



۷ و ۶ اسفندماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

تأثیر مقدار غلظت هیدروژن بر بهره‌ی اشعه‌ی ایکس میونی گسیلی از فیلم جامد دوتریم

قیصری، روح اله^۱، براتی خواجوی، محمود^۲، نیکنام، نسرين^۲

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

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات فارس، دانشکده علوم پایه

چکیده

برای طیف‌سنجی اتم میونی، از فیلم‌های نازک هیدروژنی استفاده می‌گردد. در این روش آزمایشی، از فیلم‌های تک لایه‌ای یا دو لایه‌ای استفاده می‌گردد. لایه‌ی دوم معمولاً از جنس دوتریم جامد انتخاب می‌شود. در این مقاله، اثرناخالصی هیدروژن در دومین لایه، روی بهره اشعه‌ی ایکس میونیمطالعه شده است. به کمک معادلات سینتیک ذرات میون‌دار در لایه‌ها، با در نظر گرفتن ناخالصی هیدروژن، شدت اشعه‌ی ایکس محاسبه شده است. جهت تعیین حد استاندارد، نتایج حاصل از مقادیر مختلف ناخالصی با هم مقایسه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: اتم‌های میونی - اشعه‌ی ایکس میونی - فیلم جامد دوتریم - روش سینتیک-ناخالصی هیدروژن



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

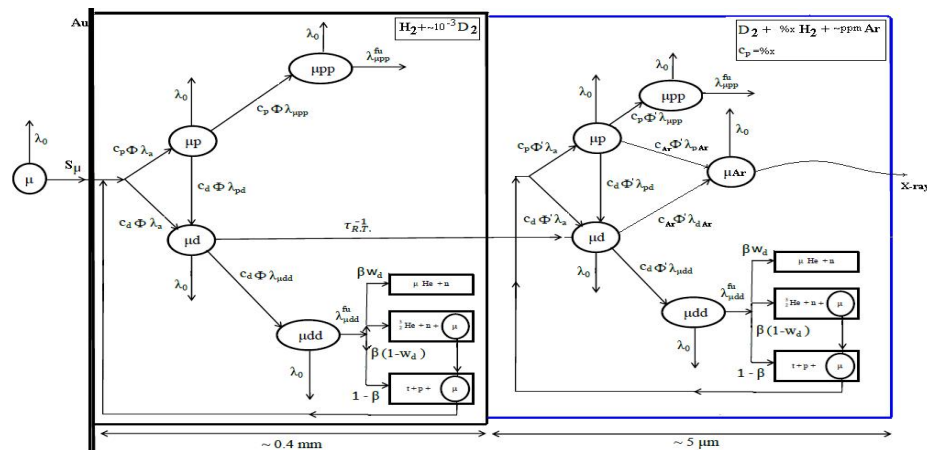
۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۱- مقدمه

طیف نگاری اشعه‌ی ایکس اتم‌های میونی، روشی جدید برای مطالعه‌ی خواص و اندازه هسته‌ها می‌باشد. در این روش، معمولاً با استفاده از هدف دو لایه‌ای هیدروژن، برخی از خواص یون‌های پایدار و ناپایدار که در لایه دوم فیلم دوتریم جامد کاشته می‌شوند؛ مشخص می‌گردد [۱-۳]. در این کار، قصد داریم اثر ناخالصی (نظیر هیدروژن) را روی طیف نگاری، مورد مطالعه قرار دهیم. با استفاده از معادلات توازن ذرات میونی تولیدی در لایه‌ها و در نظر گرفتن مقادیر مختلف ناخالصی در لایه دوم هدف دو لایه‌ای $D_2 + D_2 + H_2$ ، بهره‌ی اشعه‌ی ایکس حاصله از یون‌های کاشته شده (نظیر آرگون Ar)، محاسبه می‌گردد.

۲- روش کار

وقتی یون‌های آرگون پرتو میون وارد هدف دو لایه‌ای می‌شوند؛ ابتدا کندی می‌شوند و شروع به تشکیل اتم‌های میون دار می‌نمایند، شکل ۱. با تزریق میون به هدف هیدروژنی، شامل یون نسبتاً سنگین تر از ایزوتوپ‌های هیدروژن، اشعه‌های ایکس میونی خاص (با انرژی نسبتاً بالا) تولید می‌شوند. برای زمان‌های بعد از تزریق میون به لایه اول و یون آرگون به لایه دوم، معادلات توازن میون، اتم‌های دوتریم میونی، مولکول‌های میون دار، یون‌های میونی و بهره‌ی اشعه‌ی ایکس نوشته می‌شوند. تزریق میون و یون به صورت هم‌زمان صورت می‌پذیرد.



