

ماده تاریک، جهانی پنهان

بُگدان ۱. دُبِرسکو - دُن لینکلن

برگردان: امید برومند

مشاهدات زیادی از جهان حاکی از آن‌اند که علاوه بر ماده قابل مشاهده، جزء «تاریک» دیگری نیز باید وجود داشته باشد. محققان مدت زمان طولانی تنها نوعی از ذرات به نام ذرات سنگین با برهم‌کنش ضعیف (WIMPs) (۱) را بمثابه کاندیدایی برای ماده تاریک فرض می‌کردند. احتمالاً بخش غیر قابل مشاهده کیهان بسیار متنوع‌تر از این فرض است.



فیزیک‌دان ذره‌ای نظری بُگدان ۱. دُبِرسکو (سمت چپ) در Fermilab در ایالت ایلینویز تحقیق می‌کند. نظرات او شامل ایجاد ماده‌ی تاریک در شتاب دهنده‌ی محلی است که بعداً در ردیاب‌های نوپینو به اثبات رسید. دُن لینکلن نیز در Fermilab کار می‌کند که برای تحقیقاتش از داده‌ها و نتایج برخورد دهنده هادرونی بزرگ (Large Hadron Collider) در CERN استفاده می‌کند.

بسیاری از کیهانشناسان‌های ماریجی شکل، همانند کیهانشناسان آندرومدا رازی در خود نهفته دارند: سرعت گردش آن‌ها با قوانین شناخته شده‌ی فیزیک قابل توضیح نیست. چرا که به علت گرانش ماده‌ی قابل مشاهده، ستارگان واقع در ناحیه بیرونی آنها باید سرعت گردش آهسته‌تری نسبت به سرعت واقعی‌شان نشان دهند.

در یک نگاه

تنوع زیاد در بخش تاریک

۱- دانشمندان از طریق مشاهدات نجومی دریافته‌اند که در جهان باید مقدار بیشتری ماده نسبت به آنچه که در آزمایش‌های امروز دیده می‌شود، وجود داشته باشد.

۲- بسیاری از فیزیک‌دانان تا به حال نیروی خود را بدون نتیجه بر روی یافتن ذراتی، بعنوان منشاء ماده‌ی تاریک متمرکز کرده‌اند. در عین حال، نظریه‌های عجیب و غریب‌ای که ناشی از اثر متقابل نظریات نامزد پرشمار با یکدیگرند، معقول‌تر به نظر می‌آیند.

۳- چنین ماده‌ی تاریک پیچیده‌ای نه تنها می‌تواند اتم‌ها و مولکول‌ها، بلکه حتی کیهانشناسان‌های نامرئی در میان بازوی ماریجی شکل جزیره‌ای از ستارگان شناخته شده تشکیل دهد.

بدین جهت کیهانشناسان بر این باورند که شکلی از یک ماده نامرئی، یعنی به اصطلاح ماده تاریک، چنین کیهانشناسان‌هایی را احاطه کرده و در آنها نفوذ می‌کند. این ماده باید جزء اضافه شده‌ای به گرانش باشد که توضیح دهنده‌ی سرعت گردش مشاهده شده است. این ماده تاریک که احتمالاً ۲۵ درصد کل جرم جهان را تشکیل می‌دهد، می‌تواند علت وقوع پدیده‌های معین مرموزی از دیرباز تا به امروز، در کیهان باشد. به عنوان مثال، این ماده می‌تواند علت سرعت نسبی (۲) فوق‌العاده بالای کیهانشناسان‌ها در خوشه‌های کیهانشناسی برای توزیع ماده‌ی حاصل از برخورد دو خوشه‌ی کیهانشناسی با یکدیگر و یا برای برخی مشاهدات خاص عدسی گرانشی، یعنی انحراف نور در میدان گرانشی کیهانشناسان‌های دوردست، باشد.

ساده‌ترین مدل‌ها تنها یک نوع ذره را برای ماده‌ی تاریک مورد فرض قرار می‌دهند. اما محققان علیرغم سال‌ها جستجو، هنوز موفق به اثبات وجود آن نشده‌اند. علاوه بر این، برخی از مشاهدات نجومی با برخی از پیش‌بینی‌های این نظریه‌ی ساده تفاوت دارند. به همین علت برخی از دانشمندان تصورات سنتی را به چالش کشیده و تصویر پیچیده‌تری از ماده‌ی تاریک را طراحی کرده‌اند، که بر طبق آن این ماده باید از انواع مختلف ذرات تشکیل شده باشد و می‌تواند همانند ماده عادی، ساختار پیچیده مشابهی داشته باشد.

احتمالاً بین این ذرات نیروهای بسیار قوی و تاکنون غیر قابل تصویری عمل می‌کنند که ماده‌ی عادی آنها را یا به سختی و یا اصلاً حس نمی‌کند.

این فرضیه مبتنی بر مشاهدات جدید از کهکشان‌های برخورد کننده با یکدیگر است. علاوه بر این چنین نیروهایی، تفاوت بین مدل‌های ساده‌ی ماده‌ی تاریک و برخی مشاهدات دیگر را توضیح می‌دهند.

