تشعشع هاوکینگ

فیزیک سیاه چاله ها در چند دهه گذشته برای پژوهشگران، نویسندگان داستان های تخیلی علمی، و برای مردم علاقمند موضوع های جالبی را پیشنهاد کرده است.

برای مثال، مطالبی از قبیل این که سیاه چاله‌ها از طریق چاله های سفید، محل تولد جهان‌های دیگری هستند و یا این که این اجسام، پل‌های ارتباطی بین زمان فضاهای مختلف می‌باشند و شاید بتوان از آنها به عنوان ماشین‌های زمانی استفاده کرد، موضوع هایی هستند که جنبه تخیلی آنها برای علاقمندان آشنا و جالب بوده است. ولی شاید مسئله تشعشع سیاه چاله‌ها یکی از موارد جالب و جدی باشد که توسط استفن‌هاوکینگ فیزیکدان انگلیسی در سال ۱۳۵۳ کشف شده است.

از نظر فیزیک نسبیتی کلاسیک (نسبیت عام اینشتین بدون کوانتوم مکانیک) سیاه چاله‌ها، ستاره های مرده ای هستند که در گوشه و کنار کیهان پراکنده می‌باشند و از خود هیچ انرژی به فضای اطراف پخش نمی کنند. ولی اگر فیزیک نسبیت عام را با مکانیک کوانتمی جمع کنیم (گرانش کوانتمی) یک سیاه چاله دیگر به عنوان یک ستاره مرده به شمار نمی‌آید.

البته هنوز هم یک فرضیه کامل برای گرانش کوانتمی‌وجود ندارد ولی می‌توان محاسبات کوانتمی‌را به شکل نیمه کلاسیک انجام داد. هاوکینگ با استفاده از این روش موفق شد نشان دهد که سیاه چاله ها چندان هم سیاه نیستند بلکه از خود انرژی تشعشع می کنند. مقدار این انرژی بسیار اندک است ولی شاید در آینده ستاره شناسان بتوانند این تشعشعات را کشف کنند.

در تشعشع هاوکینگ باید اول در مورد ماهیت خلاء (فضای خالی) و نیز اصل عدم قطعیت هایزنبرگ توضیحی بدهیم.

خلاء آنچنان که معمولاً فکر می کنیم چندان هم خالی نیست. خلاء را می‌توان مانند دریایی در نظر گرفت که در آن ذرات مجازی از هر نوع به وجود می‌آیند و بعد از سپری کردن مدت کوتاهی، نابود می‌شوند.

به وجود آمدن ذرات مجازی از عدم، تنها در مکانیک کوانتمی‌قابل توضیح می‌باشد. اصل عدم قطعیت هایزنبرگ این اجازه را می‌دهد که انرژی بتواند برای مدت زمان کوتاهی قرض گرفته و سپس بازپرداخت شود. هرچه که مقدار انرژی قرض گرفته شده بیشتر باشد، زمان باز پس دادن آن هم باید سریع تر باشد. مثلاً، خلاء می‌تواند باعث به وجود آمدن یک زوج الکترون ـ پازیترون (الکترون با بار مثبت) شود. حداقل انرژی لازم برای ایجاد این زوج برابر با جمع انرژی در حال سکون این دو ذره می‌باشد و زمان باز پس دادن این انرژی نیز از رابطهٔ اصل عدم قطعیت به دست می‌آید.

$$\Delta E.\Delta t \sim \frac{h}{2\pi}$$

که h ثابت پلانک و برابر با $6.63*10^{-34} J.S$ می‌باشد زمان محاسبه شده برای بازپرداخت انرژی یک زوج مجازی الکترون و پازیترون برابر با 10^{-21}ثانیه می‌باشد. ذرات سنگین تر نیز می‌توانند در خلاء به وجود آیند، برای ایجاد آنها انرژی بیشتری لازم است و زمان بازپس دادن این انرژی به خلاء نیز سریع‌تر است.

در این دیدگاه، فضای خالی آکنده از ذرات مجازی است که در لحظه ای به شکل زوج های ذره و پاد ذره به وجود می‌آیند و در زمان کوتاهی پس از بازپرداخت انرژی قرض گرفته شده، از بین می‌روند.

ذرات بنیادی، نه فقط دارای انرژی بلکه دارای کمیت های دیگری مانند بار الکتریکی، اسپین، عدد باریونی و... هستند که باید در یک واکنش فیزیکی ناوردا باقی بمانند. این کمیت ها نمی‌توانند از خلاء قرض گرفته شوند. بنابراین، ذرات مجازی متولد شده همیشه باید به صورت یک زوج به وجود آیند تا این کمیت ها یکدیگر را خنثی کنند. مثلاً یک الکترون دارای بار منفی است و یک پازیترون (پاد ذرهٔ الکترون) باید دارای بار مثبت باشد تا کل بار این زوج صفر شود. به همین شکل الکترون و پازیترون به وجود آمده دارای اسپین‌های مخالف یکدیگر هستند تا کل اسپین این زوج صفر شود. تمام کمیت‌های ناوردا از این قانون پیروی می کنند.

ذره ها و پاد ذره های به وجود آمده دارای جرم های مساوی هستند ولی کمیت های ناوردای دیگر باید مساوی و مخالف یکدیگر باشند. زمانی که یک ذره و یک پاد ذرهٔ مجازی به وجود می‌آیند، تنها انرژی آنها از خلاء قرض گرفته شده است.

