

اشعه ایکس میونی حاصله از هسته های ناپایدار در لایه‌ی نازک همجوشی

روح اله قیصری*^۱ - رضا پور ایمانی^۲ - طالب صافی نیا^۲ - سهراب قیصری^۳

^۱ دانشگاه خلیج فارس، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

^۲ دانشگاه اراک، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

^۳ دانشگاه سیستان و بلوچستان، گروه برق و کامپیوتر

چکیده

در دهه اخیر، برای توسعه‌ی طیف نگاری پرتوهای ایکس میونی، روش آزمایشی استفاده از فیلم‌های نازک هیدروژنی پیشنهاد شده است. در این روش، با توقف همزمان اشعه‌ی میون و یون‌های رادیو اکتیو در فیلم‌های نازک، به مطالعه‌ی اندازه و توزیع بار هسته‌های رادیو اکتیو پرداخته می‌شود. در این مقاله، با استفاده از معادلات توازن ذرات تولیدی و در نظر گرفتن توان توقف میون و یون‌های استرانسیوم در لایه نازک دوتریمی، شدت اشعه‌ی ایکس محاسبه و با آخرین نتایج آزمایشی مقایسه شده است.

کلید واژه: اشعه ایکس میونی، فیلم نازک هیدروژنی، یون ناپایدار، همجوشی کاتالیزور میونی، روش سنیتیک-آماری

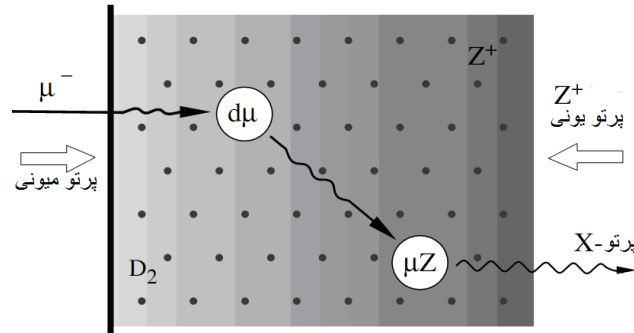
مقدمه

طیف نگاری اتم‌های رادیو اکتیو میونی، روشی جدید برای مطالعه‌ی خواص هسته‌ای یون‌های ناپایدار است. در این روش با استفاده از هدف‌های هیدروژنی لایه‌ای، که معمولاً برای مطالعه همجوشی کاتالیزور میونی به کار می‌روند، برخی از خواص یون‌های ناپایدار مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. در این مقاله، با استفاده از معادلات توازن ذرات و در نظر گرفتن توان توقف میون در لایه نازک دوتریمی، بهره‌ی اشعه‌ی ایکس گسیل شده از یون‌های رادیو اکتیو میونی محاسبه می‌گردد.

روش کار

مفهوم اساسی روش فیلم‌های هیدروژنی منجمد، متوقف نمودن همزمان پرتو میونی و پرتو یون‌های رادیو اکتیو در فیلم‌های هیدروژنی است. برای مطالعه‌ی خواص هسته‌های رادیو اکتیو از فیلم‌های هیدروژنی تک لایه‌ای استفاده می‌شود. وقتی پرتو یون‌های رادیو اکتیو و پرتو میون وارد تک لایه هیدروژنی می‌شوند؛ ابتدا کند می‌شوند و شروع به تشکیل اتم‌های هیدروژن میون دار می‌نمایند، شکل ۱. با تزریق میون به لایه‌های نازک شامل یون‌ها نسبتاً سنگین، اشعه‌های ایکس میونی خاصی تولید می‌شود [۲ و ۳ و ۴]. در این

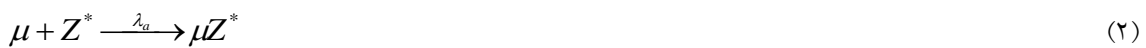
مقاله، معادلات توازن میون های تزریقی، اتم های دوتریم میون دار، مولکول های میون دار و یون های میونی رادیواکتیو، نوشته می شود و به روش عددی بهره اشعه ایکس را در شرایط مختلف فیزیکی بدست می آوریم.