هستی پنهانی

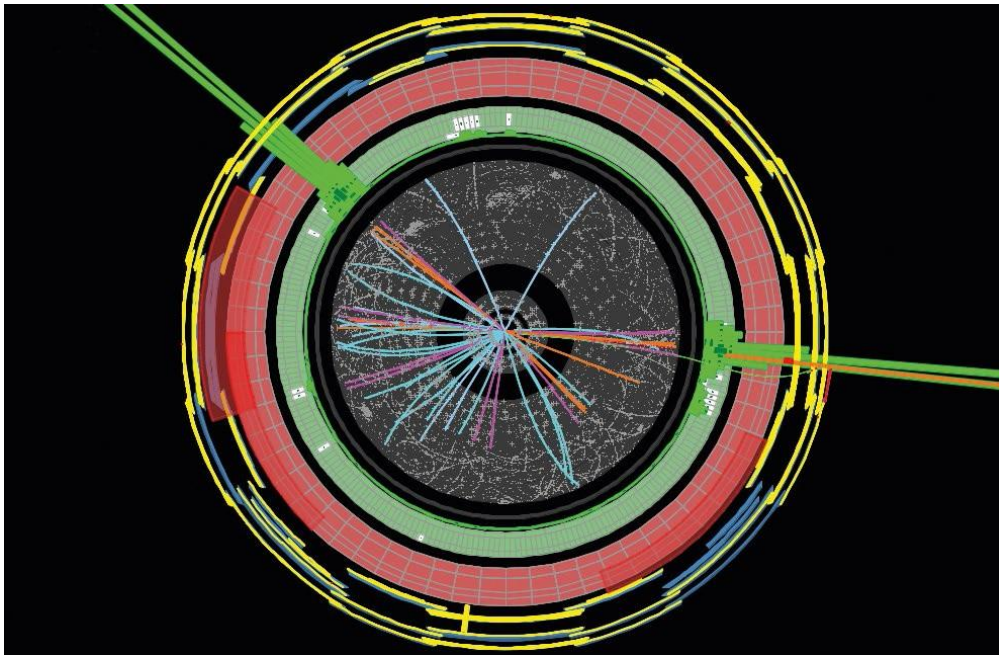
اگر چه ما ساختار ماده‌ی تاریک را نمی‌شناسیم، اما از بعضی از مشاهدات می‌توان علاوه بر تاثیر گرانشی‌ای که بر روی ماده‌ی عادی دارد، برخی از خصوصیات دیگر آن را نیز نتیجه‌گیری کرد. بدین ترتیب باید فرض را بر این نهاد که ماده‌ی تاریک سرعتی بسیار آهسته‌تر از سرعت نور دارد، اما در عین حال **جرم سکون (۳)** آن نسبتن بزرگ است. در غیر این صورت، پیدایش ساختارهای امروزی کهکشان‌ها از نوسانات چگالی در جهان اولیه امکان پذیر نمی‌بود، و از آنجا که ماده‌ی تاریک تشعشع‌های الکترومغناطیسی را پخش و جذب نمی‌کند، باید از لحاظ الکتریکی خنثی باشد. علاوه بر این، بنظر می‌رسد که نسبت به نیروی قوی‌ای که باعث انسجام هسته اتم‌های ماده‌ی عادی است، واکنشی نشان نمی‌دهد. اگر چنین می‌بود، می‌بایستی که تا به حال، نشانه‌هایی از اثر متقابل ماده‌ی تاریک با ذرات باردار و با انرژی بالای تابش کیهانی را مشاهده می‌کردیم. با این حال، تا همین اواخر دانشمندان معتقد بودند که ماده‌ی تاریک از طریق نیروی ضعیف ایجاد کننده‌ی واپاشی بتا (Beta decay)، اثر متقابل می‌گذارد. البته در این میان، مشاهدات این فرض را هم رد می‌کنند.

علاوه بر این، ماده‌ی تاریک باید در مقیاس‌های زمانی کیهانی پایدار باقی بماند. زیرا که هیچ مکانیسم مطمئنی برای تولید مدام ماده‌ی تاریک جدید وجود ندارد. بدین جهت ماده‌ی تاریک باید همانند ماده‌ی معمولی، با مهبانگ بوجود آمده باشد. توصیف یک ذره به عنوان پایدار، همچنین به این معنی است که ذره، کمیتی به اصطلاح **پایستار (۴)** است، یعنی دارای خاصیتی است که تحت همه شرایط حفظ می‌شود. یعنی یک ذره در صورت از دست رفتن این خاصیت، توانایی تجزیه شدن را نخواهد داشت. در حقیقت ذرات، گرایش به تجزیه شدن به ذرات سبک‌تر را دارند مگر این که چیزی مانع آنها از انجام این کار بشود. بطور مثال الکترون باردار است. تنها ذرات باثبات سبک‌تر از الکترون یعنی نوترینو و فوتون، بار الکتریکی ندارند. از نقطه نظر **پایستگی انرژی (5)**، الکترون می‌تواند به این ذرات تجزیه شود، اما **پایستگی بار (6)** مانع از چنین انتقال و گذاری می‌شود.

اکثر مدل‌های نظری ماده‌ی تاریک **کمیت پایستاری (۴)** را به این ذرات نسبت می‌دهند که به دلایل تاریخی توازن (parity) نامیده می‌شود. مقدار توازن برای ذرات ماده‌ی تاریک -1 و برای همه ذرات ماده‌ی عادی $+1$ می‌باشد. توازن، مانع از تجزیه ذرات ماده‌ی تاریک به ماده‌ی عادی و بالعکس آن می‌شود.

ساده‌ترین نظریه‌ای که تمام این نکته‌ها را در خود گرد می‌آورد، فقط یک ذره‌ی ماده تاریک به نام **ذره‌ی سنگین با برهمکنش ضعیف (WIMP)** را مورد فرض قرار می‌دهد. دلایل نظری زیادی به نفع ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف وجود دارند. اما اثبات آنها بسیار سخت‌تر از آن است که فیزیکدانان در ابتدا انتظارش را داشتند. آنها از دهه ۹۰ میلادی آزمایش‌هایی انجام داده و از این طریق کوشیده‌اند که ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف را بر پایه برهمکنش فرضی بسیار نادر با ماده‌ی عادی به اثبات برسانند.

پژوهش‌گران برای دستیابی به دقت و حساسیت لازم در آزمایش‌هایشان، ردیاب‌های مورد استفاده را تا دمای بسیار پایینی خنک می‌کنند. علاوه بر آن، برای محافظت ردیاب‌های مورد استفاده در مقابل اشعه‌ی کیهانی، آنها را عمق زیادی در درون زمین جاسازی می‌کنند. اشعه‌ی کیهانی می‌تواند علامت‌ها و نشانه‌های مشابه دیده شده از ماده‌ی تاریک را ایجاد کند. اگر چه این آزمایش‌ها بطور مدام دقیق‌تر شده‌اند، اما تا بحال هنوز هیچ نشانه‌ی قطعی از ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف وجود ندارد. حتی اگر مدل، توانایی توضیح مشاهدات بسیاری در فضا را داشته باشد، توانایی هماهنگ و سازگار شدن با همه‌ی آن مشاهدات را نخواهد داشت.



در برخورد دو پروتون با یکدیگر همانند آنچه که در ردیاب ATLAS در CERN اتفاق می‌افتد نشان‌ها و علامت‌های مشخصه‌ی سازگار با بعضی از مدل‌های ماده تاریک (خطوط سبز رنگ) ایجاد می‌شوند.

بطور مثال نظریه‌ی ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف، تعداد بسیار بیشتری از کهکشان‌های کوتوله‌ی گردش‌گر به دور کهکشان راه شیری را نسبت به مقدار مشاهده شده، پیش‌بینی می‌کند. علاوه بر این، تمرکز ماده‌ی تاریک در مرکز کهکشان‌ها باید بیشتر از مقدار گمانه‌زنی شده از طریق اندازه‌گیری سرعت دوران باشد. البته، در چارچوب الگوبرداری از آسمان، کهکشان‌های کوتوله‌ی جدیدی در همسایگی کهکشان راه شیری کشف شده‌اند. این امر می‌تواند مشکل را حداقل در ارتباط با کهکشان ما حل کند. با این حال تناقضات، در را به روی نظریه‌های غیر متعارف باز کرده‌اند.

به‌جای تنها یک نوع ذره برای ماده‌ی تاریک، وجود رده‌ها و دسته‌های مختلفی از ذرات و همچنین انواع نیروهایی که فقط بر روی ماده‌ی تاریک عمل می‌کنند، قابل تصور می‌باشند. این ذرات می‌توانند به عنوان مثال بار تاریک جدیدی را حمل کرده، که از طریق آن یکدیگر را جذب و یا دفع کنند و با وجود این، از لحاظ الکتریکی به معنای متداول آن خنثی باشند. همانگونه که ذرات عادی با بار الکتریکی، فوتون‌ها (حاملان نیروی الکترومغناطیسی) را تشعشع می‌کنند، نوع جدید ماده می‌تواند فوتون‌های تاریک منتشر کند.