یک فوتون پاد ذرهٔ خود نیز می‌باشد. پاد فوتون، فوتونی است با اسپین مخالف فوتون دیگر و مانند یک فوتون انرژی نورانی دارد. در

هر لحظه در خلاء تعداد زیادی از فوتون ها و پادفوتون ها با انرژی های مختلف به وجود می‌آیند و از بین می‌روند.

آیا این ذرات مجازی می‌توانند به شکل ذرات حقیقی نمایان شوند؟ جواب این سئوال مثبت است. اگر این ذرات بتوانند انرژی لازم را کسب کنند، از دنیای مجازی خود عبور می کنند و به دنیای حقیقی پا می‌گذارند.

یک خازن با دو صفحهٔ موازی را در خلاء در نظر بگیرید که به اختلاف پتانسیل V وصل شده اند. ازدیاد اختلاف پتانسیل، ازدیاد میدان الکتریکی راه به همراه خواهد داشت. در فضای خالی بین دو صفحه، ذرات مجازی زیادی به وجود خواهند آمد که به زودی از بین می‌روند.

یک زوج الکترون و پازیترون به وجود آمده را در نظر بگیرید که الکترون به طرف صفحهٔ مثبت و پازیترون به طرف صفحهٔ منفی کشیده می‌شوند.

احتمال دارد که اگر میدان الکتریکی بین دو صفحه به اندازه کافی قوی باشد، این دو ذره به اندازه ای از یکدیگر دور شوند که دیگر نتوانند یکدیگر را جذب کنند و از بین ببرند. در این حالت الکترون به صفحهٔ مثبت و پازیترون به صفحهٔ منفی رسیده و یک جریان الکتریکی بین این دو صفحه برقرار می‌شود که قابل اندازه گیری است. این اثر قطبی شدن خلاء نام دارد. در این حالت انرژی لازم برای ایجاد زوج حقیقی از میدان الکتریکی گرفته شده و در کل اصل بقاء انرژی نفی نمی‌شود. انرژی میدان الکتریکی براصل فرمول $E = mc^2$ این زوج را به وجود آورده است.

به همین شکل می‌توان انرژی لازم برای ایجاد زوج حقیقی را از میدان گرانشی تأمین کرد. در نزدیکی سیاه چاله به علت نیروی گرانشی بسیار قوی، احتمال به وجود آمدن ذرات حقیقی از ذرات مجازی وجود دارد. بیشتر ذرات حقیقی ایجاد شده دوباره به سیاه چاله سقوط می کنند و بنابراین سیاه چاله انرژی کل خود را از دست نخواهد داد.

یادآور می‌شویم که در فیزیک کوانتمی، برخلاف فیزیک کلاسیک، امکان دارد که ذرات بتوانند با اثری به نام تونل زدن از یک مانع غیرقابل عبور، گذر کنند. با در نظر گرفتن این اثر، امکان دارد که یکی از فوتون ها یا دیگر ذرات حقیقی ایجاد شده در کنار یک سیاه چاله با تونل زدن از سد گرانشی سیاه چاله گذر کند و به بیرون از افق سیاه چاله راه یابد. این ذرات تشعشع هاوکینگ نام دارند.

انرژی لازم را میدان گرانشی سیاه چاله تأمین می کند و با تبدیل انرژی گرانشی به ذرات، سیاه چاله انرژی گرانشی خود را از دست داده و کوچک تر خواهد شد. هاوکینگ نشان داد که این تشعشعات مانند تشعشعات از یک جسم گرم هست و یک سیاه چاله دارای یک درجهٔ حرارت است که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$\text{درجه حرارت} = 10^{-6}(\frac{M_\odot}{M}) \quad \text{کلوین}$$

در رابطهٔ بالا $M_\odot$ جرم خورشید و M جرم سیاه‌چاله است. با ادامهٔ تشعشعات، انرژی میدان گرانشی و در نتیجه جرم سیاه چاله کمتر و درجهٔ حرارت آن بیشتر خواهد شد. بنابراین سیاه چاله های بسیار کوچک می‌توانند درجهٔ حرارت های بسیار بالایی داشته باشند و شاید بتوان از انرژی تشعشعی زیاد این سیاه چاله های کوچک، به وجود آنها پی برد.

با گذشت مدت زمانی طولانی، سیاه چاله جرم خود را در تبدیل به انرژی (اثر هاوکینگ) از دست می‌دهد و در آخر به کلی نابود خواهد شد. مدت زمان لازم برای تبخیر یک سیاه چاله نیز از فرمول زیر به دست می‌آید.

$$\text{زمان} = 10^{62}(\frac{M}{M_\odot})^3 \quad \text{سال}$$

در اکثر موارد زمان تبخیر یک سیاه چاله بسیار طولانی است. مثلاً برای یک سیاه چاله به جرم خورشید، این زمان برابر با 10^{62} سال خواهد بود ولی یک سیاه چاله کوچک به جرم 10^{16} گرم یک مدت زمان زندگی برابر با 10^{10} سال دارد. این مدت زمان تقریباً همان عمر جهان است و بنابراین باید انتظار داشت که تمام سیاه چاله های بسیار کوچک عمر 10^{10} سال خود را سپری کرده و کلاً تبخیر شده باشند و امروزه نباید اثری از آنها به دست آید، در حالی که سیاه چاله های بزرگ تر هنوز باید در اطراف و گوشه کنار جهان وجود داشته و به زندگی خود ادامه دهند.

دکتر پوستفروش
استاد فیزیک دانشگاه شیراز