K (مزونی شامل کوارک شگفت strange) و یک جفت لپتون با بارهای مختلف می‌کند- یعنی الکترون و پادالکترون (پوزیترون) یا میون و پادمیون (شکل 1).



شکل 1- این دو نمودار فاینمن برهمکنش‌هایی را که منجر به واپاشی کوارک ته به یک کوارک شگفت و یک جفت لپتون با بارهای مخالف (الکترون و پادالکترون یا میون و پادمیون) می‌شود، نشان می‌دهند- یعنی فرآیند «خنثی تغییر طعم» که بر طبق مدل استاندارد مجاز اما بسیار نامحتمل است. تا زمانی که مدل استاندارد را در نظر بگیریم، برهمکنش‌هایی که جفت لپتونی تولید می‌کنند برای جفت‌های الکترون و میون مشابه هم هستند. این تصور که به جامعیت لپتون شهرت دارد به وسیله‌ی اندازه‌گیری جدیدی در مجموعه LHCb به چالش کشیده شده است.

نسبت RK که احتمال نسبی (یا کسر شاخه‌ای branching fraction) این دو نوع واپاشی را مقایسه می‌کند، به ویژه، نقطه‌ی حساسی برای جستجوی فیزیک در ماورای مدل استاندارد است. علت آن است که احتمال رخداد فرآیندهای FCNC در مدل استاندارد بسیار کم (تقریباً صفر) است، زیرا مکانیسم‌های بسیاری موجب توقفشان می‌شوند. اما لزومی ندارد که چنین مکانیسم‌هایی در نظریه‌های مافوق مدل استاندارد هم عمل کنند و این امر دیدن هر فیزیک جدیدی را آسان‌تر می‌کند. مطالعه‌ی فرآیند FCNC از محورهای تحقیقاتی اصلی در فیزیک ذرات نظری و تجربی است.

در LHC، برخورد‌های پروتون-پروتون کپی‌های فراوانی از کوارک ته و پادکوارک‌ها تولید می‌کند که بیشتر آن‌ها تبدیل به مزون B می‌شوند. تاکنون LHCb، از آزمایشات انجام شده با استفاده از پروتون‌هایی با انرژی مرکز جرم 7 و 8 ترا الکترون ولت (TeV)، 260 میلیارد جفت کوارک ته-پاد کوارک جمع آوری کرده است. به علت سر و کار داشتن با انبوهی از رخدادها، آن‌ها توانستند بررسی خود را به ذرات حالت نهایی با پنجره‌ای از انرژی که پس زمینه کوچکی داشته باشد محدود کنند- روشی کلیدی برای اینکه عدم قطعیت اندازه‌گیری‌ها کاهش یابد. به لطف تعداد بسیار زیاد کوارک‌های ته و پادکوارک‌ها و همچنین یک آشکارساز اختصاصی که به طور ویژه برای مطالعه‌ی واپاشی مزون B طراحی شده، پژوهشگران توانسته‌اند RK را با دقت تجربی بسیار بهتری نسبت به سابق اندازه بگیرند.

اگر انحراف از RK به فیزیک جدیدی اشاره دارد، پس چرا این فیزیک جدید در آزمایشات دیگر دیده نشده است؟ اول اینکه، هیچ آزمایشی چنین حجم عظیمی از داده‌ها مانند LHCb را در اختیار نداشته است. اندازه‌گیری‌های قبلی RK در برخورد‌های الکترون-پوزیترون عدم قطعیت‌های بسیار بزرگتری داشتند و با جامعیت لپتون سازگار بودند. علت دوم آن است که RK استثنائاً نقطه‌ی «تمیزی clean» برای

جستجوی نقض جامعیت لپتون است. اثراتی که باعث محدودیت دقت محاسبه‌ی جداگانه‌ی صورت و مخرج کسر یا اندازه‌گیری آن‌ها می‌شوند، یک دیگر را در تقسیم حذف می‌کنند.