جهان معکوس شگفت

مقایسه و شباهت با جهان تشکیل شده از ماده‌ی عادی، حد و مرزی دارد. زیرا که به این نکته آگاهیم که ماده‌ی عادی از راه تشعشع فوتون‌ها، انرژی را مبادله کرده و می‌تاباند. این امر در نهایت علت تشکیل دیسک توسط کهکشان‌ها است: ابرهای گاز با انتشار انرژی الکترومغناطیسی در کهکشان‌ها باعث خنک شدن، فشردگی و تبدیل آنها به توده‌ای متراکم می‌شوند.

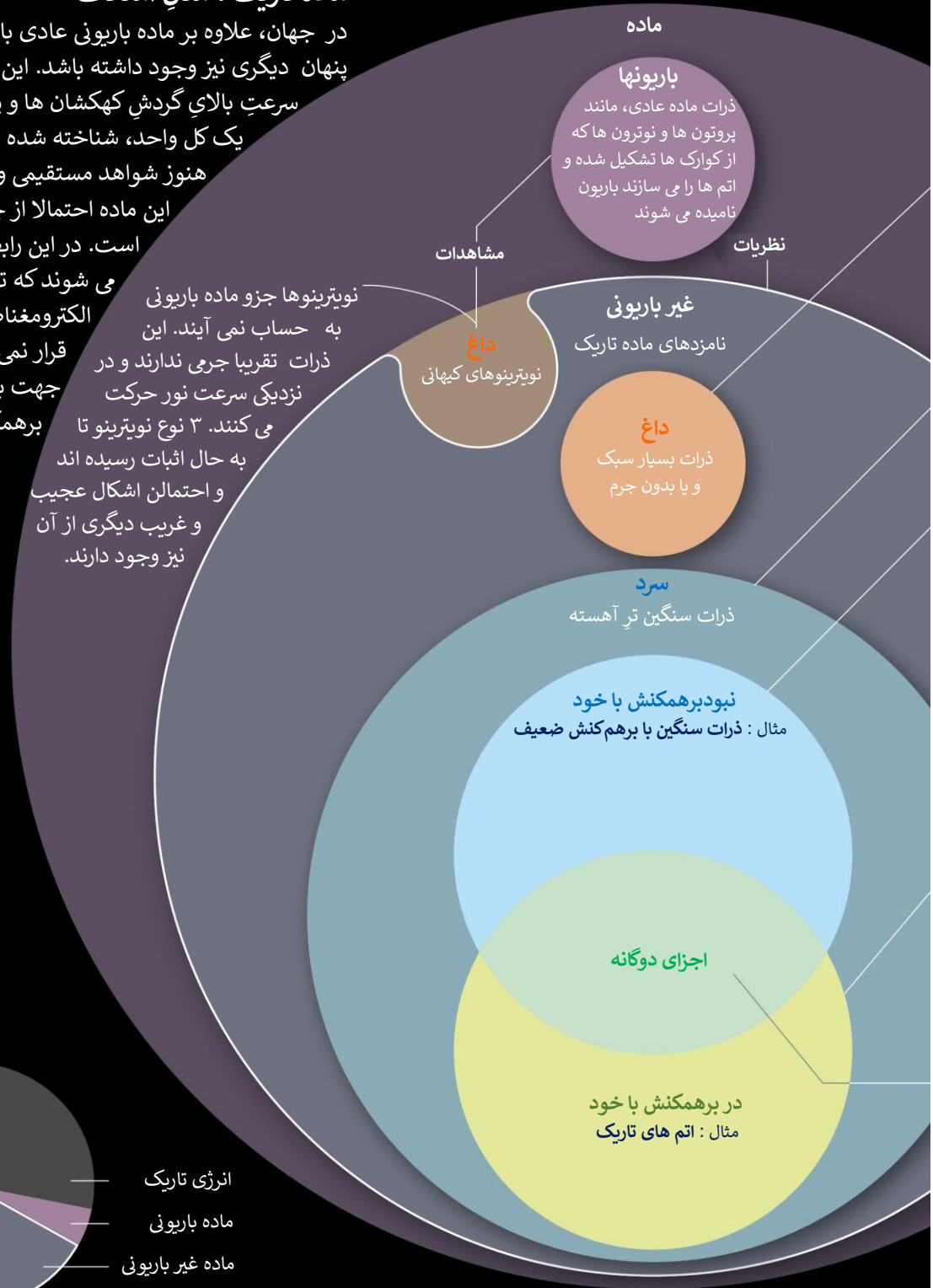
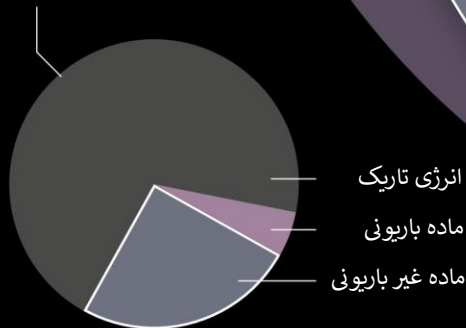
پایستگی تکانه زاویه‌ای (۷) باعث می‌شود که ماده بصورت تمرکز یافته در خود فرو نمی‌ریزد بلکه یک دیسک تشکیل می‌دهد. اگر این قانده‌ها برای ماده‌ی تاریک هم صادق باشند، این ماده باید چنین دیسکی تشکیل دهد. اما این نکته آشکار است که قسمت اعظم ماده‌ی تاریک موجود در کهکشان‌های شناخته شده، بیشتر بصورت کروی شکل توزیع شده است. به همین جهت چنین دنیای دقیقین معکوسی ممکن نیست.

ماده تاریک : مدل امکانات

در جهان، علاوه بر ماده باریونی عادی باید همچنین جزء پنهان دیگری نیز وجود داشته باشد. این جزء بعنوان علت سرعت بالای گردش کهکشان ها و پیوستگی آنها بعنوان یک کل واحد، شناخته شده است. با این حال هنوز شواهد مستقیمی وجود ندارند که

این ماده احتمالا از چه تشکیل شده است. در این رابطه ذراتی حدس زده می شوند که تحت تاثیر نیروی الکترومغناطیسی و نیروی قوی قرار نمی گیرند و به همین جهت با اتم های ماده عادی برهمکنشی ندارند. نوترینوها جزو ماده باریونی به حساب نمی آیند. این ذرات تقریبا جرمی ندارند و در نزدیکی سرعت نور حرکت می کنند. ۳ نوع نوترینو تا به حال اثبات رسیده اند و احتمالن اشکال عجیب و غریب دیگری از آن نیز وجود دارند.

جهان شامل ماده باریونی، ماده تاریک و همچنین انرژی تاریک است. انرژی تاریک باعث انبساط جهان است.



