آیا می‌دانید که...

معمای گسیل پوزیترون

اشکان کریمی

پوزیتـــرون، یکـــی از ذرات بنیادی اتم و پادماده یا ضد ذرهٔ الکترون اســـت. این ذره بار الکتریکی $+1e$، اســـپین ۱/۲+ و جرمی برابر با جرم الکترون دارد. از آن‌جا که در این مقاله با مفاهیم نسبیتی و قانون بقای جرم، انرژی و بار سروکار داریم، الکترون را با e^-_1 و پوزیترون را با e^+_1 نمایش می‌دهیم.

اکنون به این جمله توجه کنید:

در گسیل خود به خودی پوزیترون، جرم اتمی نوکلید واکنش‌دهنده باید از جرم اتمی نوکلئید به‌دست آمده، دست‌کم به اندازهٔ جرم دو الکترون بیش‌تر باشد.

اگر بدانیم که در گسیل پرتوی بتا (الکترون) تفاوت جرم نوکلئیدها به‌طور طبیعی به اندازه جرم یک الکترون است (زیرا در این واکنش یک الکترون آزاد شده است) این معما به میان می‌آید که چرا در گسیل پوزیترون ـ که در آن ذره‌ای هم جرم با الکترون آزاد می‌شود ـ تفاوت جرم فراورده‌ها و واکنش‌دهنده‌ها به اندازه جرم دو الکترون است؟! برای حل این معما، نگاهی دقیق و مفهومی بر گسیل پوزیترون خواهیم داشت.

گسیل پوزیترون به معنای تبدیل شدن یک پروتون به نوترون است زیرا در جریان این فرایند، پوزیترون نیز آزاد می‌شود:

$$^1_1p \rightarrow ^1_0n + ^0_{+1}e + \upsilon \qquad (۱)$$

مشـــاهده می‌شـــود که آزاد شدن پوزیترون براســـاس قانون بقای جرم و بار، ضروری است. اما υ چیست؟ در گسیل پوزیترون، انرژی واپاشـــی، با بیش‌ترین مقدار انرژی جنبشـــی ذرات پوزیترون آزاد شده برابر است. بدیهی است که انرژی بسیاری از ذرات، کم‌تر از این مقدار است. بنابراین برای توجیه کسریِ انرژی، از ذراتی موسوم به **نوترینو**، υ، که حامل اختلاف انرژی‌اند استفاده می‌شود. از آن‌جا که در واپاشی پوزیترون، یک پروتون تبدیل به نوترون می‌شود، $\frac{n}{p}$ بیش‌تر شده و هسته به سمت ناپایداری میل می‌کند. هستهٔ ناپایدار برای آن‌که به پایداری برســـد، توســـط نوترون تولید شده، یک واپاشی بتا (الکترون) انجام می‌دهد. گفتنی است که نوکلئیدها از راه واپاشی بتا به پایداری می‌رسند چرا که با تبدیل یک نوترون به پروتون، $\frac{n}{p}$، کاهش می‌یابند:

$$^1_0n \rightarrow ^1_1p + ^0_{-1}e + \bar{\upsilon} \qquad (۲)$$

بنابراین، از این واپاشی به واپاشی بتا یاد می‌شود. در آغاز، این مسئله مشکل برانگیز است: در حالی‌که هســـته، الکترون ندارد، چگونه واپاشی بتا انجام می‌دهد؟ واقعیت این

است که در هسته، با تبدیل یک نوترون به پروتون، الکترون پدید می‌آید و تشکیل الکترون از این واکنش، براساس قانون بقای جرم و بار کاملاً قابل تفسیر است. در این‌جا هم مانند گسیل پوزیترون، انرژی ذرات بتای آزاد شده یکسان نیست و اختلاف انرژی آن‌ها با انرژی فرایند، به کمک ذراتی به نام **آنتی نوترینو**، $\bar{\upsilon}$، توجیه می‌شود. چنان که پیداست آنتی نوترینو، ضد ذرهٔ نوترینو است.