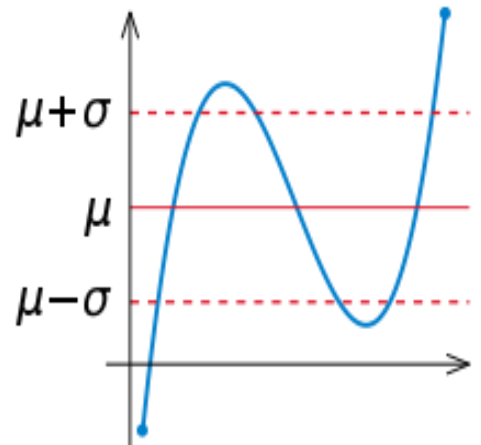
با توجه به اینکه پیش‌بینی‌های مدل استاندارد قبلاً آزمون‌های بسیار دقیقی را پشت سر گذاشته‌اند، آیا مقدار مشاهده شده‌ی RK را می‌توان با مدل‌های واقعی تطبیق داد؟ پاسخ مثبت است، زیرا RK از یک طرف خیلی تمیز و از طرفی کاملاً ویژه است. در حقیقت، روش مقرون به صرفه برای تعمیم استاندارد این است که به سادگی برهمکنش‌های جدیدی که الکترون و/یا میون را به کوارک‌های ته و شگفت مربوط می‌کند به آن اضافه کنیم. چند نمونه از مدل‌هایی که شامل این نوع برهمکنش‌ها هستند می‌توانند یافته‌ی LHCB را توضیح دهند. یکی از این نمونه‌ها میدان جدیدی را پیش‌بینی می‌کند که به میون‌ها و تاوها جفت می‌شود اما نه به الکترون‌ها. مدل دیگر ذراتی فرضی را پیش‌بینی می‌کند که لپتوکوارک (leptoquark) نامیده می‌شوند. این ذرات بوزونی، احتمالاً واسطه‌ی واپاشی FCNC هستند اما در واپاشی‌هایی که به میون یا الکترون منجر می‌شود عملکرد کاملاً متفاوتی دارند. در مدل اخیر، مقدار مشاهده شده‌ی RK همراه با سایر قیده‌های تجربی، پیشنهاد می‌دهد که اگر لپتوکوارک‌ها وجود داشته باشند، جرمشان باید بین 1TeV تا حدوداً 48TeV باشد. آزمایش‌های فعلی می‌توانند در LHC به دنبال لپتوکوارک‌های سبک‌تر بگردند و برخورددهنده‌های طراحی شده که در انرژی‌های بالاتر کار می‌کنند به دنبال لپتوکوارک‌های سنگین‌تر باشند.

بعد چه؟ یافته‌های گروه LHCB باید الهام بخش مطالعات نظری جدید در مورد فرآیندهای تغییر طعم و تحقیقات آزمایشگاهی تازه در برخورددهنده‌های انرژی بالا شود. هر فیزیک جدیدی که به RK مربوط شود باید خودش را در فرآیندهای دیگری که شامل FCNC هستند نشان دهد. در واقع، اگر تفاوت آشکار بین میون‌ها و الکترون‌ها ناشی از برهمکنش متفاوت ذرات-هنوز کشف نشده با میون و الکترون باشد، پس آزمایش‌ها باید به دنبال این ذرات باشند. در صورتی که اندازه‌گیری‌های LHCB با بررسی‌های بعدی در توافق باشد، آنگاه نشانه‌ای بسیار خاص از شکست مدل استاندارد بوده و ما را به مدل‌های جدید هدایت خواهد کرد. تا وقتی که نشانه‌ای در کار است، ممکن است در حال دیدن شمه‌ای از فیزیکی نوین باشیم.

[http://psi.ir/news2\\_fa.asp?id=1563](http://psi.ir/news2_fa.asp?id=1563)

## 8-انحراف معیار (ویکی پدیا)

متغیر تصادفی (آبی). انحراف معیار  $\sigma$  نمایندهٔ پخش‌شدگی مقادیر متغیر تصادفی حول مقدار میانگین،  $\mu$ ، است.



در آمار انحراف معیار (standard deviation) (که با نماد  $\sigma$  نشان داده می‌شود) یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به طور میانگین داده‌ها چه مقدار از مقدار متوسط فاصله دارند. اگر انحراف معیار مجموعه‌ای از داده‌ها نزدیک به صفر باشد، نشانه آن است که داده‌ها نزدیک به میانگین هستند و پراکندگی اندکی دارند؛ در حالی که انحراف معیار بزرگ بیانگر پراکندگی قابل توجه داده‌ها می‌باشد. انحراف معیار برابر با ریشه دوم واریانس است. خوبی آن نسبت به واریانس، این است که هم بعد با داده‌ها می‌باشد.

انحراف معیار برای تعیین ضریب اطمینان در تحلیل‌های آماری نیز به کار می‌رود. در مطالعات علمی، معمولاً داده‌های با اختلاف بیشتر از دو انحراف معیار از مقدار میانگین به عنوان داده‌های پرت در نظر گرفته و از تحلیل، خارج می‌شوند.

**9- توضیح مشاهده شونده 'P5'، برگرفته از سایت LHCb**

20 March 2015:  $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$ : new analysis confirms old puzzle.

Angular analysis of the  $B^0 \rightarrow K^* \mu^+ \mu^-$  decay.

... فیزیکدانان آزمایش LHCb ، کمیت‌های مشاهده شونده از زاویه‌های مختلف را بمتابۀ تابعی از جفت میون‌ها بررسی کردند. "P5" یکی از مشاهده شونده‌ها بود که انحرافی موضعی نسبت به محاسبات مدل استاندارد نشان داد. علاقه‌ی ویژه به این مشاهده شونده به دلیل آن است که پیش‌بینی کردن آن‌ها از لحاظ نظری وابستگی بسیار کم‌تری به درک خوب از فیزیک هادرونیک دارد که در تبدیل مزون B به یک مزون  $K^*$  ضروری است. بدین جهت این مشاهده شونده برای جستجوی اثرها و پیامدهای ذرات جدید، ایده آل‌اند.

<http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/>