بهترین نامزدها برای ماده تاریک

داغ

ذراتی که با سرعت نور و یا با سرعتی در نزدیکی آن حرکت می کنند؛ بطور مثال نوترینوهای عجیب و غریب

سرد

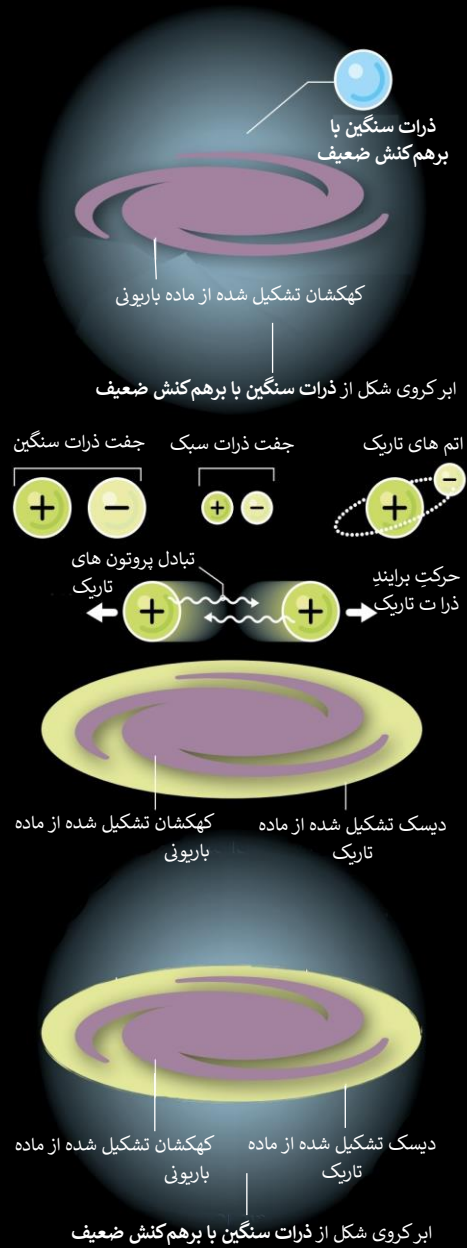
ذرات ماده تاریک که با سرعتی بسیار کمتر از سرعت نور حرکت می کنند، می توانند کهکشانها و توزیع ماده در جهان را بسیار بهتر توضیح دهند. احتمالاً حداقل ۹۵ درصد از ماده تاریک سرد است.

نبود برهمکنش با خود

ساده ترین نوع از یک ذره ی ماده ی تاریک سرد، یک ذره سنگین با برهم کنش ضعیف می باشد، که بسیار بندرت و یا اصلاً با ماده عادی برهمکنشی ندارد.

در برهمکنش با خود

در صورت برهمکنش ماده تاریک با خود، نیروی "تاریکی" باید ایجاد شود که ماده باریونی در مقابل آن غیر حساس است. این احتمالاً نوعی الکترومغناطیس تاریک است که در آن ذرات، نوعی بار مثبت و منفی دارند و از این طریق با یکدیگر دربرهمکنش هستند و پروتون های تاریک رد و بدل می کنند. احتمالاً ذرات سبک و سنگینی وجود دارند که همانند ذرات ماده عادی با گرد همایی کنار هم اتم های تاریک را تشکیل می دهند. این شکل از ماده تاریک می تواند دیسک نامرئی تشکیل دهد که با بازوی مارپیچی شکل تشکیل شده از ماده باریونی کهکشانها روی هم می افتند.



اجزای دوگانه

ماده تاریک می تواند مخلوطی از دو نوع از ذرات سرد باشد، ذراتی که با هم نوع خود در برهمکنش هستند و ذراتی که با هم نوع خود برهمکنشی ندارند. پس باید هم ابرکروی شکلی از ذرات سنگین با برهم کنش ضعیف کهکشانها را احاطه کند و هم دیسک مسطحی از ذرات ماده تاریک که با یکدیگر در فعل و انفعال و برهمکنش هستند.

یکی از ساده ترین سناریوها بر پایه دو نوع متفاوت از ذرات برای ماده‌ی تاریک، امکان نگرشی به قوانین فیزیکی را می‌دهد که ممکن است در مورد ماده‌ی تاریک به صورت پیچیده‌تری عمل کنند. اگر دو نوع بار تاریک مثبت و منفی وجود داشته باشند، شکلی از الکترومغناطیس تاریک و در نتیجه فوتون‌های تاریک نیز وجود خواهند داشت. و همانطور که ذرات ماده‌ی عادی هنگام برخورد با پادذره (۸) خود، یکدیگر را نابود می‌کنند، ذرات ماده‌ی تاریک نیز باید قادر به انجام این کار باشند و در جریان آن فوتون‌های تاریک منتشر کنند.

با تامل بر این نکته که چگونه نیروی الکترومغناطیس تاریک به طور غیرمستقیم بر کهکشان‌ها تاثیر می‌گذارد، می‌توان در مورد شدت الکترومغناطیس تاریک و تناوب (بسامد) چنین واکنش‌های نابودکننده‌ای، به نتیجه‌گیری‌هایی برسیم. از آنجا که ماده‌ی تاریک در بیشتر کهکشان‌ها در حالتی کروی شکل توزیع شده و مانند ماده‌ی عادی پهن و مسطح نیست، می‌توان فرض کرد که نسبت و میزان از دست رفتن انرژی ماده‌ی تاریک از طریق فوتون‌های تاریک با نسبت و میزان از دست رفتن انرژی ماده‌ی عادی توسط فوتون‌ها، تفاوت دارد. با این حال، برطبق یک پژوهش **لُتی اِکِرْمَن** و همکارانش از **موسسه‌ی فناوری کالیفرنیا** از سال ۲۰۰۹، در صورت وجود بار تاریک، این بار تنها به اندازه ۱ درصد از بار ماده‌ی عادی خواهد بود. اما حتی چنین مقدار کمی عواقب قابل توجهی برای کهکشان‌ها و تکامل آن‌ها می‌تواند داشته باشد.

چی چی فان، آندره گتس، لیزا راندال و متیو رییس در سال ۲۰۱۳ در دانشگاه هاروارد، نظر جالبی درباره‌ی «ماده‌ی تاریک با برهمکنش محدود» را مطرح کردند. آنان در این رابطه بر این باورند که قسمت عمده‌ی ماده‌ی تاریک از ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف تشکیل شده است، با این حال آنها نیاز به ۲ نوع ذره‌ی سبک و سنگین دیگری که دارای خواص فرمیون‌ها (۹) و دارای بار تاریک هستند، داشتند. فرمیون‌ها تشکیل شده از ذراتی با اسپین (۱۰) مکانیک کوانتومی برابر با ۰/۵ مانند پروتون‌ها، نوترون‌ها و کوارک‌ها هستند. فرمیون‌های تیره می‌توانند یکدیگر را جذب کرده و فوتون‌های تاریک تشعشع کنند.