شکل ۱: طرح واره ای از تشکیل اتم میونی با استفاده از پرتو یون رادیواکتیو در فیلم جامد دوتریم [۳].

پس از تزریق میون به سیستم تک لایه ای دوتریمی با یون های کاشته شده، میون در واکنش های زیر

شرکت می کند:



با توجه به این فرآیندها، معادلات توازن ذرات سیستم به صورت زیر ارائه می شود:

$$\frac{dN_\mu}{dt} = -\lambda_0 N_\mu - c_d \lambda_a \phi N_\mu - c_Z \lambda_a \phi N_\mu + \lambda_{\mu d}^f N_{\mu d} (1 - 0.58 \omega_{dd}) \quad (8)$$

$$\frac{dN_{\mu d}}{dt} = -\lambda_0 N_{\mu d} - c_Z \lambda_{dZ} \phi N_{\mu d} - c_d \lambda_{\mu dd} \phi N_{\mu d} + c_d \lambda_a \phi N_\mu \quad (9)$$

$$\frac{dN_{dd\mu}}{dt} = -\lambda_0 N_{dd\mu} + c_d \lambda_{dd\mu} \phi N_{\mu d} - \lambda_{dd\mu}^f N_{dd\mu} \quad (10)$$

$$\frac{dN_{\mu Z^*}}{dt} = c_{Z^*} \lambda_{dZ^*} \phi N_{\mu d} + c_{Z^*} \lambda_a \phi N_{\mu} - \lambda_0 N_{\mu Z^*} - \frac{1}{\tau} N_{\mu Z^*} \quad (11)$$

$$\frac{dc_{Z^*}}{dt} = -\frac{1}{\tau} c_{Z^*} \quad (12)$$

$$\frac{dN_X}{dt} = b_r \varepsilon \Delta \Omega \phi c_{Z^*} \lambda_{dZ^*} N_{\mu d} \quad (13)$$

$$c_{Z^*} + c_d = 1 \quad (14)$$

$$N_d = \phi N_0 \quad (15)$$

در معادله های فوق $N_0^O(t)$ تحول زمانی ذرات مختلف، ϕ چگالی نسبی محیط (نسبت به چگالی هیدروژن مایع N_0)، λ_0 ثابت واپاشی میون، $\lambda_{\mu d}$ آهنگ تشکیل μd ، $\lambda_{\mu d}^f$ آهنگ همجوشی هسته ای، ω_{dd} ضریب چسبندگی میون به محصولات واکنش همجوشی، λ_a آهنگ تشکیل اتم میونی دوتریوم و μZ^* ، λ_{dZ^*} آهنگ انتقال میون از اتم μd به هسته ناپایدار Z^* ، τ متوسط عمر هسته ناپایدار، c_{Z^*} غلظت هسته‌ی ناپایدار Z^* ، c_d غلظت هسته‌ی دوترون و N_d چگالی عددی دوتریوم می‌باشند. b_r نسبت شاخه ای گسیل اشعه‌ی ایکس، $\Delta \Omega$ زاویه‌ی فضای دهانه‌ی آشکار ساز و ε کارایی آشکار ساز است. مقادیر این پارامترها و فاکتورها از مراجع [۵۲] و آهنگ واکنش‌ها بر حسب s^{-1} از مراجع [۷۰۶] استخراج شده اند.

نتایج

برای حل معادلات از روش Ode15s در نرم افزار Matlab استفاده شده است. در جدول ۱، بهره اشعه ایکس به ازای مقدار اولیه‌ی یون‌های ناپایدار ^{87}Sr و به ازای تعداد میون‌های تزریقی با در نظر گرفتن توان توقف آنها بدست آمده است. نتایج این کار با نتایج تجربی مقایسه شده است.