چنان‌که اشاره شد، نوترون واکنش‌دهنده در گسیل بتا، همان نوترون به‌دست آمده در واپاشی پوزیترون است. اکنون بیایید بار دیگر، معادله واکنش گسیل پوزیترون را بنویسیم، اما این‌بار به جای نوترون، فراورده‌های واکنش بتا را جای‌گذاری کنیم. در اصل، چون واکنش دوم پس از واکنش نخست انجام می‌شود، می‌توان این دو را با هم ترکیب کرد و به صورت یک واکنش کلی نوشت:

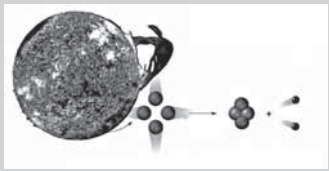
نوترینو و آنتی‌نوترینو، پادمادهٔ یکدیگرند، در نتیجه از برخورد آن‌ها با هم، انرژی، E ، آزاد می‌شوند

$$^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{+1}e + \upsilon + \bar{\upsilon} \qquad (۳)$$

نوترینو و آنتی‌نوترینو، پادمادهٔ یکدیگرند، در نتیجه از برخورد آن‌ها با هم، انرژی، E، آزاد می‌شود:

$$^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{1}p + {}^{0}_{-1}e + {}^{0}_{+1}e + E \qquad (۴)$$

الکترون و پوزیترون هم پادمادهٔ یکدیگرند و در برخورد با هم، انرژی تولید می‌کنند. انرژی آزاد شده از برخورد یک الکترون با یک پوزیترون، برابر ۲γ است زیرا از برخورد آن‌ها، دو فوتون تشکیل می‌شود و هر فوتون، انرژی γ دارد:



$$^{1}_{1}p \rightarrow {}^{1}_{1}p + 2\gamma + E \qquad (۵)$$

بیایید به آنچه تاکنون انجام شد، نگاهی بیندازیم:

معادلهٔ گسیل پوزیترون را نوشتیم. از آن‌جا که نوکلئید حاصل ناپایدار بود، نوترون به‌دست آمده از واکنش، گسیل بتا انجام داد. این دو واکنش پشت‌سرهم را در قالب یک واکنش نوشتیم. در واکنش جدید، دو جفت پاد ذره تولید شد که برخورد آن‌ها با یکدیگر به تولید انرژی‌های E و ۲γ انجامید. بدین ترتیب به معادلهٔ ۵ دست یافتیم.

برای توجیه کسریِ انرژی، از ذراتی موسوم به نوترینو، υ، که حامل اختلاف انرژی‌اند استفاده می‌شود

بنا به نظریه نسبیت انیشتین، $E=mc^2$، جرم و انرژی هم‌ارز یکدیگرند. این نظریه بود که قانون بقای جرم و انرژی را پدید آورد به این معنی که واکنش‌ها نه تنها از دیدگاه جرم و بار، بلکه از دیدگاه انرژی هم باید پایسته باشند. معادلهٔ ۵، اگرچه از لحاظ بار و جرم پایسته است، ولی سمت راست آن از انرژی اضافی برخوردار است. برای حلّ این مشکل راهی نیست جز این‌که در سمت چپ واکنش، جرم هم ارز این انرژی موجود باشد. حال این سؤال به میان می‌آید که جرم هم‌ارزِ انرژیِ اضافی چقدر است؟ قبلاً گفتیم که از برخورد یک الکترون و یک پوزیترون، انرژی ۲γ آزاد می‌شود، بنابراین جرم هم ارز با انرژی ۲γ، جرم یک الکترون و یک پوزیترون یا جرم دو الکترون است چون پوزیترون، هم جرم با الکترون است. انرژی ناشی از برخورد نوترینو و آنتی‌نوترینو، E ، چندان چشم‌گیر نیست و در نتیجه، جرم هم ارز آن هم، ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. پس می‌توان نتیجه گرفت که:

در گسیل خود به خودی پوزیترون، جرم نوکلئید واکنش‌دهنده، دست کم به اندازه جرم دو الکترون از جرم نوکلئید تولید شده بیش‌تر است. این تفاوت جرم در نوکلئید به‌دست آمده، خود را در قالب انرژی نشان می‌دهد؛ انرژیی که با آزاد شدن آن، نوکلئید پایدار می‌شود و در اصل از دو برهم‌کنش ضد ذره ـ ضد ذره چنین نتیجه می‌شود؛ یکی، تولید نوترینو ـ آنتی‌نوترینو، که البته با انرژی بسیار جزئی همراه است و دیگری، تولید الکترون ـ پوزیترون، که به آزاد شدن انرژی ۲γ می‌انجامد.