شیمی طرف تاریک

اگرچه در تفسیر این شباهت نباید زیاده‌روی کرد، اما مدل پیشنهادی شباهت بسیاری به مدلی با یک پروتون تاریک، یک الکترون تاریک و یک فوتون تاریک دارد. بسته به جرم و بار فرمیون‌های تاریک، آن‌ها می‌توانند گردهم آمده و ملکول‌ها و شیمی تاریک خاص خود و حتی ساختارهای پیچیده‌تر تشکیل دهند. **دیوید ا. کاپلان، گردن ز کِرِنایتس، کیت ر. هرمن و کریستوف م. ولس** در سال ۲۰۱۰ در دانشگاه **جان هاپکینز در بالتیمور**، طرح و مفهوم اتم‌های تاریک را مفصل و دقیق مورد بررسی قرار دادند.

دانشمندان **هاروارد** با ایده‌ی ذرات فرمیونی تاریک و بر اساس مشاهدات نجومی، حدی نهایی برای سهم ماده‌ی تاریک - که شدیدتر از طریق الکترومغناطیس تاریک تاثیرگذار است- برآورد کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که کل جرم ماده‌ی تاریک می‌تواند به اندازه‌ی جرم ماده‌ی قابل مشاهده باشد. بر اساس این مدل، کهکشان راه شیری از یک ابر کروی شکل بزرگ از ذرات شبیه به ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف تشکیل شده است، که ۷۰٪ کل جرم را تشکیل می‌دهند و در دو دیسک پهن - که هر کدام از آنها ۱۵٪ بقیه‌ی جرم را تشکیل می‌دهند- جای گرفته‌اند. یکی از این دیسک‌ها از مواد معمولی تشکیل شده و حاوی بازوهای مارپیچی شکل قابل مشاهده است. دیسک دیگر از ماده‌ی تاریک شدیدتر برهمکنش کننده، تشکیل شده است. به احتمال زیاد این دو دیسک جهت‌گیری فضایی مشابهی دارند. با این وجود، دیسک تشکیل شده از ماده‌ی تاریک نباید ستاره یا سیاره‌های بزرگ‌تری داشته باشد، وگرنه تاثیر گرانشی آن‌ها بر روی ماده‌ی عادی در کهکشان راه شیری باید تا بحال مشاهده می‌شد. چنین دیسک اضافه‌ای بطور کلی بر کهکشان قابل مشاهده‌ی ما تاثیری نخواهد گذاشت.

دانشمندان روش جستجوی ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف، یعنی به کارگیری ردیاب‌های بسیار حساس زیر زمینی را نیز در جستجوی ذرات ماده تاریک پیچیده، مورد استفاده قرار می‌دهند. ذرات ماده تاریک پیچیده، باید بیشتر از آنچه که مدل‌های ساده‌ی ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف پیش‌بینی می‌کنند، از دستگاه‌های ردیاب عبور کنند. این امر احتمال ردیابی آن‌ها را افزایش می‌دهد. علاوه بر این آزمایش‌ها، فیزیک‌دانان امیدوارند ماده‌ی تاریک را در شتاب دهنده‌های ذرات، همراه با سایر ذرات عجیب و غریب ایجاد کنند.

آزمایش‌های رنگارنگ

از آنجایی که دانشمندان در مورد برهمکنش ماده‌ی تاریک با ماده‌ی عادی و در نتیجه در مورد فرآیندهایی که در شتاب دهنده‌ها می‌توانند روی دهند اطلاعات بسیار کمی دارند، برنامه‌ی تحقیقاتی گسترده‌ای را آغاز کرده‌اند. این برنامه شامل طیف گسترده‌ای از مدل‌ها، از ذرات سنگین با برهمکنش ضعیف ساده گرفته تا شکل‌های پیچیده‌تر ماده‌ی تاریک است. اما در این جا باید چندین نکته را مورد فرض قرار دهیم، مثلن هر دو شکل ماده از طریق یک یا چندین نیرو با یکدیگر برهمکنش دارند، که هر چند این نیروها از گرانش (که ضعیف‌ترین نیروی شناخته شده است) قوی‌تر هستند، اما با این حال تا آن اندازه ضعیف‌اند که تا کنون مشاهده‌ی آن‌ها امکان‌پذیر نبوده است.

ضمنن، این نیرو و نیروی الکترومغناطیس تاریک - که پیش‌تر مطرح شد - ماهیت متفاوتی دارند. اما اگر ماده‌ی تاریک تنها از طریق نیروی جاذبه با ماده‌ی عادی برهمکنش داشته باشد، هیچ‌گاه نخواهیم توانست ماده‌ی تاریک را در شتاب‌دهنده‌گان تولید کرده و یا در یک جستجوی مستقیم پیدا کنیم.

علاوه بر این، توان شتاب‌دهنده (Large Hadron Collider (LHC در CERN در نزدیکی ژنو، که بیشترین انرژی در سراسر جهان را تولید می‌کند، جستجو در پی انواع ذرات سنگین‌تر ماده‌ی تاریک را محدود می‌کند. زیرا هر چه یک ذره سنگین‌تر باشد، برای تولید آن در یک شتاب‌دهنده به انرژی بیشتری نیاز خواهد بود. این امر برای ذراتی از ماده‌ی تاریک نیز صادق است که با دارا بودن انرژی بیشتر، برهمکنش بیشتری با یکدیگر خواهند داشت.

با آگاهی به این نکته که ماده‌ی تاریک تاثیر بسیار ضعیفی بر روی ماده‌ی عادی دارد، انتظار مشاهده‌ی مستقیم آن را در یک ردیاب نمی‌توان داشت. ردیاب خود از ماده‌ی عادی تشکیل شده است. بدین جهت به جای آن، دانشمندان به دنبال برخورد ذراتی هستند که در آن‌ها انرژی ظاهرا از دست می‌رود. به عنوان مثال، بعد از برخورد دو پروتون با یکدیگر ممکن است یک یا چند ذره‌ی شناخته شده در جهتی و ذرات ماده‌ی تاریک در جهتی دیگر پرتاب شوند. به عنوان نشانه و مشخصه چنین رویدادی، انرژی تنها در یک طرف ردیاب، و نه در طرف دیگر آن، اندازه‌گیری می‌شود.

چنین حوادث نامتقارنی باید همچنین در حالت نبود ماده‌ی تاریک با تناوب خاصی رخ دهند. در شتاب دهنده LHC تا کنون نشانه‌هایی از مازاد وجود ندارد (اشاره به پارگراف قبلی - مترجم). این نکته نشان‌دهنده‌ی آن است که اگر ماده‌ی تاریک کلن با ماده‌ی عادی برهمکنشی داشته باشد، این برهمکنش به ندرت اتفاق خواهد افتاد. پس از یک وقفه، با به کارگیری دوباره شتاب دهنده LHC با انرژی برخورد بالاتر، امکانات جدیدی برای پیدا کردن چنین نشانه‌هایی وجود دارند.