شکل ۱: طرح واره‌ای از هدف دو لایه‌ای $D_2 + D_2 + H_2 + Ar$. لایه اول شامل غلظت بسیار کمی دوتریم ($c_d \sim 10^{-3}$) است. در لایه دوم، یون‌های آرگون کاشته شده اند و مقداری آلودگی هیدروژن (H_2) نیز وجود دارد. فیلم روی ورقه‌ای از Au منجمد شده است.

مطابق شکل ۱، بعد از تزریق میون به فیلم دو لایه‌ای، واکنش‌های زیر شکل می‌گیرند:

$$\mu + d \xrightarrow{\lambda_a} \mu d \quad (1)$$

$$\mu + Ar \xrightarrow{\lambda_{aAr}} \mu Ar^* \quad (2)$$

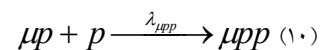
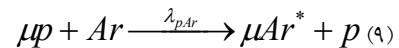
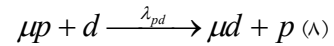
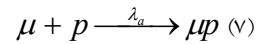
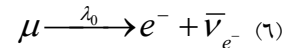
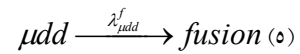
$$\mu d + Ar \xrightarrow{\lambda_{dAr}} \mu Ar^* + d \quad (3)$$

$$\mu d + d \xrightarrow{\lambda_{udd}} \mu dd \quad (4)$$



بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان



با توجه به فرآیندهای فوق، معادلات توازن ذرات در فیلم دو لایه‌ای جامد به صورت زیر ارایه می‌شوند:

$$\frac{dN_\mu}{dt} = S_\mu - \lambda_0 N_\mu(t) - c_d \lambda_a \phi N_\mu(t) - c_p \lambda_a \phi' N_\mu(t) + \lambda_{\mu d}^f N_{\mu d}(t) (1 - 0.58 \omega_{dd}) \quad (11)$$

$$\frac{dN_{\mu d}}{dt} = -\lambda_0 N_{\mu d}(t) + c_d \lambda_{pd} \phi N_{\mu d}(t) - c_d \lambda_{\mu dd} \phi' N_{\mu d}(t) + c_d \lambda_a \phi N_\mu(t) - \tau_{R.T.}^{-1} N_{\mu d}(t) \quad (12)$$

$$\frac{dN_{\mu p}}{dt} = -\lambda_0 N_{\mu p}(t) - c_d \lambda_{pd} \phi N_{\mu p}(t) - c_p \lambda_{\mu dd} \phi' N_{\mu p}(t) + c_p \lambda_a \phi N_\mu(t) \quad (13) \quad \frac{dN_{\mu Ar}}{dt} = -\lambda_0 N_{\mu Ar}(t) + c_d \lambda_{pAr} \phi N_{\mu Ar}(t) - \lambda_{\mu dd}^f N_{\mu Ar}(t) \quad (14)$$

$$\frac{dN_X}{dt} = b_r \varepsilon \Delta \Omega [\phi' \lambda_{dAr} N'_{\mu d}(t) c_{Ar} + c_{Ar} \phi' \lambda_{pAr} N'_{\mu d}(t)] \quad (15) \quad \frac{dN_{\mu Ar}}{dt} = -\lambda_0 N_{\mu Ar}(t) + c_{Ar} \lambda_{pAr} \phi' N_{\mu p}(t) + c_{Ar} \lambda_{dAr} \phi' N'_{\mu d}(t) \quad (16)$$

$$\frac{dN'_{\mu d}}{dt} = -\lambda_0 N'_{\mu d}(t) + c_d \lambda_{pd} \phi' N'_{\mu d}(t) - c_d \lambda_{\mu dd} \phi N'_{\mu d}(t) + c_d \lambda_a \phi' N'_\mu(t) + \tau_{R.T.}^{-1} N_{\mu d}(t) - c_{Ar} \phi' \lambda_{dAr} N'_{\mu d}(t) \quad (17)$$

$$\frac{dN'_{\mu p}}{dt} = -\lambda_0 N'_{\mu p}(t) - c_d \lambda_{pd} \phi N_{\mu p}(t) - c_d \lambda_a \phi' N'_\mu(t) + c_p \lambda_a \phi' N'_\mu(t) - c_{Ar} \phi' \lambda_{pAr} N'_{\mu p}(t) \quad (18)$$

$$\frac{dN'_{\mu d}}{dt} = -\lambda_0 N'_{\mu d}(t) - c_d \lambda_a \phi N_\mu(t) + c_d \lambda_{\mu dd} \phi' N'_{\mu d}(t) + \lambda_{\mu dd}^f N'_{\mu d}(t) (1 - 0.58 \omega_{dd}) \quad (19)$$