جدول ۱: بهره اشعه ایکس حاصل از ترکیب یون‌های استرانسیوم ۸۷ با میون‌های آرام شده در لایه نازک دوتریمی

و مقایسه آن با داده‌های تجربی [۸].

زمان (ساعت)	خطای نسبی، درصد	بهره تجربی [۸]	بهره اشعه ایکس در این کار	$\Delta \Omega$	ε	تعداد یون	میون تزریقی (s^{-1})

۵۰۰۰	4.1×10^{16}	۰.۰۱۱	۰.۰۰۱۵	۲۱۰	۲۲۶	۷	۳۰
------	----------------------	-------	--------	-----	-----	---	----

در معادلات (۸)–(۱۵)، عدد اتمی $Z = 87$ استرانسیوم جایگذاری شده است. غلظت یون‌های استرانسیوم با نیمه عمر $(2.803h)$ در لایه‌ی نازک دوتریم به ازای 4.1×10^{16} یون استرانسیوم، حدود $0.7 ppm$ می‌باشد. شدت پرتو میونی $5000 s^{-1}$ و کسر توقف میون‌های فرودی در لایه‌ی دوتریومی $1mm$ ، 0.6 است. تعداد اتم‌های میونی $N_{\mu d}$ ، $N_{\mu dd}$ ، $N_{\mu Z}$ و تعداد فوتون‌ها N_X در لحظه‌ی $t = 0$ صفر می‌باشد. برای لایه‌ی نازک دوتریم $\phi = 1.42$ انتخاب شده است. در معادلات مذکور، $b_r = 0.7$ ، $c_d \approx 1$ می‌باشند. $\lambda_{\mu dd}^f = 0.31 \times 10^9 s^{-1}$ و $\lambda_{\mu dd} = 2.71 \times 10^6 s^{-1}$ ، $\lambda_{d^*} = Z \times 10^{10} s^{-1}$ ، $\lambda_a = 4 \times 10^{12} s^{-1}$ ، $\lambda_0 = 0.455 \times 10^6 s^{-1}$

بحث و نتیجه گیری

با مطالعه طیف اشعه ایکس میونی هسته‌های رادیواکتیو، می‌توان به برخی از خواص هسته‌ای آنها پی برد. در این تحقیق، بهره اشعه‌ی ایکس گسیلی از $(\mu Sr)^*$ محاسبه گردید. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود؛ نتایج تئوری و نتایج تجربی گروه استراسر هم خوانی نسبتاً خوبی دارند. خطای نسبی در محاسبات ما، حدود ۷٪ می‌باشد. کار حاضر با نتایج تجربی اختلافاتی دارد. محاسبات تئوری با فرض همگن بودن توزیع هسته‌های استرانسیوم انجام شده است. در واقع، توزیع یون‌های کاشته شده تقریباً همگن



است. در ضمن، سطح زیر پیک غالب $(\mu Sr)^*$ ، با خطای آماری حدود $\pm 15\%$ بدست آمده است. در آینده، به مطالعه طیف اشعه ایکس حاصله از دیگر ایزوتوپ های استرانسیوم با توجه به نیمه عمر آنها می پردازیم.

منابع

- [^۱] P. Strasser, et al., Hyperfine Interact. **119** (1999) 317.
- [^۲] P. Strasser, et al., Hyperfine Interact. **119** (1999)317.
- [^۳] P. Strasser, et al., Nucl. Phys. B **149** (2005)390.
- [^۴] P. Strasser, et al., Hyperfine Interact. **193** (2009)121.
- [^۵] P. Strasser, et al., AIP Conf. Proceedings **793**, 242, 2005.
- [^۶] R.Gheisari, Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A **660** (2011)48.
- [^۷] R.Gheisari, J. Low Temp. Phys. **169** (2012) 15.
- [^۸] P.Strasser, RCNP Workshop, Osaka University (Suita Campus), Osaka, Japan, Feb. 23-24, 2010.