علاوه بر این روش‌های جستجو، که هم برای ذرات سنگین با برهم‌کنش ضعیف و هم برای ماده‌ی تاریک پیچیده مناسب-اند، رویکردهای دیگری نیز وجود دارند که بیشتر برای ماده‌ی تاریک پیچیده طراحی شده‌اند. بسیاری از آنها در جستجوی فوتون‌های تاریک‌اند. برخی از مدل‌ها، طبق قوانین مکانیک کوانتومی، فرض را بر توانایی تبدیل شدن پیوسته‌ی فوتون‌های تاریک به فوتون‌های عادی و برگشت به حالت پیشین قرار می‌دهند. در این حالت اخیر [برگشت به حالت پیشین. م] فوتون‌ها باید قابل دیدن باشند. طبق برخی از مدل‌ها، فوتون‌های تاریک (بر خلاف فوتون‌های عادی) امکان داشتن جرم سکون (۳) را دارند. پس آن‌ها احتمال تجزیه شدن به ذرات سبک‌تر را دارند. و اگر فوتون تاریک برای مدت زمان کوتاهی توانایی تبدیل شدن به فوتون عادی را داشته باشد، این احتمال

کم وجود دارد که در طی این روند جفت‌های الکترون - پوزیترون - پوزیترون و یا جفت‌های مشابه ذره - پادذره از میون‌ها (۱۱)، تشکیل شوند. از این رو برخی از همکاری‌های تجربی، به جستجوی برخورد ذراتی اختصاص دارد که در آن‌ها جفت‌های الکترون - پوزیترون و یا جفت‌های میون - پادمیون (Antimyon) تشکیل می‌شوند. چنین مطالعاتی در LHC (در CERN در نزدیکی ژنو) و همچنین در شتاب‌دهنده‌های دیگر مانند پروژه KLOE-2 در موسسه ملی فیزیک هسته‌ای متعلق به آزمایشگاه‌های ملی Frascati در ایتالیا، در جریان‌اند. سایر پژوهش‌ها شامل آزمایش جستجوی فوتون سنگین (HPS) در تأسیسات شتاب‌دهنده ملی توماس جفرسون در نیوپورت نیوز و آزمایش ردیاب BaBar در آزمایشگاه شتاب‌دهنده ملی SLAC در پارک منلو هستند. علاوه بر این، دانشمندان داده‌ها و اطلاعات قدیمی SLAC را هم مورد استفاده قرار می‌دهند.

آزمایشگاه شتاب دهنده ملی Fermi در باتاویا در ایلینویز، روش جالب دیگری را با کوشش در ایجاد تشعشع از ذرات ماده‌ی تاریک، دنبال می‌کند. Fermilab در حال حاضر پرتوهای نوترینوی متراکم و با انرژی بالایی را تولید می‌کند که به ردیاب‌های بسیار دور اصابت می‌کنند. نوترینوها ذرات زیراتمی بسیار سبکی هستند که تنها از طریق نیروی ضعیف هسته‌ای بر روی ماده تأثیر می‌گذارند. اگر ماده‌ی تاریک با ماده‌ی عادی از طریق ذراتی همانند فوتون‌های تاریک تأثیر متقابل داشته باشد، ایجاد ماده‌ی تاریک در این پرتوهای نوترینو و ثبت آن در یکی از ردیاب‌های Fermilab امکان‌پذیر خواهد بود.

و در نهایت دانشمندان می‌توانند نشانه‌های نجومی برای ماده‌ی تاریک، مانند برخورد دو کهکشان با یکدیگر را جستجو کنند. اگر در چنین سناریویی ذرات ماده‌ی تاریک از هر دو کهکشان با یکدیگر برخورد کنند، می‌توانند یکدیگر را دفع کرده و فوتون‌های تاریک رد و بدل کنند. برخی مطالعات در رابطه با این‌گونه برخورد کهکشان‌ها با یکدیگر، تاکنون موفق به ارائه تاییده‌ای برای این پدیده نشده‌اند. در مقابل مشاهداتی که در سال ۲۰۱۵ از خوشه‌ی کهکشان Abell 3827 که به ویژه به ما نزدیک بوده و از لحاظ فضایی جهت مناسبی را نشان می‌دهد، حکایت از این‌گو دارد. با این حال مشاهدات بیشتری در مورد این خوشه‌ی کهکشانی و دیگر کهکشان‌ها برای تأیید این نکته لازم است. اما داده‌ها و اطلاعات موجود و در دسترس، برای مدل‌هایی با ماده‌ی تاریک پیچیده امیدوارکننده‌اند.

با این همه، بدون شک ما در مقابل معمای بزرگی قرار داریم. در مقیاس‌های بزرگ نجومی، ماده‌ای که توسط گرانش گرد هم آمده، رفتار دیگری از خود نشان می‌دهد که با فیزیک شناخته شده و توزیع رصد شده‌ی ماده‌ی قابل مشاهده، سازگار نیست. به علت این تفاوت است که دانشمندان مطمئن‌اند که شکلی از ماده‌ی تاریک وجود دارد. شکل احتمالی ماده‌ی تاریک، بطور فزاینده‌ای بحث برانگیزتر می‌شود، زیرا که آزمایش‌ها یکی پس از دیگری در تلاش برای تایید ساده‌ترین مدل‌ها ناتوان می‌مانند. به این دلیل و به خاطر وجود برخی تناقضات بین مشاهدات و پیش‌بینی‌های مدل ساده‌ی ذرات سنگین با برهم کنش ضعیف، اندیشه‌ی ماده‌ی تاریک پیچیده، بطور فزاینده‌ای محبوب‌تر می‌شود. آن‌ها به نظریه‌پردازان پارامترهای بیشتری ارائه می‌دهند، و نظریه‌پردازان با تغییر در آنها هم‌خوانی و مطابقت با مشاهدات را افزایش می‌دهند. آن‌ها همچنین برای تنوع ماده‌ی عادی مناسب‌ترند.

البته می‌توان از این روش انتقاد کرد، که اخترشناسان برای حفظ فرضیه ماده‌ی تاریک به هر قیمتی و به هر دری می‌زنند. آیا این وضعیت شبیه به وضعیتی در قرن شانزدهم است، که اخترشناسان برای حفظ اجباری نظریه زمین مرکزی، برون‌چرخ-زاد (۱۲) را به مدار سیارات اضافه کردند؟

ما چنین نمی‌اندیشیم. زیرا که ماده‌ی تاریک بسیاری از معماهای اخترشناسی را بسیار خوب توضیح می‌دهد و کلن دلیلی برای این وجود ندارد که ماده‌ی تاریک باید به آن سادگی‌ای که فرضیه ذرات سنگین با برهم کنش ضعیف می‌طلبد، باشد. اما هنوز پرسش‌های بسیاری وجود دارند. تا یافتن پاسخ برای این پرسش‌ها، باید پذیرای توضیحات فراوانی که حتی وجود جهان موازی تاریکی در همسایگی مان را ممکن می‌شمارند، باشیم.