$$\frac{dN'_\mu}{dt} = -\lambda_0 N'_\mu(t) - c_d \lambda_a \phi' N'_\mu(t) - c_p \lambda_a \phi' N'_\mu(t) + \lambda_{\mu dd}^f N'_{\mu d}(t) (1 - 0.58 \omega_{dd}) \quad (20)$$

$$c_p + c_d = 1 \quad (21)$$

در معادله‌های فوق، ϕ و ϕ' به ترتیب چگالی نسبی لایه اول و دوم (نسبت به چگالی هیدروژن مایع N_0)، ثابت واپاشی میون، $\lambda_{\mu dd}$ و $\lambda_{\mu pp}$ به ترتیب آهنگ‌های تشکیل مولکول‌های میونی μdd و μpp ، $\lambda_{\mu dd}^f$ آهنگ هم‌جوشی هسته‌ای μdd ، β کسر تولید ذرات هلیم و هلیم میونی (به ازای هر هم‌جوشی)، ω_{dd} ضریب چسبندگی میون به محصولات هم‌جوشی μdd ، λ_a آهنگ تشکیل هر یک از اتم‌های میونی μp ، μd و μAr^* ، $\tau_{R.T.}^{-1}$ آهنگ تأخیری اتم دوتریم میونی، c_d غلظت دوتریم، c_p غلظت پروتون، b_r نسبت شاخه‌ای گسیل اشعه‌ی ایکس، $\Delta \Omega$ زاویه‌ی فضای دهانه‌ی آشکار ساز، ε بازه آشکارسازی اشعه‌ی ایکس، c_{Ar} غلظت آرگون، λ_{pAr} آهنگ تشکیل آرگون میونی، λ_{dAr} آهنگ انتقال میون به آرگون و λ_{pd} آهنگ تبادل ایزوتوپ هستند. مقادیر برخی پارامترها از مراجع [۳-۶] و آهنگ واکنش‌ها از مراجع [۵-۷] استخراج شده‌اند. توابع زمانی $N(t)$ و $N'(t)$ ، به ترتیب فراوانی ذرات را در لایه اول و دوم فیلم نشان می‌دهند. برای حل معادلات، از دستور LSSODE در برنامه کامپیوتری MAPLE استفاده شده است.

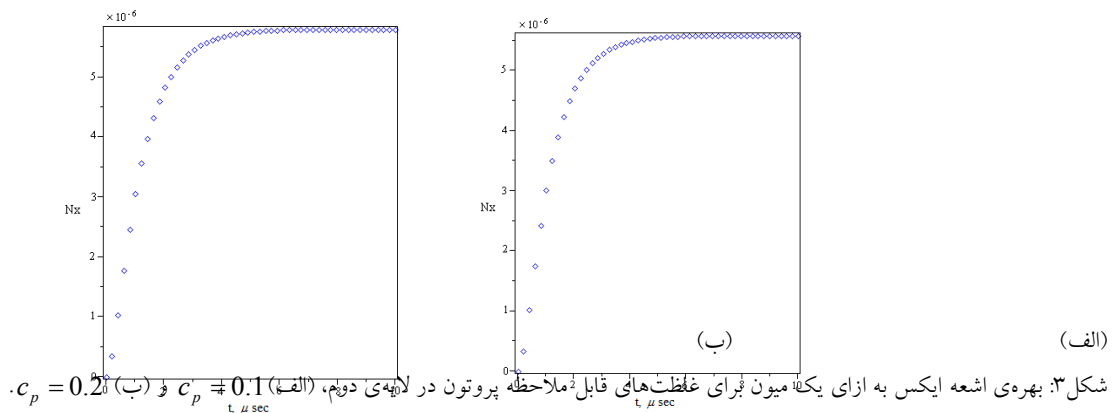
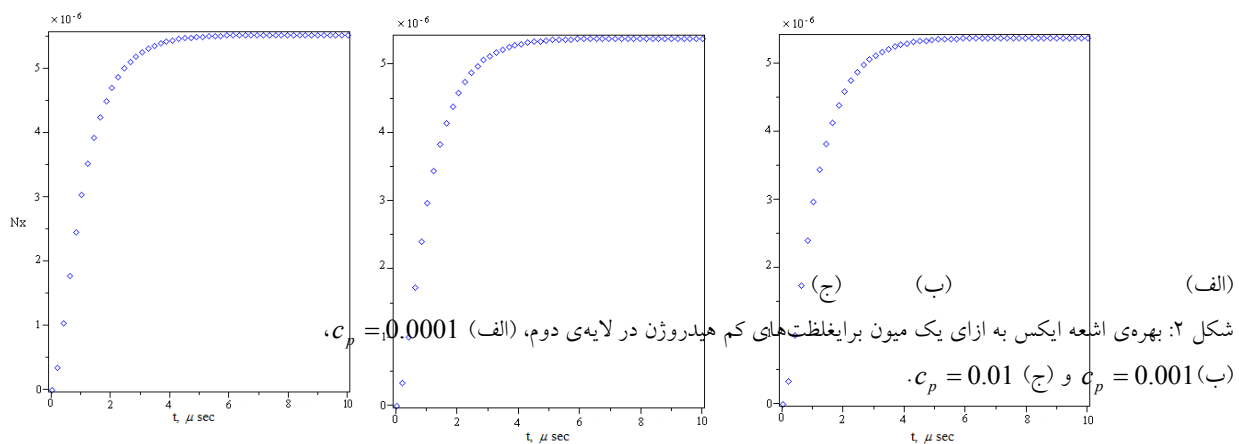