منبع: منشور علم - شماره ویژه - فیزیک، ریاضیات، فناوری - شماره ۲، ۲۰۱۷

پی‌نوشت‌ها از دانشنامه‌ی آزاد، ویکی‌پدیا:

۱. ذرات سنگین با برهم‌کنش ضعیف:
در اخترفیزیک، ذرات سنگین با برهم‌کنش ضعیف (به انگلیسی: WIMPs) ذراتی فرضی هستند که ممکن است پاسخی برای مسئله ماده‌ی تاریک باشند. این ذرات با نیروی ضعیف و گرانش برهم‌کنش دارند. چون با الکترومغناطیس برهم‌کنش ندارند، نمی‌توان آنها را مستقیماً دید؛ و چون با نیروی هسته‌ای قوی برهم‌کنش ندارند، در مقابل هسته‌ی اتم عکس‌العمل چشمگیری از خود نشان نمی‌دهند.

۲. سرعت نسبی، سرعت خودی یا خودروی در حال حرکت فرد ناظری نسبت به یک شیء مرجع (مانند زمین، هوا و یا آب) است. از آنجا که هوا و آب نسبت به زمین متحرک‌اند، می‌بایست کشتی‌ها و هواپیماها هنگام اعلام سرعت خود، رسانه‌ی مرجع را نیز اعلام کنند. اغلب منظور از سرعت نسبی، سرعتی در ارتباط با رسانه‌ی احاطه‌کننده (مانند آب یا هوا) است.

۳. جرم نامتغیر (rest mass): جرم نامتغیر، جرم سکون، جرم ذاتی و جرم ویژه یا به سادگی جرم، یکی از ویژگی‌های انرژی و تکانه کلی یک جسم یا سامانه‌ای از اجسام است که در تمام چارچوب‌های مرجعی که توسط تبدیلات لورنتز به هم مرتبط می‌شوند، یکسان است. اگر در سامانه‌ای یک چارچوب مرکز تکانه موجود باشد، جرم نامتغیر سامانه برابر با کل انرژی تقسیم بر مجذور سرعت نور است. در سایر چارچوب‌های مرجع، انرژی سامانه افزایش می‌یابد، اما تکانه سامانه از این مقدار کم می‌شود و در نتیجه جرم نامتغیر همچنان ثابت می‌ماند. در سامانه‌هایی که چارچوب آنها یک بردار پوچ است (مثلاً یک فوتون تنها یا چندین فوتون که همگی دقیقاً در یک جهت حرکت می‌کنند) جرم نامتغیر آنها صفر است و از آنها با نام بدون جرم یاد می‌شود.

۴. قانون پایستگی
قانون پایستگی (به انگلیسی: conservation law) در فیزیک، گزاره‌ایست بیانگر ثابت ماندن یک کمیت فیزیکی مربوط به یک سیستم مشخص در حین تحول آن سیستم. هر قانون پایستگی قیدهایی را در بر دارد که فقط تحت آن‌ها صادق است. به عنوان مثال، اصل پایستگی انرژی کل مکانیکی فقط زمانی صادق است که همه‌ی نیروهای وارد بر سیستم مورد نظر پایستار باشند. به ازای هر قانون پایستگی حاکم بر یک سیستم، می‌توان معادله‌ی دیفرانسیل حاکم بر سیستم را یک مرتبه کاهش داد. هر قانون پایستگی نتیجه‌ی وجود یک تقارن در سیستم است.
مهم‌ترین قانون‌های پایستگی عبارتند از:

پایستگی جرم و انرژی؛ قبل از ارائه‌ی نظریه‌ی نسبیت خاص توسط اینشتین و بیان هم‌ارزی جرم و انرژی، پایستگی جرم و پایستگی انرژی به عنوان دو اصل جداگانه شناخته می‌شدند. پایستگی تکانه (اندازه‌ی حرکت خطی)، پایستگی تکانه زاویه‌ای (اندازه‌ی حرکت زاویه‌ای)، پایستگی بار الکتریکی

۵. پایستگی انرژی
قانون پایستگی انرژی می‌گوید که مقدار انرژی در یک سیستم تک‌افتاده (ایزوله، منزوی) ثابت می‌ماند. پیامد این قانون این است که انرژی از بین نمی‌رود و به وجود نمی‌آید. تنها چیزی که در سیستم تک‌افتاده رخ می‌دهد، تبدیل شکل انرژی است؛ مثلاً انرژی جنبشی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود. از آنجا که در نظریه‌ی نسبیت خاص انرژی و جرم به هم وابسته‌اند، پایستگی انرژی در حالت کلی می‌گوید که مجموع انرژی و جرم یک سیستم تک‌افتاده پایسته است. پیامد دیگر این قانون این است که ماشین حرکت دائمی تنها هنگامی کار می‌کند که هیچ انرژی‌ای به پیرامون خود ندهد. اگر انرژی‌ای که دستگاه به پیرامون خود می‌دهد بیشتر از انرژی‌ای باشد که می‌گیرد و جرم دستگاه هم ثابت بماند، چنین دستگاهی نمی‌تواند برای همیشه کار کند.

۶. پایستگی بار

در فیزیک، پایستگی بار قانونی است که بیان می‌دارد بار الکتریکی نه به وجود می‌آید نه از بین می‌برد. یکسان بودن مجموع بارهای کل جهان باعث می‌شود به آن یک کمیت پایسته بگویند. اولین بار این قانون توسط فیزیک‌دان آمریکایی بنجامین فرانکلین در ۱۷۴۷ بیان شد.

۷. تکانه زاویه‌ای

در فیزیک، **تکانه زاویه‌ای** یا **تکانه دورانی** (Angular momentum) کمیتی برداری است که برای بیان وضعیت حرکتی سیستم‌های در حال حرکت دورانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این که سرعت زاویه‌ای مرسوم‌ترین کمیت برای بیان وضعیت حرکتی جسم در حال دوران است، اما تکانه زاویه‌ای نسبت به آن اطلاعات بیشتری را در بر دارد. تکانه زاویه‌ای یک سیستم به سرعت زاویه‌ای، جرم و نحوه توزیع جرم سیستم حول محور دوران یا مرکز دوران وابسته است. تکانه زاویه‌ای همواره نسبت یک نقطه مرجع سنجیده می‌شود.

۸. پادذره

ذرات بنیادی، اصولاً به دو صورت ذره و پادذره در جهان وجود دارند. پادذره‌ها جرم و حتی اسپین برابر با ذره دارند ولی بار الکتریکی آنها متفاوت است. به عنوان مثال پوزیترون پادذره الکترون است که جرمش برابر جرم الکترون ولی بارش مثبت است. پادذره‌ها و پادماده‌ها به ما در فهمیدن اینکه جهان پس از مه‌بانگ چگونه شکل گرفت کمک می‌کنند. به این نکته توجه شود، چون ذره و پادذره بار مخالفی دارند، حتماً نباید پادذرات بدون بار (یا خنثی) خود همان ذرات باشند. مثلن نوترون که بدون بار الکتریکی است از سه کوارک تشکیل شده است ولی پادنوترون هم متقابلاً از سه پادکوارک ساخته شده است. با این وجود بعضی از پادذرات بدون بار خود همان ذرات هستند. برای نمونه پادذره فوتون (یا پادفوتون) خود همان فوتون است.

نابودی - Annihilation

نابودی به عنوان «از بین بردن کلی» یا «حذف کامل» یک شیء تعریف می‌شود که واژه انگلیسی معادل آن Annihilation ریشه در واژه لاتین nihil (هیچ) دارد. ترجمه لغوی آن «تبدیل به هیچ» است. در دانش فیزیک، این واژه برای اشاره به فرایندی به کار می‌رود که طی آن یک ذره زیراتمی با پادذره متناظرش برخورد می‌کند، مثلاً وقتی که یک الکترون با یک پوزیترون برخورد می‌کند. [۲] انرژی و تکانه هر دو پایسته می‌مانند و ذرات نابود شده توسط فوتون‌ها جایگزین می‌شوند که کوانتای انرژی الکترومغناطیسی هستند و جرم سکون آنها صفر است. پادذره‌ها اعداد کوانتومی با علامت مخالف ذرات متناظرشان دارند و در نتیجه مجموع اعداد کوانتومی جفت اولیه صفر است. از این رو، تا زمانیکه پایستگی انرژی و پایستگی تکانه رعایت می‌شود، هر مجموعه‌ای از ذرات می‌توانند در نتیجه نابودی بوجود آیند اما باید مجموع اعداد کوانتومی آنها صفر باشد. وقتی یک ذره و پادذره‌اش برخورد می‌کنند، انرژی آنها به یک ذره حامل نیرو مانند گلوئون، ذرات حامل نیروی دلیو و زد یا فوتون، تبدیل می‌شود. این ذرات متعاقباً به ذرات دیگری تبدیل می‌شوند.

۹. فرمیون

در فیزیک ذرات، فرمیون (نامی که توسط پل دیراک [۱] با الهام گرفتن از نام خانوادگی انریکو فرمی ابداع شد) به ذره‌ای گفته می‌شود که توسط آمار فرمی-دیراک مشخص شود. این ذرات از اصل طرد پاولی پیروی می‌کنند. فرمیون‌ها همه کوارک‌ها و لپتون‌ها و هر ذره مرکبی که از ترکیب تعداد فردی از این‌ها تشکیل شود (مانند باریون‌ها و اتم‌ها و هسته‌های اتمی) را شامل می‌شوند. تفاوت فرمیون با بوزون در این است که بوزون‌ها از آمار بوز-اینشتین پیروی می‌کنند.



انریکو فرمی

یک فرمیون ممکن است یک ذره بنیادی باشد، مانند الکترون یا ممکن است که یک ذره مرکب باشد مانند پروتون. طبق قضیه اسپین-آمار، ذرات با اسپین صحیح بوزون هستند و ذراتی با اسپین نیمه صحیح فرمیون‌های نوترون هستند. در قضیه اسپین - آمار، نشان داده می‌شود که یک تابع موج، با تعویض جای دو فرمیون همسان، منفی می‌شود. البته در سیستم‌های بوزونی، با جابه جایی دو بوزون، تابع موج هیچ تغییری نمی‌کند.

۱۰. اسپین

اسپین از خاصیت‌های بنیادی ذرات زیراتمی است که معادل کلاسیک ندارد و یک خاصیت کوانتومی بشمار می‌آید. نزدیک‌ترین خاصیت کلاسیک به اسپین اندازه حرکت زاویه‌ای است. در مکانیک کوانتوم عملگر اسپین درست از همان قانون جابجایی عملگر اندازه حرکت زاویه‌ای پیروی می‌کند. از لحاظ ریاضی اسپین‌های گوناگون جنبه‌های نمایش یافته (Representation) مختلف گروه $SU(2)$ هستند در حالی که اندازه حرکت زاویه‌ای از جبر لی $SO(3)$ پیروی می‌کند. همان‌طور که ذره‌های بنیادی جرم و بار متفاوت دارند، اسپین متفاوت نیز دارند. اسپین یک ذره می‌تواند صفر یا هر عدد صحیح و نیم‌صحیح بزرگ‌تر از صفر باشد، یعنی $1/2$ یا 1 یا $3/2$ و الی آخر. مثلاً

اسپین الکترون $1/2$ و اسپین فوتون 1 و اسپین گراویتون 2 است. به ذراتی که اسپین نیم صحیح دارند اصطلاحاً فرمیون و به ذراتی که اسپین صحیح دارند بوزون می گویند. ثابت می شود که فرمونها و بوزونها از قوانین آماری متفاوتی پیروی می کنند که به اولی آمار فرمی-دیراک و به دومی آمار بوز-اینشتین می گویند.

در مکانیک کوانتومی با توجه به قانون جابجایی عملگرهای (هر یک از این عملگرها اسپین را در جهت محور خاصی اندازه می گیرند ثابت می شود که در آن واحد تنها می توان اسپین را در جهت یکی از محورها اندازه گرفت.

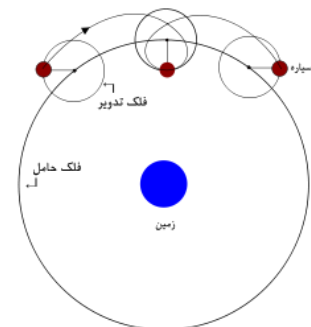
رسم بر این است که این جهت خاص را معمولاً جهت z انتخاب می کنند. وقتی گفته می شود که اسپین ذره ای است منظور این است که بزرگترین مقداری که مؤلفه z (یا هر مؤلفه) دیگری می تواند بپذیرد است. همچنین ثابت می شود که اگر بیشترین مقدار مؤلفه باشد، اندازه کل اسپین است ولی رسم بر این است که هنگام نامیدن اسپینها از همان مقدار استفاده می شود نه. برای ذره ای با اسپین $1/2$ ، هر یک از مولفه های بردار اسپین آن می تواند مقادیر را بپذیرد. البته چنان که گفته شد در آن واحد تنها می توان آن را در یک جهت اندازه گرفت. پس نتیجه می شود برای اسپین: حالت وجود دارد.

۱۱. میون

میون (Muon)، ذره بنیادی با جرم 207 برابر جرم الکترون؛ به شکل باردار مثبت و منفی وجود دارد. در آغاز به صورت یک مزون رده بندی شده بود. چون اسپین این ذرات است، اکنون در دسته لپتون ها طبقه بندی می شوند.

۱۲. برون چرخزاد Epicycle

برون چرخزاد، در نظام بطلمیوسی به دایره ای فرضی گفته می شود که مرکزش روی مدار فرضی سیاره قرار دارد و سیاره روی آن نیز حرکت می کند. مفهوم فلک تدویر برای رفع اشکال مدل زمین مرکزی بطلمیوسی ابداع شد که در توضیح حرکات رجوعی سیاره ها ناتوان بود.



مسیر حرکت سیاره در نظام زمین مرکزی بطلمیوس