بیست و یکمین کنفرانس هشتای ایران

۶ و ۷ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

۳- نتایج

با حل معادلات به ازای تزریق یک میون، تحول زمانی کسر (فراوانی) اتم‌های μd و μp ، مولکول‌های میون‌دار، یون‌های میونی و بهره‌ی اشعه‌ی ایکسبه دست می‌آیند. در این کار، بهره‌ی اشعه ایکس مورد مطالعه است. بهره‌ی اشعه ایکس به ازای غلظت‌های مختلف هیدروژن در لایه دوم، در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده‌اند. پس از تزریق هم‌زمان میون و یون آرگون، فوتون‌های ایکس ظاهر می‌شوند. فراوانی این فوتون‌ها، تا زمانی که میون واپاشی ننموده است افزایش می‌یابد. پس از نابودی میون، بهره به مقدار ثابتی میل می‌کند. با مقایسه شکل‌های ۲ و ۳، مشاهده می‌شود بهره‌ی اشعه ایکس، با افزایش غلظت پروتون در دومین لایه، افزایش می‌یابد.



۴- بحث و نتیجه گیری

در این مقاله، اثر ناخالصی هیدروژن در هدف جامد دو لایه‌ای $H_2/D_2 + D_2$ ، روی بهره‌ی اشعه ایکس میونی مطالعه شده است. با استفاده از معادلات توازن ذرات در مدل سینتیک و با در نظر گرفتن ناخالصی هیدروژن در لایه دوم، بهره‌ی اشعه ایکس محاسبه شده است. جهت تعیین حد استاندارد، نتایج حاصل از مقادیر مختلف ناخالصی



بیست و یکمین کنفرانس هسته‌ای ایران

۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۳ دانشگاه اصفهان

هیدروژن با هم مقایسه شده اند. اگرچه انتظار می رود به ازای غلظت های کم پروتون بهره اشعه ایکس افزایش یابد؛ اما چنانچه غلظت پروتون قابل ملاحظه ($0.1 \leq c_p \leq 0.2$) باشد، بهره مزبور می بایست کاهش یابد. علت این عدم هم خوانی، احتمالاً نادیده گرفتن اثر رامسائر-تازند روی جمعیت اتم های μd در لایه ی دوم باشد. بطور کلی، میزان فرار μd از هدف ناشی از اثر رامسائر-تازند، تأثیر قابل ملاحظه ای بر جمعیت اتم های میونی دارد.

۵-مراجع

- [1] P. Strasser, T. Matsuzaki, K. Nagamine, "Proposal for x-ray spectroscopy of muonic atoms formed from implanted ions in solid hydrogen films", *Hyperfine Interact.*, Vol. 119, pp. 317-322, 1999.
- [2] P. Strasser, et al., "Muonic atoms of radioactive nuclei", *Nucl. Phys. B*, Vol. 149, pp. 390-392, 2005.
- [۳]. ر. قیصری، ر. پورایمانی، ط. صافی نیا، کنفرانس هسته‌ای ایران، مشهد، اسفند ماه ۱۳۹۱.
- [4] P. Strasser, et al., "Muon spectroscopy with trace alkaline-earth and rare-earth isotopes implanted in solid D_2 ", *Hyperfine Interact.*, Vol. 193, pp. 121-127, 2009.
- [5] R. Gheisari, "Investigation of the hydrogen multilayered target H/T- D_2 and muonic x-ray yields in ion implantation", *Nucl. Instrum. Method. Phys. Res. A*, Vol. 660, pp. 48-50, 2011.
- [6] R. Gheisari, "Numerical study of a multilayered target for muonic x-ray generation by taking time delay of muonic atoms", *J. Low Temp. Phys.*, Vol. 169, pp. 15-24, 2012.
- [7] P. Strasser, RCNP Workshop, Osaka University (Suita Campus), Osaka, Japan, Feb. 23-24, 2010.